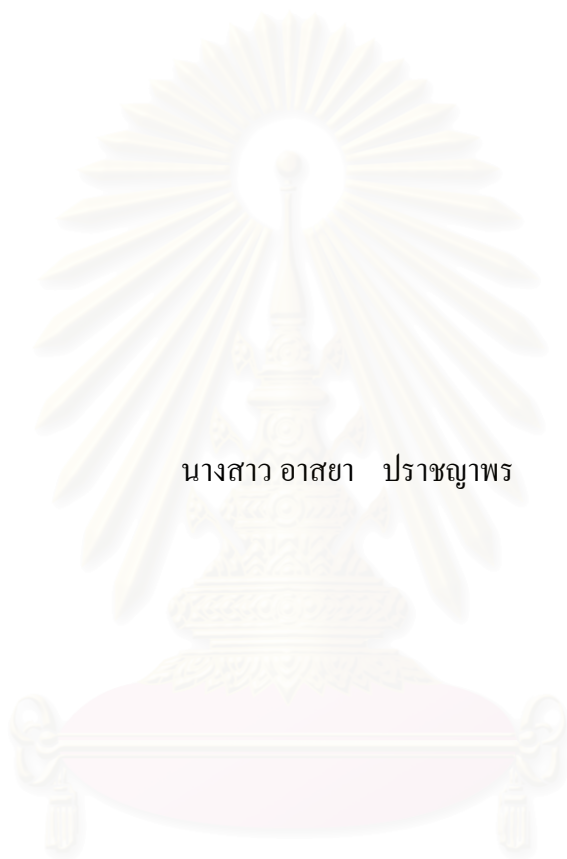


การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก  
ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน



นางสาว อสยา ปราชญาพร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2774-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF DYE IN WASTEWATER BY QUATERNIZED  
CROSSLINKED CELLULOSE PREPARED FROM CORN COB,  
SOYBEAN HULL, AND SUNFLOWER STALK



Miss Arsaya Prachayaporn

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2774-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่  
เตรียมจากขังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน  
โดย    นางสาว อาสยา ปราชญาพร  
สาขาวิชา                                      วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา                              รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุณย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)



## 4289720220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : DYE / QUATERNIZE / CROSSLINK / CELLULOSE / CORN COB / SOYBEAN HULL / SUNFLOWER STALK

ARSAYA PRACHAYAPORN : REMOVAL OF DYE IN WASTEWATER BY QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE PREPARED FROM CORN COB, SOYBEAN HULL, AND SUNFLOWER STALK. THESIS ADVISER : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 153 pp. ISBN 974-17-2774-7

Agricultural wastes can be chemically modified to improve their ion-exchange capacity in order to use in dye-removal from wastewater. Corn cob, soybean hull and sunflower stalk were used to study the dye-removal efficiency of quaternized crosslinked cellulose by the column method. Three reactive dyes (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS) and three direct dyes (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL) were used at a concentration of 100 mg/l and at a flow rate of 10 ml/min. The experiments revealed that quaternized crosslinked cellulose had better results in reactive dye-removal. At 90% dye-removal efficiency, the average volumes of dye taken up by quaternized crosslinked cellulose prepared from corn cob, soybean hull and sunflower stalk were 241.39, 217.42 and 266.02 mg dye/g (total average was 243.36 mg dye/g) for reactive dyes, and 63.37, 153.73 and 37.81 mg dye/g (total average was 84.95 mg dye/g) for direct dyes. The average leachability of quaternized crosslinked cellulose after dye removal determined as dye concentration were 6.93, 5.90 and 1.33 mg/l (17.59, 16.04 and 3.83 SU), respectively. The highest volume of dye taken up was 314.57 mg dye/g in Remazol Brilliant Blue R removal by quaternized crosslinked cellulose prepared from sunflower stalk.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่มีค่ายิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณนายบุญยฤทธิ ปัญญาภิญโณผล นางสาวลัดดา ยาวีร์ชน์ เรือโทหญิงรัชนิษฐ์ รุกขชาติ และพี่ๆเพื่อนๆ นิสิตสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้อ ดูแล ข้อคิดเห็นต่างๆ และความร่วมมือน่าสนใจในอันที่จะทำให้วิทยานิพนธ์ของทุกฝ่ายสำเร็จลงได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากทุนสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์ มูลนิธิชิน โสภณพนิช ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยหรือค้นคว้าเพื่อทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2543 บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ทบวงมหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2543 ผู้วิจัยใคร่ขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณและขอบคุณสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฎ
สารบัญภาพ .....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....	4
2.1 สีย้อม .....	4
2.1.1 ทฤษฎีการย้อมสี .....	4
2.1.2 การเกิดของสีย้อม .....	6
2.1.3 การจำแนกสีย้อม .....	7
2.1.4 สีย้อมรีแอกทีฟ .....	10
2.1.5 สีไคเรกท์ .....	12
2.2 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม .....	15
2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน .....	17
2.3.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน .....	17
2.3.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน .....	18
2.3.3 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง .....	20
2.3.4 สารเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออน .....	23
2.4 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร .....	24
2.4.1 เซลลูโลส .....	25



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 เฮมิเซลลูโลส .....	26
2.4.3 ลิกนิน .....	26
2.5 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง .....	27
2.5.1 ชั่งข้าวโพด .....	27
2.5.2 เปลือกถั่วเหลือง .....	28
2.5.3 ก้านทานตะวัน .....	30
บทที่ 3 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	32
บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย .....	41
4.1 แผนการวิจัย .....	41
4.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย .....	41
4.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง .....	43
4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	43
4.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	44
4.2 วิธีดำเนินการวิจัย .....	44
4.2.1 การเตรียมวัสดุ .....	44
4.2.2 การเตรียมควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลส .....	44
4.2.3 การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ .....	45
4.2.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ .....	45
4.2.5 การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ .....	46
4.2.6 การศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุ .....	46
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ .....	47
5.1 การศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุ .....	47
5.1.1 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Black B .....	53
5.1.2 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS .....	53
5.1.3 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R .....	54
5.1.4 ความสามารถในการกำจัดสี Best Direct Black B .....	54
5.1.5 ความสามารถในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL .....	55



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.6 ความสามารถในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN .....	55
5.1.7 วัดความสามารถใช้งานของควอเตอร์ไนซ์ครอสต์ลิงค์เซลลูโลส .....	61
5.1.8 พิเศษของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ .....	62
5.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ .....	63
5.2.1 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ .....	63
5.2.2 ความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุ .....	70
5.3 การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ .....	70
5.4 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี .....	72
5.4.1 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Black B .....	73
5.4.2 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS .....	73
5.4.3 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R .....	73
5.4.4 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Best Direct Black B .....	74
5.4.5 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL .....	74
5.4.6 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN .....	74
5.4.7 พิเศษของน้ำชะวัสดุ .....	76
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย .....	78
บทที่ 7 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม .....	80
7.1 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้ .....	80
7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม .....	80
รายการอ้างอิง .....	81
บรรณานุกรม .....	86
ภาคผนวก .....	87
ภาคผนวก ก. การจำแนกสีข้อมตาม โครงสร้างทางเคมี .....	88
ภาคผนวก ข. สูตร โครงสร้างของสีที่ใช้ในการวิจัย .....	90
ภาคผนวก ค. ตารางบันทึกผลการกำจัดสีข้อมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ .....	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. ตารางบันทึกผลการกำจัดสีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสต์ลิงก์เซลลูโลส .....	100
ภาคผนวก จ. กราฟผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ .....	119
ภาคผนวก ฉ. รูปสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนหลังผ่านการกำจัดสี.....	135
ภาคผนวก ช. การคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสี.....	137
ภาคผนวก ซ. การคำนวณองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ .....	139
ภาคผนวก ซ. กราฟมาตรฐานของค่าสีและความเข้มข้นสี .....	146
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	153

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน .....	2
ตารางที่ 2.1 สีแบ่งตามความยาวคลื่น .....	4
ตารางที่ 2.2 กลุ่มอะตอมออกโซโครม .....	7
ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ .....	10
ตารางที่ 3.1 ความสามารถในการดูดซับสีของซีลื้อยไม้เนื้อแข็ง .....	33
ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์ .....	35
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง .....	42
ตารางที่ 5.1 น้ำหนักแห้งของสารแลกเปลี่ยนเซลลูโลสต่อ 1 คอลัมน์ .....	47
ตารางที่ 5.2 ความสามารถในการรองรับสีของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันที่ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ90.....	60
ตารางที่ 5.3 พีเอชของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส .....	62
ตารางที่ 5.4 ความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุ .....	70
ตารางที่ 5.5 ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันหลักของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน .....	71
ตารางที่ 5.6 การถูกชะล้างได้ของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และ ก้านทานตะวัน .....	76
ตารางที่ 5.7 พีเอชของน้ำชะวัสดุควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสหลังการกำจัดสี .....	77
ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติต่างๆของสี .....	92
ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ..	95
ตารางที่ ค.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	95
ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	95
ตารางที่ ค.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	95
ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยัง ไม่ได้ปรับสภาพ .....	96

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของก้านทานตะวันที่ยัง ไม่ได้ปรับสภาพ .....	96
ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	96
ตารางที่ ค.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยัง ไม่ได้ปรับสภาพ .....	96
ตารางที่ ค.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของก้านทานตะวันที่ยัง ไม่ได้ปรับสภาพ .....	97
ตารางที่ ค.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	97
ตารางที่ ค.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	97
ตารางที่ ค.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	97
ตารางที่ ค.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	98
ตารางที่ ค.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	98
ตารางที่ ค.15 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	98
ตารางที่ ค.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ.....	98
ตารางที่ ค.17 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	99
ตารางที่ ค.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ ปรับสภาพ .....	99
ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด.....	101

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมเปลือกถั่วเหลือง .....	102
ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน.....	103
ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด.....	104
ตารางที่ ง.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง.....	105
ตารางที่ ง.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน.....	106
ตารางที่ ง.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด.....	107
ตารางที่ ง.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง.....	108
ตารางที่ ง.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน .....	109
ตารางที่ ง.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด.....	110
ตารางที่ ง.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง.....	111
ตารางที่ ง.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน .....	112
ตารางที่ ง.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด.....	113
ตารางที่ ง.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง.....	114
ตารางที่ ง.15 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน .....	115

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ง.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด.....	116
ตารางที่ ง.17 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง .....	117
ตารางที่ ง.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน.....	118
ตารางที่ ช.1 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีน้ำเสียความเข้มข้นสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตรของ ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90 .....	138
ตารางที่ ช.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้านทานตะวัน เปลือกถั่วเหลือง และซังข้าวโพด.....	140
ตารางที่ ฉ.1 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Black B.....	147
ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Brilliant Red 3BS .....	148
ตารางที่ ฉ.3 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Brilliant Blue R .....	149
ตารางที่ ฉ.4 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Best Direct Black B .....	150
ตารางที่ ฉ.5 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Sirius Rubine KZBL .....	151
ตารางที่ ฉ.6 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Sirius Blue KCFN .....	152



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิบัติการควอเทอร์ไนซ์ .....	24
รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์โลส .....	25
รูปที่ 2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน .....	27
รูปที่ 5.1 ชั่งข้าวโพด .....	48
รูปที่ 5.2 สารเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียมจากชั่งข้าวโพด .....	48
รูปที่ 5.3 เปลือกถั่วเหลือง .....	48
รูปที่ 5.4 สารเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง .....	48
รูปที่ 5.5 ก้านทานตะวัน .....	48
รูปที่ 5.6 สารเซลล์โลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน .....	48
รูปที่ 5.7 คอลัมน์ที่ใช้ในการวิจัย .....	49
รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากชั่งข้าวโพด .....	50
รูปที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากชั่งข้าวโพด .....	50
รูปที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากเปลือกถั่วเหลือง .....	51
รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากเปลือกถั่วเหลือง .....	51
รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากก้านทานตะวัน .....	52
รูปที่ 5.13 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลล์โลสที่เตรียม จากก้านทานตะวัน .....	52
รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง เซลล์โลสที่เตรียมจากชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน .....	56



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน....	56
รูปที่ 5.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์ โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน...	57
รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน .....	57
รูปที่ 5.18 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน.....	58
รูปที่ 5.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน .....	58
รูปที่ 5.20 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Black B เท่ากับร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.21 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เท่ากับ ร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.22 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R เท่ากับ ร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.23 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Best Direct Black B เท่ากับร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.24 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL เท่ากับร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.25 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN เท่ากับร้อยละ 100 80 60 40 20 และ 0 ตามลำดับ .....	59
รูปที่ 5.26 ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจาก ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันสามารถรองรับได้ ที่ประสิทธิภาพ การกำจัดสีร้อยละ 90 .....	60
รูปที่ 5.27 ลักษณะพื้นผิวของซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	64

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.28 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ซิงข้าวโพด เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า.....	64
รูปที่ 5.29 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	65
รูปที่ 5.30 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เปลือกถั่วเหลือง เมื่อดูด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า.....	65
รูปที่ 5.31 ลักษณะพื้นผิวของก้านทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	66
รูปที่ 5.32 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวัน เมื่อดูด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า.....	66
รูปที่ 5.33 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	67
รูปที่ 5.34 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า.....	67
รูปที่ 5.35 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	68
รูปที่ 5.36 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Best Direct Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	68
รูปที่ 5.37 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	69
รูปที่ 5.38 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า .....	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.39 สีที่ปรากฏหลังการชะล้างสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน ไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี .....	75
รูปที่ จ.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	120
รูปที่ จ.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดด้วย เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	121
รูปที่ จ.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	122
รูปที่ จ.4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลือง ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	123
รูปที่ จ.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างก้านทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	124
รูปที่ จ.6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวันด้วย เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ .....	125
รูปที่ จ.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Remazol Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	126
รูปที่ จ.8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์..	127
รูปที่ จ.9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์....	128
รูปที่ จ.10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Best Direct Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	129
รูปที่ จ.11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	130
รูปที่ จ.12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านทานตะวัน หลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	131
รูปที่ ฉ.1 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน ไอออนชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจาก ก่อนและหลังการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีไคเรกท์ .....	136
รูปที่ ฉ.2 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน ไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส ก่อนและหลังการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีไคเรกท์.....	136

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจะมีสีจากสีย้อมที่ใช้ไม่หมดไปในการย้อมหรือพิมพ์ผ้า และจากการซักล้างหรือปรุแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมมาแล้วตกค้างอยู่มาก โดยสีย้อมที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมมักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อน ไม่สามารถบำบัดได้ง่าย ซึ่งทั่วไปมีความเข้มข้น 10-200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Valencia, Salvation และ Yang, 1999) นอกจากนี้ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมยังมีซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอยสูง จึงจำเป็นต้องนำน้ำเสียมานำบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพเพื่อกำจัดซีไอดี บีไอดี และของแข็งแขวนลอย รวมทั้งนำมากำจัดสีออกจากน้ำทิ้งก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะเพื่อลดการเกิดปัญหามลภาวะ

การกำจัดสีจากน้ำเสียทำได้หลายวิธีทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และทางเคมี เช่น โคแอกกูเลชัน ด้วยปูนขาวและเฟอร์รัสซัลเฟต การออกซิเดชันด้วยโอโซนและคลอรีน การดูดซับ (Adsorption) ด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อใช้กำจัดสีก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดสีจากน้ำเสีย เนื่องจากเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนคล้ายเรซินที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีแต่จะมีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน อาทิเช่น โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นแบบไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) แต่โครงสร้างของเรซินสังเคราะห์เป็นแบบไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) การเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถทำได้โดยการประสานพันธะในเซลลูโลสโดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ซึ่งสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ได้จะมีทั้งแบบกรดและแบบด่างขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้

การวิจัยนี้เลือกใช้ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน มาทำการปรับสภาพเป็นสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนด้วยวิธีควอเทอร์ไนซิงโครอสส์ลิงก์ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการทำควอเทอร์ไนซิง (Quaternizing) โดยใช้สารนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมททิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-chloro-2-hydroxypropyl)trimethylammoniumchloride: CHMAC) และขั้นตอนการทำโครอสส์ลิงก์ (Crosslinking) เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึด โครงสร้างของเรซินได้ดี

ขึ้นโดยใช้สารอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) ควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ได้จะเป็น เรซินแบบต่างแ่งซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแอนไอออน โดยวัสดุที่ใช้ได้รับการ อนุเคราะห์จากสถานที่ต่างๆ กัน คือ ชั่งข้าวโพดได้รับจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ในจังหวัดสระบุรี เปลือกถั่วเหลืองได้รับจากโรงงานผลิตถั่วเหลืองซีกในเขตปริมณฑล และกำนทานตะวันได้รับจาก พื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดลพบุรี สำหรับสีที่ใช้ในการทดลองเลือกใช้เลือกใช้สีย้อมชนิดสีรีแอคทีฟ (Reactive Dye) และสีไดเรกต์ (Direct Dye) ซึ่งมีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี และมีการใช้งานอยู่มากใน ปัจจุบัน

สมมติฐานสำหรับงานวิจัยนี้ คือ สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกำนทานตะวันสามารถนำมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน ไอออนเพิ่มขึ้นได้โดยการปรับสภาพด้วยสารเคมีและไม่ถูกชะล้างได้โดยง่ายภายหลังการนำมาใช้ กำจัดสี

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกำนทานตะวัน

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบทางเคมี		
	ชั่งข้าวโพด (จินทนา พุทธาธร, 2528)	เปลือกถั่วเหลือง (Allan และ Sidney, 1978)	กำนทานตะวัน (Bonilla และคณะ, 1990)
เซลลูโลส	36.5	49.3-64.0	} 71
เฮมิเซลลูโลส	-	16.0-16.6	
ลิกนิน	10.4	4.5-8.0	-
เพนโตซาน	28.1	22.6	-
เถ้า	-	4.9-5.7	-

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีแบบคอลัมน์ของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากชั่งข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกำนทานตะวันชนิดเซลลูโลส ที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส



2. ศึกษาโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส
3. ศึกษาการถูกชะล้างได้ (Leachability) ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการทดลองแบบคอลัมน์ โดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันที่มีขนาด 20 - 40 เมช (mesh; เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.425 -0.850 มิลลิเมตร)
3. ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยสปีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สิริแอกทีฟและสปีไคเรกท์ชนิดละ 3 โทนนีคือ สีแดง สีนํ้าเงิน และสีดำ มีความเข้มข้นของสารละลายสีเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. การศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุใช้วิธีสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเหมาะสมในการกำจัดสีโดยใช้ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำเตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน
2. เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 2.1 สีย้อม

ตามธรรมชาติ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับภาพได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร โดยการมองเห็นสีต่างๆ แบ่งตามความยาวคลื่น ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สีแบ่งตามความยาวคลื่น

สี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
ม่วง	390 – 430
น้ำเงิน	430 – 460
น้ำเงิน – เขียว	460 – 500
เขียว	500 – 570
เหลือง	570 – 590
ส้ม	590 – 610
แดง	610 – 700

ที่มา : อัจฉราพร ไสละสูต, 2527

#### 2.1.1 ทฤษฎีการย้อมสี (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

การที่จะนำสีย้อมใดๆมาย้อมให้ได้ผลดีนั้น อานาจการรวมตัวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าอานาจการรวมตัวของสีย้อมกับน้ำ ซึ่งสภาวะเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมเรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่น อิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สีย้อมดูดติดเส้นใยแบ่งกว้างๆได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' Force)

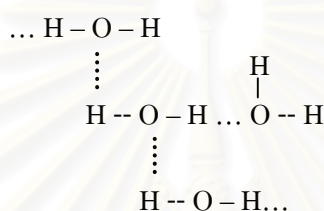


### 3. แรงไอออนิก (Ionic Force)

### 4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond)

โดยการคูติดกันระหว่างโมเลกุลของสี่เชื่อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วยกำลังแรงอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน

**พันธะไฮโดรเจน** ไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะยึดอย่างหลวมๆกับอะตอมอื่นได้ ตัวอย่างเช่น การยึดตัวกันของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ ทั้งนี้เส้นใยและสี่เชื่อมเกือบทุกชนิดมีกลุ่มไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก



**แรงแวนเดอร์วาลส์** เป็นแรงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันได้เอง โมเลกุลของเส้นใยและสี่เชื่อมมีเอกลักษณ์พิเศษที่ทำให้เกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดติดกันได้ คือ มีโมเลกุลยาวและแบน เช่น โมเลกุลของเซลลูโลสกับสี่เชื่อมเวด หรือสี่เชื่อมไคเรทท์ หรือเมื่อโมเลกุลทั้งสองมีอัตราส่วนของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนใกล้เคียงกัน เช่น สี่ที่ใช้เชื่อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์เกือบทั้งหมด น้ำก็มีส่วนช่วยให้สี่เชื่อมและเส้นใยยึดติดกันด้วย โดยการที่กลุ่มไฮโดรคาร์บอนพยายามที่จะแยกตัวออกจากน้ำและมารวมตัวกันเอง ที่รู้จักกันว่าเป็นการรวมตัวแบบไฮโดรโฟบิก

**แรงไอออนิก** เกิดขึ้นโดยไฟฟ้าต่างศักย์ เส้นใยเมื่ออยู่ในน้ำมีปฏิกิริยาไฟฟ้าเป็นลบ สี่เชื่อมที่ละลายน้ำส่วนใหญ่เป็นแอนไอออน การคูติดเกิดขึ้นไม่ได้ต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อนที่สี่เชื่อมจะเข้ามาใกล้พอที่แรงแวนเดอร์วาลส์จะทำหน้าที่ได้ ส่วนสี่เชื่อมที่เป็นแคทไอออน เช่น สี่ที่ใช้เชื่อมใยอะคริลิก ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการเปลี่ยนศักย์ในเส้นใย

**พันธะโควาเลนต์** การยึดติดเส้นใยของสี่เชื่อมด้วยพันธะโควาเลนต์นั้นสามารถยึดติดได้แน่นยิ่งกว่าแรงใดๆที่กล่าวมาข้างต้น เช่น การยึดติดเส้นใยของสี่เชื่อมรีแอกทีฟหรือการเชื่อมสี่เชื่อมกับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

การยึดติดของโมเลกุลของสี่เชื่อมกับโมเลกุลเส้นใยนอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรงทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิต หรือด้านรูปร่างและขนาดของสี่เชื่อมก็มีผลต่อการยึดติดอย่าง

มากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การติดสีดีขึ้น เป็นต้น

### 2.2.2 การเกิดของสีย้อม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกว่า “โครโมฟอร์” (Chromophore) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) :  $-\text{NO}$  (หรือ  $=\text{N}-\text{OH}$ )
2. กลุ่มไนโตร (Nitro Group) :  $-\text{NO}_2$  ( หรือ  $=\text{NO}.\text{OH}$ )
3. กลุ่มเอโซ (Azo Group) :  $-\text{N}=\text{N}-$
4. กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) :  $\diagup \text{C} = \text{C} \diagdown$
5. กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) :  $\diagup \text{C} = \text{O}$
6. กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl - Nitrogen Group) :  $\diagup \text{C} = \text{NH}$  และ  $-\text{CH} = \text{N}-$
7. กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) :  $\diagup \text{C} = \text{S}$  และ  $\diagup \text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C} \diagdown$

กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแสงสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาในบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีแตกต่างกันไป สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่งได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (Auxochrome) (ตารางที่ 2.2) เพื่อให้สีย้อมสามารถทำปฏิกิริยาคัดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกโซโครม โมเลกุลนั้นจะแสดงสมบัติของสีออกมาได้แต่จะขาดสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (Chromagen) ยกตัวอย่างเช่น สีย้อมอะมิโนเอโซเบนซีน มีสูตรโมเลกุลคือ  $\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-$  กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์คือ  $-\text{N}=\text{N}-$  กลุ่มอะตอมออกโซโครมคือ  $\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$  และโมเลกุลที่เรียกว่าโครมาเจนคือ  $-\text{N}=\text{N}-$  ทั้งกลุ่มโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีย้อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

## ตารางที่ 2.2 กลุ่มอะตอมออกโซโครม

ชื่อเรียก	กลุ่มอะตอม	ชื่อเรียก	กลุ่มอะตอม
Amino	-NH <sub>2</sub>	Chloro	-Cl
Methylamino	-NHCH <sub>3</sub>	Methyl	-CH <sub>3</sub>
Dimethyl Amino	-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Methoxy	-OCH <sub>3</sub>
Sulphonic Acid	-SO <sub>3</sub> H	Cyano	-CN
Hydroxy	-OH	Acetyl	-COCH <sub>3</sub>
Carboxylic Acid	-COOH	Amido	-CONH <sub>2</sub>

ที่มา : Rangnekar และ Singh, 1980

### 2.1.3 การจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

สิ่งย้อมสิ่งทอจำแนกตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่าสีย้อม (Dye) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่าพิกเมนต์ (Pigment) พิกเมนต์ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถย้อมเส้นใยให้เกิดสีได้เช่นเดียวกับสีย้อมโดยให้พิกเมนต์กระจายตัวหรือบางครั้งก็แขวนลอยในเรซินยึดติดเส้นใยได้โดยเชิงกล มีบางตัวที่ติดเส้นใยโดยเชิงเคมี เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเป็นการยากที่จะทราบวาสีตัวไหนเป็นสีย้อมและตัวไหนเป็นพิกเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสีย้อมบางตัวที่เวลาย้อมจะต้องทำให้ละลายเสียก่อน เมื่อทำการย้อมแล้วจึงเปลี่ยนเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำภายในเส้นใยกลายเป็นพิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกเช่นนี้เกิดความสับสน

การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี (ดูในภาคผนวก ก.) ยังมีความยุ่งยากมากขึ้นไปอีก สีในกลุ่มเคมีเดียวกันมีวิธีย้อมแตกต่างกันใช้กับเส้นใยต่างกัน เช่น สีในกลุ่มเอโซ บางตัวย้อมง่าย ๆ โดยตรงเป็นสีไดเรกต์ บางตัวจะติดได้เมื่อน้ำย้อมมีภาวะเป็นกรดก็เป็นสีแอซิด บางตัวจำเป็นต้องมีสารบางอย่างมาช่วยจึงจะติดเส้นใยได้ก็เรียกว่าสีมอร์แดนท์ จะเห็นได้ว่าจำแนกได้ยาก การจำแนกตามลักษณะการใช้งานคือเรียกตามกระบวนการย้อมบ้าง ตามลักษณะของสีบ้าง ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้มากกว่า การจำแนกวิธีนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และอุตสาหกรรมการผลิตสี แม้แต่สมาคมผู้ย้อมและผู้ผลิตสี (The Society of Dyes and Colourists) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีจำแนกสีที่เหมาะสมที่สุด

## การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

### 1. สีย้อมแอซิด (Acid Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยไนลอนและเส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไหม ไม่เหมาะที่จะนำไปย้อมเส้นใยประเภทเซลลูโลส ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ ไตรฟีนิลมีเทน และแอนทราควิโนน สีย้อมแอซิดย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง

### 2. สีมอร์แดนต์ (Mordant Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมนี้ส่วนใหญ่เป็นตัวสีในกลุ่มแอซิดที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียมและเหล็ก ในกระบวนการย้อมต้องมีการเติมเกลือของโลหะ เช่น โซเดียมไดโครเมต ทำให้สีย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะเชิงซ้อนและพันธะโควาเลนต์

### 3. สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุบวก สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยอะคริลิก ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกไดฟีนิลมีเทน ไตรฟีนิลมีเทน ออกซาซีน ไซโทซีนและเอโซ ซึ่งสามารถย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

### 4. สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส สีย้อมนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มเอโซ กระบวนการย้อมสีย้อมไดเรกต์ ต้องมีการเติมสารอิลเลกโตรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต เพื่อช่วยให้สีซึมเข้าภายในเส้นใยได้มากขึ้น ซึ่งสีย้อมนี้จะติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

### 5. สีย้อมกระจาย (Disperse Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือละลายได้เล็กน้อย ดังนั้นตัวสีจะอยู่ในรูปคอลลอยด์ ต้องย้อมในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้สีย้อมกระจายตัวเข้าไปใกล้เส้นใย และสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เหมาะสมกับเส้นใยเซลลูโลส อะซิเตด ไนลอนและโพลีเอสเตอร์ ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ และแอนทราควิโนน

#### 6. สีเอโซอิก (Azoic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ

#### 7. สีแวต (Vat Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ จึงต้องมีการเติมสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมจึงจะสามารถละลายน้ำได้ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการย้อมทำได้โดยนำผ้าไปแช่ในน้ำย้อม และเมื่อสีย้อมเข้าไปในเส้นใยแล้ว เมื่อผ้าสัมผัสกับอากาศ สีย้อมจะถูกออกซิไดซ์ จะไม่ละลายน้ำเหมือนเดิม ทำให้สีติดเส้นใยได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกแอนทราควิโนน

#### 8. สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์ และเมื่อสีย้อมเข้าไปในเส้นใย เมื่อเส้นใยสัมผัสกับอากาศ สีย้อมจะถูกออกซิไดซ์ เปลี่ยนเป็นไม่ละลายน้ำดังเดิม ทำให้สีติดเส้นใยได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส

#### 9. สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เป็นสีที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีไอออนในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำให้สียึดติดเส้นใยได้ดี

เนื่องจากความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยต่างๆ ทำให้ต้องใช้สีย้อมแตกต่างกัน ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเส้นใยและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกับชนิดของสีย้อมที่ใช้ ในตารางที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยกับประเภทของสีย้อมที่ใช้

เส้นใย	หมู่ฟังก์ชัน	สีย้อมที่ใช้
ขนสัตว์	-NH <sub>2</sub> , -COOH, -CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ โครม รีแอกทีฟ
ไหม	-NH <sub>2</sub> , -COOH, -CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ เบสิก แวต
Cruprommonium Rayon	-OH, -COOH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์
วิสคอส เรยอน	-OH, -COOH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์ รีแอกทีฟ
ฝ้าย	-OH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์ รีแอกทีฟ
Secondary Cellulose Acetate	-OH, -OCOCH <sub>3</sub>	ดิสเพอร์ส
Cellulose Triacetate	-OCOCH <sub>3</sub>	ดิสเพอร์ส
ไนลอน 6.6 & 6	-NH <sub>2</sub> , -COOH, -CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ ไดเรกต์ ดิสเพอร์ส รีแอกทีฟ
อะครีลิก	-COOH, -SO <sub>3</sub> H, -OSO <sub>3</sub> H	เบสิก ดิสเพอร์ส
โพลีเอสเตอร์	-OH, -COOH, -COO	ดิสเพอร์ส

ที่มา : Johnson, 1989

#### 2.1.4 สีรีแอกทีฟ (จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542)

สีรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ เพื่อสร้างเป็นสารประกอบครอสส์ลิงค์กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขจัด

#### โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีรีแอกทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้

S – D – T – X



- โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟนิค (-SO<sub>2</sub>Na) ซึ่งอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์
- D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์
- T คือ กลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Bridging Group) ระหว่างกลุ่มสีรีแอกทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ เช่น กลุ่ม -NH-, -NHCO-, -SO<sub>2</sub>-, -NHCO<sub>2</sub>- และ -NCH<sub>3</sub>- เป็นต้น
- X คือ กลุ่มรีแอกทีฟ (Reactive Group) เป็นกลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่ทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย ส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic)

ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบเฮเทอโรไซคลิกมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติอื่นๆของสี ในบางกรณีกลุ่มโครโมฟอร์และกลุ่มรีแอกทีฟซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไปก็สามารถเชื่อมติดกันได้โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้

### ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ

ในกระบวนการฟอกย้อมสีรีแอกทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญคือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลซิสในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ไม่เพียงเพื่อเป็นการประหยัดเท่านั้น ยังทำให้เส้นใยไม่ดูดสีที่ไฮโดรไลซิสแล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้สีไฮโดรไลซิสมาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่ตกเวลาใช้

การไฮโดรไลซิสของสีนั้น คือ การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ มักเป็นปฏิกิริยาที่แข่งขันกับการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย ปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่อสีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นความเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใยของสี อัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆ แม้ในช่วงค่อนข้างกว้างของพีเอชที่แตกต่าง



ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นกับ

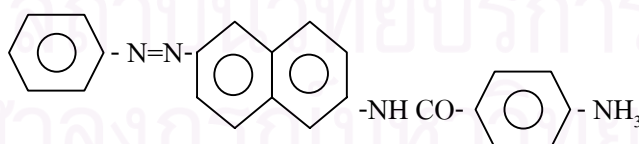
1. อัตราส่วนของความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยต่อความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำ
2. ความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่างสีที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยและสีที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ
3. สัมประสิทธิ์การแพร่ของสีเข้าไปในเส้นใย
4. ปริมาณน้ำ พบว่ายิ่งปริมาณน้ำน้อยจะเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย
5. พื้นที่ผิวของเส้นใยสำหรับให้สีได้ถูกดูดซึม

สีรีแอกทีฟที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ Remazol Black B (C.I. Reactive Black 5), Remazol Brilliant Red 3BS (C.I. Reactive Red 239) และ Remazol Brilliant Blue R (C.I. Reactive Blue 19) (คู่มือโครงสร้างในภาคผนวก ข.)

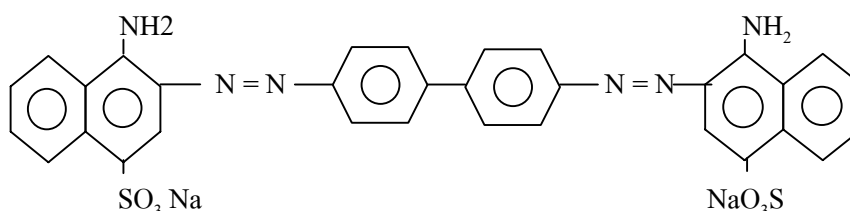
### 2.1.5 สีไดเรกต์ (Trotman, 1975 อ้างถึงใน ชัยยุทธ ช่างสาร, 2531)

สีไดเรกต์ส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลโฟเนตประเภทไอโซที่สามารถละลายน้ำได้ ในบรรดาสีที่ใช้ย้อมสิ่งทอ สีไดเรกต์เป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดสีแต่ละตัวในกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานไม่เท่ากัน ซึ่งมีสมบัติเฉพาะในการซึมติดเส้นใยได้ในตัวเองสามารถย้อมผ้าได้ทันทีไม่ต้องย้อมผ้าด้วยสารช่วยติดเหมือนตัวอื่นๆ จึงเรียกว่า สีไดเรกต์ หรือสีย้อมโดยตรง เหมาะสมกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน เป็นต้น สีไดเรกต์ที่ใช้กันอยู่มี 7 กลุ่ม แบ่งตามโครงสร้างทางเคมีดังนี้

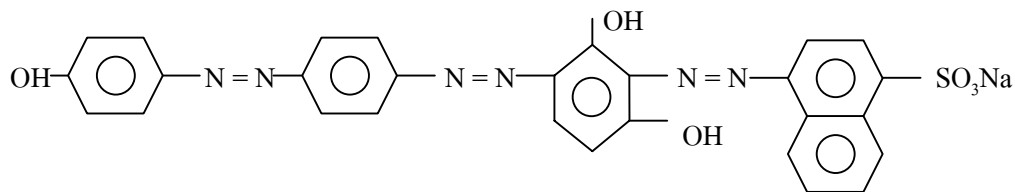
1. กลุ่มโมนาโซ (Monazo) ตัวอย่างได้แก่ Diazomine Scarlet 5B (C.I. Direct Red 14) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



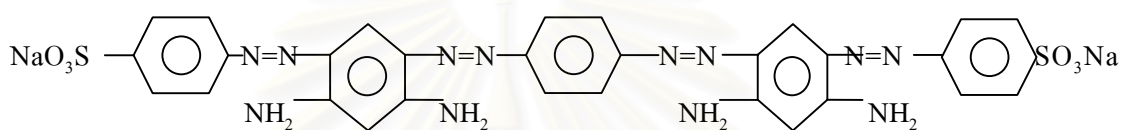
2. กลุ่มบีสเอโซ (Bisazo) ตัวอย่างได้แก่ Original Congo Red (C.I. Direct Red 28) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



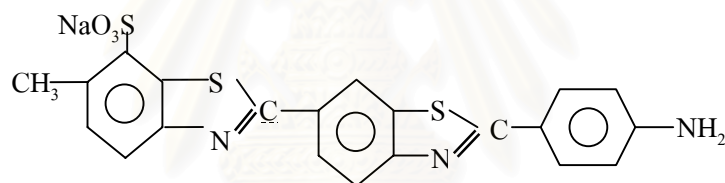
3. กลุ่มทริสเอโซ (Trisazo) ตัวอย่างได้แก่ Congo Brown R (C.I. Direct Brown 21) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



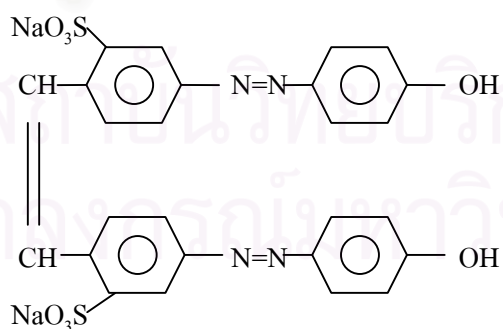
4. กลุ่มโพลีเอโซ หรือ เทตระคิสเอโซ (Polyazo or Tetrakis Azo) ตัวอย่างได้แก่ Chloazol Brown GM (C.I. Direct Brown 44) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



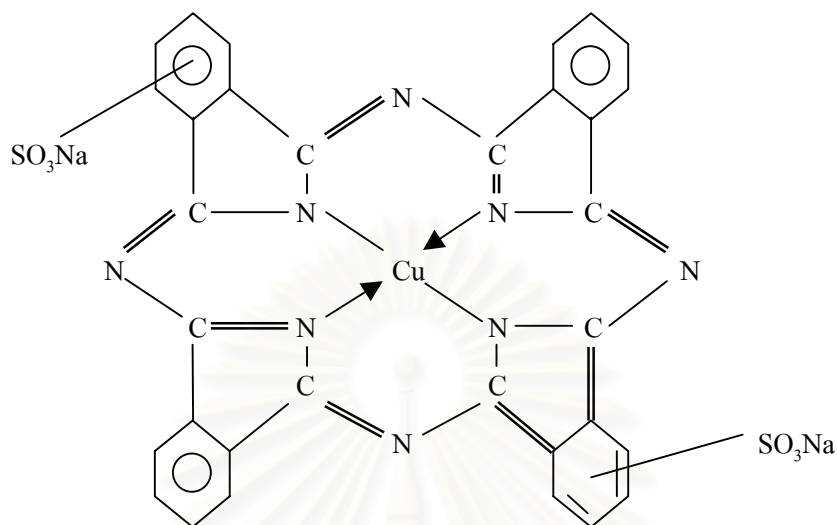
5. กลุ่มไทเอโซล (Thiazole) เป็นกลุ่มที่เตรียมได้จากพริมูลิน (Primuline) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



6. กลุ่มที่ได้จากสทิลเบน (Stilbene) ตัวอย่างเช่น Diphenyl Chrysoine G (C.I. Direct Yellow 19) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



7. กลุ่มฟาธาโลไซยานีน (Phthalocyanine) ตัวอย่างได้แก่ Durazon Blue 8G (C.I. Direct Blue 8G) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



### ทฤษฎีการย้อมสีไคเรกท์

การย้อมสีไคเรกท์กับผ้าใยเซลลูโลสเป็นการดูดติดทางกายภาพเพราะโครงสร้างของเซลลูโลสไม่มีกลุ่มเคมีตอนปลายที่จะรวมตัวกับเกลือในโครงสร้างสีได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลกับการดูดติดเส้นใยนั้นพอสรุปได้ดังนี้

1. สีย้อมจะต้องมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นแนวตรง และอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. โมเลกุลสีต้องมีหมู่เคมีที่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้
3. ควรมีจำนวนหมู่เคมีที่ช่วยทำให้ตัวสีละลายได้พอเหมาะ
4. หมู่เคมีจะทำให้ตัวสีละลายได้นั้น จับอยู่ที่โครงสร้างของตัวสีด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นหมู่เคมีที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน
5. ระยะของหมู่เคมีที่จะก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนนั้นควรอยู่ใกล้กันกับเซลลูโลสมากที่สุด
6. การรวมตัวกันโดยพันธะคู่ จะช่วยเสริมให้โมเลกุลเข้ามาเรียงตัวในแนวเดียวกันได้มากขึ้น และยังอาจทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่ตอนปลายของสายโมเลกุลที่รวมตัวกันนี้ได้ด้วย

จากหลักการนี้ สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนของการย้อมสีไคเรกท์ได้ 3 ลำดับขั้นดังนี้

1. สีจะถูกดูดซึมติดที่ผิวของเส้นใย
2. สีจะถูกดูดซึมเข้าไป แล้วกระจายสู่ใจกลางของเส้นใย
3. สีจะถูกดูดยึดติดที่จุดที่ให้สีติดในเส้นใยได้

สีใดเรทท์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ Best Direct Black B, Sirius Rubine KZBL และ Sirius Blue KCFN (ไม่ทราบสูตรโครงสร้างเนื่องจากเป็นสูตรเฉพาะซึ่งบริษัทผู้ผลิตไม่เปิดเผย)

## 2.2 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม (Metcalf & Eddy, 1991)

สิ่งเจือปนในน้ำเสียจากในโรงงานฟอกย้อมนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อม เส้นด้าย และสารเคมี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการกำจัดสีมีหลายวิธีดังนี้

### โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เฟอร์รัสคลอไรด์ หรือเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนเป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารตกตะกอน ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง ในบางกรณีอาจต้องใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิบัติการตกตะกอนให้เป็นอย่างดี

### กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

กระบวนการนี้ลดสี โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กิน ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ รวมทั้งสีที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกตกลงแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และ ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ซึ่งปฏิบัติการทางชีวเคมีของกระบวนการแสดงได้ดังนี้

มวลสารอินทรีย์ + จุลินทรีย์  $\longrightarrow$  จุลินทรีย์ตัวใหม่ + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + พลังงาน

### การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1,200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว

### การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment)

เป็นการทำลายโมเลกุลของสีโดยการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีย้อมซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

### เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ เช่น สีดีสเพอร์ส สีซัลเฟอร์ สีแวต และสีอะโซอิก ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) เหมาะสำหรับการกำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane) ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน และ นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟเนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

## เทคโนโลยีใหม่ๆ (New Technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม
2. ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กโทรไลซิสที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูงและบางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้
3. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

### 2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

#### 2.3.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน (มันซิน ตันทูลเวศม์, 2532)

การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประเภทซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

1. กำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะหนักต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะหนักที่ใช้เรซินกำจัดออกได้ ได้แก่ อาเซนิก แบเรียม แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน วานาเดียม สังกะสี นิกเกิล
2. ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดจากสารละลายจะหลุดออกมา กับสารรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่า ปริมาณสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมจึงอาจมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่า



กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรมบางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำเสียนั้นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และ ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการแก้ไขความกระด้างของน้ำ อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



เมื่อ R เป็นหมู่ฟังก์ชันของเรซินซึ่งมี  $\text{Na}^+$  เป็นส่วนเคลื่อนที่ได้ของหมู่ฟังก์ชันของเรซินใช้แลกเปลี่ยนไอออนพวกที่อยู่ในน้ำคือ  $\text{Ca}^{2+}$  ในปริมาณที่สมมูลกัน

เรซินเมื่อใช้ไปชั่วระยะหนึ่งจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชัน สำหรับเรซินที่อยู่ในรูปของ  $\text{Na}^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกงซึ่งมี  $\text{Na}^+$  อยู่เป็นจำนวนมาก เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรตแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก สมการเคมีเขียนดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมาก เพื่อให้สมดุลกับปฏิกิริยากลับทิศทาง

### 2.3.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (มันสิน ตันทุลเสวม์, 2532)

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะมีโครงร่างคล้ายตาข่ายสามมิติโดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนตาข่ายเรียกว่าเมตริกซ์ (Matrix) ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของตาข่ายเรียกว่าหมู่ฟังก์ชัน (Function Group) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน โครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏ และรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากและชนิดเดียวกันต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มี



ความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับการประสานโครงร่าง (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมากโครงสร้างของเรซินจะแข็งและทึบ ถ้าปริมาณของตัวประสานน้อยโครงสร้างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง

ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆ ของเรซินด้วย เช่น ความชื้นในเรซิน เป็นต้น คือเรซินจะต้องมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มีระดับการประสานโครงร่างต่ำเกินไป จะมีความพรุนมากทำให้หือมน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงประสานต่ำ

การบวมหรือการพองน้ำของเรซิน (Swelling) เรซินที่ทำจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความสามารถดูดน้ำหรือของเหลวรอบตัวมันได้ และทำให้เรซินขยายตัวหรือบวมขึ้น การบวมของเรซินเกิดจากการไฮเดรชัน (Hydration) ของหมู่ฟังก์ชันที่ยึดติดกับโครงร่างและไอออนอิสระ และเกิดจากความดันออสโมติก การไฮเดรชันของไอออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันโดยไอออนที่มีขนาดเล็ก (เมื่อแห้ง) จะมีขนาดใหญ่เมื่อเกิดไฮเดรชัน ถ้าเรซินบรรจุไอออนที่มีขนาดใหญ่ (ขณะไฮเดรชัน) ก็จะเกิดการบวมสูง เช่นเดียวกับเรซินที่อยู่ในสารละลายเจือจางเรซินจะบวมตัวเพื่อพยายามลดความเข้มข้นภายในเพื่อให้สมดุลกับภายนอก ในทางกลับกันเรซินจะหดตัวเมื่อสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า เช่นในขณะการทำรีเจนเนอเรชัน แต่การบวมตัวของเรซินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของสารละลาย ระดับการประสานโครงร่าง เรซินที่มีระดับการประสานโครงร่างต่ำๆ จะทำให้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตรจึงมีค่าลดหรือเพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของระดับการประสานโครงร่าง

หมู่ฟังก์ชันของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าส่วนโครงสร้างเมตริกซ์มีประจุลบประจำตัว หมู่ฟังก์ชันจะมีประจุบวก เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchanger) ถ้าโครงสร้างเมตริกซ์มีประจุลบประจำตัวหมู่ฟังก์ชันจะมีประจุลบเรียกว่า สารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchanger)

เรซินสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน จึงมีโครงสร้างเป็นสารพอลิเอสไตรีนที่รวมตัวอยู่กับไดไวนิลเบนซีน โดยหมู่ฟังก์ชันของสารแลกเปลี่ยนประจุ

บวก จะเป็นพวกซัลโฟนิค คาร์บอกซิลิก หรือ ฟอสโฟนิค ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบจะเป็นพวกที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นพวก Quaternary Ammonium, Primary Amine, Secondary Amine

### 2.3.3 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง (มันลิน ดัชนีอุตสาหกรรม, 2532)

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด คือ เรซินแบบกรดแก่ เรซินแบบกรดอ่อน เรซินแบบด่างแก่ และเรซินแบบด่างอ่อน

#### เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Resin)

มีหมู่ซัลโฟนิค ( $\text{SO}_3^-$ ) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$  เป็นไอออนอิสระหน้าของเรซินแบบกรดแก่ จะใช้ไอออนบวกของตัวเองแลกกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดซัลฟิวริกหรือกรดไฮโดรคลอริก

เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินในรูป  $\text{H}^+$  สามารถแยก  $\text{Na}^+$  จากเกลือแ่งได้ อำนวยเช่นนี้เรียกว่าการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. การรั่วของไอออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น  $\text{Ca}^{2+}$  เกิดขึ้นน้อย
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว
5. เรซินมีความคงตัว และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100-120 องศาเซลเซียส และอาจใช้ได้นานถึง 20 ปี หรือมากกว่า โดยมีการสูญเสียความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การเปลี่ยนรูปของ  $\text{Na}^+$  ในเรซินเป็น  $\text{H}^+$  ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 7
7. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำ ประมาณร้อยละ 25-45 ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชัน
2. เรซินถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสานโครงร่างต่ำ

### เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Resin)

เรซินแบบกรดอ่อนมีหมู่คาร์บอกซิลิก ( $\text{COO}^-$ ) เป็นหมู่ที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$  เป็นไอออนอิสระ เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดอะคริลิก มีหน้าที่ใช้ไอออนบวกของเรซิน ( $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$ ) แลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงถึงร้อยละ 90 โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของ  $\text{H}^+$  เพราะเรซินมีความชอบ (Affinity) สูง
2. มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป  $\text{H}^+$  สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องเติมกรด
5. เรซินสามารถใช้รีเจนเนอเรนท์จากการรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ได้
6. มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ในสถานะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูงเท่านั้น
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting) แต่แยกเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น  $\text{NaHCO}_3$
3. การเปลี่ยนรูป  $\text{H}^+$  ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบถึง 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า และขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดการรั่ว (Leakage) ของไอออนที่ต้องการกำจัดออก

### เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Resin)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าที่ของเรซินแบบด่างแก่คือใช้ไอออนลบของเรซินแลกกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$  และ  $\text{SiO}_2$

เรซินแบบค่างแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินมีความสามารถในการแยกเกลือ
3. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว

เรซินแบบค่างแก่มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำเพียงร้อยละ 18-33 ทำให้สิ้นเปลืองสารรีเจนเนอเรนต์
2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. ในกรณีที่น้ำเสียมีกรดฮิวมิคจากการนำเปื้อนของพืช สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้
4. เรซินเปลี่ยนเป็นค่างอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

**เรซินแบบค่างอ่อน (Weak Basic Resin)**

เรซินแบบค่างอ่อนมีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินแบบนี้จะต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากกลไกการทำงานเป็นลักษณะการดูดซับไม่ใช่การแลกเปลี่ยนประจุเรซินชนิดนี้จะกำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{SiO}_2$  เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นจากการที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน โดยทั่วไปเรซินชนิดนี้มักใช้กำจัด  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$

เรซินแบบค่างอ่อนมีข้อดี คือ

1. ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบร้อยละ 100 ทำให้เปลืองสารเคมีน้อย
2. สารรีเจนเนอเรนต์ อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
3. สามารถทนต่อกรดฮิวมิคได้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูง

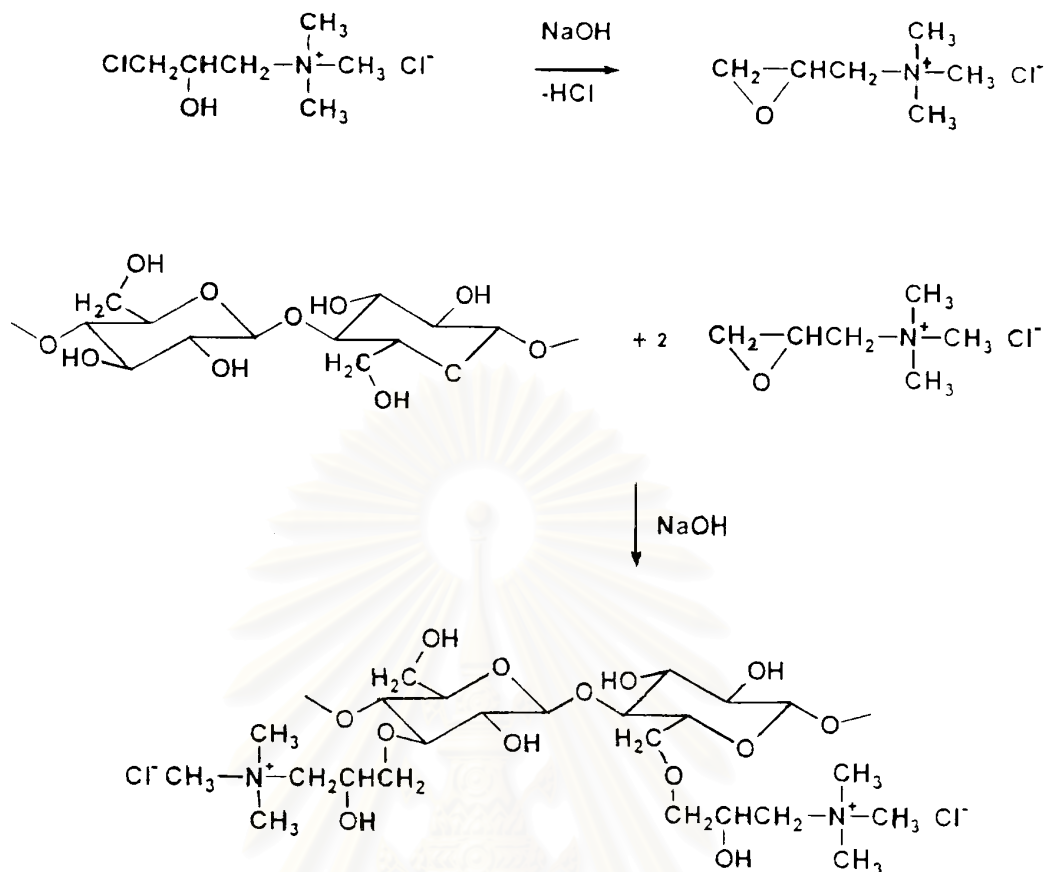
เรซินแบบค่างอ่อนมีข้อเสีย คือ ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้นและมีอัตราในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ

### 2.3.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเช่นเดียวกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็นไฮโดรฟิลิกแต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็นไฮโดรโฟบิก เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ฟังก์ชันอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่าย

การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนจากวัสดุธรรมชาติสามารถทำได้โดยการปรับสภาพด้วยสารเคมี สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ได้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนแตกต่างกันไปตามสารเคมีที่ใช้ การทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสเป็นการสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีหนึ่ง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือการทำควอเทอร์ไนซ์โดยใช้สาร CHMAC เพื่อไปจับกับเซลลูโลสกลายเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ จากนั้นคือขั้นตอนการทำครอสส์ลิงก์เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึดโครงสร้างของเรซินได้ดีขึ้นโดยใช้สารอีพิกโลโรไฮดรินแล้วทำให้อยู่ในรูปของคลอไรด์โดยกรดไฮโดรคลอริก ควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ได้จะเป็นเรซินแบบต่างแก่ ซึ่งจะใช้อิออนลบของตนแลกเปลี่ยนกับอิออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก ปฏิกิริยาที่เกิดในการทำควอเทอร์ไนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการควอเทอร์ไนซ์ (Shi, Xu และ Sun, 1999)

## 2.4 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ปิยนุช นาคพงศ์, 2536; เกศสุชา พูลคำ, 2537)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

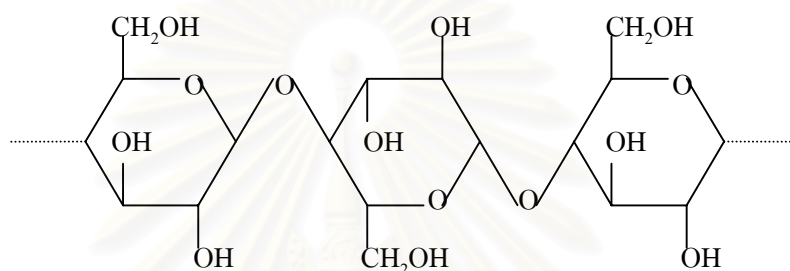
1. ลิกนิน
2. โพลีแซคคาไรด์
  - เซลลูโลส
  - เฮมิเซลลูโลส

ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิด อายุ และส่วนต่างๆของพืช



### 2.4.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อาจเขียนแทนด้วยสูตร  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ซึ่ง  $n$  แทนด้วยจำนวนหน่วย โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นแบบไม่มีกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยโมเลกุลของ D-glucose จำนวนมากเชื่อมกันด้วยพันธะ  $\beta$ -glucoside ดังรูปที่ 2.2 ถ้าไฮโดรไลส์เซลลูโลสเพียงบางส่วนจะได้เซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งเป็นไดแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์อื่นๆ แต่ถ้าไฮโดรไลส์เต็มที่จะได้น้ำตาลกลูโคส



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส (ปิยนุช นาคพงศ์, 2536)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของพืช ตัวอย่างเช่น เนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 50 นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใยเช่น ฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ คุณสมบัติของเซลลูโลสคือ ไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือสารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรด หรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามการละลายในกรดหรือด่างได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. แอลฟาเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์
2. เบตาเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์
3. แกมมาเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

## 2.4.2 เฮมิเซลลูโลส

เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตสที่มีลักษณะเป็น Heterogenous โดยประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดรวมกัน ลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขาแตกต่างจากเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 – 50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ ไซแลน (Xylan) นอกจากนี้ก็ยังมี กลูแคน แมนแนน กาแลกแตน เฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลที่เป็นเพนโตสและเฮกโตส ได้แก่ ไซโลแมนโนส กาแลกโตส อะราบิโนส เฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในด่างและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส

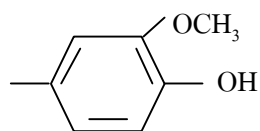
สำหรับไซแลนที่เป็นองค์ประกอบหลักของ เฮมิเซลลูโลสนั้น เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาล ซิลโตสที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา-1,4 xylosidic linkage อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลอย่างเดี่ยวหรือมีกิ่งก้านสาขาที่มีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ ะปนอยู่ เช่น L-arabinofuranose เชื่อมต่อกับ D-xylose ที่มีตำแหน่ง 0-3 และ D-glucuronic acid หรือ 4-0-methyl-glucuronic acid ซึ่งต่อกับ D-Xylose ที่ตำแหน่ง 0-2

## 2.4.3 ลิกนิน

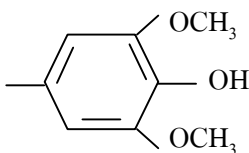
ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogeneous organic polymer จะอยู่ภายในโครงสร้างของพืชโดยอยู่รอบๆเซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่ประกอบไปด้วยหมู่เมทอกซิล (-OCH<sub>3</sub>) หมู่ไฮดรอกซิลและส่วนที่เป็นฟีนอลิก โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

- ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane)
- กัวไออะซิล ยูนิต (Guaiacyl Unit)
- ไซริงกิล ยูนิต (Syringyl Unit)
- พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต (Para-Hydroxyphenyl Unit)

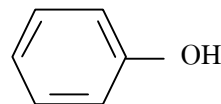
ลักษณะหน่วยย่อยใน โครงสร้างของลิกนินแสดงในรูปที่ 2.3



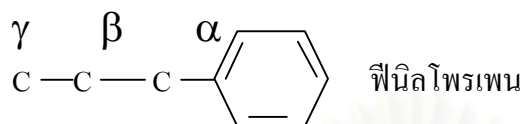
กัวอะซิเตต ยูนิต



ไซรินกิล ยูนิต



พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต



ฟีนิลโพรเพน

รูปที่ 2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน (ปราณี สติรพิพัฒนกุล, 2537)

ลักษณะการจับ (link) ของหน่วยฟีนิลโพรเพน อาจเชื่อมกันที่ตำแหน่ง แอลฟา เบตา หรือแกมมา กับ side chain ของหน่วยอื่นหรือที่ตำแหน่ง 4 และ 5 ของวงแหวนฟีนิลได้รูปร่างเป็นเส้นตรง วงกลม หรือมีกิ่งก้านสาขาได้

## 2.5 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

### 2.5.1 ช้างข้าวโพด (ข้าวโพด, 2544; จันทนา พุทธาธร, 2528)

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย มีผลผลิตรวมในประเทศประมาณ 4.5 ล้านตัน/ปี การปลูกข้าวโพดแบ่งเป็น 2 ฤดูกาลผลิต คือ ต้นฝน (ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม) และปลายฝน (ช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม) โดยในประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกคือ

ภาคเหนือ ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ศรีสะเกษ ชัยภูมิ

ภาคกลาง ได้แก่ สระบุรี ลพบุรี

ภาคตะวันตก ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี

ภาคตะวันออก ได้แก่ สระแก้ว จันทบุรี

## การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด

1. ใช้เป็นอาหารมนุษย์ ได้แก่ การใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นอาหารประจำวันเช่น การทูปเมล็ดให้แตก แล้วหุงต้มรับประทานหรือใช้ในรูปแบบของแป้งข้าวโพด
2. ใช้เป็นอาหารสัตว์ เมล็ดข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าอาหารสูงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ สามารถใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในรูปแบบต่างๆ กันคือ เมล็ด ชัง ต้นสด ต้นแก่ และผลพลอยได้อื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมข้าวโพด ได้แก่ เปลือกเมล็ด กาก และรำ เป็นต้น
3. ใช้ในอุตสาหกรรม แป้งข้าวโพดเป็นแป้งที่มีคุณภาพดีและนิยมใช้เป็นอุตสาหกรรมในการประกอบอาหารในรูปแบบต่างๆ ได้มากมายหลายชนิด สำหรับผลพลอยได้จากเมล็ดข้าวโพด ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหารกระป๋อง อาหารแห้ง น้ำมัน น้ำตาล น้ำเชื่อม แอลกอฮอล์ น้ำส้ม เวชภัณฑ์ น้ำหอม น้ำมันใส่ผม แบตเตอรี่ อุปกรณ์กันความร้อน เครื่องเคลือบ สารแทนทาลัม สารเคมี สารระเบิด อุตสาหกรรมกระดาษแผ่นใยอัดแน่น

ข้าวโพดเมื่อนำมาแปรรูปแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งคือชังข้าวโพดซึ่งมีปริมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิต ซึ่งชังข้าวโพดจัดว่าเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมไม้อัด การผลิตคอนกรีตเบา การทำน้ำยาขัดผิวโลหะ ใช้ทำจุกก๊อก ก่อสร้างเสาและวัตถุฉนวนไฟฟ้า ใช้ทำถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิง ใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตยาเกี่ยวกับโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อแบคทีเรีย การทำแป้งฝุ่น โรยตัว ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไซลิทอลซึ่งเป็นสารให้ความหวานสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์พูรีล ใช้ผสมเป็นอาหารสัตว์สำหรับสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง เช่น โค กระบือ หมักเป็นอาหารของยีสต์ หรือใช้ผสมทำปุ๋ย เป็นต้น นอกจากนี้ในตำรับยาโบราณยังใช้ชังข้าวโพดเป็นยาแก้พิษขางสำหรับเด็กด้วย

### 2.5.2 เปลือกถั่วเหลือง (กัลยา รัตนถาวร, 2541; ถั่วเหลือง, 2544)

ในประเทศไทยมีผลผลิตถั่วเหลืองประมาณ 5.8 แสนตัน/ปี โดยแหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย จากสถิติการเกษตร ปี 2544/45 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1,030,549 ไร่หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 17.31, 11.73 และ 1.3 ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองแบ่งเป็น 3 ฤดูการผลิต คือ

1. ต้นฤดูฝน (ช่วงเดือนเมษายน - พฤษภาคม) และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม จังหวัดที่ปลูกถั่วเหลืองในช่วงดังกล่าว ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือตอนล่าง เช่น สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร เป็นต้น
2. กลางฤดูฝน (ช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม) และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคม - พฤศจิกายน จังหวัดที่ปลูกถั่วเหลืองในช่วงดังกล่าวมาก ได้แก่ สระแก้ว ลพบุรี อุทัยธานี นครสวรรค์ เป็นต้น
3. ฤดูแล้ง (ช่วงเดือนธันวาคม - มกราคม) และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคม - เมษายน เป็นการปลูกในนาข้าวหลังเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว ให้ผลผลิตสูง จังหวัดที่เป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ กำแพงเพชร สุโขทัย ชัยภูมิ พิษณุโลก ขอนแก่น เป็นต้น

### การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง

1. ใช้เป็นอาหารมนุษย์ เมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 40 นำมาประกอบเป็นอาหารได้หลายชนิด เช่น ฝักสดใช้ต้มรับประทานเป็นถั้วแระซึ่งมีขายทั่วไป ส่วนเมล็ดที่แก่แล้วใช้แปรรูปเป็นอาหาร เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว เนื้อเทียม (เนื้อเกษตร) และทำนมถั่วเหลือง เป็นต้น
2. ใช้เป็นอาหารสัตว์ เมล็ดที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้วใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี
3. ใช้ในอุตสาหกรรม เมล็ดถั่วเหลืองสามารถนำมาสกัดเอาน้ำมัน สำหรับประกอบอาหารแทนน้ำมันสัตว์ได้ น้ำมันถั่วเหลืองใช้ในอุตสาหกรรมทำเนยเทียม สบู่ ฝ้าน้ำมัน หมักพิมพ์ และอุตสาหกรรมยาปฏิชีวนะต่างๆ แป้งถั่วเหลืองซึ่งทำการกากถั่วเหลืองอาจใช้ผสมกับแป้งข้าวสาลี ใช้ทำงานต่างๆ ได้หลายชนิด เป็นการเพิ่มโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์ดีกว่าการใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว

เปลือกถั่วเหลืองมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักของเมล็ดถั่วเหลือง หลังการแปรรูป ถั่วเหลืองจะได้เปลือกถั่วเหลืองปริมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิต ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเปลือกถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง และใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ดฟางและการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

### 2.5.3 ก้านทานตะวัน (ศรีสุดา เศษะสาน และพัฒนา นรมาศ, 2541)

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทานตะวัน ประมาณ 300,000 ไร่ มีผลผลิต 45,900 ตันต่อปี การปลูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ปลายฤดูฝน (ช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน) กลางฤดูฝน (ช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม) และฤดูแล้ง (ช่วงเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) โดยมีแหล่งเพาะปลูก คือ

ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดลพบุรี สระบุรี

ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ เพชรบูรณ์ อุทัยธานี พะเยา ตาก เชียงราย เชียงใหม่ แพร่ น่าน

ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว ปราจีนบุรี จันทบุรี

ภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี ราชบุรี

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ศรีสะเกษ หนองบัวลำภู ขอนแก่น

#### การใช้ประโยชน์จากทานตะวัน

1. เมล็ด ใช้บริโภคโดยตรง เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ได้ในเมล็ดมีธาตุเหล็กสูงไม่แพ้ธาตุเหล็กจากไข่แดงและตับสัตว์เมื่อบดทำแป้งจะได้แป้งสีขาว มีไขมันสูง มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณแป้ง
2. เปลือกของลำต้น มีลักษณะเหมือนเยื่อไม้ นำมาทำกระดาษสีขาวได้คุณภาพดี ลำต้นใช้ทำเชื้อเพลิงได้ เมื่อโลกจะเป็นปฏิกิริยาเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ดี
3. ราก ใช้ทำแป้งเค้ก สปาเก็ตตี้ ในรากมีวิตามินบี 1 และธาตุอีกหลายชนิด แพทย์แนะนำให้ใช้รากทานตะวันประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน
4. น้ำมัน น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดจะให้ปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 35 และได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเช่น กรดลิโนเลอิก หรือกรดลิโนเลนิก สูงถึงร้อยละ 60-70 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดคอเลสเตอรอลที่เป็นสาเหตุของโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ และยังประกอบด้วยวิตามิน เอ ดี อี และเค ซึ่งคุณภาพของวิตามินอีจะสูงกว่าในน้ำมันพืชอื่น ๆ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะไม่เกิดกลิ่นหืน ทั้งยังทำให้สีกลิ่น และรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากใช้เป็นน้ำมันพืชแล้วยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรม ทำเนยเทียม สี น้ำมันชักเงา สบู่ และน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์



5. กาก กากที่ได้จากการสกัดน้ำมันออกแล้ว จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้ ในกากเมล็ดทานตะวันที่จะเพาะเปลือกและบีบน้ำมันออกแล้ว จะมีโปรตีนร้อยละ 42 และใช้เป็นแหล่งแคลเซียมสำหรับปศุสัตว์ได้ดี แต่จะมีปริมาณกรดอะมิโนอยู่เล็กน้อยและขาดไลซีน จึงต้องใช้อย่างรอบคอบ เมื่อจะเอาไปผสมเป็นอาหารสัตว์ที่มีใช้สัตว์เคี้ยวเอื้อง

ปัจจุบันยังไม่พบว่ามีกานำกานทานตะวันไปใช้ประโยชน์อื่น นอกเหนือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิง และการโลกบเป็นปุ๋ยหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นที่นิยมนอย่างมากในประเทศที่มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เพราะนอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะแล้วยังเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย จึงมีผู้คิดค้น ศึกษาวิจัยและพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ในด้านที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียก็เช่นกัน

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ พบว่า มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดมาทดลองใช้ในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่มีสารละลายสีปนเปื้อนอยู่ อาทิเช่น ขี้เถ้า ชี้เถ้า แกลบข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน เป็นต้น

**Poots และคณะ, 1976** ศึกษาการกำจัดสีย้อมแอสซิดโดยใช้ไม้และพีท (Peat) ที่ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปอบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นตัวดูดซับสี ผลการศึกษาพบว่าไม้และพีทสามารถกำจัดสีย้อมแอสซิดได้เป็นอย่างดี โดยพีทมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าไม้ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดสามารถใช้แทนถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาและกระตุ้นเหมือนถ่านกัมมันต์ เพียงอบให้แห้งก็นำไปใช้งานได้ แต่ไม้และพีทจะใช้เวลาสัมผัสก่อนเข้าถึงจุดสมดุลนานพอสมควร โดยพีทจะใช้เวลาสัมผัสประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนไม้จะใช้เวลาสัมผัสสูงถึง 6 ชั่วโมง จึงจะเข้าสู่สมดุล

**Asfour และคณะ, 1985** ทำการวิจัยโดยใช้ขี้เถ้าไม้เนื้อแข็งที่มีความชื้น 13 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวดูดซับสีของสารละลายเจือจางของสีย้อม การทดลองทำเป็นแบตช์ (Batch) โดยใช้สารละลายสี Astrazone Blue (Basic Blue FRR69) ศึกษาผลของการกวน อุณหภูมิ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี และขนาดของอนุภาคขี้เถ้า ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสี ได้ผลดังตาราง 3.1 จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีของขี้เถ้าในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงถึงร้อยละ 85 ที่เวลาสัมผัส 100 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ขี้เถ้าไม้เนื้อแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200-500 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.1 ความสามารถในการดูดซับสีของซีลื้อยไม้เนื้อแข็ง

ความเร็วรอบในการกวาด (รอบต่อนาที)	100	200	400	800
ความสามารถในการดูดซับสี (มิลลิกรัมสีต่อกรัมซีลื้อย)	40	48	55	65
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	100	150	200	250
ความสามารถในการดูดซับสี (มิลลิกรัมสีต่อกรัมซีลื้อย)	42	48	58	65
ขนาดของอนุภาค (นาโนเมตร)	63-125	125-250	250-500	500-1000
ความสามารถในการดูดซับสี (มิลลิกรัมสีต่อกรัมซีลื้อย)	75	60	57	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25	40	60	80
ความสามารถในการดูดซับสี (มิลลิกรัมสีต่อกรัมซีลื้อย)	60	70	75	85

ที่มา: Asfour และคณะ, 1985

**McKay, El-Geundi และ Nassar, 1987** ทดลองใช้ชานอ้อยกำจัดสีย้อมเบสิกและสีย้อมแอสซิดอย่างละ 2 โทนสีคือ สีน้ำเงิน และสีแดง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิสีย้อมและขนาดโพรงชานอ้อยที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ ผลการทดลองพบว่าชานอ้อยมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกได้สูงสุดเท่ากับ 158 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Basic Blue 69 และ 77 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อย สำหรับสี Basic Red 22 แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอสซิดได้ต่ำกว่า คือเท่ากับ 23 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Acid Red 114 และ 22 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Acid Blue 25 ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นพบว่าเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของไอออนขนาดใหญ่ในสีย้อม ทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงขึ้น

**McKay, Ramprasad และ Mow-Li, 1987** ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับสีราคาถูก 6 ชนิด คือ เปลือกไม้สัก แกลบข้าว เศษฝ้าย ถ่าน เส้นผม และเบนโทไนท์ ผลการทดลองพบว่าเบนโทไนท์เกิดพันธะที่แข็งแรงในการดูดซับสีย้อมทำให้การรีเจนเนอเรตเป็นไปได้ยาก ส่วนแกลบข้าว เปลือกไม้สักเศษฝ้าย และเส้นผม สามารถดูดซับสีได้กับสีย้อมเบสิกเท่านั้น ทั้งยังเกิดการแลกเปลี่ยนประจุและพันธะเคมีในขณะที่มีการดูดซับสีอีกด้วย

**El-Geundi, 1991** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิก 2 สี คือ Astrazon Blue และ Maxilon Red และสีย้อมแอซิด 2 สี คือ Telon Blue และ Erionyl Red โดยใช้ซังข้าวโพดป่น ทำการทดลองโดยแปรค่าความเร็วในการกวน ขนาดอนุภาค และปริมาณของซังข้าวโพดป่น ผลการทดลองพบว่าซังข้าวโพดป่นสามารถดูดซับสีย้อมเบสิกได้ดีคือเท่ากับ 160 และ 94.5 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Astrazon Blue และ Maxilon Red ตามลำดับ แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอซิดได้ดีกว่าคือเท่ากับ 47.7 และ 41.4 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Erionyl Red และ Telon Blue ตามลำดับ การเพิ่มความเร็วในการกวนและปริมาณของวัสดุสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับและการลดขนาดซังข้าวโพดป่นจะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเบสิกสูงกว่าสีย้อมแอซิด เนื่องจากซังข้าวโพดมีเซลลูโลสประกอบเป็นโครงสร้าง และเมื่อเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำจะให้ประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับสีย้อมประจุบวกได้

**Nassar และ El-Geundi, 1991** ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมด้วยตัวดูดซับที่มาจากธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวดูดซับ คือ ดินเหนียว ฆานอ้อย และซังข้าวโพด เปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ สีที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Telon Blue ANL (สีย้อมแอซิด ;  $\lambda_{\max} = 600$  นาโนเมตร), Maxilon Red BL-N (สีย้อมเบสิก ;  $\lambda_{\max} = 535$  นาโนเมตร) และ Astrazone Blue FRA (สีย้อมเบสิก ;  $\lambda_{\max} = 585$  นาโนเมตร) การทดลองทำเป็นแบตช์ โดยใช้ตัวดูดซับที่มีปริมาณเท่ากันในแต่ละแบตช์ แล้วแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายสี ที่อุณหภูมิ 23 –27 องศาเซลเซียสศึกษาค่าใช้จ่ายของวัสดุแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับเท่ากันได้ผลดังตารางที่ 3.2

**Meyer, Carlsson และ Oellermann, 1992** ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติมาเป็นตัวดูดซับ วัสดุที่ใช้ได้แก่ ถ่านหินบาร์บีคิว (Barbecue Charcoal) พีชเส้นใย (Vermiculite) จีเลี่ย ซังข้าวโพด ทราย ผักเน่า (Peatmoss) และเปลือกข้าว พบว่าวัสดุทุกชนิดสามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 50 แต่วัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ถ่านหินบาร์บีคิวและเปลือกข้าว มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึงร้อยละ 67 และร้อยละ 65 ตามลำดับ จากผลการทดลองเบื้องต้นได้นำถ่านหินบาร์บีคิวมาทดลองหาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บีคิวโดยแปรค่าพีเอชจาก 4 ถึง 9 พบว่าในช่วงพีเอชระหว่าง 5 ถึง 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บีคิวค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบชั้นตรึง (Fixed-bed Reactor) เพื่อบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับของถ่านหินบาร์บีคิวโดยให้น้ำไหลจากบนลงล่าง และมีเวลากักน้ำเท่ากับ 1.6 ชั่วโมง พบว่าถ่านหินจะอิ่มตัวเต็มที่เมื่อวันที่ 25 ของการทดลองโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82

ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์

สารละลายสี	ตัวดูดซับ	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์
Maxilon Red	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	ดินเหนียว	0.024
	ซังข้าวโพด	0.083
	ชานอ้อย	0.103
Astrazone Blue	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	ดินเหนียว	0.017
	ซังข้าวโพด	0.039
	ชานอ้อย	0.041
Telon Blue	ผงถ่านกัมมันต์	1.000
	ดินเหนียว	0.030
	ซังข้าวโพด	0.029
	ชานอ้อย	0.052

ที่มา: Nassar และ El-Geundi, 1991

**Laszlo และ Dintzis, 1994** ทำการวิจัยปรับปรุงเสถียรภาพทางกายภาพ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อย ด้วยการสร้างครอสต์ลิงก์โดยใช้สารอีพิกลอโรไฮดริน ทดสอบเสถียรภาพของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมี 3 วิธี คือ NDF Treatment (Natural Detergent Fiber Treatment) Soxhlet Treatment และ Sodiumborate buffer Treatment พบว่าเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการสร้างครอสต์ลิงก์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ในขณะที่เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ผ่านการสร้างครอสต์ลิงก์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงน้อยมาก (ไม่เกินร้อยละ 1) เมื่อทดสอบด้วยวิธี NDF และ Soxhlet ไม่เกินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Sodiumborate buffer พบว่าเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ผ่านการบำบัดด้วยอีพิกลอโรไฮดรินจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.9 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 1.3 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมของการทำปฏิกิริยากับสารอีพิกลอโรไฮดรินเท่ากับ 4-6 ชั่วโมง

**Laszlo, 1995** ศึกษาเกี่ยวกับผลของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในการกำจัดสีข้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dye: Remazol Brilliant Red F3B) โดยใช้ควอเทอร์นารีในซ์เซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; QA52) พบว่าควอเทอร์นารีในซ์เซลลูโลสสามารถกำจัดสีข้อมรีแอคทีฟได้แม้ในสภาพที่มีสารอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นสูง และยังพบว่าควอเทอร์นารีในซ์เซลลูโลสสามารถทำการฟื้นฟูสภาพด้วยล้างแก่ได้ ซึ่งประหยัดกว่าการใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนแบบอื่นในการกำจัดสีจากน้ำทิ้ง

**Mehna, Bajpai และ Bajpai, 1995** ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อกระดาษ โดยใช้เชื้อรา *Trametes Versicolor* Strain B7 ร่วมกับผลผลิตทางการเกษตรและสารอื่นๆ คือ กลูโคส เอทานอล คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส และซานอ้อย ผลการทดลองสรุปได้ว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยเชื้อราชนิดนี้คือ 4.5-5.0 และอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสในการทดลองใช้ความเข้มข้นสีเท่ากับ 18,500 หน่วย สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 92 และกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 69

**Laszlo, 1996** ทำการวิจัยโดยใช้ซานอ้อยกำจัดสีรีแอคทีฟ (Remazol Brilliant Red F3B) จากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยนำซานอ้อยที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีในซ์และครอสส์ลิงค์ด้วยสาร CHMAC และสารอีพิกลอโรไฮดรินเป็นเรซินที่ใช้ในการกำจัดสีเปรียบเทียบกับควอเทอร์นารีในซ์เซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; Quarternary ammonium Cellulose: QA52) โดยทำการทดลองแบบแบดจ์ ผลการทดลองพบว่าซานอ้อยที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีในซ์และครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการกำจัดสีในสถานะที่เป็นเบสได้ดีกว่าควอเทอร์นารีในซ์เซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด โดยพบว่าในสารละลายที่มีความเป็นเบสมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีของซานอ้อยที่ผ่านการควอเทอร์นารีในซ์และครอสส์ลิงค์ลดลงจากร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 25 ส่วน QA52 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงจากร้อยละ 70 เป็นร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่สุด คือ กำจัดได้ร้อยละ 95 ภายในเวลา 5-15 นาที ควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

**Ahmedna และคณะ, 1997** ศึกษาการกำจัดสีของน้ำตาลดิบ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากแกลบ ฟางข้าว เปลือกถั่วเหลือง และ Pecan Shells ที่สภาวะการเผากระตุ้นแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า ฟางข้าวและแกลบให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงสุดประมาณร้อยละ 60 และเปลือกถั่วเหลืองให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ต่ำสุดคือ ต่ำกว่าร้อยละ 20



**Sun และ Xu, 1997** ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีเบสิก 2 สี คือ Methylene Blue และ Basic Red 9 และสีไคเรกท์ 2 สี คือ Direct Blue และ Congo Red ของก้านทานตะวัน ทำการทดลองโดยแปรค่าความเข้มข้นของสี ขนาดอนุภาคของวัสดุ และส่วนต่างๆ ของก้านทานตะวัน จากการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสีเบสิกทั้ง 2 สีสูงมาก คือเท่ากับ 205 และ 317 มิลลิกรัมต่อกรัม ของสี Methylene Blue และ Basic Red 9 ต่อวัสดุ ตามลำดับ สำหรับสีไคเรกท์มีความสามารถในการดูดซับสีเท่ากับ 26.8 และ 37.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ของสี Direct Blue และ Congo Red ตามลำดับ และที่แก่นของก้านซึ่งเป็นส่วนที่นุ่มและมีรูพรุน จะมีความสามารถในการดูดซับสีเป็น 2 เท่าของเปลือก นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กจะมีความสามารถในการดูดซับสีมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

**Pendyal และคณะ, 1999** ศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ ฟางข้าว และชานอ้อย ผลการทดลองพบว่าชานอ้อยสามารถกำจัดสีได้ดีที่สุดประมาณร้อยละ 42.6 รองลงมาคือแกลบและฟางข้าว (ร้อยละ 30.5 และร้อยละ 24.1 ตามลำดับ)

**Shi และคณะ, 1999** ได้นำก้านทานตะวันมาพัฒนาความสามารถในการดูดซับสีโดยปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยหมู่ quaternary ammonium ถูกทำปฏิกิริยาทางเคมีให้ยึดติดกับก้านทานตะวันเพื่อให้สามารถดูดซับสีประจุลบในน้ำเสีย ทำการทดลองกับสารละลายสีเบสิก (ประจุบวก) 2 สี ได้แก่ Methylene Blue และ Basic Red 9 และ สีไคเรกท์ (ประจุลบ) 2 สี ได้แก่ Congo Red และ Direct Blue 71 แล้วใช้สมมูลไอโซเทอร์มและไคเนติกแอดซอร์พชัน (Kinetic Adsorption) ในการหาค่าการดูดซับสี ซึ่งก่อนทำการปรับสภาพก้านทานตะวันมีความสามารถในการดูดซับสีไคเรกท์ต่ำแต่ดูดซับสีได้ดีกับสีเบสิก ซึ่งหลังการปรับสภาพก้านทานตะวันแล้วพบว่ามีความสามารถในการดูดซับสีไคเรกท์สูงขึ้นแต่จะทำให้การดูดซับสีเบสิกลดลง

**Valencia และคณะ, 1999** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิกและรีแอกทีฟ อย่างละ 2 โทนสี คือ สีน้ำเงินและสีแดง โดยใช้ Corn Fiber เป็นตัวดูดซับสี สีย้อมที่ใช้ได้แก่ สี Basic Blue 54 (BB54) Basic Red 46 (BR46) Reactive Blue 52 (RB52) และ Reactive Red 120 (RR120) ศึกษาผลของอุณหภูมิและพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสี ผลการทดลองพบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าพีเอชคงที่เท่ากับ 5.0 ความสามารถในการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อให้อุณหภูมิคงที่ 28 องศาเซลเซียสความสามารถในการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น โดย Corn Fiber สามารถดูดซับสีย้อมเบสิกได้ดีกว่าสีย้อมรีแอกทีฟ และดูดซับสีน้ำเงินได้ดีกว่าสีแดง

**Ahmedna, Marshall และ Rao, 2000a** ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย และ Pecan Shells ที่สภาวะการเผากระตุ้นต่างๆ และทดสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์โดยการดูดซับสีของน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากชานอ้อยที่ใช้ Corn Syrup เป็นสารปรุงแต่ง ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงสุดประมาณร้อยละ 17

**Ahmedna, Marshall และ Rao, 2000b** ศึกษาลักษณะพื้นผิวและประสิทธิภาพการลดสีของน้ำตาลดิบจากโรงงานน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากชานอ้อยที่มี Corn Syrup และ Coal Tar เป็นสารปรุงแต่ง ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการลดสีของน้ำตาลควรมีพื้นที่ผิวและมีสัดส่วนของรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่ที่เหมาะสมและมีประจุที่ผิวตรงข้ามกับสารถูกดูดซับ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของคาร์บอนในการดูดซับสีของน้ำตาลจะลดลงเมื่อเพิ่มประจุลบที่ผิวถ่านกัมมันต์และประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มสูงสุดเมื่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้ไม่มีประจุลบ แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลเป็นน้ำเสียที่มีประจุลบ

**Winai Somboon, Vanida Bhavakul และ Suntud Siriananpibool, 2000** ศึกษาศักยภาพของการใช้ผงผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็กเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ โดยทดสอบกับสีโคเรทท์ 2 ชนิด (Sirius Blue KGRLN และ Sirius Blue FBGLN) พบว่าทั้งผงผักตบชวาสามารถดูดซับสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ โดยสามารถดูดซับสี Sirius Blue KGRLN ได้ดีกว่าสี Sirius Blue FBGLN 2.9 เท่า และสามารถดูดซับสี Sirius Blue KGRLN ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ 3.2 เท่า

**ชลธา ไกรวัตนุสสรณ์, ลัดดา ยาวีรชน และศักดิ์จิตรรา ตันสมบุรณ์, 2538** ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยและศึกษาผลของความชื้นที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านให้ได้ถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือร้อยละ 54.4 ซึ่งจะให้ผลการดูดซับสีจากน้ำตาลได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.4

**สัตยชวัล อิงภากย์, 2539** ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดสีโอดีและสีจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดซับสีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และแกลบ พบว่าถ่านไม้และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดซับสีโอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมโดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดสีโอดีและสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78-97 และร้อยละ 37-96 ตามลำดับ และที่ความสูง

ของถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร อัตราการระบายรทุกทางน้ำ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้ความสามารถในการลดซีไอดีและสีสูงสุด

**วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อยุธยา, 2540** ศึกษาการกำจัดสีไคเรกต์ด้วยผงฟักตบชวา โดยสีไคเรกต์ที่ใช้ได้แก่ สี Sirius Red F3B, Sirius Red Violet RL, Sirius Blue S-BRR และ Sirius Orange K-CF โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่าผงฟักตบชวาจะดูดซับสีไคเรกต์ทุกชนิดได้อย่างรวดเร็ว โดยจะใช้เวลาถึงจุดสมดุลน้อยกว่า 40 นาที และจะมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงประมาณร้อยละ 90 และสามารถบำบัดสีได้ดีในช่วงพีเอช 6-10 นอกจากนี้การฟื้นฟูสภาพของผงฟักตบชวาสามารถทำได้ง่าย โดยแช่ผงฟักตบชวาในสารละลายเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 11.0 แต่การฟื้นฟูสภาพนั้นไม่คุ้มค่า เนื่องจากผงฟักตบชวามีราคาถูก และการล้างสีออกมาได้น้อย จึงไม่เหมาะต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

**จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542** ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไคเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์ม ทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เรซินที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 4 ในขณะที่ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์ไนซ์และสารสร้างโครอสต์ลิงก์มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 95 – 99

**บุญฤทธิ ปัญญาภิญโญผล, 2543** ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน ทำการทดลองแบบแบตช์กับสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไคเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 23.35 ในขณะที่ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน

ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสส์ลิงก์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์และสีรีแอกทีฟร้อยละ 30.74-100 และร้อยละ 97.31-100 ตามลำดับ

**นัฐพล แสนสวาท และคณะ, 2544** ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue และ Navy Blue 171 ของชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่าวัสดุควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์มากโดยควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ชานอ้อย เปลือกถั่วเหลือง และถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue เป็นร้อยละ 91 ร้อยละ 91 และร้อยละ 5 และประสิทธิภาพในการกำจัดสี Navy Blue 171 เป็นร้อยละ 63 ร้อยละ 79 และร้อยละ 4 ตามลำดับ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองสำหรับสี Remazol Brilliant Blue ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเป็น 286 และ 370 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ และสี Navy Blue 171 เป็น 222 และ 333 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ ตามลำดับ

**รัชนิย์ รุกขชาติ, 2544** ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) สีไคเรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และน้ำเสียจริงของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเฉลี่ยร้อยละ 95.54 โดยวัสดุที่ใช้ได้ดีที่สุดคือ กาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีทั้ง 6 สีเท่ากับ 625 625 625 455 556 และ 455 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงเฉลี่ยร้อยละ 98.65

**ลัดดา ยาวีรชน, 2544** ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) สีไคเรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และน้ำการส่าของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม พบว่าควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อยเหมาะสมในการประยุกต์ใช้มากที่สุด โดยชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีไคเรกท์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.02 ในขณะที่ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 91.54 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสเป็นร้อยละ 13.55 และร้อยละ 75.26 ตามลำดับ

## บทที่ 4

### การดำเนินการวิจัย

#### 4.1 แผนการวิจัย

##### 4.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ

: ชนิดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

: ชนิดของสีย้อม

2. ตัวแปรตาม

: ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

: ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

: การถูกชะล้างได้ของวัสดุ

3. ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่

: ขนาดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

: ความสูงของชั้นวัสดุ

: ขนาดคอลัมน์

: การปรับสภาพวัสดุด้วยวิธีทางเคมี

: ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์

: อัตราการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	พารามิเตอร์
<b>- ตัวแปรอิสระ</b>	
1. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเรซิน	- ชั่งข้าวโพด - เปลือกถั่วเหลือง - ก้านทานตะวัน
2. ชนิดของสีย้อม	- สีย้อมรีแอคทีฟ : Remazol Black B : Remazol Brilliant Red 3BS : Remazol Brilliant Blue R - สีย้อมไดเรกต์ : Best Direct Black B : Sirius Rubine KZBL : Sirius Blue KCFN
<b>- ตัวแปรคงที่</b>	
1. ขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	20-40 เมช (0.425-0.850 มิลลิเมตร)
2. ความสูงของชั้นวัสดุ	20 เซนติเมตร
3. ขนาดคอลัมน์	เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
4. การปรับสภาพวัสดุด้วยวิธีทางเคมี	การทำควอเทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์
5. ความเข้มข้นของน้ำเสียดังเคราะห์	100 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. อัตราการไหลของน้ำเสียดังเคราะห์	10 มิลลิลิตรต่อนาที
<b>- ตัวแปรตาม</b>	
1. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ	- ร้อยละการกำจัดสี
2. ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการกำจัด	- ความเข้มข้นของสารละลายสี - พีเอช
3. การถูกชะล้างได้ของวัสดุ	- ความเข้มข้นของสีในสารชะล้าง



#### 4.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย
  - การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง
  - การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน โดยแบ่งเป็น 2 ชนิดคือชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส
2. การศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุ
3. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ
4. การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ
5. การศึกษาการถูกชะล้างได้ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน ชนิดควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสหลังการกำจัดสี

#### 4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องบดวัสดุ
- เครื่องคัดแยกขนาด
- ตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.425 และ 0.850 มิลลิเมตร (Laboratory Test Sieve Mesh No. 20 และ 40; Endecotts)
- เครื่องชั่งสารเคมี
- เตาอบวัสดุ
- เครื่องวัดพีเอช Horiba รุ่น F-13
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Shimadzu UV-1201 UV-visible Spectrophotometer
- คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
- ชุดควบคุมอัตราการไหล
- ขวดเก็บตัวอย่าง
- เครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator)
- ชุดเครื่องกรอง
- กระดาษกรองใยแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) JEOL รุ่น JSM-5410LV
- เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared: FT-IR) Perkin Elmer รุ่น 1760x

#### 4.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารควอเทอร์ไนซ์ : นอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-chloro-2-hydroxypropyl) trimethylammonium chloride; CHMAC)
- สารสร้างพันธะ : อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin หรือ 1-chloro-2, 3- epoxypropane)
- โซเดียมคลอไรด์
- โซเดียมคาร์บอเนต
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดไฮโดรคลอริก
- กรดซัลฟิวริก
- กรดไนตริก
- สีย้อม : สีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS)  
: สีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL)

#### 4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

##### 4.2.1 การเตรียมวัสดุ (Laszlo, 1996)

1. นำขังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวันมาล้างด้วยน้ำหลายๆครั้ง ตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดและคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 20 และ 40 เพื่อให้ได้ขนาดของวัสดุเท่ากับ 20-40 เมช
2. นำวัสดุที่คัดขนาดแล้วมาแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องแล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ทิ้งไว้ให้แห้ง

##### 4.2.2 การเตรียมควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส (Laszlo, 1996)

นำวัสดุที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีตามข้อ 4.2.1 แล้วมาปรับสภาพด้วยสารเคมีในอัตราส่วนต่อวัสดุ 1 กรัม ดังนี้

1. เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 N ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
2. เดิมสาร CHMAC ความเข้มข้น 4 M ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 N ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร และเติมสารอีพิกโลโรไฮดริน 99 % ปริมาตร 0.234 มิลลิลิตร (3 มิลลิโมล) ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 6 ชั่วโมง
3. เติมน้ำปราศจากไอออน 500 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้เท่ากับ 2.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง กรองและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วทิ้งให้แห้ง

#### 4.2.3 การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

1. วัดค่าสีและพีเอชของสารละลายสีก่อนการทดลอง
2. ใส่วัสดุเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ (จากข้อ 4.2.1) หรือควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส (จากข้อ 4.2.2) ลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ให้ได้ชั้นวัสดุสูง 20 เซนติเมตร แล้วทำการทดลองโดยให้สารละลายสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที
3. เก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุก 3 ชั่วโมง นำมาวัดค่าสีและพีเอช ทำซ้ำจนตัวอย่างน้ำที่เก็บได้มีค่าสีเท่ากับสารละลายสีเริ่มต้น
4. บันทึกผลการทดลองและประมวลผล

#### 4.2.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

นำสารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสและชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพไปศึกษา

1. ลักษณะพื้นผิว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของ JEOL รุ่น JSM-5410LV ที่กำลังขยาย 200 เท่าและ 1,000 เท่า ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) โดยนำวัสดุมาตวงปริมาตร แล้วนำวัสดุที่ทราบปริมาตรนั้นไปชั่งน้ำหนัก

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \text{ปริมาตรวัสดุ} / \text{น้ำหนักของวัสดุ}$$

- ค่าการบวมน้ำ โดยนำวัสดุมาตวงปริมาตร จากนั้นใส่น้ำให้ท่วมวัสดุแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำวัสดุเปียกมาวัดปริมาตรอีกครั้ง

$$\text{ค่าการบวมน้ำ} = \frac{\text{ปริมาตรวัสดุเปียก}}{\text{ปริมาตรวัสดุแห้ง}}$$

#### 4.2.5 การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ

นำวัสดุแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสและชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared: FT-IR) ของ Perkin Elmer รุ่น 1760x ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.6 การศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540)

- นำวัสดุที่ผ่านการศึกษาศามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนแล้วมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 5 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก สัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก แล้วปรับปริมาตรให้อัตราส่วนของสารละลายกรดเป็น 20 เท่าของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
- เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
- กรองสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน
- นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาค่าสีและพีเอช
- บันทึกผลการทดลองและประมวลผล

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 5.1 การศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุ

ในการศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีแบบคอลัมน์ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน (รูปที่ 5.1-5.6) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสารละลายสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรที่มีชั้นวัสดุสูง 20 เซนติเมตร (รูปที่ 5.7) ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิเมตรต่อนาทีและเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุก 3 ชั่วโมงนั้น พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไม่เกินร้อยละ 4.72 (ภาคผนวก ก.) ในขณะที่ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่ามาก (ภาคผนวก ง.) โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีไดเรกต์เทียบกับปริมาตรเบด (Bed Volume; ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์เทียบเท่าปริมาตรวัสดุโดยไม่คิดปริมาตรช่องว่าง) แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 5.8-5.13 ทั้งนี้ 1 ปริมาตรเบดมีค่าเท่ากับ 62.83 มิลลิเมตรหรือเทียบเป็นน้ำหนักแห้งของวัสดุต่อ 1 คอลัมน์ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 น้ำหนักแห้งของสารแลกเปลี่ยนเซลลูโลสต่อ 1 คอลัมน์

วัสดุ	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	
	เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ	ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลส
ซังข้าวโพด	9.14	5.24
เปลือกถั่วเหลือง	8.64	4.99
ก้านทานตะวัน	4.54	6.00





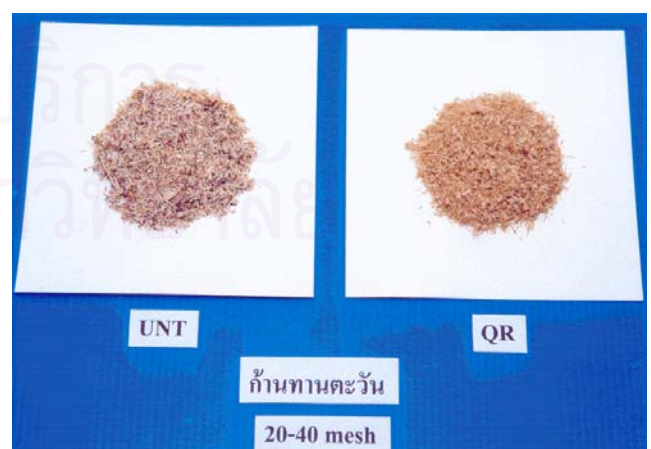
รูปที่ 5.1 ซังข้าวโพด

รูปที่ 5.2 เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและควอเตอร์ไนซ์  
ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมมาจากซังข้าวโพด

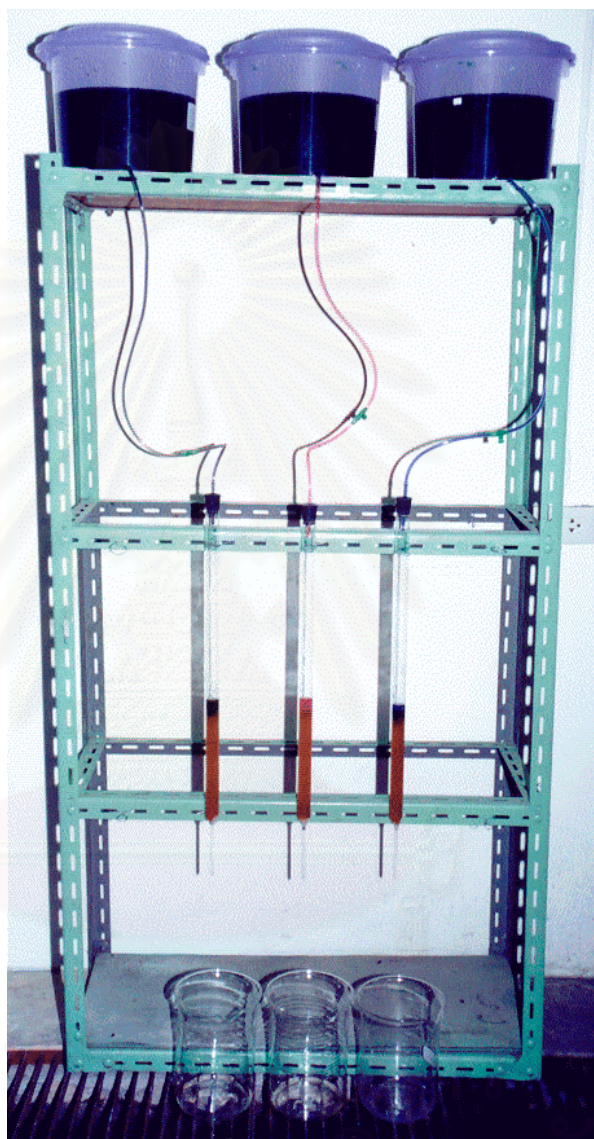
รูปที่ 5.3 เปลือกถั่วเหลือง

รูปที่ 5.4 เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและควอเตอร์ไนซ์  
ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมมาจากเปลือกถั่วเหลือง

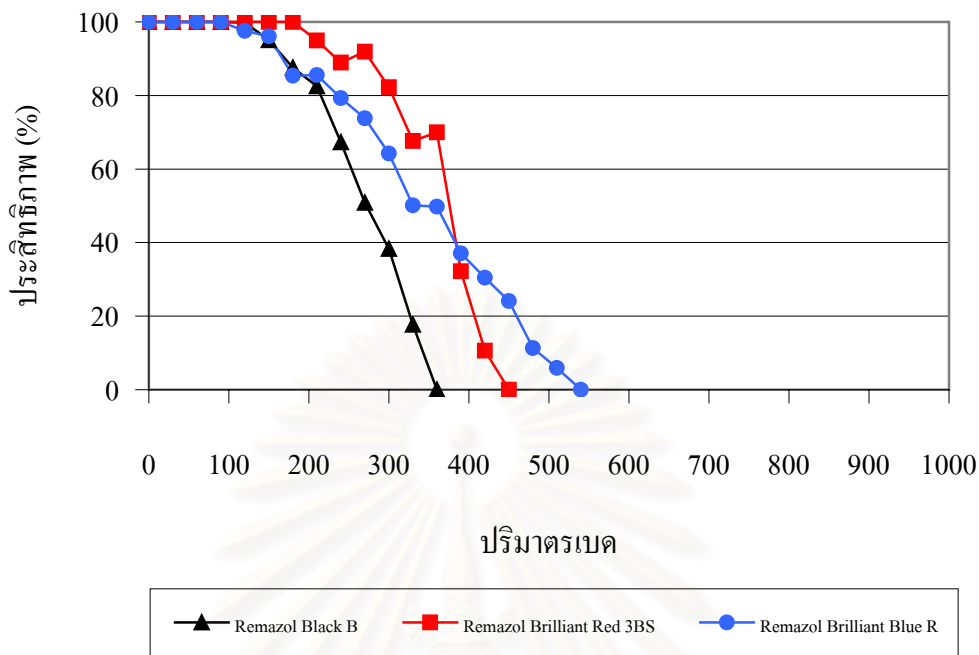
รูปที่ 5.5 ก้านทานตะวัน

รูปที่ 5.6 เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและควอเตอร์ไนซ์  
ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมมาจากก้านทานตะวัน

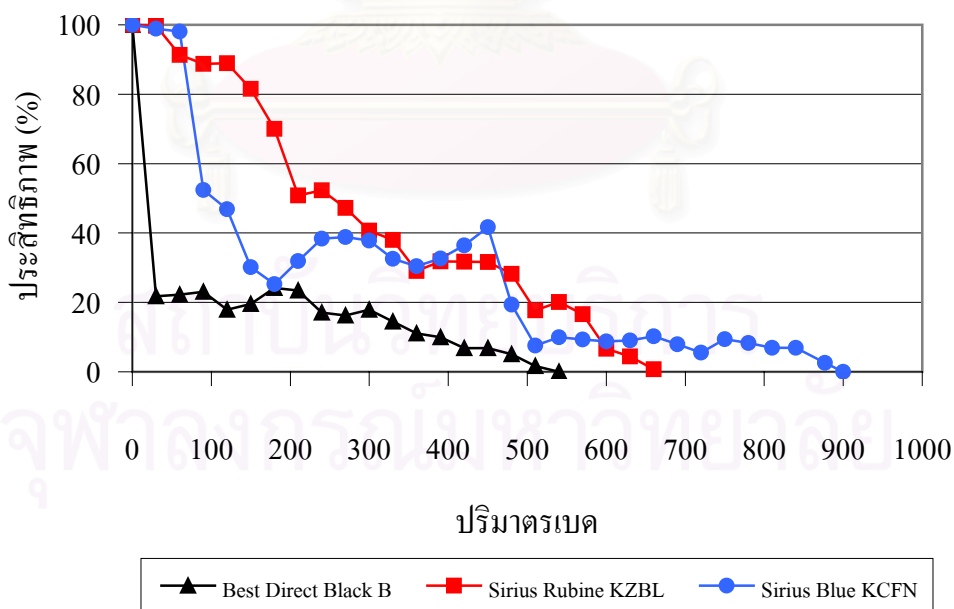




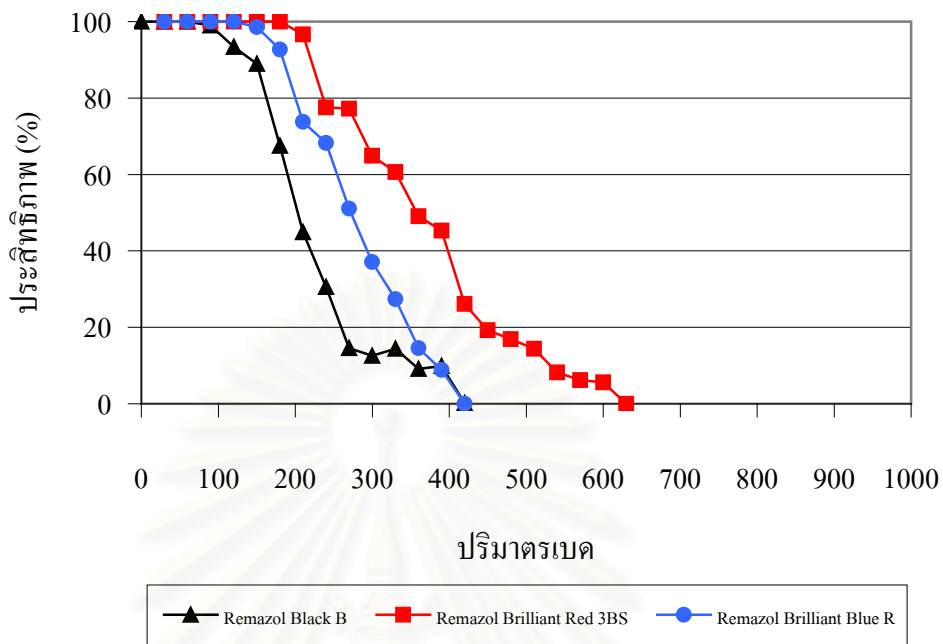
รูปที่ 5.7 คอลัมน์ที่ใช้ในการวิจัย



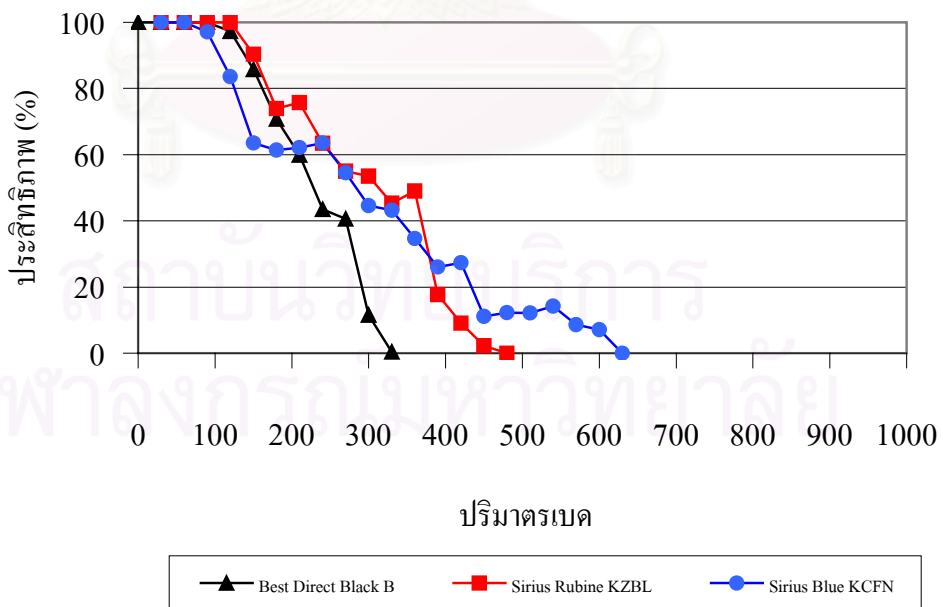
รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากชงข้าวโพด



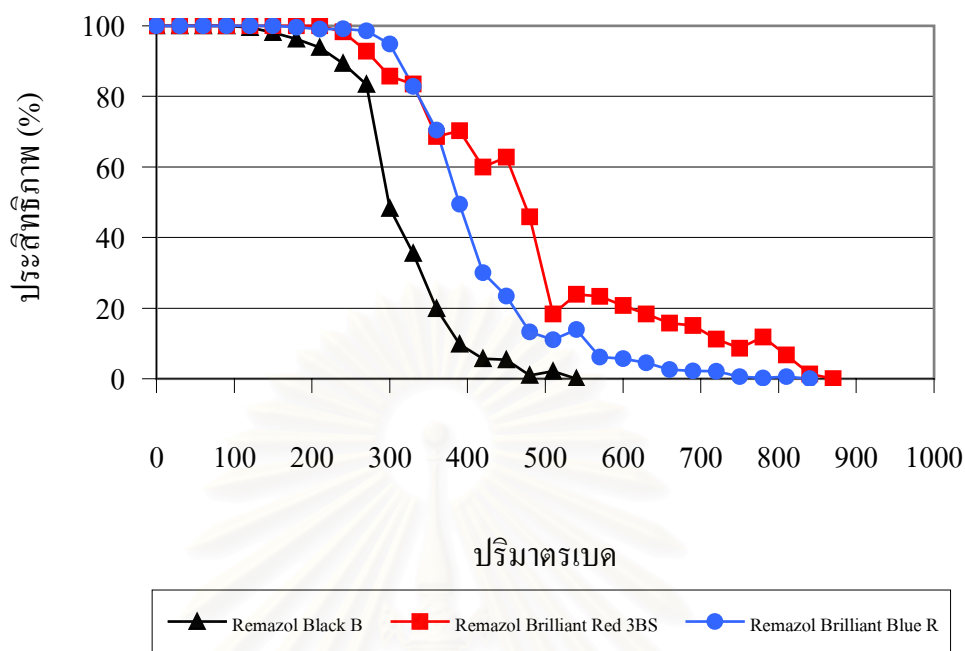
รูปที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์ของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากชงข้าวโพด



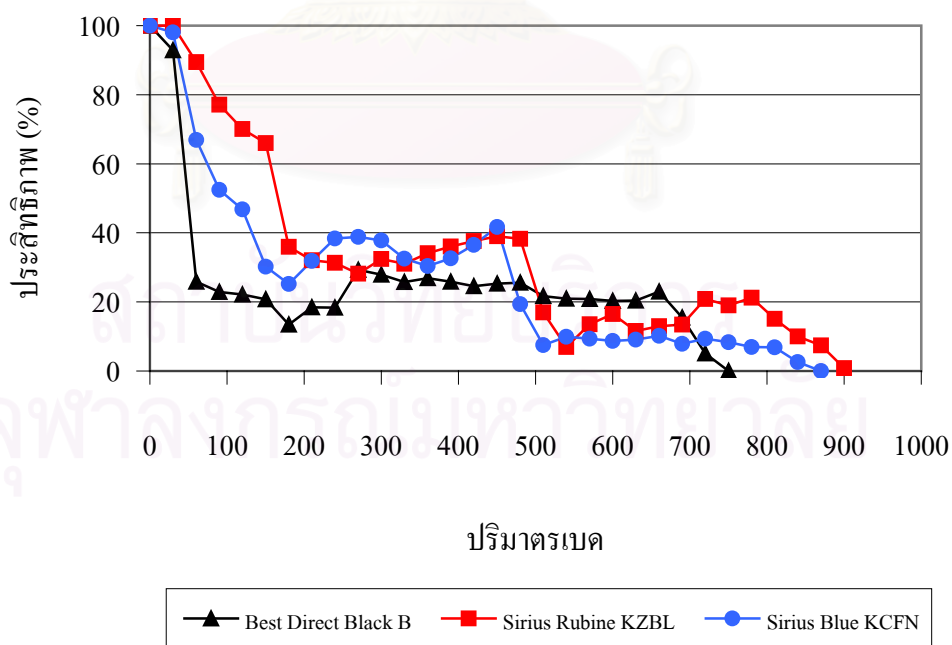
รูปที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง



รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์ของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง



รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของควอเทอร์ไนซ์โครสสดีลิงค์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากก้านทานตะวัน



รูปที่ 5.13 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์ของควอเทอร์ไนซ์โครสสดีลิงค์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

### 5.1.1 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Black B

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Black B ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 2.99 ร้อยละ 1.13 และร้อยละ 4.32 ตามลำดับ สำหรับควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสนั้น ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพด และเปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ (รูปที่ 5.14) โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Remazol Black B ได้ 200.31 ปริมาตรเบด 120.49 ปริมาตรเบด และ 210.15 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 240.18 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ 151.71 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ และ 220.06 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสีเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.20)

### 5.1.2 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 1.90 ร้อยละ 1.49 และร้อยละ 1.52 ตามลำดับ สำหรับควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสนั้น ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและเปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ (รูปที่ 5.15) โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Remazol Brilliant Red 3BS ได้ 234.77 ปริมาตรเบด 214.24 ปริมาตรเบด และ 270.66 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 281.50 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ 269.75 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุและ 283.43 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสี เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.21)

### 5.1.3 ความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ ร้อยละ 0.39 ร้อยละ 1.03 และร้อยละ 0 ตามลำดับ สำหรับควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสนั้น ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและเปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ (รูปที่ 5.16) โดยเมื่อพิจารณาที่ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Remazol Brilliant Blue R ได้ 167.04 ปริมาตรเบด 181.70 ปริมาตรเบด และ 300.40 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 200.29 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ 228.78 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุและ 314.57 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสี เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.22)

### 5.1.4 ความสามารถในการกำจัดสี Best Direct Black B

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Best Direct Black B ของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ ร้อยละ 1.64 ร้อยละ 0.27 และร้อยละ 1.29 ตามลำดับ สำหรับควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส นั้น ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการกำจัด สีที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นก้านทานตะวันและซังข้าวโพดตามลำดับ (รูปที่ 5.17) โดยเมื่อพิจารณาที่ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Best Direct Black B ได้ 26.07 ปริมาตรเบด 122.83 ปริมาตรเบด และ 36.30 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 31.26 มิลลิกรัมสี ต่อกรัมวัสดุ 154.66 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ และ 38.01 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสี เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.23)

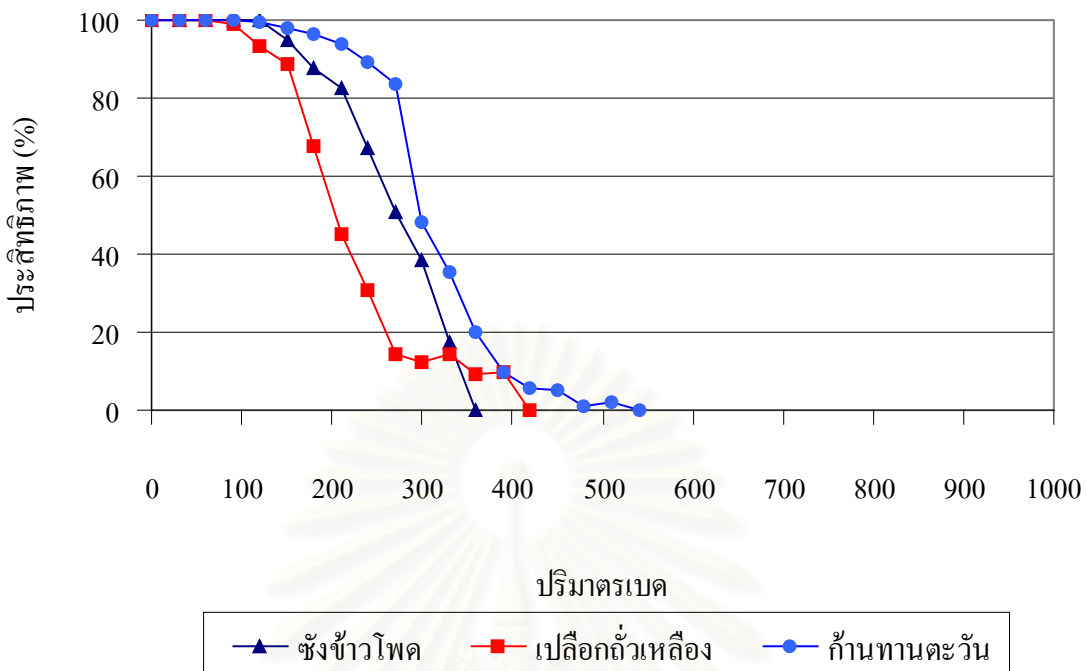


### 5.1.5 ความสามารถในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL

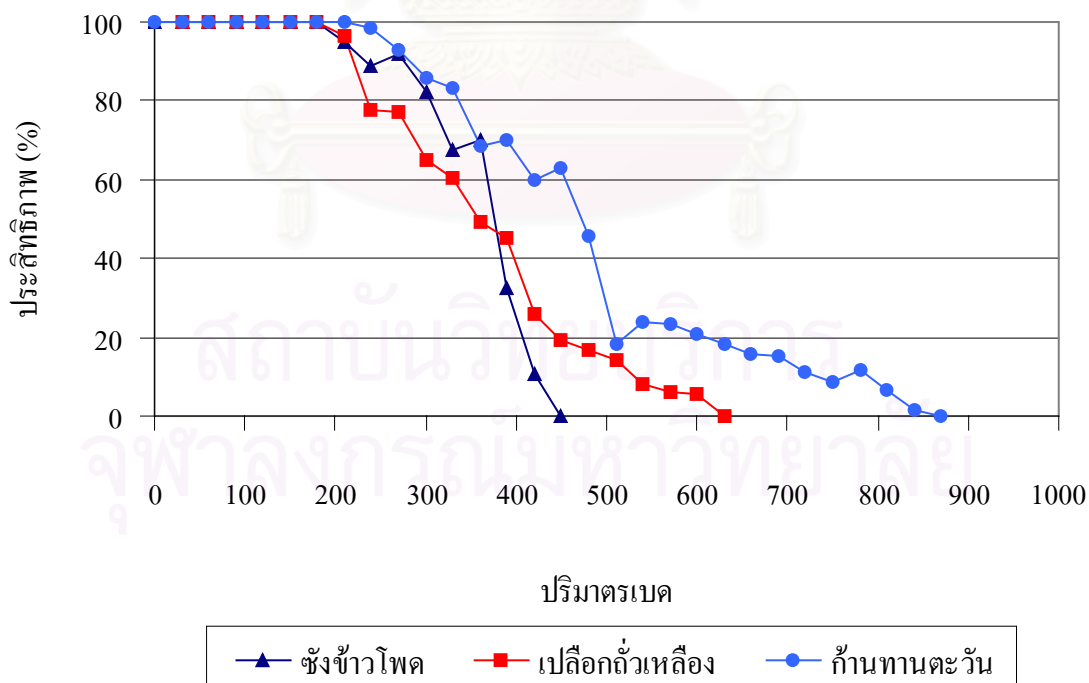
จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 1.58 ร้อยละ 1.09 และร้อยละ 0.39 ตามลำดับ สำหรับควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสนั้น ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและก้านทานตะวันตามลำดับ (รูปที่ 5.18) โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Sirius Rubine KZBL ได้ 60.11 ปริมาตรเบด 150.21 ปริมาตรเบด และ 33.51 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 72.07 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ 189.13 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ และ 35.09 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสี เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.24)

### 5.1.6 ความสามารถในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN

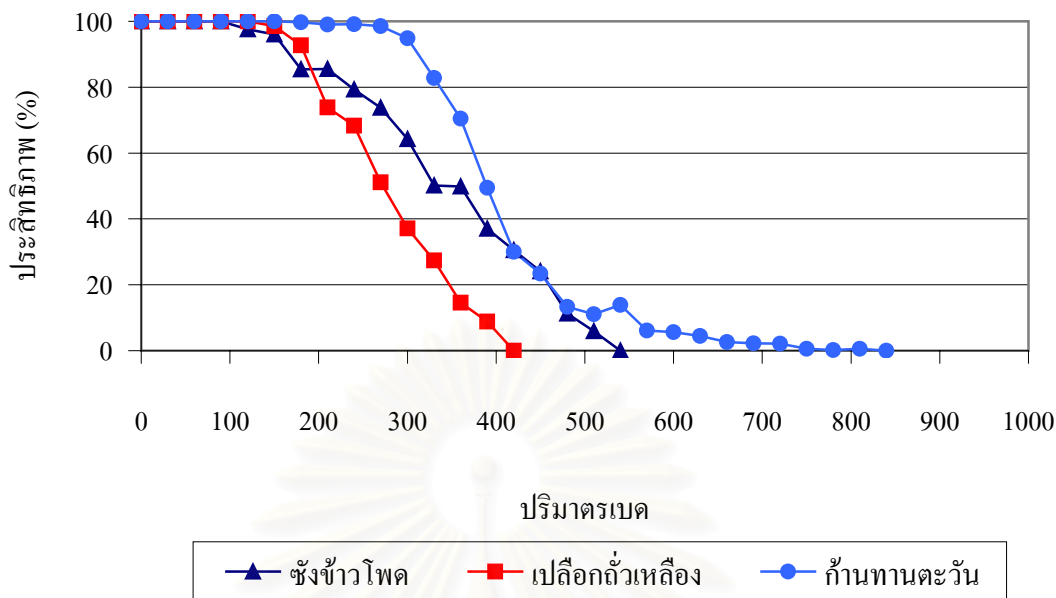
จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำมาก คือมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 1.56 ร้อยละ 1.09 และร้อยละ 4.72 ตามลำดับ สำหรับควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสนั้น ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการกำจัดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและก้านทานตะวันตามลำดับ (รูปที่ 5.19) โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถที่จะรองรับสี Sirius Blue KCFN ได้ 72.33 ปริมาตรเบด 93.20 ปริมาตรเบด และ 38.41 ปริมาตรเบด หรือคิดเป็น 86.73 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ 117.35 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ และ 40.22 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ (สีที่ปรากฏตามประสิทธิภาพในการกำจัดสี เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.25)



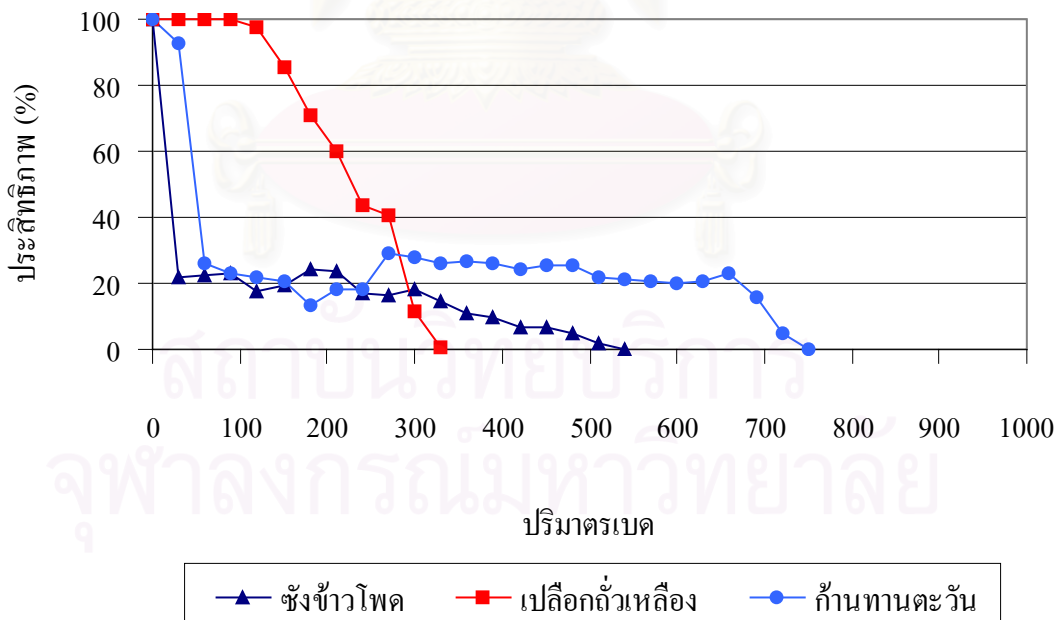
รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพในการกำจัด Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครตส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน



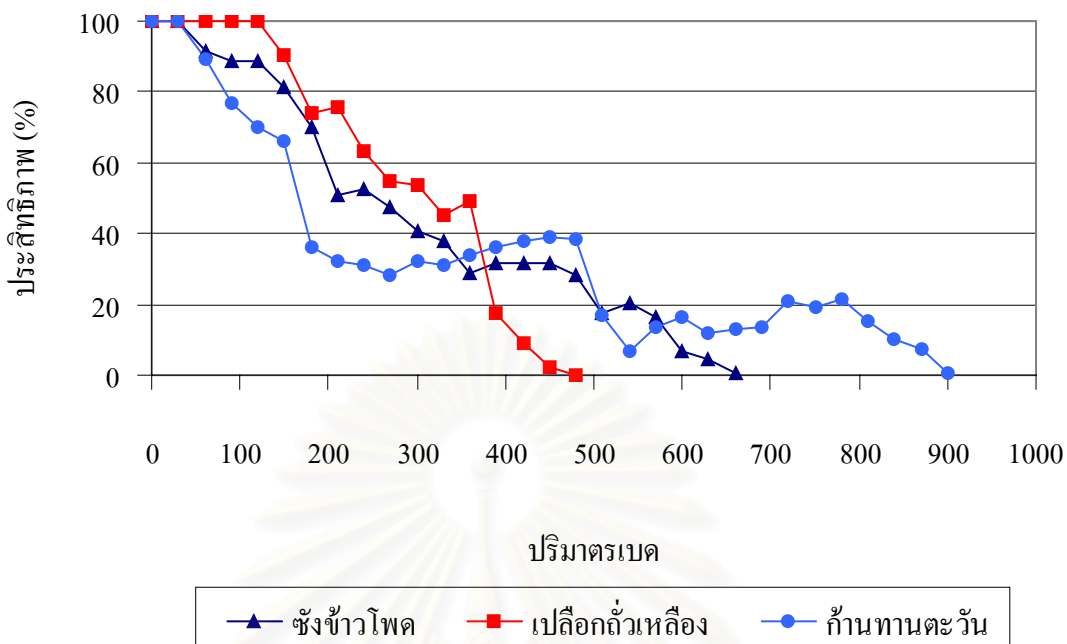
รูปที่ 5.15 ประสิทธิภาพในการกำจัด Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์โครตส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน



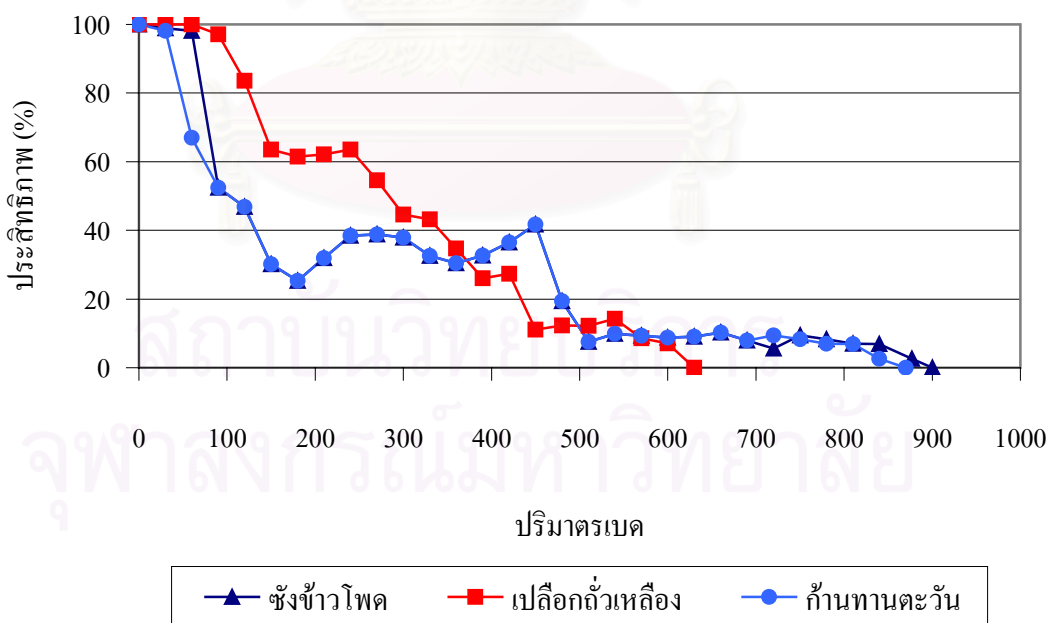
รูปที่ 5.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมมาจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน



รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมมาจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน

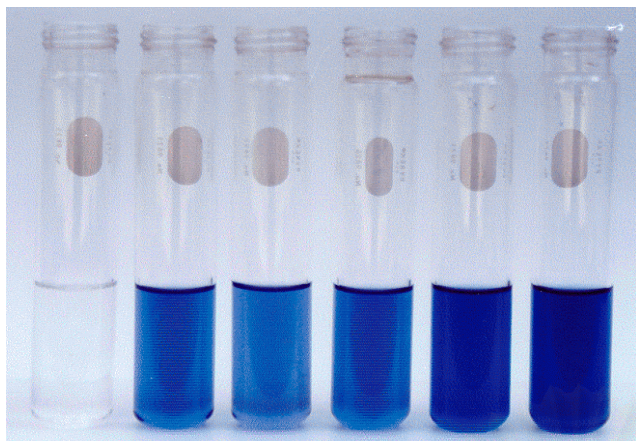


รูปที่ 5.18 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเทอร์ในซังโครสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน

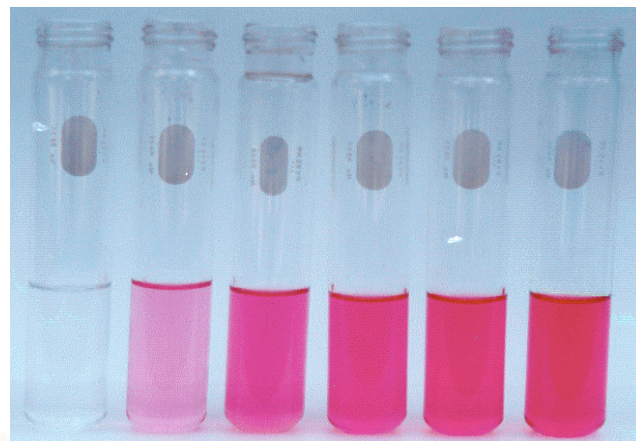


รูปที่ 5.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเทอร์ในซังโครสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน

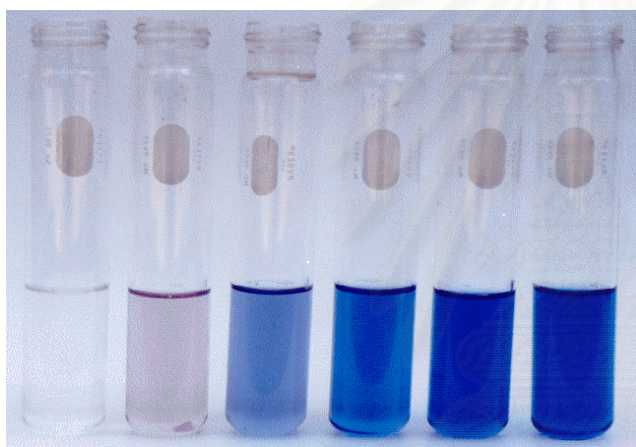




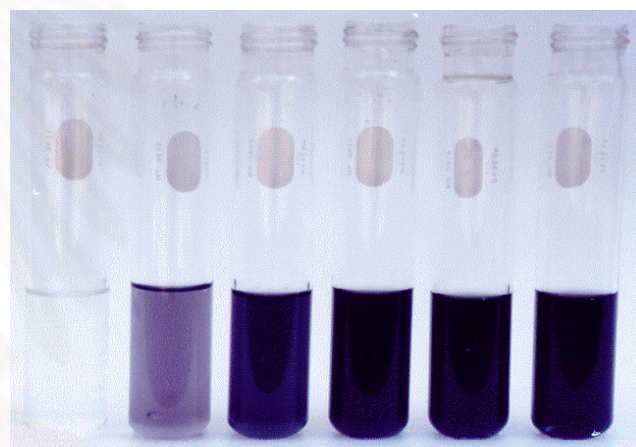
รูปที่ 5.20 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Remazol Black B เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ



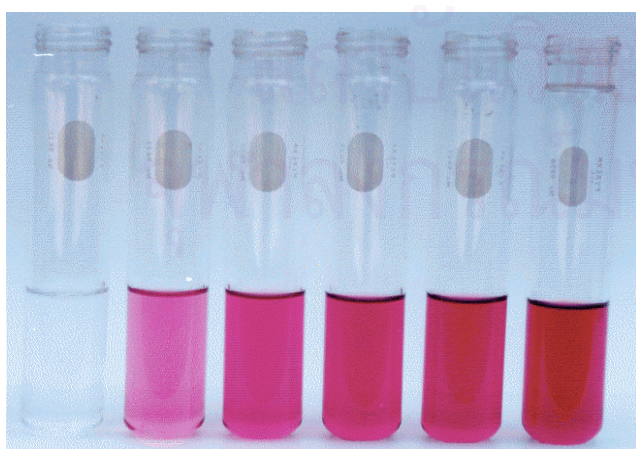
รูปที่ 5.21 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Remazol Brilliant Red 3BS เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ



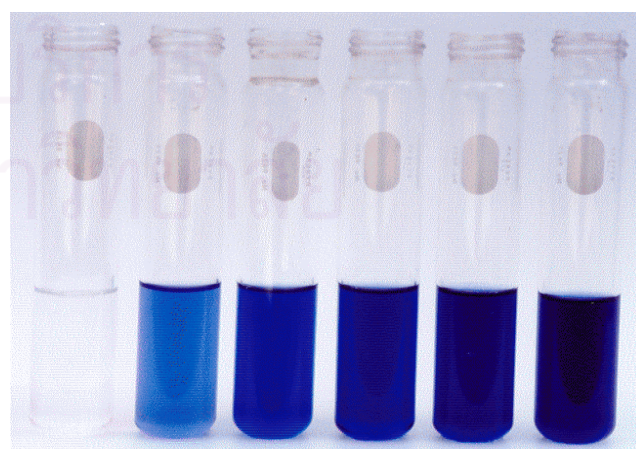
รูปที่ 5.22 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Remazol Brilliant Blue R เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 5.23 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Best Direct Black B เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 5.24 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Sirius Rubine KZBL เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ

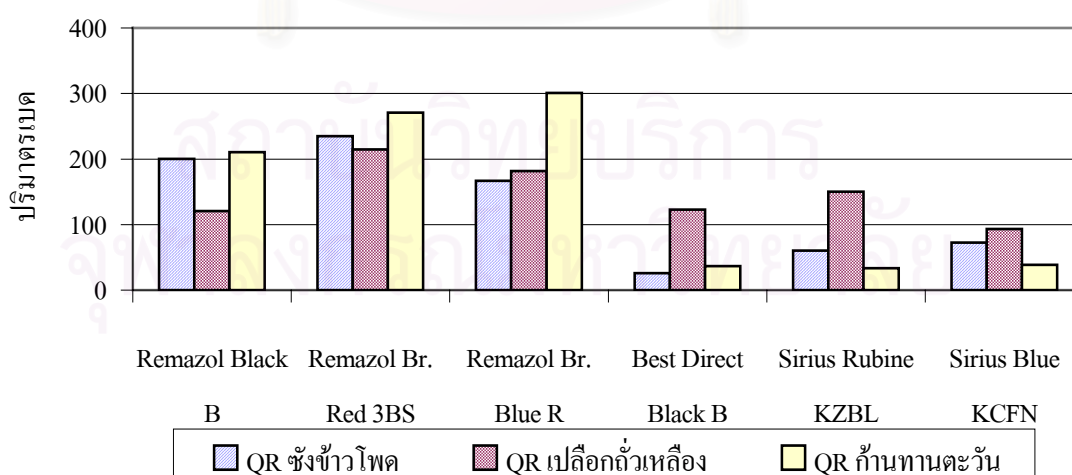


รูปที่ 5.25 สีที่ปรากฏเมื่อวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัด  
สี Sirius Blue KCFN เท่ากับร้อยละ 100 80 60  
40 20 และ 0 ตามลำดับ

ความสามารถในการรองรับสีของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน ที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.26

ตารางที่ 5.2 ความสามารถในการรองรับสีของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน ที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90

สี	QR ซังข้าวโพด		QR เปลือกถั่วเหลือง		QR ก้านทานตะวัน		เฉลี่ย	
	มก. สี/ ก.วัสดุ	ปริมาตร เบด	มก. สี/ ก.วัสดุ	ปริมาตร เบด	มก. สี/ ก.วัสดุ	ปริมาตร เบด	มก. สี/ ก.วัสดุ	ปริมาตร เบด
<b>รีแอกทีฟ :</b>								
Remazol Black B	240.18	200.31	151.71	120.49	220.06	210.15	203.98	176.98
Remazol Brilliant Red 3BS	281.50	234.77	269.75	214.24	283.43	270.66	278.23	239.87
Remazol Brilliant Blue R	200.29	167.04	228.78	181.70	314.57	300.40	249.21	216.38
<b>เฉลี่ย</b>	241.39	200.71	217.42	172.16	266.02	260.40	243.36	211.17
<b>ไดเรกต์ :</b>								
Best Direct Black B	31.26	26.07	154.66	122.83	38.01	36.30	74.62	61.73
Sirius Rubine KZBL	72.07	60.11	189.13	150.21	35.09	33.51	98.76	81.27
Sirius Blue KCFN	86.73	72.33	117.35	93.20	40.22	38.41	81.59	67.98
<b>เฉลี่ย</b>	63.37	52.84	153.73	122.21	37.81	36.15	84.95	70.33



รูปที่ 5.26 ปริมาตรน้ำเสียดังเคราะห์ที่ควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันสามารถรองรับได้ ที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90



เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีในรูปของปริมาณน้ำเสียที่วัสดุสามารถรองรับได้และมีลิกนินสีต่อกรัมวัสดุที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90 แล้ว วัสดุที่มีความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ดีที่สุดคือควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน รองลงมาคือควอเทอร์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากช่ข้าวโพดและเปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ และวัสดุที่มีความสามารถในการกำจัดสีใดเรกทีได้ดีที่สุดคือควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง รองลงมาคือควอเทอร์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากช่ข้าวโพดและก้านทานตะวันตามลำดับ โดยความสามารถในการกำจัดสีที่มีค่าสูงสุดคือ การกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี พบปัญหาอัตราการไหลของน้ำเสียดลดลงเกิดขึ้นบ้างในคอลัมน์ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากช่ข้าวโพด และเกิดขึ้นบ่อยครั้งในคอลัมน์ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการเปื่อยยุ่ยของวัสดุบางส่วน ซึ่งอาจมีผลให้ค่าความสามารถในการกำจัดสีที่ได้สูงมากกว่าที่ควรจะเป็น

#### 5.1.7 ซีดความสามารถใช้งานของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดสีในรูปของกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุของสีที่ทราบสูตรโครงสร้าง 2 สี ได้แก่ Remazol Black B และ Remazol Brilliant Blue R ซึ่งคาดว่ามิประจุเป็น  $-4$  และ  $-2$  ตามลำดับ ในการวิจัยโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสารละลายสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรที่มีชั้นวัสดุสูง 20 เซนติเมตรด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 เป็นเกณฑ์ จะได้ว่าสารเซลลูโลสควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากช่ข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีขีดความสามารถที่จะรองรับสี Remazol Black B ได้ 0.97 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ 0.61 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ และ 0.89 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ และมีความสามารถที่จะรองรับสี Remazol Brilliant Blue R ได้ 0.64 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ 0.73 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ และ 1.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุตามลำดับ

### 5.1.8 พีเอชของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์

พีเอชของน้ำที่สังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีค่าเริ่มต้นแตกต่างกัน โดยสิริแอกทีฟจะมีค่าพีเอชในช่วง 4.6-5.5 ในขณะที่สิโตรงค์จะมีค่าพีเอชสูงกว่า คืออยู่ในช่วง 6.9-8.3 สำหรับพีเอชของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส นั้นพบว่าทุกตัวอย่างมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดสีใกล้เคียงกันคือในช่วงแรกของการกำจัดสีน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์จะมีพีเอชต่ำกว่าพีเอชของน้ำที่สังเคราะห์ที่ใช้ โดยอยู่ในช่วงประมาณ 4-6 เนื่องจากสภาพกรดที่ยังคงค้างอยู่จากกระบวนการเตรียมวัสดุควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ หลังจากนั้นน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์จะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น โดยมีพีเอชเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6-8 (ตารางที่ 5.3)

ตารางที่ 5.3 พีเอชของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส

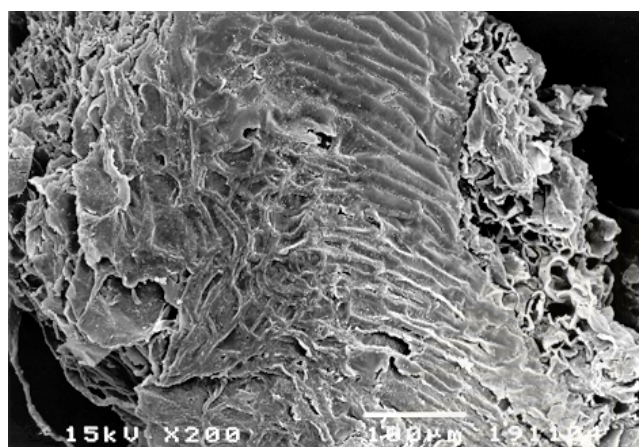
สี	พีเอชของน้ำเสีย			
	ก่อนการทดลอง	หลังผ่านคอลัมน์ควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส		
		ช่วงเช้า โปด	เปลือกแก้วเหลือง	ก้านทานตะวัน
รีแอกทีฟ :				
Remazol Black B	5.45	5.22-5.97 เฉลี่ย 5.62	4.39-6.50 เฉลี่ย 5.88	3.89-6.99 เฉลี่ย 6.15
Remazol Brilliant Red 3BS	4.60	4.63-5.56 เฉลี่ย 4.99	4.83-6.41 เฉลี่ย 5.30	3.74-7.04 เฉลี่ย 5.25
Remazol Brilliant Blue R	5.52	4.85-5.86 เฉลี่ย 5.67	4.88-6.73 เฉลี่ย 5.82	3.81-7.42 เฉลี่ย 6.14
ไครเรกซ์ :				
Best Direct Black B	8.33	5.80-8.18 เฉลี่ย 6.50	4.64-7.43 เฉลี่ย 6.94	4.75-8.48 เฉลี่ย 7.90
Sirius Rubine KZBL	7.26	4.75-7.18 เฉลี่ย 5.78	4.44-6.24 เฉลี่ย 5.68	5.20-7.17 เฉลี่ย 6.30
Sirius Blue KCFN	6.92	4.84-6.85 เฉลี่ย 6.62	4.33-6.55 เฉลี่ย 6.16	4.84-6.85 เฉลี่ย 6.58

## 5.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

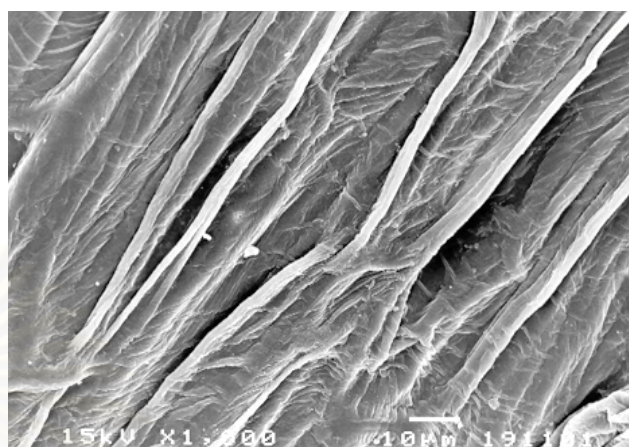
จากการมองด้วยตาเปล่า จะเห็นได้ว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากวัสดุทั้งสาม จะมีการจับตัวกันแน่นขึ้นและมีสีเปลี่ยนไปเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยสารเคมี โดยผลการศึกษาลักษณะพื้นผิว ความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุเป็นดังนี้

### 5.2.1 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุทั้งสามชนิดมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันไป โดยสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพดมีลักษณะเป็นชิ้นค่อนข้างมีรูปร่าง พื้นผิวขรุขระและการจัดวางตัวของรอยขรุขระไม่เป็นระเบียบนัก สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นแผ่นโค้งที่มีพื้นผิวด้านหนึ่งเรียบในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ส่วนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากก้านทานตะวันจะมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวมีรอยขรุขระเรียงตามแนวความยาวของเส้นใย หลังผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุทั้งสามชนิดยังคงมีลักษณะรูปร่างของวัสดุคงเดิม แต่เศษวัสดุเล็กๆที่เกาะอยู่ตามผิวชิ้นวัสดุหายไป เนื่องจากการใช้กรดและด่างในขั้นตอนการทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ทำให้สิ่งสกปรกต่างๆที่เกาะอยู่บนผิววัสดุหลุดออกไป รอยขรุขระต่างๆเห็นเป็นร่องลึกมากยิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของวัสดุหลังผ่านการกำจัดสีจากน้ำเสียโดยเลือกศึกษาสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ที่เตรียมจากก้านทานตะวันเป็นตัวอย่าง พบว่ารูปร่างของวัสดุมีลักษณะไม่แตกต่างจากก่อนนำมากำจัดสีมากนัก โดยยังคงมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวที่มีรอยขรุขระเรียงตามแนวความยาวของเส้นใย แต่มีการฉีกขาดของเส้นใยปรากฏให้เห็นชัดเจน รอยขรุขระมีลักษณะตื้นขึ้นเล็กน้อย พื้นผิวหยาบมากขึ้นซึ่งคาดว่าเกิดจากการเกาะติดผิวของสีข้อม (รูปที่ 5.27-5.38)

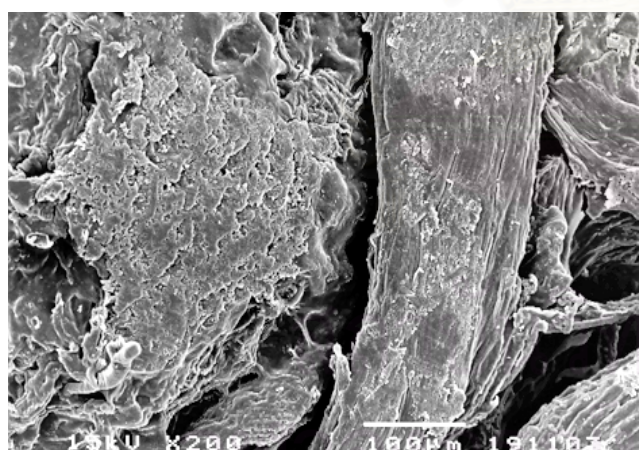


ก)

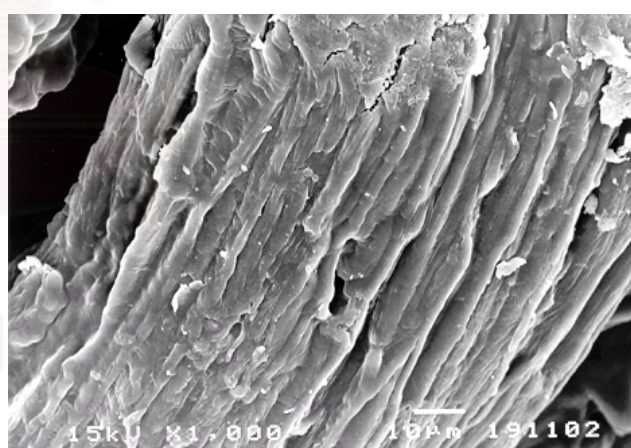


ข)

รูปที่ 5.27 ลักษณะพื้นผิวของซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



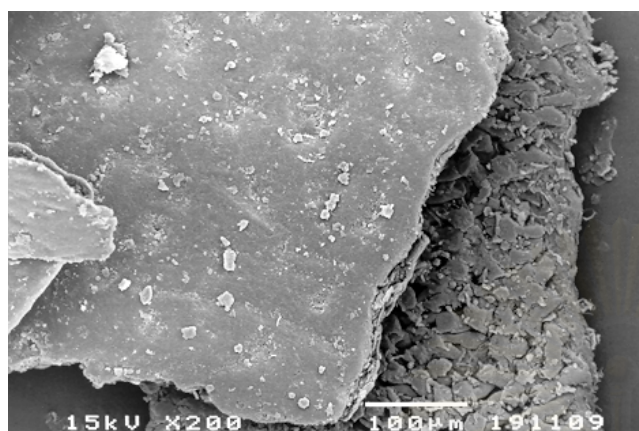
ก)



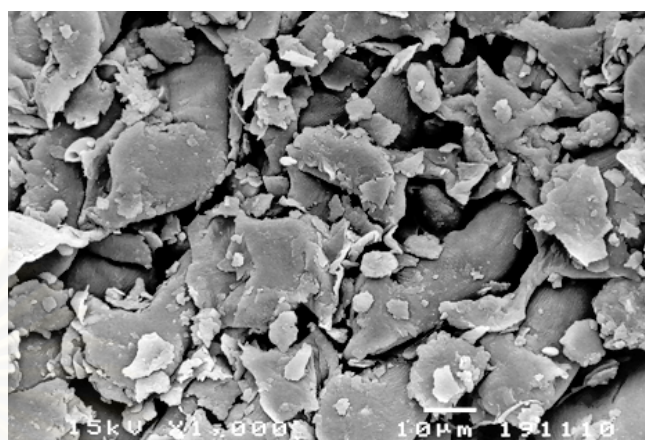
ข)

รูปที่ 5.28 ลักษณะพื้นผิวของควอเตอร์ในซังโครสส์ลิ่งค์ซังข้าวโพด เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



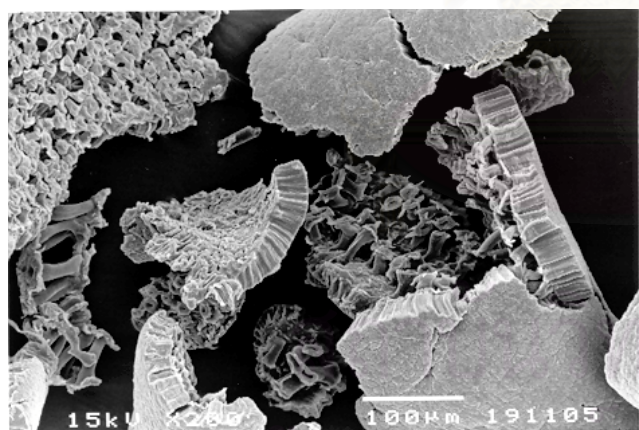


ก)

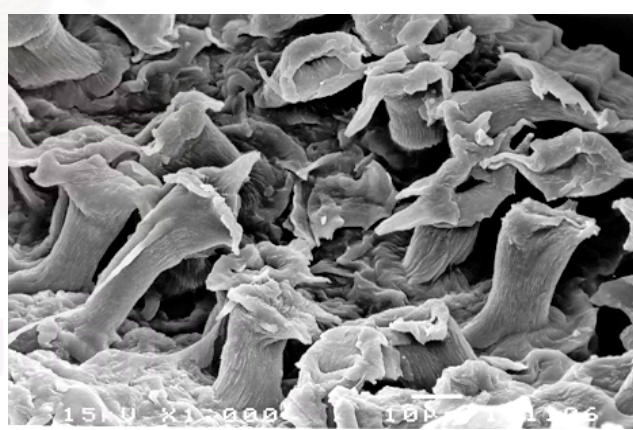


ข)

รูปที่ 5.29 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อฉายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)

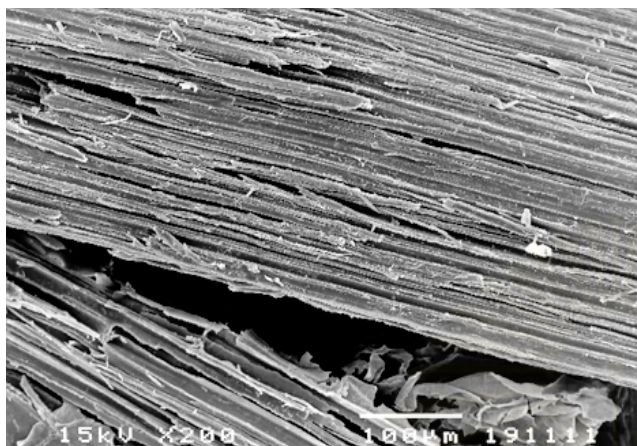


ก)

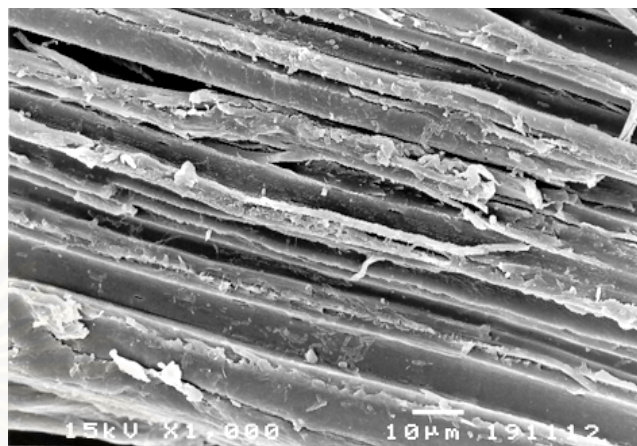


ข)

รูปที่ 5.30 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสสลิงค์เปลือกถั่วเหลือง เมื่อฉายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)

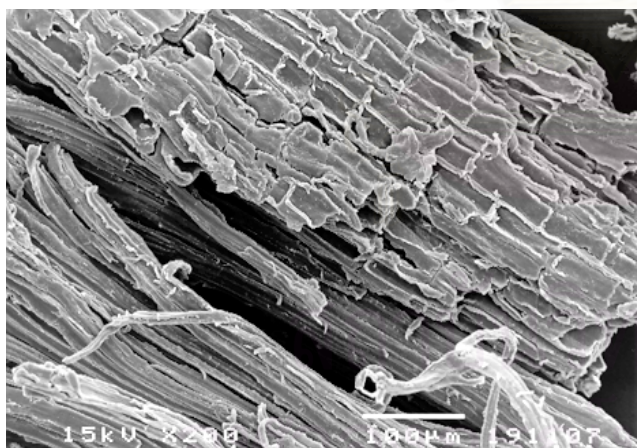


ก)

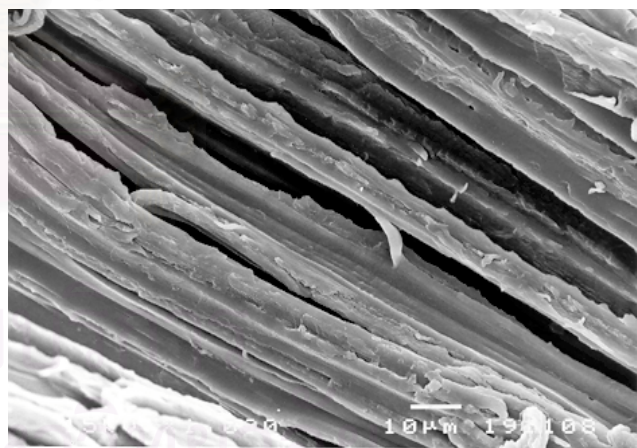


ข)

รูปที่ 5.31 ลักษณะพื้นผิวของก้านทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



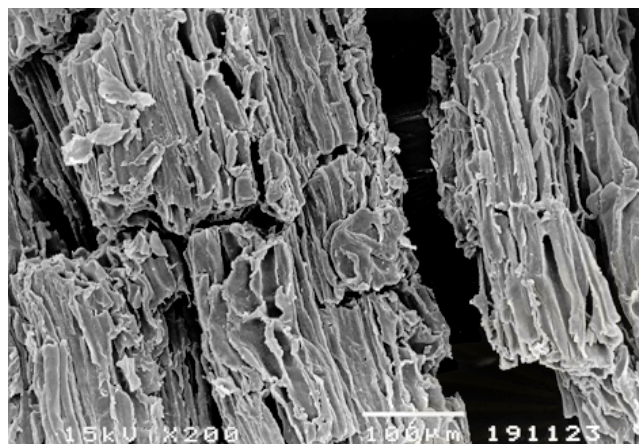
ก)



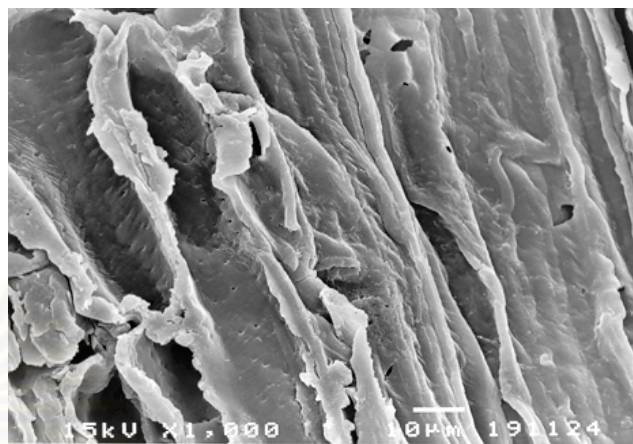
ข)

รูปที่ 5.32 ลักษณะพื้นผิวของควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ก้านทานตะวันที่ปรับสภาพ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



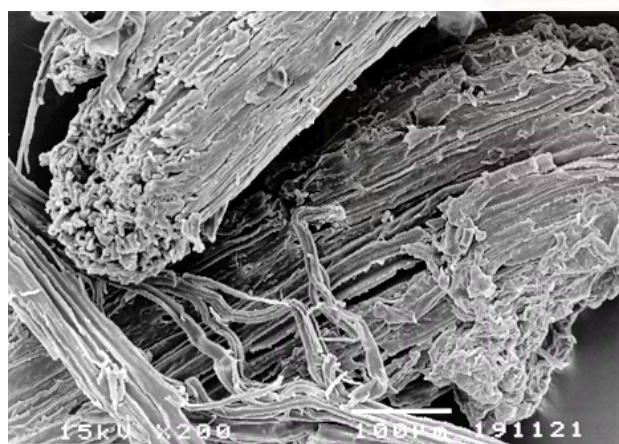


ก)



ข)

รูปที่ 5.33 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)

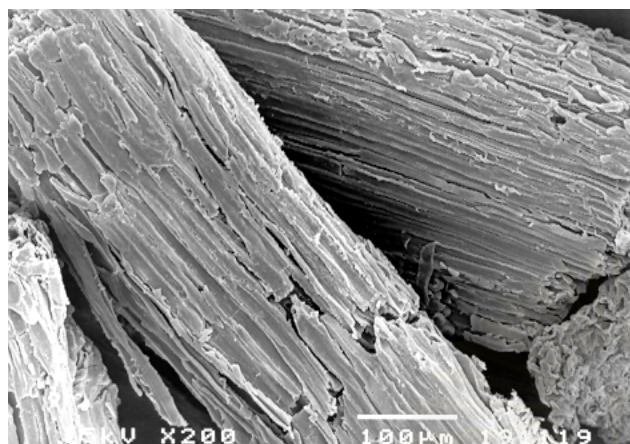


ก)

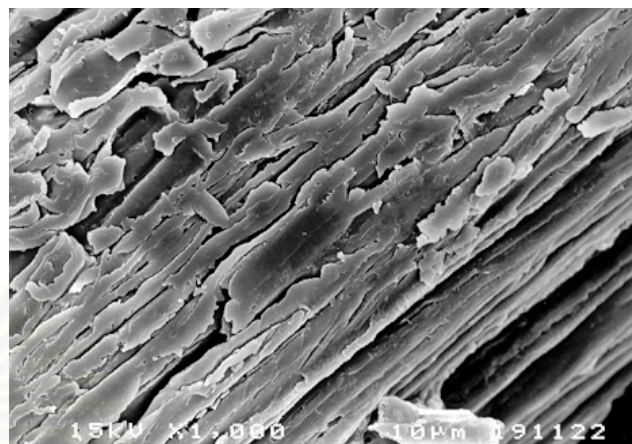


ข)

รูปที่ 5.34 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



ก)

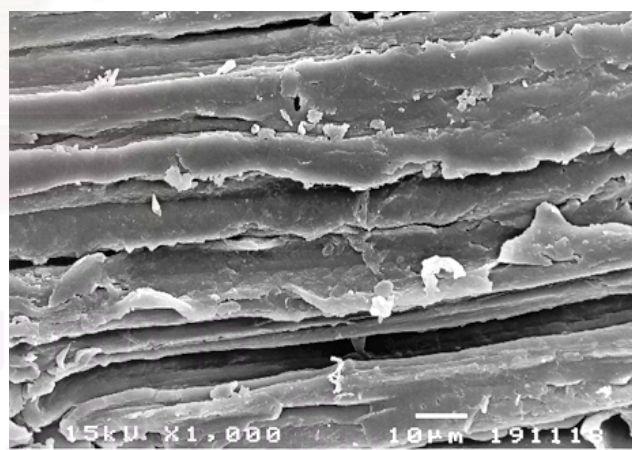


ข)

รูปที่ 5.35 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี  
Remazol Brilliant Blue R เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน  
ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



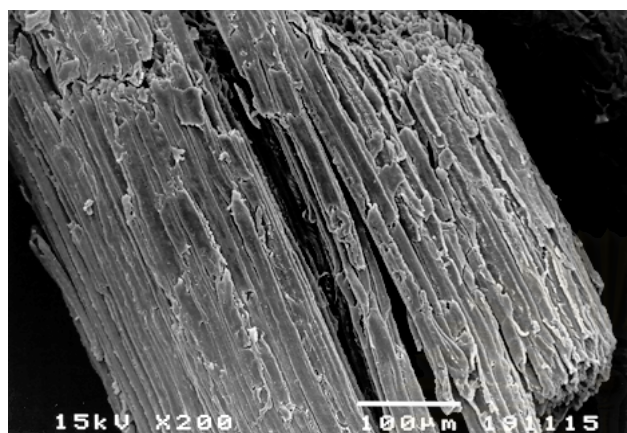
ก)



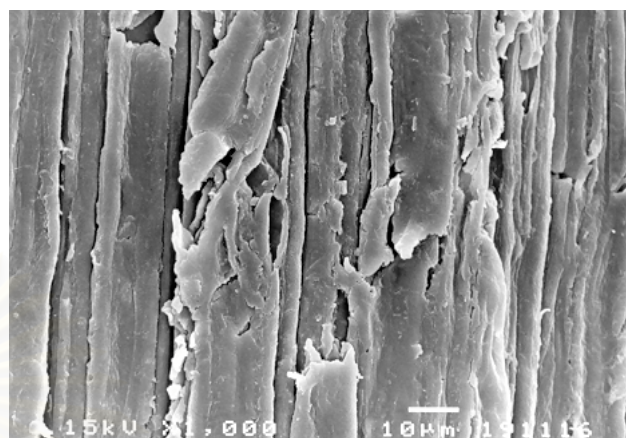
ข)

รูปที่ 5.36 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี  
Best Direct Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน  
ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)





ก)

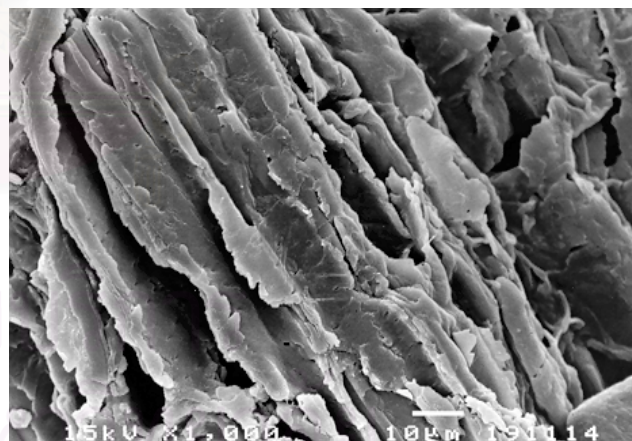


ข)

รูปที่ 5.37 ลักษณะพื้นผิวของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี  
Sirius Rubine KZBL เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน  
ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)



ก)



ข)

รูปที่ 5.38 ลักษณะพื้นผิวของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี  
Sirius Blue KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน  
ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) และ 1,000 เท่า ข)

## 5.2.2 ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุ

ค่าความหนาแน่นและการบวมน้ำของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน เป็นดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุ

วัสดุ	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	การบวมน้ำ (มิลลิลิตรเปียกต่อมิลลิลิตรแห้ง)
เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ		
ซังข้าวโพด	0.16	1.10
เปลือกถั่วเหลือง	0.44	3.20
ก้านทานตะวัน	0.13	1.80
ควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส		
ซังข้าวโพด	0.35	4.20
เปลือกถั่วเหลือง	0.27	3.40
ก้านทานตะวัน	0.21	2.20

## 5.3 การศึกษาโครงสร้างของวัสดุ

จากการนำสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) ที่ช่วงความถี่ 4000-400 เซนติเมตร<sup>-1</sup> พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุทั้งสามชนิดมีโครงสร้างหลักคือ Alkyl Group, Hydroxy หรือ NH Compound และ Aliphatic Alcohol (อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนเป็นดังแสดงในภาคผนวก จ.)

จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้ จะเห็นได้ว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ดีในช่วงความถี่ 3500-3300 เซนติเมตร<sup>-1</sup> 2990-2850 เซนติเมตร<sup>-1</sup> 1680-1560 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ 1200-1000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน

O-H (Hwang และ Chen, 1993) C-H C=C และ C-OH (ปรานอม, 2539) ตามลำดับ ทั้งนี้ขนาดของพีคที่ปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมในช่วงความถี่ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวเป็นดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ขนาดของพีคที่ปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน

วัสดุ	ขนาดของพีคที่ปรากฏ			
	O-H	C-H	C-OH	C=C
เซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ				
- ซังข้าวโพด	0.45	0.06	0.26	0.12
- เปลือกถั่วเหลือง	0.42	0.06	0.19	0.19
- ก้านทานตะวัน	0.55	0.07	0.38	0.21
ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส				
- ซังข้าวโพด	0.50	0.05	0.20	0.11
- เปลือกถั่วเหลือง	0.48	0.08	0.29	0.15
- ก้านทานตะวัน	0.47	0.08	0.29	0.13
ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันหลังกำจัดสี				
- Remazol Black B	0.42	0.06	0.26	0.11
- Remazol Brilliant Red 3BS	0.44	0.06	0.28	0.11
- Remazol Brilliant Blue R	0.45	0.06	0.20	0.11
- Best Direct Black B	0.41	0.05	0.23	0.14
- Sirius Rubine KZBL	0.40	0.05	0.21	0.11
- Sirius Blue KCFN	0.53	0.06	0.29	0.16

จากผลการวิเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ได้ พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันภายหลังการปรับสภาพด้วยวิธีควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันหลัก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากขนาดของพีคที่ปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีปริมาณ

หมู่ฟังก์ชัน C-OH ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันหลักของเซลลูโลสมากกว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ และหลังการปรับสภาพด้วยวิธีควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีปริมาณหมู่ฟังก์ชัน O-H C-H และ C-OH เปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย ส่วนในกรณีของหมู่ฟังก์ชัน C=C ซึ่งคาดว่าเป็นหมู่ฟังก์ชันของลิกนิน พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสมีหมู่ฟังก์ชัน C=C น้อยกว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากวัสดุเดียวกัน ปริมาณที่ลดลงนี้อาจเกิดขึ้นจากการที่ลิกนินถูกละลายในด่างและกรดในขั้นตอนการเตรียมวัสดุควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์

สำหรับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสหลังการกำจัดสีโดยเปลือกถั่วเหลืองและควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากกากทานตะวันเป็นตัวอย่าง พบว่าหลังการกำจัดสีสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสก่อนการกำจัดสี เนื่องจากการเข้าไปเกาะตัวของสี อย่างไรก็ตามขนาดของพิกที่ได้จากการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกากทานตะวันทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส และสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสหลังการกำจัดสี มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งถือได้ว่าต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญ

#### 5.4 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี

ในการศึกษาการถูกชะล้างได้ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกากทานตะวันหลังการกำจัดสีโดยนำสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดหลังการกำจัดสีจากน้ำเสียแล้วมาสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก ตามวิธีในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) พบว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และกากทานตะวันมีการถูกชะล้างได้สูงสุดเป็นค่าสี 36.770 SU, 38.183 SU และ 13.520 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 7.95 มิลลิกรัมต่อลิตร 17.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



#### 5.4.1 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Black B

ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Black B ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวันตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 6.890 SU 6.991 SU และ 13.520 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร 1.59 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 ก)

#### 5.4.2 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS

ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นเปลือกถั่วเหลืองและซังข้าวโพดตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 31.380 SU 6.670 SU และ 2.949 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 18.94 มิลลิกรัมต่อลิตร 4.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 ข)

#### 5.4.3 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R

ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นเปลือกถั่วเหลืองและซังข้าวโพดตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 7.327 SU 4.603 SU และ 2.447 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 5.62 มิลลิกรัมต่อลิตร 3.53 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 ค)

#### 5.4.4 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Best Direct Black B

ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Best Direct Black B ของสาร เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นเปลือกถั่วเหลือง และซังข้าวโพดตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 36.770 SU 7.112 SU และ 1.816 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 7.95 มิลลิกรัมต่อลิตร 1.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.39 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 ง)

#### 5.4.5 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL

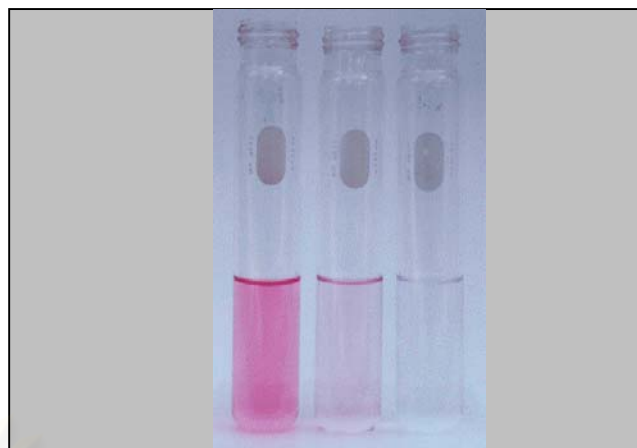
ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของสาร เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและ เปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 9.939 SU 38.183 SU และ 1.020 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 4.48 มิลลิกรัมต่อลิตร 17.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.46 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 จ)

#### 5.4.6 การถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN

ผลการศึกษาการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของสาร เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน พบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก ก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและ เปลือกถั่วเหลืองตามลำดับ โดยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีค่าสีของน้ำชะเท่ากับ 13.199 SU 32.656 SU และ 1.686 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 3.03 มิลลิกรัมต่อลิตร 7.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.39 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ตามลำดับ (สีที่ปรากฏหลังการชะล้างเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.39 ฉ)



ก)



ข)



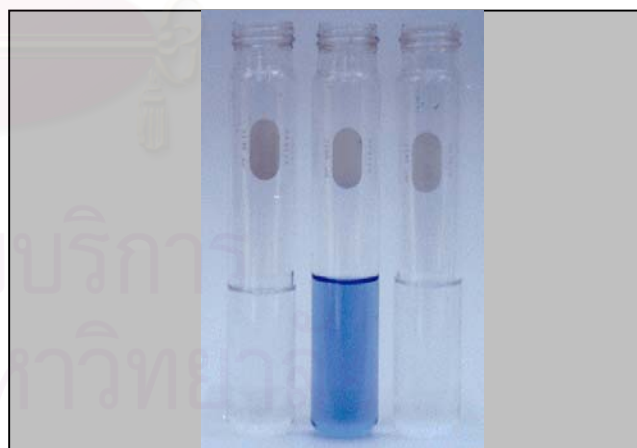
ค)



ง)



จ)



ฉ)

รูปที่ 5.39 สีที่ปรากฏหลังการชะล้างสารเซลลูโลสแตกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครสต์ดีนจ์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน (จากซ้ายไปขวา) หลังการกำจัดสี

Remazol Black B ก) Remazol Brilliant Red 3BS ข) Remazol Brilliant Blue R ค)

Best Direct Black B ง) Sirius Rubine KZBL จ) Sirius Blue KCFN ฉ)

จากผลการถูกชะล้างได้ของวัสดุหลังการกำจัดสีดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าสารเซตลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซตลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันเป็นวัสดุที่ถูกชะล้างได้น้อยที่สุดในทุกสีที่ใช้ในการวิจัยและปริมาณสีที่ถูกชะล้างออกมานั้น ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยผลการถูกชะล้างได้ของสีสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การถูกชะล้างได้ของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซตลูโลสที่เตรียมจากช่ข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และ ก้านทานตะวัน

สี	QR ช่ข้าวโพด		QR เปลือกถั่วเหลือง		QR ก้านทานตะวัน		เฉลี่ย	
	มก./ล.	SU	มก./ล.	SU	มก./ล.	SU	มก./ล.	SU
รีแอกทีฟ :								
Remazol Black B	1.56	6.89	1.59	6.99	3.07	13.52	2.07	9.13
Remazol Brilliant Red 3BS	18.94	31.38*	4.03	6.67*	1.78	2.49	8.25	13.51
Remazol Brilliant Blue R	5.62	7.33	3.53	4.60	1.88	2.45	3.68	4.79
เฉลี่ย	8.71	15.20	3.05	6.09	2.24	6.15	14.00	27.44
ไดเรกต์ :								
Best Direct Black B	7.95	36.77*	1.54	7.11	0.39	1.82	3.29	15.23
Sirius Rubine KZBL	4.48	9.94*	17.20	38.18*	0.46	1.02	7.38	16.38
Sirius Blue KCFN	3.03	13.20	7.50	32.66*	0.39	1.69	3.64	15.85
เฉลี่ย	5.15	19.97	8.75	25.98	0.14	1.51	14.31	47.46

หมายเหตุ \* สามารถมองเห็นสีได้ด้วยตาเปล่า

#### 5.4.7 พิเศษของน้ำชะวัสดุ

พิเศษของน้ำชะหลังการทดสอบการถูกชะล้างได้ของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซตลูโลส หลังการกำจัดสีมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.7-8.0 โดยน้ำชะวัสดุหลังการกำจัดสีรีแอกทีฟจะมีค่าพีเอชในช่วง 5.7-7.2 ในขณะที่น้ำชะวัสดุหลังการกำจัดสีไดเรกต์จะมีค่าพีเอชสูงกว่า คืออยู่ในช่วง 7.5-8.0 (ตารางที่ 5.7)

ตารางที่ 5.7 พิเศษของน้ำชะวัสดุคอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสหลังการกำจัดสี

สี	พิเศษของน้ำชะ			
	ก่อนการ ทดลอง	หลังผ่านคอลัมน์คอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส		
		ซังข้าวโพด	เปลือกถั่วเหลือง	ก้านทานตะวัน
<b>รีแอกทีฟ :</b>				
Remazol Black B	5.00	6.35	7.18	6.48
Remazol Brilliant Red 3BS	5.00	6.51	6.47	5.71
Remazol Brilliant Blue R	5.00	7.00	6.33	6.89
<b>ไคเรท :</b>				
Best Direct Black B	5.00	7.82	7.97	7.99
Sirius Rubine KZBL	5.00	7.61	7.66	7.63
Sirius Blue KCFN	5.00	7.54	7.76	7.77

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย

การทำควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี โดยจากการวิจัยโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสารละลายสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรที่มีชั้นวัสดุสูง 20 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิเมตรต่อนาทีและเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุก 3 ชั่วโมงนั้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพที่เตรียมจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด
2. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟได้ดีกว่าสีไคเรกท์ โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 แล้ว ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสมีความสามารถรองรับสีเฉลี่ยทุกวัสดุเท่ากับ 243.36 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุสำหรับสีรีแอกทีฟ และ 84.95 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุสำหรับสีไคเรกท์ โดยพีเอชของน้ำทิ้งหลังการกำจัดสีด้วยควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงพีเอช 6-8
3. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 90 รองลงมาคือควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วเหลือง ตามลำดับ คือสามารถรองรับสีรีแอกทีฟได้เฉลี่ย 266.02 241.39 และ 217.42 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ (260.40 200.71 และ 172.16 ปริมาตรเบด) ตามลำดับ
4. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์ได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 90 รองลงมาคือควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดและก้าน



ทานตะวัน ตามลำดับ คือสามารถรองรับสีใดเรกที่ได้เฉลี่ย 153.73 63.37 และ 37.81 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ (122.21 52.84 และ 36.15 ปริมาตรเบด) ตามลำดับ

5. ค่าขีดความสามารถใช้งานของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน เป็น 0.97 0.61 และ 0.89 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ สำหรับสี Remazol Black B และเป็น 0.64 0.73 และ 1.00 มิลลิกรัมสมมูลย์ของสีต่อกรัมวัสดุ สำหรับสี Remazol Brilliant Blue R ตามลำดับ

6. จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าหลังการปรับสภาพด้วยวิธีควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ วัสดุมีลักษณะรูปทรงคงเดิม แต่รอยขรุขระบนพื้นผิวชั้นวัสดุเป็นร่องลึกมากยิ่งขึ้น สำหรับการบวมน้ำของวัสดุ ควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดมีค่าการบวมน้ำมากที่สุด รองลงมาคือควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวัน ตามลำดับ

7. จากการศึกษาโครงสร้างโดยการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุทั้งสามชนิดมีโครงสร้างหลักคือ Alkyl Group, Hydroxy หรือ NH Compound และ Aliphatic Alcohol

8. ควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันเป็นสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่มีการถูกชะล้างได้น้อยมากคือไม่เห็นสีจากการชะล้างเลย ส่วนควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วเหลืองยังสามารถมองเห็นสีจากการถูกชะล้างได้บ้าง โดยสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีการถูกชะล้างได้เฉลี่ยเป็นค่าสี 17.59 16.04 และ 3.83 SU หรือเทียบเป็นความเข้มข้นสี 6.93 5.90 และ 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

9. จากผลความสามารถในการกำจัดสี ลักษณะทางกายภาพ และการถูกชะล้างได้ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ได้จากการวิจัย พบว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป ควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้รองลงมา และควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลืองไม่เหมาะกับการนำไปใช้เนื่องจากเกิดการอุดตันได้ง่ายและถูกชะล้างได้มาก

## ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

### 7.1 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยพบว่าควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวันมีความสามารถในการกำจัดสีได้ดี สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม โดยใช้ในการบำบัดขั้นที่สามหลังผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพและกระบวนการบำบัดทางชีวภาพหรือทางเคมีได้ รวมทั้งมีการถูกชะล้างได้น้อยมากจึงสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการฝังกลบหลังการใช้ ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่ผ่านการใช้กำจัดสีแล้วยังอาจนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นสารให้สีในวัสดุต่างๆ ได้ (รูปดังแสดงในภาคผนวก จ.) นอกจากนี้ควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสยังอาจนำไปประยุกต์ใช้ในการอื่นๆ ที่อาศัยคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนได้อีกด้วย สำหรับค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีคิดต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำทิ้งโดยประมาณการว่าความเข้มข้นสีของน้ำทิ้งเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข.) ยังมีค่าสูงอยู่มาก อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีจากน้ำเสียจริง การเตรียมวัสดุในปริมาณมากจะช่วยย้่าค่าใช้จ่ายในการเตรียมควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสมีค่าต่ำลง

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

จากการทำวิจัยในครั้งนี้ พบว่ายังมีหัวข้อที่ควรศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ดังนี้

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียจริงของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส
2. ศึกษาการนำสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสหลังการใช้กำจัดสีไปใช้ประโยชน์เป็นสารให้สีในวัสดุต่างๆ
3. หาขนาดของวัสดุที่เหมาะสมต่อการใช้งานในระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการอุดตันของระบบ
4. ปรับปรุงวิธีการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีที่ต่ำลง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กัลยา รัตนถาวร. การปลูกถั่วเหลือง [online]. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายเอกสารคำแนะนำ กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541. แหล่งที่มา: <http://web.ku.ac.th/agri/soi/index.html> [11 กุมภาพันธ์ 2545].
- เกศสุชา พูลคำ. การกำจัดโรคเห็บหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- ข้าวโพด [online]. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th/plant/corn.htm> [25 กันยายน 2544].
- จันทนา พุทธาธร. เฟอร์พูลจากชังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
- จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์เทอร์ไนซ์โครอสติงค์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ชลธา ไกรวัฒนุสรณ์, ลัดดา ยาวีร์ชนัน และศักดิ์จิตรา ต้นสมบูรณ์. การผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- ชัยยุทธ ช่างสาร. การย้อมสีผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- ถั่วเหลือง [online]. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th/plant/soybn.htm> [25 กันยายน 2544].
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า: รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ์. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

- นัฐพล แสนสวาท นิคม คุณพิศกุล ปกรณ์ จารุตระกูลชัย และ ปิติ ปิยะจตุรวัฒน์. การกำจัดสีข้อม  
โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ขานอ้อยและเปลือกถั่วเหลือง) เปรียบเทียบกับ  
แอกติเวเตดคาร์บอน. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- บุญยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์  
โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ปรานอม ขาวเมฆ. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared  
Spectrometer. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ปิยนุช นาคพงส์. การปรับปรุงวัสดุอู่ม่าน้ำพื้นฐานเซลลูโลสโดยกราฟท์โคโพลิเมอร์เรซิ่นของ  
อะครีโลไนไตรล์และกรดอะคลิสิกบนไมโครคริสทอลล์เซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2532.
- รัชนีย์ รุกขชาติ. การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลสจากต้นมัน  
สำปะหลัง ใบสับปะรด และกามมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชา  
วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ลัดดา ยาวีร์ชน. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์  
เซลลูโลสที่ทำจากขานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2544.
- วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อยุธยา. การบำบัดสีไคเรกต์ด้วยผงผักตบชวา.  
โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- ศรีสุดา เดชะसान และ พัฒนา นรมาศ. การปลูกทานตะวัน [online]. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายเอกสาร  
คำแนะนำ กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541. แหล่งที่มา:  
<http://web.ku.ac.th/agri/sunflower/index.html> [11 กุมภาพันธ์ 2545].
- ลัญชวัล อิงคภาคย์. ประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ  
ดูดซับผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เทคนิคการพิมพ์, 2527.  
อุตสาหกรรม, กระทรวง. หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่  
ไม่ใช่แล้ว , ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540), 40-44. กรุงเทพมหานคร:  
กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540.

### ภาษาอังกฤษ

- Ahmedna, M., Johns, M.M., Clarke, S.J., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Potential of agricultural by-product-based activated carbons for use in raw sugar decolourization. Journal of Science Food and Agricultural 75 (1997): 117-124.
- Ahmedna, M., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. Bioresource Technology 71 (2000)a: 113-123.
- Ahmedna, M., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by-products and their effects on raw sugar decolorization. Bioresource Technology 71 (2000)b: 103-112.
- Allan, K. S., and Sidney, J. S. Soybeans: Chemistry and technology. 2<sup>nd</sup> ed. rev. Westport, Conn: AVI, 1978.
- Asfour, H.M., Fadali, O.A., Nassar, M.M., and El-Geundi, M.S. Colour removal from textile effluents using hardwood sawdust as an adsorbent. Journal of Chemical Technology Biotechnology 35A (1985): 28-35.
- Bonilla, J.L., Chica, A., Ferrer, J.L., Jimenez, L., and Martin, A. Sunflower stalks as a possible fuel source. Fuel 69 (June 1990): 792-794.
- El-Geundi, M.S. Color removal from textile effluents by adsorption techniques. Water Research 25, 3 (1991): 271-273.
- Hwang, M.C., and Chen, K.M. The removal of color from effluents using polyamide-epichlorohydrin-cellulose polymer I: Preparation and use in dye removal. Journal of Applied Polymer Science 48 (1993): 299-311.
- Johnson, A. The Theory of Coloration of Textiles. 2<sup>nd</sup> ed. West Yorkshire: Dyers, 1989.
- Laszlo, J.A. Electrolyte effects on hydrolyzed reactive dye binding to quaternized cellulose. Textile Chemist and Colorist 27, 4 (April 1995): 25-27.



- Laszlo, J.A. Preparing an ion exchange resin from sugarcane bagasse to remove reactive dye from wastewater. Textile Chemist and Colorist 28, 5 (May 1996): 13-17.
- Laszlo, J.A., and Dintzis, F.R. Crop residues as ion-exchange materials: Treatment of soybean hull and sugar beet fiber (pulp) with epichlorohydrin to improve cation-exchanger capacity and physical stability. Journal of Applied Polymer 52 (1994): 531-538.
- McKay, G., El-Geundi, M., and Nassar, M.M. Equilibrium studies during the removal of dyestuffs from aqueous solutions using bagasse pith. Water Research 21, 12 (1987): 1513-1520.
- McKay, G., Ramprasad, G., and MowLi, P. Desorption and regeneration of dye colours from low-cost materials. Water Research 21, 3 (1987): 375-377.
- Mehna, A., Bajpai, P., and Bajpai, P.K. Studies on decolourization of effluent from a small pulp mill utilizing agriresidues with *Trametes Versicolor*. Enzyme and Microbial Technology 17, 1 (January 1995): 18-22.
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering: Treatment disposal reuse. 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- Meyer, V., Carlsson F.H.H., and Oellermann, R.A. Decolorizaion of textile effluent using a low cost natural adsorbent material. Water Science Technology 26, 5-6 (1992): 1205-1211.
- Nassar, M.M., and El-Geundi, M.S. Comparative cost of colour removal from textile effluents using natural adsorbent. Journal of Chemical Technology Biotechnology 50 (1991): 257-264.
- Pendyal, B., Johns, M.M., Marshall, W.E., Amedna, M., and Rao, R.M. Removal of sugar colorants by granular activated carbons made from binders and agricultural by-products. Bioresource Technology 69 (1999): 45-51.
- Poots, V.J.P., McKay, G., and Healy, J.J. The removal of acid dye from effluent using natural adsorbent-I, II. Water Research 10 (1976): 1061-1070.
- Rangnekar, D.W. and Singh, P.P. An introduction to synthetic dyes. Bombay: Himalaya, 1980.
- Shi, W., Xu, X., and Sun, G. Chemically modified sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater. Journal of Applied Polymer Science 71 (1999): 1841-1850.
- Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists. Colour Index. vol.4. 3<sup>rd</sup> ed. Yorkshire: SDC, North Carolina: AATCC, 1971c.

Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists.

Colour Index. vol.6. rev. 3<sup>rd</sup> ed. Yorkshire: SDC, North Carolina: AATCC, 1975.

Sun, G., and Xu, X. Sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater.

Industrial Engineering Chemistry Research 36, 3 (1997): 808-812.

Valencia, S.A., Salvation, J.L., and Yang, S.T. Adsorption of basic and reactive dyes from simulated textile wastewater using corn fiber as adsorbent. Paper Abstracts of The 3<sup>rd</sup>

Southeast Asian Regional Conference on Higher Engineering Education Network.

Manila (October 27-28, 1999): 2.

Winai Somboon, Wanida Bhavakul, and Suntud Siriananpibool. Removal of direct dyes from aqueous solution using water hyacinth as an adsorbent. Proceedings of International

Conference on Industrial Hazardous Waste Management. Bangkok (January 28, 2000):

117-122.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- กาญจนา ครอบธรรมชาติ. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพอลิลูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- เกรียงสิน เต็มสุนทร. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานพิมพ์ผ้า. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2536.
- จินตนา เป็นสุวรรณ. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมระหว่างกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา กับแบบแอนนออกซิก-แอนแอโรบิก/ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ปราณี สติรพิพัฒน์กุล. การผลิตอาซิโตน-บิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกลดสลายด้วยเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- เพชรพร เขวกิจเจริญ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. รายงานผลการวิจัย ทุนรัชดาภิเษกสมโภช ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537

### ภาษาอังกฤษ

- Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists. Colour Index. vol.2. 3<sup>rd</sup> ed. Yorkshire: SDC, North Carolina: AATCC, 1971a.
- Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists. Colour Index. vol.3. 3<sup>rd</sup> ed. Yorkshire: SDC, North Carolina: AATCC, 1971b.
- Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists. Colour Index. vol.9 incorporating vol.5. 4<sup>th</sup> rev. 3<sup>rd</sup> ed. Yorkshire: SDC, North Carolina: AATCC, 1992.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

การจำแนกสี้อยู่ตามโครงสร้างทางเคมี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สีย้อมสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มโดยใช้โครงสร้างทางเคมีของสีเป็นเกณฑ์ได้ดังนี้

## 1. Azo Colourants

### 1.1 Aromatic Diazo Compound

- Diazotization and Diazo Compounds
- The Coupling Reaction

### 1.2 Azo Compound

- Basic Dyes
- Acid Dyes
- Mordant and Premetallized Dyes
- Azoic Dyes

## 2. Phenylmethane Dyes

## 3. Xantene Dyes

## 4. Indigoid Dyes

## 5. Polycyclicquinone (Anthraquinone, etc.) Dyes

### 5.1 Anthraquinone Group-Vat Dyes

- Acylamino Anthraquinones
- Condensation Products of Amino Anthraquinone and Cyanuric Chloride
- Anthraquinone Acridones
- Benzanthrones
- Anthanthrones
- Pyranthone and Flavanthrone
- Anthrimides
- Carbazoles
- Sulfur-Containing Anthraquinone Compound

### 5.2 Naphthalenic Acid Group-Vat Dyes

### 5.3 Ester of Anthraquinone-Vat Dyes

### 5.4 Anthraquinonoid-Acid Dyes

## 6. Sulfur Fusion Dyes

## 7. Amine Oxidation Colorants

## 8. Phthalocyanine Colorants

## 9. Onium Dyes

## 10. Reactive Dyes

## 11. Pigments



ภาคผนวก ข.

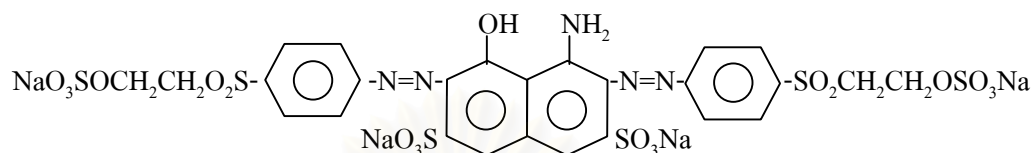
สูตรโครงสร้างของสื่ที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Remazol Black B** (Zahn และ Reinert, 1968 อ้างถึงใน Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists, 1975)

20505 C.I. Reactive Black 5 (*Black*)

FW 991.82

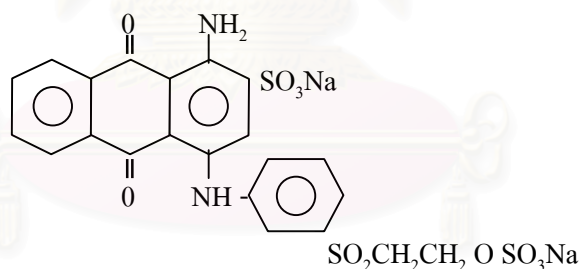


2-(p-Aminophenylsulfonyl)ethanol sulfate ester (2 mol.)  $\Rightarrow$  H-acid

**Remazol Brilliant Blue R** (Hagen, Reese และ Stamm, 1966 อ้างถึงใน Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists, 1971c)

61200 C.I. Reactive Blue 19 (*Bright blue*)

FW 626.55



หมายเหตุ สีที่เหลือไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างสีได้เนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตไม่เปิดเผย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติต่างๆของสี

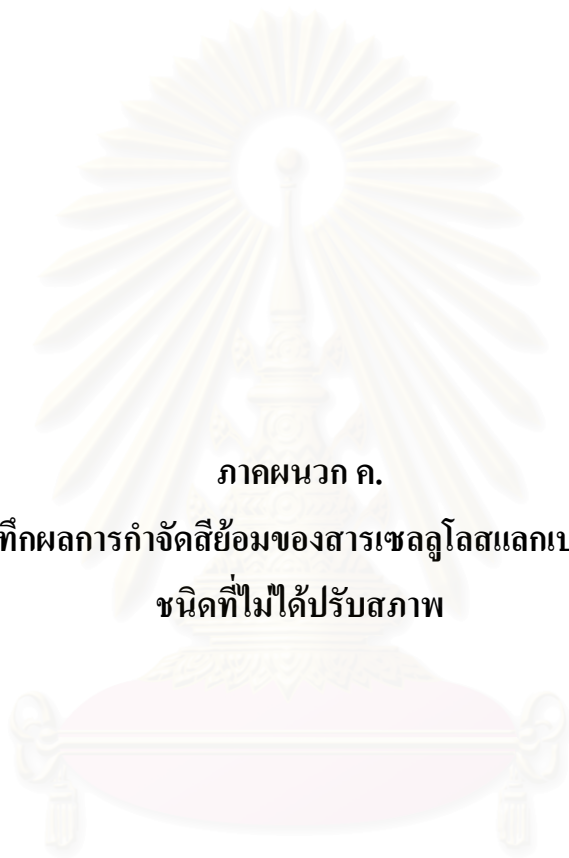
	Remazol Brilliant Blue R	Remazol Brilliant Red 3BS	Remazol Black B
<b>CHEMICAL CLASS</b>	Anthraquinone	Monoazo	Disazo
<b>REACTIVE SYSTEM</b>	Vinylsulphonyl	--	Vinylsulphonyl
<b>C.I. CONSTITUTION NO.</b>	61200	--	50505
<b>HUE.</b>			
Daylight	Bright Blue	Bright Bluish Red	Black
Artificial light (tungsten)	--	Yellower	--
<b>DYEING</b>			
Cellulose	Padding with urea and NaHCO <sub>3</sub> , dried and fixed by steam or dry heat	Exhaustion and padding methods	Cold padding with urea and NaHCO <sub>3</sub> , drying and fixing with steam or heat
Nylon	--	--	--
Silk	--	--	--
Wool	--	--	--
<b>PRINTING</b>	Cellulose: direct printing with NaHCO <sub>3</sub> and a neutral alginate thickener; fixed by neutral steaming Also by discharge styles	Cellulose	Cellulose: direct printing with NaHCO <sub>3</sub> and a neutral alginate thickener and fixing with neutral steam
<b>FASTNESS PROPERTIES</b>			
Fibre	Cotton	Cotton	Cotton
Method	ISO	ISO	ISO
Alkali	5	--	3
Burnt Gas Fumes	--	--	--
Carbonising-Alkaline rinse	--	--	--
Neutral rinse	--	--	--
Decatising	--	--	--
Light- 1/3-1/2 normal	6-7	3-4	2-3
normal	7	4	5
2x normal	--	5	--
Peroxide Bleach –Alternation	--	--	--
Staining	--	--	4-5 (greener)
Perpiration-Alternation	4-5	5 (acid/alk.)	5
Staining	5	5	--
Soda Boil-Alternation	--	--	--
Staining	--	--	--
Washing-Alternation	4-5(75 <sup>0</sup> C)	5 (95 <sup>0</sup> C)	4-5(75 <sup>0</sup> C)
Staining	5	5	5

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติต่างๆของสี (ต่อ)

	Remazol Brilliant Blue R	Remazol Brilliant Red 3BS	Remazol Black B
<b>CHEMICAL CLASS</b>	Anthraquinone	Monoazo	Disazo
<b>REACTIVE SYSTEM</b>	Vinylsulphonyl	--	Vinylsulphonyl
<b>C.I. CONSTITUTION NO.</b>	61200	--	50505
<b>OTHER PROPERTIES</b>			
Dischargeability	Dischargeable to white	Not dischargeable	Not suitable for discharge
Effect of Metals-Copper	--	--	--
-Iron	--	--	--
Reaction in Substance			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc.	--	--	--
Dilute HCl	--	--	--
Dilute NaOH	--	--	--
<b>NON-TEXTILE USAGE</b>	--	--	--
<b>NOTES</b>	Solubility in water: good		Solubility in water: good

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ค.

ตารางบันทึกผลการกำจัดสีย้อมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน  
ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.47	423.460	410.799	2.99
2	60	5.42	423.460	422.682	0.18

ตารางที่ ค.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.45	423.460	418.667	1.13
2	60	5.42	423.460	424.030	0.00

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.48	423.460	405.146	4.32
2	60	5.41	423.460	424.980	0.00

ตารางที่ ค.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.65	158.450	155.434	1.90
2	60	4.68	158.450	158.006	0.28

ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.65	158.450	156.093	1.49
2	60	4.79	158.450	157.950	0.00

ตารางที่ ค.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.59	158.450	156.041	1.52
2	60	4.62	158.450	159.412	0.00

ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.52	130.190	129.684	0.39
2	60	5.57	130.190	130.451	0.00

ตารางที่ ค.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.54	130.190	128.855	1.03
2	60	5.53	130.190	130.043	0.00

ตารางที่ ค.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.57	130.190	130.190	0.00
2	60	5.56	130.190	130.568	0.00

ตารางที่ ค.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	8.36	442.955	435.681	1.64
2	60	8.39	442.955	442.864	0.02

ตารางที่ ค.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	8.30	442.955	441.752	0.27
2	60	8.25	442.955	441.983	0.00

ตารางที่ ค.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	8.29	442.955	437.233	1.29
2	60	8.28	442.955	443.341	0.00

ตารางที่ ค.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	7.36	215.995	212.574	1.58
2	60	7.38	215.995	216.053	0.00

ตารางที่ ค.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	7.25	215.995	213.649	1.09
2	60	7.29	215.995	216.038	0.00

ตารางที่ ค.15 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	7.23	215.995	215.151	0.39
2	60	7.32	215.995	215.644	0.00

ตารางที่ ค.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	6.94	415.020	408.531	1.56
2	60	6.99	415.020	416.310	0.00

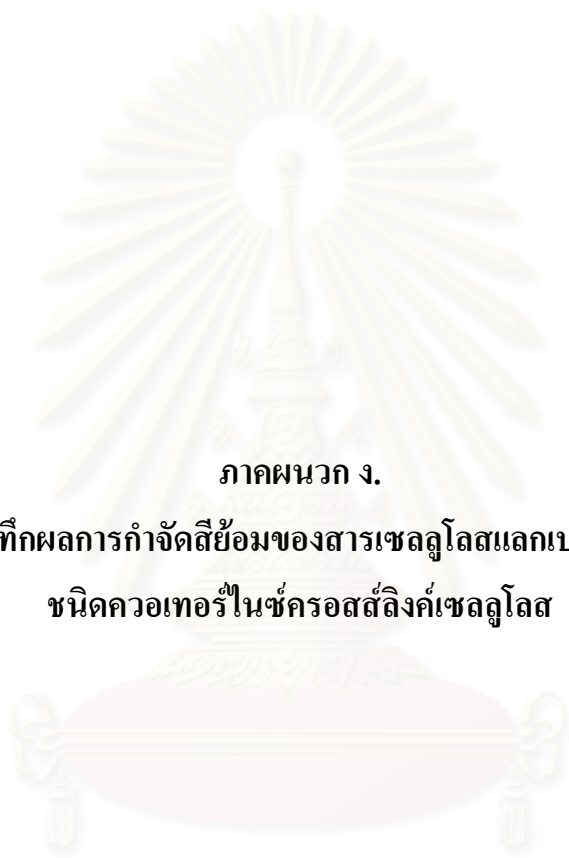


ตารางที่ ค.17 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	6.97	415.020	410.480	1.09
2	60	6.91	415.020	415.324	0.00

ตารางที่ ค.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบค)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	6.97	415.020	395.417	4.72
2	60	6.91	415.020	414.985	0.00



ภาคผนวก ง.

ตารางบันทึกผลการกำจัดสีย้อมของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน  
ชนิดควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครสต์ลิ่งค์เซลลูโลสที่เตรียมจากชั่งข้าวโพด

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.37	423.460	0.000	100.00
2	60	5.22	423.460	0.000	100.00
3	90	5.27	423.460	0.000	100.00
4	120	5.33	423.460	0.675	99.84
5	150	5.58	423.460	20.982	95.05
6	180	5.71	423.460	52.559	87.59
7	210	5.71	423.460	74.000	82.52
8	240	5.76	423.460	138.627	67.26
9	270	5.80	423.460	208.323	50.80
10	300	5.97	423.460	261.268	38.30
11	330	5.95	423.460	348.707	17.65
12	360	5.80	423.460	425.335	0.00

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.39	423.460	0.000	100.00
2	60	6.04	423.460	0.000	100.00
3	90	5.48	423.460	4.295	98.99
4	120	6.50	423.460	28.186	93.34
5	150	5.97	423.460	46.961	88.91
6	180	6.03	423.460	137.605	67.50
7	210	6.17	423.460	233.270	44.91
8	240	6.03	423.460	294.170	30.53
9	270	5.99	423.460	361.925	14.53
10	300	5.92	423.460	370.315	12.55
11	330	5.94	423.460	362.305	14.44
12	360	5.90	423.460	384.875	9.11
13	390	6.12	423.460	381.700	9.86
14	420	5.86	423.460	422.770	0.16
15	450	5.88	423.460	422.956	0.00

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ของควอเทอร์ไนซ์โครสต์ลิ่งค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	3.89	423.460	0.000	100.00
2	60	4.28	423.460	0.000	100.00
3	90	4.95	423.460	0.000	100.00
4	120	5.59	423.460	2.028	99.52
5	150	6.25	423.460	8.073	98.09
6	180	6.46	423.460	15.972	96.23
7	210	6.59	423.460	26.026	93.85
8	240	6.45	423.460	44.953	89.38
9	270	6.41	423.460	70.242	83.41
10	300	6.37	423.460	219.175	48.24
11	330	6.37	423.460	273.040	35.52
12	360	6.32	423.460	339.305	19.87
13	390	6.58	423.460	381.885	9.82
14	420	7.31	423.460	399.360	5.69
15	450	6.08	423.460	400.805	5.35
16	480	6.99	423.460	419.260	0.99
17	510	6.92	423.460	414.715	2.07
18	540	6.80	423.460	433.460	0.00



ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์  
เซลลูโลสที่เตรียมจากชังข้าวโพด

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.83	158.450	0.000	100.00
2	60	4.86	158.450	0.000	100.00
3	90	4.88	158.450	0.000	100.00
4	120	4.86	158.450	0.000	100.00
5	150	5.56	158.450	0.000	100.00
6	180	4.85	158.450	0.000	100.00
7	210	5.16	158.450	8.038	94.93
8	240	5.29	158.450	17.498	88.96
9	270	4.99	158.450	12.872	91.88
10	300	5.25	158.450	28.076	82.28
11	330	4.85	158.450	51.252	67.65
12	360	5.20	158.450	47.555	69.99
13	390	4.63	158.450	107.364	32.24
14	420	4.96	158.450	141.558	10.66
15	450	4.70	158.450	161.105	0.00

ตารางที่ ง.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเตอร์ไนซ์โครสตีลิ่งค์  
เซลล์โลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.83	158.450	0.000	100.00
2	60	5.99	158.450	0.000	100.00
3	90	5.82	158.450	0.000	100.00
4	120	6.40	158.450	0.000	100.00
5	150	6.41	158.450	0.000	100.00
6	180	5.83	158.450	5.315	96.65
7	210	5.79	158.450	35.619	77.52
8	240	5.53	158.450	36.102	77.22
9	270	5.36	158.450	55.617	64.90
10	300	5.30	158.450	62.430	60.60
11	330	5.18	158.450	80.711	49.06
12	360	5.50	158.450	86.670	45.30
13	390	5.03	158.450	117.064	26.12
14	420	4.86	158.450	127.980	19.23
15	450	4.76	158.450	131.580	16.96
16	480	5.01	158.450	135.560	14.45
17	510	4.54	158.450	145.405	8.23
18	540	4.56	158.450	148.655	6.18
19	570	4.49	158.450	149.570	5.60
20	600	4.87	158.450	161.180	0.00

ตารางที่ ง.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ของควอเตอร์ไนซ์โครสดีลิงค์  
เซลล์โลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	3.74	158.450	0.000	100.00
2	60	4.06	158.450	0.000	100.00
3	90	4.61	158.450	0.000	100.00
4	120	6.12	158.450	0.000	100.00
5	150	5.93	158.450	0.000	100.00
6	180	5.81	158.450	0.000	100.00
7	210	5.64	158.450	0.021	99.99
8	240	5.79	158.450	2.796	98.24
9	270	5.73	158.450	11.406	92.80
10	300	5.70	158.450	22.587	85.75
11	330	5.60	158.450	26.194	83.47
12	360	5.54	158.450	49.730	68.61
13	390	5.46	158.450	47.172	70.23
14	420	5.48	158.450	63.370	60.01
15	450	5.75	158.450	59.019	62.75
16	480	7.04	158.450	85.715	45.90
17	51	6.22	158.450	129.440	18.31
18	540	5.59	158.450	120.575	23.90
19	570	5.28	158.450	121.450	23.35
20	600	5.81	158.450	125.630	20.71
21	630	4.95	158.450	129.455	18.30
22	660	4.73	158.450	133.470	15.77
23	690	4.57	158.450	134.595	15.06
24	720	4.54	158.450	140.585	11.27
25	750	4.47	158.450	144.805	8.61
26	780	4.48	158.450	139.735	11.81
27	810	4.50	158.450	147.775	6.74
28	840	4.57	158.450	156.385	1.30
29	870	4.44	158.450	164.000	0.00

ตารางที่ ง.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์  
เซลลูโลสที่เตรียมจากขังข้าวโพด

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.85	130.190	0.000	100.00
2	60	5.02	130.190	0.000	100.00
3	90	5.21	130.190	0.000	100.00
4	120	5.53	130.190	3.150	97.58
5	150	5.74	130.190	5.144	96.05
6	180	5.81	130.190	19.008	85.40
7	210	5.71	130.190	18.822	85.54
8	240	5.8	130.190	26.921	79.32
9	270	5.83	130.190	34.136	73.78
10	300	5.85	130.190	46.608	64.20
11	330	5.84	130.190	64.907	50.14
12	360	5.86	130.190	65.345	49.81
13	390	5.86	130.190	81.942	37.06
14	420	5.85	130.190	90.507	30.48
15	450	5.84	130.190	98.813	24.10
16	480	5.83	130.190	115.473	11.30
17	510	5.80	130.190	122.500	5.91
18	540	5.76	130.190	126.705	0.00

ตารางที่ ง.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์  
เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.88	130.190	0.000	100.00
2	60	4.50	130.190	0.000	100.00
3	90	6.73	130.190	0.000	100.00
4	120	5.50	130.190	0.002	100.00
5	150	6.05	130.190	1.871	98.56
6	180	6.51	130.190	9.472	92.72
7	210	6.42	130.190	34.087	73.82
8	240	6.00	130.190	41.285	68.29
9	270	6.01	130.190	63.702	51.07
10	300	6.17	130.190	81.909	37.09
11	330	5.86	130.190	94.504	27.41
12	360	5.72	130.190	111.201	14.59
13	390	5.64	130.190	118.639	8.87
14	420	5.49	130.190	131.165	0.00



ตารางที่ ง.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์  
เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.85	130.190	0.000	100.00
2	60	5.02	130.190	0.000	100.00
3	90	5.21	130.190	0.000	100.00
4	120	5.53	130.190	3.150	97.58
5	150	5.74	130.190	5.144	96.05
6	180	5.81	130.190	19.008	85.40
7	210	5.71	130.190	18.822	85.54
8	240	5.80	130.190	26.921	79.32
9	270	5.83	130.190	34.136	73.78
10	300	5.85	130.190	46.608	64.20
11	330	5.84	130.190	64.907	50.14
12	360	5.86	130.190	65.345	49.81
13	390	5.86	130.190	81.942	37.06
14	420	5.85	130.190	90.507	30.48
15	450	5.84	130.190	98.813	24.10
16	480	5.83	130.190	115.473	11.30
17	510	5.80	130.190	122.500	5.91
18	540	5.76	130.190	126.705	0.00

ตารางที่ ง.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ดิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.80	442.955	346.501	21.78
2	60	6.16	442.955	344.619	22.20
3	90	6.64	442.955	340.632	23.10
4	120	7.39	442.955	363.780	17.87
5	150	7.27	442.955	356.195	19.59
6	180	7.40	442.955	335.970	24.15
7	210	7.19	442.955	339.180	23.43
8	240	7.18	442.955	367.210	17.10
9	270	7.25	442.955	371.196	16.20
11	300	7.31	442.955	363.666	17.90
13	330	7.31	442.955	378.727	14.50
14	360	7.32	442.955	393.787	11.10
15	390	7.33	442.955	398.660	10.00
16	420	7.42	442.955	412.834	6.80
17	450	7.46	442.955	412.834	6.80
18	480	7.60	442.955	420.364	5.10
19	510	7.86	442.955	435.425	1.70
20	540	8.18	442.955	448.270	0.00

ตารางที่ ง.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ของควอเตอร์ในซ์โครอสต์ดิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.64	442.955	0.000	100.00
2	60	6.38	442.955	0.000	100.00
3	90	6.78	442.955	0.000	100.00
4	120	7.29	442.955	11.874	97.32
5	150	7.42	442.955	63.240	85.72
6	180	7.41	442.955	129.632	70.73
7	210	7.43	442.955	177.784	59.86
8	240	7.32	442.955	250.496	43.45
9	270	7.32	442.955	263.135	40.60
10	300	7.21	442.955	391.825	11.54
11	330	7.20	442.955	441.515	0.33
12	360	7.20	442.955	442.120	0.00

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.12 ประสิทธิภาพการกำจัดดี Best Direct Black B ของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ดิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดดี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.75	442.955	31.814	92.82
2	60	6.03	442.955	328.594	25.82
3	90	6.60	442.955	341.555	22.89
4	120	6.94	442.955	344.969	22.12
5	150	7.18	442.955	350.975	20.77
6	180	7.69	442.955	383.250	13.48
7	210	7.58	442.955	361.344	18.42
8	240	7.86	442.955	361.619	18.36
9	270	8.30	442.955	313.032	29.33
11	300	8.25	442.955	319.439	27.88
12	330	8.48	442.955	328.660	25.80
13	360	8.38	442.955	323.700	26.92
14	390	8.40	442.955	328.525	25.83
15	420	8.33	442.955	334.330	24.52
16	450	8.31	442.955	330.880	25.30
17	480	8.47	442.955	329.493	25.61
18	510	8.41	442.955	346.984	21.67
19	540	8.43	442.955	350.056	20.97
20	570	8.43	442.955	350.465	20.88
21	600	8.48	442.955	353.047	20.30
22	630	8.46	442.955	352.515	20.42
23	660	8.46	442.955	341.062	23.00
24	690	8.45	442.955	374.410	15.47
25	720	8.49	442.955	420.364	5.10
26	750	8.32	442.955	477.063	0.00

ตารางที่ ง.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากซังข้าวโพด

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.75	215.995	0.58	99.73
2	60	5.64	215.995	18.806	91.29
3	90	5.84	215.995	24.387	88.71
4	120	5.97	215.995	23.950	88.91
5	150	6.65	215.995	39.943	81.51
6	180	6.61	215.995	64.820	69.99
7	210	6.53	215.995	106.133	50.86
8	240	6.49	215.995	103.112	52.26
9	270	6.38	215.995	113.919	47.26
11	300	6.36	215.995	128.202	40.65
13	330	6.18	215.995	133.866	38.02
14	360	6.20	215.995	153.310	29.02
15	390	6.09	215.995	147.330	31.79
16	420	6.02	215.995	147.540	31.69
17	450	6.06	215.995	147.685	31.63
18	480	6.11	215.995	154.980	28.25
19	510	6.12	215.995	177.695	17.73
20	540	6.09	215.995	172.507	20.13
21	570	7.05	215.995	180.067	16.63
22	600	7.13	215.995	201.739	6.60
23	630	7.17	215.995	206.410	4.44
24	660	7.18	215.995	214.360	0.76
25	690	7.18	215.995	214.970	0.00



ตารางที่ ง.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.44	215.995	0.000	100.00
2	60	4.55	215.995	0.000	100.00
3	90	4.96	215.995	0.000	100.00
4	120	5.12	215.995	0.000	100.00
5	150	5.67	215.995	20.861	90.34
6	180	5.63	215.995	56.243	73.96
7	210	5.48	215.995	52.434	75.72
8	240	5.56	215.995	78.900	63.47
9	270	5.96	215.995	97.085	55.05
11	300	6.24	215.995	100.427	53.50
13	330	6.20	215.995	117.960	45.39
14	360	6.17	215.995	110.083	49.03
15	390	6.20	215.995	177.674	17.74
16	420	6.20	215.995	196.336	9.10
17	450	6.22	215.995	211.190	2.22
18	480	6.24	215.995	221.478	0.00

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.15 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ของควอเตอร์ไนซ์โครสตีลิ่งเซลล์โลส  
ที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหล ผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการ กำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	5.29	215.995	0.000	100.00
2	60	5.20	215.995	22.753	89.47
3	90	6.21	215.995	49.522	77.07
4	120	6.45	215.995	64.620	70.08
5	150	6.40	215.995	73.543	65.95
6	180	6.16	215.995	138.233	36.00
7	210	6.16	215.995	146.757	32.06
8	240	6.13	215.995	148.399	31.30
9	270	6.11	215.995	155.176	28.16
11	300	6.14	215.995	145.881	32.46
13	330	6.11	215.995	148.857	31.08
14	360	6.11	215.995	142.291	34.12
15	390	6.11	215.995	138.217	36.01
16	420	6.09	215.995	134.817	37.58
17	450	6.13	215.995	131.757	39.00
18	480	6.00	215.995	133.400	38.24
19	510	6.27	215.995	179.360	16.96
20	540	6.21	215.995	200.965	6.96
21	570	6.24	215.995	186.730	13.55
22	600	6.10	215.995	180.385	16.49
23	630	6.29	215.995	190.880	11.63
24	660	6.44	215.995	188.065	12.93
25	690	6.60	215.995	186.950	13.45
26	720	6.60	215.995	170.875	20.89
27	750	6.60	215.995	175.000	18.98
28	780	6.67	215.995	170.189	21.21
29	810	6.86	215.995	183.380	15.10
30	840	7.05	215.995	194.396	10.00
31	870	7.11	215.995	200.000	7.41
32	900	7.17	215.995	214.267	0.80
33	930	7.18	215.995	215.348	0.00

ตารางที่ ง.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด

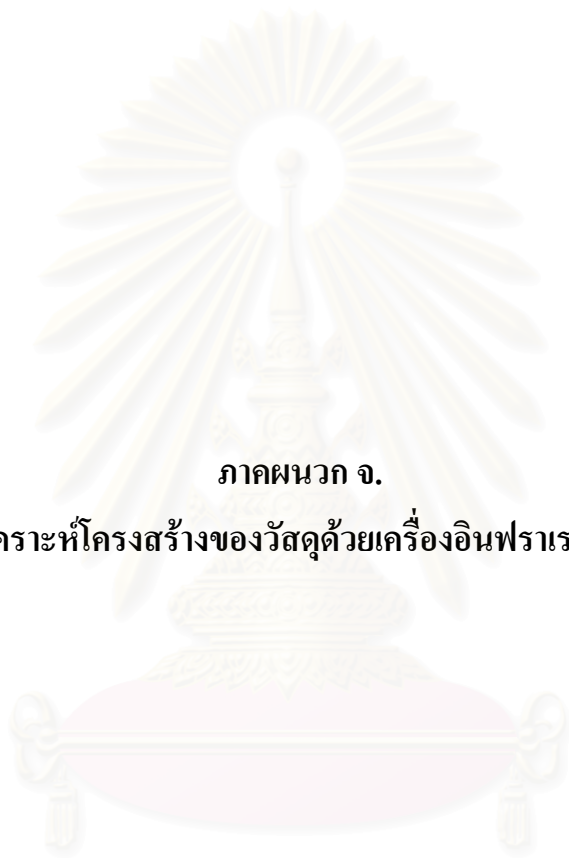
ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.84	415.020	4.732	98.86
2	60	6.16	415.020	7.886	98.10
3	90	6.43	415.020	197.385	52.44
4	120	6.47	415.020	220.699	46.82
5	150	6.82	415.020	289.780	30.18
6	180	6.85	415.020	310.270	25.24
7	210	6.84	415.020	282.735	31.87
8	240	6.85	415.020	255.665	38.40
9	270	6.84	415.020	253.955	38.81
10	300	6.80	415.020	258.025	37.83
11	330	6.82	415.020	279.950	32.55
12	360	6.78	415.020	288.860	30.40
13	390	6.78	415.020	279.615	32.63
14	420	6.73	415.020	263.620	36.48
15	450	6.57	415.020	241.815	41.73
16	480	6.61	415.020	334.580	19.38
17	510	6.65	415.020	383.815	7.52
18	540	6.64	415.020	373.805	9.93
19	570	6.64	415.020	376.300	9.33
20	600	6.62	415.020	378.785	8.73
21	630	6.62	415.020	377.380	9.07
22	660	6.58	415.020	372.615	10.22
23	690	6.64	415.020	382.140	7.92
24	720	6.67	415.020	391.930	5.56
25	750	6.65	415.020	376.025	9.40
26	780	6.64	415.020	380.435	8.33
27	810	6.67	415.020	386.125	6.96
28	840	6.80	415.020	386.460	6.88
29	877	6.81	415.020	407.130	2.59
30	900	6.81	415.020	420.145	0.00

ตารางที่ ง.17 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.33	415.020	0.000	100.00
2	60	5.66	415.020	0.000	100.00
3	90	5.78	415.020	12.050	97.10
4	120	5.88	415.020	68.243	83.56
5	150	6.03	415.020	151.321	63.54
6	180	6.12	415.020	160.056	61.43
7	210	6.15	415.020	157.210	62.12
8	240	6.19	415.020	151.368	63.53
9	270	6.23	415.020	188.642	54.55
10	300	6.21	415.020	229.780	44.63
11	330	6.32	415.020	235.640	43.22
12	360	6.34	415.020	271.041	34.69
13	390	6.37	415.020	306.868	26.06
14	420	6.39	415.020	301.640	27.32
15	450	6.39	415.020	368.898	11.11
16	480	6.45	415.020	363.894	12.32
17	510	6.45	415.020	364.283	12.23
18	540	6.46	415.020	355.770	14.28
19	570	6.52	415.020	379.400	8.58
20	600	6.51	415.020	385.442	7.13
21	630	6.55	415.020	421.657	0.00

ตารางที่ ง.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ของควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ (ปริมาตรเบด)	พีเอช	ค่าสีตั้งต้น (SU)	ค่าสีของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ (SU)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
1	30	4.84	415.020	7.886	98.10
2	60	5.36	415.020	137.177	66.95
3	90	6.16	415.020	197.385	52.44
4	120	6.43	415.020	220.699	46.82
5	150	6.47	415.020	289.780	30.18
6	180	6.82	415.020	310.270	25.24
7	210	6.85	415.020	282.735	31.87
8	240	6.84	415.020	255.665	38.40
9	270	6.85	415.020	253.955	38.81
10	300	6.84	415.020	258.025	37.83
11	330	6.80	415.020	279.950	32.55
12	360	6.82	415.020	288.860	30.40
13	390	6.78	415.020	279.615	32.63
14	420	6.78	415.020	263.620	36.48
15	450	6.73	415.020	241.815	41.73
16	480	6.57	415.020	334.580	19.38
17	510	6.61	415.020	383.815	7.52
18	540	6.65	415.020	373.805	9.93
19	570	6.64	415.020	376.300	9.33
20	600	6.64	415.020	378.785	8.73
21	630	6.62	415.020	377.380	9.07
22	660	6.62	415.020	372.615	10.22
23	690	6.64	415.020	382.140	7.92
24	720	6.65	415.020	376.025	9.40
25	750	6.64	415.020	380.435	8.33
26	780	6.67	415.020	386.125	6.96
27	810	6.80	415.020	386.460	6.88
28	840	6.81	415.020	407.130	1.90
29	870	6.81	415.020	420.145	0.00

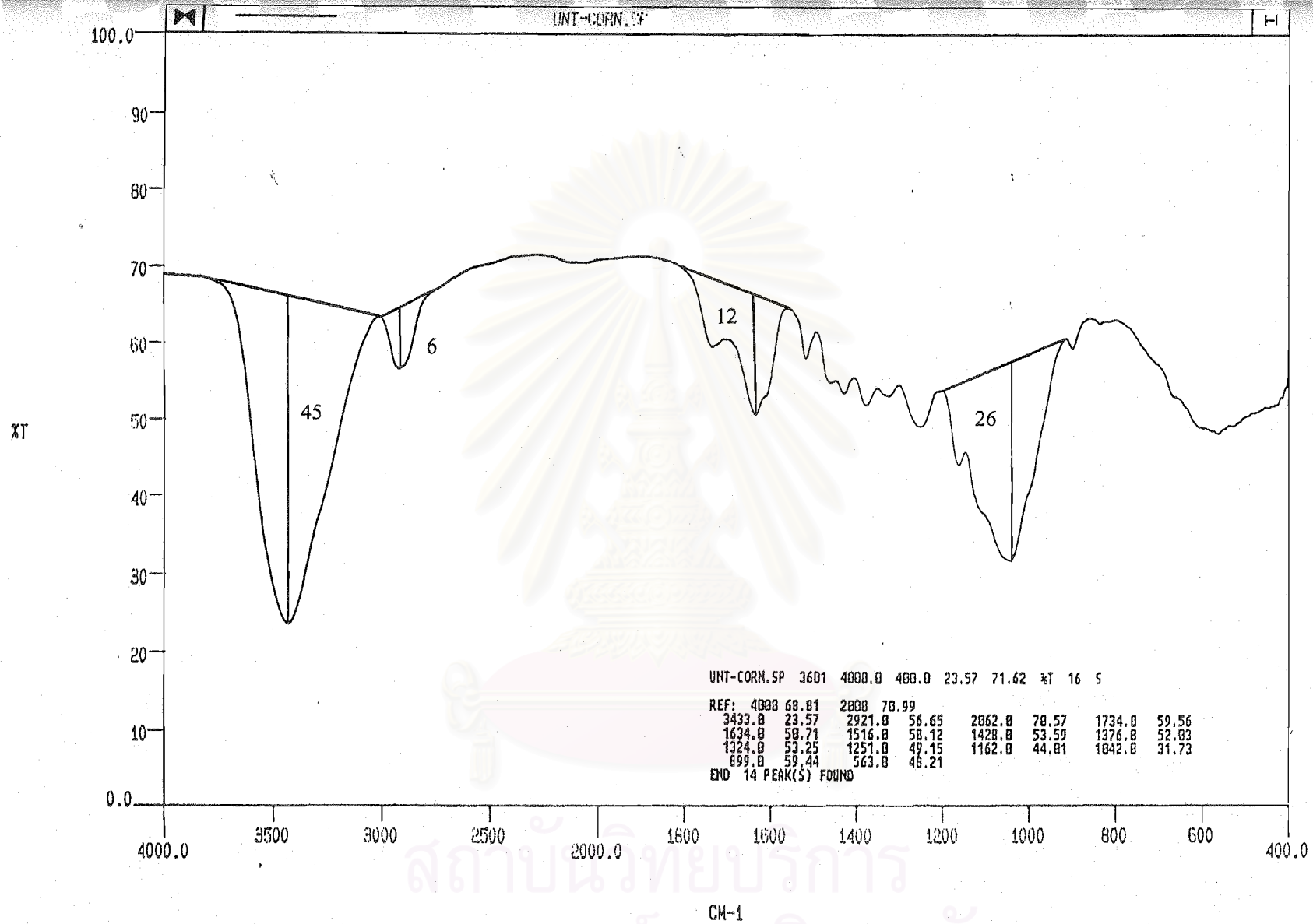


ภาคผนวก จ.

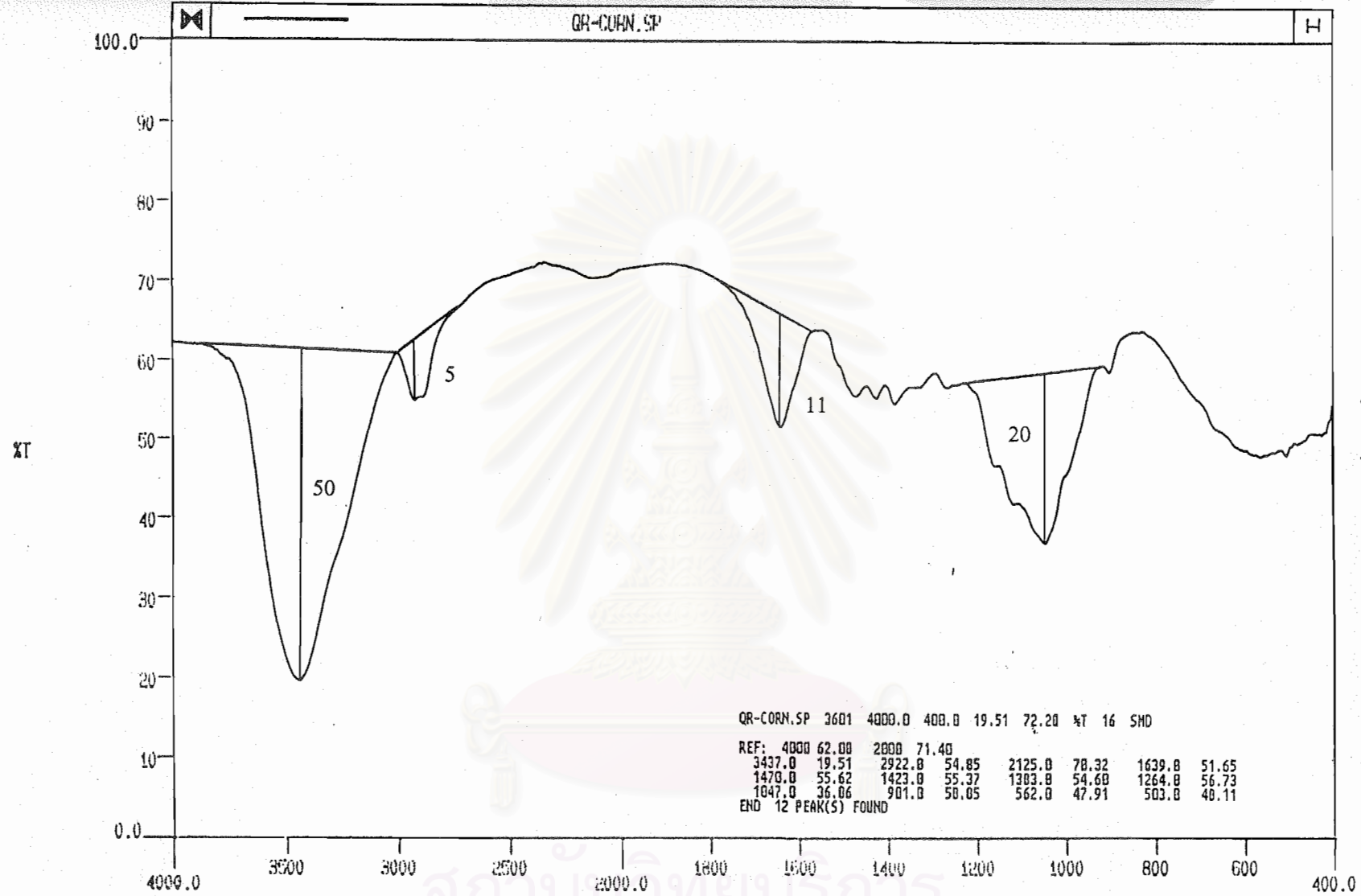
กราฟผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ จ.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างขงข้าวโพดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

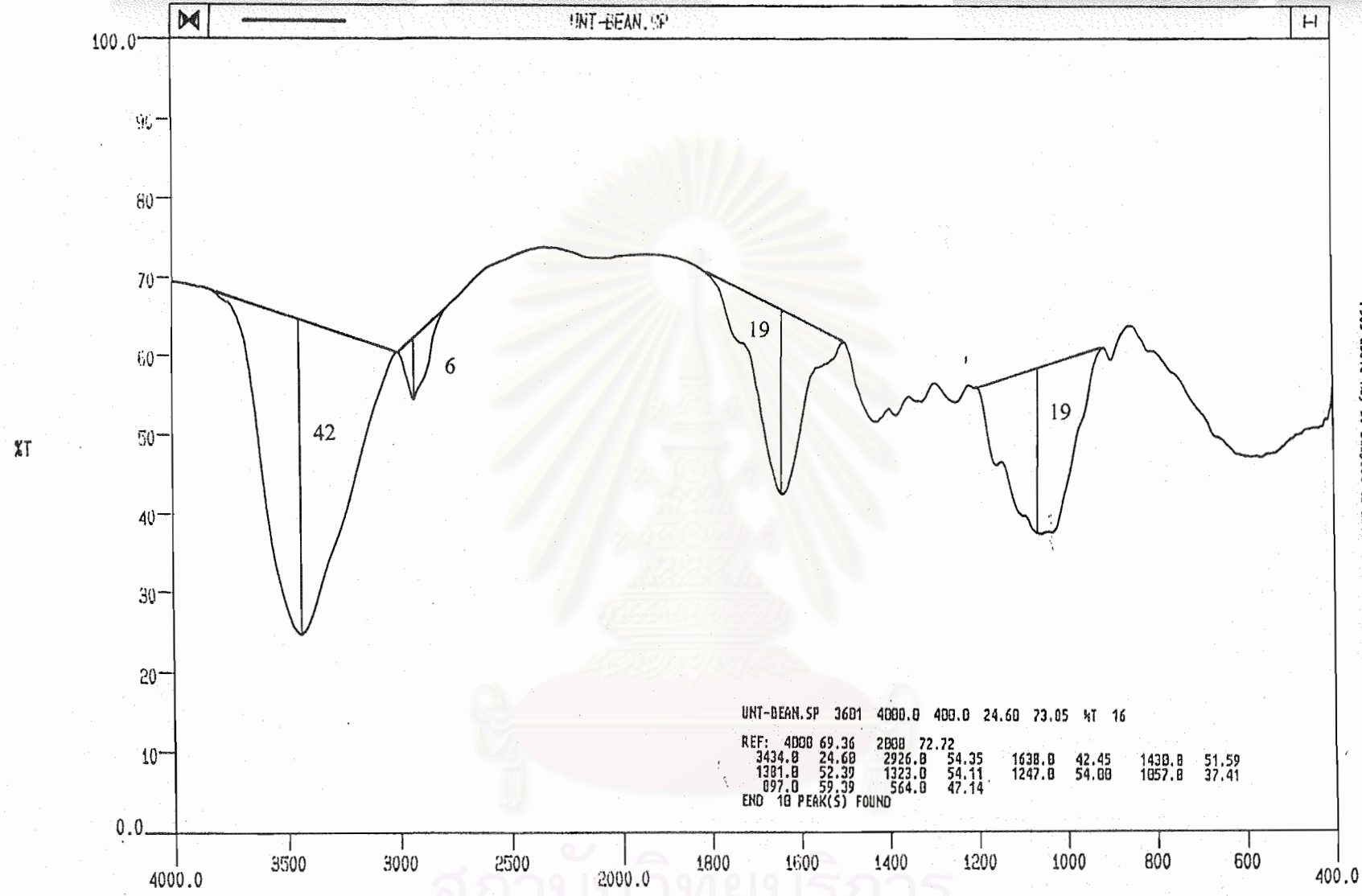


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 482 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

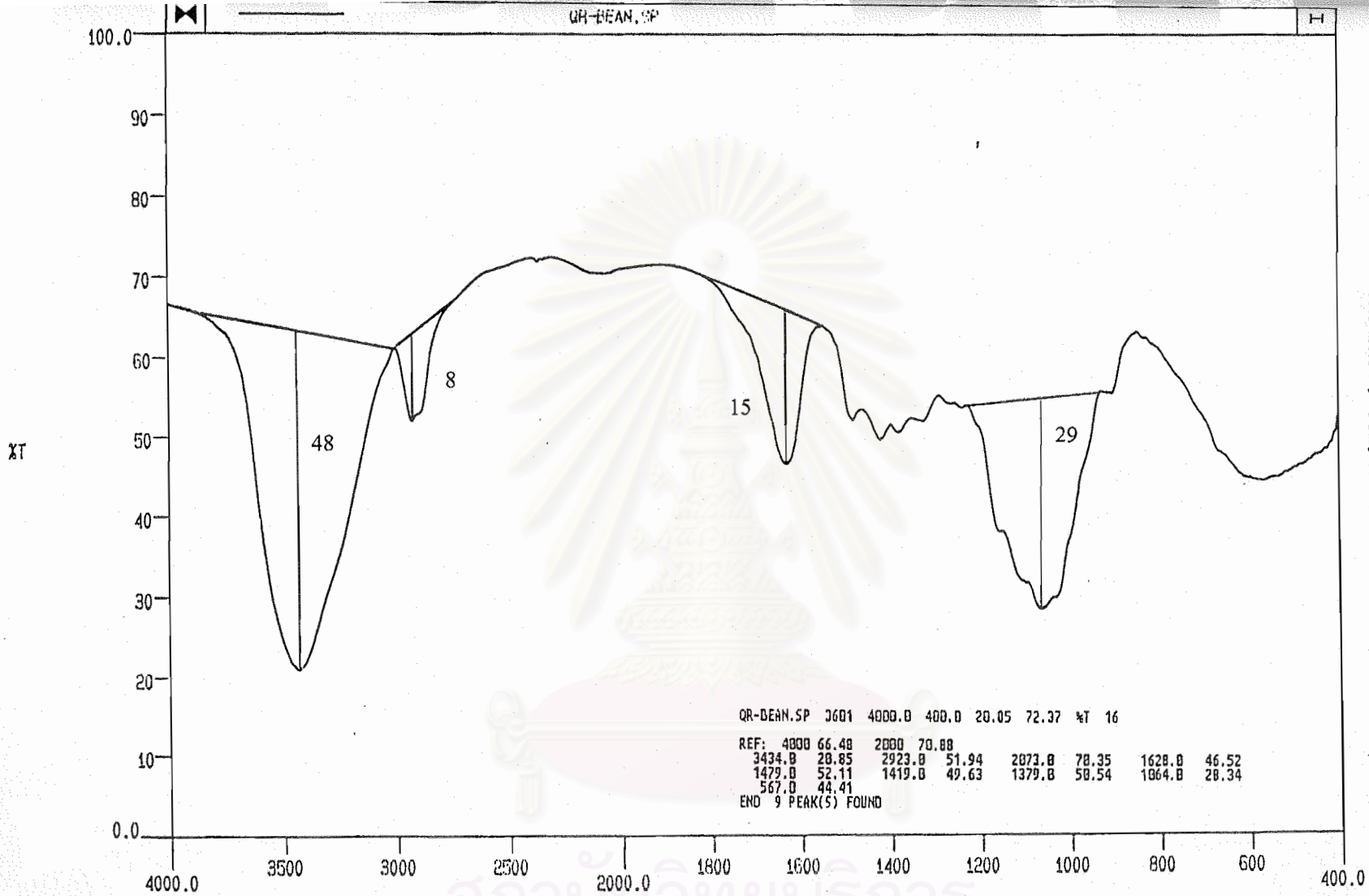
CM-1

รูปที่ จ.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์เซลลูโลสซังข้าวโพดด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์



201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY  
 PSLs above may be subject to interference. Consult Manual.

รูปที่ จ.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างเปลือกถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

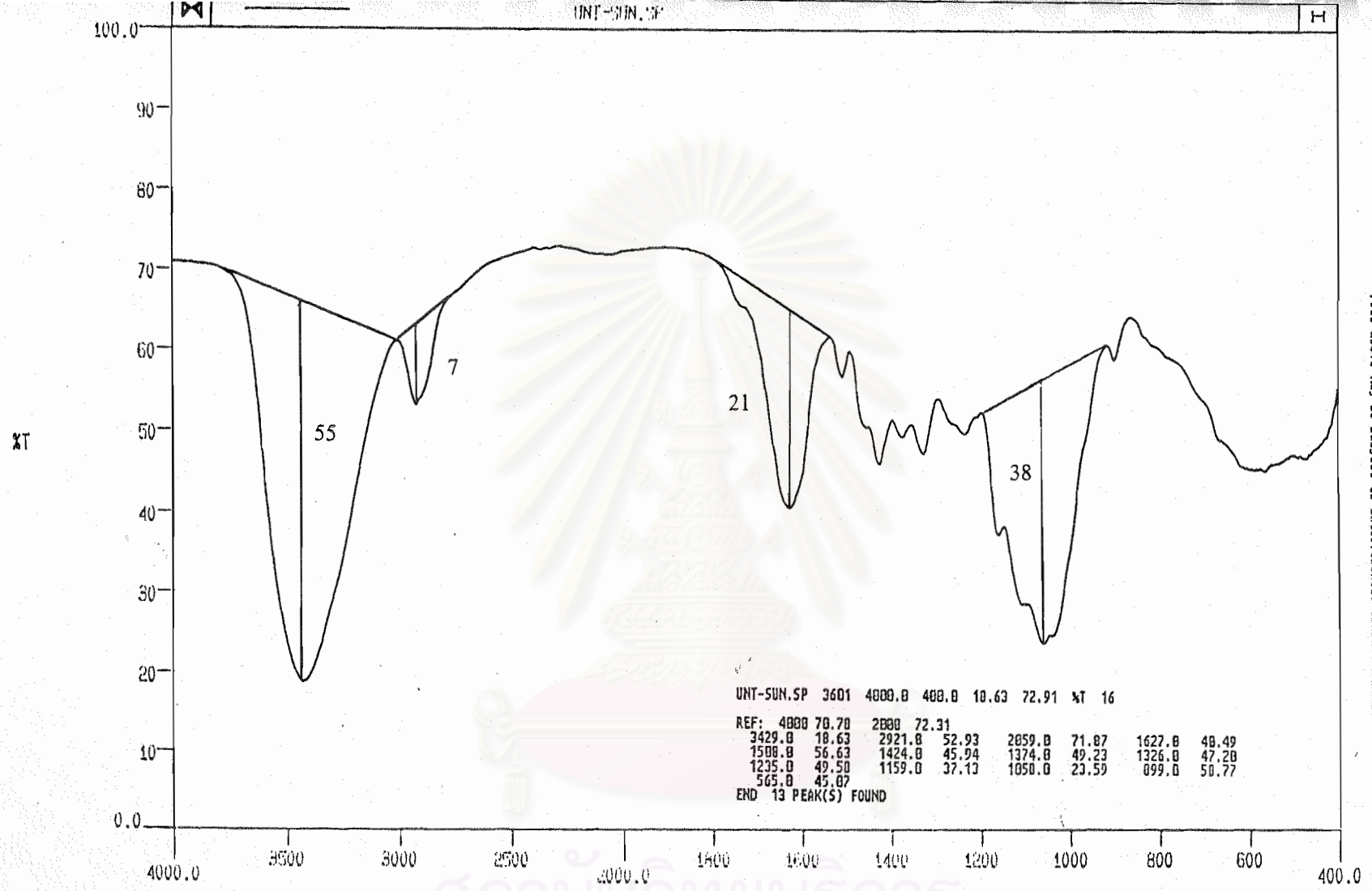


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 482 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

CM-1

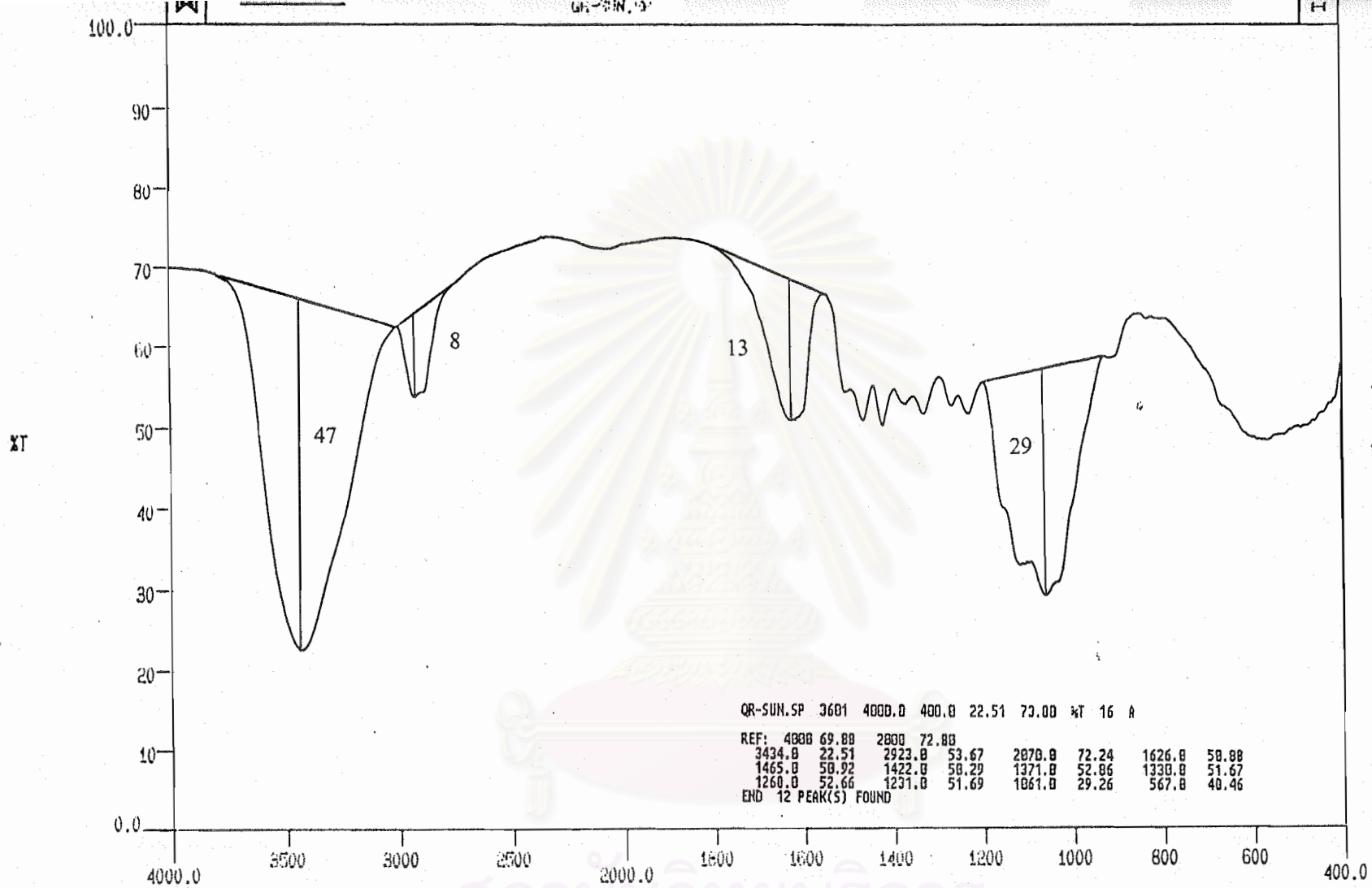
รูปที่ จ.4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเซลลูโลสเปลือกถั่วเหลืองด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์



CM-1

รูปที่ จ.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างก้านทานตะวันที่ยังไม่ได้ปรับสภาพด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์





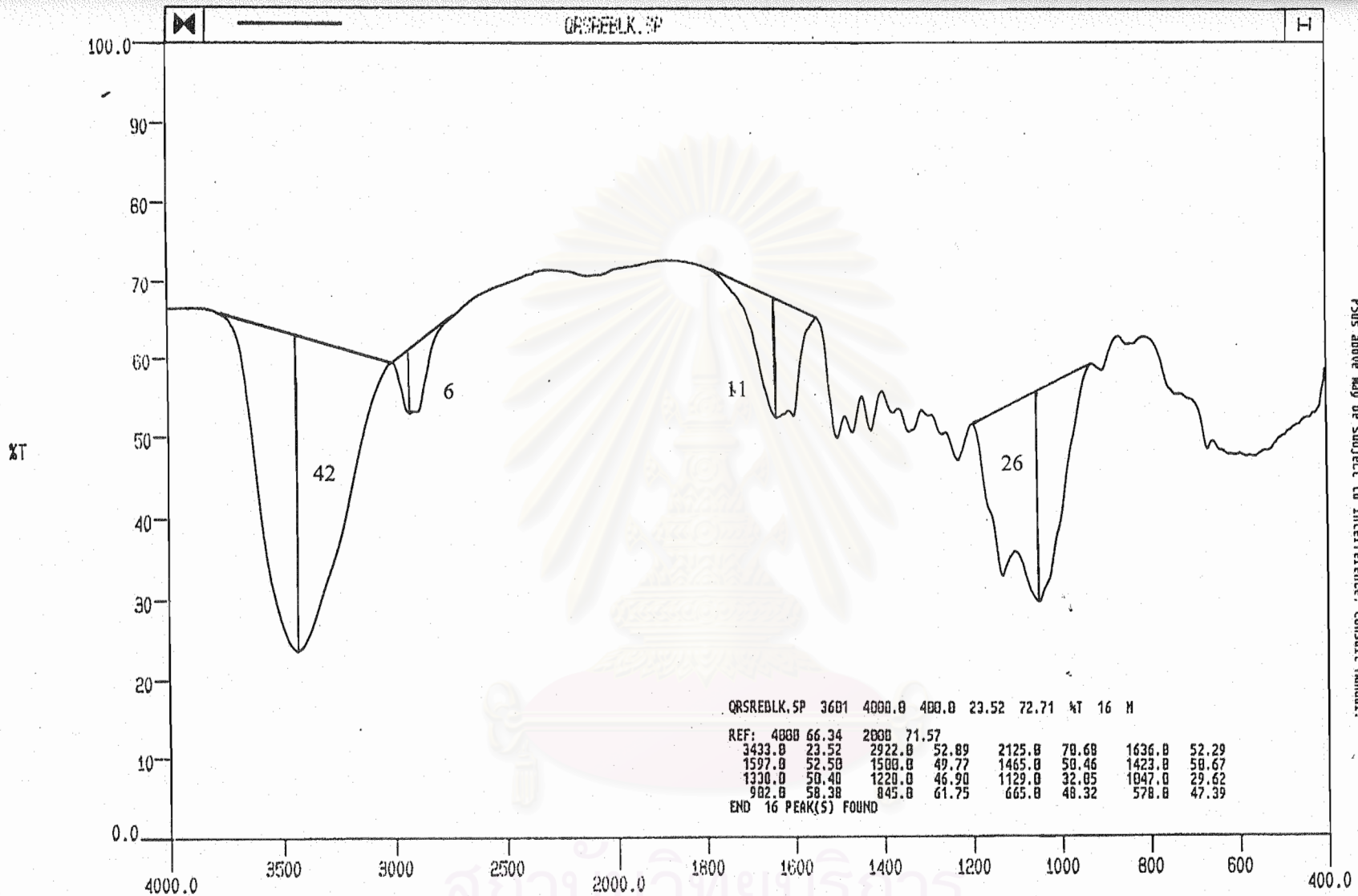
201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUTED  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

สถาบันวิทยบริการ  
 CM-1

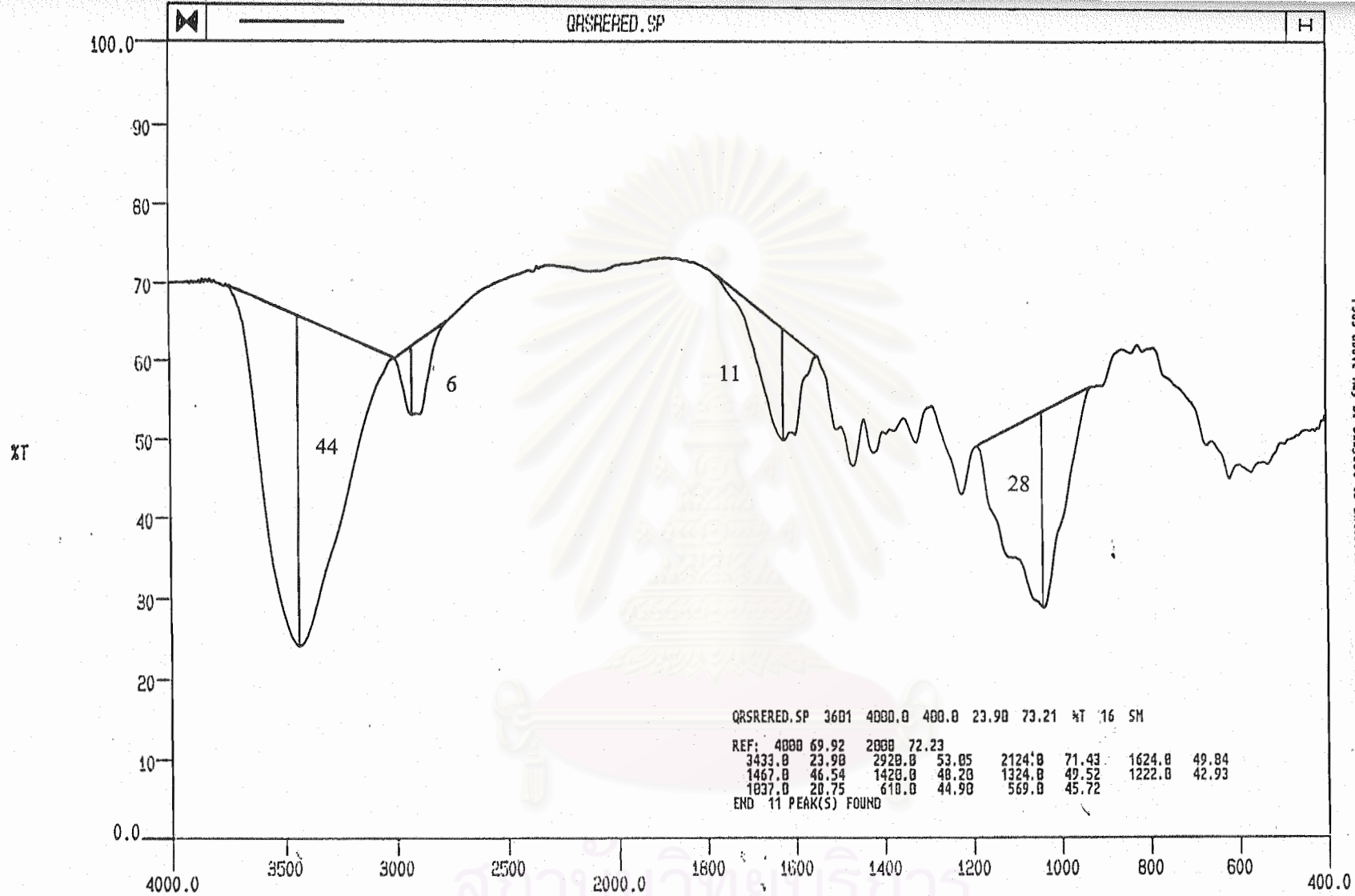
รูปที่ จ.6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสกำหนดวันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์





CM-1

รูปที่ จ.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสสตีลิ่งค์เซลลูโลสกำหนดวันหลังการกำจัดสี Remazol Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

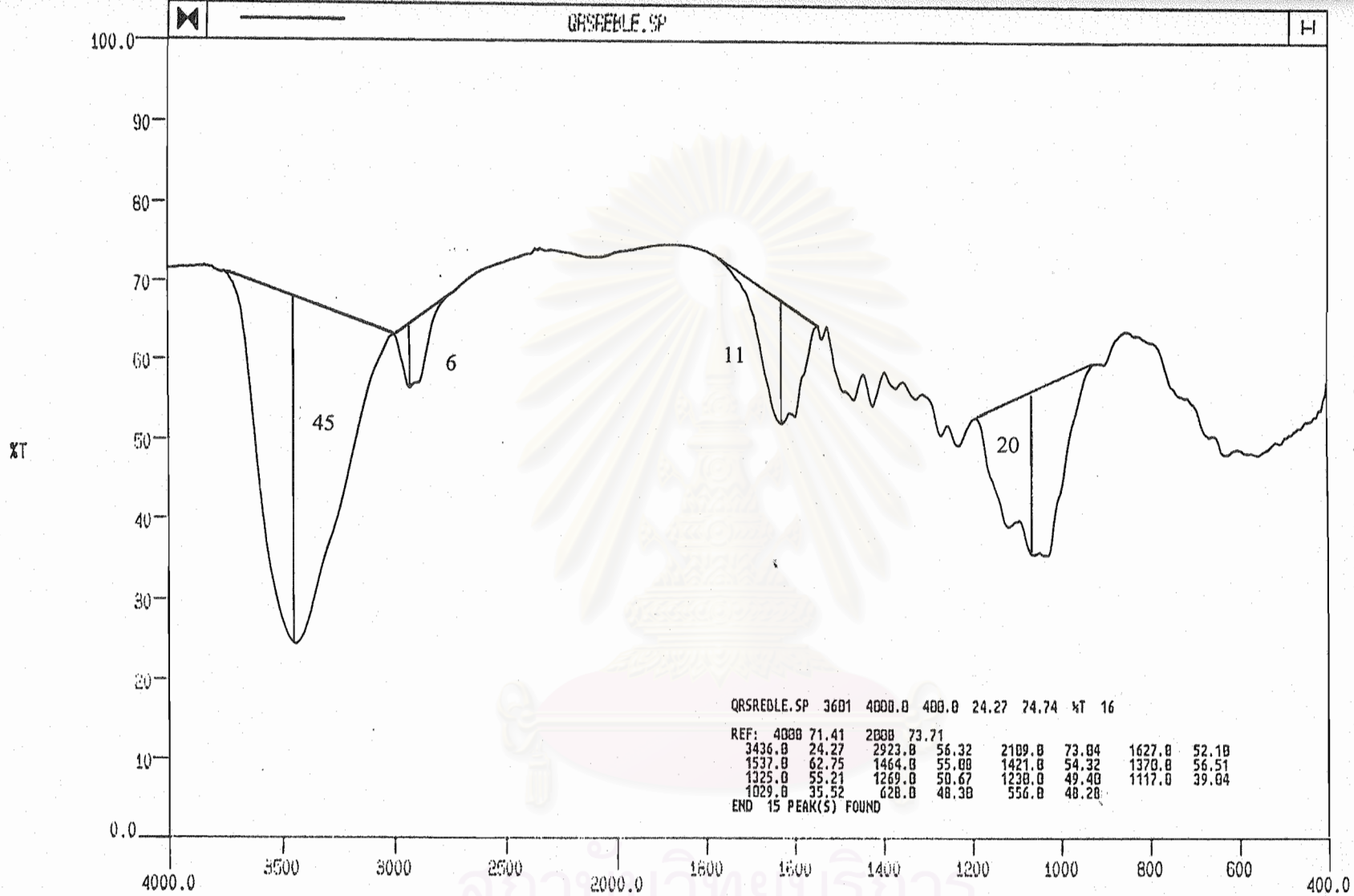


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

CM-1

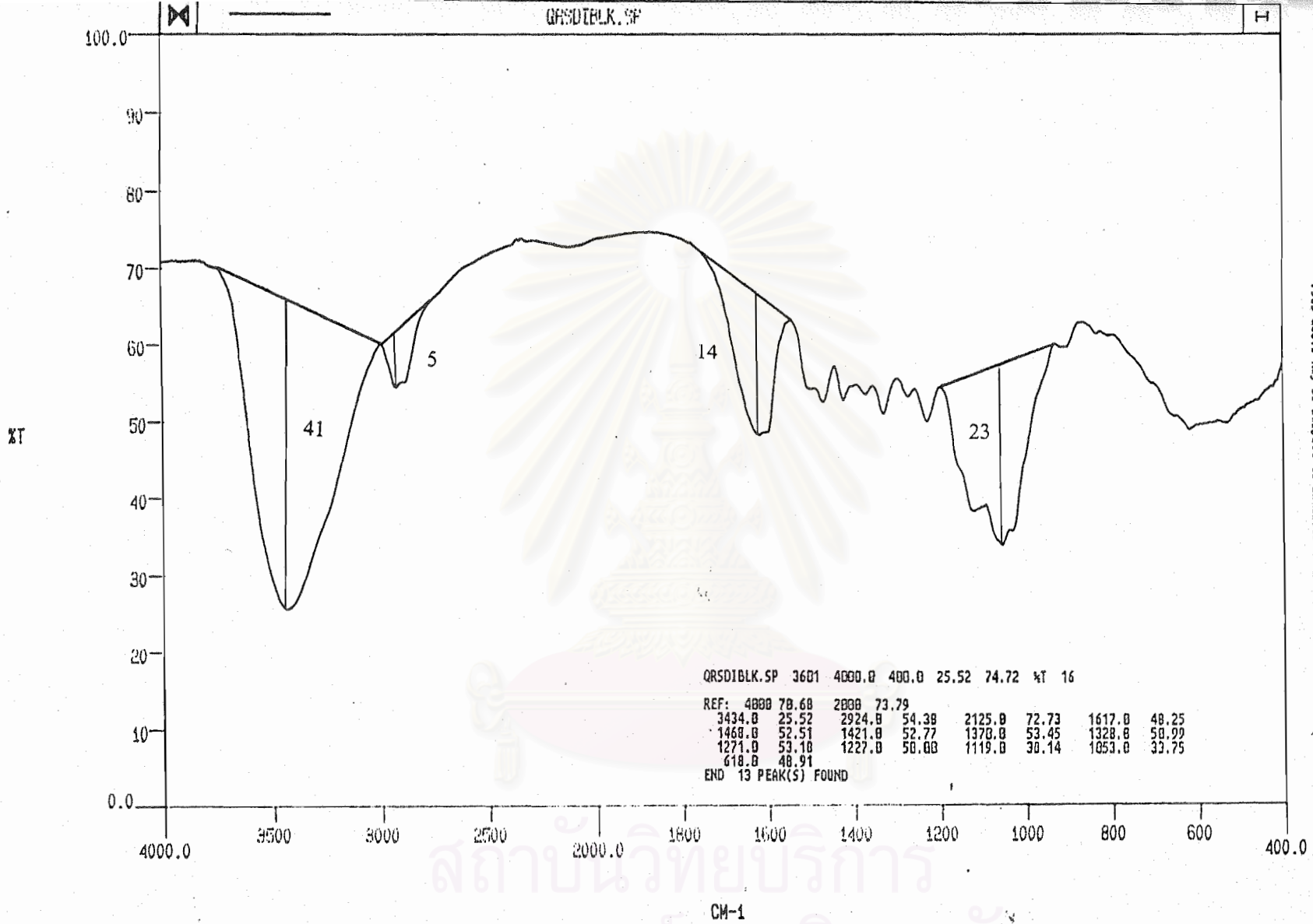
รูปที่ จ.8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสสลิคซ์เซลลูโลสก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์



201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 492 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY  
 PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

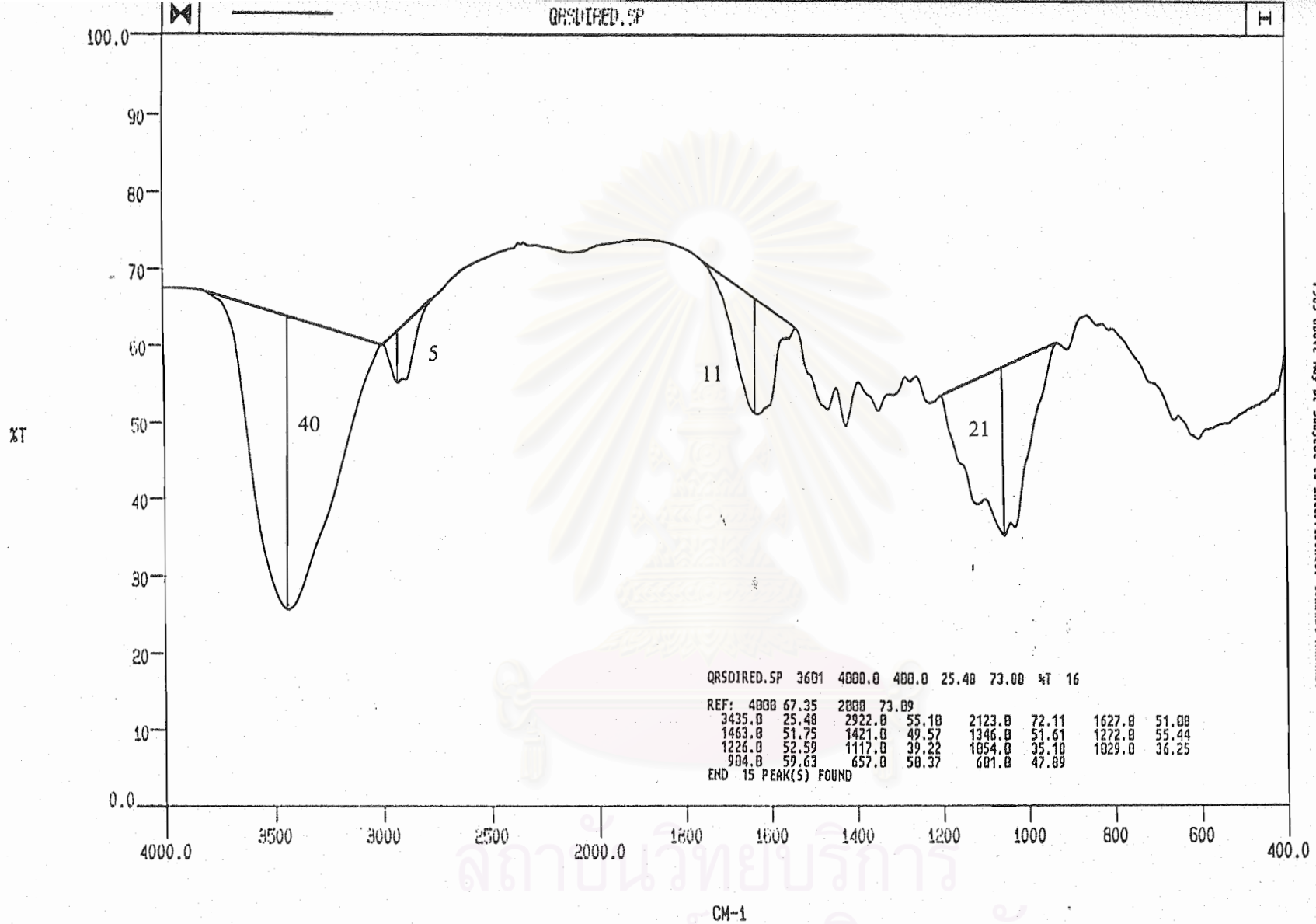
CM-1

รูปที่ จ.9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสสตีลิ่งเซลลูโลสกันทานตะวันหลังการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์



201 ALKYL GROUP - GENERAL OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY  
 PSUs above may be subject to interference, Consult Manual.

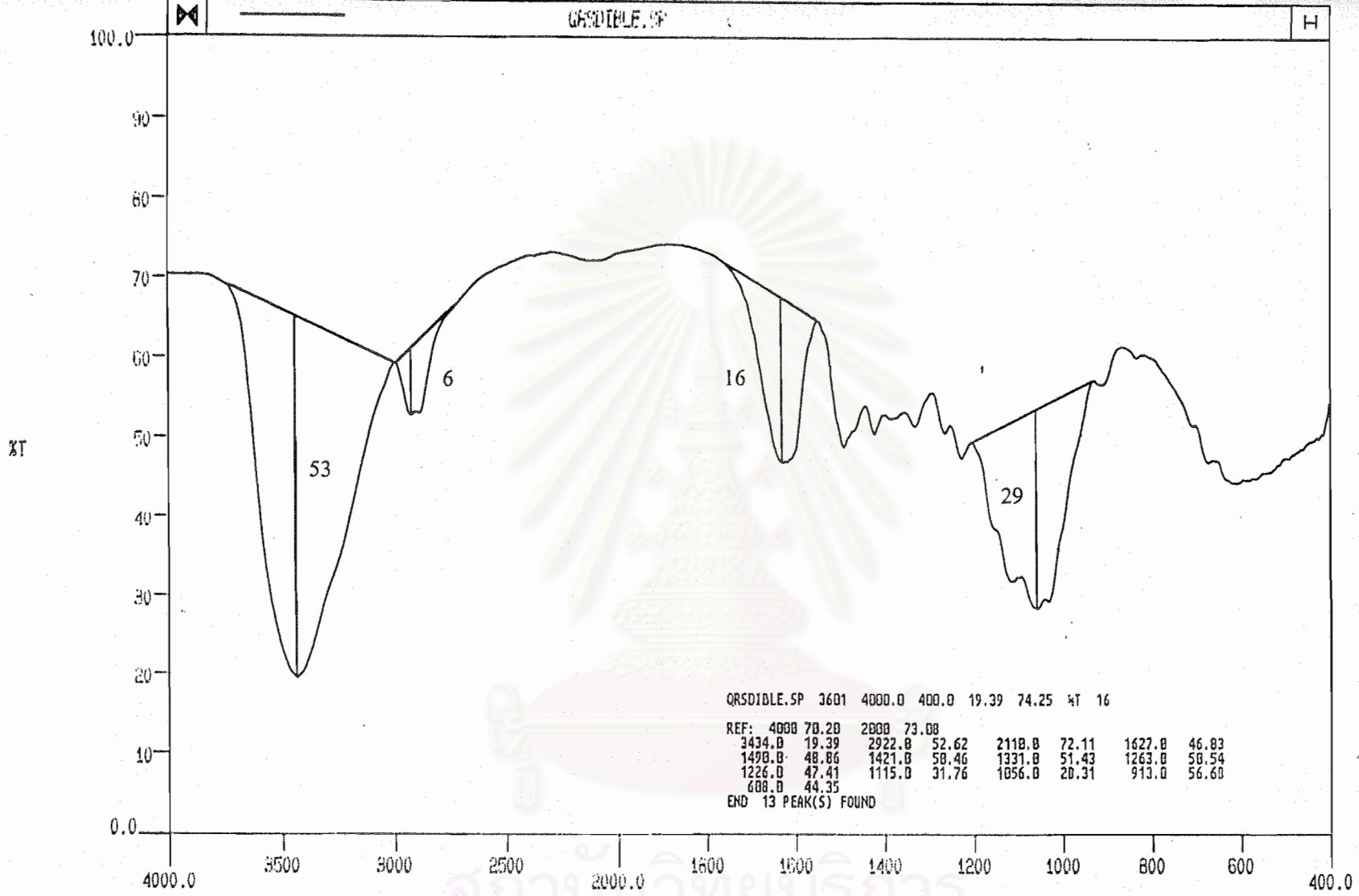
รูปที่ จ.10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสก้านทานตะวันหลังการกำจัดสี Best Direct Black B ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์



201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY  
 PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

รูปที่ จ.11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเทอร์ไนซ์โครสสลิงค์เซลลูโลสสำนักงานตวันหลังการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์





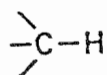
CM-1

รูปที่ จ.12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างควอเตอร์ไนซ์โครสสดีลิ่งเซลลูโลสกำหนดวันหลังการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

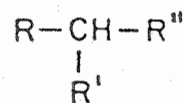
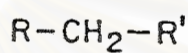
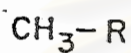


## 201 ALKYL GROUP - GENERAL

## Basic Functional Group:



## Typical Structures:



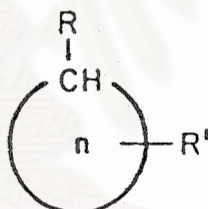
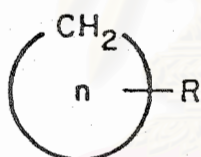
## Chain structures:

methyl

methylene

methine

## Ring Structures:



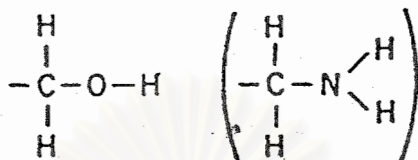
Where: R, R', R'' is a general substituent or functional group.  
n is ring size, 4 atoms or larger.

Note: This does not necessarily include compounds where R, R' and R'' = halogen.

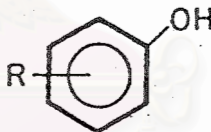
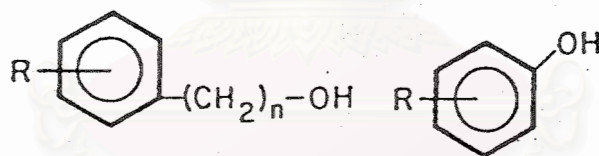
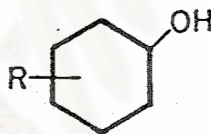
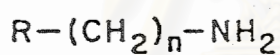
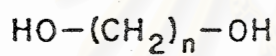
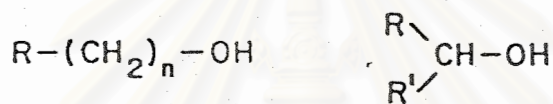
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT

## Basic Functional Group:



## Typical Structures:



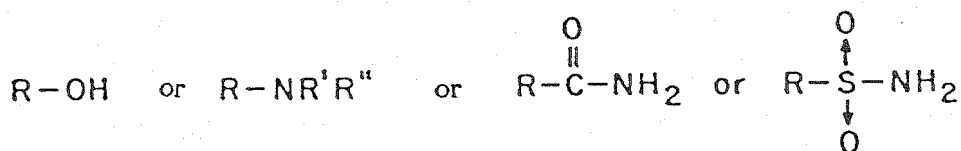
Where: R, R' is alkyl, general substituent or hydrogen.

n is chain length, 1 or larger.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

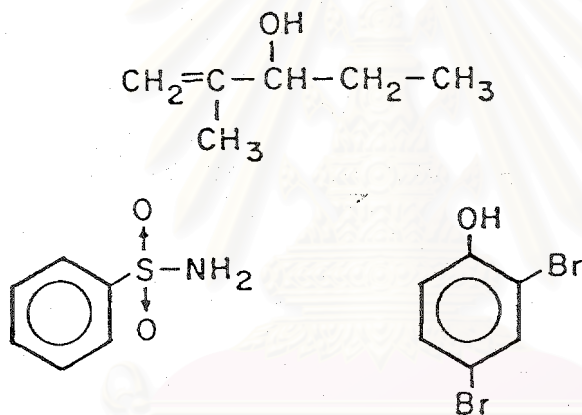
## 402 HYDROXY OR NH COMPOUND, GENERAL

Basic Functional Group:



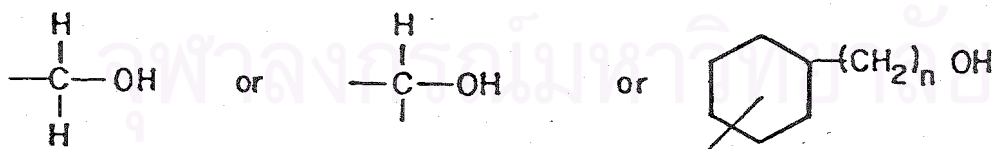
Where: R' is H or other  
R'' is H or other

Typical Structures:



## 511 ALIPHATIC ALCOHOL (GENERAL)

Basic Functional Group:



Where: n is less than 6.

Typical Structures:

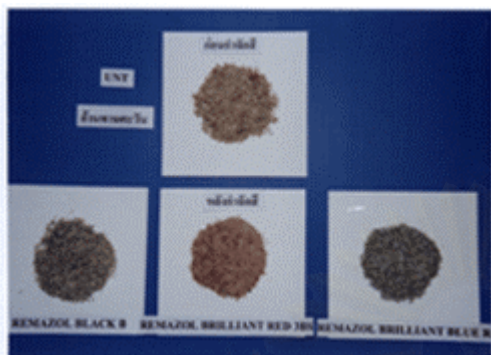
Primary, secondary, tertiary and cyclic alcohols may all appear within this structural unit. Some ether-containing molecules (particularly polysaccharides) may also appear.



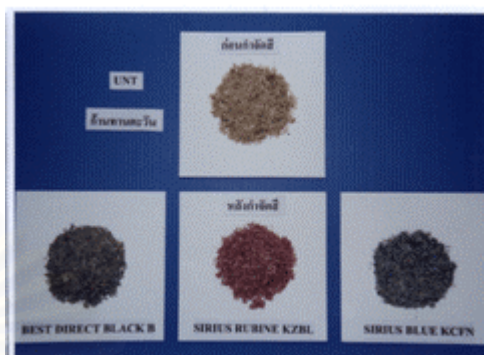
ภาคผนวก ฉ.

สารเชลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนหลังผ่านการกำจัดดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

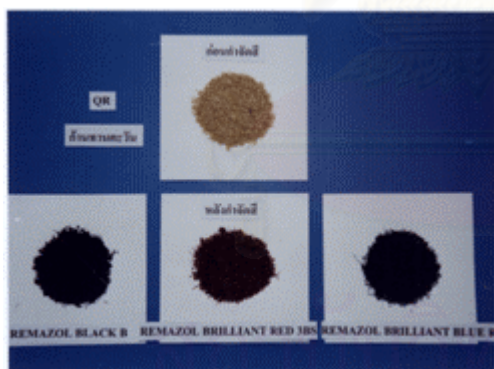


ก)

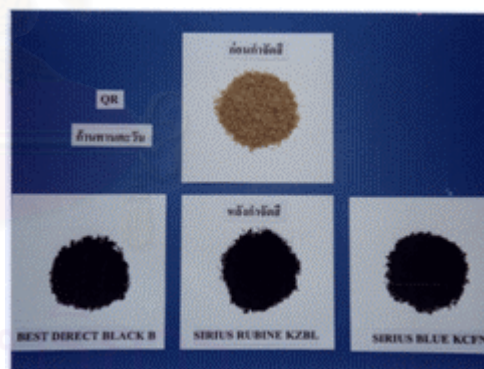


ข)

รูปที่ ๑.1 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดที่ยังไม่ได้รับสภาพ  
ที่เตรียมจากก้านทานตะวันก่อนและหลังการกำจัดสีรีแอกทีฟ ก) และสีไคเรกท์ ข)



ก)



ข)

รูปที่ ๑.2 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส  
ที่เตรียมจากก้านทานตะวันก่อนและหลังการกำจัดสีรีแอกทีฟ ก) และสีไคเรกท์ ข)



ภาคผนวก ช.

การคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมวัสดุควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส

ในการทดลองสารเคมีที่ใช้มีราคา ดังนี้

1. NaOH 1 กิโลกรัม ราคา 300 บาท
2. CHMAC (60 % wt.) 1 ลิตร ราคา 3050 บาท
3. Epichlorohydrin 1 กิโลกรัม ราคา 2515 บาท

คิดเป็นราคาต่อกรัมวัสดุ ดังนี้

1. NaOH 5 N ปริมาตร 2.45 มิลลิลิตร

$$\text{เป็นเงิน} = 5 \times 40 (2.45/1000) \times (300/1000) = 0.15 \text{ บาท}$$

2. CHMAC ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร

$$\text{เป็นเงิน} = (1.00/1000) \times 3050 = 3.05 \text{ บาท}$$

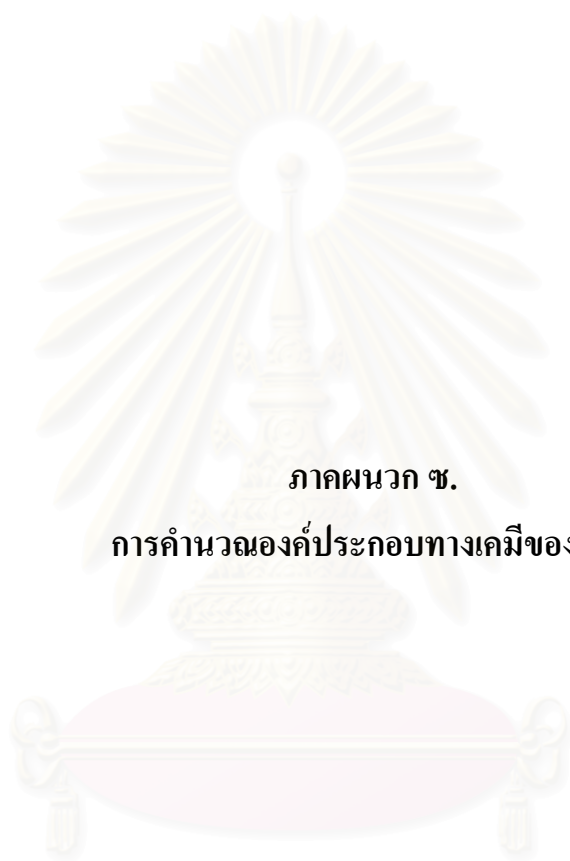
3. Epichlorohydrin ปริมาตร 0.234 มิลลิลิตร

$$\text{เป็นเงิน} = (0.234/1000) \times 2515 = 0.589 \text{ บาท}$$

รวมเป็นเงิน  $0.15 + 3.05 + 5.8851 = 3.789$  บาทต่อกรัมวัสดุ

ตารางที่ ข.1 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีน้ำเสีย ความเข้มข้นสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 90

สี	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร) ในการกำจัดสีของควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส		
	ซังข้าวโพด	เปลือกถั่วเหลือง	ก้านทานตะวัน
รีแอกทีฟ :			
Remazol Black B	1,578	2,497	1,722
Remazol Brilliant Red 3BS	1,346	1,405	1,337
Remazol Brilliant Blue R	1,892	1,656	1,205
ไดเรกต์ :			
Best Direct Black B	12,121	2,450	9,968
Sirius Rubine KZBL	5,257	2,003	10,798
Sirius Blue KCFN	4,369	3,229	9,420



ภาคผนวก ซ.

การคำนวณองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้านทานตะวัน เปลือกถั่วเหลือง และซังข้าวโพด

องค์ประกอบ	ร้อยละ		
	ซังข้าวโพด	เปลือกถั่วเหลือง	ก้านทานตะวัน
ลิกนิน	46.3	9.7	17.6
ไฮโลเซลลูโลส	56.9	58.4	51.9
แอลฟาเซลลูโลส	35.2	48.8	38.5
เบตาเซลลูโลส	8.4	7.3	4.1
แกมมาเซลลูโลส	13.2	2.3	9.3

ที่มา : ผลการตรวจวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

### การหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของก้านทานตะวัน เปลือกถั่วเหลือง และซังข้าวโพด

A1 = วัสดุ 40 mesh ของก้านทานตะวัน

D1 = วัสดุ 60 mesh ของเปลือกถั่วเหลือง

A2 = วัสดุ 40 mesh ของก้านทานตะวัน

D2 = วัสดุ 60 mesh ของเปลือกถั่วเหลือง

B1 = วัสดุ 60 mesh ของก้านทานตะวัน

E1 = วัสดุ 40 mesh ของซังข้าวโพด

B2 = วัสดุ 60 mesh ของก้านทานตะวัน

E2 = วัสดุ 40 mesh ของซังข้าวโพด

C1 = วัสดุ 40 mesh ของเปลือกถั่วเหลือง

F1 = วัสดุ 60 mesh ของซังข้าวโพด

C2 = วัสดุ 40 mesh ของเปลือกถั่วเหลือง

F2 = วัสดุ 60 mesh ของซังข้าวโพด

### 1.การคำนวณการร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ – เบนซีน

น้ำหนักของวัสดุ ก่อนทำการสกัด(กรัม)		น้ำหนักของวัสดุ หลังทำการสกัด (กรัม)	น้ำหนักของ Residues ที่ เหลือหลังการสกัด (กรัม)
A1	9.2403	6.0557	0.5284
A2	9.2310	6.0949	0.4618
C1	10.7634	9.0465	0.4248
C2	10.9259	9.0625	0.4225
E1	9.7210	9.0466	0.1822
E2	9.8382	9.1528	0.1471

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(A1)} &= (0.5284 / 9.2403) \times 100 \\
 &= 5.7184 \\
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(A2)} &= (0.4618 / 9.2310) \times 100 \\
 &= 5.0027 \\
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(C1)} &= (0.4248 / 10.7634) \times 100 \\
 &= 3.9467 \\
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(C2)} &= (0.4225 / 10.9259) \times 100 \\
 &= 3.8670 \\
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(E1)} &= (0.1822 / 9.7210) \times 100 \\
 &= 1.8743 \\
 \text{ร้อยละของการละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน(E2)} &= (0.1471 / 9.8382) \times 100 \\
 &= 1.4952
 \end{aligned}$$

## 2. การคำนวณหาร้อยละของ Lignin

น้ำหนักของ crucible + asbestos (105 °C) (กรัม)		น้ำหนักของ crucible + asbestos (575 °C) (กรัม)
A1	15.6758	15.6715
A2	17.5507	17.5501
C1	20.1121	20.1115
C2	20.6536	20.6530
E1	20.3679	20.3670
E2	21.0367	21.0358
น้ำหนักของ crucible + Lignin (105 °C) (กรัม)		น้ำหนักของ crucible + Lignin (575 °C) (กรัม)
A1	16.0141	15.6949
A2	17.8800	17.5689
C1	20.2363	20.1118
C2	20.7789	20.6539
E1	20.8811	20.3805
E2	21.5507	21.0365

น้ำหนักของวัสดุตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)		% loss จากขั้นตอนการเตรียม Extractive free wood	น้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง / wood เริ่มต้น (กรัม)
A1	1.1527	65.6440	1.7560
A2	1.1803	66.0264	1.7876
C1	1.0646	84.0487	1.2666
C2	1.0646	82.9451	1.2835
E1	1.0192	93.0624	1.0952
E2	1.0160	93.0333	1.0921

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(A1)} &= [(16.0141 - 15.6758) - (15.6949 - 15.6715)] / 1.7560 \\ &= 17.9328 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(A2)} &= [(17.8800 - 17.5507) - (17.5689 - 17.5501)] / 1.7876 \\ &= 17.3697 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(C1)} &= [(20.2363 - 20.1121) - (20.1118 - 20.1115)] / 1.2666 \\ &= 9.7821 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(C2)} &= [(20.7789 - 20.6536) - (20.6539 - 20.6530)] / 1.2835 \\ &= 9.6922 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(E1)} &= [(20.8811 - 20.3679) - (20.3805 - 20.3670)] / 1.0952 \\ &= 45.6264 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของลิกนิน(E2)} &= [(21.5507 - 21.0367) - (20.0365 - 21.0358)] / 1.0921 \\ &= 47.0012 \end{aligned}$$

### 3. การคำนวณหาร้อยละของไฮโดรเซลลูโลส

น้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง (กรัม)		น้ำหนักของวัสดุตัวอย่างหลังการสกัด (กรัม)
B1	4.6702	3.4704
B2	4.6822	3.4041
D1	4.7966	3.1894
D2	4.6922	3.3459
F1	4.6964	2.8674
F2	4.6580	2.7943

% loss จากขั้นตอนการเตรียม Extractive free wood		น้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง / wood เริ่มต้น (กรัม)
B1	71.1864	6.5605
B2	70.1032	6.6790
D1	83.3039	5.7580
D2	86.2152	5.4424
F1	94.2181	4.9846
F2	93.7420	4.9690

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (B1)} &= (3.4704 / 6.5605) \times 100 \\ &= 52.8984 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (B2)} &= (3.4041 / 6.6790) \times 100 \\ &= 50.9672 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (D1)} &= (3.1894 / 5.7580) \times 100 \\ &= 55.3908 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (D2)} &= (3.3459 / 5.4424) \times 100 \\ &= 61.4784 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (F1)} &= (2.8674 / 4.9846) \times 100 \\ &= 57.5252 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของไฮโลเซลลูโลส (F2)} &= (2.7943 / 4.9690) \times 100 \\ &= 56.2347 \end{aligned}$$

#### 4. การคำนวณหาร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส

น้ำหนักของวัสดุตัวอย่างก่อนการสกัด (กรัม)		น้ำหนักของวัสดุตัวอย่างหลังการสกัด (กรัม)
B1	1.6071	0.8916
B2	1.5959	1.0464
D1	1.4915	1.1081
D2	1.5302	1.0681
F1	1.4085	0.8073
F2	1.4606	0.8677



% loss จากขั้นตอนการสกัดไฮโดรเซลลูโลส		น้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง / wood – holo (กรัม)
B1	74.3095	2.1627
B2	72.7030	2.1951
D1	66.4929	2.2431
D2	71.3070	2.1459
F1	61.0787	2.3064
F2	59.9893	2.4348

น้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง / wood เริ่มต้น (กรัม)		ปริมาตรของ 0.1016 N. $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)
B1	3.0381	39.55
B2	3.1312	36.89
D1	2.6927	43.82
D2	2.4890	44.42
F1	2.4479	32.64
F2	2.5973	34.34

Blank 1) 53.24 มิลลิลิตร 2) 52.90 มิลลิลิตร เฉลี่ย 53.07 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (B1)} &= 52.8984 - \{[6.85(53.07 - 39.55) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 3.0381)\} \\ &= 40.5099 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (B2)} &= 50.9672 - \{[6.85(53.07 - 36.89) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 3.1312)\} \\ &= 36.5821 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (D1)} &= 55.3908 - \{[6.85(53.07 - 43.82) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 2.6927)\} \\ &= 45.8277 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (D2)} &= 61.4784 - \{[6.85(53.07 - 44.42) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 2.4479)\} \\ &= 51.8037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (F1)} &= 57.5252 - \{[6.85(53.07 - 34.34) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 2.4479)\} \\ &= 34.2915 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส (F2)} &= 56.2347 - \{[6.85(53.07 - 34.34) \times 0.1016 \times 20] / (5 \times 2.5973)\} \\ &= 36.1595 \end{aligned}$$

### 5. การคำนวณหาร้อยละของแกมมาและเบตาเซลลูโลส

ปริมาตรของ 0.1016 N Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)		Blank
B1	48.02	1. 52.24
B2	46.65	2. 52.71
D1	51.31	เฉลี่ย 52.48
D1	51.51	
F1	46.36	
F2	46.64	

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (B1)} &= [6.85(52.48 - 48.02) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 3.0381) \\ &= 8.1735 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (B2)} &= [6.85(52.48 - 46.65) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 3.1312) \\ &= 10.3665 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (D1)} &= [6.85(52.48 - 51.31) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 2.6927) \\ &= 2.4192 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (D2)} &= [6.85(52.48 - 51.51) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 2.4890) \\ &= 2.1698 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (F1)} &= [6.85(52.48 - 46.36) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 2.4479) \\ &= 13.9198 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของแกมมาเซลลูโลส (F2)} &= [6.85(52.48 - 46.36) \times 0.1016 \times 40] / (5 \times 2.5973) \\ &= 12.5189 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (B1)} &= 52.8948 - (40.5099 + 8.1735) \\ &= 4.2150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (B2)} &= 50.9672 - (36.5821 + 10.3665) \\ &= 4.0486 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (D1)} &= 55.3980 - (45.8277 + 2.4192) \\ &= 7.1511 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (D2)} &= 61.4784 - (51.8034 + 2.1698) \\ &= 7.5052 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (F1)} &= 57.5252 - (34.2915 + 13.9198) \\ &= 9.3139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเบตาเซลลูโลส (F2)} &= 56.2347 - (36.1595 + 12.5189) \\ &= 7.5563 \end{aligned}$$



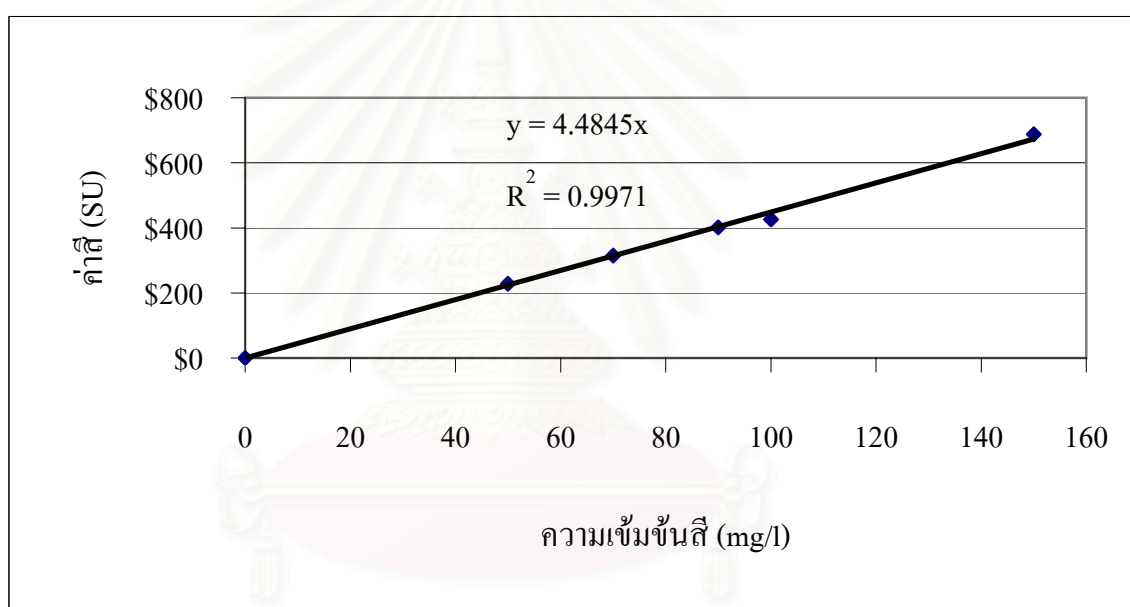
ภาคผนวก ณ.

กราฟมาตรฐานของค่าดีและความเข้มข้นของดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ.1 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Black B

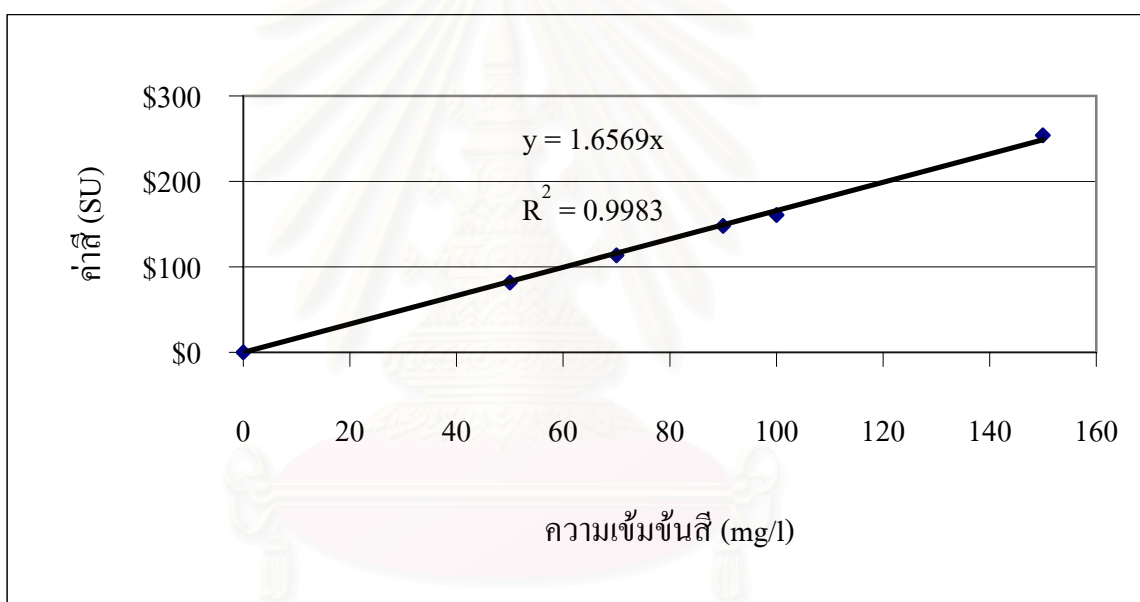
ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	230.522	226.638	227.573	228.244
70	310.277	317.703	315.891	314.624
90	400.722	401.592	401.036	401.117
100	427.517	422.882	426.991	425.797
150	684.082	690.24	688.457	687.593



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.2 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Brilliant Red 3BS

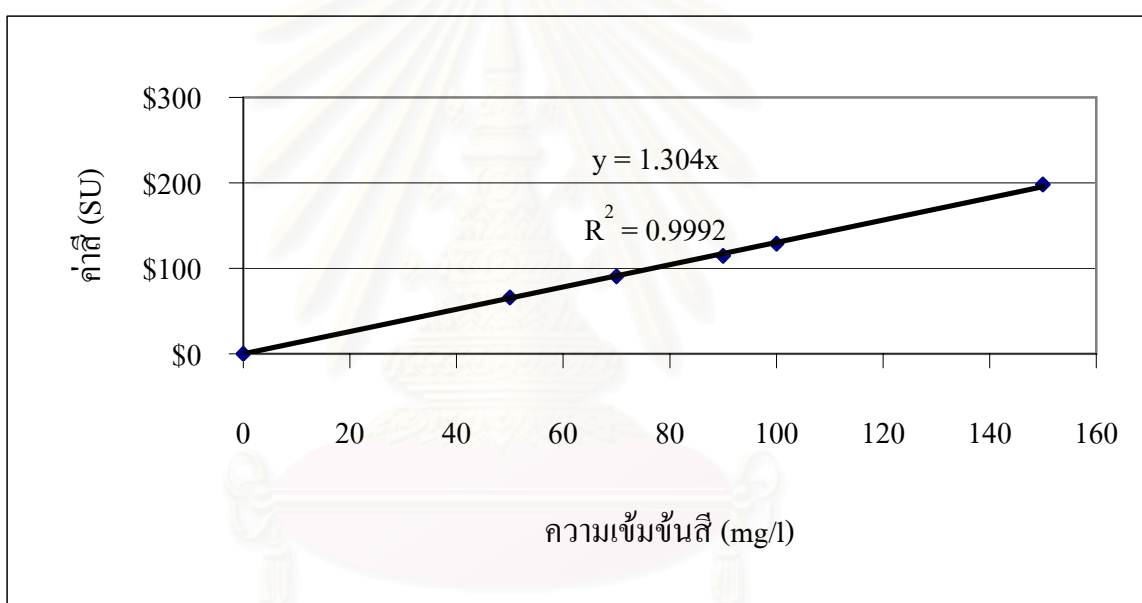
ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	82.277	81.710	80.573	81.520
70	117.620	114.456	108.825	113.634
90	150.368	147.991	145.798	148.052
100	160.102	159.771	162.353	160.742
150	260.150	258.580	243.311	254.014



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.3 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Remazol Brilliant Blue R

ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	66.706	66.351	64.530	65.862
70	89.944	89.893	92.292	90.710
90	113.998	112.232	117.432	114.554
100	126.760	125.511	134.674	128.982
150	193.141	202.470	199.177	198.263

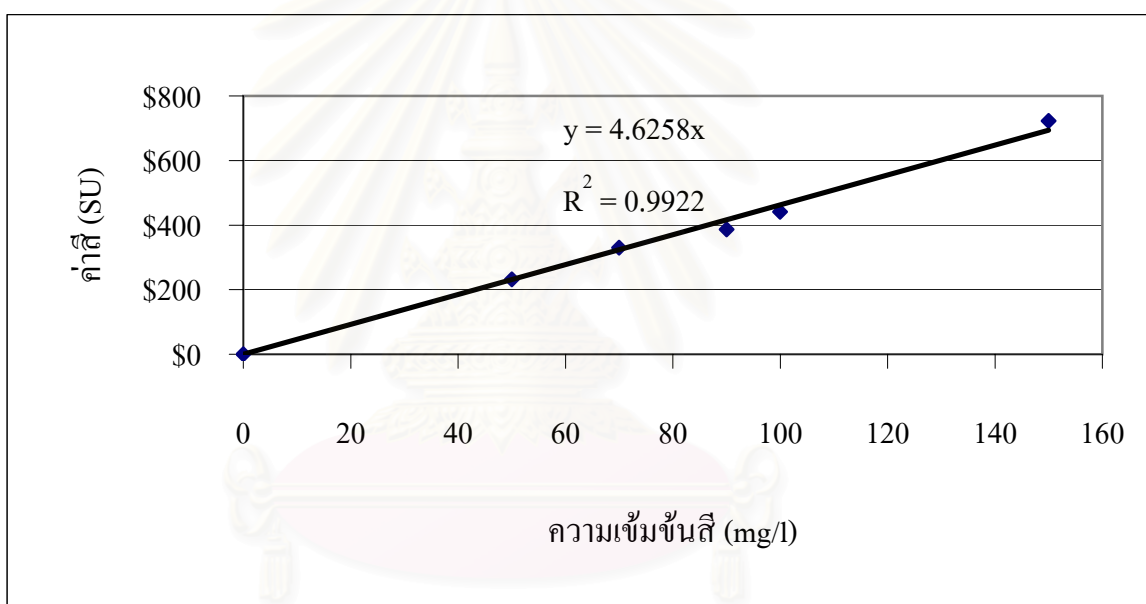


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ๓.4 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Best Direct Black B

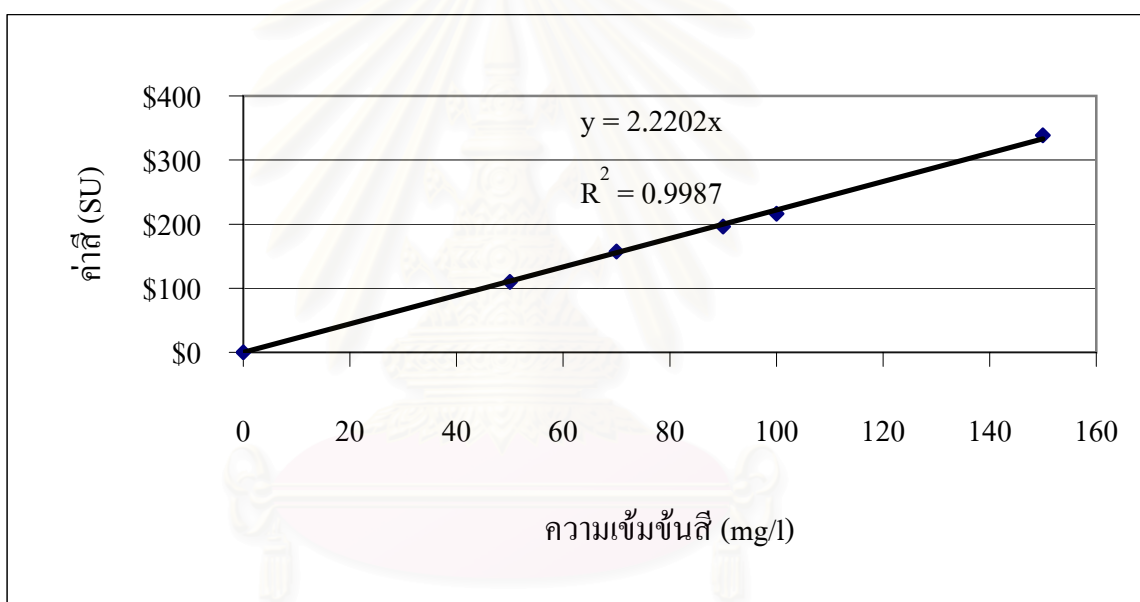
ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	230.606	235.165	230.471	232.081
70	332.724	322.741	335.607	330.357
90	387.641	385.129	386.507	386.426
100	442.125	440.229	441.000	441.118
150	710.522	748.468	709.397	722.796



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๕.5 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Sirius Rubine KZBL

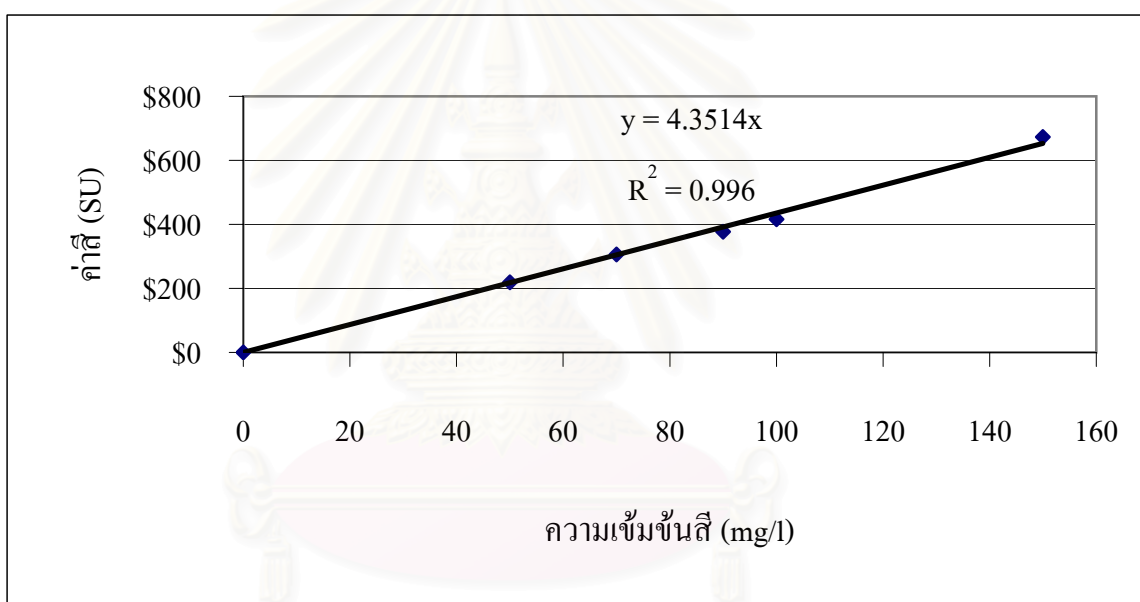
ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	107.397	113.299	108.902	109.866
70	155.474	158.047	159.127	157.549
90	197.678	192.363	198.937	196.326
100	215.542	219.099	213.888	216.176
150	329.117	332.764	353.312	338.398



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๘.6 ข้อมูลการทำกราฟมาตรฐานของสี Sirius Blue KCFN

ความเข้มข้นของสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าสี (SU)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	217.718	232.387	207.617	219.241
70	313.881	305.149	299.622	306.217
90	379.322	358.145	393.317	376.928
100	418.342	412.888	417.437	416.222
150	673.174	670.820	674.517	672.837



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอาสยา ปราชญาพร เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ.2521 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย