

การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอเตอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์เซลลูโลส  
จากต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว



เรือโทหญิง รัชนิย์ รุกขชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2544  
ISBN 974-03-1255-1  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF DYE IN WASTEWATER BY QUATERNIZED CROSSLINKED  
CELLULOSE FROM CASSAVA STEM, PINEAPPLE LEAF AND COCONUT HUSK

LT. JG. Ratchanee Rughachart (WRTN)

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

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1255-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสสลิงก์เซลลูโลส  
จากต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว  
โดย เรือโทหญิงรัชนิยา รุกขชาติ  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนไพบูลย์)

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

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

สภามหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัชเนีย รุกขชาติ: การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสจาก  
ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และ กาบมะพร้าว (REMOVAL OF DYE IN WASTEWATER  
QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE FROM CASSAVA STEM, PINEAPPLE  
LEAF AND COCONUT HUSK)

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ, 175 หน้า. ISBN 974-03-1255-1

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีรีแอดทีฟ และสีไดเรกต์ ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่าน และผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ทำการทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker) ผลการทดลองพบว่า วัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีร่องลึกต่างๆ มากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพเล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความหนาแน่น การบวม น้ำ พื้นที่ผิว และโครงสร้างหลักของวัสดุ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล -OH, หมู่อัลคิล -CH และ -CH<sub>2</sub>-O และหมู่อัลคีน C=C สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมนั้นพบว่า ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และ กาบมะพร้าว ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอดทีฟ และสีไดเรกต์ เฉลี่ยเท่ากับ 15.35% ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ที่มีประสิทธิภาพ เฉลี่ยเท่ากับ 95.54% จากการศึกษาหาขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่าต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ผ่านการปรับสภาพมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.68, 0.86 และ 0.86 มิลลิกรัมวาลีนต์/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และจากผลการศึกษาไอโซเทอมโดยใช้กาบมะพร้าว พบว่า ความสามารถในการดูดติดสี มีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ และที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์ ไชเรียส บรู เคซีเอฟเอ็น (Sirius Blue KCFN) ไชเรียส รูไบน์ เคแซทบีแอล (Sirius Rubine KZBL) และ เบส ไดเรกต์ แบล็ค บี (Best Direct Black B) และสีรีแอดทีฟ รีมาโซล บริลเลียน บรู อาร์ (Remazol Brilliant Blue R) รีมาโซล บริลเลียน เรด 3บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) และ รีมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) ได้ 455, 556, 455, 625, 625 และ 625 มิลลิกรัมต่อกรัมของกาบมะพร้าว ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงนั้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจริงของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.92% ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง เฉลี่ยเท่ากับ 98.65% สำหรับผงถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงเท่ากับ 100%

สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม	ลายมือชื่ออนิสิต .....
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2544	

# # 4389091220: MAJOR Environmental Science

KEYWORD: Ion Exchange / Cellulose / Quarternized / Crosslinked / Cassava stem / Pineapple life  
Coconut Husk / Dye

Ratchanee Rughachart: Removal of Dye in wastewater by Quarternized Crosslinked  
Cellulose From Cassava Stem, Pineapple Leaf and Coconut Husk

THESIS ADVISOR: Assc. Prof. Petchporn Chawakitchareon, Ph.D., 175 pp.

ISBN 974-03-1255-1

This study was conducted to determine the efficiency on color removal of cassava stem, pineapple leaf and coconut husk both before and after being treated by a quarternized crosslinked chemical substance. By performing shaker experiments, two types of dyes namely reactive dyes and direct dyes and distillery wastewater were used as color sources. The experimental results showed that a physical property of cassava stem, pineapple leaf and coconut husk could be improve by the quarternized crosslinked ion-exchange process. As in the study, the quarternized crosslinked ion-exchange resin presented a greater number of roughness, channel, density, water fill up, surface area and functional group: hydroxyl group  $-OH$ , alkyl group  $-CH$  and  $-CH_2-O$  and alkene group  $C=C$  than untreated cellulose. The average reactive and direct dyes removal efficiency of untreated cellulose was 5.35%. This showed less efficiency than those of the quarternized crosslinked ion-exchange resin which was 95.54% average. The Ion exchange capacity of cassava stem, pineapple leaf and coconut husk were 0.68, 0.86 and 0.86 meq./g. (dry resin) respectively. The adsorption isotherm of Q-R coconut husk was fitted in the Langmuir adsorption isotherm and adsorption increased with increased temperature, it was found that Q-R coconut husk is the most adsorption at  $60^{\circ}C$ . The exchange capacity of direct dyes (Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL and Best Direct Black B) and reactive dyes (Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS and Remazol Black B) were 445, 555, 445, 625, 625 and 625 mg/g material, respectively. The average color removal efficiency of real wastewater by using shaker experiment of untreated cellulose was 7.92%. It was less than those of the quarternized crosslinked ion-exchange resin, which was 98.65% and Activated Carbon 100% in average.

Inter - department	<u>Environmental Science</u>	Student's signature	_____
Field of study	<u>Environmental Science</u>	Advisor's signature	_____
Academic Year	<u>2001</u>		

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยการแนะนำแนวทางต่าง ๆ ในการวิจัย ทั้งทางทฤษฎี และทางปฏิบัติของ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของอาจารย์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณกองทัพเรือ และทุนอุดหนุนต่างๆ ได้แก่ ทุนวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนชินโสภณพานิช ประจำปี 2544 ที่เชื้อเพื่อทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งในวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และ น้องๆ จากสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม และภาค วิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจอันแสนอบอุ่นและความช่วยเหลือต่างๆ มากมาย

ท้ายที่สุด คุณค่าต่าง ๆ ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่ ทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สีย้อม.....	4
2.1.1 การเกิดสีของสีย้อม.....	4
2.1.2 การจำแนกสีย้อม.....	5
2.1.3 ความเป็นพิษของสีย้อมและมลพิษของสีย้อม.....	10
2.1.4 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	11
2.1.5 ลักษณะน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกย้อม-พิมพ์ผ้า.....	15
2.2 การจัดการสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม.....	18
2.2.1 การลดปริมาณของเสีย.....	18
2.2.2 การบำบัดสีในน้ำทิ้ง.....	20
2.3 การคัดเลือกและรายละเอียดสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	23
2.3.1 การคัดเลือกสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	23
2.3.2 รายละเอียดสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง.....	24
2.4 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	31
2.4.1 องค์ประกอบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	31
2.4.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	36
2.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	40
2.5.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน.....	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน.....	40
2.5.3 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	40
2.5.4 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง.....	42
2.6 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....	44
2.7 สมดุลย์และไอโซเทอมของการดูดซับ.....	46
2.7.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์.....	47
2.7.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรูดริช.....	48
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	57
3.1 แผนการวิจัย.....	57
3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	57
3.1.2 ลำดับขั้นการทดลอง.....	57
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	59
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	60
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	60
3.2.1 หาปริมาณเซลลูโลสในวัสดุ.....	60
3.2.2 การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนและน้ำเสียที่ใช้ใน การทดลอง.....	60
3.2.3 การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ.....	62
3.2.4 การหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลส.....	62
3.2.5 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....	64
3.2.6 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ.....	65
3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	65
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	66
4.1 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ.....	66
4.1.1 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์.....	66
4.1.2 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุที่มีต่อความเข้มข้นสี.....	69



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีโดยใช้ไอโซเทอมการ ดูดติดผิวแลงมัวร์ .....	78
4.1.4 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง.....	80
4.2 การหาขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลส.....	82
4.3 การหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ.....	83
4.4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....	83
4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ.....	83
4.4.2 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ .....	99
4.4.3 ผลการศึกษาการบวมตัวของวัสดุ.....	99
4.4.4 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ.....	100
4.5 ผลการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ.....	101
4.6 การหาปริมาณองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในวัสดุโดยใช้เครื่อง Elemental Analysis.....	101
4.7 พีเอช.....	103
4.7.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์.....	103
4.7.2 ค่าพีเอชของน้ำเสียจริง.....	104
4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุต่างๆ.....	105
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	106
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
บรรณานุกรม.....	113
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์...115	115
ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาไอโซเทอม.....	128
ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ.....	141
ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่อง Elemental Analysis .....	158
ภาคผนวก จ. ผลการหาค่าความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุ.....	160

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุ .....	164
ภาคผนวก ช. สูตรโครงสร้างทางเคมีของสี Remazol Black B และ Remazol Brilliant Blue R.....	173
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	175



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	องค์ประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว.....	2
ตารางที่ 2.1	กลุ่มอะตอมออกซิโครม.....	5
ตารางที่ 2.2	การจำแนกสีย่อยตามโครงสร้างทางเคมี.....	6
ตารางที่ 2.3	ประเภทสีที่ใช้กับเส้นใยแต่ละชนิด.....	13
ตารางที่ 2.4	เปอร์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ใน สีรีแอกทีฟ แบ่งตามโทนสีต่างๆ.....	29
ตารางที่ 2.5	แสดงค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์.....	51
ตารางที่ 3.1	แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนที่ 1.....	58
ตารางที่ 3.2	แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนที่ 2 .....	59
ตารางที่ 3.3	ตารางสรุปวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	95
ตารางที่ 4.1	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีไดเรกท์.....	67
ตารางที่ 4.2	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟ.....	68
ตารางที่ 4.3	ความสามารถสูงสุดในการจับสีของกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพกับ สีแต่ละสี.....	78
ตารางที่ 4.4	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย่อยในน้ำเสียจริง.....	81
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลส.....	82
ตารางที่ 4.6	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว.....	83
ตารางที่ 4.7	ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	99
ตารางที่ 4.8	แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุน.....	100
ตารางที่ 4.9	แสดงโครงสร้างหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	102
ตารางที่ 4.10	แสดงปริมาณธาตุในโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	103
ตารางที่ 4.11	ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์.....	104
ตารางที่ 4.12	ค่าพีเอชของน้ำเสียจริง.....	105
ตารางที่ 4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุต่างๆ.....	105

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส.....	32
รูปที่ 2.2 ก. Bundle ของ Parallel Fibrils	
ข. ภาพตัดด้านข้างของ 1 Fibril.....	32
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์ของพืชต่างๆ ไป.....	33
รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน.....	34
รูปที่ 2.5 แสดงน้ำตาลเพนโตส เฮกโตส และกรดยูโรนิก ที่เป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส.....	35
รูปที่ 2.6 ลักษณะต้นมันสำปะหลัง.....	37
รูปที่ 2.7 ลักษณะใบสับปะรด.....	38
รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาการทำควอร์เทอร์ไนซ์.....	45
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์.....	47
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์แบบเส้นตรง.....	47
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดริช .....	48
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลอง.....	57
รูปที่ 3.2 แผนผังการแปรชนิดของวัสดุ ชนิดสี และความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง.....	63
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์ของต้นมันสำปะหลัง ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	70
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของต้นมันสำปะหลัง ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	71
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์ของใบสับปะรด ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	72
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของใบสับปะรด ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	73
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์ของกาบมะพร้าว ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	74
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของกาบมะพร้าว ชนิดไม่ปรับสภาพและควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส.....	75

## สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ ของกาบมะพร้าว.....	76
รูปที่ 4.8	สีรีแอกทีฟความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนและหลังบำบัดด้วย UNT และ Q-R กาบมะพร้าว.....	76
รูปที่ 4.9	สีรีแอกทีฟความเข้มข้น 200,100 และ 90 มิลลิกรัม/ลิตร จากขวาไปซ้าย.....	77
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ Q-R กาบมะพร้าว กำจัดสีรีแอกทีฟ ความเข้มข้น 200,100 และ 90 มิลลิกรัม/ลิตร จากขวาไปซ้าย.....	77
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟ.....	79
รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจริง โดยใช้ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ก่อนและหลังปรับสภาพกับผงถ่านกัมมันต์.....	81
รูปที่ 4.13	ต้นมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง.....	85
รูปที่ 4.14	ใบสับปะรดที่ใช้ในการทดลอง.....	85
รูปที่ 4.15	กาบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง.....	86
รูปที่ 4.16	ต้นมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย)และที่ปรับสภาพด้วยการ ทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ (ขวา).....	86
รูปที่ 4.17	ใบสับปะรดที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย)และที่ปรับสภาพด้วยการ ทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ (ขวา).....	87
รูปที่ 4.18	กาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย)และที่ปรับสภาพด้วยการ ทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ (ขวา).....	87
รูปที่ 4.19	ลักษณะของต้นมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.....	88
รูปที่ 4.20	ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ต้นมันสำปะหลังที่เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กต รอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.....	89
รูปที่ 4.21	ลักษณะของใบสับปะรดที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.....	90
รูปที่ 4.22	ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ใบสับปะรดที่เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.....	91
รูปที่ 4.23	ลักษณะของกาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.....	92

## สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.24 ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์กาบมะพร้าวที่เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข. ....	93
รูปที่ 4.25 ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์กาบมะพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Blue KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,000 เท่า ข.....	94
รูปที่ 4.26 ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์กาบมะพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Rubine KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,000 เท่า ข.....	95
รูปที่ 4.27 ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์กาบมะพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,000 เท่า ข.....	96
รูปที่ 4.28 ลักษณะของควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์กาบมะพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงคนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,000 เท่า ข.....	97
รูปที่ 4.29 ลักษณะพื้นผิว Activated carbon ที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 ข. เท่า.....	98

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อม มีปริมาณซีไอดี บีไอดี และสีสูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำทิ้งมาผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อกำจัดซีไอดีและบีไอดีก่อน จากนั้นจึงนำมากำจัดอีกครั้งหนึ่งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

สีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เกิดจากสีย้อมที่ใช้ไม่หมดไปในการย้อมหรือพิมพ์ผ้าและจากการซักล้างหรือปรุงแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมมาแล้ว สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานฟอกย้อมมักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถบำบัดได้โดยง่าย ทั้งนี้เพราะสภาพตามธรรมชาติ เช่น น้ำ แสง ความเป็นด่าง ฯลฯ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ได้อย่างชัดเจนนัก เมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะขึ้นได้

การกำจัดสีจากน้ำทิ้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) ด้วยปูนขาวหรือสารส้ม การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) ด้วยโอโซน ( $O_3$ ) หรือคลอรีน ( $Cl_2$ ) และการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมที่สุดในปัจจุบัน แต่ค่าใช้จ่ายในวิธีการต่างๆ ดังกล่าวค่อนข้างสูง เนื่องจากราคาของสารเคมี หรือราคาของผงถ่านกัมมันต์สูงมากนั่นเอง ดังนั้นจึงมีการพิจารณานำวัสดุชนิดอื่นมาสังเคราะห์ เพื่อใช้แทนผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการบำบัดน้ำเสียลดลง วัสดุที่นำมาใช้แทนมักเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชี้อ้อย เปลือกถั่วเหลือง ชานอ้อย เป็นต้น เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวัสดุเหล่านี้ ซึ่งมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยหลายกลุ่มฟังก์ชัน ได้แก่ คาร์บอกซิลิก (carboxylic) ฟีนอลิก (phenolic) และไฮดรอกซิลิก (hydroxylic) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เซลลูโลส มีคุณสมบัติคล้ายเรซินที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีแต่จะมีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน อาทิ โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นแบบไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) แต่โครงสร้างของเรซินสังเคราะห์เป็นแบบไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์ การเกาะยึดกันของโครงสร้างตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงตา



ชายโมเลกุลของกลุ่มเซลลูโลสที่มีกลุ่มไฮดรอกซีลิกที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 จะเป็นส่วนที่เกิดการทำปฏิกิริยามากที่สุด

การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย ไฮดรอกซีเซลลูโลส (hydroxy-cellulose) และกลุ่มคาร์บอกซีลิก (carboxylic) มีลักษณะเป็นผงไม่ละลายน้ำ ปฏิกิริยาที่สำคัญประกอบด้วย การเปลี่ยนอัลคาไลน์เซลลูโลส (alkali cellulose) ด้วยสารประกอบคลอรีนและการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยการประสานพันธะของเซลลูโลสด้วย di-(2-ethylimine) sulfate, 1,4 butanesulfate, 1,3-dicholo-2-propanal, divinyl sulfonate และ formaldehyde ซึ่งเป็นหมู่ไอออนที่เกาะจับอยู่บนโครงร่าง (active group)

จากการพิจารณาคคุณสมบัติของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบต่างกันคือ 53.0%, 39.2% และ 47.5% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 จากคุณสมบัติดังกล่าว สมมติฐานสำหรับงานวิจัยนี้คือ สารเซลลูโลสในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาพัฒนาเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมหลังจากผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองแล้ว โดยการปรับสภาพด้วยสารเคมีเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองได้มาจากสถานที่ต่างๆ กัน คือต้นมันสำปะหลังได้รับความอนุเคราะห์จากไร่ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดกาญจนบุรี ใบสับปะรดได้รับความอนุเคราะห์จากไร่ปลูกสับปะรดในจังหวัดชลบุรี และกาบมะพร้าวจากจังหวัดอ่างทอง

ตาราง 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว (รัชนี, 2544)

องค์ประกอบ	ร้อยละน้ำหนักอบแห้ง		
	ต้นมันสำปะหลัง	ใบสับปะรด	กาบมะพร้าว
Alcohol-benzene solubility	6.6	14.3	3.8
Lignin (ash corrected)	17.1	11.6	22.6
Holocellulose	53.0	39.2	47.5
Alpha-cellulose	28.2	25.6	28.8
Beta-cellulose	8.9	7.5	4.6
Gamma-cellulose	15.9	6.1	14.1



จากคุณสมบัติดังกล่าวสมมติฐานสำหรับงานวิจัยนี้ คือสารเซลลูโลสในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร นอกจากการนำมาเผาและกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์แล้ว ยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนได้ โดยการปรับสภาพด้วยสารเคมี เพื่อให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. ศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าวชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Cellulose) และชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส (Quarternized Crosslinked Cellulose)

1.2.2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Cellulose) และชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส (Quarternized Crosslinked Cellulose)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ดังนี้

1.3.1. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าวชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

1.3.2. สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าวชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วยอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethylammonium Chloride; CHMAC )

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กลงกว่า 80 mesh (0.177 มิลลิเมตร) สีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dye) และสีย้อมไดเรกต์ (Direct Dye) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทำการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) โดยวิธี SU

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สีย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินผ่านการสกัด จะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซิน ไสลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ (ธงชัย, 2527) ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาหลายชนิด ขึ้นอยู่กับ ความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป

การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆ ว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีดูดติดเส้นใย คือ

- ก) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)
- ข) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' force)
- ค) แรงไอออน (ionic force)
- ง) พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

กำลังแรงเหล่านี้มักไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์

##### 2.1.1 การเกิดสีของสีย้อม

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้ เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกกันว่า “โครโมฟอร์” ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม (ธงชัย, 2527) คือ

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) :  $-NO$  (หรือ  $=N-OH$ )
- กลุ่มไนโตร (Nitro Group) :  $-NO_2$  (หรือ  $=NO.OH$ )
- กลุ่มอะโซ (Azo Group) :  $-N=N-$

- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) :  $\text{>C=C<}$
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) :  $\text{>C=O}$
- กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen Group) :  $\text{>C=NH}$  และ  $\text{-CH=N-}$
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) :  $\text{>C=S}$  และ  $\text{>C-S-S-C<}$

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีของสีผสมมีโทนสีแตกต่างกันไป

สีผสมโดยทั่วไปนอกจากจะต้องมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่งได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม (Auxochromes)” (ตารางที่ 2.1) เพื่อให้สีผสมสามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกโซโครมจะแสดงคุณสมบัติของสีออกมาได้ แต่จะขาดสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน (Chromagen)” ทั้งกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีผสมตามสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ตารางที่ 2.1 กลุ่มอะตอมออกโซโครม (Rangnekar และ Singh, 1980)

Name	Group	Name	Group
Amino	$\text{-NH}_2$	Chloro	$\text{-Cl}$
Methylamino	$\text{-NHCH}_3$	Methyl	$\text{-CH}_3$
Dimethyl Amino	$\text{-N(CH}_3)_2$	Methoxy	$\text{-OCH}_3$
Sulphonic Acid	$\text{-SO}_3\text{H}$	Cyano	$\text{-CN}$
Hydroxy	$\text{-OH}$	Acetyl	$\text{-COCH}_3$
Carboxylic Acid	$\text{-COOH}$	Amido	$\text{-CONH}_2$

### 2.1.2 การจำแนกสีผสม

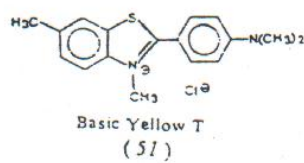
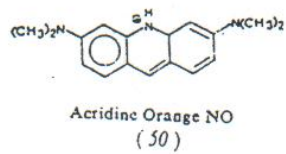
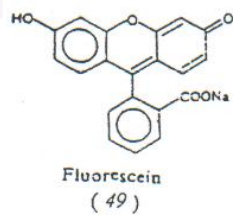
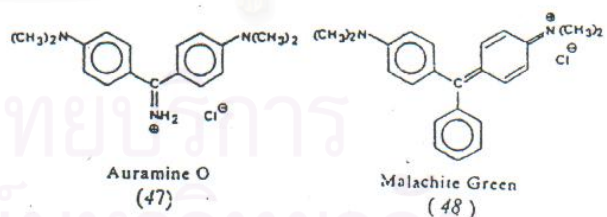
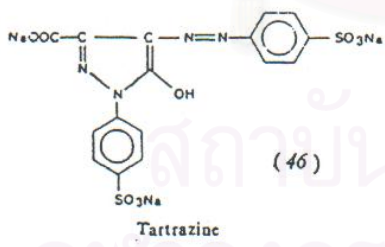
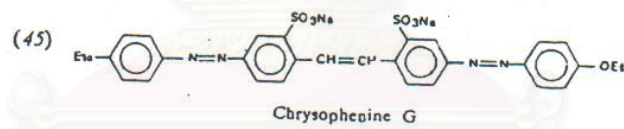
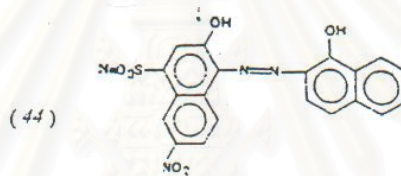
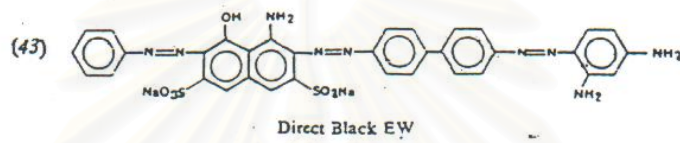
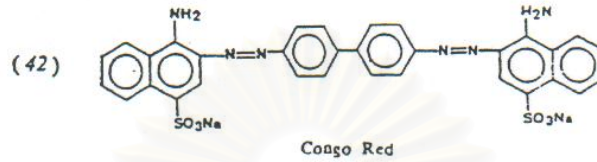
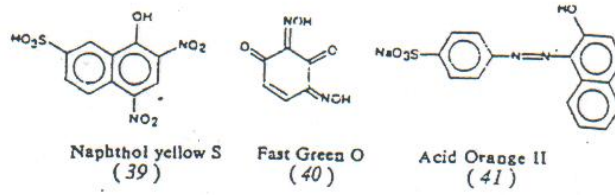
Rangnekar และ Singh (1980) สามารถจำแนกสีผสมได้ 2 วิธี คือ จำแนกสีผสมตามวิธีการใช้งาน และจำแนกสีผสมตามโครงสร้างทางเคมี

#### 2.1.2.1 การจำแนกสีผสมตามโครงสร้างทางเคมี

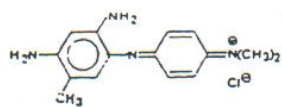
การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี มีความยุ่งยากสีเท่าที่ผลิตออกมาจำหน่ายในขณะนี้ แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมีก็ยังมีประโยชน์ในการที่จะกล่าวถึงกลไกการกำจัดสีผสมในน้ำเสียด้วย จึงจะนำเสนอการจำแนกสีผสมตามโครงสร้างเคมี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี (Rangnekar และ Singh, 1980)

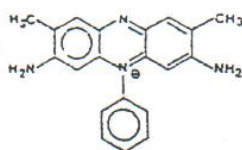
Class	Subclass	Example	Structure
Nitro	-	Naphthol Yellow S	(39)
Nitroso	-	Fast Green O	(40)
Azo	Monoazo	Acid Orange II	(41)
	Diazo	Congo Red	(42)
	Triazo	Direct Black EW	(43)
	Polyazo	-	
	Mordant azo	Erichrome Black T	(44)
	Stilbene azo	Chrysophenine G	(45)
	Pyrazolone azo	Tartrazine	(46)
Diphenylmethane	-	Auramine O	(47)
Triphenylmethane	-	Malachite Green	(48)
Xanthene	-	Fluorescein	(49)
Acridine	-	Acridine Orange NO	(50)
Thiazole	-	Basic Yellow T	(51)
Indamine&Indophenol	-	Toluylene Blue	(52)
Azine	-	Safranin T	(53)
Oxazine	-	Capri Blue GN	(54)
Thiazine	-	Methylene Blue	(55)
Cyanine	Methine	Astrafloxine FF	(56)
	Quinoline	Kryptocyanine	(57)
Sulphur	-	Sulphur Black T	(58)
Lactone	-	Resoflavine W	(59)
Aminoketone	-	Helindon Brown CR	(60)
Hydroxyketone	-	Alizarin Dark Green W	(61)
Anthaquinonoid	-	Perlon Fast Green 3B	(62)
Indigoid	-	Indigo	
Sulphurized Vat Dyes	-	Hydron Blue R	(64)
Phthalocyanine	-	Monastral Fast Blue BS	(65)



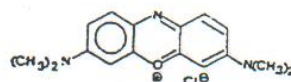




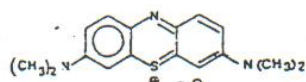
Toluylenec Blue  
(52)



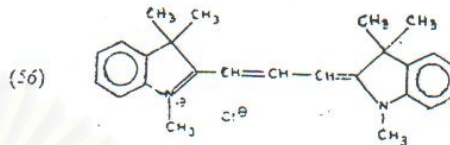
Safranin T  
(53)



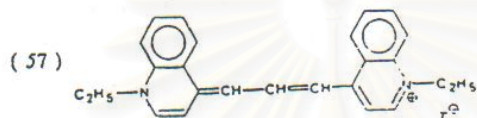
Capri Blue GN  
(54)



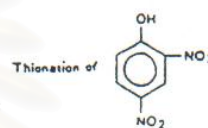
Methylene Blue  
(55)



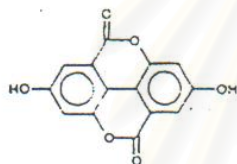
Avraflaxine FF  
(56)



Kreptocyanine  
(57)

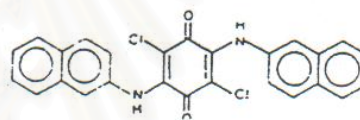


Thionation of  
Sulphur Black T  
(58)

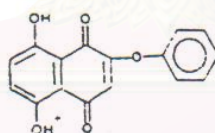


Resorufine W  
(59)

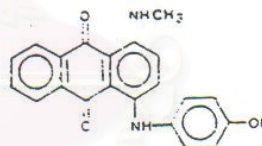
(60)



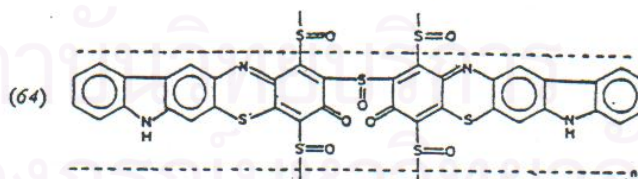
Helindon Brown CR  
(60)



Alizarin Dark Green W  
(61)

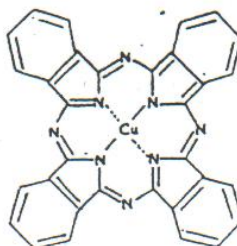


Perlon Fast Green BR  
(62)



(64)

Hydron Blue R  
(64)



Monostral Fast Blue BS  
(65)

### 2.1.2.2 การจำแนกสีย้อมตามวิธีการใช้งาน

สามารถจำแนกได้ 9 ประเภทดังนี้ (Rangnekar และ Singh, 1980)

#### 1. สีย้อมกรด (Acid Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยไนลอนและเส้นใยโปรตีน เช่นขนสัตว์ ไหมเป็นต้น ไม่เหมาะที่จะนำไปย้อมเส้นใยประเภทเซลลูโลส ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกอะโซ ไตรฟีนิลมีเทนและแอนทราควิโนน สีย้อมกรดย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิกในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง

#### 2. สีมอร์แดนต์ (Mordant Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมนี้ส่วนใหญ่เป็นตัวสีในกลุ่มแอซิดที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกอะโซที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โคโรเมียม อลูมิเนียมและเหล็ก ในกระบวนการย้อมต้องมีการเติมเกลือของโลหะ เช่น โซเดียมไดโครเมต ทำให้สีย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะเชิงซ้อนและพันธะโควาเลนต์

#### 3. สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุบวก สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยอะคริลิก ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกไดฟีนิลมีเทน ไตรฟีนิลมีเทน ออกซาซีน ไทอาซีนและอะโซ ซึ่งสามารถย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

#### 4. สีย้อมตรง (Direct Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส สีย้อมนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มอะโซ กระบวนการย้อมสีย้อมตรง ต้องมีการเติมสารอิลคโตรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต เพื่อช่วยให้สีย้อมซึมเข้าภายในเส้นใยได้มากขึ้น ซึ่งสีย้อมนี้จะติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

#### 5. สีย้อมกระจาย (Disperse Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือละลายได้เล็กน้อย ดังนั้นตัวสีจะอยู่ในรูปคอลลอยด์ ต้องย้อมในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้สีย้อมกระจายตัวเข้าไปในเส้นใย และสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เหมาะสมกับเส้นใยเซลลูโลส อะซิเตต ไนลอนและโพลีเอสเตอร์ ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกอะโซ และแอนทราควิโนน

#### 6. สีอะโซอิก (Azoic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกอะโซ

#### 7. สีแวต (Vat Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ จึงต้องมีการเติมสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมจึงจะสามารถละลายน้ำได้ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮไดรซัลไฟด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการย้อมทำได้โดยนำผ้าไปแช่ในน้ำย้อม และเมื่อสีย้อมเข้าไปในเส้นใยแล้ว เมื่อผ้าสัมผัสกับอากาศ สีย้อมถูกออกซิไดซ์ จะไม่ละลายน้ำเหมือนเดิม ทำให้สีติดเส้นใยได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกแอนทราควิโนน

#### 8. สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์ และเมื่อสีย้อมเข้าไปในเส้นใย เมื่อเส้นใยสัมผัสกับอากาศ สีย้อมจะถูกออกซิไดซ์ เปลี่ยนเป็นไม่ละลายน้ำดังเดิม ทำให้สีติดเส้นใยได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส

#### 9. สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เป็นสีที่สีย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีออกซิเจนในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำให้สียึดติดเส้นใยได้ดี

### 2.1.3 ความเป็นพิษของสีย้อมและมลพิษของสีย้อม

โดยทั่วไปสีย้อมเป็นสารที่จัดได้ว่ามีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่ามีอัตราการตายหรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือทางจุกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหารโดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน แต่ก็เป็นที่น่าทึ่งกันว่าสารวัตถุพิษที่ใช้ในการสังเคราะห์สีย้อม มีจำนวนไม่น้อยที่มีความเป็นพิษสูงมาก และมีหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-naphthylamine และ benzydine



ผลกระทบของสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม หรือสมบัติด้านมลพิษของสีย้อมนั้น พบว่าสีย้อมเป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่ความเป็นพิษต่อปลาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของสีย้อมในน้ำที่ปัจจุบันมีได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำที่ เนื่องจากสีย้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้นแม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำที่ก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (นันทยา, 2539)

## 2.1.4 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เริ่มตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบคือเส้นใย ซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้น จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการปั่นด้าย การทอหรือการถักผ้า การฟอกย้อมพิมพ์ และเป็นอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูปในขั้นตอนสุดท้าย จึงอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 5 กระบวนการ (นันทยา, 2539) คือ

ขั้นตอนที่ 1	การผลิตเส้นใย (Fiber Production)
ขั้นตอนที่ 2	การปั่นด้าย (Spinning)
ขั้นตอนที่ 3	การทอ-ถักผ้า (Weaving-Knitting)
ขั้นตอนที่ 4	การฟอกย้อม (Textile Finishing)
ขั้นตอนที่ 5	การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป (Garment Manufacturing)

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการฟอกย้อม ซึ่งขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมีในการปรับเปลี่ยนคุณภาพเส้นใยให้เหมาะต่อการย้อมสีและต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ดังนั้นในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการในการฟอกย้อม ซึ่งขั้นตอนการผลิตอุตสาหกรรมฟอกย้อม ประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ คือ กระบวนการเตรียมผ้าสำหรับการย้อมและการย้อมสี

### 2.1.4.1 การเตรียมผ้าสำหรับการย้อม (เกษม, 2541)

การเตรียมผ้าเป็นการขจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนต่างๆ ในเส้นใย เพื่อเตรียมวัสดุสิ่งทอให้พร้อมสำหรับการย้อมพิมพ์ หรือตกแต่งสำเร็จในลำดับต่อไป กระบวนการเตรียมเส้นใยผ้ามีหลายขั้นตอนแตกต่างกันตามชนิดของเส้นใยและลักษณะของผ้า ถ้าเป็นเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความสะอาดอยู่แล้ว กระบวนการเตรียมจะไม่มี ความยุ่งยาก แต่ถ้าเป็นเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มาก กรรมวิธีการเตรียมผ้าจะค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

### การเผาขน (Singeing)

ผ้าใยสั้นเมื่อทอเสร็จแล้ว จะมีปลายเส้นใยโผล่ขึ้นมาบนผิวผ้ามาก ทำให้ดูไม่สวย และยัง เป็นอุปสรรคต่อการย้อมสีหรือการตกแต่งอีกด้วย ถ้าเป็นเส้นใยใหญ่ก็ทำให้เนื้อผ้าบริเวณปลาย เส้นใยที่นอนแบนราบลงไปทับนั้นดูดติดสีได้น้อย ดังนั้นต้องเผาเอาปลายขนเหล่านี้เสียก่อน การเผาขนทำได้โดยการใช้ความร้อนซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ เปลวไฟแก๊ส แผ่นโลหะร้อนและไฟฟ้า การเผาด้วยเปลวไฟแก๊ส เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีประสิทธิภาพสูง และเดินเครื่องจักรง่าย

### การลอกแป้ง (Desizing)

แป้งที่ติดในเส้นใยผ้า เกิดจากการลงแป้งด้วยยีนในกระบวนการทอผ้า ทำให้การทอมีประสิทธิภาพที่ดี เส้นด้ายไม่ขาดง่าย ดังนั้นต้องมีการลอกแป้งออกก่อน เพื่อให้เส้นใยผ้าเปียกน้ำได้ดี เป็นผลให้กระบวนการผลิตขั้นตอนต่อไปมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประหยัดเวลาและสารเคมี คือ สารลอกแป้งประเภทสารเอนไซม์ (Enzyme Desizing) และสารออกซิไดซิงส์ (Oxidizing Agent)

### การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

เส้นใยฝ้ายจะมีสิ่งสกปรกตามธรรมชาติเจือปนอยู่ เช่น ไขมัน โปรตีน และเศษ เปลือกเมล็ดฝ้าย การขจัดสิ่งสกปรกเหล่านี้ก่อนการย้อมสี ทำให้เส้นใยสะอาด มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี เปียกได้ง่ายขึ้น และยังช่วยให้สีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต่อไปซึม ทะลุเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นด้วย ซึ่งวิธีขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยทำได้โดยนำไปต้มกับสารละลายต่าง (โซดาไฟและโซดาแอช) และผสมกับสารลดความตึงผิว เช่น สบู่หรือผงซักฟอก ทำให้ ฝ้ายพองตัวและสิ่งสกปรกในเส้นใยบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ บางส่วนถูกกำจัด ออกไปเป็นสารแขวนลอย

### การฟอกขาว (Bleaching)

ผ้าที่ผ่านการขจัดสิ่งสกปรกแล้ว จะยังคงมีสีปรากฏอยู่ ซึ่งเป็นสีตามธรรมชาติของเส้นใย ดังนั้นการฟอกขาว จึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะผ้าที่นำไปเป็นผ้าขาว หรือฝ้ายย้อมสีอ่อน เพื่อให้ได้ ผ้าขาวหรือสีที่สดใส การฟอกขาวอาจกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธีรีดักชัน (Reduction Method) และวิธี ออกซิเดชัน (Oxidation Method) แต่ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีออกซิเดชัน ซึ่งกระทำได้โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) และสารประกอบเปอร์ออกไซด์อื่นๆ การเลือกสารเคมีตัวใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย เครื่องมือ ที่ใช้ในการฟอก และความต้องการในการนำสิ่งทอที่ฟอกไปใช้งาน

### การชุบมัน (Mercerizing)

วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้ เพื่อเพิ่มความมันของผ้า ทำให้เส้นใยอ่อนนุ่ม และดูดซึ่มสี ย้อมได้มากขึ้น การชุบมัน โดยการเอาผ้าฝ้ายไปจุ่มอัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 20-25% เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีความมันเงายิ่งขึ้น และดูดติดสีมากขึ้น โรงงานที่มีการทำ Mercerizing จะมีน้ำทิ้งที่มีความเป็นด่างสูงมาก ปกติการชุบมันต้องใช้เครื่องจักรที่มีราคาแพงมาก โรงงานที่ไม่สามารถชุบมันได้ก็อาจทำ Causticization แทนโดยการจุ่มด้วยสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นลดลงมาเหลือ 10-15% ซึ่งไม่ทำให้ผ้ามันเงาแต่ทำให้ติดสีง่ายขึ้น และดูดซึ่มสีย้อมและสารเคมีดีขึ้นซึ่งมีหลายโรงงานนิยมใช้

#### 2.1.4.2 การย้อมสี

ผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมผ้าแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการย้อมสี ซึ่งหลักการสำคัญของการย้อมสี คือ การทำให้สีติดผ้าสม่ำเสมอเหมือนกันตลอด สีย้อมจะต้องติดเส้นใยเข้าไปถึงภายใน จะติดแต่เฉพาะรอบนอกไม่ได้ และสีย้อมเมื่อติดบนเส้นใยแล้วต้องทนทานต่อการซักล้างไม่หลุดลอก ออกง่าย ซึ่งการย้อมสีให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ จะต้องเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดสีของเส้นใย เช่น การใช้สีย้อมแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับลักษณะเส้นใยแต่ละชนิด (ตารางที่ 2.3) และการใช้ประเภทของสารช่วยย้อมให้เหมาะสม

ตารางที่ 2.3 ประเภทสีที่ใช้กับเส้นใยแต่ละชนิด (Duff และ Sinclair, 1989)

เส้นใย	ชนิดสี
เซลลูโลส	ไดเรกท์ ซัลเฟอร์ อะโซอิก แวต รีแอคทีฟ
โปรตีน	แอสิด มอร์แดนท์ รีแอคทีฟ
ไนลอน	ดีสเพอร์ส แอสิด มอร์แดนท์
อะครีลิก	เบสิค แอสิด
โพลีเอสเตอร์	ดีสเพอร์ส

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่ ต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งานเพื่อเพิ่มคุณค่าทางการค้าของผ้าให้สูงขึ้น คุณค่าทางการค้า หมายถึง คุณค่าทางความรู้สึก เช่น สีแบบสมัยนิยม เป็นต้น นอกจากนี้ก็เพื่อให้มีความคงทนในการใช้งานมากขึ้นด้วย กรรมวิธีการให้สีที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธี

- **วิธีย้อม** จะให้สีพื้น วิธีการคือละลายสีลงในน้ำย้อม นำผ้าลงย้อมให้ได้สีที่ต้องการจนเสร็จจากนั้นจึงนำไปซักล้าง

- **วิธีการพิมพ์** จะให้สีสันทึที่เป็นลวดลายแตกต่างกันออกไป วิธีการพิมพ์มีหลักใหญ่ ๆ คือ นำสีพิมพ์ผสมกับแป้งพิมพ์เพื่อให้มีความข้นและพิมพ์ไปบนผ้า จากนั้นนำไปผึ่งโดยใช้ไอน้ำแล้วจึงนำไปซักล้างขจัดแป้งพิมพ์และสีที่ไม่ติดออกไป

จะเห็นได้ว่าทุกขั้นตอนจะมีการซักล้างเสมอซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ และก่อให้เกิดปัญหาในการขจัดน้ำทิ้งด้วย

### 2.1.4.3 การตกแต่งสำเร็จรูป (Textile Finishing)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของสิ่งทอ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยวิธีส่วนใหญ่จะเป็นการใส่สารเคมีที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าไปในเส้นใย ตัวอย่างการตกแต่งสำเร็จที่สำคัญ เช่น การตกแต่งให้นุ่ม การตกแต่งให้มันเงา และการตกแต่งกันยับ กันน้ำ หรือกันไฟ เป็นต้น โดยวิธีจุ่มอภิน้ำยาตกแต่งสำเร็จไปบนผ้า แล้วทำการผึ่ง หลังจากนั้นปกติจะไม่มี การซักล้างอีก เพราะฉะนั้นน้ำทิ้งจึงเป็นน้ำยาที่เหลือจากอ่างน้ำยาเท่านั้น

#### ชนิดและลักษณะของเส้นใย

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีอยู่หลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (เกษม, 2541) คือ

- |                        |  |
|------------------------|--|
| ก. เส้นใยธรรมชาติ      | ประกอบด้วย                                 |
| - เส้นใยจากพืช         | เป็นเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ ฝ้าย ปอ ลินิน    |
| - เส้นใยจากสัตว์       | เป็นเส้นใยโปรตีน ได้แก่ ไหม ขนแกะ          |
| ข. เส้นใยประดิษฐ์      | ประกอบด้วย                                 |
| - เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ | ได้แก่ เรยอน                               |
| - เส้นใยสังเคราะห์     | ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ ไนลอน อะครีลิก เป็นต้น |

เส้นใยทุกชนิดมีลักษณะเหมือนกันอยู่อย่างหนึ่ง คือ ประกอบด้วยโมเลกุลเล็กๆ ต่อกันเป็นเส้นยาวเหมือนเชือก เช่น ไหม จะเป็นโพลีเปปไทด์ (Polypeptide) ฝ้ายและเรยอน จะเป็นโพลีเซลโลไบโอส (Polycellobiose) ส่วนไนลอน จะเป็นโพลีเอไมด์ (Polyamide) เมื่อนำเส้นใยไปดัดย้อมจะทำให้การเรียงตัวของโมเลกุลดีขึ้น ซึ่งการเรียงตัวภายในเส้นใยอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เรียงตัวเป็นระเบียบ เรียกว่า คริสตอลไลต์หรือไมเซลล์ (Crystallites or Micelles) และส่วนที่สอ เป็นการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ หรือเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ เรียกว่าช่องว่าง (อัจธราพร, 2527)

เมื่อเส้นใยเปียกน้ำจะทำให้เส้นใยพองตัว ซึ่งจะเกิดเฉพาะบริเวณเส้นใยที่มีการเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ ทำให้ช่องว่างในเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น โมเลกุลของสีย้อมก็สามารถผ่านเข้าเส้นใยได้

นอกจากนี้ต้องมีอำนาจอีกอย่างหนึ่งมาทำให้ตัวสีแยกตัวออกจากน้ำและติดติดกับเส้นใย นั่นคือกลุ่มเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวสีและเส้นใย

### สารช่วยย้อม (Additives)

สารช่วยย้อม เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการบวนการย้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อม ให้มีการติดสีได้มากขึ้น สม่ำเสมอมากขึ้น และทำให้สีย้อมติดเส้นใยแล้วมีความคงทนขึ้น สารช่วยย้อมที่สำคัญ สามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

- กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเมื่อใช้สีย้อมแอซิด
- ด่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิก แวต และกำมะถัน
- เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมแอซิดและการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
- สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต ดิสเพอร์สและสีแอซิดบางชนิด
- สารพา (Carrier) ใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์ ใช้ย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารรีดิวซ์ ใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูซึมเข้าไปในเส้นใย

### 2.1.5 ลักษณะของน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกย้อม – พิมพ์ผ้า

แหล่งที่มาของน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกย้อม- พิมพ์สิ่งทอ มีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 4 แหล่งคือ

1. **น้ำทิ้งที่ใช้ในการบวนการ** ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อมพิมพ์ผ้า และแต่งสำเร็จ น้ำที่ใช้ส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างบางส่วนแต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำทิ้งภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในการบวนการยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อมหรือพิมพ์โดยตรง น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณไม่มากนักแต่ความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนจะค่อนข้างสูง
- น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อมพิมพ์ น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมากแต่ความเข้มข้นของสิ่งเจือปนโดยส่วนรวมแล้วจะต่ำกว่าน้ำทิ้งในประเภทแรก

### 2. **น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ**

ในการบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ มักจะอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในการกระบวนการ และเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลง และกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาด สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง มันจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำทิ้งที่สกปรกในที่สุด



### 3. น้ำหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อม บ่อยครั้งที่โรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิ ของน้ำย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำให้ได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำไปใช้ใหม่ได้

### 4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำทิ้งจากโรงงาน และในบางกรณีก็เป็นน้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำจากการล้างสกรีนที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า หรือน้ำล้างถังเตรียมสี เป็นต้น

### 5. น้ำจากแหล่งอื่น ๆ

นอกจากน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานยังอาจมีน้ำทิ้งจากแหล่งอื่น ๆ อีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

#### 2.1.5.1 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำทิ้ง

สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม-พิมพ์ผ้า มีอยู่มากมายหลายประเภท โดยอาจจำแนกเป็นประเภทที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้ คือ

#### 1. สีย้อม สีที่ใช้ในการย้อม-พิมพ์สิ่งทอ ที่สำคัญมีดังนี้ คือ

- สีย้อมฝ้าย ได้แก่ ส่าไคเรกท์ สิริแอกทีฟ สีเวต และสีซัลเฟอร์
- สีย้อมโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีดิสเพิร์ส
- สีย้อมไนลอน ได้แก่ สีแอซิด แลสีดิสเพิร์ส
- สีย้อมอะครีลิก ได้แก่ สีเอสลิค
- สีพิมพ์ ในการพิมพ์ผ้านอกจากจะมีการใช้สีย้อมประเภทต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการใช้สีฟักมันต์อีกประเภทหนึ่งด้วย

ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น ที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5-50 % ขึ้นอยู่กับประเภทของสีที่ใช้ สำหรับในการพิมพ์ก็เช่นกัน สีที่พิมพ์ไปบนผ้าจะไม่ถูกดูดซึมไปบนผ้าทั้งหมด และส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมจะถูกล้างออกมาในน้ำล้างภายหลัง การพิมพ์ด้วยสีฟักมันต์เท่านั้น ที่ไม่จำเป็นต้องมีการซักล้างการพิมพ์

#### 2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ

สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ สารเคมีใช้ในกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ มีอยู่หลายสิบประเภท สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำทิ้ง

### 3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านการระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากนัก โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างขั้นตอนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนที่มากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมถึง 40% ของน้ำหนักเส้นใย ในขณะที่ฝ้ายมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติ โดยเฉลี่ยประมาณ 10% สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตก็ยังมีสารเติมแต่งต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ จะถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมก่อนการพิมพ์ย้อม และจะหลุดติดตามในน้ำทิ้งจากขั้นตอนการเตรียม

### 4. เศษเส้นใย

ในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ องค์ประกอบอันหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้คือเศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาอุดตันของน้ำทิ้งในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีสารไอโซโกเมอร์ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยมาปะปนในน้ำทิ้งด้วย

### 5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ

นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่างๆ ดังกล่าวมาข้างต้นแล้วน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอ จะมีน้ำทิ้งซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความหลากหลายอย่างยิ่ง แต่อุตสาหกรรมประเภทนี้ยังมีข้อดีอยู่บ้าง คือสารส่วนใหญ่เป็นสารที่ง่ายต่อการบำบัด และมีค่าบีโอดี ตลอดจนมีความเป็นพิษต่ำ (ฉมาลิตา, 2532)

#### 2.1.5.2 ลักษณะและผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะดังต่อไปนี้ (ฉมาลิตา, 2532)

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากค่าบีโอดี และซีโอดีสูง จากกระบวนการฟอกย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อม เส้นใย และเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง ไขมันและตัวทำละลายต่างๆ
2. มีความเป็นด่างสูง เนื่องจากมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนตปนอยู่
3. มีอุณหภูมิสูง
4. มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง เนื่องจากมีเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ ปนอยู่
5. มีสีเข้มมาก จากกระบวนการย้อมผ้า

6. มีโลหะหนักเจือปน เนื่องจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า ส่วนใหญ่มีโลหะพวกทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสีปนอยู่
7. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง  
ลักษณะน้ำเสียเหล่านี้จะแตกต่างกันในแต่ละโรงงาน โดยขึ้นอยู่กับ ชนิดของเส้นใยที่นำมาย้อม และกระบวนการย้อมเส้นใยที่แตกต่างกัน ส่วนผลกระทบจากการที่มีสีย้อมปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับ
  1. ความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสีย โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0-200 มิลลิกรัมต่อลิตร
  2. อัตราการไหลของน้ำเสีย
  3. ขนาดของแหล่งน้ำธรรมชาติ
  4. คุณภาพแหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆ

### ปัญหาที่เกิดจากสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ก่อให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ
2. สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง
3. ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช
4. การผลิตออกซิเจนลดลง เนื่องจากผลกระทบจากข้อ 3 ซึ่งส่งผลต่อสัตว์น้ำ
5. ความเป็นพิษของตัวสีย้อม บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง
6. ทั้งหมดข้างต้นส่งผลให้สภาวะของแหล่งน้ำไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

## 2.2 การจัดการสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม

### 2.2.1 การลดปริมาณของเสีย

การวางแผนจัดการให้เกิดปริมาณของเสีย หรือลดปริมาณของเสียให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ณ แหล่งกำเนิด เป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึง เพราะหมายถึงต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบขนถ่ายของเสียและระบบบำบัดน้ำเสีย รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและค่าบำรุงรักษาด้วย

ผู้ประกอบการในฝ่ายผลิตต้องมีการจัดระบบการจัดการให้สามารถสร้างประสิทธิภาพในการย้อมที่เหมาะสมที่สุดที่จะลดปริมาณการรั่วไหลของสีย้อม หรือปริมาณสีย้อมที่ปนออกมากับน้ำเสียให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบได้ด้วย เช่น

- หลีกเลี่ยงการใช้สีย้อมที่มากเกินไป



- เลือกใช้สารเคมีหรือสีย้อมที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือง่ายต่อการนำไปบำบัด เช่น ใช้สีย้อมหรือสารเคมีที่ไม่มีพิษ
- ตรวจสอบป้องกันไม่ให้เกิดรอยรั่วรอยรั่วที่ถังย้อม เส้นท่อต่างๆ เป็นต้น
- จัดแผนงานการผลิตให้เหมาะสมกับเวลา ปริมาณสีย้อม และสารเคมี ไม่ให้มีสีย้อม และสารเคมีเหลือ ควรขอให้มีผ้ามากพอสำหรับการย้อมแต่ละครั้ง
- ในช่วงการล้างชิ้นงาน เพื่อกำจัดสีย้อมและสารเคมีส่วนเกิน ควรพยายามใช้น้ำเท่าที่จำเป็น
- เพื่อให้เกิดความสะดวกในช่วงการบำบัดน้ำเสีย ควรสร้างระบบระบายน้ำแยก ในกรณีที่โรงย้อมนั้นมีกระบวนการผลิตอื่นร่วมด้วย

นอกจากความร่วมมือของผู้ปฏิบัติงานในฝ่ายผลิตแล้ว การแก้ไขในส่วนเทคโนโลยีการย้อมหรือการผลิตก็มีความสำคัญเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีด้านเคมีและอุปกรณ์เครื่องจักร ซึ่งวิธีนี้ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ชำนาญการหลายส่วน เช่น ผู้ผลิตเครื่องจักรที่ใช้ในการย้อมผ้า ต้องมีการวิจัยพัฒนากระบวนการหรือวิธีการย้อมผ้าแบบใหม่ที่ทำให้ความสะดวก มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน ใช้ร่วมกับสารเคมีที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยที่สุด หรือเป็นมลพิษที่สามารถกำจัดได้สะดวกและไม่สิ้นเปลือง เป็นต้น ตัวอย่างของการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเพื่อช่วยลดปริมาณของเสียมีดังนี้

1. กระบวนการย้อมผ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเอกซอสท์ชั่น (Exhaustion) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการย้อมสีแบบใช้อัตราส่วนของเหลวต่ำ (Short Liquor) สำหรับย้อมผ้าฝ้ายและผ้าผสมฝ้าย เป็นการใช้อัตราส่วนของเหลวต่ำ ซึ่งช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ประหยัดและช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดในกระบวนการย้อมได้ด้วย ซึ่งวิธีนี้สามารถลดปริมาณน้ำเสียได้ร้อยละ 30 ลดการใช้ไอน้ำลงร้อยละ 40-50 ลดปริมาณสารเคมีได้ร้อยละ 40 ลดปริมาณเกลือและสีย้อม โดยเฉพาะสีย้อมเพอร์ส สีย้อมแอคทีฟ สีแวต สีซัลเฟอร์ และสีไดเรกต์ได้ร้อยละ 15-20 เมื่อใช้โทนสีเข้ม แต่สามารถลดการใช้สีย้อมเบสิค สีแอสิด สีเมทัลคอมเพล็กซ์ได้ไม่มากนัก

2. เพิ่มปริมาณการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะช่วยควบคุมฟังก์ชันและปัจจัยต่างๆ ในการผลิตให้สามารถทำได้อย่างแม่นยำและใช้ทรัพยากรเท่าที่จำเป็น เช่น ควบคุมการใช้ปริมาณสีย้อม ปริมาณสารเคมี อุณหภูมิ อัตราการไหลเวียนสีย้อมและสารเคมี การจัดโปรแกรมของเวลาให้สัมพันธ์กับปริมาตร และความเร็วมอเตอร์ ฟีเอช และยังสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้อีกด้วย

3. ลดปริมาณการใช้สีย้อมที่เป็นพิษ สารอะโซถือเป็นสารก่อมะเร็ง และสีย้อมไดเรกต์ส่วนใหญ่ก็เป็นสารประกอบอะโซ สำหรับสารเบนซิดีน (Benzidine) จากกระบวนการสังเคราะห์คองโกเรด (Congo Red) ก็ถือว่าเป็นสารที่ก่อมะเร็งเช่นเดียวกัน ส่วนสีย้อมซัลเฟอร์และสีแวต

ก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ดังนั้นแนวโน้มในอนาคตคาดว่าจะมุ่งพัฒนาสีย้อมดิสเพอร์ส ซึ่งขณะนี้ยังไม่ส่งผลกระทบที่เป็นพิษใดๆ

## 2.2.2 การบำบัดสีในน้ำทิ้ง

สิ่งเจือปนในน้ำทิ้งเนื่องจากการย้อมผ้าในโรงงานฟอกย้อมนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และจะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้ง แม้จะมีการโต้เถียงกันว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ แต่เนื่องจากทำให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อคนทั่วไป ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการบำบัดสีมีหลายวิธีดังนี้ (Metcalf และ Eddy, 1991)

### 2.2.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์ หรือเพอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีย้อมแอซิด สีย้อมรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเลคโตรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเลคโตรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งจะส่งผลเสียต่อกระบวนการในตรีพีเคชั่น

### 2.2.2.2 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ในการลดสี โดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่จะมีการดูดซับสีไปด้วย ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ

- **ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)** เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กิน ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีความสกปรกลดลง

- ระบบที่ 2 คือระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ดัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีอากาศและไม่มีอากาศรวมกันโดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่งต่างกัน เพียงบ่อนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ชุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพของน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่า บีโอดีลดลงประมาณร้อยละ 30-50

### 2.2.2.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้พีเอชของน้ำทิ้งสูง ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้งด้วย การกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกากซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอชก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยม แม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

### 2.2.2.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวกวงแหวนกับพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนเนชั่น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

### 2.2.2.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

#### 1. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)

ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อม หลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีประเภทดีดิสเพอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทสียัลเฟอรัส สีย้อม และสีอะซิติกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย และวิสคอส (Viscose) สีย้อมดีดิสเพอร์สเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

#### 2. ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้าย ไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

#### 3. ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane)

ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลีลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

#### 4. นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสียัลเฟอรัสที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสียัลเฟอรัสต้องใช้ สาร อิเล็กโตรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโตรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

### 2.2.2.6 เทคโนโลยีใหม่ๆ (New Technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงาน ประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆ ที่คล้ายกันดังนั้นเทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2. ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูง และบางครั้งคลอรีน และไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้

3. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันน้ำตาลแตกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

## 2.3 การคัดเลือกและรายละเอียดสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง

### 2.3.1 การคัดเลือกสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.1 เรื่องสีย้อม ซึ่งสีย้อมสามารถแบ่งออกได้หลายประเภททั้งตามวิธีการใช้งาน และตามสูตรโครงสร้าง ดังนั้นการที่จะทำการทดลองศึกษาถึงการกำจัดสีของน้ำเสียให้ครอบคลุมสีทุกชนิดจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการศึกษากำจัดสีย้อมโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีในซัลโฟเนตลิ้งค์เซลลูโลส ซึ่งเป็นเรซินชนิดแอนไอออนนี้ จึงได้มีขั้นตอนการเลือกสีย้อมที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

1. ทำการเลือกสีย้อมที่สามารถละลายน้ำได้ดี เนื่องจากสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำสามารถบำบัดได้ง่ายกว่า ซึ่งสีย้อมที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ สีย้อมแอสิด สีไดเรกท์ สีเบสิค สีรีแอคทีฟ และสีเมอร์แดนท์
2. สีย้อมที่สามารถละลายน้ำได้ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ให้ประจุลบ และประจุบวก จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า กลุ่มที่ให้ประจุบวกสามารถบำบัดสีได้ดีโดยการดูดซับของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่างๆ แต่กลุ่มที่ให้ประจุลบ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่ามาก (ดูหัวข้อ 2.8) ดังนั้นเราจึงพิจารณาการกำจัดสีย้อมโดยใช้ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ ซึ่งคาดว่าจะสามารถแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบได้กับสีย้อมที่มีประจุลบเช่นกัน สีย้อมประจุลบ ได้แก่ สีแอสิด สีไดเรกท์ สีรีแอคทีฟ และสีเมอร์แดนท์
3. เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเรซินมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงเลือกสีย้อมไดเรกท์ และสีรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นสีย้อมที่มีโมเลกุลใหญ่และเล็กตามลำดับ มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากสีทั้งสองเป็นสีที่เหมาะสมกับเส้นใยเซลลูโลส และมีใช้กันอย่างแพร่หลาย
4. การคัดเลือกโทนสีซึ่งมีอยู่แตกต่างกันออกไป จะพิจารณาจากความนิยมของตลาดเป็นสำคัญ โดยเลือกโทนสีที่ได้รับความนิยมมาก สำหรับใช้ในการทดลอง 3 โทนสีคือ สีดำ สีน้ำเงิน และสีแดง นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง จะพิจารณาความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียจริง ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0-200 มิลลิกรัม



ต่อลิตร แตกต่างกันในแต่ละกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังนั้นจะทำการศึกษาความเข้มข้นของสีย้อม 6 ค่า คือ 50 70 90 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

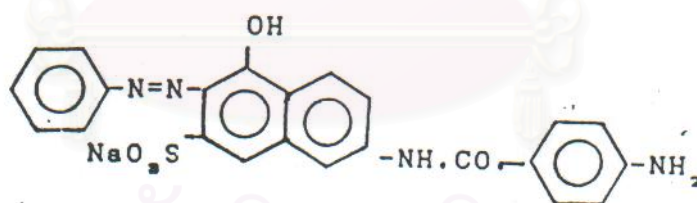
### 2.3.2 รายละเอียดสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดของสีย้อมไดเรกต์และสีย้อมรีแอคทีฟ มีดังนี้

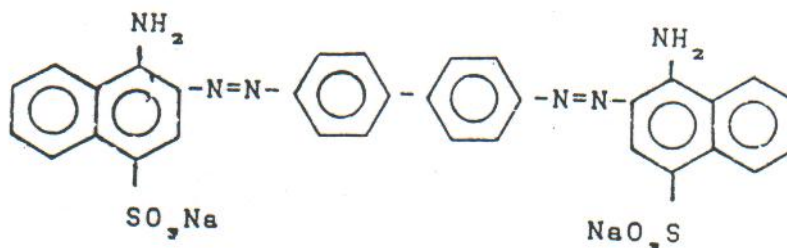
#### 2.3.2.1 สีไดเรกต์

สีไดเรกต์ส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลโฟเนต (sulphonate) ประเภทเอโซ (azo) ที่สามารถละลายน้ำได้ ในบรรดาสีที่ใช้ย้อมสิ่งทอ สีไดเรกต์เป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดสีแต่ละตัวในกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานไม่เท่ากัน ซึ่งมีสมบัติเฉพาะในการซึมติดเส้นใยได้ในตัวเอง (substantivity) จึงเหมาะสำหรับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน เป็นต้น สีไดเรกต์ผลิตออกจำหน่ายครั้งแรกใน พ.ศ. 2427 โดยบริษัทบอททิจเจอร์ (Bottiger) มีสีแดงเรียกว่า คองโกเรด (congo red) สามารถย้อมผ้าได้ทันทีโดยไม่ต้องย้อมผ้าด้วยสารช่วยติดเหมือนตัวอื่นๆ ซึ่งใช้กันอยู่ก่อนจึงเรียกว่า สีไดเรกต์ หรือ สีย้อมโดยตรง อย่างไรก็ตามบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตออกใช้งานนั้นจะมีชื่อการค้าแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต เช่น Durazol (ไอ. ซี. ไอ.) Solar (ไบเออร์) Solophenyl (ซียา-ไก้) Tavidirect (จีเรวัตโรโดยส์ตัพ) เป็นต้น และใช้กันอยู่มี 7 กลุ่ม แบ่งตามโครงสร้างทางเคมีดังนี้

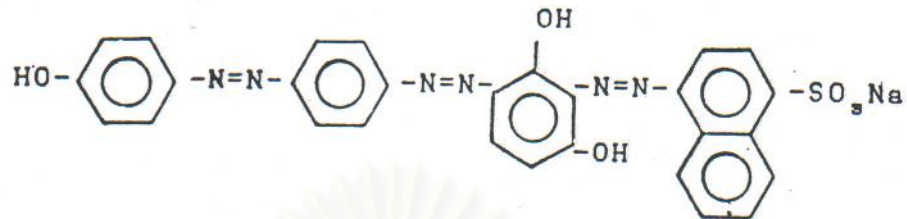
1. กลุ่มโมนาโซ (Monazo) ตัวอย่างได้แก่ diazomine scarlet 5B (C.I. direct red 14) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



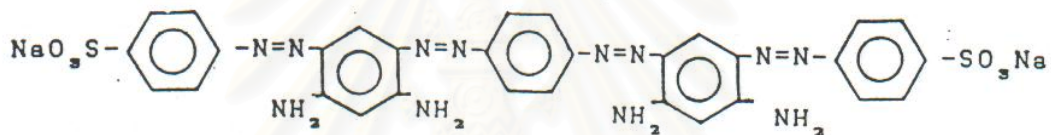
2. กลุ่มบีสเอโซ (Bisazo) ตัวอย่างได้แก่ original congo red (C.I. direct red 28) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



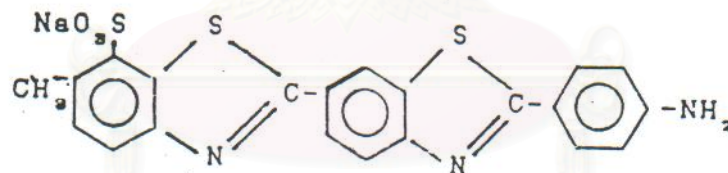
3. กลุ่มทริสเอโซ (Trisazo) ตัวอย่างได้แก่ congo brown R (C.I. direct brown 21) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



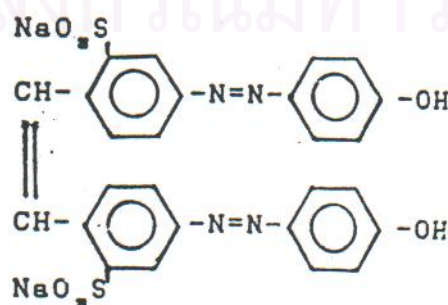
4. กลุ่มโพลีเอโซ หรือ เทตระคิสเอโซ (polyazo or tetrakis azo) ตัวอย่างได้แก่ chloazol brown GM (C.I. direct brown 44) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



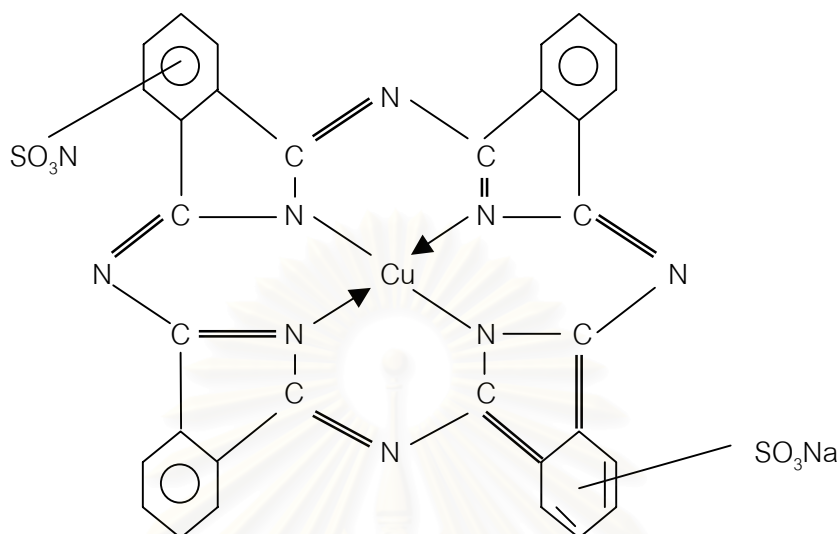
5. กลุ่มไทเอโซล (thiazole) เป็นกลุ่มที่เตรียมได้จากพริมูลีน (primuline) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



6. กลุ่มที่ได้จากสทิลบิน (stilbene) ตัวอย่างเช่น diphenyl chrysoine G (C.I. direct yellow 19) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



7. กลุ่มฟาทาโลไซยานีน (phthalocyanine) ตัวอย่างได้แก่ durazon blue 8G (C.I. direct blue 8G) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



#### ทฤษฎีการย้อมสีไคโรเรทท์

การย้อมสีไคโรเรทท์กับผ้าใยเซลลูโลสเป็นการดูดติดทางกายภาพเพราะโครงสร้างของเซลลูโลสไม่มีกลุ่มเคมีตอนปลายที่จะรวมตัวกับเกลือในโครงสร้างสีได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลกับการดูดติดเส้นใยนั้นพอสรุปได้ดังนี้

1. สีย้อมจะต้องมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นแนวตรง และ อยู่ในระนาบเดียวกัน
2. โมเลกุลสีต้องมีหมู่เคมีที่ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้
3. ควรมีจำนวนหมู่เคมีที่ช่วยทำให้ตัวสีละลายได้พอเหมาะ
4. หมู่เคมีจะทำให้ตัวสีละลายได้นั้น จับอยู่ที่โครงสร้างของตัวสีด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นหมู่เคมีที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน
5. ระยะของหมู่เคมีที่จะก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ควรอยู่ใกล้กับเซลลูโลสมากที่สุด
6. การรวมตัวกันโดยพันธะคู่ จะช่วยเสริมให้โมเลกุลเข้ามาเรียงตัวในแนวเดียวกันได้มากขึ้น และยังอาจจะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่ตอนปลายของสายโมเลกุลที่รวมตัวกันนี้ได้ด้วย



จากหลักการนี้ การย้อมสีไคโรเรทที่สามารถอธิบายขั้นตอนการย้อมได้ 3 ขั้นตอนคือ

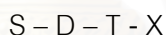
1. สีจะถูกดูดซึมติดที่ผิวของเส้นใย
2. สีจะถูกดูดซึมเข้าไป แล้วกระจายสู่ใจกลางของเส้นใย
3. สีจะถูกดูดยึดติดที่จุดที่ให้สีติดในเส้นใยได้

สีย้อมไคโรเรทที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยสี Best Direct Black B, สี Sirius Blue KCFN และสี Sirius Rubine KZBL ซึ่งสูตรโครงสร้างของสีทั้ง 3 ไม่สามารถทราบได้ เนื่องจากเป็นสูตรเฉพาะของทางบริษัท ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้สีดังกล่าว ซึ่งทางบริษัทไม่สามารถเปิดเผยได้

### 2.3.2.2 สีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลไอออนในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะเคมีโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู

โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟ ประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม (Shore, 1995) คือ



โดย S คือกลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟเนต (-SO<sub>2</sub>Na) ซึ่งจะอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์

D คือกลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่ากลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophore)

T คือกลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลุ่มรีแอคทีฟ กับกลุ่มโครโมฟอร์ (Bridging Group) เช่น กลุ่ม -NH-, -NHCO-, -SO<sub>2</sub>-, -NHSO<sub>2</sub>- และ -NCH<sub>3</sub> เป็นต้น

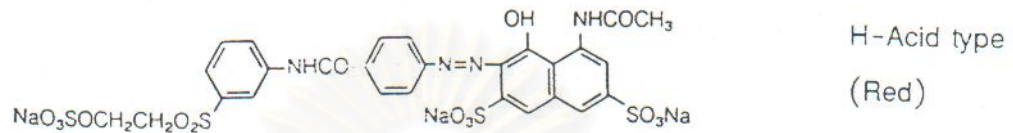
X คือกลุ่มรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำให้สีทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย

บางกรณีกลุ่มรีแอคทีฟจะติดกับกลุ่มโครโมฟอร์โดยตรงไม่ต้องมีตัวเชื่อม และกลุ่มรีแอคทีฟ ส่วนใหญ่จะเป็นสาร Heterocyclic Ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของ Heterocyclic Ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติอื่นๆ ของสี จากส่วนประกอบดังกล่าวมานี้ จะพบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไปก็คือ กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี และกลุ่มรีแอคทีฟ

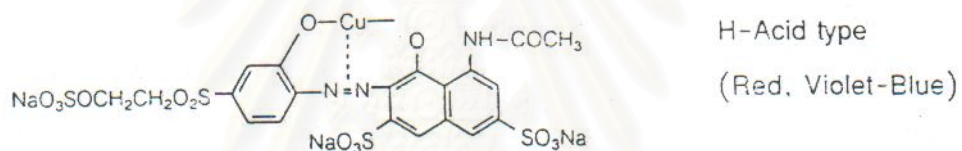
### กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี (Chromophore)

กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่พัฒนามาจากสีแอสิด โดยแบ่งตามโครงสร้างได้เป็นหลายกลุ่มดังนี้

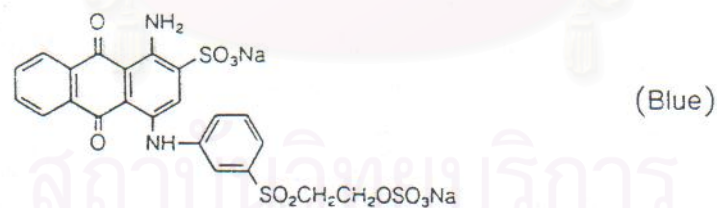
1. กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลัก ซึ่งสีรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะมีสารที่ทำให้เกิดสีชนิดนี้อยู่ ตัวอย่างเช่น



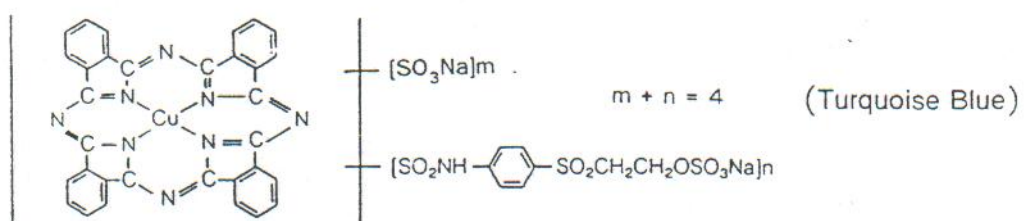
2. กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลัก ตัวอย่างเช่น



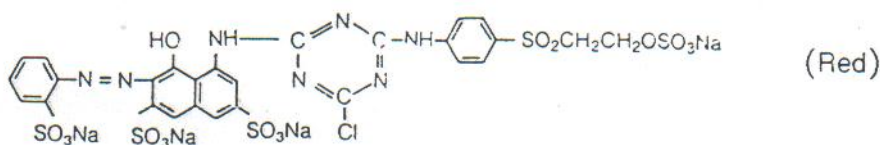
3. กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก ตัวอย่างเช่น



4. กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลัก ตัวอย่างเช่น



5. กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลัก ในสีที่มีกลุ่มรีแอคทีฟแบบ Bifunctional ตัวอย่างเช่น



จะเห็นได้ว่า กลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมรีแอคทีฟนั้น ต่างก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีย้อมรีแอคทีฟนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซนต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีย้อมรีแอคทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ (Shore, 1990)

Chemical Class	ร้อยละการกระจายของโทนสี								ร้อยละของสีย้อมรีแอคทีฟทั้งหมด
	เหลือง	ส้ม	แดง	ม่วง	ฟ้า	เขียว	น้ำ ตาล	ดำ	
Unmetallised Azo	97	90	90	63	20	16	57	42	66
Metal-Complex Azo	2	10	9	32	17	5	43	55	15
Anthraquinone				5	34	37		3	10
Phthalocyanine					27	42			8
Miscellaneous	1		1		2				1
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า สีย้อมรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกลุ่มโครโมฟอร์ชนิดอะโซ (Unmetallised Azo และ Metal-Complex Azo) โดยถ้าไม่รวมสีย้อมรีแอคทีฟที่มีโทนสีฟ้าและเขียวแล้ว จะพบว่า สีย้อมรีแอคทีฟจะมีกลุ่มอะโซเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึงร้อยละ 95 ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสีย้อม ถ้าสามารถทำลายพันธะอะโซในกลุ่มโครโมฟอร์ได้ ก็จะสามารถลดสีในน้ำเสียลงได้

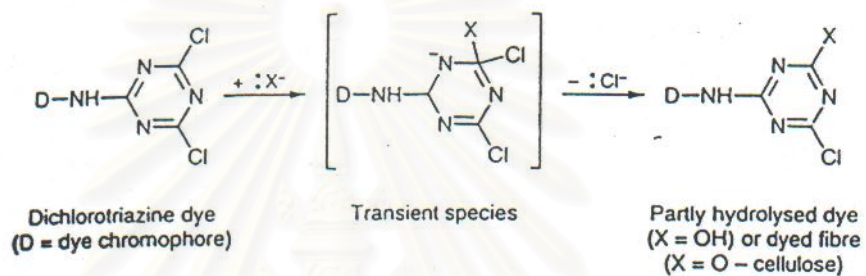
#### กลุ่มรีแอคทีฟ (Reactive Group)

กลุ่มรีแอคทีฟเป็นกลุ่มอะตอมที่มีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับเส้นใย และทำให้สีสามารถติดกับเส้นใยได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Monofunction คือสีที่มีกลุ่มรีแอคทีฟเพียงกลุ่มเดียวในโมเลกุลของสีย้อม และกลุ่ม Bifunction คือสีที่มีกลุ่มรีแอคทีฟอยู่ 2 กลุ่มในโมเลกุลของสี

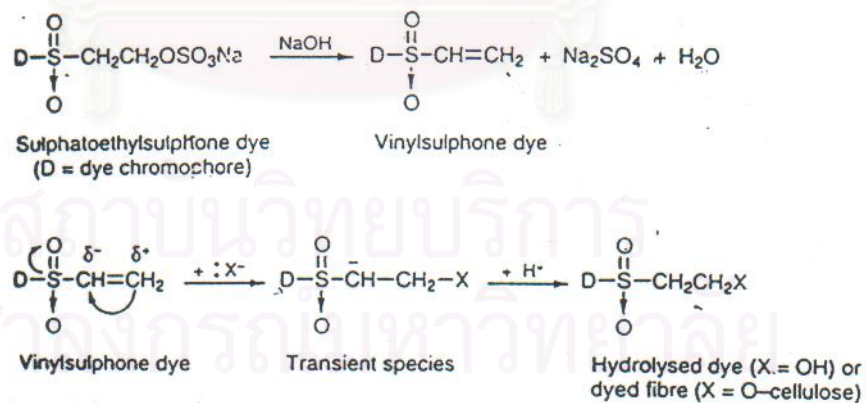
ย้อม ซึ่งทำให้ความสามารถในการติดกับเส้นใยสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะมีกลุ่มรีแอกทีฟ ที่สามารถสร้างพันธะกับ เส้นใยได้เป็น 2 เท่าของกลุ่มแรก และเมื่อกลุ่มหนึ่งทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้ว อีกกลุ่มหนึ่งก็ยังสามารถในการสร้างพันธะกับเส้นใยได้อยู่

ปฏิกิริยาการสร้างพันธะระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟของสีกับเส้นใยสามารถแบ่งได้ 2 แบบดังนี้

- ไฮดรอกไซด์ไอออนหรือเส้นใย เข้าแทนที่อะตอมพวกฮาโลเจน (Halogen) ในโมเลกุลสี (Nucleophilic Substitution) เกิดเป็นพันธะระหว่างสีกับเส้นใยขึ้น ลักษณะของปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



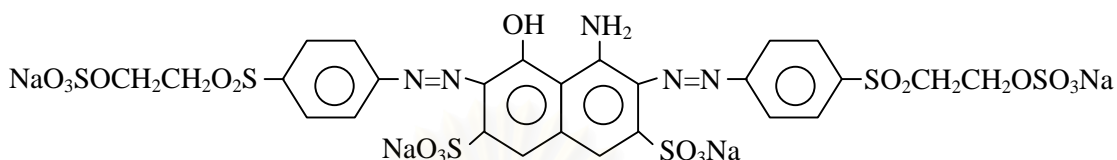
- ไฮดรอกไซด์ไอออนหรือเส้นใย สร้างพันธะกับโมเลกุลของสีโดยการสลายพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอม 2 อะตอม ในกลุ่มไวนิลซัลโฟน (Vinylsulphone) แล้วเชื่อมตัวมันเข้าไปกับคาร์บอนตัวทำของของกลุ่มดังกล่าว (Nucleophilic Addition) ลักษณะของปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



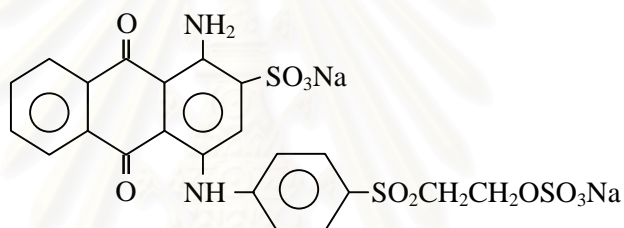
การสร้างพันธะกับโมเลกุลของสี สามารถเกิดได้ทั้งกับเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออน แต่ความสามารถในการสร้างพันธะกับเส้นใยจะมีมากกว่าการสร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออนสีที่สร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออน เรียกว่าสีที่ไฮโดรไลซ์แล้ว ไม่สามารถสร้างพันธะติดกับเส้นใยได้ อีก จึงหลงเหลือไปกับน้ำย้อมและน้ำล้างได้เป็นบางส่วน

สีย้อมรีแอคทีฟที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่สี Remazol Black B, สี Remazol Brilliant Blue R และสี Remazol Brilliant Red 3BS โดยทราบสูตรโครงสร้างสี 2 สี ได้แก่

- สี Remazol Black B (20505 C.I. Reactive Black 5) เป็นสีย้อมที่มีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลัก



- สี Remazol Brilliant Blue R (61200 C.I. Reactive Blue 19) เป็นสีย้อมที่มีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก



## 2.4 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

### 2.4.1 องค์ประกอบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งโดยปกติปริมาณสารประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิด อายุ และขึ้นกับว่าเป็นส่วนประกอบส่วนไหนของพืช

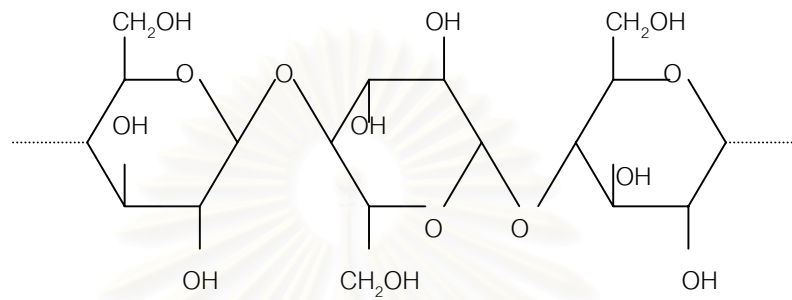
#### 2.4.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ชนิดหนึ่งที่มีมากในผนังเซลล์ของพืช เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง ส่วนใหญ่ได้มาจากผลผลิตทางการเกษตรมีจำนวนมาก และมีราคาถูก ปัจจุบันได้ให้ความสนใจในการนำมาทำเป็นวัตถุดิบ เพื่อผลิตเชื้อเพลิงและเป็นสารเคมี การที่เซลลูโลสมีอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ก็จะเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม (ปริญานุช, 2536) การนำเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในขั้นแรกต้องย่อยสลายให้เป็นน้ำ



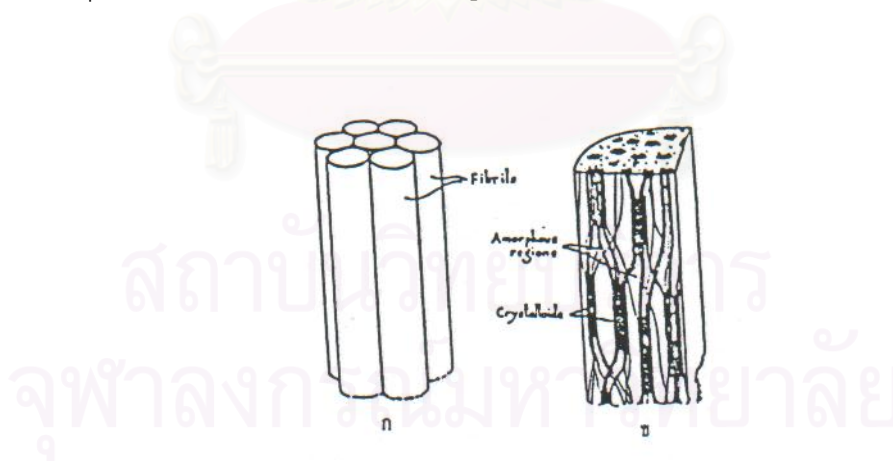
ตาลโดยใช้สารเคมี หรือใช้เอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดที่ผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเซลลูโลสได้ (ปราณี, 2537)

โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของ D-glucose ซึ่งจะเชื่อมกันด้วยพันธะ  $\beta$ -glucoside และความยาวของโซ่จะประกอบด้วย D-glucose ตั้งแต่ 300 ถึง 2500 หน่วย ซึ่งถ้าไฮโดรไลส์เซลลูโลสเพียงบางส่วนจะได้เซลไบโอส แต่ถ้าไฮโดรไลส์เต็มทีจะได้ D-glucose



### รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส (ปิยนุช, 2536)

ประมาณกันว่าเซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 20,000-750,000 ดาลตัน ซึ่งเท่ากับ 100-4,000 หน่วยเซลลูโลส (น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคสเท่ากับ 180.16 ดาลตัน) โมเลกุลของเซลลูโลสจะเรียงกันอยู่เป็นมัดๆ เรียกว่า Fibril (รูปที่ 2.2 ก) เมื่อนำแต่ละ Fibril มาขยาย จะพบว่าประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่รวมกันเป็นกระจุก เรียกว่า Crystalloid และส่วนที่อยู่รวมกันแบบหลวมๆ เรียกว่า Amorphous Regions (รูปที่ 2.2 ข)



### รูปที่ 2.2 ก. Bundle ของ Parallel Fibrils

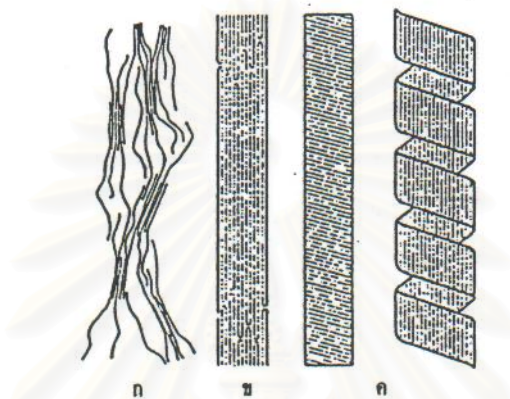
#### ข. ภาพตัดด้านข้างของ 1 Fibril

ที่มา : Goksoyr และ Erikson, 1980



เซลลูโลสธรรมชาติ (Native Cellulose) ที่พบทั่วๆ ไปในผนังเซลล์ของพืชจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. Fringe Micelle ประกอบด้วย ส่วน Crystalloid และ Amorphous (รูปที่ 2.3 ก)
2. โครงสร้างของเซลลูโลสที่ม้วนหรือพับไปตามแกนของเส้นใยเซลลูโลส (รูปที่ 2.3 ข)
3. โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นริบบิ้นหนา เกิดจากการม้วนไปมาโดยตั้งฉากกับแกนของริบบิ้น และแถบริบบิ้นจะม้วนเป็นเกลียว (รูปที่ 2.3 ค)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์ของพืชทั่วๆ ไป (กนก, 2528)

เซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือสารละลายต่างอ่อน แต่จะละลายในกรดและต่างแก่ เมื่อสลายตัวโดยสมบูรณ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์ จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียว แต่ถ้าการสลายตัวไม่สมบูรณ์ จะได้เซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งเป็นไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) และโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) อื่นๆ

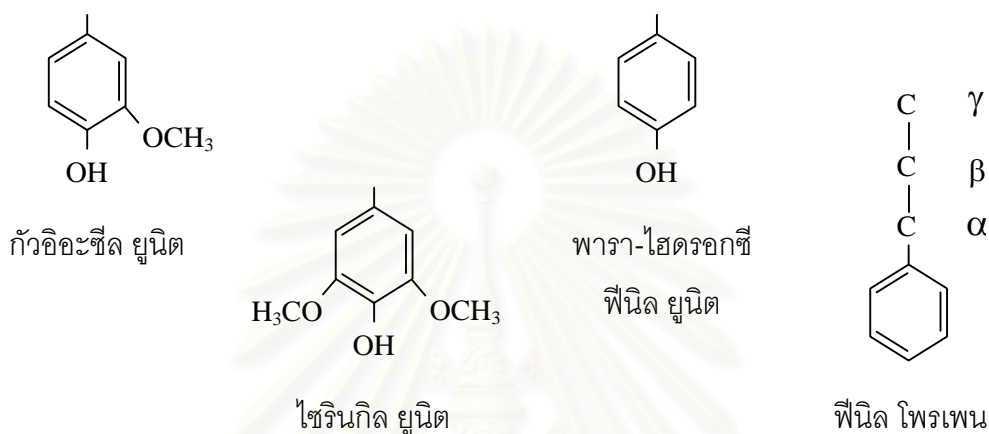
#### ประโยชน์ของเซลลูโลส

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ประเภท ฟางข้าว แกลบ ชี้อ้อย ชานอ้อย ใบสับปะรด กาบมะพร้าว และต้นมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก วัสดุเหล่านี้หาได้ง่าย นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอมไซม์เซลลูโลส ยา พิล์ม ไตเทียม อาหาร เครื่องสำอาง เอทานอล วิตามิน กรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด กรดอินทรีย์ และเคมีภัณฑ์อีกหลายอย่างได้

#### 2.4.1.2 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogeneous Organic Polymer จะอยู่ภายในโครงสร้างของพืช โดยอยู่รอบๆ เซลลูโลสและป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compound) ประกอบด้วยหมู่เมทอกซิล (-OCH<sub>3</sub>) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และส่วนที่เป็นฟีนอลิก โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถ

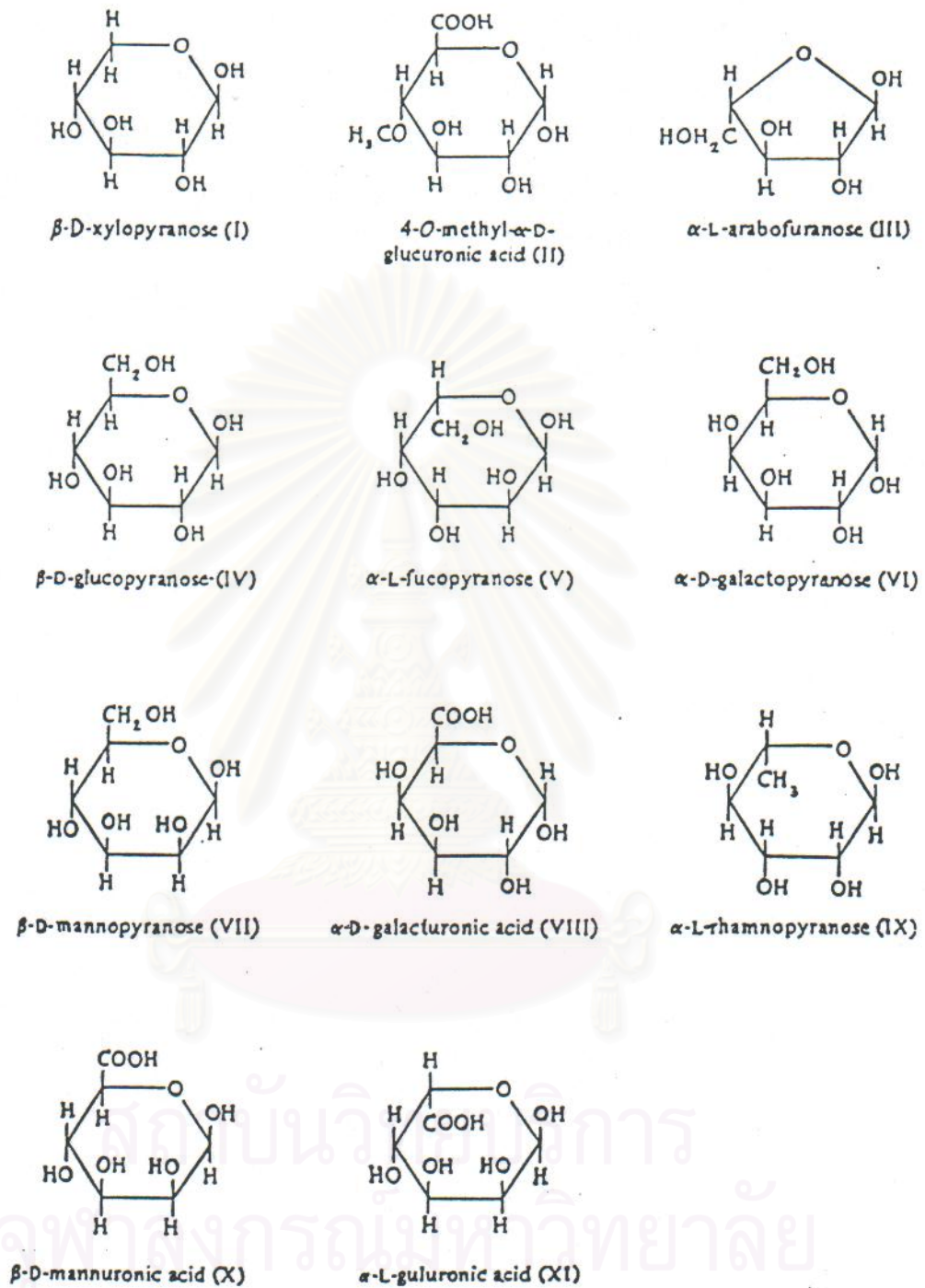
กำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาว ซึ่งมีหลายแบบได้แก่ ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane) กัวอะซิล ยูนิต (Guaiacyl Unit) ไชริงกิล ยูนิต (Syringyl Unit) พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต (Para-Hydroxyphenyl Unit) ดังรูปที่ 2.4 โดยลักษณะการจับของฟีนิลโพรเพน อาจเชื่อมกันที่ตำแหน่งแอลฟา เบต้าหรือแกมมา กับหน่วยอื่นหรือที่ตำแหน่ง 4 และ 5 ของวงแหวนฟีนิล ได้รูปร่างเป็นเส้นตรง วงกลม หรือมีกิ่งก้านสาขาก็ได้



รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน (ปราชญ์, 2537)

### 2.4.1.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพวก Amorphous Polymeric Carbohydrate พบมากในพวกไม้เนื้อแข็งและพืชตระกูลหญ้า ละลายในสารละลายที่เป็นด่างเจือจาง ปกติจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินและเพคติน (Pectin) ในผนังเซลล์ของพืช น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30-50 หน่วย โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสมีลักษณะเป็น Heteroglycan ซึ่งมีกิ่งก้านสาขาแตกต่างจากเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดมาต่อกัน เช่น  $\beta$ -D-xylopyranose,  $\alpha$ -L-arabofuranose,  $\beta$ -D-glucopyranose,  $\alpha$ -D-galactopyranose,  $\beta$ -D-mannopyranose และ  $\alpha$ -L-fucopyranose ซึ่งน้ำตาลทั้งหมดจะมีลักษณะเป็นแบบไพราโนส (Pyranose Form) ยกเว้น Arabofuranose ที่มีลักษณะเป็นแบบฟูราโนส (Furanose Form) (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 แสดงน้ำตาลเพนโตส เฮกโตส และกรดยูโรนิก ที่เป็นองค์ประกอบ  
ของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : Goodwin และ Mercer, 1983

## 2.4.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รายละเอียดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีข้อมูลและมีรายละเอียด ดังนี้

### 2.4.2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (Cassava) เป็นพืชทางเศรษฐกิจการเกษตรชนิดหนึ่ง ให้หัวมันเป็นผลผลิตหลักมีประโยชน์ให้สำหรับบริโภคเป็นอาหาร เพื่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่ม มีความสูงประมาณ 1-5 เมตร มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. อยู่ในวงศ์ยูฟอเบียซี (Family Euphorbiaceae) ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ละหุ่ง (*Ricinus communis*) และพรรณไม้ป่าอีกหลายชนิดด้วยกัน เช่น ไม้กระดาก ไม้มะไฟ ไม้เต็งหนาม เป็นต้น

ลำต้นมันสำปะหลังแม้ว่ามีขนาดเล็ก แต่มีคุณสมบัติทางเคมี พิสิกส์ และลักษณะโครงสร้างภายในที่คล้ายคลึงกับเนื้อไม้ของไม้ยืนต้นทั่ว ๆ ไป เซลล์ไฟเบอร์มีขนาดกว้าง 0.025 มม. และยาว 0.92 มม. ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าเซลล์ไฟเบอร์ของไม้สักและไม้กระยาเลยเล็กน้อย ส่วนประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ส่วนใหญ่มีความคล้ายคลึงกับส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ยืนต้นทั่ว ๆ ไป ยกเว้นมีสารแทรก (Extractive) พวกแป้ง น้ำตาลและน้ำยาง (Gum) มีเซลลูโลส 53% Alcohol-benzene solubility 6.6%, Lignin (ash corrected) 17.1%, Alpha-cellulose Beta-cellulose 28.2% และ Gamma-cellulose 15.9%

ต้นมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตร พบว่ามีมากเป็นปริมาณที่สูงถึง 10.54 ล้านตันในปี 2544 เศษเหลือจำนวนนี้หากสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้เพียง 50% หรือประมาณ 5 ล้านตันเศษ ในรูปวัสดุแผ่นเรียบ แผ่นไม้อัด หรือการนำมาทำเรซินในการกำจัดสีในน้ำเสีย น่าจะเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์

### ประเภทของมันสำปะหลัง

นักวิชาการเกษตรนิยมแบ่งมันสำปะหลังออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ด้วยกันโดยพิจารณาจากปริมาณของกรดพรัลสิก (Pluric acid) ที่ปรากฏในหัวมันดังต่อไปนี้

1. พวกที่มีรสขมหรือมีพิษ เป็นพวกที่มีกรดพรัลสิกเป็นปริมาณที่สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อหัวมันดิบ 1 กิโลกรัม ได้แก่พันธุ์มานิฮอต อูตีสสิสมา พวกนี้ให้หัวโตและให้ผลผลิตมาก นิยมปลูกใช้ทำแป้งมันสำปะหลัง



2. **พวกที่มีรสหวาน หรือพวกไร้พิษ** เป็นพวกที่กรดพรัลสิก เป็นปริมาณต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม ต่อหัวมันดิบจำนวน 1 กิโลกรัม ได้แก่ พันธุ์มานิไฮ้ต พาสมาต้า และมานิไฮ้ต ดุลคิส ในลำปะหลังพวกนี้มักมีหัวเล็ก และให้หัวน้อย ได้แก่พวกที่นำมาใช้บริโภค เช่น ทำมันลำปะหลังเชื่อม

**ภาคที่มีการปลูกสับปะรดมาและปลูกเป็นอาชีพ** คือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก

ภาคกลาง ; กาญจนบุรี ลพบุรี อ่างทอง ฯลฯ

ภาคตะวันออก ; จังหวัดชลบุรี ระยอง ฯลฯ



รูปที่ 2.6 ลักษณะต้นมันลำปะหลัง

#### 2.4.2.2 ไบส์บะรด

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศที่สำคัญชนิดหนึ่ง สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทย คือพันธุ์ *Anan (L) Merr* มีอายุตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บผลได้ระหว่าง 14-18 เดือน มีใบประมาณ 35 เมื่อผลสุกจะเหลือใบเพียง 25-30 ใบ ไบส์บะรดมีลักษณะเหมือนใบหอก โดยกว้างประมาณ 3-6 ซม. ค่อย ๆ ยาวเรียวแหลมออกไป แต่ละใบยาวประมาณ 90-150 ซม. มีความหนาประมาณ 0.3-0.5 ซม. เนื้อเยื่อของไบส์บะรดสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มาก ทำให้ต้านทานต่อความแห้งแล้ง ได้นานหลายเดือน และสามารถบังคับสับปะรดให้สุกหมุนเวียนกันตลอดปีด้วยการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ( $\text{CaC}_2$ ) การปลูกครั้งหนึ่งจะให้ผลถึง 3 ครั้ง ต้นสับปะรด

เมื่อให้ผลแล้ว ใบจะยังคงสภาพดีอยู่ประมาณต้นละ 10-15 ใบ การตัดคราดใบทิ้งของเกษตรกร จะกองไว้ในแปลงปลูก ทำให้เกิดการหมักเน่ากลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงระบาดไปทั่วแปลงปลูก เป็นเหตุให้เกษตรกรต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการฆ่าเชื้อราและแบคทีเรีย ดังนั้นหากนำใบสับปะรดไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรม และการนำมาทำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อกำจัดสีในน้ำเสีย นอกจากจะเป็นการเพิ่มประโยชน์ให้แก่เกษตรกรแล้วยังขจัดปัญหาใบเน่าทิ้งเสียหาย ตามแปลงปลูกอีกด้วย

ในปัจจุบันได้มีการนำใบสับปะรดมาทำเยื่อกระดาษ พบว่าปริมาณของใบสับปะรดแห้งต่อไร่ปี มีน้ำหนัก 500 กก. และปริมาณเส้นใยที่แยกได้จากใบสับปะรดมีปริมาณ ร้อยละ 18.5 ของน้ำหนักใบแห้ง ส่วนประกอบทางเคมีของใบสับปะรด มีเซลลูโลส 39.2% Alcohol benzene solubility 14.3%, Lignin (ash corrected) 25.6%, Alpha-cellulose Beta-cellulose 7.5% และ Gamma-cellulose 0.1%

**ภาคที่มีการปลูกสับปะรดมาและปลูกเป็นอาชีพ** คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก

ภาคใต้ : จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นครศรีธรรมราช ฯลฯ

ภาคตะวันออก : จังหวัดชลบุรี ระยอง ฯลฯ



รูปที่ 2.7 ลักษณะของใบสับปะรด



### 2.4.2.3 กาบมะพร้าว

**มะพร้าว** (Coconut = โคโคนนัท) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35% ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้งอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวชุดแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว

2. ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

มะพร้าวสามารถขึ้นได้ในทุกจังหวัดทั่วประเทศ แต่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยคือ (pH ระหว่าง 6-7) ลักษณะดินร่วน หรือร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี มีฝนตกกระจายสม่ำเสมอแทบทุกเดือน อากาศอบอุ่น หรือค่อนข้างร้อน และมีแสงแดดมากผลผลิตมะพร้าวแต่ละปีจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่าปีละ 2,700 ล้านบาท คิดแล้วมูลค่ามหาศาล ในกาบมะพร้าวมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ คือ เซลลูโลส 47.5% Alcohol-benzene solubility 3.8%, Lignin (ash corrected) 22.6%, Alpha-cellulose Beta-cellulose 4.6% และ Gamma-cellulose 14.0%

**ภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมากและปลูกเป็นอาชีพ** ภาคใต้, ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก

ภาคใต้ : จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นครศรีธรรมราช ฯลฯ

ภาคตะวันออก : จังหวัดชลบุรี ระยอง ฯลฯ ภาคตะวันออก

ภาคตะวันตก : จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม ฯลฯ

## 2.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

### 2.5.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งที่มีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของเหลว และตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน มี 2 ประการซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

1. การกำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น นอกจากนี้ ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ
2. ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลาย จะหลุดออกมากับสารละลายรีเจนเนอเรนต์ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชั่น เนื่องจากปริมาตรของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาตรสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงกว่ามาก ดังนั้นจึงเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่า

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรมบางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำทิ้งนั้น กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้กันมากในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ และการกำจัดแอมโมเนีย

### 2.5.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 วิธี คือ

#### 1. การทำงานแบบแบตช์ (Batch Operation)

เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ง่ายที่สุด น้ำทิ้งจะกวนผสมกับเรซินในถังปฏิกรณ์ จากนั้นจึงแยกเรซินโดยการกรอง หรือตกตะกอน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุลย์ (Equilibrium Constant) ของระบบการแลกเปลี่ยนไอออน

#### 2. การทำงานแบบคอลัมน์ (Column Process)

ใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและสภาวะที่เหมาะสม ขนาดคอลัมน์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความสูงอยู่ในช่วง 1:10-1:20

### 3. การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)

คือการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุอยู่ในถังและปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่อง ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อใช้งานไปนานๆ เรซินจะหมดประสิทธิภาพ (Exhausted Resin) จะต้องฟื้นฟูประสิทธิภาพโดยใช้สารละลายกรดหรือด่างแล้วแต่ชนิดเรซิน

#### 2.5.3 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะมีโครงร่างคล้ายตาข่ายสามมิติโดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนตาข่าย เรียกว่า Matrix ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของตาข่าย เรียกว่า Function Group ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน โครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏ และรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากและชนิดเดียวกันต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับการประสานโครงร่าง (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมากโครงสร้างของเรซินจะแข็งและทึบ ถ้าปริมาณของตัวประสานน้อยโครงสร้างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง

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

การบวมหรือการพองน้ำของเรซิน (Swelling) เรซินที่ทำจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความสามารถดูดน้ำหรือของเหลวรอบตัวมันได้ และทำให้เรซินขยายตัวหรือบวมขึ้น การบวมของเรซินเกิดจากการไฮเดรชัน (Hydration) ของหมู่ไอออนที่ยึดติดกับโครงร่าง และไอออนอิสระ และเกิดจากความดันออสโมติก (Osmotic Pressure) การไฮเดรชันของไอออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันโดยไอออนที่มีขนาดเล็ก (เมื่อแห้ง) จะมีขนาดใหญ่เมื่อเกิดไฮเดรชัน ถ้าเรซินบรรจุไอออนที่มีขนาดใหญ่ (ขณะไฮเดรชัน) ก็จะทำให้เกิดการบวมสูง เช่นเดียวกับเรซินที่อยู่ในสารละลายเจือจางเรซินจะบวมตัวเพื่อพยายามลดความเข้มข้นภายในเพื่อให้สมดุลกับภายนอก ในทางกลับกันเรซินจะหดตัวเมื่อสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า เช่นในขณะการทำรีเจนเนอเรชัน แต่การบวมตัว

ของเรซินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของสารละลาย ระดับการประสานโครงร่าง เรซินที่มีระดับการประสานโครงร่างต่ำๆ จะทำให้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตรจึงมีค่าลดหรือเพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของระดับการประสานโครงร่าง

หมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าส่วนโครงสร้าง Matrix มีประจุลบประจำตัว หมู่ไอออนจะมีประจุบวก เรียกว่า Cation Exchanger คือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้าโครงสร้าง Matrix มีประจุบวกประจำตัว หมู่ไอออนจะมีประจุลบคือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ เรียกว่า Anion Exchanger

เรซินสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน จึงมีโครงสร้างเป็นสารพวก Polystyrene ที่รวมตัวอยู่กับ Divinylbenzene โดย หมู่ไอออนของ Cation Exchanger จะเป็นพวก Sulfonic, Carboxylic หรือ Phosphonic ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange) จะเป็นพวกที่มีหมู่ไอออนเป็นพวก Quaternary Ammonium, Primary Amine, Secondary Amine

#### 2.5.4 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด คือ เรซินแบบกรดแก่ เรซินแบบกรดอ่อน เรซินแบบด่างแก่ และเรซินแบบด่างอ่อน (มันลิน ตันจูลเวศม์, 2532)

##### 1) เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Resin)

มีหมู่ซัลโฟนิค ( $\text{SO}_3^-$ ) เป็นหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$  เป็นไอออนอิสระ หน้าที่ของเรซินแบบกรดแก่ จะใช้ไอออนบวกของตัวเองแลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก

##### เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้น้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. การรั่วของไอออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น  $\text{Ca}^{2+}$  เกิดขึ้นน้อย
3. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว
4. เรซินมีความคงตัว และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100-120 องศาเซลเซียส และอาจใช้ได้ยาวนานถึง 20 ปีหรือมากกว่า โดยมีการสูญเสียความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

5. เหมาะสำหรับการกำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ (Demineralization)

#### เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำ ประมาณ 25-45% ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชัน
2. เรซินถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสานโครงร่างต่ำ

#### 2) 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. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของ  $\text{H}^+$  เพราะเรซินมีความชอบ (Affinity) สูง
2. ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป  $\text{H}^+$  สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องเติมกรด

#### เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ในสภาวะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูงเท่านั้น
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting) แต่แยกเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น  $\text{NaHCO}_3$
3. การเปลี่ยนรูป  $\text{H}^+$  ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบถึง 2 เท่า

#### 3) เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Resin)

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

#### เรซินแบบด่างแก่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Type 1 มีค่าความเป็นด่างและความคงทนสูง มีความสามารถในการจับซิลิกาได้ดี
2. Type 2 มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและประสิทธิภาพการทำรีเจนเนอเรชันสูง

#### เรซินแบบด่างแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินมีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว



### เรซินแบบต่างแถมมีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำเพียง 18-33% ทำให้สิ้นเปลืองสารรีเจนเนอเรนต์
2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. ในกรณีที่น้ำเสียมีกรดฮิวมิคจากการเน่าเปื่อยของพืช สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้
4. เรซินเปลี่ยนเป็นต่างอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

#### 4) เรซินแบบต่างอ่อน (Weak Basic Resin)

เรซินแบบต่างอ่อนมีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินแบบนี้จะต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากกลไกการทำงานเป็นลักษณะ Adsorption ไม่ใช่การแลกเปลี่ยนประจุ เรซินชนิดนี้จะกำจัดได้เฉพาะกรดแก่ 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  $\text{SO}_4^{2-}$

### เรซินแบบต่างอ่อนมีข้อดี คือ

1. ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบ 100% ทำให้เปลืองสารเคมีน้อย
2. สารรีเจนเนอเรนต์อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
3. สามารถทนต่อกรดฮิวมิคได้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูง

เรซินแบบต่างอ่อนมีข้อเสีย คือ ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้นและมีอัตราในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ

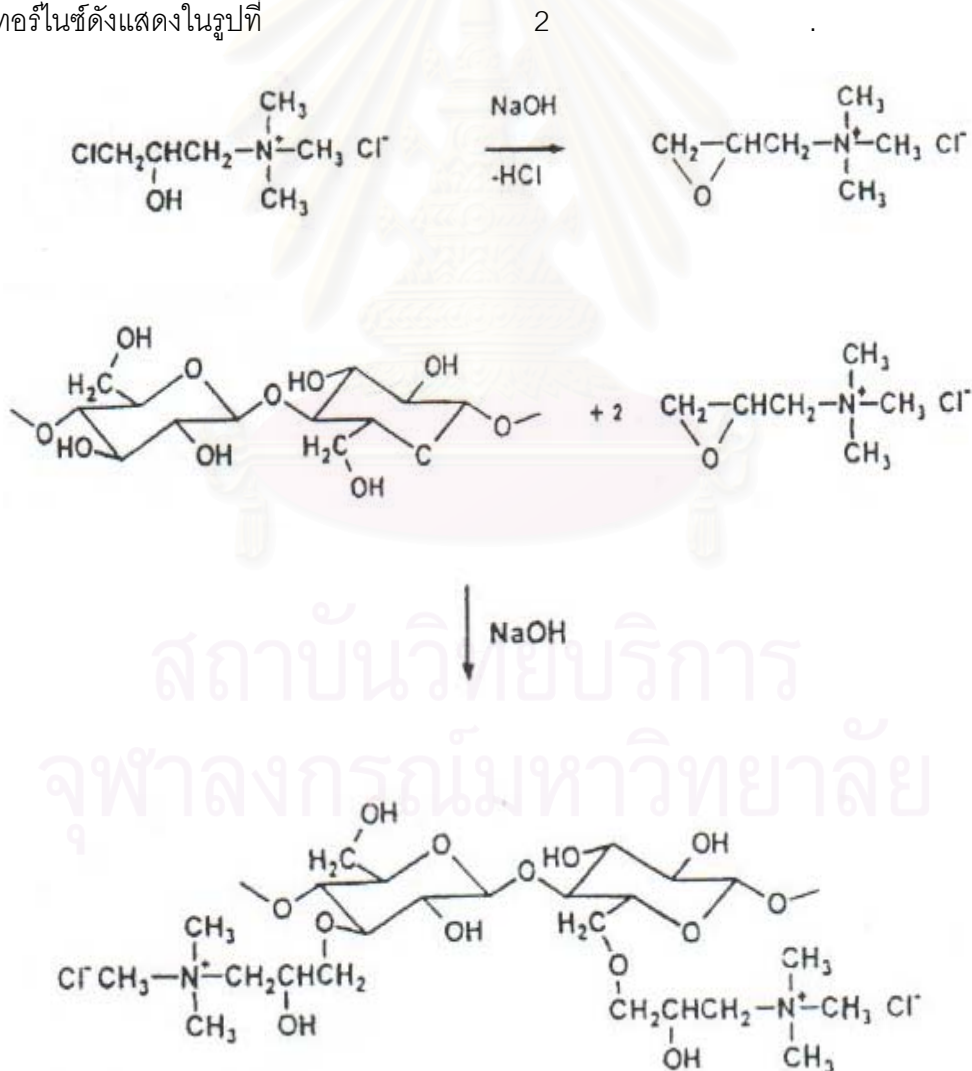
## 2.6 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์เซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่ต่างจากกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็น Hydrophilic แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็น Hydrophobic เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์



การยึดเกาะกันของโครงตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่าย

การทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสเป็นการสังเคราะห์สารเซลลูโลสแตกเปลี่ยนไฮดรอกซิลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีหนึ่ง ขั้นตอนการทำขั้นแรกคือการทำควอร์เทอร์ไนซ์(Quaternizing) โดยใช้สารนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethylammonium Chloride; CHMAC ) เพื่อไปจับกับเซลลูโลส กลายเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ จากนั้นคือขั้นตอนการทำโครอสส์ลิงค์ (Crosslinking) เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึดโครงสร้างของเรซินได้ดีขึ้น โดยใช้สารอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วทำให้อยู่ในรูปของคลอไรด์โดยกรดไฮโดรคลอริก ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ได้จะเป็นเรซินแบบต่างแก่ (Laszlo,1996) ซึ่งจะใช้ไฮดรอกซิลของต้นแตกกับไฮดรอกซิลในน้ำที่ต้องการกำจัดออก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทำควอร์เทอร์ไนซ์ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการทำควอร์เทอร์ไนซ์ (Shi, 1999)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้ น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรม บางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำเสีย นั้นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และ ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

เรซินเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชัน สำหรับเรซินที่อยู่ในรูปของ  $\text{Na}^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง ( $\text{NaCl}$ ) ซึ่งมี  $\text{Na}^+$  อยู่เป็นจำนวนมาก เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้ อีก สมการเคมีเขียนดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมาก เพื่อให้สมดุลกับปฏิกิริยา กลับทิศทาง

## 2.7 สมดุลย์และไอโซเทอมของการดูดซับ

### (Equilibrium Adsorption and Adsorption Isotherms)

การดูดซับ เกิดจากตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกจากสารละลาย และก่อให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้าของของแข็ง ในเวลานั้นจะเป็นสภาวะสมดุลย์พลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง ที่สภาวะสมดุลย์ของตัวดูดซับ จะมีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงได้ด้วยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้น หรือปริมาณ หรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้เทียบกับความดันย่อย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับนั้นที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า กราฟการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Adsorption Isotherms) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมกันมากที่สุด ซึ่งกราฟนี้อธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกละลายระหว่างเฟสของของเหลวและของแข็ง อัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลย์ และจะเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของตัวทำละลาย คุณสมบัติของตัวถูกละลาย หรือความเข้มข้นและสมบัติของตัวถูกละลาย เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ของจำนวนตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของของแข็ง กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุลย์ การแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเปลี่ยนไปที่

คุณหมึกนี้ โดยทั่วไปจำนวนของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารที่ดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง

### 2.7.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Isotherm) มีสมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์คือ

1. โมเลกุลดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นที่ผิวของสารดูดซับ
2. มีโมเลกุลเดียวในบริเวณดูดซับ
3. พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับแสดงดังสมการ

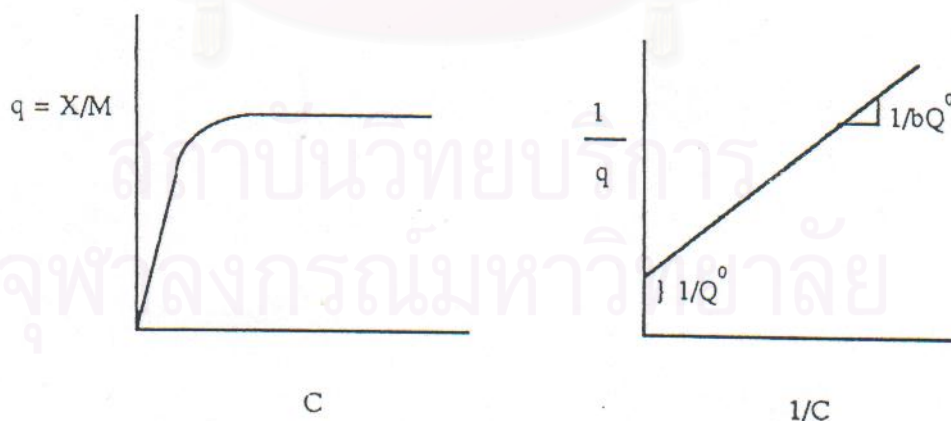
$$C_e/Q_e = 1/K_L + (a_L/K_L)C_e$$

$a_L$  คือ ค่าคงตัวที่ Langmuir Isotherm (ลิตร.มิลลิกรัม)

$K_L$  คือ ค่าคงที่ Langmuir Isotherm (ลิตร/กรัม)

$C_e$  คือ ค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุลในของเหลว (มิลลิกรัม/ลิตร)

$Q_e$  คือ ความเข้มข้นที่จุดสมดุลในของแข็ง (มิลลิกรัม/ลิตร)



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์ (ชลธา และคณะ, 2538)

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์แบบเส้นตรง (ชลธา และคณะ, 2538)

## 2.7.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ริช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการของฟรอนด์ริช และกราฟจะมีลักษณะเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล ซึ่งสมการมีดังนี้

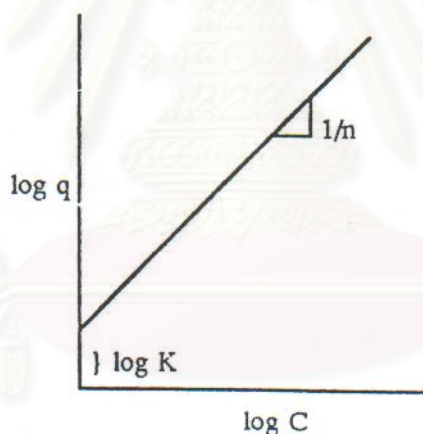
$$q = X/M = KC^{1/n}$$

$$\text{หรือ } \log q = \log K + (1/n_1) * \log C$$

โดย  $K$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

$1/n_1$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

เมื่อวาดรูปตามสมการของฟรอนด์ริช ค่าคงที่ต่างๆ ( $K$  และ  $n_1$ ) คำนวณหาได้จากการวาดรูประหว่าง  $\log q$  กับ  $\log C$  ค่า  $n_1$  จะใช้เป็นตัวบอกความสามารถในการดูดซับที่ดี และความจุของตัวดูดซับ ถ้าค่า  $n_1$  มากกว่า 1 หมายความว่า ตัวดูดซับที่ใช้สามารถดูดซับตัวถูกละลายได้ดี และถ้าค่า  $n_1$  มากกว่า 1 แต่น้อยกว่า 10 การดูดซับนั้นสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ริช (ชลธา และคณะ, 2538)

สมการนี้จะใช้ได้ดีในสารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลาง ในการพิจารณาเลือกตัวดูดซับชนิดใดมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่ากันสามารถพิจารณาจากค่าไอโซเทอมได้

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในการกำจัดสี เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากประเทศเหล่านี้มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ มากโดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีกากผลผลิตเหล่านี้เป็นจำนวนมาก จึงน่าจะมีการนำมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

**Poots และคณะ, 1976** ศึกษาการกำจัดสีย้อมแอสิดโดยใช้ไม้และพีทที่ล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปอบแห้งที่  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นตัวดูดซับสี ผลการศึกษาพบว่า ไม้และ พีทสามารถกำจัดสีย้อมแอสิดได้เป็นอย่างดี โดยพีทมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าไม้ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดสามารถใช้แทนถ่านกัมมันต์ได้ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาและกระตุ้นเหมือนถ่านกัมมันต์ เพียงอบให้แห้งก็นำไปใช้งานได้ แต่ไม้และพีท จะใช้เวลาสัมผัสดีก่อนเข้าถึงจุดสมมูลนานพอสมควร โดยพีทจะใช้เวลาสัมผัสดีประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนไม้จะใช้เวลาสัมผัสดูถึง 6 ชั่วโมง จึงจะเข้าสู่สมดุล

**Asfour และคณะ, 1985** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิคโดยใช้ซีลีออยไม้เนื้อแข็งที่มีความชื้นร้อยละ 13 เป็นตัวดูดซับสี ทำการทดลองแบบแบตช์โดยใช้สารละลายสี Astrazone Blue (Basic Blue FRR69) ศึกษาผลของการกวน ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี ขนาดของอนุภาคซีลีออย และ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสี ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการกำจัดสี จะแปรผันตรงกับความเร็วยกในกวน ความเข้มข้นสีเริ่มต้น และอุณหภูมิ และจะแปรผกผันกับขนาดอนุภาค โดยความสามารถในการกำจัดสีของซีลีออยไม้เนื้อแข็งในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 200 มก./ลบ.ตม. สูงถึงร้อยละ 85 ที่เวลาสัมผัส 100 นาที อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ซีลีออยไม้เนื้อแข็งที่มีขนาด 250-500 นาโนเมตร นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อระยะเวลาสัมผัส โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก  $25^{\circ}\text{C}$  เป็น  $80^{\circ}\text{C}$  จะสามารถลดระยะเวลาสัมผัสได้ถึงร้อยละ 44.4

**McKay และคณะ, 1987(1)** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิคและสีย้อมแอสิด อย่างละ 2 โทนสีคือ สีน้ำเงิน และสีแดง โดยใช้ชานอ้อยเป็นตัวดูดซับสี และศึกษาผลของอุณหภูมิสีย้อม และขนาดอนุภาคของชานอ้อย ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับสี โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อยมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิคได้สูงสุด เท่ากับ 158 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อย สำหรับสี Basic Blue 69 และ 77 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อย สำหรับสี Basic



Red 22 แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอสิดได้ดีกว่า คือเท่ากับ 23 มิลลิกรัมสีต่อกรัมขาน้อย สำหรับสี Acid Red 114 และ 22 มิลลิกรัมสีย้อมต่อกรัมขาน้อย สำหรับสี Acid Blue 25 ส่วน การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น พบว่า เป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของไอออนขนาดใหญ่ในสีย้อม ทำให้ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงขึ้น

**McKay และคณะ, 1987(2)** ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้สารดูดติดผิวราคาถูก 6 ชนิด คือ เปลือกไม้สัก แกลบ เศษฝ้าย ถ่าน เส้นผม และเบนโทไนท์ โดยใช้สีย้อมเบสิค แอสิด ไตรเรทท์ และดิสเพอร์ส อย่างละ 2 โทนสีคือ สีแดง และสีน้ำเงิน ผลการทดลองพบว่า เบนโทไนท์ สามารถดูดซับสีได้มากกว่าร้อยละ 80 ทุกสีย้อมยกเว้นสีย้อมแอสิด โดยเบนโทไนท์จะเกิดพันธะที่ แข็งแรงในการดูดติดสีย้อม ทำให้การรีเจนเนอเรตเป็นไปได้ยาก ส่วนแกลบ เปลือกไม้สัก เศษฝ้าย และเส้นผม สามารถดูดติดผิวได้กับสีย้อมเบสิคเท่านั้น

**El Geundi, 1991** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิค 2 สี คือ Astrazon Blue และ Maxilon Red และสีย้อมแอสิด 2 สีคือ Telon Blue และ Erionyl Red โดยใช้ซังข้าวโพดป่น ทำการทดลอง โดยแปรค่าความเร็วในการกวน ขนาดอนุภาคและปริมาณของซังข้าวโพดป่น ผลการทดลองพบว่า ซังข้าวโพดป่นสามารถดูดซับสีย้อมเบสิคได้ดีคือเท่ากับ 160 และ 94.5 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Astrazon Blue และ Maxilon Red ตามลำดับ แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอสิดได้ดีกว่า คือเท่ากับ 47.7 และ 41.4 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Erionyl Red และ Telon Blue ตามลำดับ การเพิ่มความเร็ว ในการกวนและปริมาณของวัสดุ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดผิว และการลดขนาดซังข้าว โพดป่นจะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดผิว โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัด สีย้อมเบสิคสูงกว่าสีย้อม แอสิด เนื่องจาก ซังข้าวโพดมีเซลลูโลสประกอบเป็นโครงสร้าง และเมื่อเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำจะให้ ประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถดูดติดผิวกับสีย้อมประจุบวกได้

**Li และ Zhao, 1991** ศึกษาทดลองเดินระบบกำจัดสีด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย ซึ่งใช้หลักการ กรองติดผิวโดยสร้างเป็นชั้นกรองของเถ้า พบว่าให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรง งานฟอกย้อมสูง และได้แนะนำให้ใช้ระบบดังกล่าวแทนระบบชีวภาพและอิล็คโตรไลซิส สำหรับ โรงงานที่มีเถ้าเพียงพอลอยู่แล้ว หรือใช้ร่วมกันในกรณีที่ทำเถ้าได้ไม่พอ เพราะจะประหยัดค่าใช้จ่าย ในการก่อสร้างระบบ และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้มากกว่าการเลือกใช้แต่เฉพาะระบบชีวภาพ และอิล็คโตรไลซิส

**Nassar และ El-Geundi, 1991** ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอก ย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวดูดซับคือ ดินเหนียว ขาน้อย และซัง



ข้าวโพด เปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Telon Blue ANL (สีแอสติก;  $\lambda_{\max} = 600$  นาโนเมตร), Maxilon Red BL-N (สีเบสิก;  $\lambda_{\max} = 538$  นาโนเมตร) และ Astrazon Blue FRR (สีเบสิก;  $\lambda_{\max} = 585$  นาโนเมตร) ทำการทดลองแบบแบตช์โดยใช้ตัวดูดซับที่มีปริมาณเท่ากัน แล้วแปรค่าความเข้มข้นสารละลายสี ที่อุณหภูมิห้อง (23-27°C) ผลการทดลองพบว่า ผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีย้อมทุกชนิดได้ดีที่สุดแต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายของวัสดุแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์ ที่มีความสามารถในการดูดซับสีได้เท่ากัน พบว่าดินเหนียวและซังข้าวโพด มีค่าใช้จ่ายในการดูดซับสีเบสิกและสีแอสติกต่ำที่สุด (ตารางที่ 2.5)

**ตารางที่ 2.5 แสดงค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์ (Nassar และ El-Geundi, 1991)**

สารละลายสี	ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบเมื่อใช้กำจัดสี 1 กิโลกรัม			
	ผงถ่านกัมมันต์	ดินเหนียว	ซังข้าวโพด	ชานอ้อย
Maxilon Red	1.000	0.024	0.083	0.103
Astrazon Blue	1.000	0.017	0.039	0.041
Telon Blue	1.000	0.030	0.029	0.052

Laszlo และ Dintzis, 1994 ทำการวิจัยปรับปรุงเสถียรภาพทางกายภาพ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเปลือกถั่วเหลือง และชานอ้อย ด้วยการสร้างครอสส์ลิงก์โดยใช้ อีพิกลอโรไฮดรินและเบส ทดสอบเสถียรภาพของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมี 3 วิธี คือ อ NDF Treatment (Natural Detergent Fiber Treatment) Soxhlet Treatment และ Sodiumborate buffer Treatment พบว่า เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการสร้างครอสส์ลิงค์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ในขณะที่เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อย ที่ผ่านการสร้างครอสส์ลิงค์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงน้อยมาก (ไม่เกิน 1%) เมื่อทดสอบด้วยวิธี NDF และ Soxhlet ไม่เกิน 20% และ 30% ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Sodiumborate buffer พบว่าเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ผ่านการบำบัดด้วยอีพิกลอโรไฮดรินจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.9 มิลลิอิควิวาเลนต์/กรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 1.3 มิลลิอิควิวาเลนต์/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

Laszlo, 1995 ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ละลายน้ำโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์เซลลูโลส ผลการทดลองพบว่าควอร์เทอร์ไนซ์เซลลูโลสสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟที่ละลายน้ำได้ แม้ในสภาพที่มีสารอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นสูง และยัง

พบว่าควอร์เทอร์ไนซ์เซลลูโลสสามารถทำการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ด้วยต่างกันได้ ซึ่งประหยัดกว่าการใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนแบบอื่นในการกำจัดสีจากน้ำทิ้ง

**Low, Lee และ Wong, 1995** ศึกษาผลของการปรับสภาพกามมะพร้าวด้วยสีย้อมที่มีต่อความสามารถในการดูดซับทองแดง โดยทำการทดลองกับสี 3 ตัว คือ Reactive Yellow 2, Acid Blue 25 และ Acid Blue 29 จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดซับทองแดงของกามมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่า 11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกามมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยสี Acid Blue 25 และ Acid Blue 29 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เมื่อความเข้มข้นของทองแดงที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงของกามมะพร้าวทั้งที่ไม่ได้ปรับสภาพ และกามมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยสีทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าลดลง

**Laszlo, 1996** ทำการวิจัยโดยใช้ชานอ้อยกำจัดสีในน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม การกำจัดสีและการปรับปรุงคุณภาพ โดยนำชานอ้อยที่ผ่านการควอร์เทอร์ไนซ์และครอสลิงก์ ด้วย CHMAC และอีพิคลอโรไฮดริน เป็นเรซินที่ใช้ในการกำจัดสีเปรียบเทียบกับ Delinified Bagasse Resin และ Quarternary ammonium Cellulose (QA52) สีที่ใช้ในการวิจัยคือ Remazol Brilliant Red (F3B) ทำการทดลองแบบแบตช์ จากการศึกษาพบว่าชานอ้อยที่ผ่านการควอร์เทอร์ไนซ์และครอสลิงก์ มีความสามารถในการกำจัดสีในสภาวะที่เป็นเบสดีกว่า QA52 และ Delinified Bagasse ดังนั้นในสารละลายที่มีความเป็นเบสมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีของชานอ้อยที่ผ่านการควอร์เทอร์ไนซ์และครอสลิงก์ลดลงจาก 80% เป็น 25% ส่วน QA52 และ Delinified Bagasse Resin มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงจาก 70% เป็น 10% และ 85% เป็น 5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เรซินที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ดีที่สุด คือ กำจัดได้ 95% ภายในเวลา 5-15 นาที ควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

**Sun และ Xu, 1997** ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีของก้านดอกทานตะวัน โดยใช้สีเบสิก 2 สี คือ Methylene Blue และ Basic Red 9 และ สีไดเรกต์ 2 สี คือ Direct Blue และ Congo Red ทำการทดลองโดยแปรค่าความเข้มข้นของสี ขนาดอนุภาคของวัสดุ และ ส่วนต่างๆ ของก้านดอกทานตะวัน จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดซับสีเบสิกทั้ง 2 สีสูงมากคือเท่ากับ 205 และ 317 มิลลิกรัม/กรัม ของสี Methylene Blue และ Basic Red 9 ต่อวัสดุ ตามลำดับ สำหรับสีไดเรกต์มีความสามารถในการดูดซับสีเท่ากับ 26.8 และ 37.8 มิลลิกรัม/กรัม ของสี Direct Blue และ Congo Red ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับสีของส่วนต่างๆ ของก้านดอกทานตะวันจะแตกต่างกันคือ ที่แก่นของก้านซึ่งเป็นส่วนที่นุ่ม และมีรูพรุน จะมีความสามารถ

ในการดูดซับสีเป็น 2 เท่าของเปลือก และขนาดอนุภาคของวัสดุมีผลต่อการดูดซับสีด้วย โดยอนุภาคขนาดเล็กจะมีความสามารถในการดูดซับสีมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ โดยสรุป อัตราการดูดซับสีเบสิกทั้ง 2 ชนิดจะมากกว่าสีไดเรกท์ คือ ภายในเวลา 30 นาที สีเบสิกถูกกำจัดได้ 80% และอัตราการดูดซับสีย้อมที่มีคุณสมบัติเป็นแคทไอออนจะสูงกว่าแอนไอออน

**Shi และคณะ, 1999** ได้นำกากดอกทานตะวันมาพัฒนาความสามารถในการดูดซับสี โดยปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยหมู่ quaternary ammonium ถูกทำปฏิกิริยาทางเคมีให้ยึดติดกับกากดอกทานตะวันเพื่อให้สามารถดูดซับสีประจุลบในน้ำเสีย ทำการทดลองกับสารละลายสี 2 ชนิด คือ สีเบสิก (ประจุบวก) 2 สี ได้แก่ Methylene Blue และ Basic Red 9 และ สีไดเรกท์ (ประจุลบ) 2 สี ได้แก่ Congo Red และ Direct Blue 71 แล้วใช้สมดุลไอโซเทอร์ม (Equilibrium Isoterm) และไคเนติกแอดซอร์พชัน (Kinetic Adsorption) ในการหาค่าการดูดซับสี ซึ่งก่อนทำการปรับสภาพ กากดอกทานตะวันมีความสามารถในการดูดซับสีไดเรกท์ต่ำแต่ดูดซับสีได้ดีกับสีเบสิก ซึ่งหลังการปรับสภาพกากดอกทานตะวันแล้วพบว่ามีความสามารถในการดูดซับสีประจุลบสูงขึ้นแต่จะทำการดูดซับสีประจุบวกลดลง

**Valencia และ คณะ, 1999** ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิก และสีย้อมรีแอคทีฟ อย่างละ 2 โทนสี คือสีน้ำเงินและสีแดง โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวดูดซับสี สีย้อมที่ใช้ได้แก่ สี Basic Blue 54 (BB54), Basic Red 46 (BR46), Reactive Blue 52 (RB52) และ Reactive Red 120 (RR120) ศึกษาผลของอุณหภูมิและพีเอช ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสี ผลการทดลองพบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าพีเอชคงที่เท่ากับ 5.0 ความสามารถในการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อให้อุณหภูมิคงที่ที่ 28°C ความสามารถในการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น โดยซังข้าวโพดสามารถดูดซับสีย้อมเบสิกได้ดีกว่าสีย้อมรีแอคทีฟ และดูดซับสีน้ำเงินได้ดีกว่าสีแดง

**Ahmedna และคณะ, 2000(1)** ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกถั่วพีแคน ที่สภาวะการเผากระตุ้นต่างๆ และทดสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์โดยการดูดซับสีของน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากชานอ้อย ที่ใช้น้ำเชื่อมที่ทำจากข้าวโพดเป็นสารปรุงแต่ง ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงสุดประมาณร้อยละ 17

**Ahmedna และคณะ, 2000(2)** ศึกษาลักษณะพื้นผิวและประสิทธิภาพการลดสีของน้ำตาลดิบจากโรงงานน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากชานอ้อยที่มีน้ำเชื่อมที่ทำจากข้าวโพด

และน้ำมันดินเป็นสารปรุงแต่ง ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการลดสีของน้ำตาลควรมีพื้นที่ผิวและมีสัดส่วนของรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่ที่เหมาะสม และมีประจุบริเวณพื้นผิวตรงข้ามกับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของคาร์บอนในการดูดซับสีของน้ำตาลจะลดลง เมื่อเพิ่มประจุลบที่ผิวคาร์บอน และประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มสูงสุด เมื่อคาร์บอนที่ใช้ไม่มีประจุลบ แสดงให้เห็นว่า น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล เป็นน้ำเสียที่มีประจุลบ

**ชลธา และคณะ, 2538** ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อย และศึกษาผลของความชื้นที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านให้ได้ถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นเท่ากับร้อยละ 54.4 ซึ่งจะให้ผลการดูดซับสีจากน้ำตาลได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.4

**สัญญาวัล, 2539** ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดสีโอดีและสีจากน้ำชะมูลฝอย ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้และแกลบ ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว ทำการทดลองแบบแบตช์ โดยทดสอบไอโซเทอมของการดูดติดผิว และทดลองศึกษาความสามารถในการดูดติดผิว ผลการทดลองพบว่า ถ่านไม้และถ่านแกลบ ไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวสีโอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมโดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดสีโอดีและสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78-97 และ 37-96 ตามลำดับ และที่ความสูงของถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15 ลบ.ม./ตร.ม.ชม. ความเข้มข้นสีโอดีเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร จะให้ความสามารถในการลดสีโอดี และสีสูงสุด

**วิภาดา และศรีประภา, 2540** ศึกษาการกำจัดสีไคเรกท์ ด้วยผงผักตบชวา โดยสีไคเรกท์ที่ใช้ ได้แก่ สี Sirius Red F3B, Sirius Red Violet RL, Sirius Blue S-BRR และ Sirius Orange K-CF โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่าผงผักตบชวาจะดูดซับสีไคเรกท์ทุกชนิดได้อย่างรวดเร็ว โดยจะใช้เวลาถึงจุดสมดุลน้อยกว่า 40 นาที และจะมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงประมาณร้อยละ 90 และสามารถบำบัดสีได้ดีในช่วงพีเอช 6-10 นอกจากนี้การฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของผักตบชวา สามารถทำได้ง่าย โดยแช่ในสารละลายเมธานอลร้อยละ 50 หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 11 แต่การฟื้นฟูสภาพนั้นไม่คุ้มค่า เนื่องจากผงผักตบชวามีราคาถูก และสามารถล้างสีออกมาได้น้อย จึงไม่เหมาะต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

**จิรภรณ์, 2542** ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ที่ผ่านการปรับเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์เซลลูโลส และที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ สีย้อมที่ใช้ได้แก่ สีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และสีรีแอคทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) ที่มีความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์ คือต่ำกว่าร้อยละ 4 และร้อยละ 95-99 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุทั้ง 3 ที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์ สูงกว่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมาก

**บุญยฤทธิ, 2543** ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์เซลลูโลสที่ทำจาก ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม การทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์นารีไนซ์และสารสร้างโครออสซิลิกซ์ และศึกษาลักษณะทางกายภาพ ค่าไอโซเทอมการดูดติดสี และโครงสร้างของวัสดุ โดยทำการทดลองกับสี 2 ชนิด คือสีไดเรกต์ และสีรีแอคทีฟ โดยวิธีจาร์เจสต์ ผลการทดลองพบว่า วัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอคทีฟต่ำกว่าวัสดุที่ปรับสภาพโดยการทำควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์ ความสามารถสูงสุดในการดูดติดผิวเฉลี่ยหาโดยใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ของ Q-R ซิงซ์ข้าวโพด Q-R เปลือกถั่วเหลือง และ Q-R ก้านดอกทานตะวันกับสีไดเรกต์มีค่าเฉลี่ย 697, 222 และ 268 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับสีรีแอคทีฟมีค่าเฉลี่ย 1,120, 661 และ 789 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

**นัฐพล และคณะ, 2544** ได้ศึกษานหาประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยใช้วัสดุชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์นารีไนซ์โครออสซิลิกซ์ เปรียบเทียบกับแอคติเวเตดคาร์บอน ใช้การกำจัดสีแบบแบตช์ และศึกษาไอโซเทอมของการดูดติดผิว ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุ โดยทำการเตรียมน้ำสีสังเคราะห์จากผงสีรีแอคทีฟ รีม่าโซล บริลเลียน บลู (RBB) และ นาวิ บลู 171 (Blue 171) ชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองจะทำการเตรียม 2 ขนาด คือ ขนาด 0.42-0.84 มม. (20-40 เมช) และขนาดเล็กกว่า 0.177 มม. (80 เมช) พบว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพ มีผิวที่หยาบและมีพื้นที่ผิว ปริมาณหมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกซิล อัลคิล และอัลคีน มากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ และผลการทดลองพบว่า ชานอ้อย และเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี RBB เป็นร้อยละ



91 และ 91 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสี Blue 171 เป็นร้อยละ 63 และ 79 ตามลำดับ ส่วนแอกติเวเตด คาร์บอน สามารถกำจัดสี RBB และ Blue 171 ได้ ร้อยละ 5 และ 4 ตามลำดับ ในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดติดผิว พบว่ามีความสัมพันธ์ตรงกับสมการของแลงมัวร์ ซึ่งวัสดุที่ปรับสภาพแล้ว จะสามารถกำจัดสีได้เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

**ลัดดา, 2544** ศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีรีแอคทีฟและสีไดเรกต์ และสีน้ำกาบซ่าของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่าน และผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ และแบบคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่าวัสดุทั้งสามชนิด ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ และสีไดเรกต์ได้น้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพ ผลการศึกษาไอโซเทอมโดยใช้ชานอ้อย พบว่า ความสามารถในการดูดติดสี มีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ และผลจากการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพ จะมีประสิทธิภาพกำจัดสีรีแอคทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไดเรกต์เรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ได้ 141, 247, 247, 99, 211 และ 229 มิลลิกรัมต่อกรัมของชานอ้อย ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกาบซ่าจากการทดลองแบบแบดซ์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาบซ่าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.55% วัสดุที่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพ เฉลี่ยเท่ากับ 75.26% และเมื่อทดลองผ่านคอลัมน์ พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกาบซ่า เท่ากับ 457, 847 และ 43 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

### 3.1 แผนการวิจัย

#### 3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ และการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

#### 3.1.2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแต่ละส่วน จะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1

การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน  
และน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง



การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน  
ตามค่าตัวแปรที่กำหนดในตารางที่ 3.1 และ 3.2



การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ



การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนที่ 1

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	พารามิเตอร์
<p>- ตัวแปรอิสระ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเรซิน</li> <li>การปรับสภาพของวัสดุที่ใช้ทำเรซินด้วยวิธีทางเคมี</li> <li>ชนิดของสีย้อม</li> <li>ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมในน้ำเสียดังเคราะห์</li> </ol> <p>- ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่สำหรับการทดลองโดยใช้ Shaker</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>ปริมาณน้ำเสยที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>เวลาที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>ความเร็วรอบในการกวน</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้นมันสำปะหลัง / ใบสับปะรด / กาบมะพร้าว</li> <li>ไม่ได้ปรับสภาพ</li> <li>ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์</li> <li>สีไดเรกท์ : Best Direct Black B : Sirius Blue KCFN : Sirius Rubine KZBL</li> <li>สีรีแอคทีฟ : Remazol Black B* : Remazol Brilliant Blue R* : Remazol Brilliant Red 3BS</li> <li>50, 70, 90, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>ขนาด &lt;0.177 มิลลิเมตร (80 mesh.)</li> <li>0.5 กรัม</li> <li>150 มิลลิลิตร</li> <li>90 นาที (จิรภรณ์, 2542)</li> <li>160 รอบต่อนาที</li> </ul>
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	พารามิเตอร์
<p>- ตัวแปรตาม</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน</li> <li>ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความเข้มของสารละลายสี</li> <li>พีเอช</li> <li>ร้อยละของการกำจัดสี</li> </ul>

หมายเหตุ : \* สูตรโครงสร้างทางเคมีของสี แสดงในภาคผนวกที่ ข.

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ในส่วนที่ 2

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	พารามิเตอร์
<p>- ตัวแปรอิสระ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเรซิน</li> <li>การปรับสภาพของวัสดุที่ใช้ทำเรซินด้วยวิธีทางเคมี</li> </ol> <p>- ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่</p> <p>สำหรับการทดลองโดยใช้ Shaker</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ขนาดของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง</li> <li>ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้นมันสำปะหลัง / ใบสับปะรด / กาบมะพร้าว</li> <li>- ไม่ได้ปรับสภาพ</li> <li>- ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ขนาด &lt; 0.177 มิลลิเมตร (80 mesh.)</li> <li>- 0.5 กรัม</li> <li>- 150 มิลลิลิตร</li> </ul>
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	พารามิเตอร์
<p>- ตัวแปรตาม</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน</li> <li>ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเข้มข้น</li> <li>- พีเอช</li> <li>- ร้อยละของการกำจัด</li> </ul>

### 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องวัดพีเอช
- เครื่องบดวัสดุ
- เครื่องคัดแยกขนาด
- เครื่องชั่งสารเคมี
- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- เครื่องเขย่า
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 150 มิลลิลิตร
- เตอบวัสดุ
- หลอดทดลอง
- ชุดเครื่องกรอง

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน , SEM  
(ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- เครื่องมืออินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ , FT-IR  
(ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- เครื่อง Elemental Analysis
- เครื่อง BET Surface Area Analyzer Model Micromeritics ASAP 2000  
(ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

#### 3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สาร Quaternized : N-(3-chloro-2-hydroxypropyl) trimethylammonium Chloride [CHMAC]
- สารสร้างพันธะ : Epichlorohydrin (1-chloro-2,3-epoxypropane)
- โซเดียมคลอไรด์
- โซเดียมคาร์บอเนต
- กรดไฮดรอกลิก
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดฟอสฟอริก
- สีย้อม  
: สีไคเรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL )  
: สีรีแอคทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS)

### 3.2 การดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 หาปริมาณเซลลูโลสในต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว มาวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ

#### 3.2.2 การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

##### 1. การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว มาล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง จากนั้นตากแดดให้แห้ง แล้วอบที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 80 (< 0.177 มิลลิเมตร)

##### 2. การเตรียม Untreated Cellulose (Laszlo, J.A., 1996)



นำวัสดุที่ตัดขนาดแล้วมาแช่สารละลาย NaCl 1%(น้ำหนักต่อปริมาตร) และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1%(น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างออก หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$

### 3. การเตรียม Crosslinked-Quaternized Cellulose (Laszlo, J.A., 1996)

3.1 นำวัสดุ (1กรัม) มาปรับสภาพด้วย 5 นอร์มัล ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 มิลลิลิตร (6.25 มิลลิโมลของด่างต่อกรัมของเรซิน) แล้วอัดลงกันบีกเกอร์ เพื่อให้สารละลายผ่านเข้าไปได้ง่ายขึ้น จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3.2 เติม 4.0 มิลลิโมล ของ CHMAC 1.0 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมไปอัดลงกันบีกเกอร์อีกครั้งหนึ่ง ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

3.3 นำไปตั้งไว้ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.4 เติม 5 นอร์มัล ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.2 มิลลิลิตร (6 มิลลิโมลของด่างต่อกรัมของเรซิน) และ 3 มิลลิโมล ของอีพิคลอโรไฮดริน 0.234 มิลลิลิตร ลงในวัสดุ ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.5 นำวัสดุที่ได้มาเติมน้ำ 500\* มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีพีเอช 2.0 ด้วย กรดไฮโดรคลอริก หลังจากนั้น กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

3.6 กรองวัสดุที่เตรียมได้ออกจากสารละลาย แล้วล้างด้วยน้ำปลอดประจุ จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ : การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง จะเตรียมครั้งเดียวในปริมาณที่มากพอสำหรับใช้ตลอดการทดลอง โดยในการทดลองจะใช้เครื่องเขย่า (Shaker) แต่จะวัสดุจะเตรียมประมาณ 100 กรัม

\* ปริมาณน้ำที่เติม จะเติมจนวัสดุสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำในสภาพที่สามารถกวนเพื่อปรับพีเอชได้สะดวก

### 4. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

นำสีย้อมรีแอคทีฟและสีย้อมไดเรกทิง มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.05, 0.07, 0.09, 0.10, 0.15 และ 0.2 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีเข้มข้น 50, 70, 90, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

### 3.2.3 การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

#### ส่วนที่ 1 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อม

##### • การทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker)

1. ใส่น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. วัดสีและพีเอช ของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง
3. ใส่มันสำปะหลัง ไบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ของวัสดุทั้งสามชนิด ลงในขวดรูปชมพู่ที่ 1-6 ตามลำดับ
4. ใช้เครื่อง Shaker เขย่าขวดรูปชมพู่ทั้ง 6 ด้วยความเร็ว 160 รอบ/นาที เป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
5. กรองวัสดุออก จากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสีและพีเอช
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยแปรค่าความเข้มข้นของสี 50, 70, 90, 100, 150, และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และชนิดของสีไคเรทท์ 3 โทนสี (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และสีรีแอคทีฟ 3 โทนสี (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS)

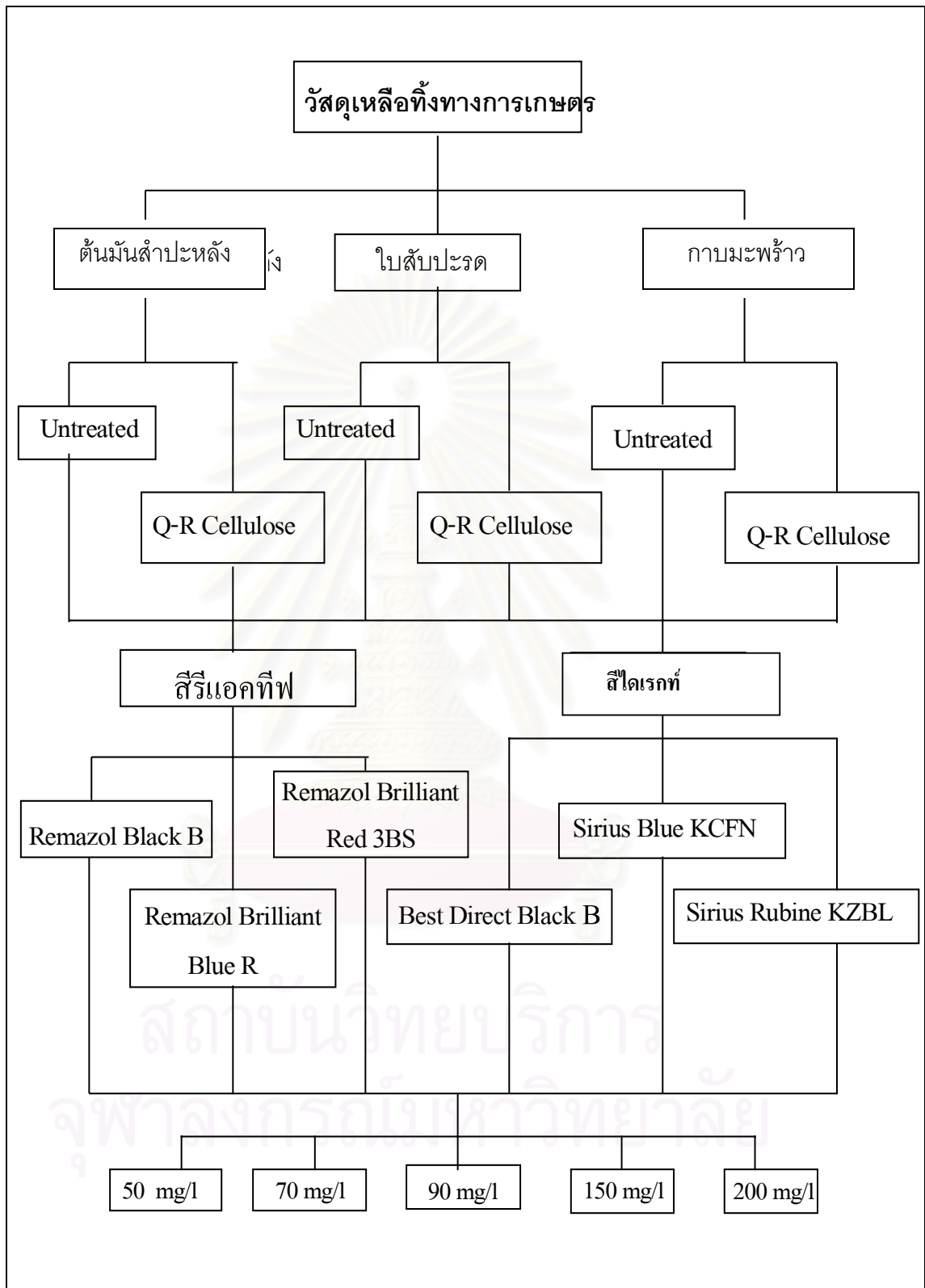
#### ส่วนที่ 2 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง

##### • การทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker)

1. วัดสีและพีเอชของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าแห่งหนึ่ง
2. ใส่น้ำเสีย 150 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ จำนวน 6 ใบ ใส่ 0.5 กรัมของวัสดุเรซิน ได้แก่ ต้นมันสำปะหลังไบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ และที่ปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ของวัสดุทั้งสามชนิด ลงในขวดรูปชมพู่ที่ 1-6 ตามลำดับ จากนั้นเขย่าเป็นเวลา 90 นาที
3. กรองวัสดุออก จากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสีและพีเอชอีกครั้ง

### 3.2.4 การหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลส

นำน้ำเสียสังเคราะห์ เข้มข้นมากเกินพอ จำนวน 500 ml. ไหลผ่านคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร ภายในบรรจุเรซินที่ทราบปริมาณแน่นอน หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำแล้วรีเจนเนอเรชันโดยใช้ NaOH เข้มข้น 6 N จำนวน 100 ml. นำน้ำที่ไหลผ่านเรซินไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นสี



รูปที่ 3.2 แผนผังการแปรชนิดของวัสดุ ชนิดสี และ ความเข้มข้นสีที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.5 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

#### 3.2.5.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ ภายหลังจากผ่านการกำจัดสี ได้คัดเลือกกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ที่ผ่านการกำจัดสี (Sirius Blue KC, Sirius Rubine KZBL, Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS, Remazol Black B) มาศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุอีกครั้ง ซึ่งกาบมะพร้าวเป็นวัสดุที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้สูงสุด เพื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงของวัสดุก่อนและหลังการทดลอง

#### 3.2.5.2 การศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มาหาค่าความหนาแน่นโดยใช้ขวดพิกโนมิเตอร์ ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าและฝาขวด
2. ใส่วัสดุลงในขวด ชั่งน้ำหนักขวด ฝา และวัสดุ
3. ใส่น้ำให้เต็มขวด ปิดฝา แล้วชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้ง
4. เทวัสดุทิ้ง และล้างขวดให้สะอาด ใส่น้ำให้เต็มขวด (ไม่มีวัสดุ) แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณ ความหนาแน่นของวัสดุ =  $(\text{น้ำหนักจากข้อ 2} - \text{น้ำหนักจากข้อ 1}) / (\text{น้ำหนักจากข้อ 3} - \text{น้ำหนักจากข้อ 4})$

#### 3.2.5.3 การศึกษาการบวมน้ำของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรดและกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มาหาค่าการบวมน้ำของวัสดุ ดังนี้

1. นำวัสดุมาตวงปริมาตร บันทึกปริมาตรของวัสดุ
2. ใส่น้ำให้ท่วมวัสดุ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง บันทึกปริมาตรของวัสดุอีกครั้ง (Laszlo, 1996)
3. คำนวณ การบวมน้ำของวัสดุ =  $(\text{ปริมาตรจากข้อ 2} / \text{ปริมาตรจากข้อ 1})$

### 3.2.5.4 การศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุ

ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของวัสดุด้วยเครื่อง BET SURFACE AREA ANALYZER ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2.6 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ ไปตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ และเครื่อง Elemental Analysis เพื่อวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ ในโครงสร้าง ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางสรุปวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ขนาดของวัสดุ	- เครื่องคัดแยกขนาด
2. ความเข้มข้นของสารละลาย	- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1201
3. พีเอช	- เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ HORIBA รุ่น F-13
4. ลักษณะทางกายภาพของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออน	- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน รุ่น JEOL JSM-5410LV - ขวดพิคโนมิเตอร์ - เครื่อง BET SURFACE AREA ANALYZER MODEL MICROMERITICS รุ่น ASAP 2000
5. ลักษณะโครงสร้างของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออน	- เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น 1760 X



## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.1 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

การศึกษาระสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุ 3 ชนิด คือ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว โดยแบ่งการศึกษาศักยภาพในการกำจัดสีของวัสดุ ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือการศึกษาศักยภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ และการศึกษาศักยภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม รามาเทกซ์ไทล์ จำกัด

#### 4.1.1 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาศักยภาพในการกำจัดสีของวัสดุทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิด ควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์เซลลูโลสโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารละลายสีความเข้มข้น 50, 70, 90, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำการทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker) ที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 90 นาที ปริมาณวัสดุชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์เซลลูโลสที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 0.5 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกท์ของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1, 4.3, 4.5 และภาคผนวก ก. พบว่าวัสดุชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำกว่าวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์เซลลูโลส โดยวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพนั้น มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำมาก คือ น้อยกว่า 15.15% ยกเว้นสี Sirius Blue KCFN ประสิทธิภาพต่ำกว่า 20.18% เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์เซลลูโลสพบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ 68.13 – 100 % โดยกาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ได้ดีที่สุด คือมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 70.13 – 100 % สำหรับวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์รองลงมาคือ ต้นมันสำปะหลังและใบสับปะรด ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 80.73 – 100 % และ 68.43 – 100 % ตามลำดับ สำหรับการกำจัดสีไดเรกท์ โดยใช้วัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพโดยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสต์ลิ่งก์เซลลูโลส สีที่กำจัดได้ดีที่สุดคือ สี Sirius Blue KCFN และสี Sirius Rubine KZBL ส่วนสี Best Direct Black B กำจัดได้ยากที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีไคเรกท์

สีย้อม	ความเข้มข้น สีย้อม (mg/l)	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
		Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
Sirius Blue KCFN	50	17.00	99.08	13.37	95.25	11.36	100
	70	4.54	98.08	3.50	97.85	1.88	100
	90	20.18	98.37	17.91	97.70	5.90	99.18
	100	18.59	98.11	13.60	95.89	3.10	98.26
	150	12.24	97.05	17.78	96.91	7.41	98.26
	200	17.81	95.175	11.37	91.56	13.006	95.45
Sirius Rubine KZBL	50	20.91	98.71	22.15	90.07	2.59	100
	70	16.16	93.45	19.08	86.59	4.98	100
	90	9.93	91.56	15.02	95.37	3.70	99.69
	100	15.43	91.43	19.84	95.37	1.31	100
	150	16.50	97.55	16.78	99.15	7.19	100
	200	42.47	98.79	37.04	99.47	36.82	100
Best Direct Black B	50	16.64	100	20.21	95.31	10.42	97.60
	70	18.27	100	20.25	97.38	11.19	98.72
	90	13.81	100	19.11	100	6.67	100
	100	12.37	100	17.42	100	6.39	100
	150	8.72	89.02	15.28	79.067	9.08	76.84
	200	2.66	80.73	4.06	68.43	0.039	70.13

ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.2, 4.4, 4.6 และภาคผนวก ก. พบว่าวัสดุชนิดไม่ได้ผ่านการปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดสีต่ำกว่าวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลส โดยวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพนั้น มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำมาก คือ น้อยกว่า 15.14% เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสพบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ 97.31 – 100 % โดยกาบมะพร้าวประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ดีที่สุด คือมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 98.76 – 100% สำหรับวัสดุที่มีประ

สีทึบภาพกำจัดสีรีแอกทีฟรองลงมาคือ ต้นมันสำปะหลัง และใบสับปะรด โดยมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 97.88 – 100 % และ 97.31 – 100 % ตามลำดับ ส่วนสีรีแอกทีฟที่ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกากมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพโดยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส กำจัดได้ดีที่สุดคือ สี Remazol Brilliant Blue R และสี Remazol Brilliant Red 3BS ส่วนสี Remazol Black B กำจัดได้ยากที่สุด

#### ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีรีแอกทีฟ

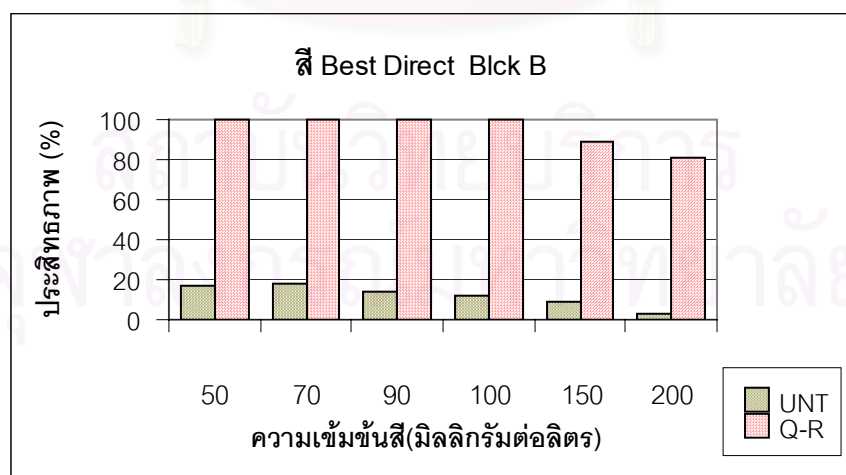
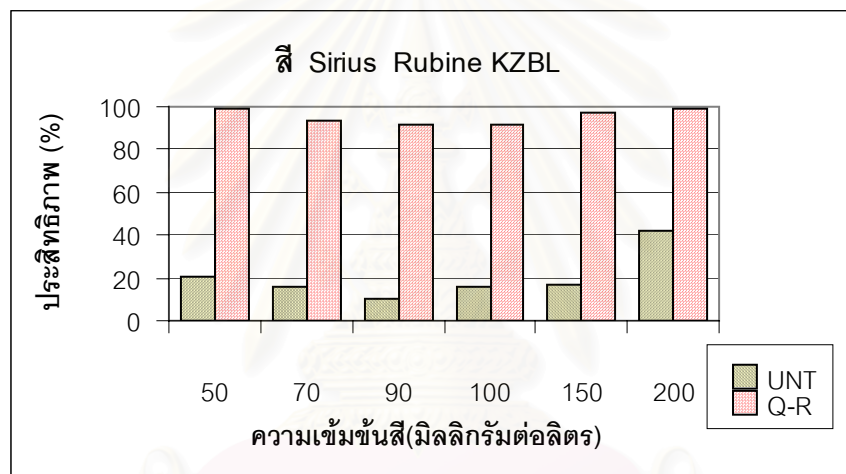
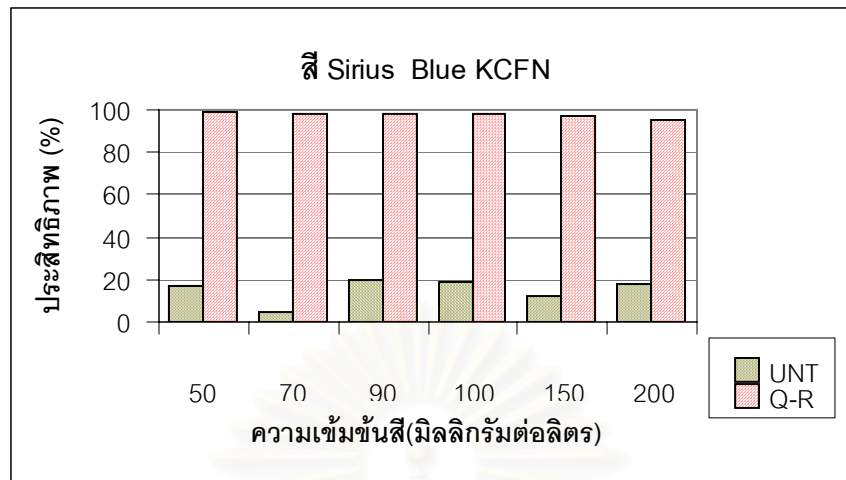
สีย้อม	ความเข้มข้น สีย้อม (mg/l)	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กากมะพร้าว	
		Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
Remazol Brilliant Blue R	50	7.62	100	7.62	100	7.3	100
	70	19.91	100	20.15	100	20.17	100
	90	5.90	100	6.23	100	3.98	100
	100	4.00	100	0.96	100	4.00	100
	150	1.15	100	5.46	100	0.73	100
	200	3.59	100	4.76	100	2.23	100
Remazol Brilliant Red 3BS	50	3.29	100	3.29	91.51	0.69	100
	70	5.52	100	5.21	91.95	2.07	100
	90	5.08	100	5.36	92.21	1.82	99.94
	100	2.84	98.53	4.71	92.55	2.39	100
	150	2.54	98.80	2.12	94.84	0.25	99.98
	200	1.96	99.12	5.17	96.55	2.11	99.89
Remazol Black B	50	10.96	98.92	10.97	92.37	8.87	98.48
	70	4.30	98.72	4.30	93.77	7.60	98.92
	90	1.24	98.27	5.77	95.55	4.70	99.04
	100	4.73	98.47	4.32	96.34	11.76	98.70
	150	1.38	98.86	1.97	97.25	0.49	99.12
	200	4.19	99.24	3.95	97.91	2.46	99.35

#### 4.1.2 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุที่มีต่อความเข้มข้นสี

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟของ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เฮลลูโลส จะแปรผันกับความเข้มข้นที่ทำการทดลอง ซึ่งจากข้อมูลโดยรวมพบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายสีเพิ่มขึ้นจาก 50, 70, 90, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะมีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะวัสดุแต่ละชนิดจะมีขีดความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน รวมทั้งขีดความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟอาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของสีแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดลอง และเนื่องจากน้ำเสียที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดของโรงงานฟอกย้อม จะมีความเข้มข้นสีอยู่ในช่วง 0-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาในช่วงความเข้มข้นสีดังกล่าวเท่านั้น

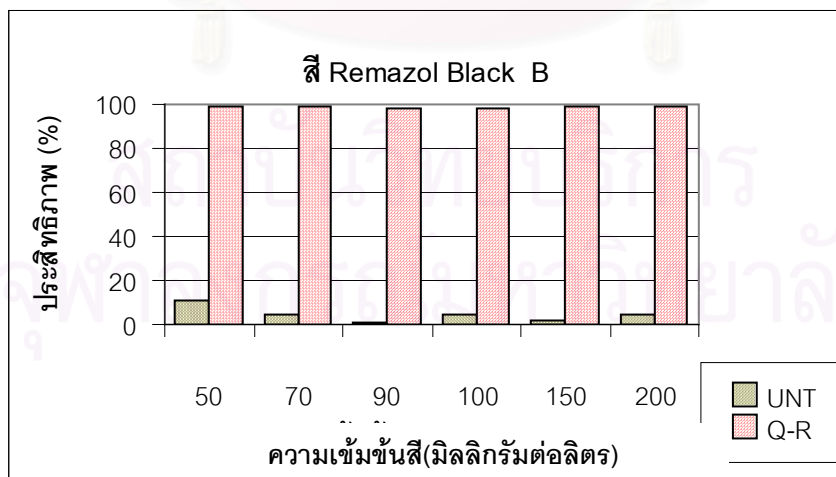
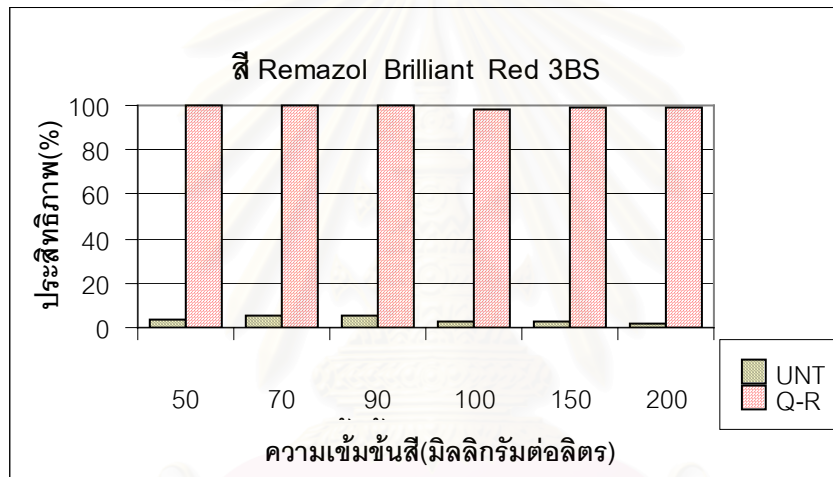
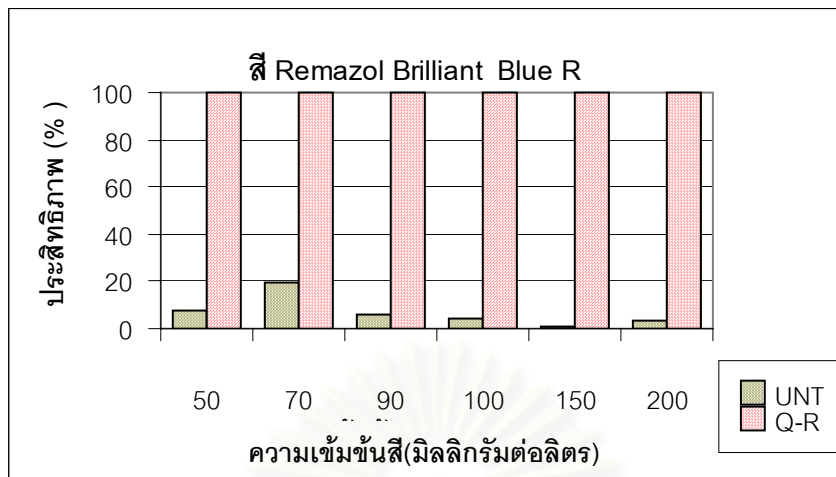
นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่างๆ ของวัสดุทั้งสาม คือ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ความเข้มข้นสีแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะสังเกตได้ว่า วัสดุทั้งสามชนิดจะกำจัดสีรีแอกทีฟได้ดีกว่าสีไดเรกต์และประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดส่วนใหญ่ จะอยู่ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และโทนสีที่กำจัดได้สูงสุดคือ สีน้ำเงิน และสีแดง ทั้งสีรีแอกทีฟ (Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไดเรกต์ (Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์ทั้งสามชนิดพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ใกล้เคียงกันที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

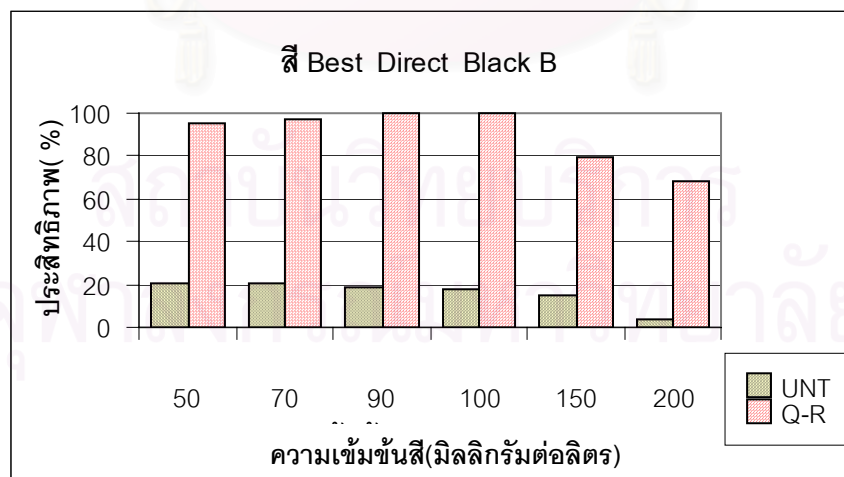
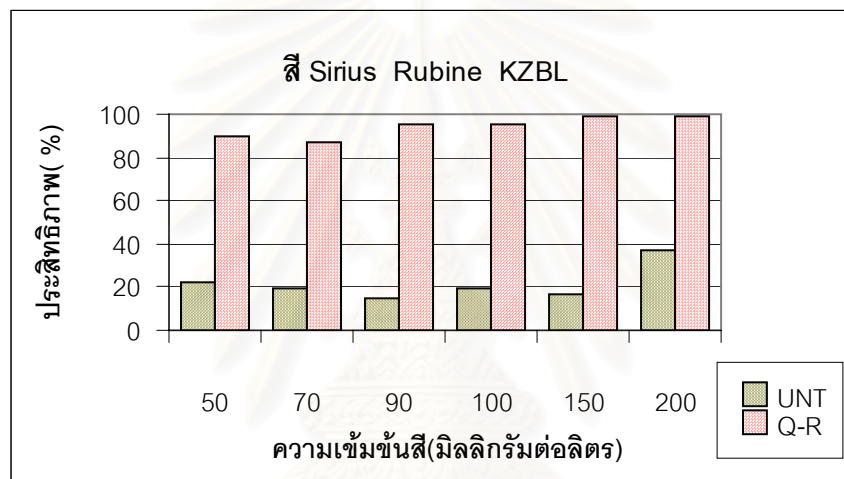
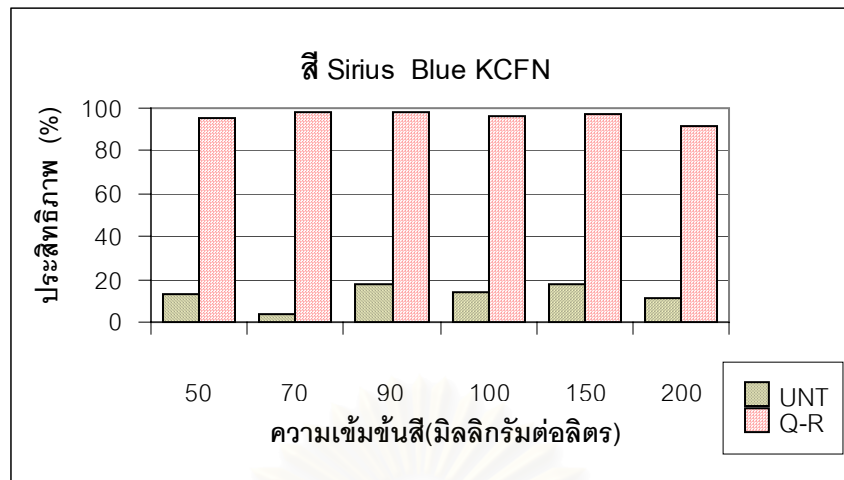


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีได้เรกท์ของต้นมันสำปะหลังชนิดไม่ปรับสภาพและต้นมันสำปะหลังชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสสลิงก์เซลลูโลส

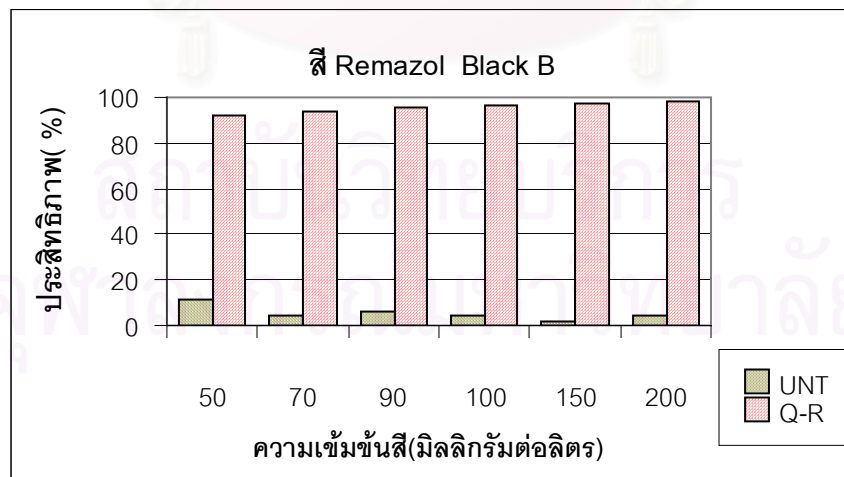
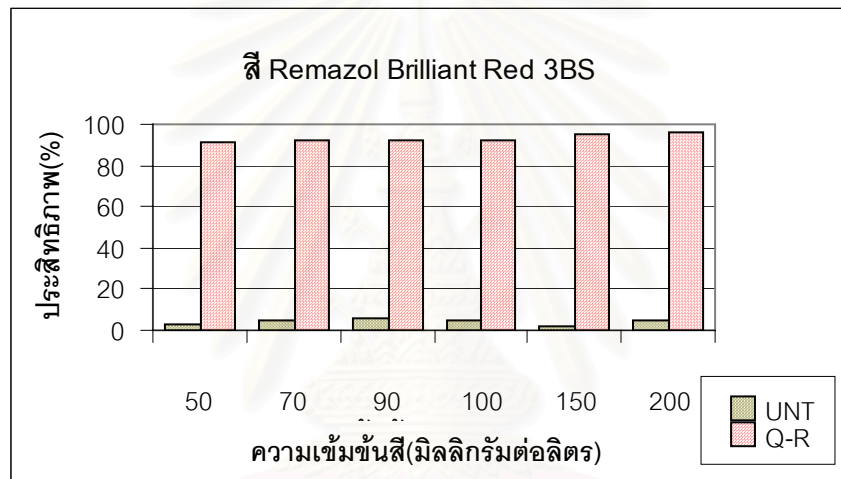
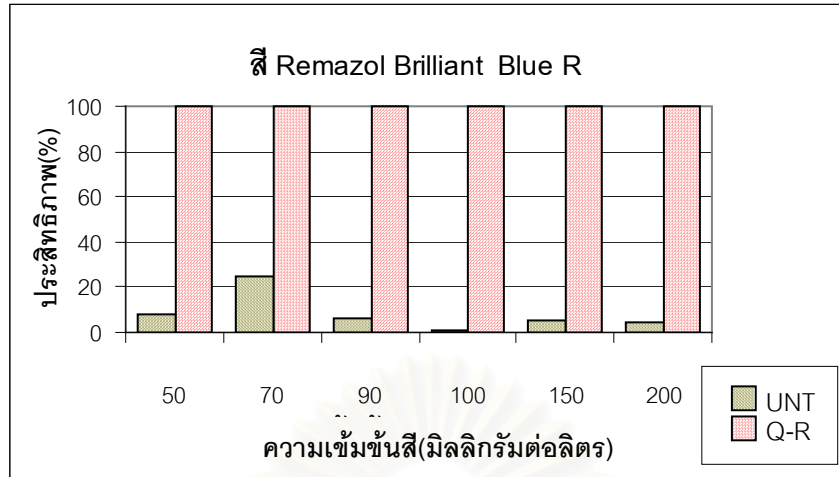




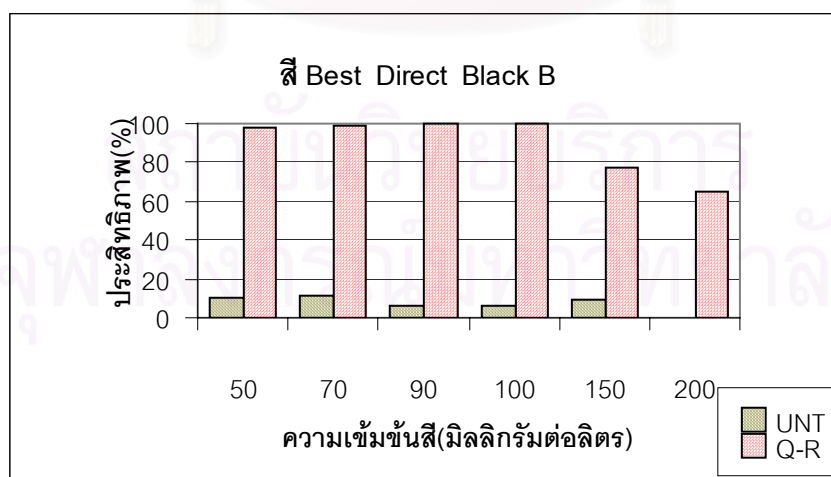
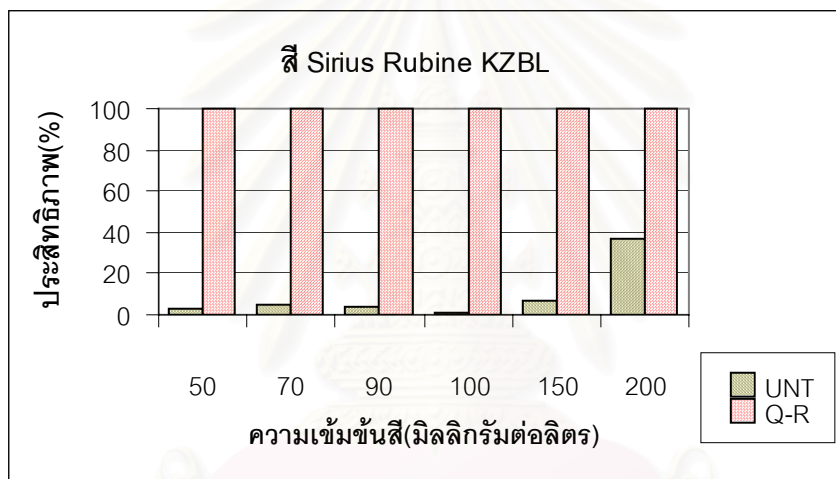
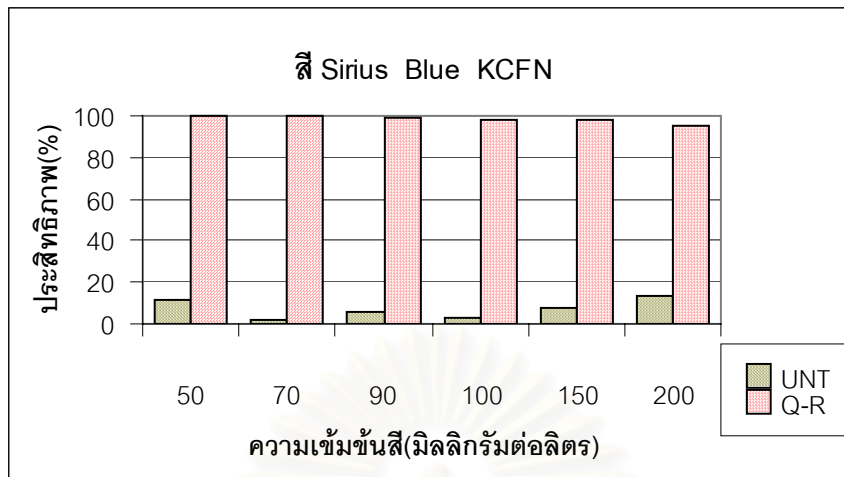
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีย้อมที่ฟอกที่ฟของต้นมันสำปะหลังชนิดไม่ปรับสภาพและต้นมันสำปะหลังชนิดคอร์เทอร์ไนซ์ครอสสลิงก์เซลลูโลส



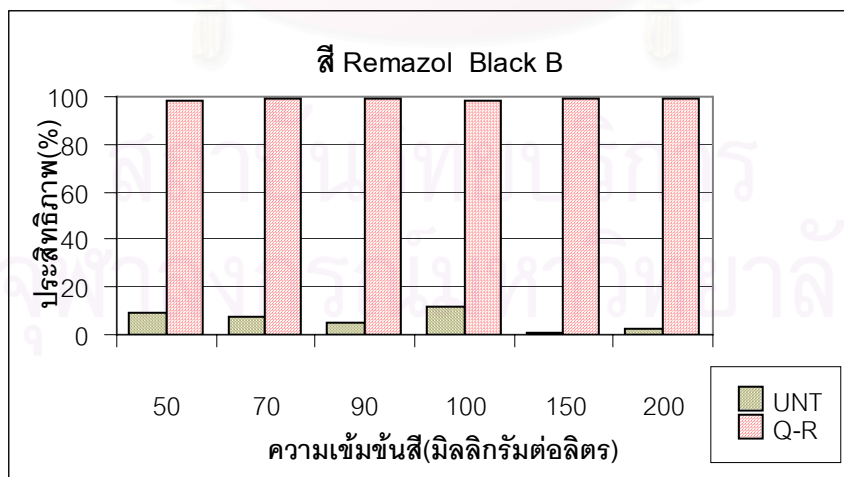
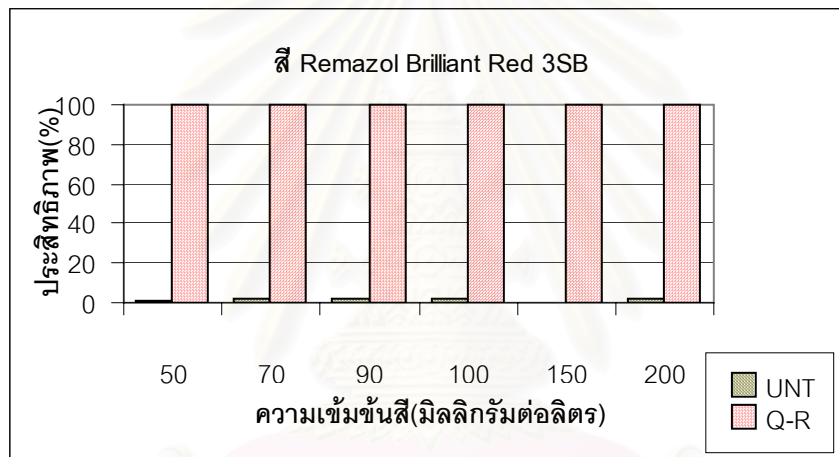
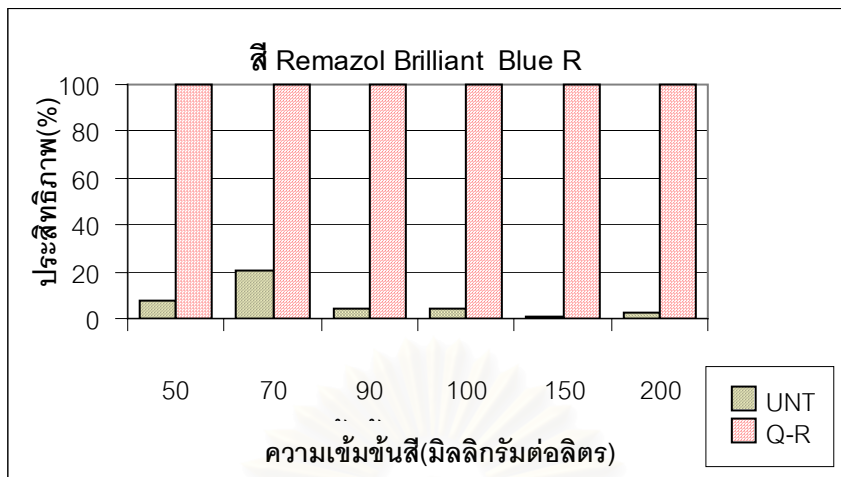
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์ของไบสับประดชนิดไม่ปรับสภาพและไบสับประดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของไบสปีปะรดชนิดไม่ปรับสภาพและไบสปีปะรดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส

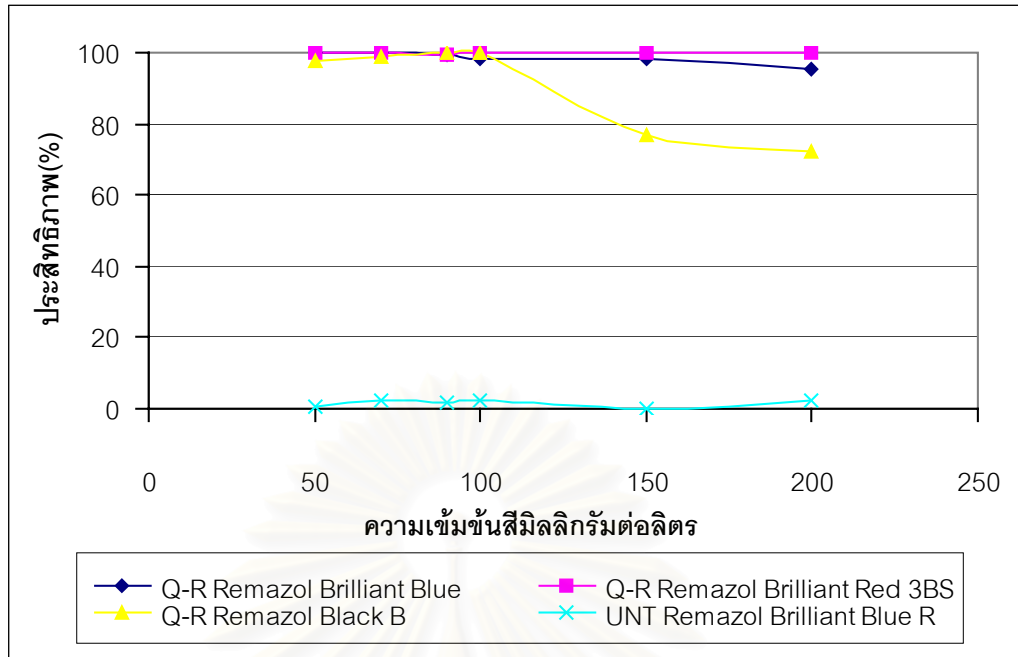


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกต์ของกามะพร้าวชนิดไม่ปรับสภาพและกามะพร้าวชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส

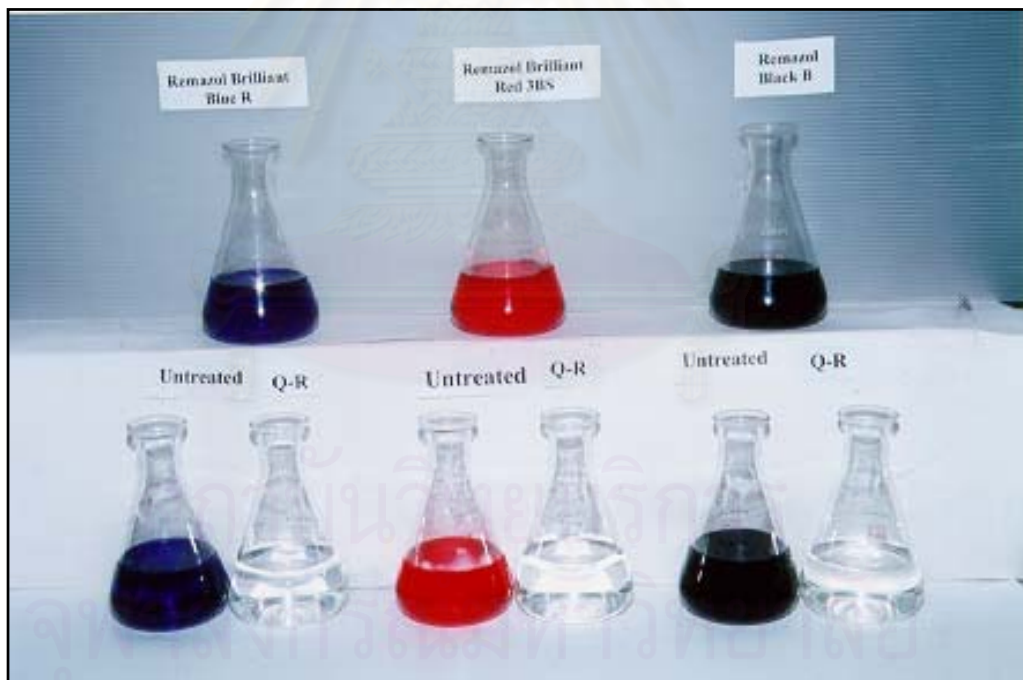


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของกาบมะพร้าวชนิดไม่ปรับสภาพและกาบมะพร้าวชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลส





รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟของกาบมะพร้าว



รูปที่ 4.8 สีรีแอกทีฟที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนและหลังบำบัดด้วย UNT และ Q-R กาบมะพร้าว



รูปที่ 4.9 สีรีแอกทีฟความเข้มข้น 200 , 100 และ 90 มิลลิกรัม/ลิตร จากขวาไปซ้าย



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ Q-R กาบมะพร้าว กำจัดสีรีแอกทีฟที่ความเข้มข้น 200 , 150 และ 90 มิลลิกรัม/ลิตร จากขวาไปซ้าย (ประสิทธิภาพ 98.76 –100%)

#### 4.1.3 การศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีโดยใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแลงมัวร์ (Langmuir Isotherm) ในการอธิบายซึ่งมีสมการดังนี้

$$C_e/Q_e = 1/K_L + (a_L/K_L)C_e$$

$a_L$  คือ ค่าคงที่ Langmuir isotherm (ลิตร.มิลลิกรัม)

$K_L$  คือ ค่าคงที่ Langmuir equilibrium (ลิตร/กรัม)

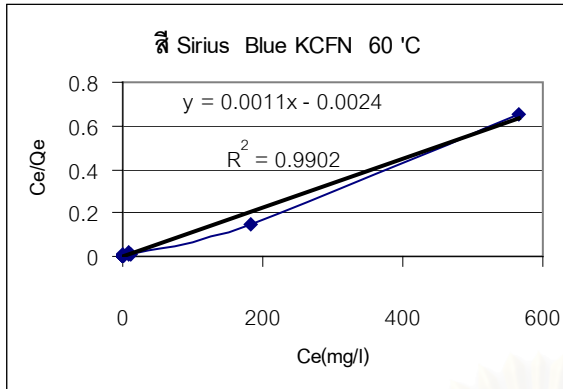
$C_e$  คือ ความเข้มข้นสีที่จุดสมดุลในของเหลว (มิลลิกรัม/ลิตร)

$Q_e$  คือ ความเข้มข้นสีที่จุดสมดุลในของแข็ง (มิลลิกรัม/กรัม)

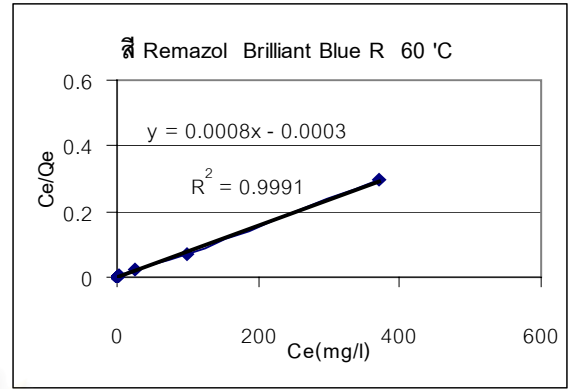
จากสูตรค่า  $K_L/a_L$  คือค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุ ( $q_{max}$ ) หรือคือค่าส่วนกลับของความชันที่ได้จากการเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งคือ  $C_e$  และแกนนอนคือ  $C_e/Q_e$  โดยจากส่วนกลับของความชันของกราฟแต่ละเส้นจะได้ค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### ตารางที่ 4.3 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีของกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพ

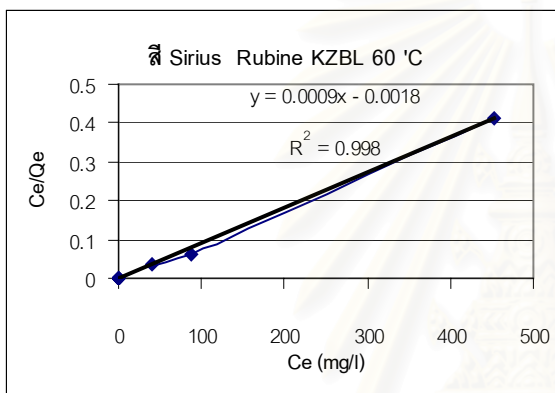
สี	อุณหภูมิ	$q_{max}$ (มิลลิกรัม/กรัม)	$R^2$
Sirius Blue KCFN	T 28 °C	445	0.9944
	T 40 °C	445	0.9925
	T 60 °C	445	0.9902
Sirius Rubine KZBL	T 28 °C	500	0.9997
	T 40 °C	500	0.9958
	T 60 °C	555	0.9880
Best Direct Black B	T 28 °C	333	0.9864
	T 40 °C	417	0.9697
	T 60 °C	445	0.9731
Remazol Brilliant Blue R	T 28 °C	625	0.9994
	T 40 °C	625	0.9999
	T 60 °C	625	0.9991
Remazol Brilliant Red 3BS	T 28 °C	625	0.9997
	T 40 °C	625	0.9996
	T 60 °C	625	0.9998
Remazol Black B	T 28 °C	555	0.9985
	T 40 °C	625	0.9969
	T 60 °C	625	0.9976



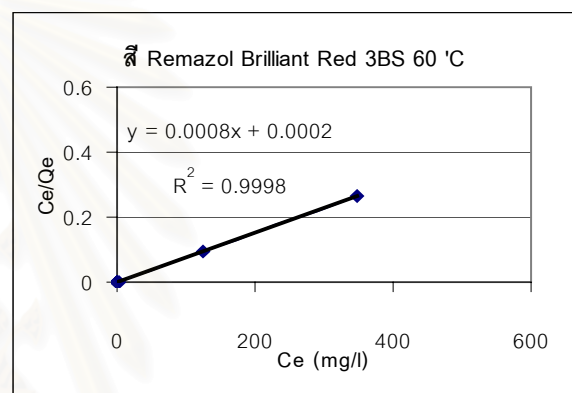
ก.



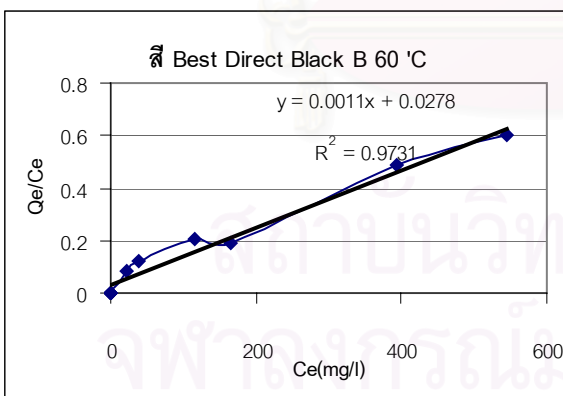
ง.



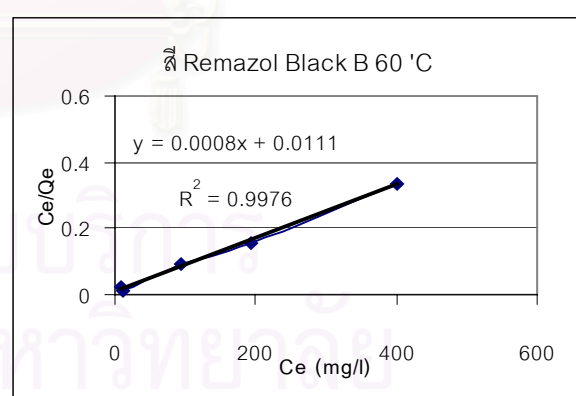
จ.



ฉ.



ค.



ด.

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีที่ 60 °C สีไดเรกต์ (ก.-ค.) สีรีแอกทีฟ (ง.-ด.)

จากผลการศึกษาหาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีของกาบมะพร้าว ที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส โดยหาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีที่ 3 อุณหภูมิ คือ  $28^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$  สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3, รูปที่ 4.11 และผนวก ข. พบว่าการกำจัดสีของ Q-R กาบมะพร้าวสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ ซึ่งให้ค่า  $R^2$  ที่สูงมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (บุญยฤทธิ์, 2543) ที่สรุปการกำจัดสีของ Q-R ก้านดอกทานตะวันว่าเป็นไปตามไอโซเทอมแบบแลงมัวร์เช่นเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ Q-R กาบมะพร้าวจะเพิ่มขึ้น สำหรับ ค่า  $q_{\text{max}}$  สามารถจำแนกการกำจัดสีออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่ง ค่า  $q_{\text{max}}$  จะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ได้แก่ สี Sirius Rubine KZBL, สี Best Direct Black B, สี Remazol Black B กลุ่มที่สอง  $q_{\text{max}}$  จะมีค่าเท่าเดิมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ได้แก่ สี Sirius Blue KCFN, สี Remazol Brilliant Blue R และสี Remazol Brilliant Red 3BS และจากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้กาบมะพร้าวที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส กำจัดสีไคเรกท์ ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  สี Sirius Rubine KZBL ให้ค่า  $q_{\text{max}}$  เท่ากับ 555 มิลลิกรัมต่อกรัมของกาบมะพร้าว ซึ่งมีค่ามากที่สุด สำหรับสีรีแอกทีฟ สี Remazol Brilliant Blue R และสี Remazol Brilliant Red 3BS ที่อุณหภูมิ  $28^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$  ให้ค่า  $q_{\text{max}}$  625 มิลลิกรัมต่อกรัมของกาบมะพร้าว ซึ่งมีค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### 4.1.4 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง

##### ผลการทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า (Shaker) ที่อุณหภูมิ $28^{\circ}\text{C}$

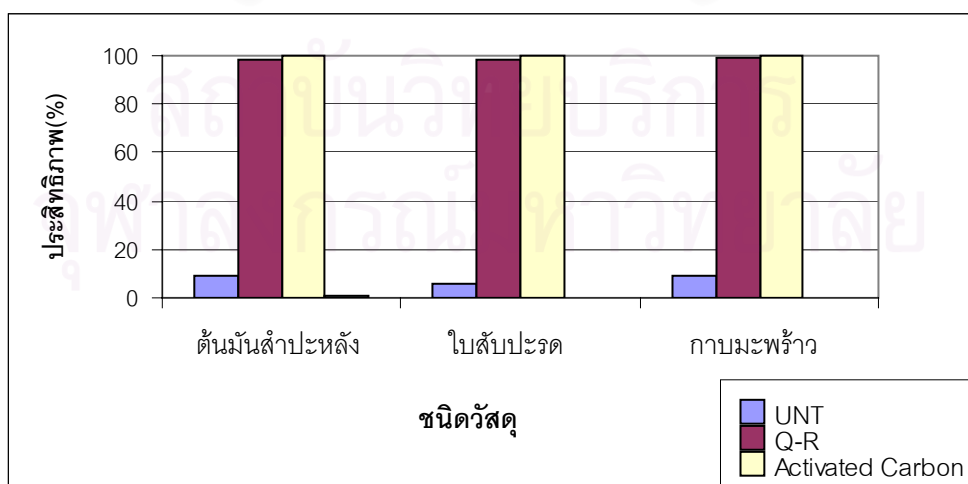
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจริงที่เก็บจากโรงงานฟอกย้อม รามา เทกซ์ไทล์ จำกัด ของวัสดุวัสดุทั้งสามชนิด พบว่า ในกลุ่มของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ กาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด ประมาณ 9.13% รองลงมาคือ ต้นมันสำปะหลังและใบสับปะรด 8.76% และ 5.95% ส่วนวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ พบว่ากาบมะพร้าว ต้นมันสำปะหลัง และใบสับปะรด มีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเสียจริงใกล้เคียงกัน โดยกาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงประมาณ 99.10% สำหรับต้นมันสำปะหลังและใบสับปะรดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงประมาณ 98.72% และ 98.13% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสีจะสูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริง

ครั้งที่	ความเข้มข้น สีย้อม (mg/l)	ผงถ่าน กัมมันต์	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
			Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
1	72.5	100	8.52	99.13	7.62	98.42	9.3	99.35
2	74.2	100	9.21	98.29	5.46	97.53	8.56	99.05
3	73.5	100	8.56	98.74	4.76	98.45	9.25	98.91
เฉลี่ย	73.4	100	8.76	98.72	5.95	98.13	9.13	99.10

จากตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานไดเทกซ์ไทย จังหวัดสมุทรปราการ ของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดผ่านการปรับสภาพโดยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์ พบว่าต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง ที่ความเข้มข้นประมาณ 73.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 5.46-9.25% ซึ่งต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon Filtrasorb 400 (F-400) ซึ่งผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงช่วงความเข้มข้นประมาณ 73.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 100% สำหรับประสิทธิภาพของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์ ทั้งสามวัสดุสามารถกำจัดสีในน้ำเสียจริง ในช่วงความเข้มข้นสี 73.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 98.13-99.10% ซึ่งวัสดุทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียจริงใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจริง โดยใช้ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด

กาบมะพร้าว ก่อนและหลังปรับสภาพเปรียบเทียบกับกำจัดสีโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

#### 4.2 การหาขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลส

จากการหาค่าขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสที่ทำจาก ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและชนิดที่ผ่านการปรับสภาพโดยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีปริมาณความเข้มข้น สี Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Black B มากเกินพอไหลผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน หลังจากนั้นทำการชะล้างด้วยไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 N แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นสีหลังชะล้างออกมาได้ พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพ มีขีดความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Black B มากกว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ 3-4 เท่า และพบว่าต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพมีขีดความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R และ สี Remazol Black B เท่ากับ 0.68 และ 0.62 meq./g dry resin ตามลำดับ ในขณะที่ใบสับปะรดและกาบมะพร้าวมีขีดความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Black B เท่ากับ 0.86, 0.68, 0.86 และ 0.69 meq./g dry resin ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลส

ชนิดสี	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (meq./g dry resin)					
	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
	UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
Remazol Brilliant Blue R	0.19	0.68	0.17	0.86	0.08	0.86
Remazol Black B	0.12	0.62	0.03	0.68	0.07	0.69

#### 4.3 การหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

จากการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว พบว่า ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว มีปริมาณไฮโดรเซลลูโลส (Holocellulose) เท่ากับร้อยละ 53, 39.2 และ 47.5 โดยน้ำหนักอบแห้ง ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุทั้งสามชนิดมีปริมาณเซลลูโลสที่สูงมาก จึงทำให้วัสดุทั้งสามมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียได้ดี

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว

องค์ประกอบ	ร้อยละน้ำหนักอบแห้ง		
	ต้นมันสำปะหลัง	ใบสับปะรด	กาบมะพร้าว
Alcohol-benzene solubility	6.6	14.3	3.8
Lignin (ash corrected)	17.1	11.6	22.6
Holocellulose	53.0	39.2	47.5
Alpha-cellulose	28.2	25.6	28.8
Beta-cellulose	8.9	7.5	4.6
Gamma-cellulose	15.9	6.1	14.1

#### 4.4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ 3 ชนิด คือ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ 4 ส่วน ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว ความหนาแน่น การบวมน้ำ และพื้นที่ผิวของวัสดุสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ใบสับปะรดและกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์จะมีลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกัน คือ เป็นเส้นใยยาว ผิวภายนอกค่อนข้างขรุขระ ส่วนวัสดุที่ไม่ได้

ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสโบลิงก์ จะมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบกว่า และมีร่องลึกต่างๆ น้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 สำหรับต้นมันสำปะหลัง จะมีลักษณะภายนอกที่แตกต่างจากใบสับปะรดและกาบมะพร้าว กล่าวคือ มีลักษณะค่อนข้างกลมและไม่เป็นเส้นใยยาว ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระคล้ายฟองน้ำ ต้นมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและหยาบมาก แต่ไม่เป็นร่องลึก ส่วนต้นมันสำปะหลังที่ปรับสภาพแล้ว พื้นผิวจะมีลักษณะขรุขระ และเห็นเป็นร่องลึกได้มากกว่า ดังรูปที่ 4.29 และ 4.20 ซึ่งคาดว่าเกิดจากการใช้กรดแก่และด่างแก่ในการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสโบลิงก์ ทำให้สิ่งต่างๆ ที่เกาะอยู่และสามารถหลุดออกได้ง่าย โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวภายนอกหลุดออกมา เหลือเพียงองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลสและสารเคมีที่เข้าไปเกาะเพิ่มเพื่อปรับสภาพของเซลลูโลสให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงลักษณะพื้นผิวของวัสดุภายหลังการกำจัดสีแล้ว โดยคัดเลือกกาบมะพร้าวทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครมอสโบลิงก์ ที่ผ่านการกำจัดไคเรทท์ (Sirius Blue KCF, Sirius Rubine KZBL และ Remazol Black B) และ สิริแอดทีฟ (Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS , Remazol Black B) แล้วมาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนอีกครั้ง พบว่า กาบมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ ภายหลังการกำจัดสี จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยบริเวณขอบและผิวของวัสดุ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเกาะติดผิวของสีย้อม ส่วนกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพพบว่า ไม่มี ความแตกต่างอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อนนำมากำจัดสี (รูปที่ 4.25-28) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการหลักในการกำจัดสีหลักของวัสดุเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นจึงไม่ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวภายนอกของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ตันมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง ขนาดประมาณ 2.0 เซนติเมตร

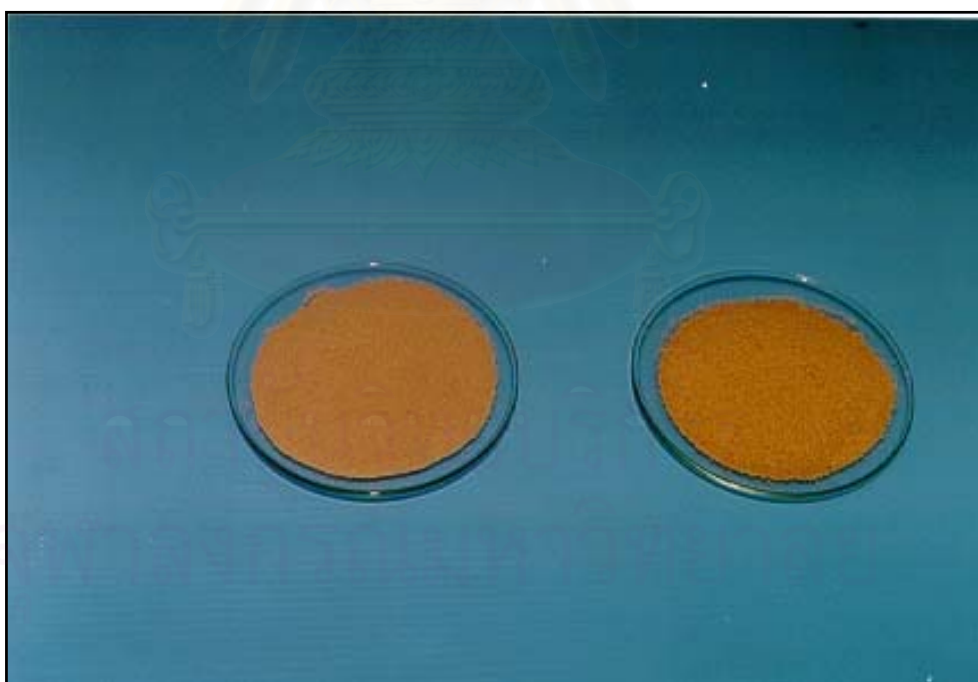


รูปที่ 4.14 ไบโอสปอร์ตที่ใช้ในการทดลอง ขนาดประมาณ 2.0 เซนติเมตร



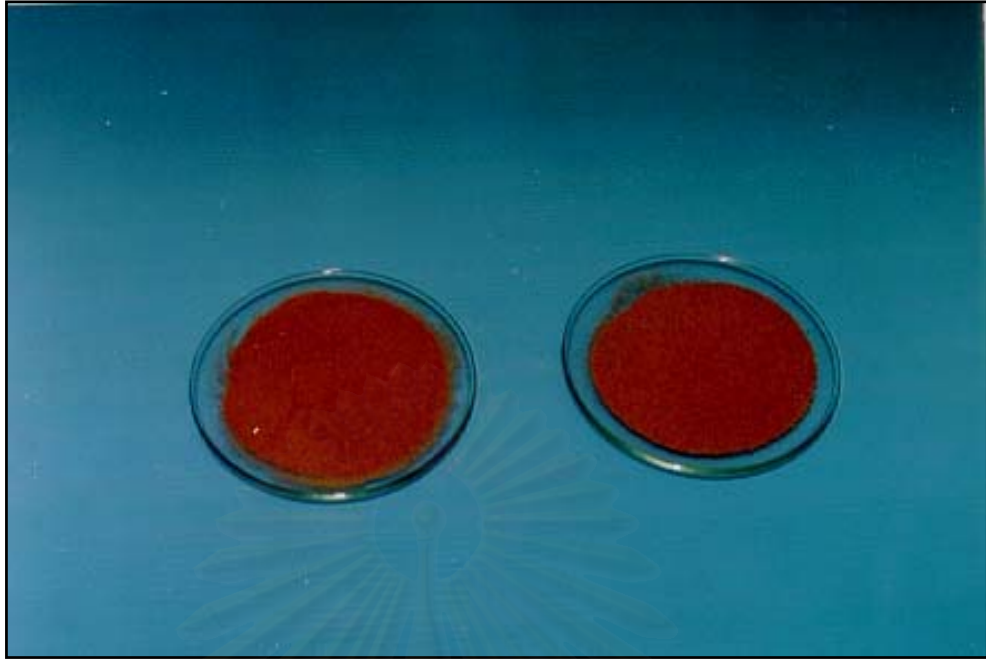


รูปที่ 4.15 กาบมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง ขนาดประมาณ 2.0 เซนติเมตร

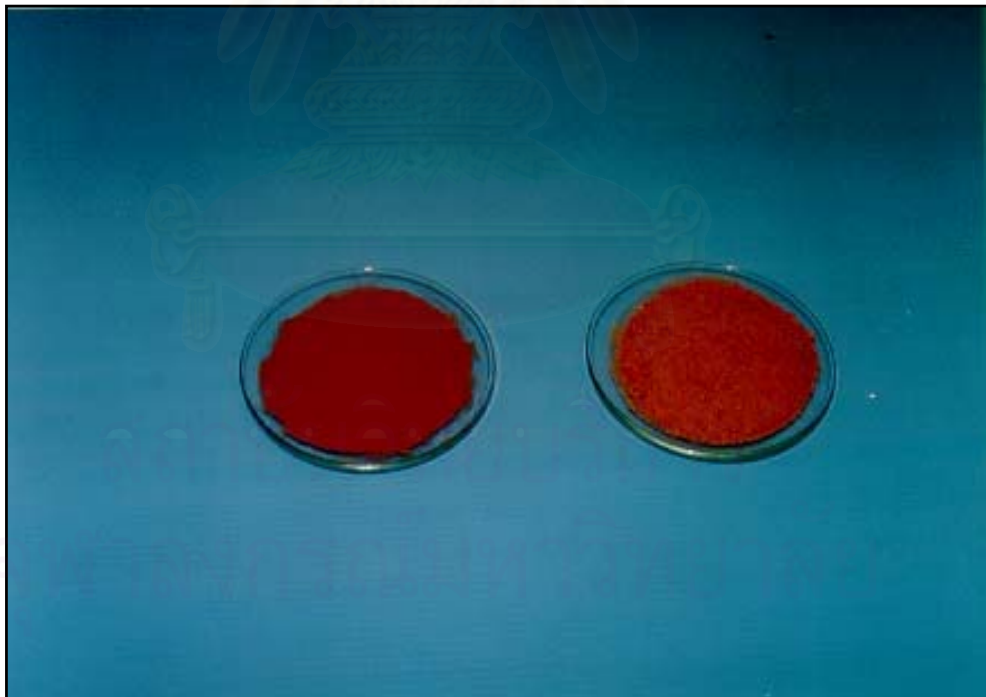


รูปที่ 4.16 ตันมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ (ขวา) ขนาด 80 เมช.





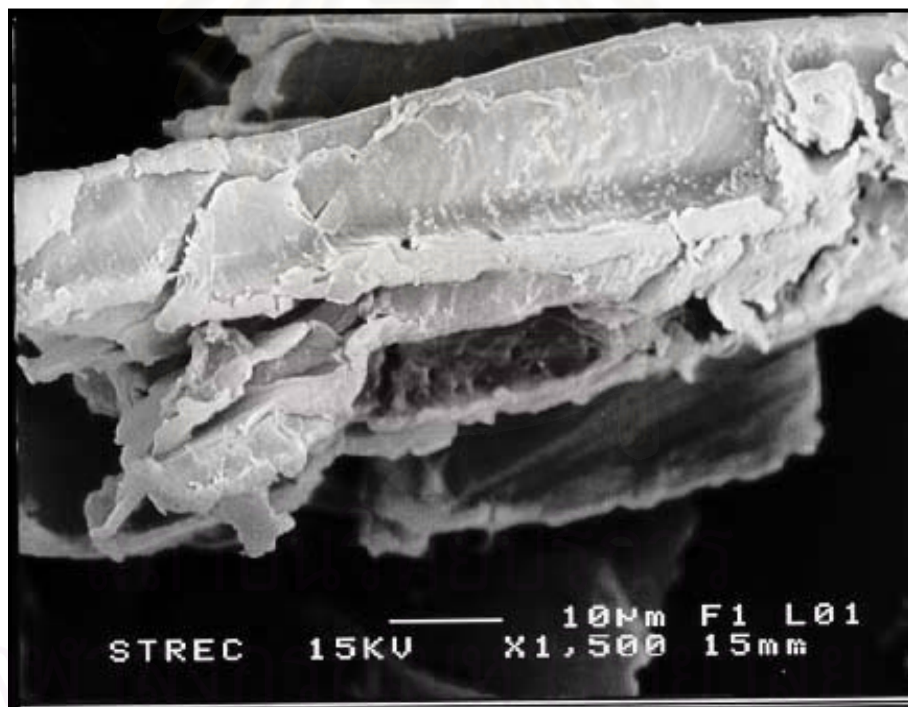
รูปที่ 4.17 ไบสับปะรดที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำ  
ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ขวา) ขนาด 80 เมช.



รูปที่ 4.18 กาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ(ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำ  
ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ขวา) ขนาด 80 เมช.

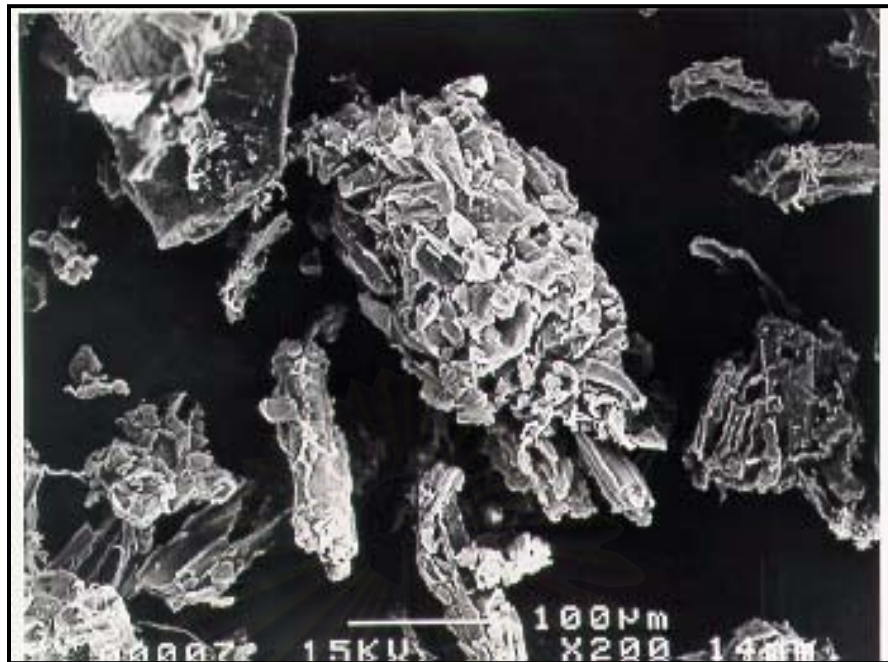


ก.

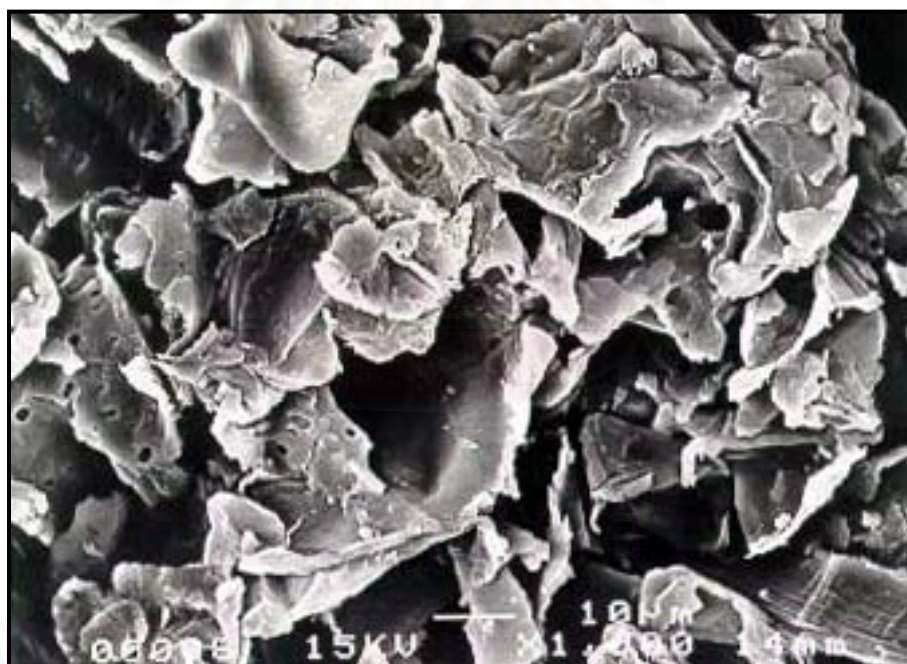


ข.

รูปที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวของต้นมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.



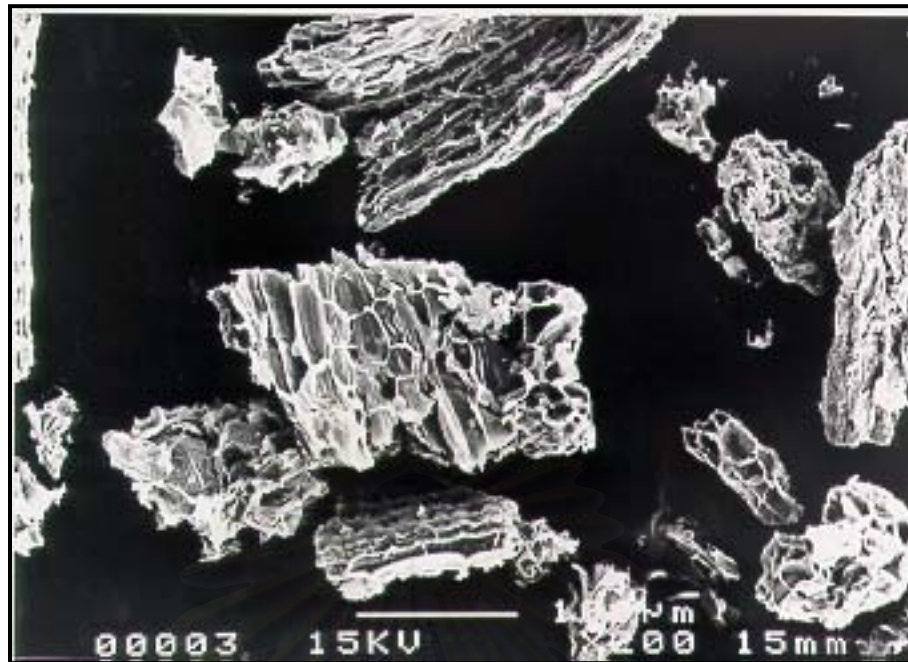
ก.



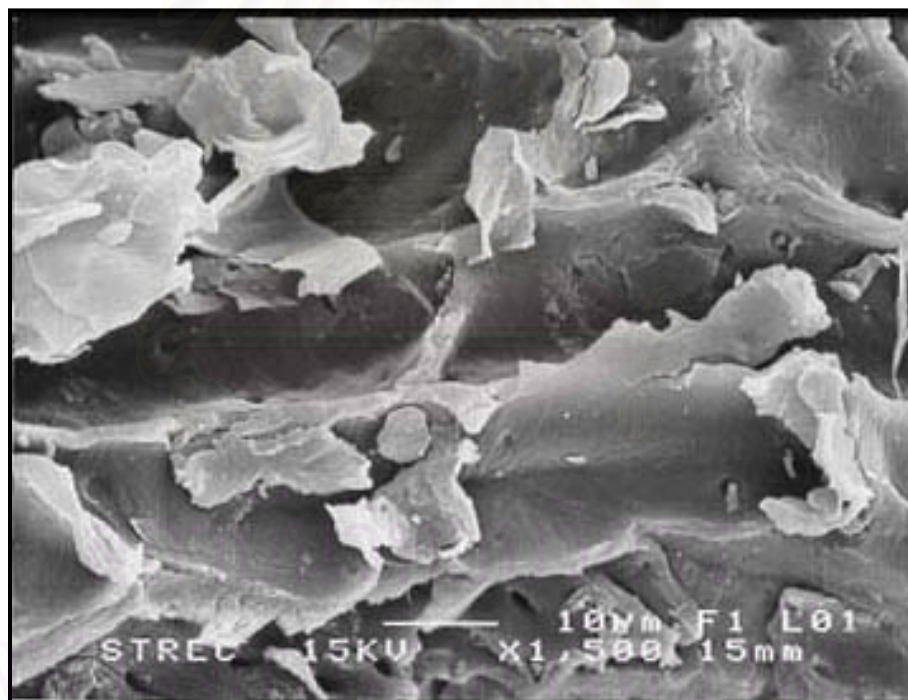
ข.

รูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นผิวของควอร์ตไซต์ในซึ่ครอสสลิงก์ต้นมันสำปะหลังเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.



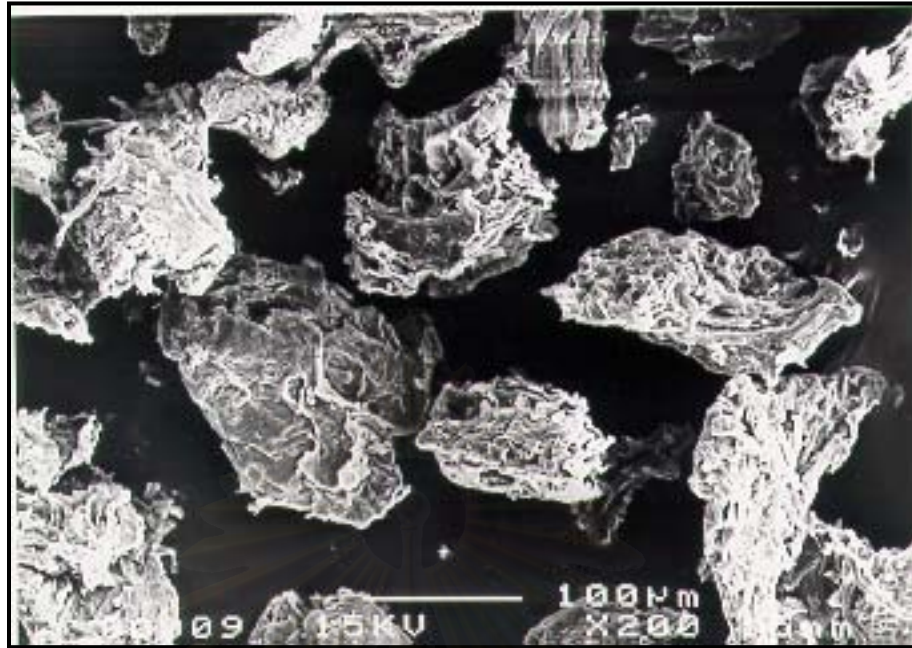


ก.

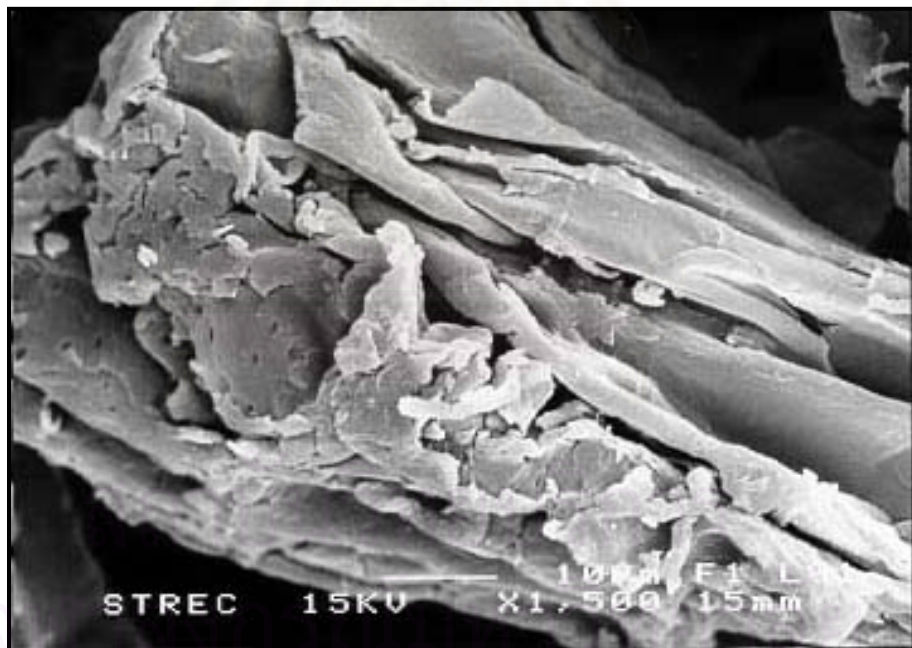


ข.

รูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวของไม้สับปะรดที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.



ก.

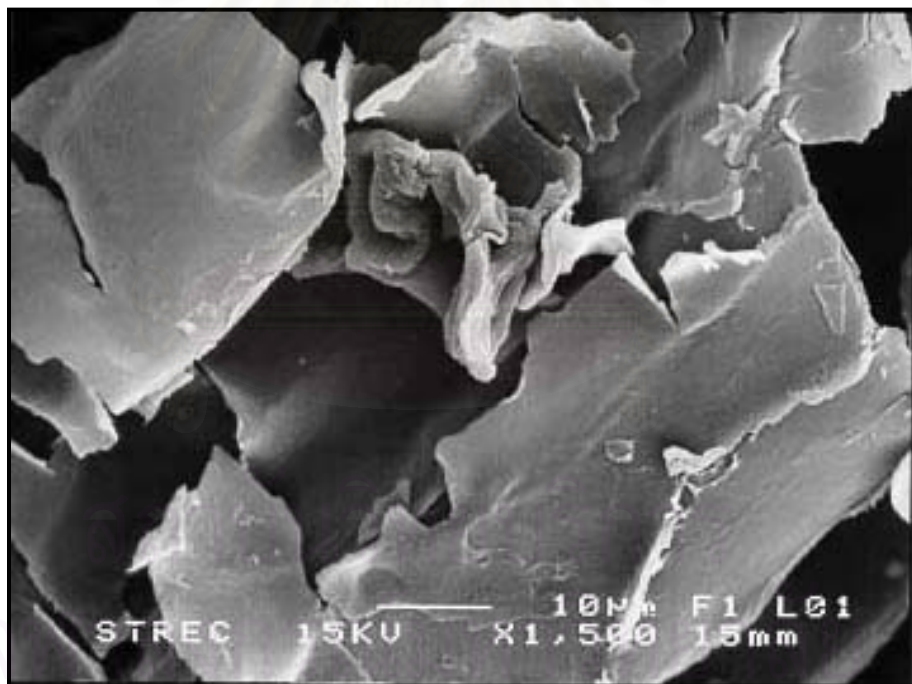


ข.

รูปที่ 4.22 ลักษณะพื้นผิวของควอเทอร์ไนซ์ครอสสลิ่งกีโอบัสบะรดเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.



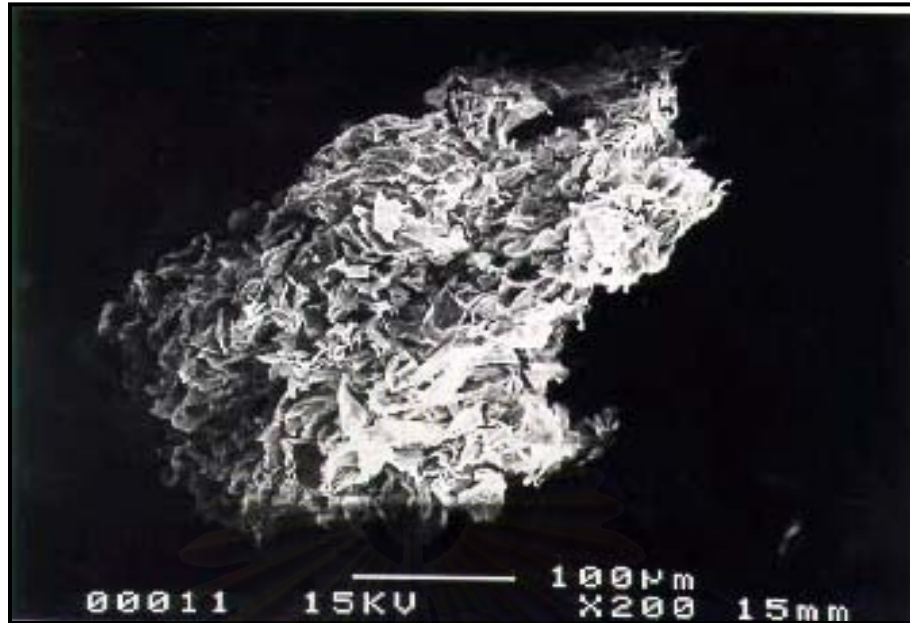
ก.



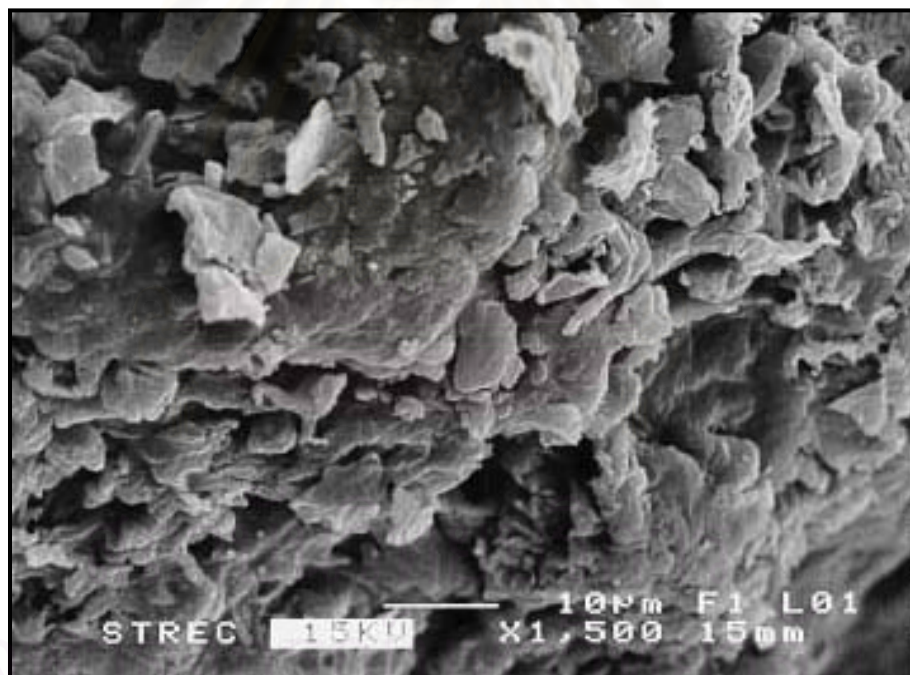
ข.

รูปที่4.23 ลักษณะพื้นผิวของกาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.



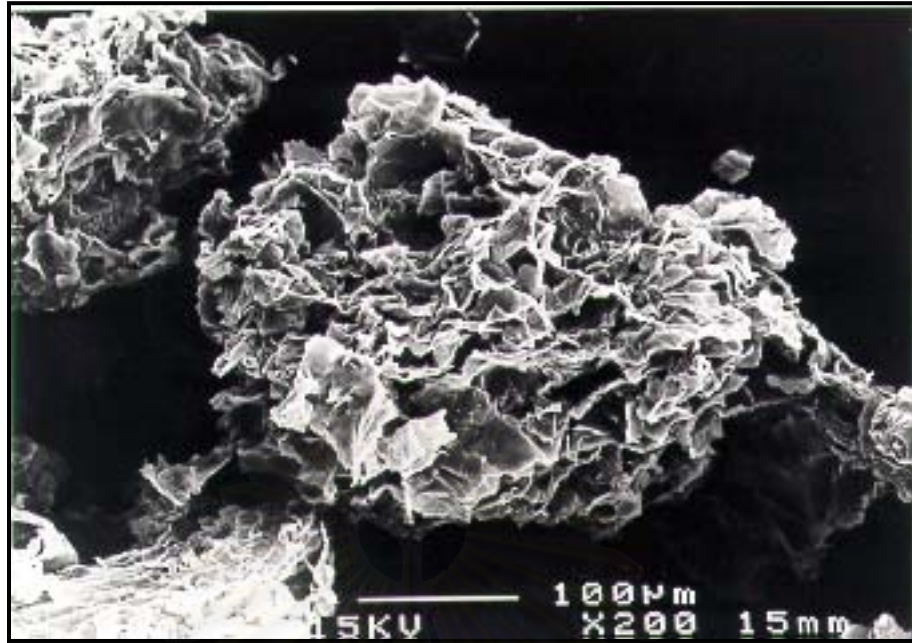


ก.

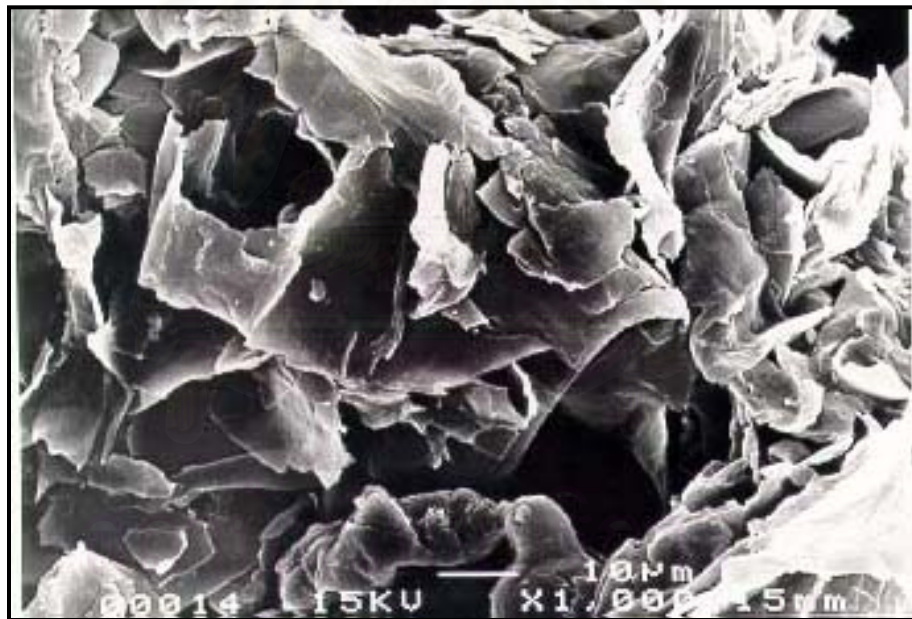


ข.

รูปที่ 4.24 ลักษณะพื้นผิวของควอartzเทอริไนซ์คริสตัลสึ่ลึงก์กาบมะพร้าวเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1,500 เท่า ข.

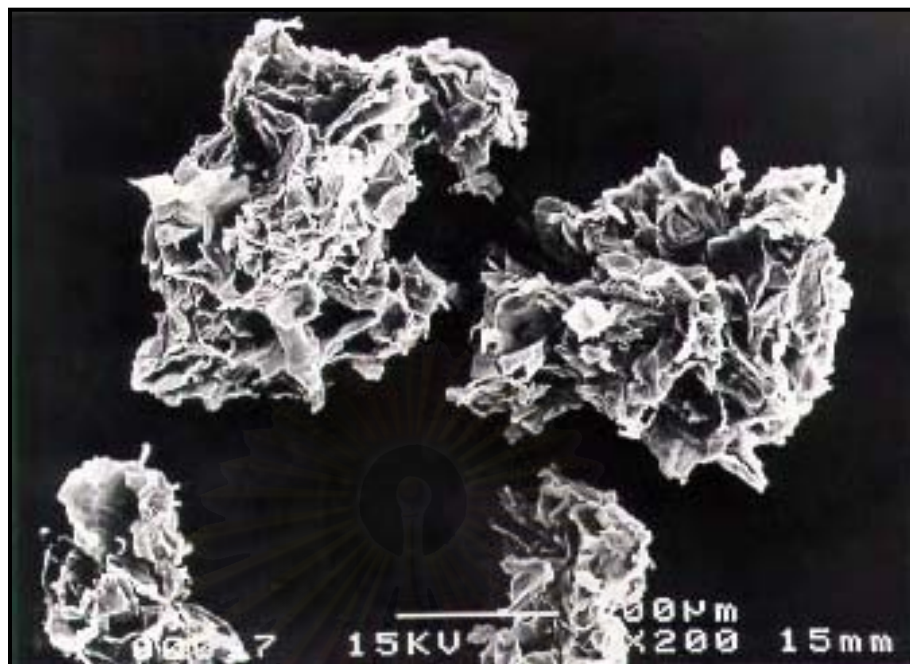


ก.



ข.

รูปที่ 4.25 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์กาบพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Blue KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1000 เท่า ข.



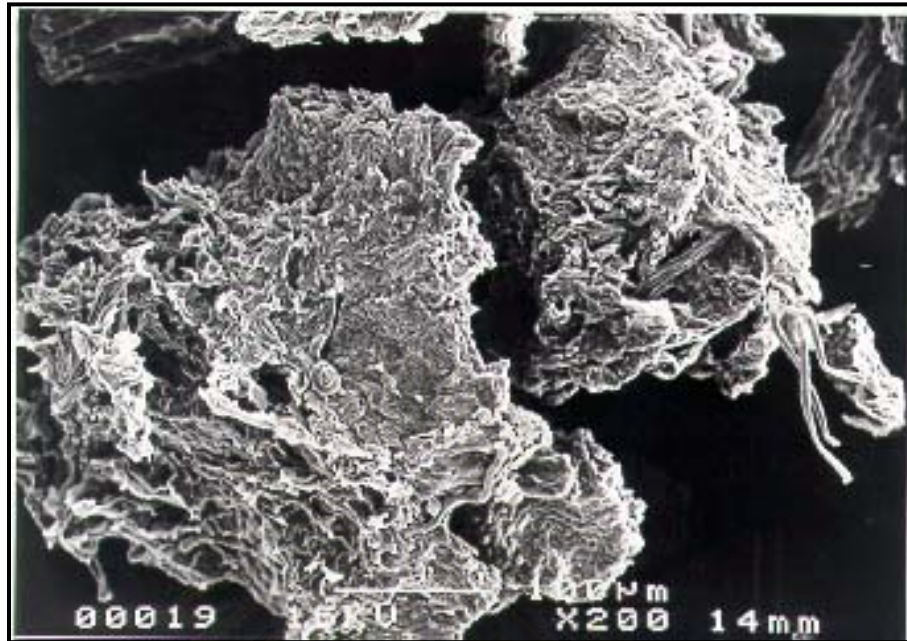
ก.



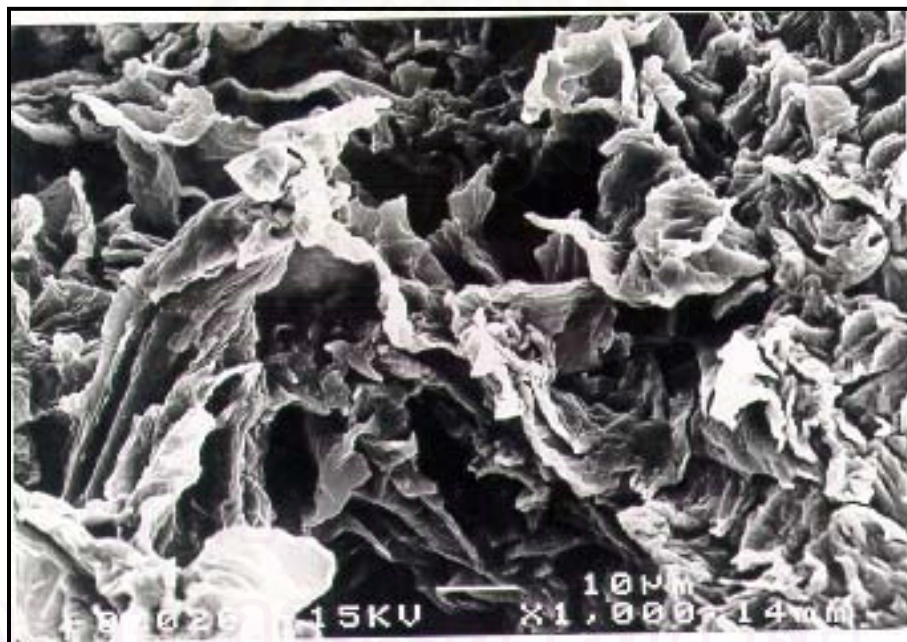
ข.

รูปที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวของควอartzเทอริโนซ์คริสตัลลิ่งกึ่งกึ่งนำที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Rubine KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1000 เท่า ข.



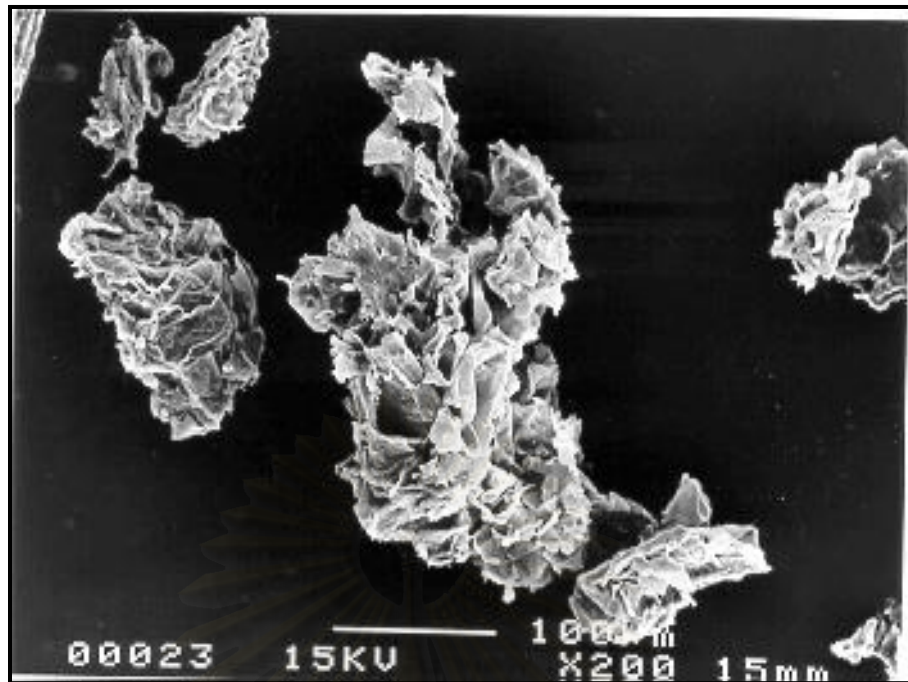


ก.

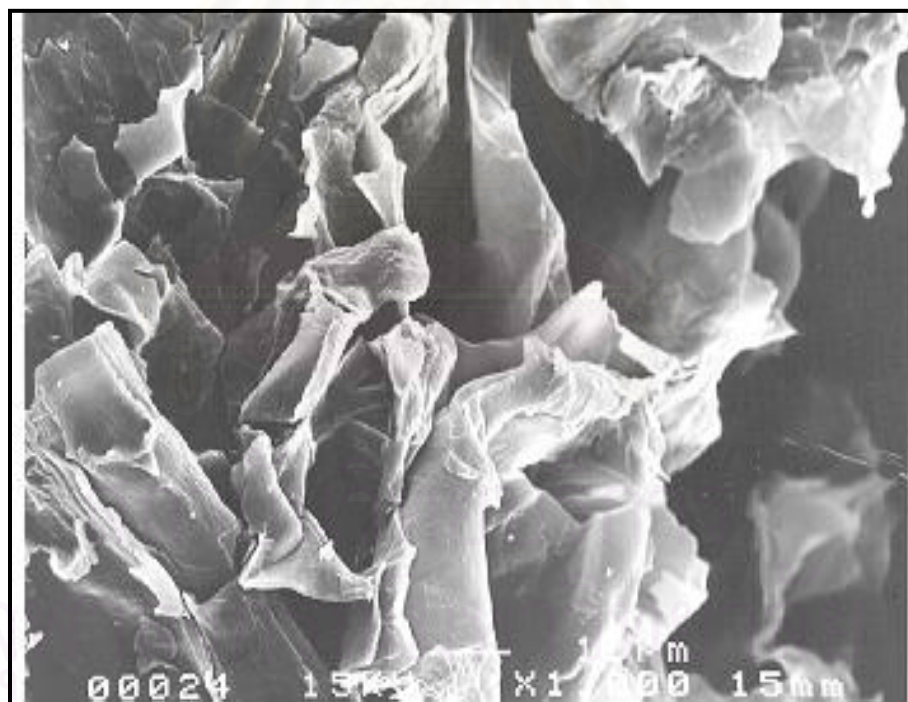


ข.

รูปที่ 4.27 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์กาบพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1000 เท่า ข.



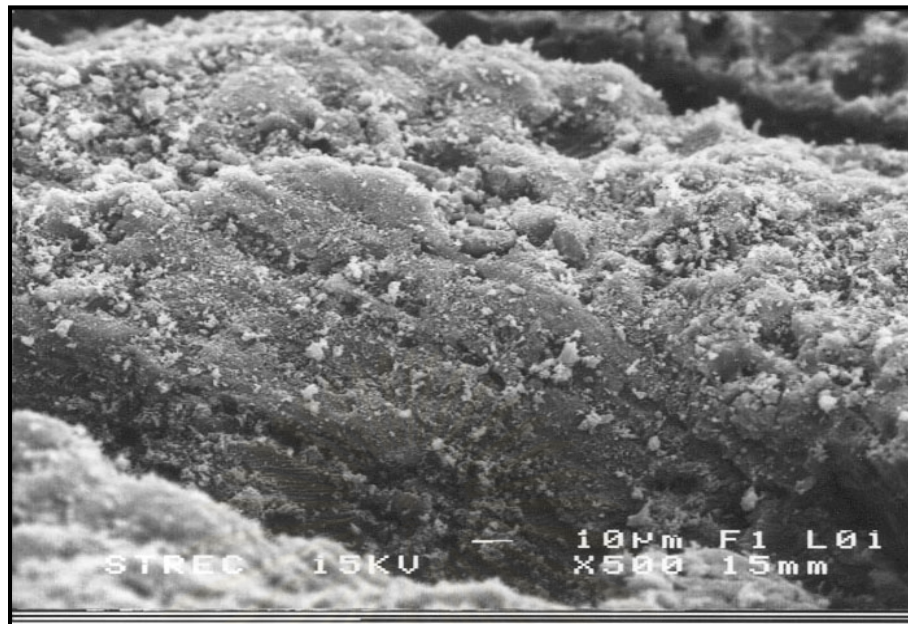
ก.



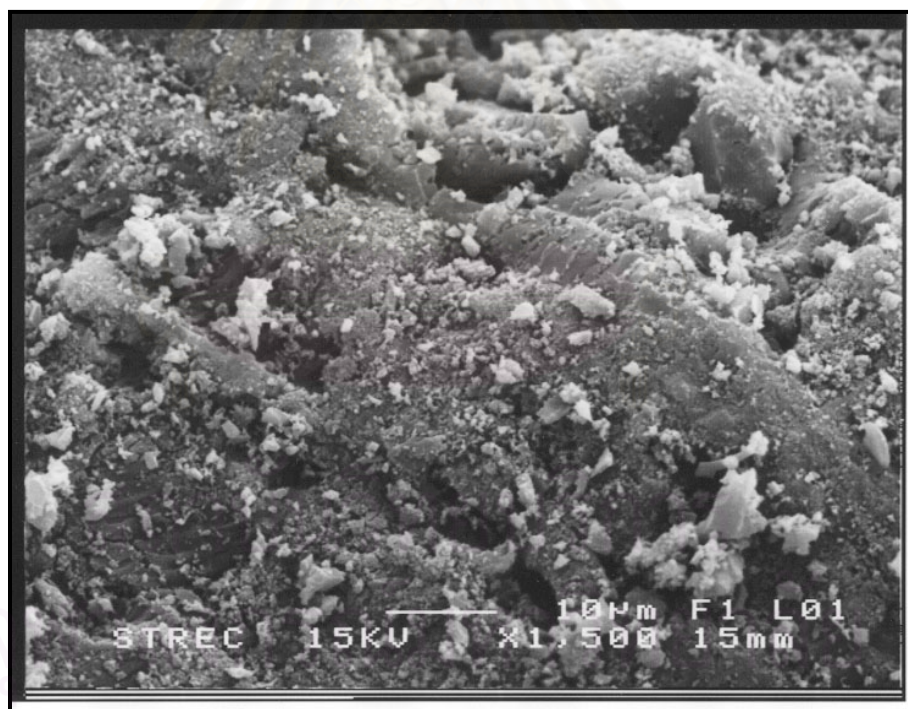
ข.

รูปที่ 4.28 ลักษณะพื้นผิวของควอซเทอริไนซ์คริสตัลลิ่งที่กาบพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก. และ 1000 เท่า ข.





ก.



ข.

รูปที่ 4.29 ลักษณะพื้นผิวของ Activated Carbon (F-400) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 500 ก. และ 1,500 เท่า ข.



#### 4.4.2 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ

จากการศึกษาความหนาแน่นของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด กาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ (UNT) และชนิดที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ (Q-R) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7 พบว่า ใบสับปะรดที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ มีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 4.21 กรัมต่อลบ.ซม. และกาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 2.12 กรัมต่อลบ.ซม. และเมื่อเปรียบเทียบวัสดุชนิดเดียวกัน จะพบว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ จะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในวัสดุทั้ง 3 ชนิด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ มีไฮโดรคาร์บอนส่วนหนึ่งทำหน้าที่ประสานให้เกิดความเหนียวแน่น ทำให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่า วัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ

#### 4.4.3 ผลการศึกษาการบวมน้ำของวัสดุ

จากการศึกษาการบวมน้ำของวัสดุทั้ง 3 ชนิดพบว่า พบว่าใบสับปะรด ที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ มีค่าการบวมน้ำสูงสุดคือ 3.40 มล.เปียกต่อมล.แห้ง และกาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าการบวมน้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 1.15 มล.เปียกต่อมล.แห้ง ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งคาดว่า จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูงเกินไป จนทำให้ช่องว่างภายในเรซินเหลือน้อย การแลกเปลี่ยนไอออนจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากไอออนไม่สามารถเคลื่อนที่เข้า-ออกได้สะดวก เมื่อเปรียบเทียบวัสดุชนิดเดียวกัน พบว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพโดยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ จะทำให้ค่าการบวมน้ำมากกว่า ที่ไม่ได้ปรับสภาพ

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดวัสดุ		ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	การบวมน้ำ (มล.เปียกต่อมล.แห้ง)
ต้นมันสำปะหลัง	UNT	3.18	1.65
	Q-R	3.38	1.70
ใบสับปะรด	UNT	3.62	1.80
	Q-R	4.21	3.40
กาบมะพร้าว	UNT	2.12	1.15
	Q-R	3.44	1.80

#### 4.4.4 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุ

จากผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุนของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ด้วยเครื่อง BET Surface Area Analyzer ได้ผลดังตารางที่ 4.8 และภาคผนวก จ. ซึ่งพบว่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์จะมีปริมาณใกล้เคียงกับที่ไม่ได้ปรับสภาพ โดยที่กาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 7.0514 ต.ร.ม./กรัม สำหรับต้นมันสำปะหลังและใบสับปะรด ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ มีพื้นที่ผิว 6.1455 ต.ร.ม./กรัม และ 7.5219 ต.ร.ม./กรัม ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ มีปริมาณมากกว่าพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของวัสดุทั้งสามชนิดทั้งชนิดก่อนและหลังปรับสภาพมาก แต่ผงถ่านกัมมันต์มีขนาดของรูพรุนน้อยกว่าวัสดุทั้งสามชนิดทั้งก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพ

ตารางที่ 4.8 แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุน

ลักษณะ	ผงถ่านกัมมันต์	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
		Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
พื้นที่ผิว							
BET Surface Area (sq.m./g)	1,163.81	4.625	6.1455	5.5467	7.5219	6.4316	7.0514
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 A. dia. (sq.m./g)	1,155.19	3.0020	4.2544	3.2037	4.1974	4.3997	5.6507
ปริมาตรของรูพรุน							
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of Pore between 17-3000 A. dia. (cc./g)	0.8118	0.0047	0.00667	0.0043	0.0068	0.0072	0.0097
ขนาดของรูพรุน							
Average Pore Diameter (A)	26.7743	49.3344	52.1635	39.2880	44.6576	53.3376	57.6772
BJH Adsorption Average Pore Diameter (A)	56.0693	62.9030	62.8995	54.2928	50.7960	65.2727	60.6407

#### 4.5 ผลการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ

จากการวิเคราะห์หาโครงสร้างของวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และ กาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ โดยเครื่องฟูรีเออร์ทรานซฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) ที่จำนวนคลื่น (Wave Number) ช่วง 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  หรือ ช่วงความยาวคลื่น 2.5-25 ไมครอน สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.9 และภาคผนวก ค.

จากผลการทดลองจะพบว่า ต้นมันสำปะหลังและกาบมะพร้าวที่ปรับสภาพ มีหมู่ฟังก์ชัน  $-\text{CH}_2-\text{O}$  (จำนวนคลื่น ช่วง 1250-1000  $\text{cm}^{-1}$ ) ซึ่งเป็นหมู่โครงสร้างของเซลลูโลสสูงสุดใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงคาดว่าในต้นมันสำปะหลังและในกาบมะพร้าวจะมีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าใบสับปะรด และเมื่อพิจารณาวัสดุทั้ง 3 ชนิดทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ พบว่า ส่วนใหญ่วัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ จะมีหมู่ฟังก์ชัน  $-\text{OH}$  (จำนวนคลื่น ช่วง 3500-3250  $\text{cm}^{-1}$ ),  $-\text{CH}$  (จำนวนคลื่น ช่วง 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$ ) และ  $-\text{CH}_2-\text{O}$  (จำนวนคลื่น ช่วง 1250-1000  $\text{cm}^{-1}$ ) สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ ซึ่งคาดว่าหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นเกิดจากสารควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เข้าไปเกาะอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลส

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของกาบมะพร้าว ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสียอมได้ดีที่สุดอีกครั้งภายหลังการทดลอง โดยศึกษา กาบมะพร้าวที่ผ่านการกำจัดสี ไทเนคท์ 3 โทเน ได้แก่ Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL และ Best Direct Black B และสีรีแอกทีฟ 3 โทเน ได้แก่ Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS และ Remazol Black B ซึ่งจะเห็นได้ว่า กาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ ภายหลังการกำจัดสี จะมีหมู่ฟังก์ชันหลักได้แก่  $-\text{OH}$ ,  $-\text{CH}$ ,  $-\text{CH}_2-\text{O}$ - และ  $\text{C}=\text{C}$  ลดลง

ตารางที่ 4.9 แสดงโครงสร้างหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	ค่า Absorbance ในหมู่ฟังก์ชันต่างๆ				
	-OH	-CH	-CH <sub>2</sub> -O	C=C	
ก่อนการทดลอง					
- ต้นมันสำปะหลัง	Untreat	0.38	0.06	0.27	0.09
	Q-R	0.54	0.10	0.28	0.17
- ใบสับปะรด	Untreat	0.39	0.06	0.21	0.09
	Q-R	0.13	0.07	0.15	0.08
- กาบมะพร้าว	Untreat	0.55	0.08	0.36	0.19
	Q-R	0.56	0.09	0.38	0.18
- กาบมะพร้าว Q-Rหลัง การกำจัดสี					
- Sirius Blue KCFN		0.52	0.08	0.25	0.18
- Sirius Rubine KZBL		0.47	0.05	0.29	0.14
- Best Direct Black B		0.46	0.06	0.24	0.18
- กาบมะพร้าว Q-Rหลังการกำจัดสี					
-Remazol Brilliant Blue R		0.46	0.10	0.26	0.13
- Remazol Brilliant Red 3BS		0.42	0.081	0.26	0.15
- Remazol Black B		0.41	0.05	0.25	0.15

#### 4.6 การหาปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ในวัสดุ โดยใช้เครื่อง Elemental Analysis

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในโครงสร้างของวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และก้ามมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิ่งก์ โดยเครื่อง Elemental Analysis สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.10 และภาคผนวก ง. ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าวัสดุที่ผ่านทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิ่งก์ทั้ง 3 ชนิดจะมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารที่ควอร์เทอร์ไนซ์ได้ไปจับกับเซลล์ลอส กลายเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ว่าวัสดุทั้งสามชนิดนั้นผ่านการทำควอร์เทอร์โคสสลิ่งก์

แล้วหรือยังจากการหาปริมาณของกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิด โดยที่ต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว ก่อนปรับสภาพมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.796%, 1.108% และ 0.652% ตามลำดับ สำหรับวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.482%, 2.008% และ 1.544% ตามลำดับ

#### ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณธาตุในโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดธาตุ	ปริมาณธาตุตามชนิดวัสดุ					
	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับประรด		กาบมะพร้าว	
	UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
คาร์บอน (%C)	41.690	43.433	45.189	43.717	46.649	46.926
ไฮโดรเจน (%H)	4.612	5.514	5.889	6.464	5.033	5.676
ไนโตรเจน (%N)	0.796	1.482	1.108	2.008	0.652	1.544

#### 4.7 พีเอช

##### 4.7.1 ค่าพีเอชของน้ำก่อนและหลังผ่านการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเสียสีย้อมไดเรกต์ 3 โทน ได้แก่ สี Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL และสีย้อมรีแอคทีฟ 3 โทน ได้แก่ สี Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS ทั้งก่อนและหลังการใช้วัสดุทั้งสามชนิดกำจัดสีสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่า ในสีไดเรกต์พีเอชของสารละลายสีก่อนการทดลอง มีคุณสมบัติเป็นเบสคืออยู่ในช่วง 6.2-9.6 และสารละลายสีหลังการทดลองโดยใช้วัสดุไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดพบว่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.8 - 7.7 สำหรับสีรีแอคทีฟ พีเอช ของสารละลายสีก่อนการทดลองอยู่ในช่วง 5.2-7.7 และสารละลายสีหลังการทดลองโดยใช้วัสดุไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดพบว่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.8 - 7.7 ในส่วนของสารละลายสีหลังการทดลองที่ใช้วัสดุที่ปรับสภาพโดยผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ทั้งสามชนิดพบว่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.2-4.9

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพีเอชของสารละลายโดยใช้วัสดุทั้งสามชนิดทั้งก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอคทีฟพบว่า การให้วัสดุที่ผ่านการปรับสภาพโดยผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์กำจัดสีจะทำให้ พีเอชของสารละลายลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าพีเอชของสารละลายสีก่อนและหลังการทดลอง

สีย้อม	ก่อน การ ทดลอง	หลังการทดลอง					
		ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
		UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
<b>สีไคเรกท์</b>							
Sirius Blue KCFN	6.2-7.8	6.0-7.3	3.3-4.9	5.8-6.7	3.3-4.4	6.3-6.9	3.3-3.5
Sirius Rubine KZBL	6.1-7.2	6.0-7.0	4.0-4.5	6.0-7.2	4.0-4.3	6.0-7.1	3.4-3.5
Best Direct Black B	9.1-9.6	6.5-7.7	5.3-6.8	6.6-7.3	5.2-6.8	7.2-7.8	3.9-6.7
<b>สีรีแอกทีฟ</b>							
Remazol Brilliant Blue R	6.2-6.7	5.6-7.7	4.1-4.7	5.6-7.5	3.3-4.1	6.3-7.7	3.3-3.4
Remazol Brilliant Red 3BS	4.0-4.6	5.6-5.9	4.1-4.4	5.6-5.9	3.7-3.8	6.1-6.5	3.2-3.4
Remazol Black B	5.1-5.6	5.7-6.7	4.3-4.9	5.2-6.5	3.8-4.2	5.7-6.7	3.2-3.5

#### 4.7.2 ค่าพีเอชของน้ำก่อนและหลังผ่านการกำจัดสีในน้ำเสียจริง

ผลการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเสียจริง ก่อนและหลังกำจัดสีโดยใช้ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และชนิดที่ผ่านการปรับสภาพโดยวิธีควอร์เทอร์ไนซ์โครออสส์ลิงก์เซลลูโลส เปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งพบว่า ในการใช้วัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้า จะทำให้ค่าพีเอชลดลงเล็กน้อย คือค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.2-7.2 และการใช้วัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพกำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมผ้า จะทำให้ค่าพีเอชลดลงอยู่ในช่วง 4.2-4.7 สำหรับการใช้ผงถ่านกัมมันต์กำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมผ้าพบว่าค่าพีเอชหลังการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชก่อนการทดลอง คือค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 7.3-7.5 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.3



ตารางที่ 4.12 ค่าพีเอชของสารละลายสีก่อนและหลังการทดลอง

ครั้งที่	ก่อนการทดลอง	ผงดำน กัมมันต์	หลังการทดลอง					
			ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กาบมะพร้าว	
			UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
1	7.5	7.3	7.2	4.9	6.7	4.2	6.8	3.6
2	7.9	7.1	7.0	4.5	6.2	4.3	7.0	3.5
3	8.5	7.5	7.1	4.3	6.3	4.8	7.2	4.7
<b>เฉลี่ย</b>	7.96	7.3	7.26	4.56	6.4	4.43	7.0	3.93

#### 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุต่าง ๆ

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์และสีรีแอกทีฟโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่างๆ พบว่าวัสดุแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุต่าง ๆ

สีย้อม	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ)						
	บุญฤทธิ์, 2543			ลัดดา, 2544	รัชนิย์		
	ก้านดอก ทานตะวัน	เปลือกถั่ว เหลือง	ซังข้าว โพด	ชานอ้อย	ต้นมัน สำปะหลัง	ใบ สับปะรด	กาบ มะพร้าว
<b>สีไคเรกท์</b>							
Sirius Blue KCFN	243.90	222.22	769.23	99	424	420	454
Sirius Rubine KZBL	370.37	263.16	1,000	211	500	480	500
Best Direct Black B	192.31	181.82	322.58	229	333	310	333
<b>สีรีแอกทีฟ</b>							
Remazol Brilliant Blue R	833.33	714.29	1,111	141	615	620	625
Remazol Brilliant Red 3BS	909.10	714.29	1,250	247	615	620	625
Remazol Black B	625.00	555.56	1,000	247	555	510	555

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีไดเรกต์และสีรีแอคทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นสี 50, 70, 90, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ โดยทำการทดลองโดยใช้ เครื่องเขย่า (Shaker) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

#### 1. ประสิทธิภาพในการกำจัดสี

1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-22.15% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.02% ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์มาก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 68.43-100% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.54% โดยวัสดุทั้ง 3 ชนิดจะกำจัดสีย้อมได้ดีที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความสามารถในการกำจัดสีรีแอคทีฟได้ดีกว่าสีไดเรกต์

1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้าโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ก่อนและหลังปรับสภาพโดยผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลสเปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ พบว่าวัสดุไม่ได้ปรับสภาพทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัด 5.46-9.25% และวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 98.13-99.10% สำหรับผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 100%

1.3 การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีโดยใช้ไอโซเทอม พบว่าความสามารถในการดูดติดสีมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

1.4 การศึกษาหาขีดความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลส พบว่าต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว ที่ผ่านการปรับสภาพมีขีดความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี อยู่ในช่วง 0.62-0.68, 0.68-0.86 และ 0.69-0.86 meq./g dry resin ตามลำดับ

1.5 การศึกษาค่าพีเอช พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดทั้งชนิดที่ผ่านการปรับสภาพและชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะมีผลต่อพีเอชของสารละลายสีหลังการทดลองโดยทำให้ค่าพีเอชของสารละลายลดลงเล็กน้อย

## 2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างของวัสดุ

2.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพโดยควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส วัสดุจะรวมตัวกันแน่นขึ้น เนื้อวัสดุเป็นหยัก บริเวณผิวของวัสดุขรุขระและร่องรอยที่เกิดลึกมากขึ้น

2.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้เครื่อง FT-IR พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพโดยควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส จะมีหมู่ฟังก์ชัน  $-OH$ ,  $-CH$  และ  $-CH_2-O$  เพิ่มขึ้น และหมู่ฟังก์ชันหลักได้แก่  $-OH$ ,  $-CH$ ,  $-CH_2-O$  และ  $C=C$  ของกابมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพ ภายหลังจากการกำจัดสีย้อมและสีรีแอกทีฟ จะมีปริมาณลดลง

2.3 การศึกษาหาปริมาณธาตุไนโตรเจนด้วยเครื่อง Elemental Analysis พบว่า ต้นมันสำปะหลัง ในสับปะรด และกابมะพร้าว ที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ จะมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 0.686%, 0.9% และ 0.892% ตามลำดับ

2.4 การศึกษาความหนาแน่น พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์เซลลูโลส จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ

2.5 การศึกษาการบวมน้ำ พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพ จะมีค่าการบวมน้ำสูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ สำหรับวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์ ต้นมันสำปะหลังจะมีค่าการบวมน้ำต่ำที่สุดคือเท่ากับ 1.70 มล.เปียกต่อมล.แห้ง ส่วนใบสับปะรดมีค่าการบวมน้ำสูงสุดคือเท่ากับ 3.40 มล.เปียกต่อมล.แห้ง

2.6 การศึกษาพื้นที่ผิว พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์จะมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพเล็กน้อย สำหรับปริมาตรและขนาดของรูพรุน วัสดุที่ผ่านการปรับสภาพทั้งสามชนิดจะมีปริมาตรและขนาดของรูพรุนมากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ

## บทที่ 6

### ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์ เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าวยังมีสิ่งที่น่าสนใจควรศึกษาเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียประเภทอื่นๆ ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว
2. ออกแบบและทดลองหาวิธีการบำบัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่ลดลง
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการทดลองจากการใช้เครื่องเขย่า (Shaker) มาเป็นแบบคอลัมน์เพื่อหาความสามารถในการกำจัดสีเมื่อเปลี่ยนรูปแบบของทดลอง และเพื่อประยุกต์ใช้ในงานจริง
4. ศึกษาผลของขนาดวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมื่อทำการทดลองแบบคอลัมน์
5. ศึกษาถึงการนำวัสดุที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กนก รัตน์ะกนกชัย. การผลิตเอ็นโซมโซลูชันและเอมิซันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2528.
- เกษม พิพัฒน์ปัญญากุล. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
- จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีในโครอสติงค์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ชลดา ไกรวัฒน์สุนทรณ์, ลัดดา ยาวีร์ชน และศักดิ์จิตรา ต้นสมบุญรณ์. การผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- ชัยยุทธ ช่างสาร. การย้อมสีผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- ฉมาลีศา เนียมมณี. การกำจัดสีรีแอกทีฟที่ฟรอนต์ 2 ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้แบคทีเรียเด่นในกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนโรบิก - แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- ธงชัย พรธอนสวัสดิ์. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า. รายงานวิจัยชั้นสมบุญรณ์, เล่มที่ 2 ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- นัฐพล แสนสวาท, นิคม ดุพัทธ์กุล, ปกรณ์ จารุตระกูลชัย และ ปิติ ปิยะจตุรวัฒน์. การกำจัดสีย้อมโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลือง) เปรียบเทียบกับแอคทีเวเตดคาร์บอน. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- บุญยฤทธิ์ ปัญญาภิญญผล. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีในโครอสติงค์เซลลูโลสที่ทำจากข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.



- ปริญานุช นาคพงศ์. การปรับปรุงวัสดุขุ้มน้ำพื้นฐานเซลลูโลสโดยกราฟโพลิเมอไรเซชันของอะครีโลไนด์ในทริลและกรดอะคลิลิกบนไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- ปราณี สติรพิพัฒน์กุล. การผลิตอะซีโตนบิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- ปรานอม ชาวเมฆ. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. วิศวกรรมกรรมประปา. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- ลัดดา ยาวีร์ชัย. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อรุณยา. การบำบัดสีไดเรกต์ด้วยผงผักตบชวา. โครงการงานระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- สัญญาวัล อิงคภาคย์. ประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เทคนิคการพิมพ์, 2527.

#### ภาษาอังกฤษ

- 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: 113-123.
- 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.
- Buckley, C.A. Membrane technology for The Treatment of Dyehouse Effluents. Water Science Technology. Vol.20, 1992: 203 – 209.

- El-Geundi, M.S. Color Removal from Textile Effluents by Adsorption Techniques. Water Research. Vol.25, No.3, 1991: 271-273.
- Goksoyr, J., and Eriksen, J. Cellulase: Microbial Enzymes and Bioconversions, Economic Microbiology, 1980.
- Gupta, M.P., and Bhattacharya, P.K. Study on Colour Removal from Bleach Plant Effluent of Kraft Pulp Mill. Journal of Chemical Technology Biotechnology. 35B, 1985: 33-42.
- Johnson, A. The Theory of Coloration of Textiles. 2<sup>nd</sup> ed. Bradford: The Society of Dyes and Colourists, 1989.
- Laszlo, J.A., and Dintzis, F.R. Crop Residues as Ion-Exchange Material. Treatment of Soybean Hull and Sugar Beet Fiber (Pulp) with Epichlorohydrin to Improve Cation-Exchanger Capacity and Physical Stability. Journal of Applied Polymer. Vol.52, 1994: 531-538.
- Laszlo, J.A. Electrolyte Effects on Hydrolyzed Reactive Dye Binding to Quaternized Cellulose. Textile Chemist and Colorist. Vol.27, No.4, 1995 : 25-27.
- Laszlo, J.A. Preparing an Ion-Exchange Resin from Sugarcrane Bagasse to Remove Reactive Dye from Wastewater. Textile Chemist and Colorist. Vol.28, No.5, 1996: 13-17.
- Lee, C.K., and Low, K.S. Removal of Copper from Solution Using Moss. Environmental Technology Letters Vol.10 (1989): 395-404.
- Li, G., and Zhao, Q. Dyeing Wastewater Treatment by Ash-cinder and Dust/Off Gas. Water Science Technology. Vol.24, No.5, 1991: 215-220.
- Low, K.S., Lee, C.K., and Wong, S.L. 1995 Effect of dye modification on the sorption of copper by coconut husk. Environmental Technology 16(9): 877-883.
- McKay, G., Ramprasad, G., and MowLi, P. Desorption and Regeneration of Dye Colours from Low-Cost Materials. Water Research. Vol.21, No.3, 1987: 375-377.
- McKay, G., El-Geundi, M., and Nassar, M.M. Equilibrium Studies During the Removal of Dyestuffs from Aqueous Solutions Using Bagasse Pith. Water Research. Vol.21, No.12, 1987: 1513-1520.
- Metcalf and Eddy, Disposal and use. 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill. Wastewater Engineering: Treatment, New York, 1991: 15-20.

- 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. Vol.17, No.1, Jan 1995: 18-22.
- Meyer, V., Carlsson F.H.H., and Oellermann, R.A. Decolorizaion of Textile Effluent Using a Low Cost Natural Adsorbent Material. Water Science Technology. Vol.26, No.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.
- Poots, V.J.P., McKay, G., and Healy, J.J. The Removal of Acid Dye from Effluent Using Natural Adsorbent-I, II. Water Research. Vol.10, 1976: 1061-1070.
- Rangnekar, D.W. and Singh, P.P. An Introduction to Synthetic Dyes. Dhanraj: Himalaya Publishing House, 1980: 21-28
- Shi, W., Xu, X. and Sun, G. Chemically Modified Sunflower stalks as Adsorbents for Color Removal from Textile Wastewater. Journal of Applied Polymer Science. Vol.71, 1999: 1841-1850.
- Sun, G. and Xu, X. Sunflower Stalks as Adsorbents for Color Removal from Textile Wastewater. Industrial Engineering Chemistry Research. Vol.36, No.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. The 3<sup>rd</sup> Southeast Asian Regional Conference on Higher Engineering Education Network. Manila Peninsula, 27-28 Oct 1999.

### บรรณานุกรม

- เพชรพร เชาวกิจเจริญ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. รายงานผลการวิจัย ศูนย์ดามิเชกสมโภช ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537
- อภาอร รักษ์บุญยวง, บัวแก้ว เวสสุบุตร และวารุณี วัฒนถนอม. การปรับปรุงสมบัติเส้นใยเซลลูโลส เพื่อเพิ่มการดูดติดสีย้อมรีแอคทีฟให้กับเส้นใย. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540




สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก.

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	6.22	136.388	2731	113.202	2386.799	17.00
70	6.34	6.08	143.985	2833.765	137.445	2708.188	4.54
90	6.19	6.05	185.795	3399.329	148.30	2852.093	20.18
100	6.82	6.32	218.30	3839.024	177.71	3241.981	18.59
150	6.25	6.11	310.105	5080.87	272.14	4493.84	12.24
200	6.56	6.04	422.49	6601.102	347.24	5489.441	17.81

ตารางที่ ก2. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.13	6.03	93.75	2419.463	74.145	2386.408	20.91
70	6.16	6.56	127.9	2477.039	107.255	2442.232	16.165
90	6.57	6.96	158.355	2528.387	142.625	2501.866	9.93
100	6.75	6.09	181.61	2567.594	153.595	2520.361	15.43
150	7.23	6.11	288.55	2747.895	240.93	2667.608	16.50
200	6.99	6.10	537.13	3167.001	309.01	2782.391	42.47

ตารางที่ ก3. สี Best Direct Black B ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	9.11	6.75	131.14	1280.415	109.32	1189.67	16.64
70	9.20	6.74	147.905	1350.137	120.88	1237.746	18.27
90	9.43	6.56	190.41	1526.907	164.11	1417.531	13.81
100	9.44	6.75	214.085	1625.367	187.61	1515.262	12.37
150	9.60	7.70	292.875	1953.039	267.33	1846.802	8.72
200	9.62	7.50	350.235	2191.587	340.93	2152.89	2.66

ตารางที่ ก4. สี Remazon Brillant Blue R (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.70	7.76	60.54	1380.389	60.565	1380.676	7.62
70	6.76	6.29	73.77	1532.256	59.08	1363.629	19.91
90	6.42	6.04	95.67	1783.646	90.02	1718.79	5.90
100	5.62	5.62	108.89	1935.398	104.53	1885.35	4.00
150	5.95	6.07	156.425	2481.053	154.62	2460.333	1.15
200	5.67	5.95	205.375	3042.95	198.02	2958.522	3.59

ตารางที่ ก5. สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.59	6.37	86.432	2416.969	83.591	2408.769	3.29
70	4.40	5.89	103.255	2465.525	97.485	2448.871	5.52
90	4.69	5.98	128.695	2538.952	122.16	2520.09	5.08
100	4.28	5.70	144.54	2584.686	141.695	2576.474	2.845
150	4.06	5.68	210.30	2774.489	204.95	2759.047	2.54
200	3.90	5.62	275.87	2963.744	270.45	2948.1	1.96

ตารางที่ ก6. สี Remazol Black B (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.59	6.48	188.85	2292.009	168.160	2264.284	10.96
70	5.35	5.71	245.04	2391.746	234.502	2382.041	4.30
90	5.18	5.15	320.81	2526.238	316.83	2528.173	1.24
100	5.30	6.25	366.45	2607.249	349.12	2585.488	4.73
150	5.54	6.71	513.62	2868.476	506.52	2864.873	1.38
200	5.50	5.49	689.62	3180.876	660.75	3138.631	4.19

ตารางที่ ก7. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบโสับปะรด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	5.92	136.38	1302.207	118.159	1226.43	13.37
70	6.32	5.96	143.985	1333.835	138.942	1312.862	3.50
90	6.03	5.85	185.795	1507.714	152.507	1369.276	17.91
100	6.58	5.75	218.30	1642.896	188.617	1519.45	13.60
150	6.33	5.86	310.105	2024.695	254.952	1795.324	17.78
200	6.70	5.50	422.49	2492.081	374.447	2292.28	11.37

ตารางที่ ก8. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบโสับปะรด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.07	5.96	93.75	2419.463	72.987	2384.456	22.15
70	6.19	6.27	127.9	2477.039	103.502	2435.904	19.08
90	6.98	6.62	158.355	2528.387	134.567	2488.28	15.02
100	6.69	6.05	181.61	2567.594	145.572	2506.834	19.84
150	7.21	5.95	288.55	2747.895	240.132	2666.263	16.78
200	7.09	6.03	537.13	3167.001	338.162	2831.541	37.04

ตารางที่ ก9. สี Best Direct Black B ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบโสับปะรด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.15	6.60	131.14	1280.415	104.637	1170.194	20.21
70	9.20	6.74	147.905	1350.137	117.952	1225.569	20.25
90	9.45	7.44	190.41	1526.907	153.612	1373.872	19.11
100	9.48	6.74	214.085	1625.367	176.787	1470.252	17.42
150	9.59	7.34	292.875	1953.039	248.112	1766.878	15.28
200	9.63	7.18	350.235	2191.587	334.102	2124.493	4.06

ตารางที่ ก10. สี Remazon Brillant Blue R (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลิปกระด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.67	7.50	65.54	2073.134	60.545	2064.267	7.62
70	6.56	6.15	73.77	2087.742	55.217	2054.81	25.15
90	6.24	6.16	95.67	2126.614	87.797	2112.64	6.23
100	5.62	5.69	108.89	2150.08	107.85	2148.234	0.96
150	5.68	6.64	156.425	2234.454	147.887	2219.299	5.46
200	5.56	5.97	205.375	2321.341	195.602	2303.994	4.76

ตารางที่ ก11. สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลิปกระด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.58	6.30	86.432	2416.969	83.591	2408.769	3.29
70	4.42	5.89	103.255	2465.525	97.877	2450.002	5.21
90	4.40	5.95	128.695	2538.952	121.867	2519.245	5.36
100	4.24	5.77	144.54	2584.686	137.737	2565.05	4.71
150	4.04	5.69	210.30	2774.489	205.847	2761.636	2.12
200	3.91	5.66	275.87	2963.744	261.597	2922.547	5.17

ตารางที่ ก12. สี Remazol Black B (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลิปกระด ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.58	6.17	188.85	2292.009	168.132	2255.234	10.97
70	5.47	5.29	245.04	2391.746	234.502	2373.041	4.30
90	5.24	6.17	320.81	2526.238	302.287	2493.359	5.77
100	5.63	4.35	366.45	2607.249	350.617	2579.145	4.32
150	5.57	6.50	513.62	2868.476	503.49	2850.495	1.97
200	5.49	5.60	689.62	3180.876	662.347	3132.466	3.95



ตารางที่ ก13. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	6.47	136.388	1734.528	120.895	2488.785	11.36
70	6.20	6.47	143.985	1734.528	141.272	2758.923	1.88
90	6.07	6.31	185.795	1734.528	175.83	3217.058	5.90
100	6.44	6.25	218.30	1734.528	211.538	3690.439	3.10
150	6.35	6.31	310.105	1734.528	287.12	4692.43	7.41
200	6.67	6.94	422.49	1734.528	367.54	5758.558	13.006

ตารางที่ ก14. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.08	6.57	93.75	2419.463	91.325	2415.374	2.59
70	6.22	6.74	127.9	2477.039	121.53	2466.3	4.98
90	6.91	7.14	158.355	2528.387	152.494	2518.505	3.70
100	6.63	4.35	181.61	2567.594	179.23	2563.582	1.31
150	7.18	6.49	288.55	2747.895	267.79	2712.894	7.19
200	7.05	6.25	537.13	3167.001	339.335	2833.519	36.82

ตารางที่ ก15. สี Best Direct Black B ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว ( UNT )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	9.18	7.28	131.14	1280.415	117.48	1223.606	10.42
70	9.17	7.33	147.905	1350.137	131.349	1281.284	11.193
90	9.43	7.72	190.41	1526.907	177.705	1474.07	6.67
100	9.48	7.35	214.085	1625.367	200.395	1568.433	6.39
150	9.59	7.80	290.875	1944.721	266.28	1842.435	9.08
200	9.65	7.86	350.235	2191.587	350.1	2191.026	0.039

ตารางที่ ก16. สี Remazon Brillant Blue R (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.56	7.72	65.54	1437.784	60.755	1382.857	7.3
70	6.43	6.63	73.77	1532.256	58.895	1361.506	20.17
90	6.06	6.74	95.67	1783.646	91.86	1739.911	3.98
100	5.59	6.37	108.89	1935.398	104.53	1885.35	4.00
150	5.60	6.64	156.425	2481.053	155.285	2467.967	0.73
200	5.49	6.54	205.375	3042.95	200.785	2990.261	2.23

ตารางที่ ก17. สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.58	6.77	86.432	2416.969	85.833	2415.24	0.69
70	4.41	6.25	103.255	2465.525	101.12	2459.363	2.07
90	4.33	6.54	128.695	2538.952	126.35	2532.184	1.82
100	4.21	6.34	144.54	2584.686	141.09	2574.728	2.39
150	4.03	6.25	210.3	2774.489	209.77	2772.959	0.25
200	3.93	6.15	275.87	2963.744	270.05	2946.945	2.11

ตารางที่ ก18. สี Remazol Black B (สีรีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (UNT)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.57	6.59	188.85	2292.009	172.105	2262.286	8.87
70	5.50	5.77	245.04	2391.746	226.42	2358.696	7.60
90	5.27	6.54	320.81	2526.238	305.75	2499.506	4.70
100	5.36	6.69	366.45	2607.249	323.36	2530.764	11.76
150	5.63	6.78	513.62	2868.476	511.11	2864.02	0.49
200	5.45	6.03	689.62	3180.876	672.68	3150.807	2.46

ตารางที่ ก19. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง ( Q-R )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	3.38	136.388	2694.176	1.257	902.744	99.08
70	6.56	4.97	143.985	2794.889	2.767	922.7621	98.08
90	6.14	3.85	185.795	3349.164	3.023	926.1559	98.37
100	6.34	4.71	218.30	3780.083	4.135	940.8977	98.11
150	6.42	4.13	310.105	4997.142	9.195	1007.978	97.05
200	6.40	4.59	422.49	6487.03	20.387	1156.35	95.175

ตารางที่ ก20. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.08	4.25	93.75	2419.463	1.21	2263.44	98.71
70	6.78	4.53	158.355	2528.387	10.365	2278.875	93.45
90	6.78	4.53	158.355	2528.387	13.365	2283.933	91.56
100	6.71	4.35	181.61	2567.594	15.568	2287.648	91.43
150	7.10	4.45	288.55	2747.895	7.063	2273.308	97.55
200	7.04	4.53	537.13	3167.001	6.487	2272.337	98.79

ตารางที่ ก21. สี Best Direct Black B ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ดินมันสำปะหลัง (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	9.16	5.46	131.14	1280.415	0	0	100
70	9.17	5.54	147.905	1350.137	0	0	100
90	9.44	5.36	190.41	1526.907	0	0	100
100	9.49	6.09	214.085	1625.367	0	0	100
150	9.55	6.82	292.875	1953.039	32.155	868.7562	89.02
200	9.65	6.86	350.235	2191.587	67.475	1015.645	80.73

ตารางที่ ก22. สี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.47	4.78	65.54	1437.784	0	0	100
70	6.37	4.18	73.77	1532.256	0	0	100
90	5.94	4.31	95.67	1783.646	0	0	100
100	5.64	4.24	108.89	1935.398	0	0	100
150	5.53	4.16	156.425	2481.053	0	0	100
200	5.45	4.51	205.375	3042.95	0	0	100

ตารางที่ ก23. สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.61	4.15	86.432	2416.969	0	0	100
70	4.40	4.13	103.255	2465.525	0	0	100
90	4.32	4.13	128.695	2538.952	0	0	100
100	4.22	4.10	144.54	2584.686	2.126	2173.636	98.53
150	4.03	4.14	210.30	2774.489	2.526	2174.791	98.80
200	3.92	4.21	275.87	2963.744	2.43	2174.514	99.12

ตารางที่ ก24. สี Remazol Black B (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ต้นมันสำปะหลัง (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.52	4.41	188.85	2301.009	2.033	1969.409	98.92
70	5.49	4.33	245.04	2400.746	3.145	1971.382	98.72
90	5.13	4.32	320.81	2535.238	5.503	1975.568	98.27
100	5.36	4.35	366.45	2616.249	5.325	1975.252	98.47
150	5.85	4.94	513.62	2877.476	5.869	1976.217	98.86
200	5.41	5.55	689.62	3189.876	5.222	1975.069	99.24

ตารางที่ ก25. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบสับปะรด (Q-R )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	3.98	136.388	2694.176	6.476	971.9323	95.25
70	6.46	4.13	143.985	2794.889	3.094	927.0972	97.85
90	6.14	3.95	185.795	3349.164	4.28	942.82	97.70
100	6.28	4.30	218.30	3780.083	8.966	1004.942	95.89
150	6.50	4.15	310.105	4997.142	9.575	1013.016	96.91
200	6.84	4.45	422.49	6487.03	35.666	1358.904	91.56

ตารางที่ ก26. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบสับปะรด (Q-R )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.05	3.94	93.75	2419.463	9.31	2277.097	90.07
70	6.22	4.00	127.9	2477.039	17.154	2290.322	86.59
90	6.74	4.00	158.355	2528.387	7.326	2273.752	95.37
100	6.78	4.07	181.61	2567.594	2.572	2265.736	95.37
150	7.08	4.10	288.55	2747.895	2.45	2265.531	99.15
200	7.06	4.39	537.13	3167.001	2.856	2266.215	99.47

ตารางที่ ก27 . สี Best Direct Black B (สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้ไบสับปะรด (Q-R )

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	9.18	4.86	131.14	1280.415	6.146	760.59	95.31
70	9.20	5.00	147.905	1350.137	3.867	751.1121	97.38
90	9.42	5.21	190.41	1526.907	0	0	100
100	9.49	6.03	214.085	1625.367	0	0	100
150	9.57	6.88	292.875	1953.039	61.31	990.006	79.067
200	9.65	6.79	350.235	2191.587	110.56	1194.827	68.43



ตารางที่ ก28. สี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลับประรด (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.40	4.10	65.54	1437.784	0	0	100
70	6.30	3.84	73.77	1532.256	0	0	100
90	5.85	3.38	95.67	1783.646	0	0	100
100	5.62	4.24	108.89	1935.398	0	0	100
150	5.46	3.84	156.425	2481.053	0	0	100
200	5.41	3.98	205.375	3042.95	0	0	100

ตารางที่ ก29. สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลับประรด (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.59	3.86	86.432	2416.969	7.337	2188.677	91.51
70	4.40	3.85	103.255	2465.525	8.307	2191.476	91.95
90	4.46	4.03	128.695	2538.952	10.014	2196.403	92.21
100	4.21	3.78	144.54	2584.686	10.77	2198.585	92.55
150	4.03	3.83	210.30	2774.489	10.846	2198.805	94.84
200	3.92	3.84	275.87	2963.744	9.502	2194.926	96.55

ตารางที่ ก30. สี Remazol Black B (รีแอกทีฟ) บำบัดโดยใช้ไบโสลับประรด (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.52	3.86	188.85	2292.009	14.406	1982.371	92.37
70	5.50	3.82	245.04	2391.746	15.268	1983.901	93.77
90	5.35	4.03	320.81	2526.238	14.264	1982.119	95.55
100	5.31	4.03	366.45	2607.249	13.409	1980.601	96.34
150	5.76	4.28	513.62	2868.476	14.111	1981.847	97.25
200	5.38	3.50	689.62	3180.876	14.435	1982.422	97.91

ตารางที่ ก31. สี Sirius Blue KCFN ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	3.44	136.388	2694.176	0	0	100
70	6.37	3.49	143.985	2794.889	0	0	100
90	6.17	3.39	185.795	3349.164	1.547	906.5886	99.18
100	6.19	3.52	218.30	3780.083	5.406	957.7473	98.26
150	6.45	3.58	310.105	4997.142	5.406	957.7473	98.26
200	6.63	3.38	422.49	6487.03	19.207	1140.707	95.45

ตารางที่ ก32. สี Sirius Rubine KZBL ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.07	3.42	93.75	2128.924	0	0	100
70	6.18	3.46	127.9	2581.65	0	0	100
90	6.67	3.51	158.355	2985.392	0.491	892.5892	99.69
100	7.10	3.48	288.55	4711.387	4.728	948.7591	100
150	7.10	3.48	288.55	4711.387	0	0	100
200	7.05	3.54	5.37.13	8006.812	0	0	100

ตารางที่ ก33. สี Best Direct Black B ( สีไดเรกท์ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	9.17	3.62	131.14	2482.502	3.149	2266.709	97.60
70	9.19	3.72	147.905	2510.768	1.888	2264.583	98.72
90	9.43	3.92	190.41	2582.431	0	0	100
100	9.47	4.01	214.085	2622.347	0	0	100
150	9.55	6.70	292.875	2755.187	67.804	2375.718	76.84
200	9.65	6.79	350.235	2851.896	122.124	2467.301	72.13

ตารางที่ ก34. สี Remazon Brilliant Blue R ( สิริแอกทีฟ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	6.35	3.44	65.54	1437.784	0	0	100
70	6.22	3.36	73.77	1532.256	0	0	100
90	5.76	3.35	95.67	1783.646	0	0	100
100	5.63	3.37	108.89	1935.398	0	0	100
150	5.46	3.35	156.425	2481.053	0	0	100
200	5.46	3.40	205.375	3042.95	0	0	100

ตารางที่ ก35. สี Remazol Brilliant Red 3BS ( สิริแอกทีฟ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	4.59	3.35	86.432	2416.969	0	0	100
70	4.39	3.35	103.255	2465.525	0	0	100
90	4.32	3.34	128.695	2538.952	1.016	2170.432	99.94
100	4.21	3.35	144.54	2584.686	0.084	2167.742	99.94
150	4.01	3.42	210.80	2775.932	0.471	2168.859	99.98
200	3.92	3.44	275.87	2963.744	0.29	2168.337	99.89

ตารางที่ ก36. สี Remazol Black B ( สิริแอกทีฟ ) บำบัดโดยใช้กาบมะพร้าว (Q-R)

ความเข้มข้น มก./ล.	pH ก่อน บำบัด	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้นก่อนบำบัด		ความเข้มข้นหลังบำบัด		ประสิทธิภาพ (%)
			SU	ADMI	SU	ADMI	
50	5.51	3.28	188.85	2292.009	2.871	1961.896	98.48
70	5.49	3.32	245.04	2391.746	2.639	1961.484	98.92
90	5.32	3.55	320.81	2526.238	3.08	1962.267	99.04
100	5.30	3.51	366.45	2607.249	4.781	1965.286	98.70
150	5.69	3.57	513.62	2868.476	4.542	1964.862	99.12
200	5.36	3.50	689.62	3180.876	4.471	1964.736	99.35



ภาคผนวก ข.  
ผลการศึกษาไอโซเทอม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข1. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN ( สีไคเรกซ์ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN ( สีไคเรกซ์ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบ่ม	ความเข้มสีหลังบ่ม	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	136.388	0	0	50	100	0
70	143.985	0	0	70	140	0
90	185.795	1.547	0.46230	89.53769	179.0754	0.002582
100	218.30	5.406	1.62245	98.37754	196.7551	0.008246
150	310.105	5.406	1.62245	148.37754	296.7551	0.005467
200	422.49	19.207	5.77150	194.22849	388.457	0.014858
400	991.2	25.679	7.71721	392.28278	784.5656	0.009836
600	1507.925	267.26	80.3447	519.65524	1039.31	0.077306
800	2,745.30	872.52	262.306	537.69330	1075.387	0.243919
1,000	3,236.00	1,818.20	546.610	453.38942	906.7788	0.602805

ตาราง ข2. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN ( สีไคเรกซ์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN ( สีไคเรกซ์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบ่ม	ความเข้มสีหลังบ่ม	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	136.388	0	0	50	100	0
70	143.985	0	0	70	140	0
90	185.795	1.376	0.41089	89.58910	179.1782	0.00229
100	218.30	4.316	1.29476	98.70523	197.4105	0.00655
150	310.105	4.671	1.40148	148.5985	297.197	0.00471
200	422.49	17.89	5.37557	194.62442	389.2489	0.01381
400	991.2	24.031	7.22176	392.77823	785.5565	0.00919
600	1507.925	98.44	29.59167	570.40833	1140.817	0.02593
800	2,745.30	530.90	159.604	640.39600	1280.792	0.12461
1,000	3,236.00	1,785.35	536.7347	463.26526	926.5305	0.57929



ตาราง ข3. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN (สีโดเรกซ์) ที่อุณหภูมิ 60 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Blue KCFN (สีโดเรกซ์) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	136.388	0	0	50	100	0
70	143.985	0	0	70	140	0
90	185.795	1.291	0.38812	89.61187	179.2238	0.002166
100	218.30	4.231	1.27198	98.72801	197.456	0.006442
150	310.105	4.076	1.22538	148.77461	297.5492	0.004118
200	422.49	26.39	7.93374	192.06625	384.1325	0.020654
400	991.2	23.89	7.18215	392.81784	785.6357	0.009142
600	1507.925	39.29	11.81193	588.18807	1176.376	0.010041
800	2,745.30	442.77	181.5591	618.4409	1236.882	0.146788
1,000	3,236.00	1,722.41	566.2628	433.7372	867.4744	0.652772

ตาราง ข4. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL (สีโดเรกซ์) ที่อุณหภูมิ 28 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL (สีโดเรกซ์) ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	93.75	0	0	50	100	0
70	127.9	0	0	70	140	0
90	158.355	0.491	0.150748	89.84925	179.6985	0.000839
100	288.55	4.728	1.451639	98.54836	197.0967	0.007365
150	288.55	0	0	150	300	0
200	537.13	0	0	200	400	0
400	865.02	59	18.11483	381.8852	763.7703	0.023718
600	2,290.40	210.60	97.4963	502.5037	1005.007	0.097011
800	2,633.10	926.651	317.3445	482.6555	965.311	0.328748
1,000	2,918.40	1,550.50	508.8855	491.1145	982.229	0.518093

ตาราง ข5. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	93.75	0	0	50	100	0
70	127.9	0	0	70	140	0
90	158.355	0	0	90	180	0
100	288.55	0	0	100	200	0
150	288.55	0	0	150	300	0
200	537.13	0	0	200	400	0
400	865.02	52	15.68155	384.3185	768.6369	0.020402
600	2533.10	147.13	75.4222	524.5778	1049.156	0.071888
800	2,633.10	352.59	137.3824	662.6176	1325.235	0.103666
1,000	2,918.40	1,502.97	484.3004	515.6996	1031.399	0.469557

ตาราง ข6. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Sirius Rubine KZBL ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อนบำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	93.75	0	0	50	100	0
70	127.9	0	0	70	140	0
90	158.355	0	0	90	180	0
100	288.55	0	0	100	200	0
150	288.55	0	0	150	300	0
200	537.13	0	0	200	400	0
400	865.02	51	0	400	800	0
600	2,533.10	137.03	41.39879	558.6012	1117.202	0.037056
800	2,633.10	286.5	86.55589	713.4441	1426.888	0.060661
1,000	2,918.40	1,498.53	452.7281	547.2719	1094.544	0.413623

ตาราง ข7. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อน บำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	131.14	1.149	0.412596	49.5874	99.17481	0.00416
70	147.905	1.888	0.677965	69.32203	138.6441	0.00489
90	190.41	0	0	90	180	0
100	214.085	0	0	100	200	0
150	292.875	67.804	24.34789	125.6521	251.3042	0.096886
200	350.235	122.124	43.85378	156.1462	312.2924	0.140425
400	885.74	323.60	116.2022	283.7978	567.5955	0.204727
600	1,422.65	626.62	262.5108	337.4892	674.9784	0.388917
800	2,173.00	1,213.76	473.3482	326.6518	653.3036	0.724546
1,000	2,783.30	1,546.50	592.8325	407.1675	814.335	0.727996

ตาราง ข8. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มสีก่อน บำบัด	ความเข้มสีหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g )	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	131.14	0	0	50	100	0
70	147.905	0	0	70	140	0
90	190.41	0	0	90	180	0
100	214.085	0	0	100	200	0
150	292.875	65.801	23.62863	126.3714	252.7427	0.093489
200	350.235	113.67	40.81801	159.182	318.364	0.128212
400	885.74	295.14	143.4789	256.5211	513.0422	0.279663
600	1422.65	530.08	227.844	372.156	744.312	0.306114
800	2,173.00	1,0060.08	418.1629	381.8371	763.6742	0.547567
1,000	2,783.30	1,481.32	569.4269	430.5731	861.1462	0.661243

ตาราง ข9. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Best Direct Black B ( สีโดเรกท์ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	131.14	0	0	50	100	0
70	147.905	0	0	70	140	0
90	190.41	0	0	90	180	0
100	214.085	0	0	100	200	0
150	292.875	60.271	21.64285	128.3572	256.7143	0.084307
200	350.235	109.31	39.25237	160.7476	321.4953	0.122093
400	885.74	220.16	116.5542	283.4458	566.8916	0.205602
600	1422.65	354.03	164.6258	435.3742	870.7484	0.189062
800	2,173.00	991.58	393.5651	406.4349	812.8698	0.484167
1,000	2,783.30	1,412.76	544.8075	455.1925	910.385	0.598436

ตาราง ข10. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazon Brillant Blue R (รีแอกทีฟ )  
ที่อุณหภูมิ 28 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazon Brillant Blue R (รีแอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q (mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	0	0	90	180	0
100	108.89	0	0	100	200	0
150	156.425	0	0	150	300	0
200	205.375	0	0	200	400	0
400	506.52	7.918	4.272149	395.7279	791.4557	0.005398
600	1,024.75	34.060	18.37704	581.623	1163.246	0.015798
800	1,492.27	296.73	211.3203	588.6797	1177.359	0.179487
1,000	1,734.20	612.40	381.6397	618.3603	1236.721	0.30859

ตาราง ข11. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าวสี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 40 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	0	0	90	180	0
100	108.89	0	0	100	200	0
150	156.425	0	0	150	300	0
200	205.375	0	0	200	400	0
400	506.52	5.592	2.968148	397.0319	794.0637	0.003738
600	1,024.75	38.88	20.63694	579.3631	1158.726	0.01781
800	1,492.27	1,94.26	156.5127	643.4873	1286.975	0.121613
1,000	1,734.20	601.72	372.7866	627.2134	1254.427	0.297177

ตาราง 12. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 60 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazon Brilliant Blue R (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q (mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	0	0	90	180	0
100	108.89	0	0	100	200	0
150	156.425	0	0	150	300	0
200	205.375	0	0	200	400	0
400	506.52	4.657	2.51268	397.4873	794.9746	0.003161
600	1,024.75	45.389	24.48959	575.5104	1151.021	0.021276
800	1,492.27	86.43	97.85313	702.1469	1404.294	0.069681
1,000	1,734.20	592.81	371.0699	628.9301	1257.86	0.295001



ตาราง ข13. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ)  
ที่อุณหภูมิ 28 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q (mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	1.016	0.428796	89.5712	179.1424	0.002394
100	108.89	0.084	0.035447	99.96455	199.9291	0.000177
150	156.425	0.471	0.19878	149.8012	299.6024	0.000663
200	205.375	0.29	0.122389	199.8776	399.7552	0.000306
400	506.52	2.247	0.948337	399.0517	798.1033	0.001188
600	1,024.75	3.454	1.457748	598.5423	1197.085	0.001218
800	1,833.90	240.56	177.5471	622.4529	1244.906	0.142619
1,000	2,326.20	661.70	355.2883	644.7117	1289.423	0.27554

ตาราง ข14. แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ)  
ที่อุณหภูมิ 40 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอกทีฟ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	1.98	0.83565	89.16435	178.3287	0.004686
100	108.89	0.56	0.236342	99.76366	199.5273	0.001185
150	156.425	0.17	0.071744	149.9283	299.8565	0.000239
200	205.375	0.25	0.105507	199.8945	399.789	0.000264
400	506.52	2.17	0.915839	399.0842	798.1683	0.001147
600	1024.75	4.412	1.86207	598.1379	1196.276	0.001557
800	1,833.90	121.40	127.2558	672.7442	1345.488	0.09458
1,000	2,326.20	659.87	354.5159	645.4841	1290.968	0.274612

ตาราง ข15 แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS ( รีเอกทีฟ )  
ที่อุณหภูมิ 60 °C

Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Brilliant Red 3BS ( รีเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	65.54	0	0	50	100	0
70	73.77	0	0	70	140	0
90	95.67	0.82	0.346075	89.65393	179.3079	0.00193
100	108.89	0.45	0.189917	99.81008	199.6202	0.000951
150	156.425	0.16	0.067523	149.9325	299.865	0.000225
200	205.375	0.19	0.080184	199.9198	399.8396	0.000201
400	506.52	2.104	0.887984	399.112	798.224	0.001112
600	1024.75	6.974	2.943357	597.0566	1194.113	0.002465
800	1,833.90	118.54	126.0488	673.9512	1347.902	0.093515
1,000	2,326.20	642.00	346.9739	653.0261	1306.052	0.265666

ตาราง ข16 แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Black B ( สีรีเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 28 °C

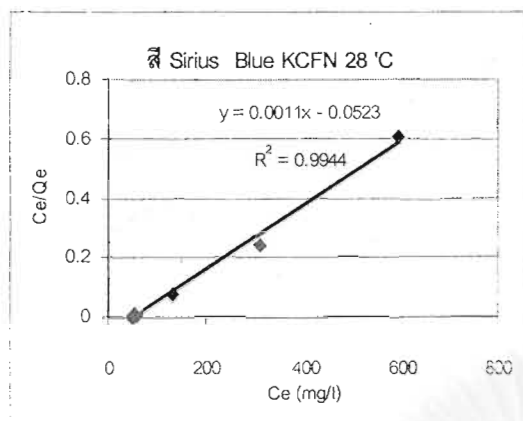
Q-R กาบมะพร้าว Remazol Black B ( สีรีเอกทีฟ ) สี ที่อุณหภูมิ 28 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	188.85	2.871	7.843736	42.15626	84.31253	0.093032
70	245.04	2.639	7.804048	62.19595	124.3919	0.062738
90	320.81	3.08	7.87949	82.12051	164.241	0.047975
100	366.45	4.781	8.170483	91.82952	183.659	0.044487
150	513.62	4.542	8.129597	141.8704	283.7408	0.028651
200	689.62	4.571	8.134558	191.8654	383.7309	0.021199
400	1,547.66	12.657	9.517845	390.4822	780.9643	0.012187
600	2,500.675	122.03	28.22848	571.7715	1143.543	0.024685
800	4,565.90	1,283.50	277.7812	522.2188	1044.438	0.265962
1,000	5,884.00	2,261.70	445.1236	554.8764	1109.753	0.401102

ตาราง ข17 แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Black B ( สิริเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C

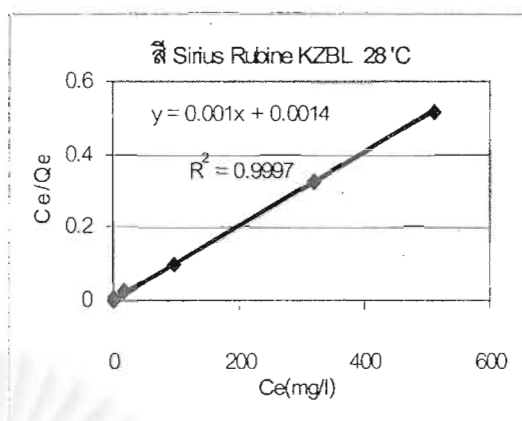
Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Black B ( สิริเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 40 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	188.85	2.271	7.999193	42.00081	84.00161	0.095227
70	245.04	2.03	7.957965	62.04203	124.0841	0.064134
90	320.81	251	50.5497	39.4503	78.9006	0.640676
100	366.45	3.97	8.289844	91.71016	183.4203	0.045196
150	513.62	4.01	8.296687	141.7033	283.4066	0.029275
200	689.62	4.42	8.366827	191.6332	383.2663	0.02183
400	1547.66	12.66	9.776458	390.2235	780.4471	0.012527
600	2500.675	130.72	29.97319	570.0268	1140.054	0.026291
800	4,565.90	1,127.12	251.029	548.971	1097.942	0.228636
1,000	5,884.00	2,013.15	402.6037	597.3963	1194.793	0.336965

ตาราง ข18 แสดงผลการทำไอโซเทอม Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Black B ( สิริเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C

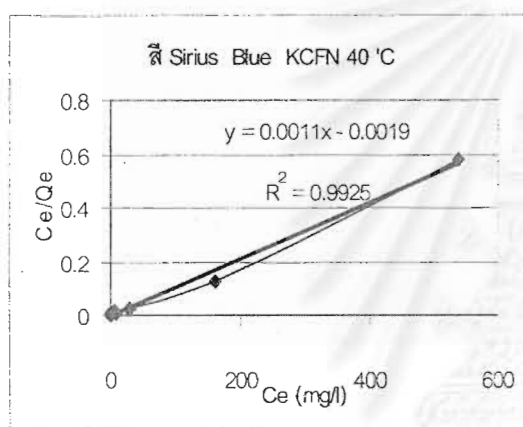
Q-R กาบมะพร้าว สี Remazol Black B ( สิริเอกทีฟ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C						
ความเข้มข้นสี	ความเข้มข้นก่อน บำบัด	ความเข้มข้นหลังบำบัด	Ce	Q(mg/0.5g)	Qe(mg/g)	Ce/Qe
50	188.85	2.231	8.59225	41.40775	82.8155	0.103752
70	245.04	2.265	8.598067	61.40193	122.8039	0.070015
90	320.81	2.631	8.660679	81.33932	162.6786	0.053238
100	366.45	3.473	8.804722	91.19528	182.3906	0.048274
150	513.62	3.82	8.864083	141.1359	282.2718	0.031403
200	689.62	4.275	8.941921	191.0581	382.1162	0.023401
400	1547.66	11.042	10.09956	389.9004	779.8009	0.012951
600	2500.675	211.04	94.31357	505.6864	1011.373	0.093253
800	4,565.90	782.21	192.0246	607.9754	1215.951	0.157921
1,000	5,884.00	2,005.26	401.254	598.746	1197.492	0.335079



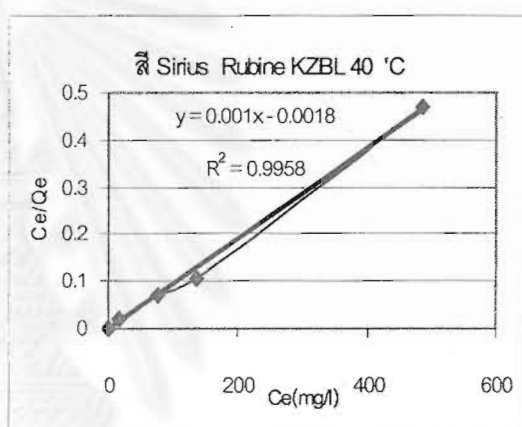
ก.



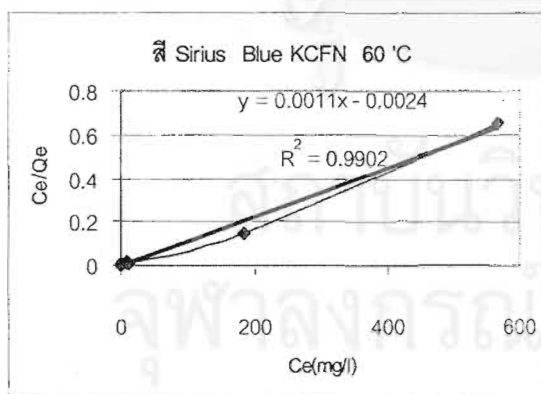
ง.



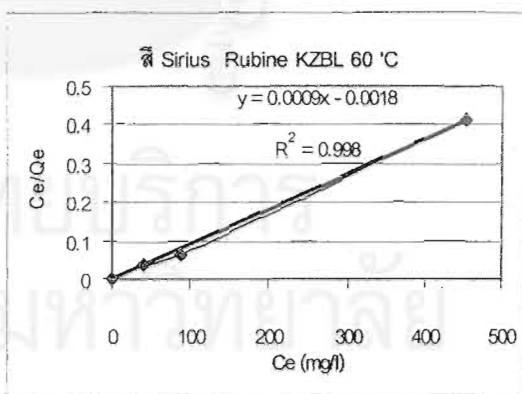
ข.



จ.

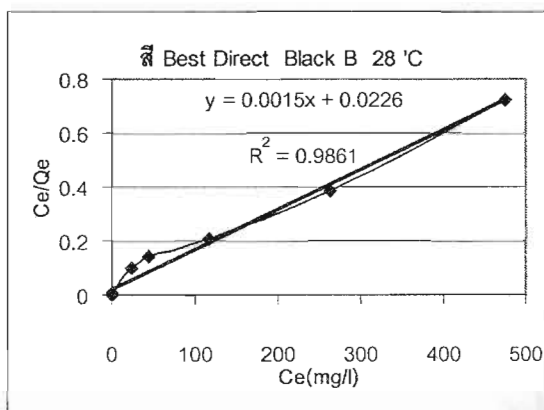


ค.

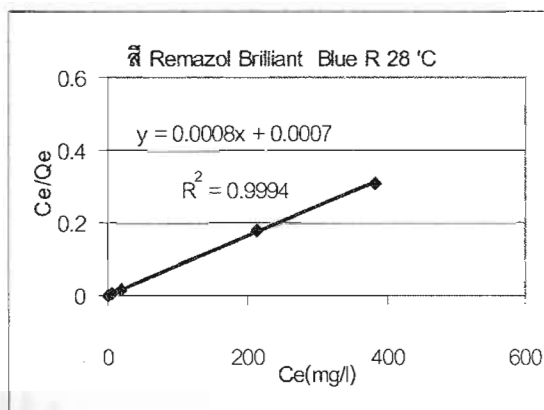


ฉ.

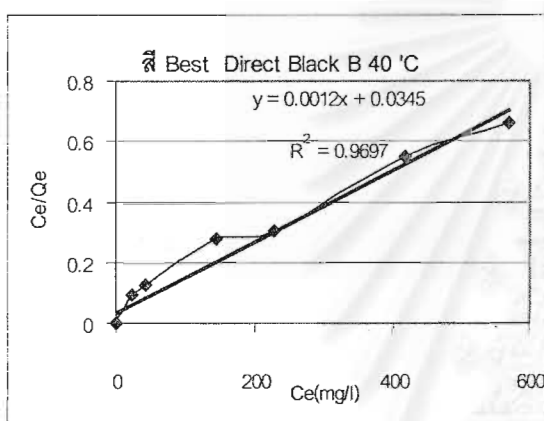
รูปที่ ข1. เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดสีแบบแลงมัวร์ที่อุณหภูมิ 28 °C, 40 °C และ 60 °C ของ Q-R กาบมะพร้าว



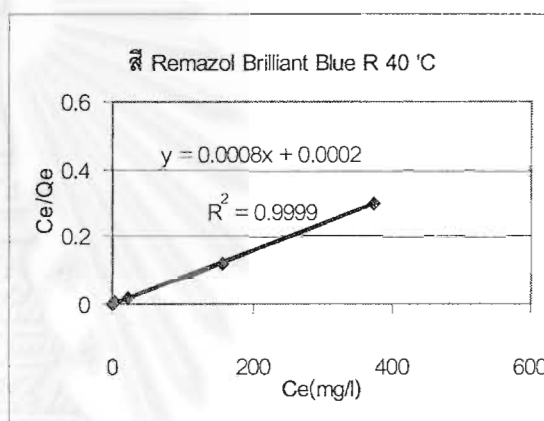
ก.



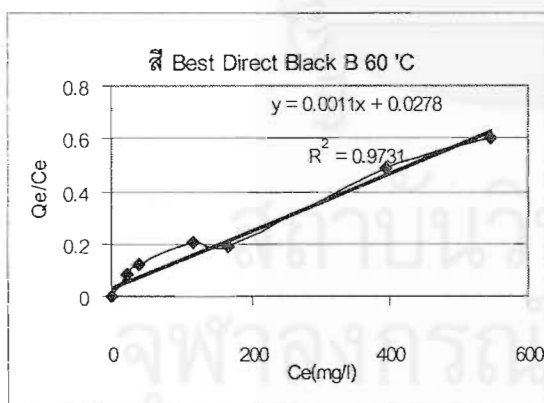
ง.



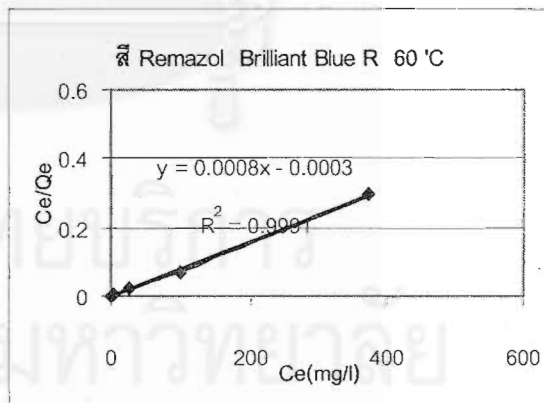
ข.



จ.

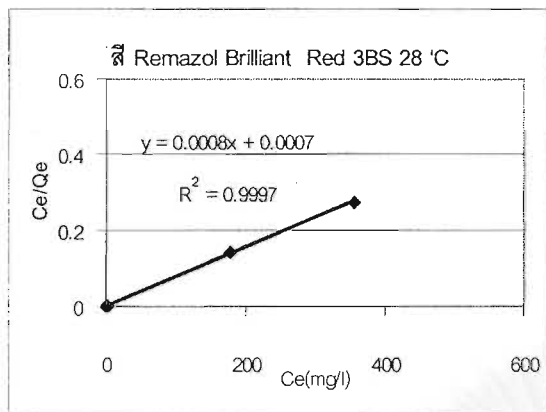


ค.

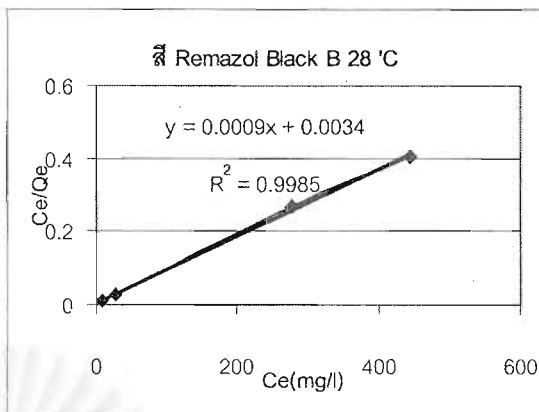


ฉ.

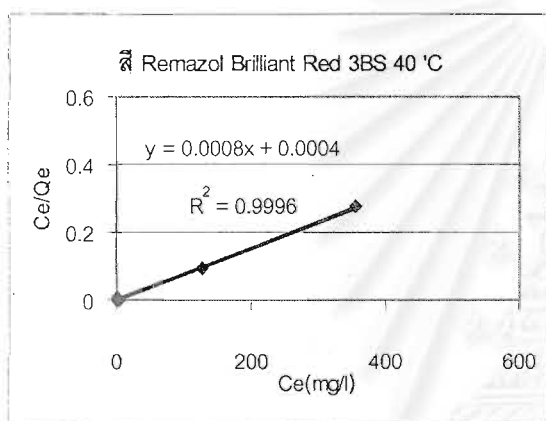
รูปที่ ข2.เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดสีแบบแลงมัวร์ ที่อุณหภูมิ 28 °C, 40 °C และ 60 °C ของ Q-R กาบมะพร้าว



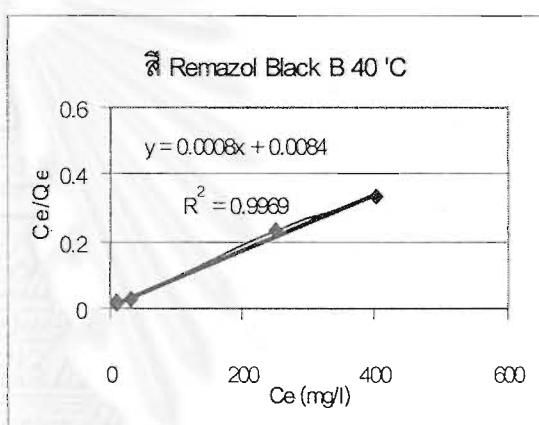
ก.



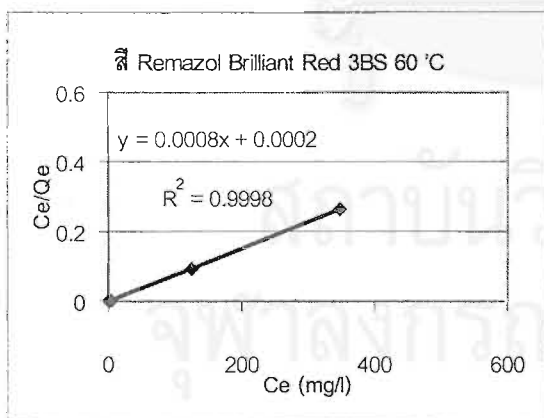
ข.



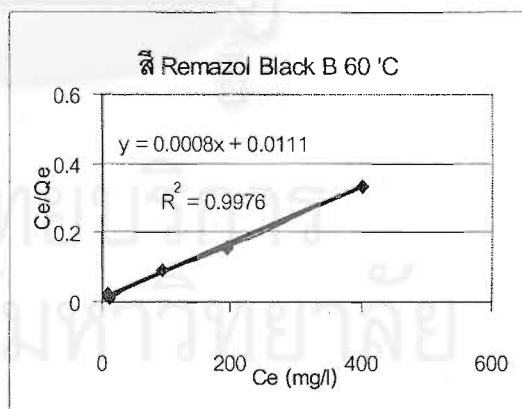
ค.



ง.




จ.



ฉ.

รูปที่ 3. เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดสีแบบแลงมัวร์ ที่อุณหภูมิ 28 °C, 40 °C และ 60 °C ของ Q-R กามมะพร้าว

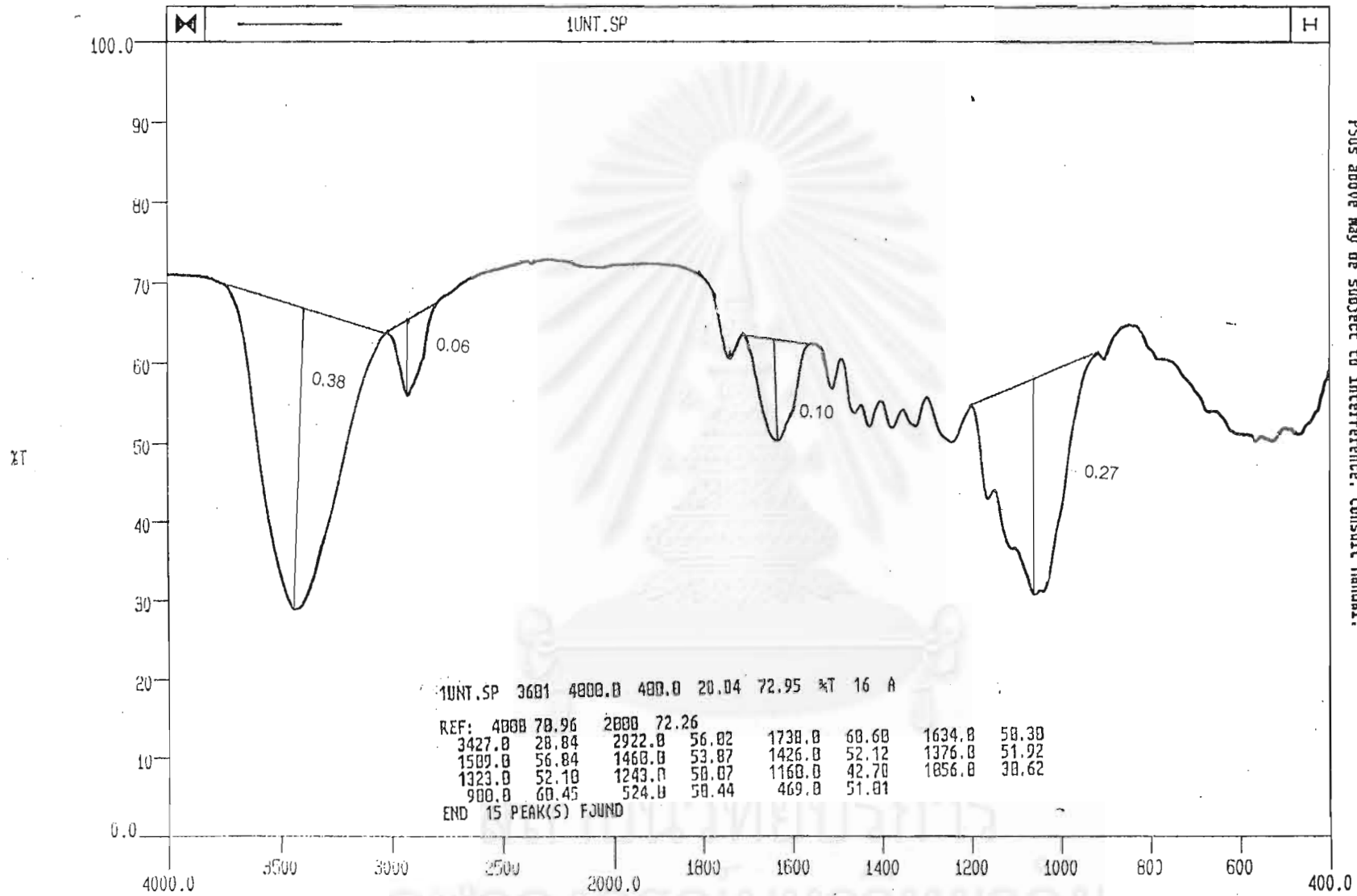




ภาคผนวก ค.

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

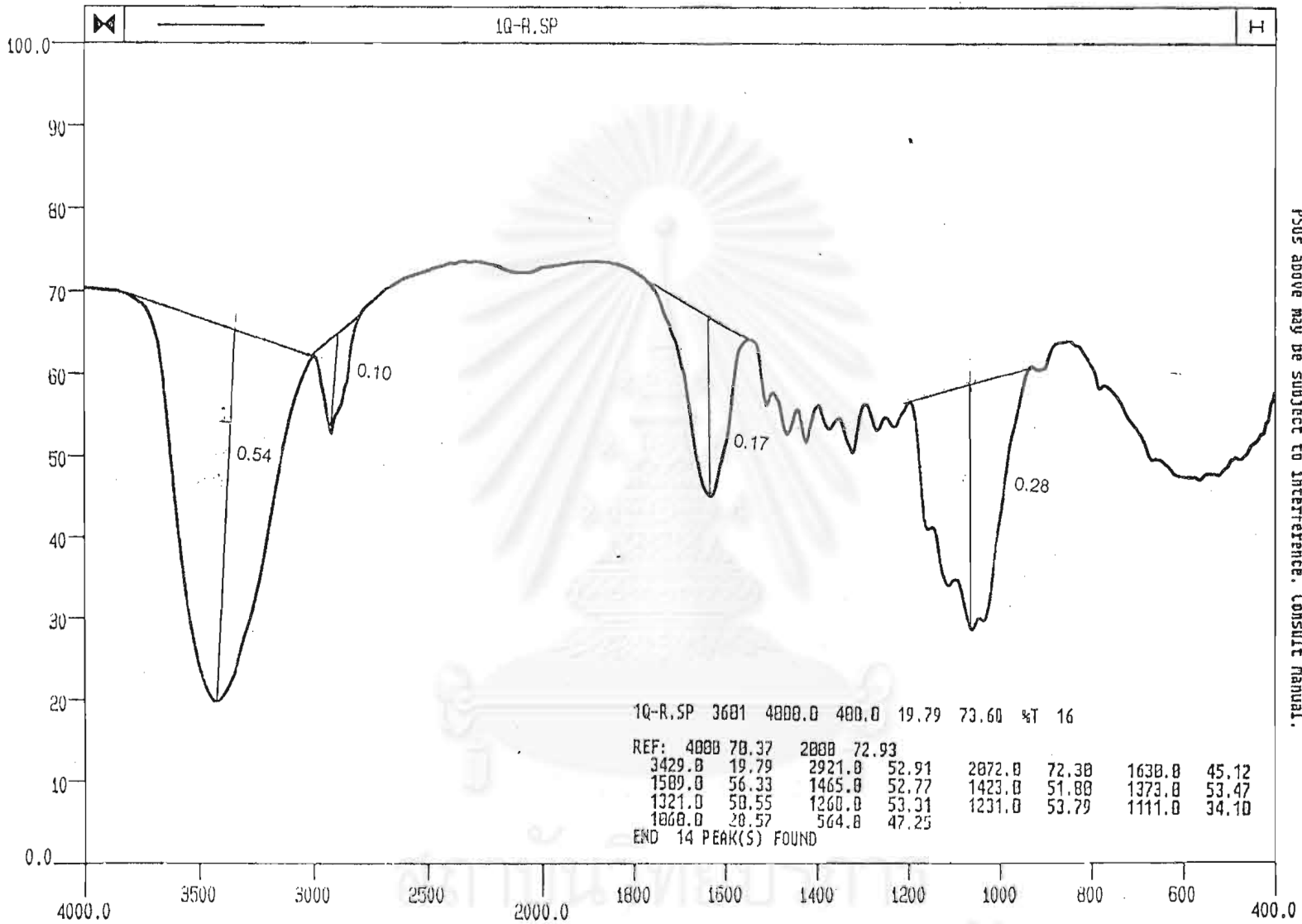
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



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.

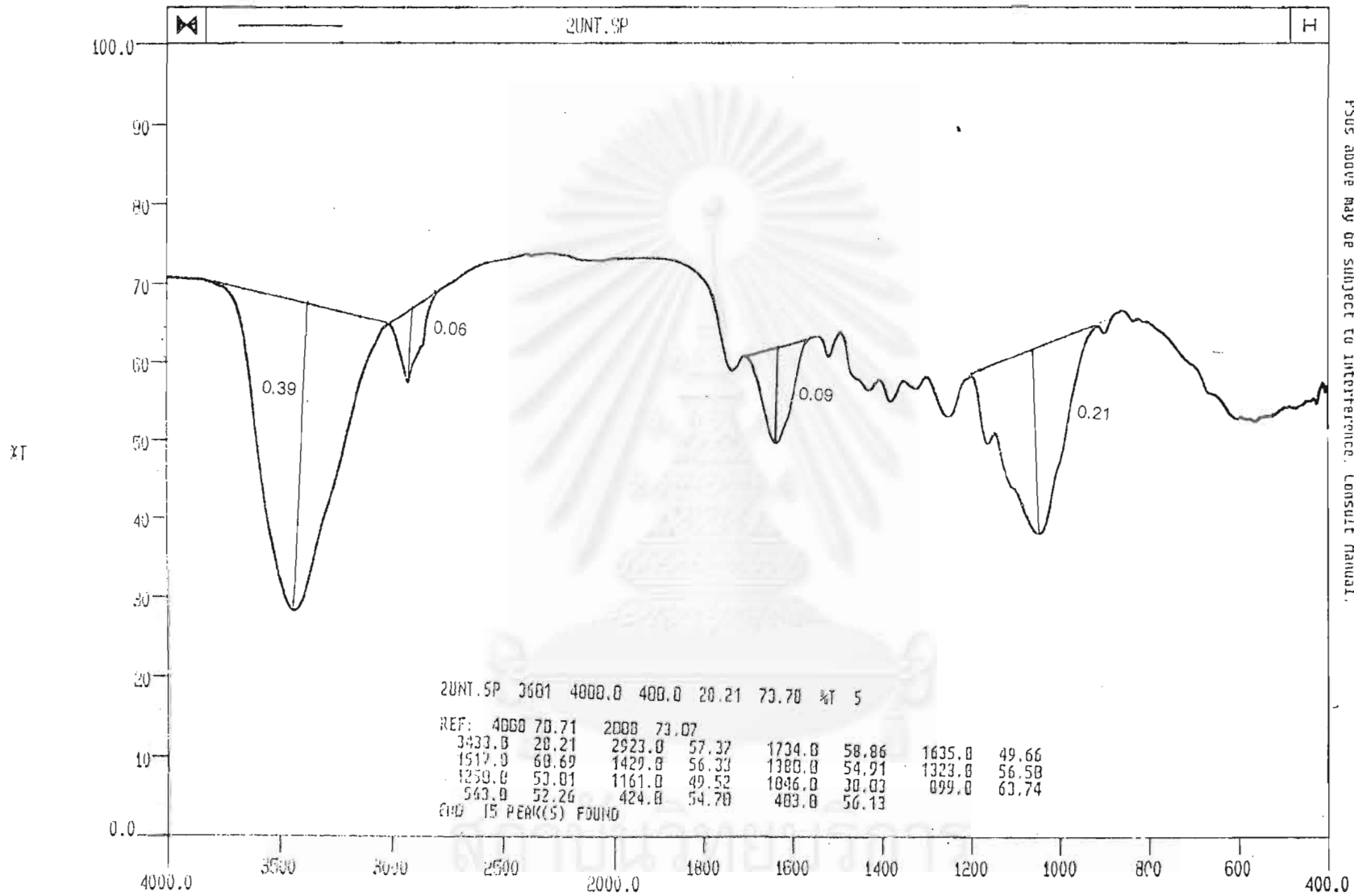
รูปที่ ค1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของต้นมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CM-1

รูปที่ ค2. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของต้นมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์

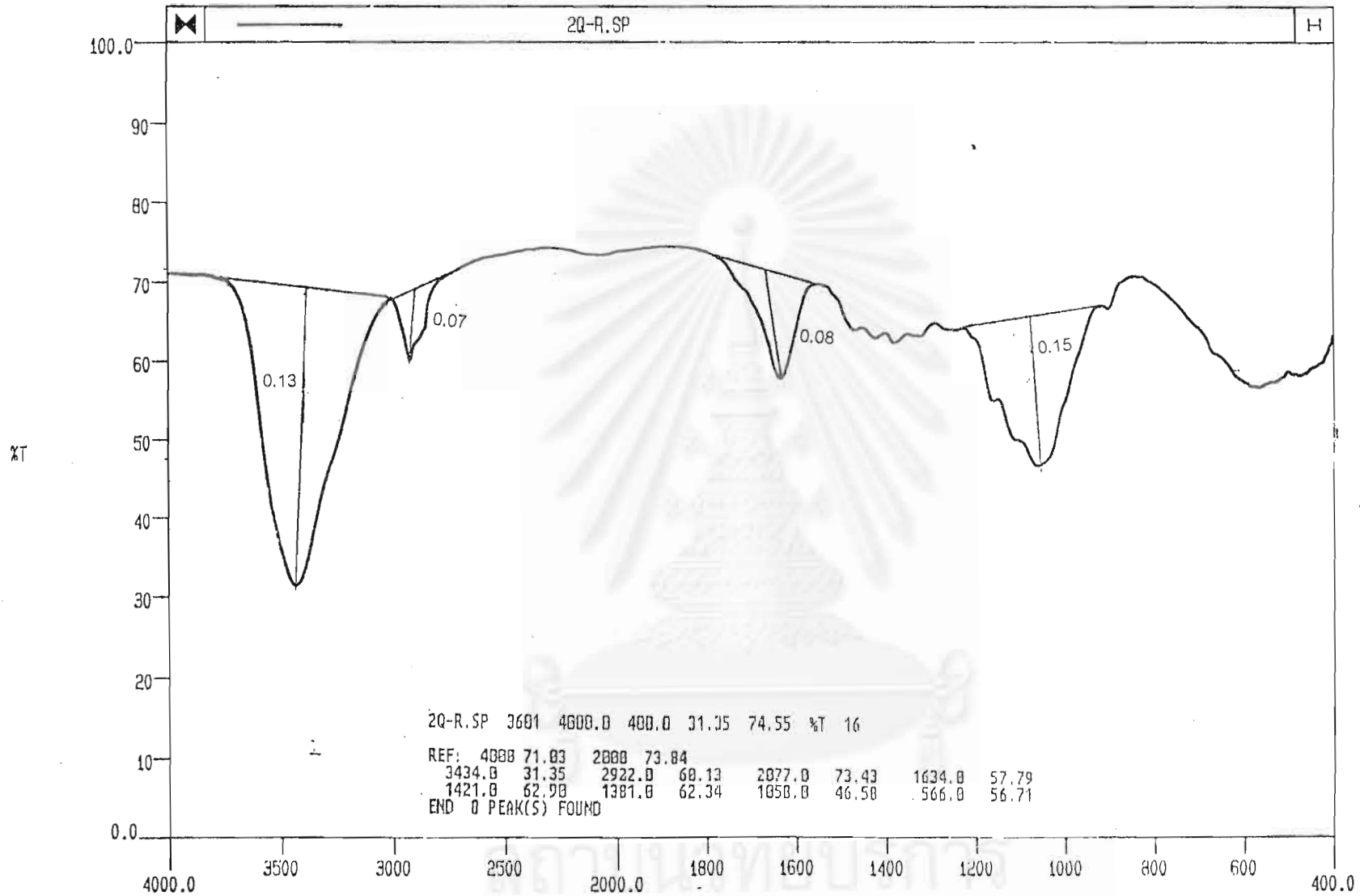


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY  
 4904 CARBONYL COMPOUND - CLASS 4 (CONSULT MANUAL)

Peaks above may be subject to interference. Consult Manual.

CM-1

รูปที่ ค3. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของไบสปีปะรดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ

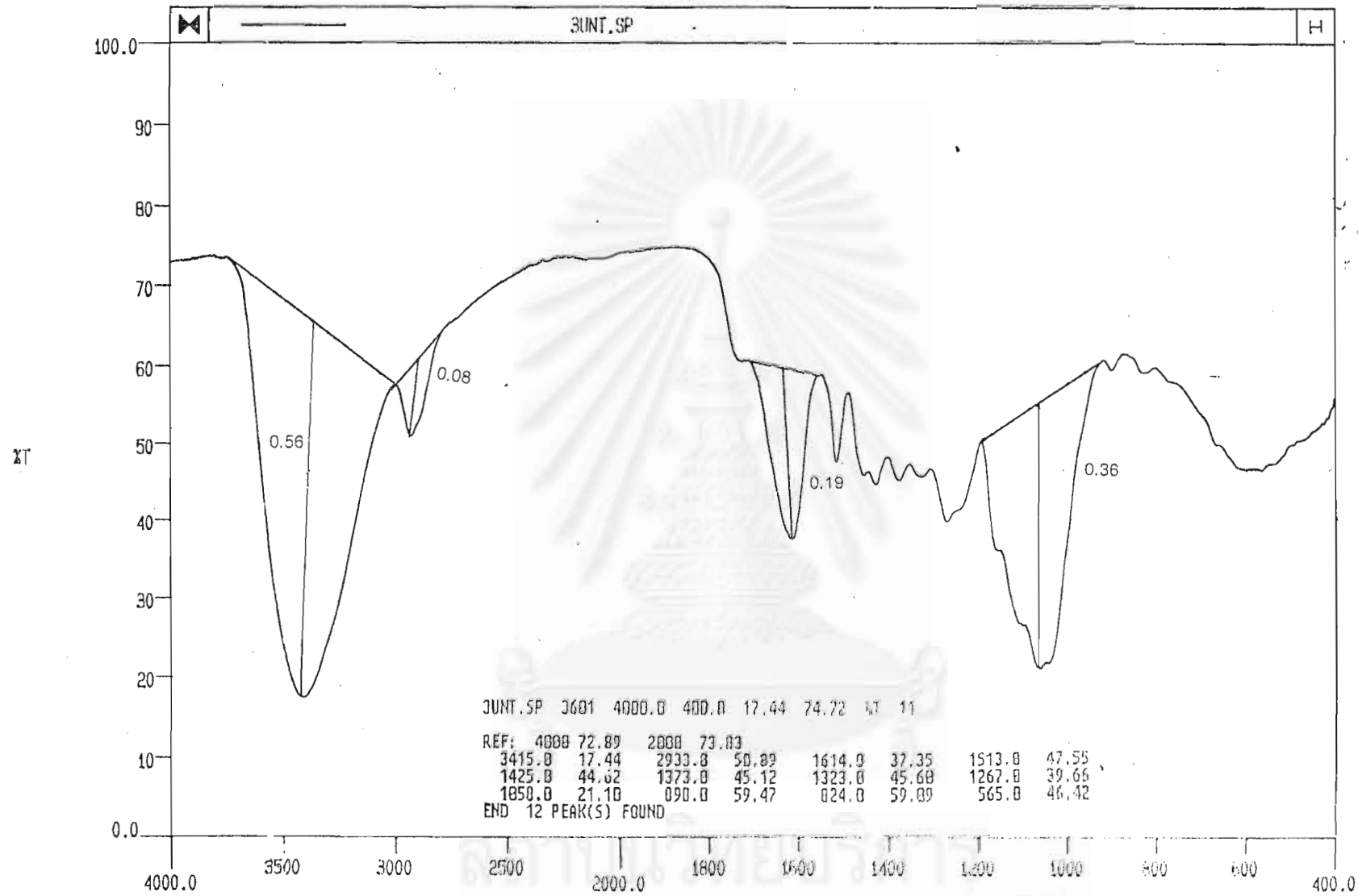


201 ALKYL GROUP - GENERAL OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

CM-1

รูปที่ ค4. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของไบสัปอะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์



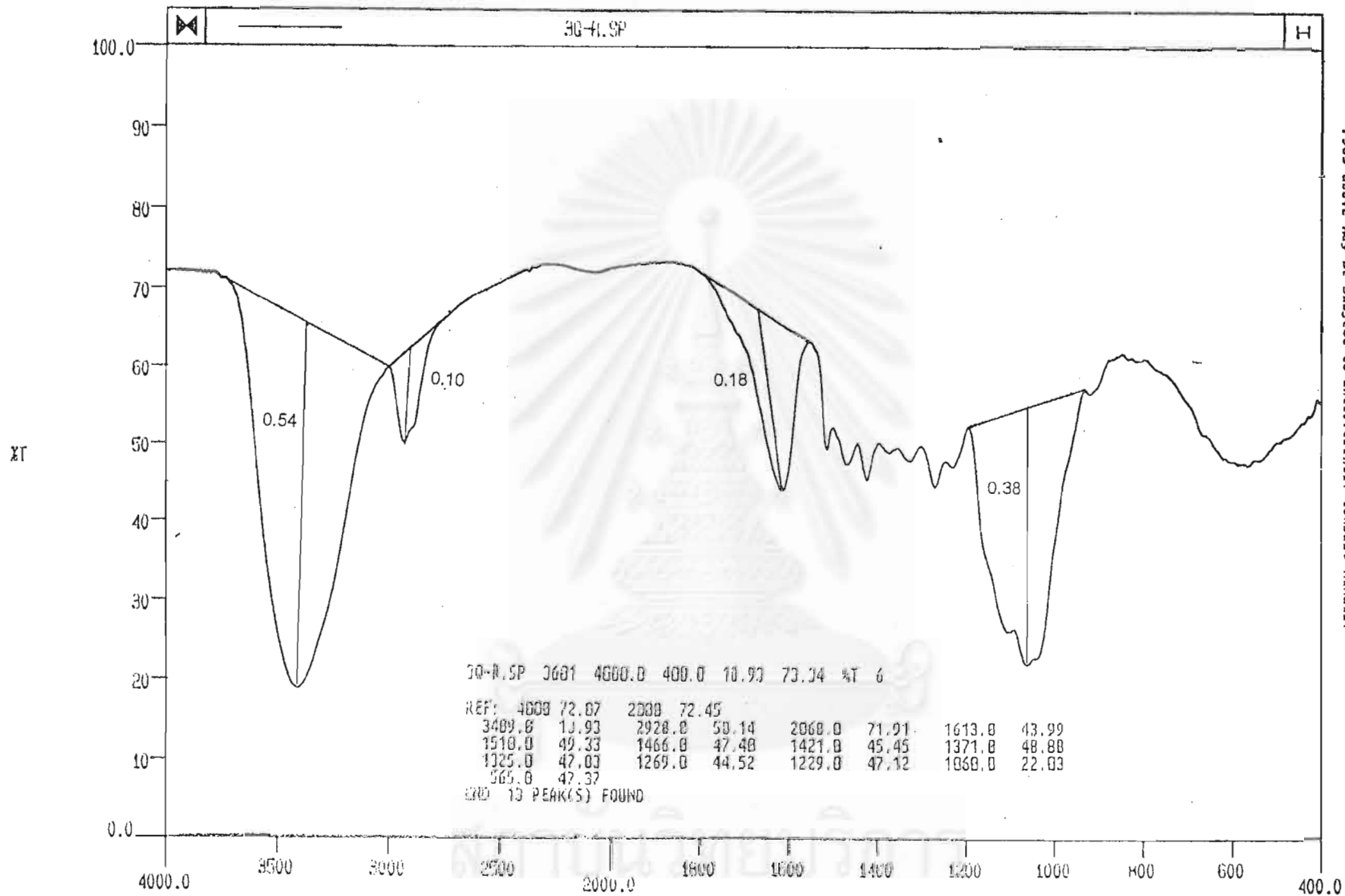
201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 302 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CM-1

รูปที่ ค5. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



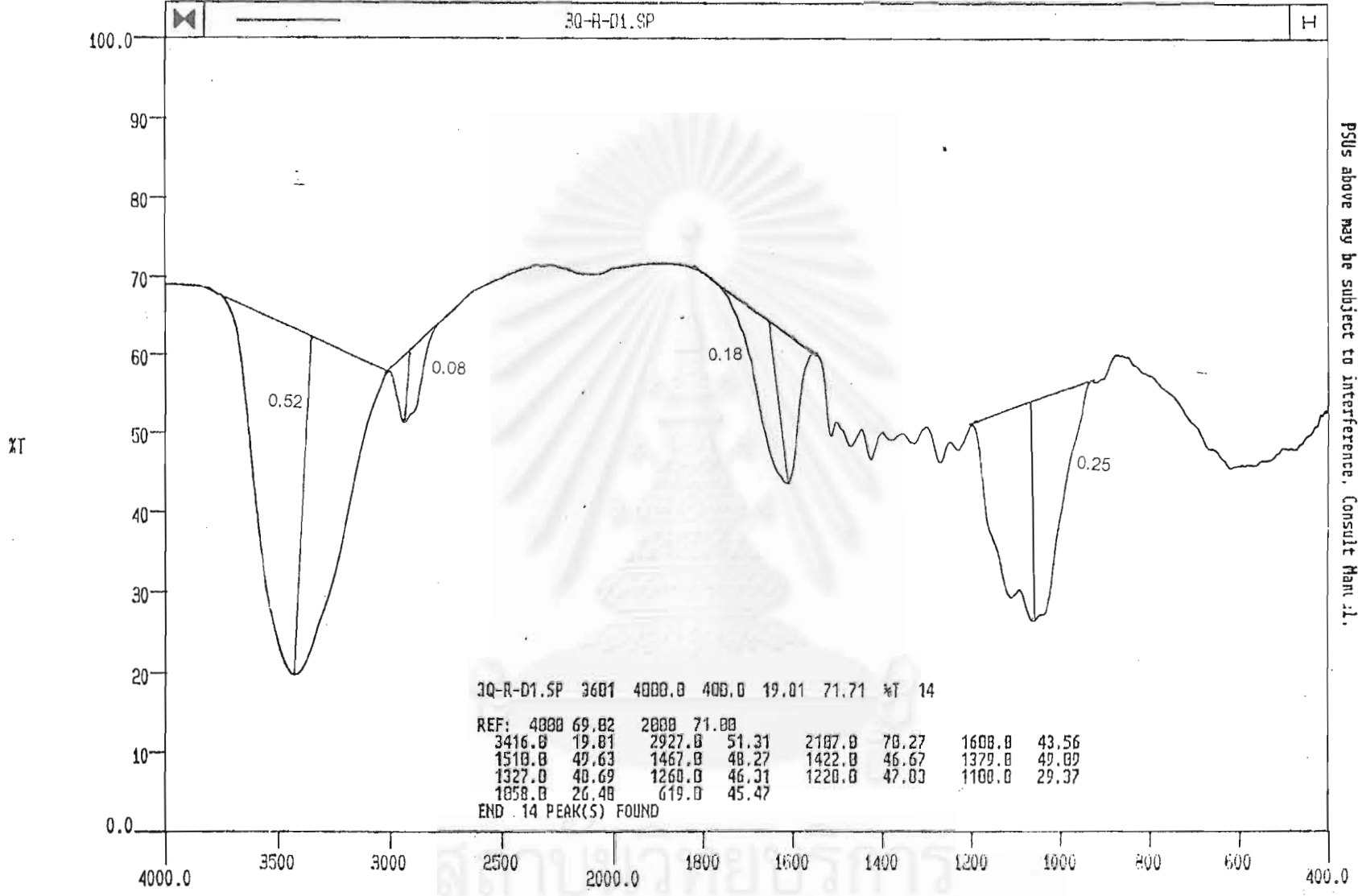


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 482 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

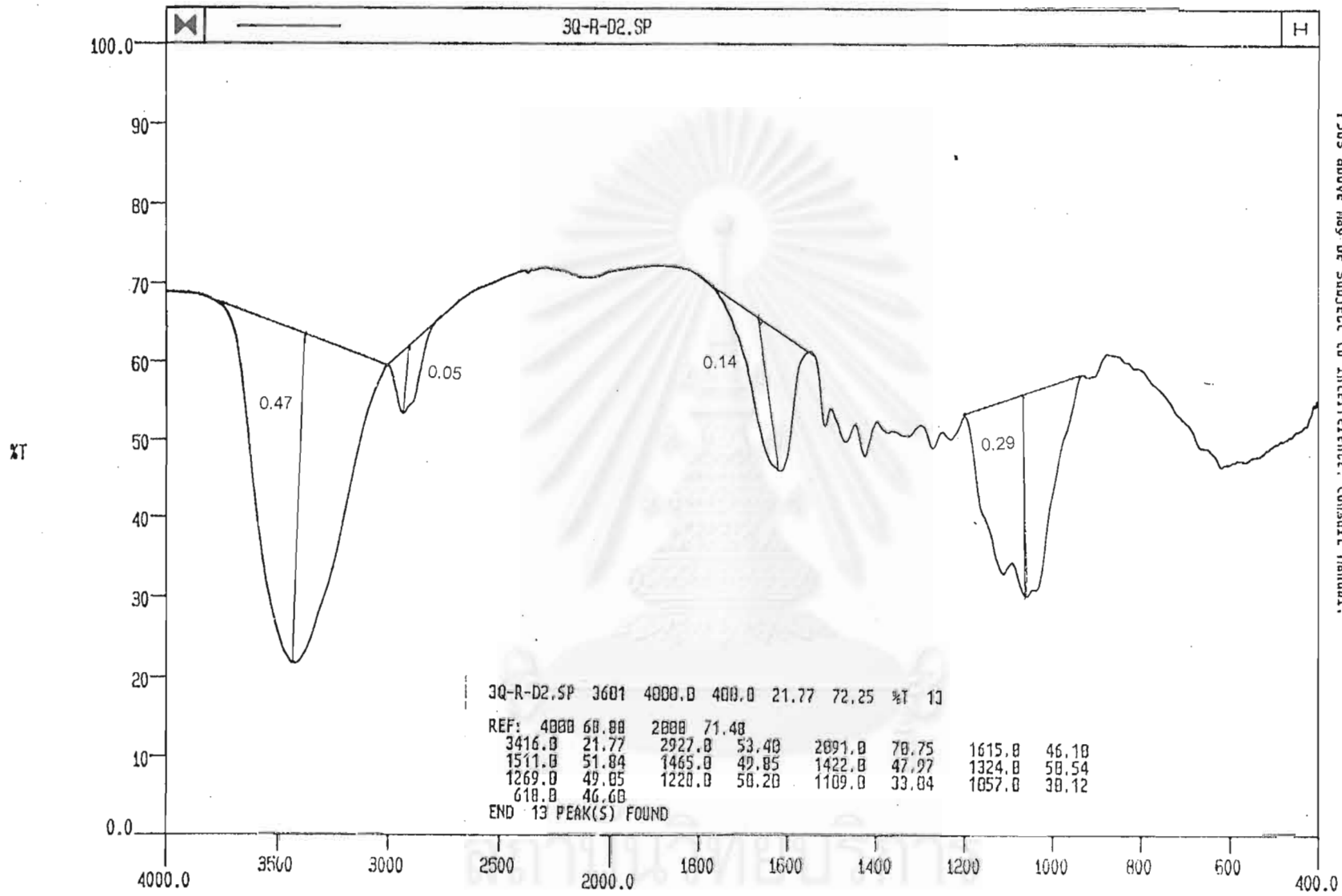
CM-1

รูปที่ ค6. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์



CM-1

รูปที่ ค7. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์หลังกำจัดสี Sirius Blue KCFN

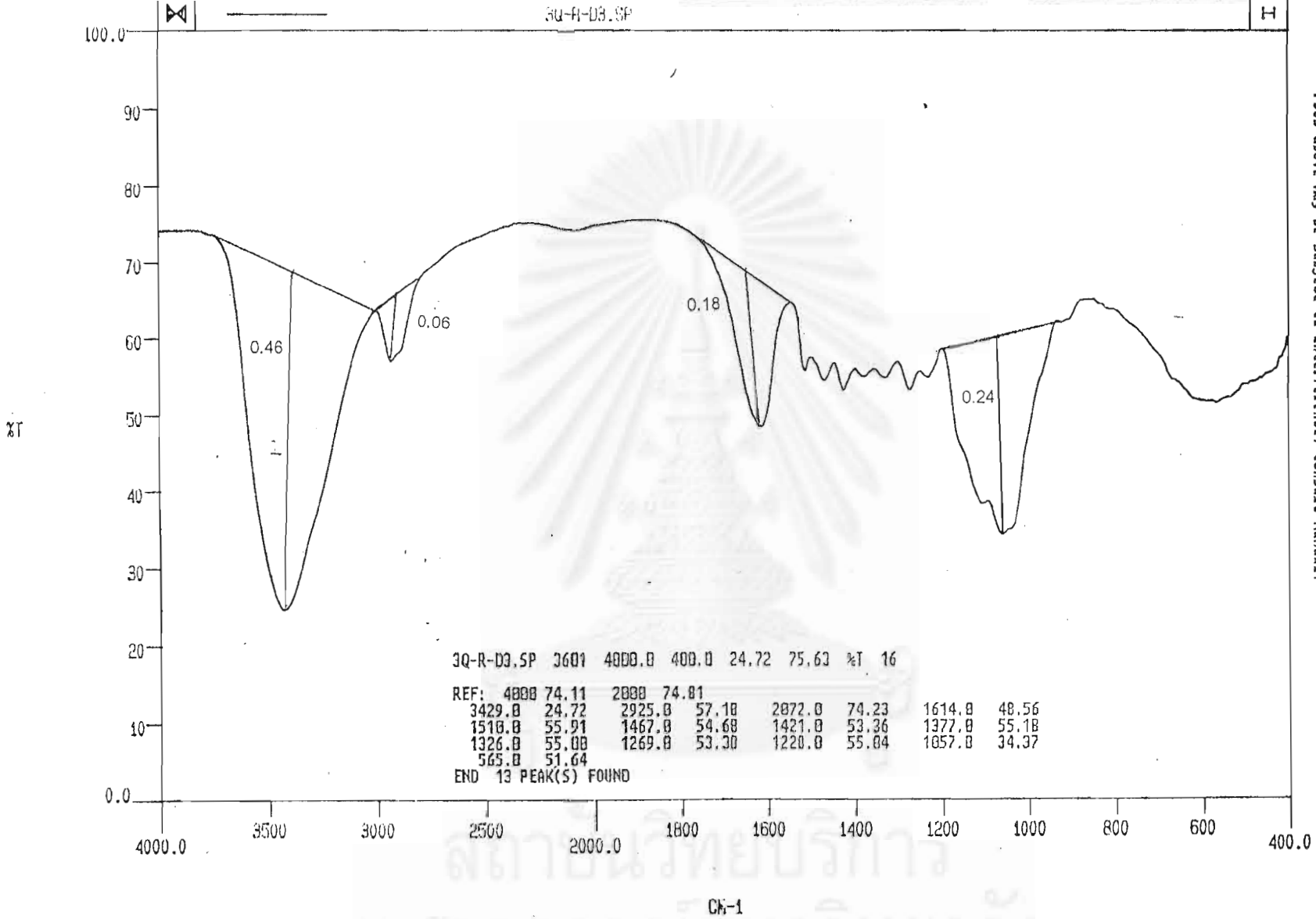


201 ALKYL GROUP - GENERAL  
 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT  
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL  
 511 ALIPHATIC ALCOHOL - PRIMARY OR SECONDARY OR POSSIBLY CYCLIC HYDROXY

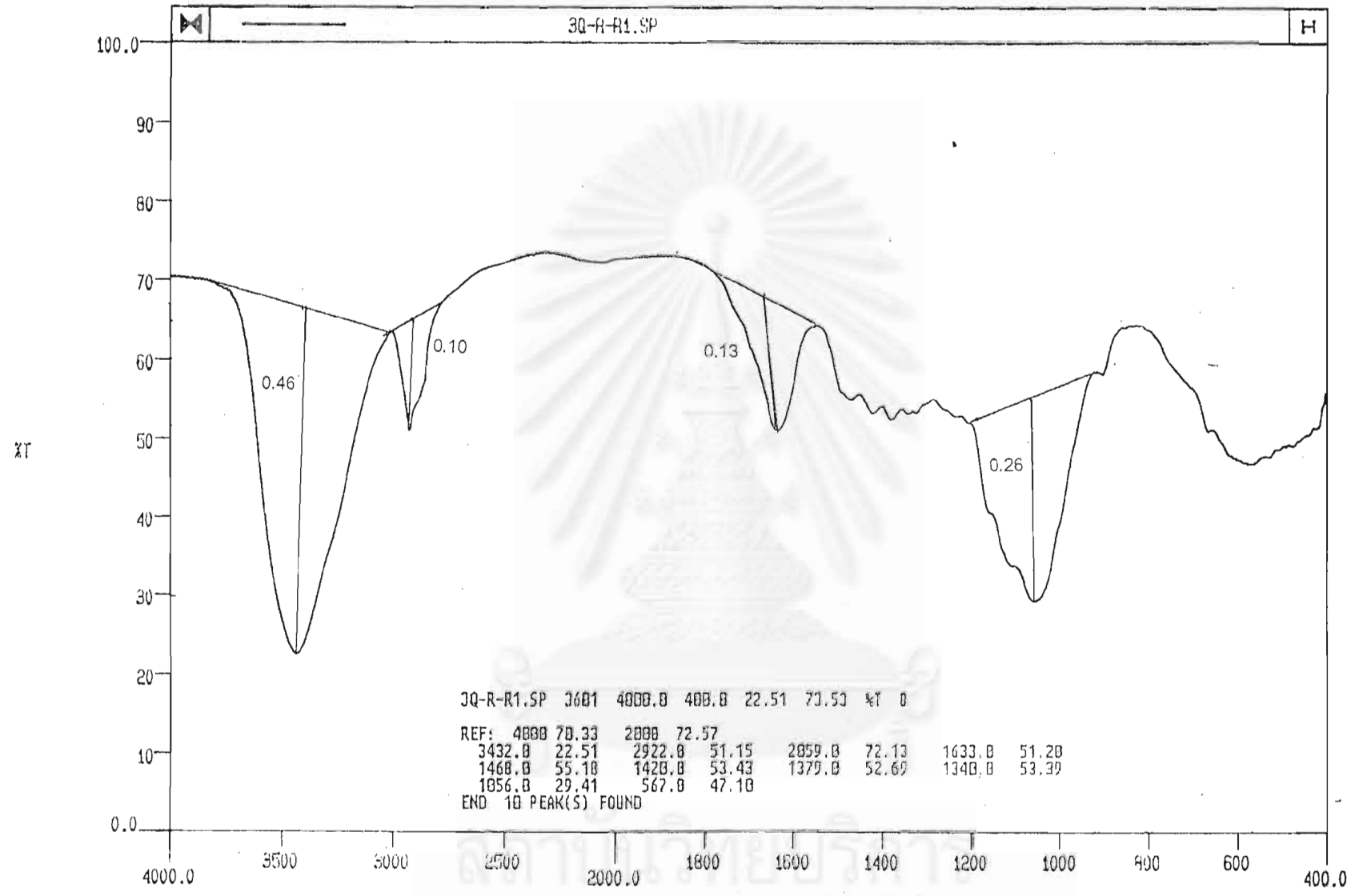
PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

CM-1

รูปที่ ค8. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์หลังกำจัดสี Sirus Rubine KZBL



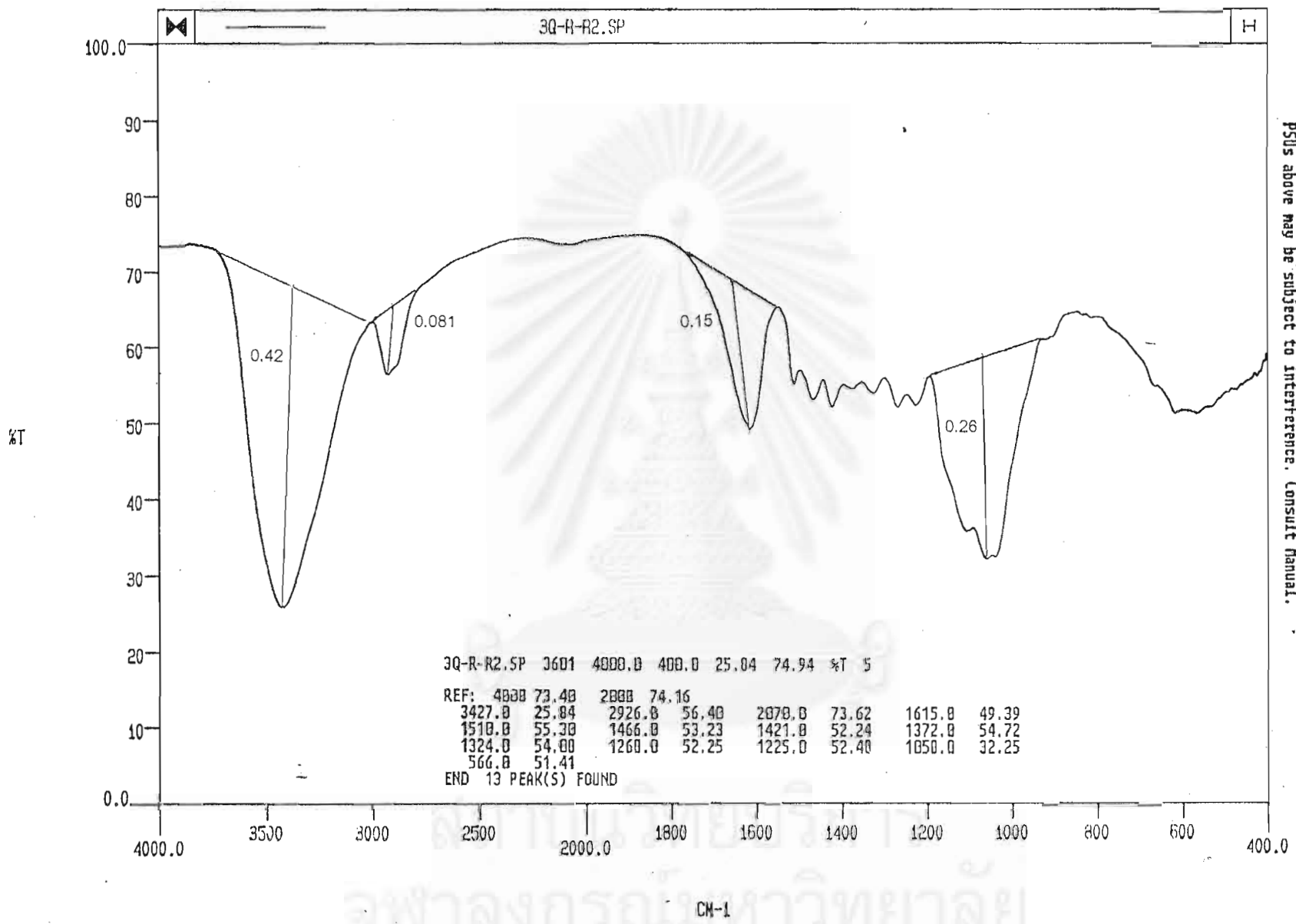
รูปที่ ค9. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์หลังกำจัดสี Best Direct Black B



281 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.

รูปที่ ค10. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์หลังกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R



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

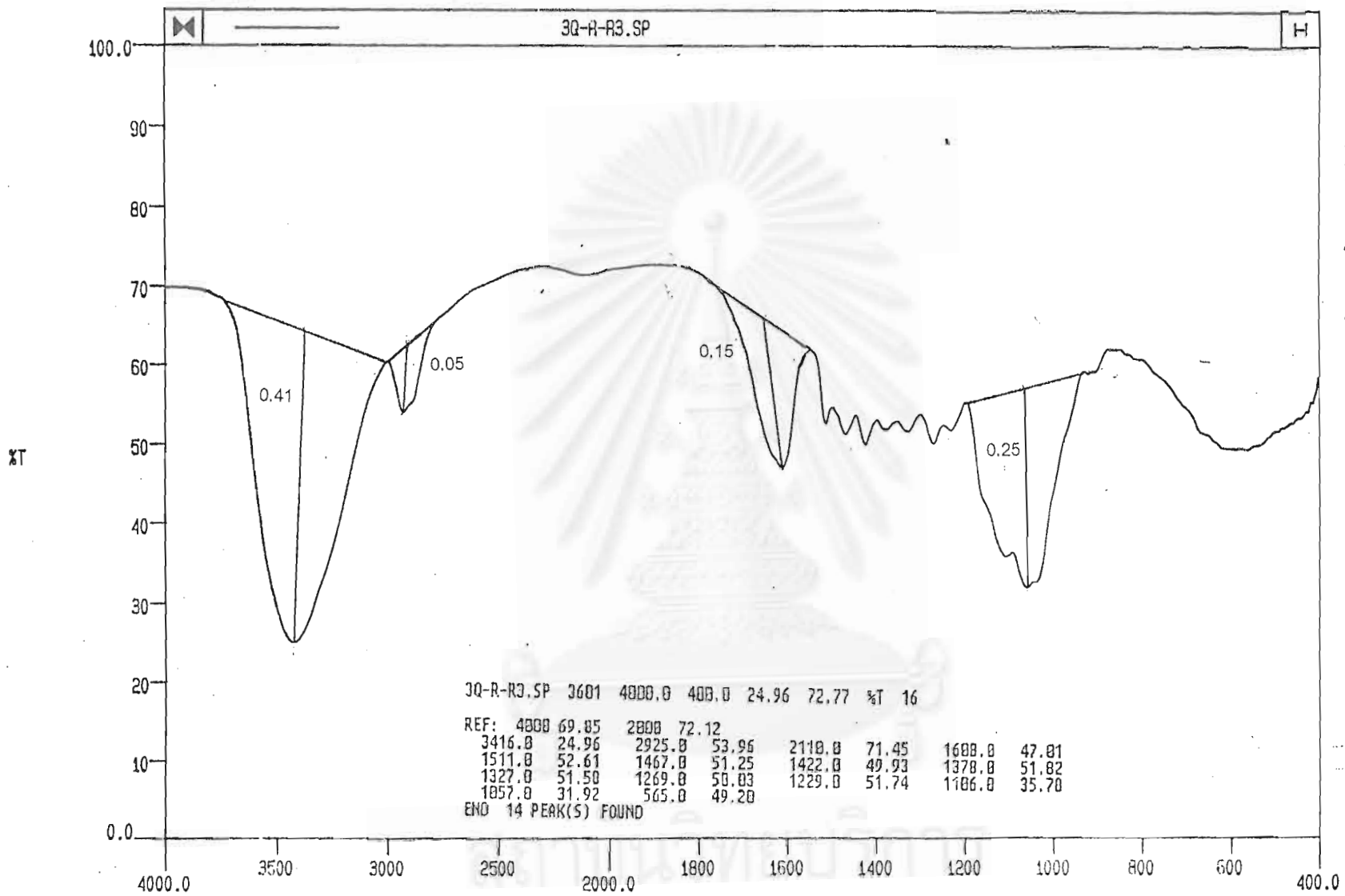
PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CM-1

รูปที่ ค11. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสสลิงก์หลังกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS





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

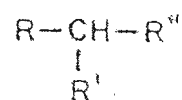
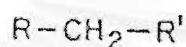
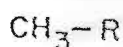
รูปที่ ค12. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของกามมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงก์นั้ล้งกำจัดสี Remazol Black B

## 201 ALKYL GROUP - GENERAL

Basic Functional Group:



Typical Structures:



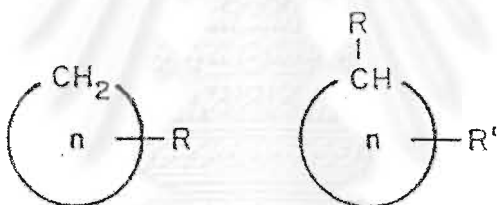
Chain structures:

methyl

methylene

methine

Ring Structures:

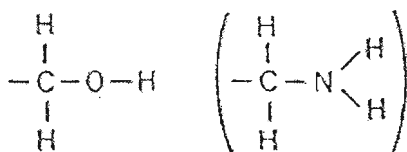


Where: R, R', R'' is a general substituent or functional group.  
n is ring size, 4 atoms or larger.

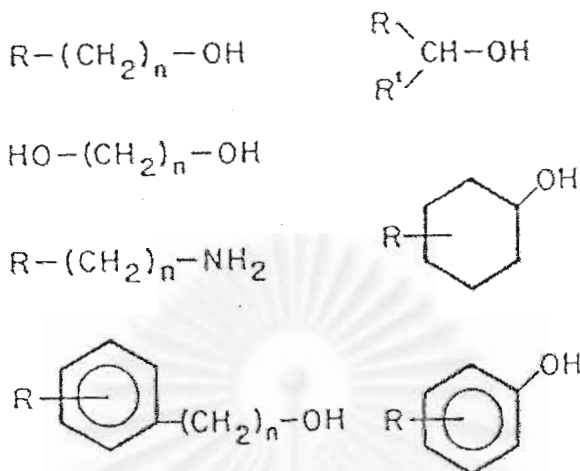
Note: This does not necessarily include compounds where R, R' and R'' = halogen.

## 223 ALKYL GROUP - HYDROXY OR POSSIBLY AMINO SUBSTITUENT

Basic Functional Group:



Typical Structures:



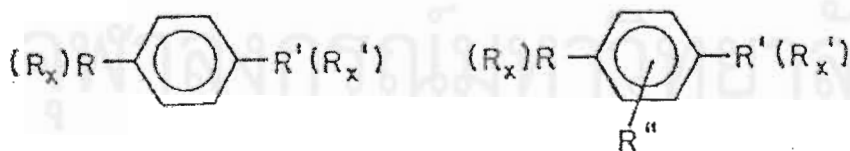
Where: R, R' is alkyl, general substituent or hydrogen.  
n is chain length, 1 or larger.

267 AROMATIC COMPOUND - POSSIBLY 1,4 - SUBSTITUTED

Basic Functional Group:



Typical Structures:

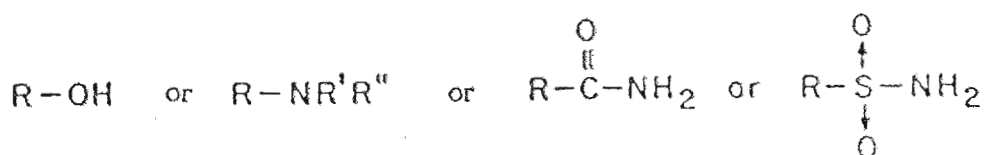


Where: R, R', R'' is alkyl or general substituent.

$R_x, R_x'$  is a functional group such as halogen (F, Cl, Br, I), hydroxy (-OH), amino (-NH-), carbonyl ( $\text{C}=\text{O}$ ), alkoxy (-OR), nitro (-NO<sub>2</sub>) etc.

## 402 HYDROXY OR NH COMPOUND, GENERAL

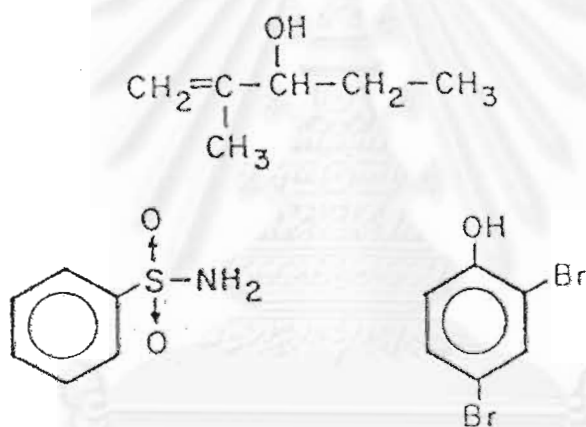
Basic Functional Group:



Where: R' is H or other

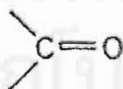
R'' is H or other

Typical Structures:



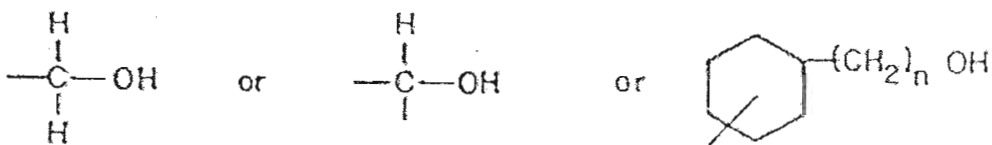
## 4904 CARBONYL COMPOUND - CLASS 4

Basic Functional Group:



## 511 ALIPHATIC ALCOHOL (GENERAL)

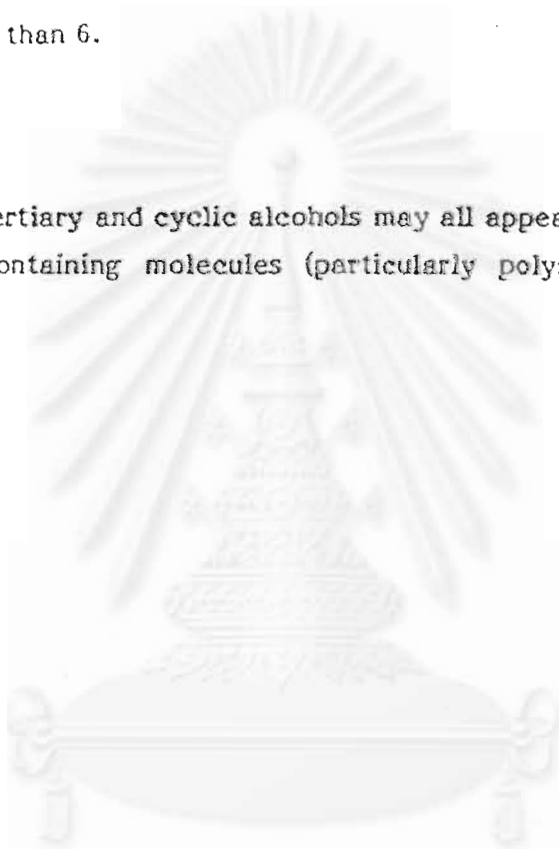
Basic Functional Group:



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.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง.

วิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่อง Elemental Analysis

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ง1. ข้อมูลการหาปริมาณไนโตรเจนในต้นมันสำปะหลัง

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณธาตุ		
		%C	%H	%N
UNT ต้นมันสำปะหลัง	1	41.555	4.451	0.785
	2	41.825	4.773	0.807
	เฉลี่ย	41.690	4.612	0.796
Q-R ต้นมันสำปะหลัง	1	43.441	5.618	1.512
	2	43.424	5.409	1.452
	เฉลี่ย	43.433	5.514	1.482

ตาราง ง2. ข้อมูลการหาปริมาณไนโตรเจนใบสับปะรด

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณธาตุ		
		%C	%H	%N
UNT ใบสับปะรด	1	45.078	5.823	1.095
	2	45.300	5.955	1.121
	เฉลี่ย	45.189	5.889	1.108
Q-R ใบสับปะรด	1	43.595	6.460	1.994
	2	43.839	6.468	2.022
	เฉลี่ย	43.717	6.464	2.008

ตาราง ง3. ข้อมูลการหาปริมาณไนโตรเจนกาบมะพร้าว

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณธาตุ		
		%C	%H	%N
UNT กาบมะพร้าว	1	46.553	4.951	0.672
	2	46.745	5.114	0.632
	เฉลี่ย	46.649	5.033	0.652
Q-R กาบมะพร้าว	1	46.935	5.487	1.485
	2	46.916	5.864	1.603
	เฉลี่ย	46.926	5.676	1.544



ภาคผนวก จ.

ผลการหาค่าความหนาแน่นและการบวมตัวของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง จ1. ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT ตันมันลำปะหลัง

ครั้งที่	น้ำหนักขวด เปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	18.1069	18.8218	67.7541	67.5251	3.12
2	18.8835	19.5169	68.2313	68.0354	3.23
				เฉลี่ย	3.18

ตาราง จ2. ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT ในลับปะรด

ครั้งที่	น้ำหนักขวด เปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	20.2258	21.066	67.4699	67.7050	3.58
2	18.6689	19.5387	66.8265	67.0639	3.66
				เฉลี่ย	3.62

ตาราง จ3 ข้อมูลการหา Specific density ของ UNT กาบมะพร้าว

ครั้งที่	น้ำหนักขวด เปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	18.7495	19.2042	68.2483	68.3803	2.08
2	19.5332	19.8814	68.8186	68.9800	2.16
				เฉลี่ย	2.12

ตาราง จ4. ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R ตันมันลำปะหลัง

ครั้งที่	น้ำหนักขวด เปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวด และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	19.5432	20.0089	68.8515	68.7108	3.31
2	18.0857	18.5089	67.7887	67.6658	3.44
				เฉลี่ย	3.38

ตาราง จ5. ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R ไบส์บะรด

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดและวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	18.7489	19.2257	68.4125	68.2995	4.22
2	19.5324	20.0286	68.6645	68.7825	4.21
				เฉลี่ย	4.21

ตาราง จ6. ข้อมูลการหา Specific density ของ Q-R กาบมะพร้าว

ครั้งที่	น้ำหนักขวดเปล่า (กรัม)	น้ำหนักขวดและวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด น้ำ และวัสดุ (กรัม)	น้ำหนักขวด และน้ำ(กรัม)	Specific density
1	19.5425	19.8174	68.5270	68.6093	3.47
2	18.0850	18.3439	67.5242	67.5992	3.45
				เฉลี่ย	3.44

ตาราง ๑7. ข้อมูลการหา ค่าบวมน้ำของดินมันสำปะหลัง

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณ		การบวมน้ำ ( มล. เปียก/มล.แห้ง )
		มล.แห้ง	มล.เปียก	
UNT	1	1.0	1.6	1.6
	2	1.0	1.7	1.7
	เฉลี่ย			1.65
Q-R	1	1.0	1.8	1.8
	2	1.0	1.6	1.6
	เฉลี่ย			1.7

ตาราง ๑8. ข้อมูลการหา ค่าบวมน้ำของใบสับปะรด

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณ		การบวมน้ำ ( มล. เปียก/มล.แห้ง )
		มล.แห้ง	มล.เปียก	
UNT	1	1.0	1.9	1.9
	2	1.0	1.7	1.7
	เฉลี่ย			1.8
Q-R	1	1.0	3.4	3.4
	2	1.0	3.4	3.4
	เฉลี่ย			3.4

ตาราง ๑9. ข้อมูลการหา ค่าบวมน้ำของกาบมะพร้าว

การปรับสภาพ	ครั้งที่	ปริมาณ		การบวมน้ำ ( มล. เปียก/มล.แห้ง )
		มล.แห้ง	มล.เปียก	
UNT	1	1.0	1.2	1.2
	2	1.0	1.1	1.1
	เฉลี่ย			1.15
Q-R	1	1.0	1.7	1.7
	2	1.0	1.9	1.9
	เฉลี่ย			1.8



ภาคผนวก ฉ.  
ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตาราง ข1. แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุน

ลักษณะ	ผงถ่าน กัมมันต์	ต้นมันสำปะหลัง		ใบสับปะรด		กากมะพร้าว	
		Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
<b>พื้นที่ผิว</b>							
BET Surface Area (sq.m./g)	1,163.81	4.625	6.1455	5.5467	7.5219	6.4316	7.0514
BJH Cumulative Adsorption	1,155.19	3.0020	4.2544	3.2037	4.1974	4.3997	5.6507
Surface Area of Pore between 17-3000 A. dia. (sq.m./g)							
<b>ปริมาตรของรูพรุน</b>							
BJH Cumulative Adsorption	0.8118	0.0047	0.00667	0.0043	0.0068	0.0072	0.0097
Pore Volume of Pore between 17-3000 A. dia. (cc./g)							
<b>ขนาดของรูพรุน</b>							
Average Pore Diameter (A)	26.7743	49.3344	52.1635	39.2880	44.6576	53.3376	57.6772
BJH Adsorption Average Pore Diameter (A)	56.0693	62.9030	62.8995	54.2928	50.7960	65.2727	60.6407

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A		PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NISA /13	START 13:13:04	11/08/01
SAMPLE ID: unt cassava stem	COMPL 14:22:52	11/08/01
OPERATER: Ratchanee	SAMPLE WT:	0.4200 g.
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE:	54.4913 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL:	5 sec

## SUMMARY REPORT

## AREA

BET Surface Area :	4.6251	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P <sub>0</sub> 0.1999:	2.9069	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	3.0020	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	3.1364	sq.m./g
Micropore Area:	- 3.7969	sq.m./g

## VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at P/P <sub>0</sub> 0.9841:	0.005704	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume. of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.004726	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.004357	cc./g
Micropore Volume:	-0.001953	cc./g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	49.334	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	62.9703	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	55.5712	A

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A		PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NISA /6	START 15:29:41	11/06/01
SAMPLE ID: q-r cassava stem	COMPL 17:01:33	11/08/01
OPERATER: Ratchanee	SAMPLE WT:	0.4400 g.
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE:	55.3645 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL:	5 sec

## SUMMARY REPORT

## AREA

BET Surface Area :	6.1455	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT $P/P_0$ 0.1999:	4.0438	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	4.2544	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	4.4328	sq.m./g
Micropore Area:	- 3.7969	sq.m./g

## VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at $P/P_0$ 0.9841:	0.008014	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.006690	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.006201	cc./g
Micropore Volume:	- 0.002554	cc./g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	52.1635	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	62.8995	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	55.9578	A

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A			PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NISA	/25	START 13:13:04	12/04/01
SAMPLE ID: unt Pineapple leaf		COMPL 14:22:52	12/04/01
OPERATER: Ratchanee		SAMPLE WT:	0.3489 g.
UNIT NUMBER: 1		FREE SPACE:	54.3026 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen		EQUIL INTRVL:	5 sec

## SUMMARY REPORT

## AREA

BET Surface Area :		5.5467	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT $P/P_0$ 0.1999:		2.7806	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		3.2037	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		3.2768	sq.m./g
Micropore Area:		- 2.3365	sq.m./g

## VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at $P/P_0$ 0.9841:		0.005448	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		0.004348	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		0.004043	cc./g
Micropore Volume:		- 0.002210	cc./g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :		39.2880	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)		54.2928	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)		49.3477	A

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A		PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NISA /24	START 15:14:22	12/08/01
SAMPLE ID: q-r Pineapple leaf	COMPL 16:59:25	12/03/01
OPERATER: Ratchanee	SAMPLE WT:	0.3740 g.
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE:	52.6249 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL:	5 sec

SUMMARY REPORT  
AREA

BET Surface Area :	7.5219	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT $P/P_0$ 0.1999:	4.1974	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	4.8362	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	5.0240	sq.m./g
Micropore Area:	- 3.9899	sq.m./g

VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at $P/P_0$ 0.9841:	0.008398	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.006826	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.006380	cc./g
Micropore Volume:	- 0.003171	cc./g

PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	44.6576	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	56.4595	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	50.7960	A

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A		PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NUCH /54	START 14:25:52	11/08/01
SAMPLE ID: unt Coconut Husk	COMPL 15:54:53	11/08/01
OPERATER: Ratchanee	SAMPLE WT:	0.3757 g.
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE:	55.0592 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL:	5 sec

## SUMMARY REPORT

## AREA

BET Surface Area :	6.4316	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P <sub>0</sub> 0.1999:	4.4221	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	4.3997.	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	4.6270	sq.m./g
Micropore Area:	4.1100	sq.m./g

## VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at P/P <sub>0</sub> 0.9841:	0.000576	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.007163	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.006620	cc./g
Micropore Volume:	0.002643	cc./g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	53.3376	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	65.1164	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	57.2727	A



## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A			PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: NUCH /52	START 10:12:45	11/08/01	
SAMPLE ID: q-r cassava stem	COMPL 11:39:04	11/08/01	
OPERATER: Ratchanee	SAMPLE WT:	0.3503 g.	
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE:	55.2016 cc	
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL:	5 sec	

## SUMMARY REPORT

## AREA

BET Surface Area :	7.0514	sq.m./g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT $P/P_0$ 0.1999:	5.6264	sq.m./g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	5.6507	sq.m./g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	5.7067	sq.m./g
Micropore Area:	5.0277	sq.m./g

## VOLUME


Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at $P/P_0$ 0.9841:	0.011321	cc./g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.009712	cc./g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.	0.0091017	cc./g
Micropore Volume:	0.003126	cc./g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	57.6772	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	60.6407	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	61.6057	A

## Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03 A			PAGE 13
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: JI	/23	START 15:38:41	06/06/01
SAMPLE ID: pac		COMPL 11:39:04	11/08/01
OPERATER: Ratchanee		SAMPLE WT:	0.3503 g.
UNIT NUMBER: 1		FREE SPACE:	55.2016 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen		EQUIL INTRVL:	5 sec



SUMMARY REPORT  
AREA

BET Surface Area :		1,163.8123 sq.m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P <sub>0</sub> 0.1999:		1575.4502 sq.m/g
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		578.6520 sq.m/g
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		614.2651 sq.m/g
Micropore Area:		454.8204 sq.m/g

## VOLUME

Single point total pore volume of pores less than 1235,7145 A diameter at P/P <sub>0</sub> 0.9841:		0.011321 cc/g
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		1.054538 cc/g
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of pores between 17-3000 and 3000,0000 A. dia.		0.843219 cc/g
Micropore Volume:		0.205544 cc/g

## PORE SIZE

Average Pore Diameter (4V/A By BET) :	26.7743	A
BJH Adsorption Average Pore diameter (4V/A)	56.0693	A
BJH Desorption Average Pore diameter (4V/A)	54.9090	A



ภาคผนวก ช.

สูตรโครงสร้างทางเคมีของสี

Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Black B

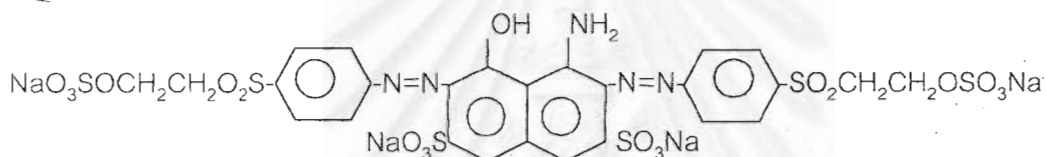
สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Remazol Brilliant Blue R



## Remazol Black B



หมายเหตุ สีที่เหลือไม่สามารถหาโครงสร้างสีได้เนื่องจากบริษัทไม่เผยแพร่

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

เรือโทหญิงรัชนี รุกขชาติ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539 หลังจากจบการศึกษาได้เข้ารับราชการในกองทัพเรือ จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย