

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมของ
ควอเตอร์ไนท์ครอสลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์ม



นายธนกร จันทสุบรรณ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

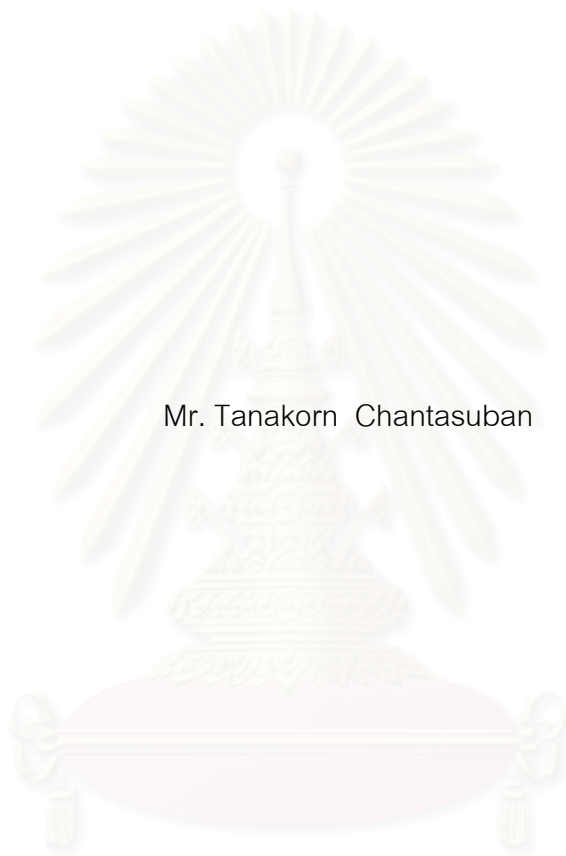
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2711-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF COLOR REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER BY
QUATERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE PREPARED FROM
PALM OIL FIBER



Mr. Tanakorn Chantasuban

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

Faculty of Engineer

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2711-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงาน
ฟอกย้อมของควอเทอร์ไนซ์โครสลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์ม
โดย นายธนกร จันทสุบรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเอี้ยว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4270351021: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: COLOR REMOVAL / PALM OIL FIBER / QUATERNIZED CROSSLONKED CELLULOSE
ACTIVATED CARBON / TEXTILE WASTEWATER.

TANAKORN CHANTASUBAN: EFFICIENCY OF COLOR REMOVAL FROM TEXTILE
WASTEWATER BY QUARTERNIZED CROSSLINKED CELLULOSE PREPARED FROM
PALM OIL FIBER. THESIS ADVISOR: Assoc. Prof. PETCHPORN
CHAOWAKITCHAROEN, Ph.D., 149 pp. ISBN 974-17-2711-9

The optimal conditions for activated carbon and quaternized crosslinked cellulose prepared from palm oil fiber (QCP) in color removal from treated textile wastewater are studied. In fixed-conditioned batch reactors, the system reach adsorption equilibrium within 60 minute for all samples and activated carbon system always reach equilibrium faster than QCP. In studying the effect of speed of agitation we found that varied speeds of agitation does not affect the equilibrium when reactor runs faster than 60 rpm. PAC need lower speed of agitation to achieve adsorption equilibrium than QCP at the same contact time. For effect of pH, efficiency of PAC and QCP are best at pH 2 and decrease as pH rise. In the study of adsorption efficiency in single solute synthetic wastewater and treated textile wastewater, it was found that PAC and QCP remove color in synthetic wastewater better than in treated wastewater. QCP are better remove color in synthetic wastewater than PAC. But PAC is better than QCP in case of treated textile wastewater. Average color removal efficiency of PAC in single solute synthetic wastewater and treated textile wastewater are 81.3 % and 84.6%, which of QCP are 99.9% and 74.3%, respectively. The study isotherm found that Q_{max} in adsorption isotherm of PAC in single solute synthetic wastewater and treated textile wastewater are averagely 1,456 and 438 gSU/g . Q_{max} of QCP in single solute synthetic wastewater, bisolute synthetic wastewater are 1705 , 780 and 286 gSU/g, respectively. Costs of color removal from treated textile wastewater of PAC and QCP are averagely 0.13 and 1.35 baht/litre, respectively.

Department/Program .Environmental Engineering... Student's signature.....

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

Academic year2002.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ พ่อและแม่ที่เคารพยิ่งของผู้วิจัย ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา สนับสนุนค่าใช้จ่าย ตลอดจนให้ความห่วงใยและกำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา งานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถสำเร็จลงได้โดยปราศจากกำลังใจจากครอบครัว

ขอบคุณ หมี่ ออย โจ๊ก พี่เอ กอล์ฟ จีบ อภิสัทธ์ พี่ยอด พี่ตี้ โอ และเพื่อน ๆ ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัย ได้แก่ ทุนวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนชิน ไสภณพนิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	5
2.1 สีย้อม.....	5
2.2 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม.....	13
2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	16
2.4 องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	23
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 แผนการวิจัย.....	37
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	41
3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	47
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	88
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลองการแปรผันพารามิเตอร์.....	98
ภาคผนวก ข. รูปแสดงค่า Absorbance ในการศึกษาพารามิเตอร์.....	108

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำไยที่ปรับสภาพแล้ว.....	119
ภาคผนวก ง. รูปแสดงค่า Absorbance ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำไยที่ปรับสภาพแล้ว.....	130
ภาคผนวก จ. สูตรโครงสร้างสีที่ใช้ในการวิจัย.....	140
ภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ.....	143
ภาคผนวก ช BET analysis.....	146
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	149



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สีแบ่งตามความยาวคลื่น..... 5
ตารางที่ 2.2	กลุ่มอะตอมออกซิโครม..... 8
ตารางที่ 2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยกับประเภทของสีย้อมที่ใช้... 11
ตารางที่ 2.4	ความสามารถในการดูดซับสีของซีล้อยไม้เนื้อแข็ง..... 28
ตารางที่ 2.5	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์..... 30
ตารางที่ 3.1	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง..... 37
ตารางที่ 3.2	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ..... 38
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอม..... 38
ตารางที่ 3.4	สรุปวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 47
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ PA - 1 ที่ใช้ในการทดลอง..... 48
ตารางที่ 4.2	สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์..... 52
ตารางที่ 4.3	สมบัติเบื้องต้นของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการทดลอง..... 55
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ที่ค่าพีเอชต่างๆ 63
ตารางที่ 4.5	สมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ..... 65
ตารางที่ 4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียวของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์..... 66
ตารางที่ 4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียน้ำทิ้งจากโรงงานของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์..... 67
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียที่ที่ใช้ในการทดลองของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ที่ปริมาณวัสดุ 100 กรัม..... 68
ตารางที่ 4.9	ผลการศึกษาแลงเมียร์ไอโซเทอมพารามิเตอร์..... 75
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยของ Q_{max} ของน้ำเสียแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลอง..... 76
ตารางที่ 4.11	ผลการศึกษาฟรอยด์ลิกไอโซเทอมพารามิเตอร์..... 76
ตารางที่ 4.12	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของแม่น้ำ Erawash พื้นที่ลุ่มน้ำ Severn Trench..... 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีจากน้ำเสียสีย้อมต่าง ๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเส้นใย ลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโครอสติลิ่งก์และควอเทอร์ไนซ์.....	87
---	----



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิบัติการควอเทอร์ไนซ์.....	23
รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส.....	24
รูปที่ 2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน.....	26
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	39
รูปที่ 4.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
รูปที่ 4.2 เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์.....	49
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์.....	50
รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกลูปาล์ม.....	51
รูปที่ 4.5 กราฟ absorbance ของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการทดลอง.....	56
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัส กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียโรงงานที่ 1.....	59
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัส กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียโรงงานที่ 2.....	59
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัส กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียโรงงานที่ 3.....	59
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียจากโรงงานที่ 1..	61
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียจากโรงงานที่ 2..	61
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้น ของน้ำเสียจากโรงงานที่ 3..	61
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นในน้ำเสียจากโรงงานที่ 1.....	64
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นในน้ำเสียจากโรงงานที่ 2.....	64
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นในน้ำเสียจากโรงงานที่ 3.....	64
รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยวิธีโครอสส์ลิงค์ ในน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว.....	69
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยวิธีโครอสส์ลิงค์ ในน้ำเสียจริงจากโรงงาน.....	71
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Brilliant Red 3BS (RR40).....	77
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Black B (RB40).....	78
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B20.....	79

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B40.....	80
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B20.....	81
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B40.....	82
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียจากโรงงานที่ 1 (F1).....	83
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียจากโรงงานที่ 2 (F2).....	84
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีใน น้ำเสียจากโรงงานที่ 3 (F3).....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งในปัจจุบันเนื่องจากสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมมีปริมาณสูงมาก สีในน้ำเสียเหล่านี้เกิดจากสีย้อมที่ใช้ไม่หมดในการย้อมหรือพิมพ์ผ้าและจากการซักล้างหรือปรุงแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมมาแล้ว โดยสีในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมอาจมีปริมาณถึง 5-60% ของสีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และสีย้อมที่ใช้ในโรงงานมักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อน ไม่สามารถบำบัดได้ง่าย จึงทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางชีววิทยาแล้วยังมีสีคงเหลืออยู่ในปริมาณมาก

จากการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมพบว่า น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายช้า (Slowly Biodegradable Organics) อยู่เป็นจำนวนมาก การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยระบบบำบัดทางชีววิทยาทั่วไปจะสามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้โดยการดูดติดผิวโดยแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถบำบัดสีได้น้อยเนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในระบบมีจำกัด ระบบบำบัดทางเคมีสามารถกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่า ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจึงมักจะมีระบบบำบัดทางเคมีเพื่อบำบัดสีควบคู่กับระบบบำบัดทางชีววิทยาด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานทั้งมาตรฐานด้านซีโอดีและสี

การกำจัดสีจากน้ำทิ้งในปัจจุบันทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation) ด้วยปูนขาวและเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) Chemical Oxidation ด้วยโอโซน (O_3) และคลอรีน (Cl_2) และการดูดซับ (Adsorption) ด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมที่สุด แต่วิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงมากเนื่องจากผงถ่านกัมมันต์มีราคาสูง จึงมีการพิจารณานำวัสดุชนิดอื่นที่มีราคาต่ำกว่ามาสังเคราะห์เพื่อใช้แทนผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียต่ำลงมาก วัสดุที่นำมาใช้แทนมักเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง แกลบ ชานอ้อย ก้านดอกทานตะวัน เป็นต้น เนื่องจากส่วนประกอบที่สำคัญของวัสดุเหล่านี้ คือ เซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยหมู่

ฟังก์ชันคาร์บอกซีลิก (carboxylic) ฟีนอลิก (phenolic) และไฮดรอกซีลิก (hydroxylic) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติคล้ายเรซินที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมี แต่จะมีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน ทำให้เซลลูโลสที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเรซินที่สังเคราะห์ขึ้นอยู่บางประการเช่น สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อย สารเกาะติดกับเซลลูโลสอย่างแน่นทำให้ยากต่อการรีเจนเนอเรต (regenerate) เป็นต้น จึงมีการค้นคว้าเพื่อพัฒนาคุณภาพเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้ดีขึ้น เพื่อสามารถใช้ทดแทนเรซินสังเคราะห์ได้ในอนาคตในราคาที่ถูกลง และสามารถเปลี่ยนของเสียมาเป็นวัตถุดิบมีค่าได้

การทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เป็นการเพิ่มคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีหนึ่ง ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีการทดลองกับชานอ้อยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูง (Lazlo,1996) โดยใช้สารนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethylammonium Chloride; CHMAC) เพื่อไปจับกับเซลลูโลส ทำให้เซลลูโลสมีหมู่ฟังก์ชันเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ จากนั้นคือขั้นตอนการทำครอสส์ลิงค์ (Crosslinking) เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึดโครงสร้างของเรซินได้ดีขึ้นโดยใช้สารอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งการครอสส์ลิงค์สามารถทำก่อนหรือหลังการทำควอเทอร์ไนซ์ก็ได้ หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไนโตรเจนอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของคลอไรด์โดยกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน ควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ได้จะเป็นเรซินแบบต่างแก่ ซึ่งจะใช้อิออนลบของตนคือคลอไรด์ไอออนแลกเปลี่ยนกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก ซึ่งในที่นี้คือสีย้อมที่มีประจุลบในน้ำเสีย

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่พัฒนาวิธีการควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ไปทดลองใช้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาของจิรภรณ์ (2542) ใช้เรซินที่ได้จากการทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์กับเส้นใยลูกปาล์ม ชานอ้อย ผักตบชวา กำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่า 95 % ทั้งนี้ พบว่าเรซินสังเคราะห์ที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์มให้ผลดีที่สุด ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาความสามารถของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

สำหรับงานวิจัยนี้ จะศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเรซินที่ได้จากเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์มาใช้ในการกำจัดสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมเพื่อทดแทนการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม ทั้งนี้ แม้ว่าจะกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียของเรซินที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์มจะเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยแลกเปลี่ยนไอออนลบของตนกับไอออนลบของสีในน้ำเสีย ต่างไปจากถ่านกัมมันต์ซึ่งกลไกในการกำจัดสีคือการดูดติดผิว แต่วัสดุที่ใช้ในการกำจัดสีแพร่หลายกันมาก่อนคือถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้ดีเช่นกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงนำเรซินที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์มมาทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ ทั้งในด้านข้อดีข้อเสีย และความเป็นไปได้ในการนำเรซินที่ได้จากเส้นใยลูกปาล์มมาทดแทนการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยนำน้ำเสียจริงมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการบำบัดสีของวัสดุแต่ละอย่าง และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของวัสดุที่เตรียมขึ้นกับถ่านกัมมันต์ พร้อมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียที่บำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์มโดยเทียบกับถ่านกัมมันต์
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีของน้ำเสียจริงของโรงงานฟอกย้อมสำหรับควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสจากเส้นใยลูกปาล์มเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์
3. ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสีของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์มเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1.3.1 ทำการปรับสภาพสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเส้นใยลูกปาล์ม ด้วย อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และ N-(3-Chloro-2-hydroxypropyl) Trimethylammonium Chloride (CHMAC)

1.3.2 การกำจัดสีในน้ำทิ้งศึกษาในระบบปฏิกรณ์แบบแบตช์

1.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม ที่ผ่านการบำบัดแล้ว

1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีเดียวและในน้ำเสียจริง

1.3.5 ศึกษาไอโซเทอมในน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีเดียว น้ำเสียสังเคราะห์แบบสีผสม และน้ำเสียจริง

1.3.6 การวัดสีใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ในหน่วย SU และ ADMI

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 สีย้อม

ตามธรรมชาติ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับภาพได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร โดยการมองเห็นสีต่างๆ แบ่งตามความยาวคลื่นได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สีแบ่งตามความยาวคลื่น (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

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

2.1.1 ทฤษฎีการย้อมสี (อัจฉราพร ไสละสูต, 2527)

การที่จะนำสีย้อมใดๆมาย้อมให้ได้ผลดีนั้น อานาจการรวมตัวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าอานาจการรวมตัวของสีย้อมกับน้ำ ซึ่งสภาวะเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมเรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่น อิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สีย้อมดูดติดเส้นใยแบ่งกว้างๆได้เป็น 4 ชนิด คือ

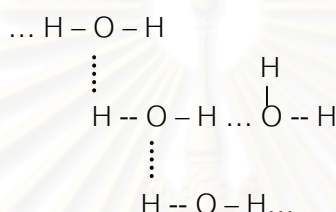
1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' Force)

3. แรงไอออนิก (Ionic Force)

4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond)

โดยการดูติดกันระหว่างโมเลกุลของสี่ย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วยกำลังแรงอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน

พันธะไฮโดรเจน ไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะยึดอย่างหลวมๆกับอะตอมอื่นได้ ตัวอย่างเช่น การยึดตัวกันของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ ทั้งนี้เส้นใยและสี่ย้อมเกือบทุกชนิดมีกลุ่มไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก



แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันได้เอง โมเลกุลของเส้นใยและสี่ย้อมมีเอกลักษณ์พิเศษที่ทำให้เกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดติดกันได้ คือ มีโมเลกุลยาวและแบน เช่น โมเลกุลของเซลลูโลสกับสี่ย้อมแวต หรือสี่ย้อมไคเรทท์ หรือเมื่อโมเลกุลทั้งสองมีอัตราส่วนของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนใกล้เคียงกัน เช่น สี่ที่ใช้ย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์เกือบทั้งหมด น้ำก็มีส่วนช่วยให้สี่ย้อมและเส้นใยยึดติดกันด้วย โดยการที่กลุ่มไฮโดรคาร์บอนพยายามที่จะแยกตัวออกจากน้ำและมารวมตัวกันเอง ที่รู้จักกันว่าเป็นการรวมตัวแบบไฮโดรโฟบิก

แรงไอออนิก เกิดขึ้นโดยไฟฟ้าต่างศักย์ เส้นใยเมื่ออยู่ในน้ำมีปฏิกิริยาไฟฟ้าเป็นลบ สี่ย้อมที่ละลายน้ำส่วนใหญ่เป็นแอนไอออน การดูติดเกิดขึ้นไม่ได้ต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อนที่สี่ย้อมจะเข้ามาใกล้พอที่แรงแวนเดอร์วาลส์จะทำหน้าที่ได้ ส่วนสี่ย้อมที่เป็นแคทไอออน เช่น สี่ที่ใช้ย้อมใยอะคริลิก ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการเปลี่ยนศักย์ในเส้นใย

พันธะโควาเลนต์ การยึดติดเส้นใยของสี่ย้อมด้วยพันธะโควาเลนต์นั้นสามารถยึดติดได้แน่นยิ่งกว่าแรงใดๆที่กล่าวมาข้างต้น เช่น การยึดติดเส้นใยของสี่ย้อมรีเอกทีฟหรือการย้อมสีแอซิดกับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

การยึดติดของโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลเส้นใยนอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรง ทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิต หรือด้านรูปร่างและขนาดของสีย้อมก็มีผลต่อการยึดติดอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การติดสีดีขึ้น เป็นต้น

2.1.2 การเกิดของสีย้อม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

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

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

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

ตารางที่ 2.2 กลุ่มอะตอมออกซิโครม (Rangnekar และ Singh, 1980)

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

2.1.3 การจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร ไชละสูต, 2527)

สิ่งย้อมสิ่งทอจำแนกตามตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่าสีย้อม (Dye) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่าพิกเมนต์ (Pigment) พิกเมนต์ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถย้อมเส้นใยให้เกิดสีได้เช่นเดียวกับสีย้อมโดยให้พิกเมนต์กระจายตัวหรือบางครั้งก็แขวนลอยในเรซิน ยึดติดเส้นใยได้โดยเชิงกล มีบางตัวที่ติดเส้นใยโดยเชิงเคมี เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเป็นการยากที่จะทราบวาสีตัวไหนเป็นสีย้อมและตัวไหนเป็นพิกเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสีย้อมบางตัวที่เวลาย้อมจะต้องทำให้ละลายเสียก่อน เมื่อทำการย้อมแล้วจึงเปลี่ยนเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำภายในเส้นใยกลายเป็นพิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกเช่นนี้เกิดความสับสน

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

การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

1. สีแอซิด (Acid Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยไนลอนและเส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไหม ไม่เหมาะที่จะนำไปย้อมเส้นใยประเภทเซลลูโลส ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ ไตรฟีนิลมีเทน และแอนทราควิโนน สีย้อมแอซิดย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิกในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง

2. สีมอร์แดนท์ (Mordant Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมนี้ส่วนใหญ่เป็นตัวย้อมในกลุ่มแอซิดที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียมและเหล็ก ในกระบวนการย้อมต้องมีการเติมเกลือของโลหะ เช่น โซเดียมไดโครเมต ทำให้สีติดเส้นใยด้วยพันธะเชิงซ้อนและพันธะโควาเลนต์

3. สีเบสิก (Basic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุบวก สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยอะคริลิก ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกไดฟีนิลมีเทน ไตรฟีนิลมีเทน ออกซาซีน ไทอาซีนและเอโซ ซึ่งสามารถย้อมติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

4. สีไดเรกต์ (Direct Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส สีกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มเอโซ กระบวนการย้อมสีไดเรกต์ ต้องมีการเติมสารอิเล็กโตรไลต์ เช่น โซเดียม คลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต เพื่อช่วยให้สีซึมเข้าภายในเส้นใยได้มากขึ้น ซึ่งสีย้อมนี้จะติดเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก

5. สีดีสเพอร์ส (Disperse Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือละลายได้เล็กน้อย ดังนั้นตัวสีจะอยู่ในรูปคอลลอยด์ ต้องย้อมในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้สีย้อมกระจายตัวเข้าไปใกล้เส้นใย และสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เหมาะสมกับเส้นใยเซลลูโลส อะซิเตต ไนลอนและโพลีเอสเตอร์ ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ และแอนทราควิโนน

6. สีเอโซอิก (Azoic Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกเอโซ

7. สีแวต (Vat Dyes)

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

8. สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์ และเมื่อสีย้อมเข้าไปในเส้นใย เมื่อเส้นใยสัมผัสกับอากาศ สีย้อมจะถูกออกซิไดซ์ เปลี่ยนเป็นไม่ละลายน้ำดังเดิม ทำให้สีติดเส้นใยได้ เหมาะกับเส้นใยเซลลูโลส

9. สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีย้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เป็นสีที่ใส่ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีไอออนในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำให้สียึดติดเส้นใยได้ดี

เนื่องจากความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยต่างๆ ทำให้ต้องใช้สีย้อมแตกต่างกัน ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเส้นใยและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกับชนิดของสีย้อมที่ใช้ ในตารางที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยกับประเภทของสีย้อมที่ใช้
(Johnson, 1989)

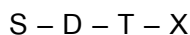
เส้นใย	หมู่ฟังก์ชัน	สีย้อมที่ใช้
ขนสัตว์	-NH ₂ , -COOH, -CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ โครม รีแอกทีฟ
ไหม	-NH ₂ , -COOH, -CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ เบสิก แวต
Cruprommonium Rayon	-OH, -COOH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์
วิสคอส เรยอน	-OH, -COOH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์ รีแอกทีฟ
ฝ้าย	-OH	ไดเรกต์ แวต ซัลเฟอร์ รีแอกทีฟ
Secondary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

2.1.4 สีรีแอกทีฟ (จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542)

สีรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ เพื่อสร้างเป็นสารประกอบครอสส์ลิงค์กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู

โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีรีแอกทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้



- โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟนิก (-SO₂Na) ซึ่งอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์
- D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์
- T คือ กลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Bridging Group) ระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ เช่น กลุ่ม -NH-, -NHCO-, -SO₂-, -NHSO₂- และ -NCH₃- เป็นต้น
- X คือ กลุ่มรีแอกทีฟ (Reactive Group) เป็นกลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่ทำปฏิกิริยากับกลุ่ม ไฮดรอกซิลในเส้นใย ส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic)

ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบเฮเทอโรไซคลิกมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติอื่นๆของสี ในบางกรณีกลุ่มโครโมฟอร์และกลุ่มรีแอกทีฟซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไปก็สามารถเชื่อมติดกันได้โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ

ในกระบวนการฟอกย้อมสีรีแอกทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญคือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลซิสในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ไม่เพียงเพื่อเป็นการประหยัดเท่านั้น ยังทำให้เส้นใยไม่ดูดสีที่ไฮโดรไลซิสแล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้สีไฮโดรไลซิสมาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่ตกเวลาใช้

การไฮโดรไลซิสของสีนั้น คือ การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ มักเป็นปฏิกิริยาที่แข่งขันกับการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย ปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยสามารถเกิด

ได้ก็ต่อเมื่อสีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นความเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใยของสี อัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆ แม้ในช่วงค่อนข้างกว้างของพีเอชที่เป็นต่าง

ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นกับ

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

สีรีแอคทีฟที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ Remazol Black B (C.I. Reactive Black 5), Remazol Brilliant Red 3BS (C.I. Reactive Red 239) (ดูโครงสร้างสีใน ภาคผนวก จ.)

2.2 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม (Metcalf และ Eddy, 1991)

สิ่งเจือปนในน้ำเสียจากในโรงงานฟอกย้อมนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อม เส้นด้าย และสารเคมี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการกำจัดสีมีหลายวิธีดังนี้

โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการกำจัดที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์ร็อกโซไซด์ หรือเพอร์ร็อกซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดที่โดยกระบวนการตกตะกอนเป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารตกตะกอน ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง ในบางกรณีอาจต้องใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิบัติการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

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

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

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ สามารถใช้กำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1,200 ดังนั้นก่อนการกำจัดด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีกระบวนการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว

การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment)

เป็นการทำลายโมเลกุลของสีโดยการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของสีย้อมซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ **ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)** ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ เช่น สีดีสเพอร์ส สีซัลเฟอร์ สีแวต และสีอะไซอิก **ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)** เหมาะสำหรับใช้กำจัดอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ **ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane)** ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน และ **นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)** ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟเนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟต้องใช้สารอิเลกโตรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเลกโตรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

เทคโนโลยีใหม่ๆ (New Technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น

1. ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม
2. ระบบที่มีพื้นฐานของอิเลกโตรไลซิสที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูงและบางครั้งคลอรีนและไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้

3. ตัวดูดซับชนิดอินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวา จะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไว้แลกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

2.3.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2532)

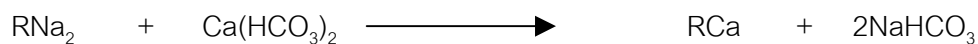
การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประเภทซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

1. กำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะหนักต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะหนักที่ใช้เรซินกำจัดออกได้ ได้แก่ อาเซนิก แบริยม แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน วานาเดียม สังกะสี นิกเกิล
2. ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดจากสารละลายจะหลุดออกมากับสารรีเจนเนอแรนท์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอแรชั่น (Regeneration) เนื่องจากปริมาตรของสารละลายรีเจนเนอแรนท์ต่ำกว่า ปริมาตรสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิม เจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่า

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้มากที่สุดในการแก้ความกระด้างของน้ำ และในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralization) เพื่อใช้ในการทำไอน้ำและในงานอุตสาหกรรมบางชนิด สำหรับในการกำจัดน้ำเสียนั้นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้กันมากในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และ ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการแก้ไขความกระด้างของน้ำ อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



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

เรซินเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชัน สำหรับเรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกงซึ่งมี Na^+ อยู่เป็นจำนวนมาก เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรตแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก สมการเคมีเขียนดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมาก เพื่อให้สมดุลกับปฏิกิริยากลับทิศทาง

2.3.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2532)

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

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

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

หมู่ฟังก์ชันของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าส่วนโครงสร้างเมตริกซ์มีประจุลบประจำตัว หมู่ฟังก์ชันจะมีประจุบวก เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchanger) ถ้าโครงสร้างเมตริกซ์มีประจุบวกประจำตัวหมู่ฟังก์ชันจะมีประจุลบเรียกว่า สารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchanger)

เรซินสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน จึงมีโครงสร้างเป็นสารพอลิเอสไตรีนที่รวมตัวอยู่กับไดไวนิลเบนซีน โดยหมู่ฟังก์ชันของสารแลกเปลี่ยนประจุบวก จะเป็นพวกซัลโฟนิค คาร์บอกซิลิก หรือ ฟอสโฟนิค ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบจะเป็นพวกที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นพวก Quaternary Ammonium, Primary Amine, Secondary Amine

2.3.3 การจำแนกประเภทเรซินตามความเป็นกรดหรือด่าง (มันลิน ตันกุลเวศม์, 2532)

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด คือ เรซินแบบกรดแก่ เรซินแบบกรดอ่อน เรซินแบบด่างแก่ และเรซินแบบด่างอ่อน

เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Resin)

มีหมู่ซัลโฟนิก (SO_3^-) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี H^+ หรือ Na^+ เป็นไอออนอิสระหน้าของเรซินแบบกรดแก่ จะใช้ไอออนบวกของตัวเองแลกกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} เป็นต้น เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดซัลฟิวริกหรือกรดไฮโดรคลอริก

เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินในรูป H^+ สามารถแยก Na^+ จากเกลือแกงได้ อำนวยเช่นนี้เรียกว่าการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. การรั่วของไอออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น Ca^{2+} เกิดขึ้นน้อย
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว
5. เรซินมีความคงตัว และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100-120 องศาเซลเซียส และอาจใช้ได้ยาวนานถึง 20 ปีหรือมากกว่า โดยมีการสูญเสียความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การเปลี่ยนรูปของ Na^+ ในเรซินเป็น H^+ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 7
7. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชั่นต่ำ ประมาณร้อยละ 25-45 ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชั่น
2. เรซินถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสานโครงร่างต่ำ

เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Resin)

เรซินแบบกรดอ่อนมีหมู่คาร์บอกซิลิก (COO^-) เป็นหมู่ที่มีประจุไฟฟ้า โดยมี H^+ หรือ Na^+ เป็นไอออนอิสระ เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดอะคริลิก มีหน้าที่ใช้ไอออนบวกของเรซิน (H^+ หรือ Na^+) แลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงถึงร้อยละ 90 โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของ H^+ เพราะเรซินมีความชอบ (Affinity) สูง
2. ชีตความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป H^+ สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องเติมกรด
5. เรซินสามารถใช้รีเจนเนอเรนท์ จากการรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ได้
6. มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ในสภาวะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูงเท่านั้น
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting) แต่แยกเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น NaHCO_3
3. การเปลี่ยนรูป H^+ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบถึง 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า และขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดการรั่ว (Leakage) ของไอออนที่ต้องการกำจัดออก

เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Resin)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าที่ของเรซินแบบด่างแก่คือใช้ไอออนลบของเรซินแลกกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_2 และ SiO_2

เรซินแบบต่างแแกมีข้อดี คือ

1. เรซินใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. เรซินมีความสามารถในการแยกเกลือ
3. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนเร็ว

เรซินแบบต่างแแกมีข้อเสีย คือ

1. เรซินมีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันต่ำเพียงร้อยละ 18-33 ทำให้สิ้นเปลืองสารรีเจนเนอเรนต์
2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. ในกรณีที่น้ำเสียมีกรดฮิวมิกจากการเน่าเปื่อยของพืช สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้
4. เรซินเปลี่ยนเป็นต่างอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแบบต่างอ่อน (Weak Basic Resin)

เรซินแบบต่างอ่อนมีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินแบบนี้จะต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากกลไกการทำงานเป็นลักษณะการดูดซับไม่ใช่การแลกเปลี่ยนประจุเรซินชนิดนี้จะกำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl H_2SO_4 HNO_3 และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2 และ SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นจากการที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน โดยทั่วไปเรซินชนิดนี้มักใช้กำจัด Cl^- และ SO_4^{2-}

เรซินแบบต่างอ่อนมีข้อดี คือ

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

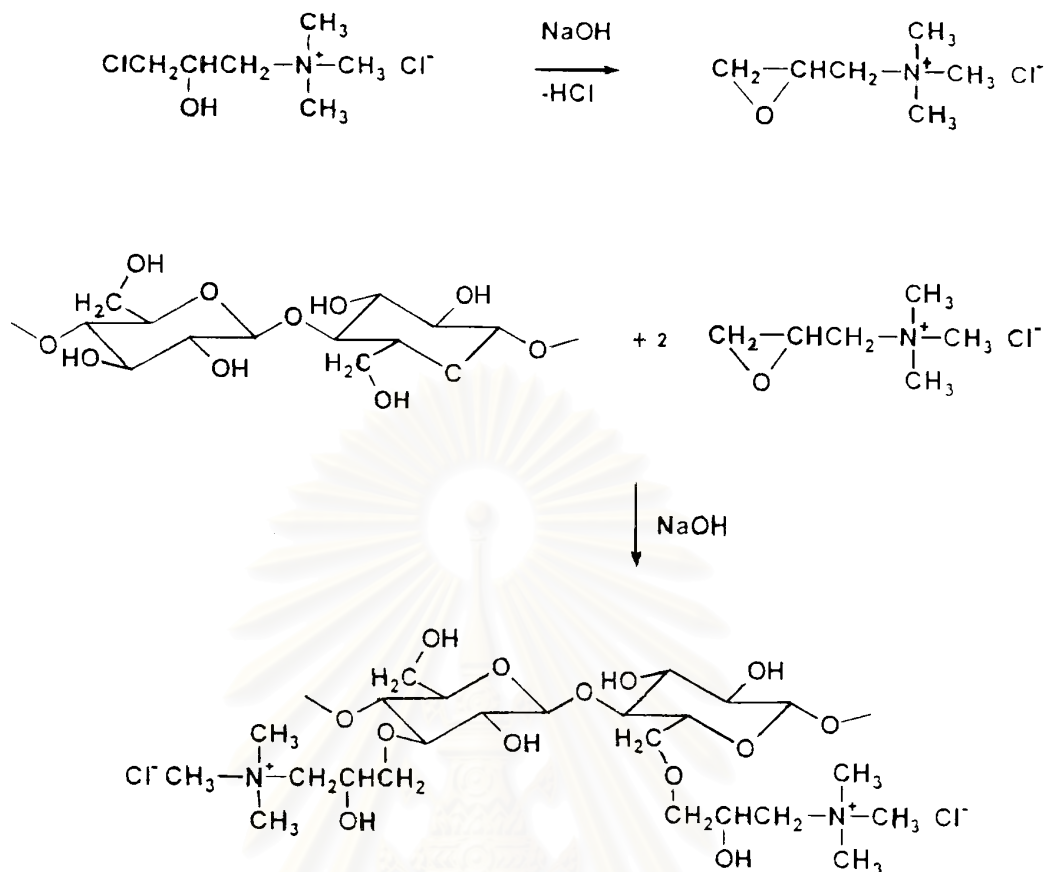
เรซินแบบต่างอ่อนมีข้อเสีย คือ ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้นและมีอัตราในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ

2.3.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเช่นเดียวกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็นไฮโดรฟิลิกแต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็นไฮโดรโฟบิก เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนโดยมีหมู่ฟังก์ชันอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่าย

การทำควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสเป็นการสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิธีหนึ่ง ขั้นตอนการทำขั้นแรกคือการทำควอเตอร์ไนซ์โดยใช้สาร CHMAC เพื่อไปจับกับเซลลูโลสกลายเป็นกลุ่มไนโตรเจนอินทรีย์ จากนั้นคือขั้นตอนการทำครอสส์ลิงค์เพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายยึดโครงสร้างของเรซินได้ดีขึ้นโดยใช้สารอีพิคลอโรไฮดริน และโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วทำให้อยู่ในรูปของคลอไรด์โดยกรดไฮโดรคลอริก ควอเตอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ได้จะเป็นเรซินแบบต่างแก่ ซึ่งจะใช้อิออนลบของตนแลกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก ปฏิกิริยาที่เกิดในการทำควอเตอร์ไนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาการควอเทอร์ไนซ์ (Shi และคณะ , 1999)

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

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

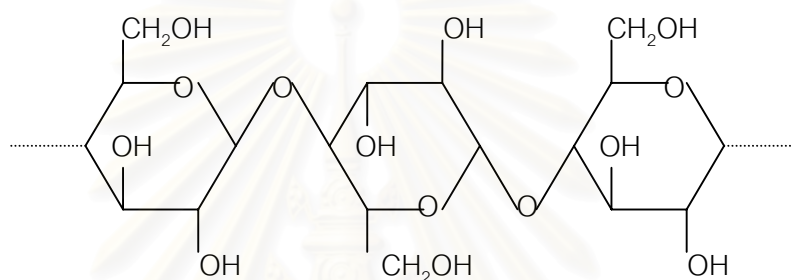
1. ลิกนิน
2. ไฮโดรเซลลูโลส

- เซลลูโลส
- เฮมิเซลลูโลส

ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิด อายุ และส่วนต่างๆของพืช

2.4.1 เซลลูโลส

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



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส (ปิยนุช นาคพงศ์, 2536)

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

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

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส

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

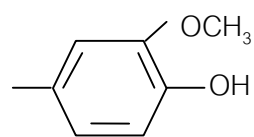
สำหรับไซแลนที่เป็นองค์ประกอบหลักของ เฮมิเซลลูโลสนั้น เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาล ซีโลโลสที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา -1,4 xylosidic linkage อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลอย่างเดี่ยว หรือมีกิ่งก้านสาขาที่มีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ ประปนอยู่ เช่น L-arabinofuranose เชื่อมต่อกับ D-xylose ที่มีตำแหน่ง 0-3 และ D-glucuronic acid หรือ 4-0-methyl-glucuronic acid ซึ่งต่อกับ D-Xylose ที่ตำแหน่ง 0-2

2.4.3 ลิกนิน

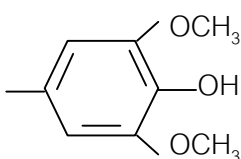
ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogeneous organic polymer จะอยู่ภายในโครงสร้างของพืช โดยอยู่รอบๆเซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก ที่ประกอบไปด้วยหมู่เมทอกซิล (-OCH₃) หมู่ไฮดรอกซิลและส่วนที่เป็นฟีนอลิก โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

- ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane)
- กัวอิจะซีล ยูนิต (Guaiacyl Unit)
- ไสริงกิล ยูนิต (Syringyl Unit)
- พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต (Para-Hydroxyphenyl Unit)

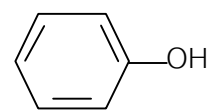
ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนินแสดงในรูปที่ 2.3



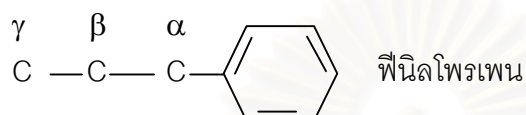
กัวอิจอะซีล ยูนิต



ไซริงกิล ยูนิต



พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิต



ฟีนิลโพรเพน

รูปที่ 2.3 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน (ปราณี สติรพิพัฒน์กุล, 2537)

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศที่มีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เพราะนอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะแล้วยังเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย จึงมีผู้คิดค้น ศึกษาวิจัยและพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เหมาะสมกับการใช้งานในด้านต่างๆ มากมาย ในด้านที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียก็เช่นกัน

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ พบว่า มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิด มาทดลองใช้ในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่มีสารละลายสีปนเปื้อนอยู่ อาทิเช่น ชี้เลี้ยง แกลบข้าว ชานอ้อย ช้างข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน เป็นต้น

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

Asfour และคณะ, 1985 ทำการวิจัยโดยใช้ชี้เลี้ยงไม้เนื้อแข็งที่มีความชื้น 13 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวดูดซับสีของสารละลายเจือจางของสีย้อม การทดลองทำเป็นแบตช์ (Batch) โดยใช้สารละลายสี Astrazone Blue (Basic Blue FRR69) ศึกษาผลของการกวน อุณหภูมิ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสี และขนาดของอนุภาคชี้เลี้ยง ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสี ได้ผลดังตาราง 2.4 จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีของชี้เลี้ยงในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงถึงร้อยละ 85 ที่เวลาสัมผัส 100 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ชี้เลี้ยงไม้เนื้อแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200-500 นาโนเมตร

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการดูดซับสีของซีลียอยไม้เนื้อแข็ง (Asfour และคณะ, 1985)

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

McKay, El-Geundi และ Nassar, 1987 ทดลองใช้ชานอ้อยกำจัดสีย้อมเบสิกและสีย้อมแอซิดอย่างละ 2 โทนสีคือ สีน้ำเงิน และสีแดง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิสีย้อมและขนาดโพรงชานอ้อยที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิว โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่าชานอ้อยมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกได้สูงสุดเท่ากับ 158 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Basic Blue 69 และ 77 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อย สำหรับสี Basic Red 22 แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอซิดได้ต่ำกว่า คือเท่ากับ 23 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Acid Red 114 และ 22 มิลลิกรัมสีต่อกรัมชานอ้อยสำหรับสี Acid Blue 25 ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นพบว่าเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของไอออนขนาดใหญ่ในสีย้อม ทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงขึ้น

McKay, Ramprasad และ Mow-Li, 1987 ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้สารดูดติดผิวราคาถูก 6 ชนิด คือ เปลือกไม้สัก แกลบข้าว เศษฝ้าย ถ่าน เส้นผม และเบนโทไนท์ ผลการทดลองพบว่าเบนโทไนท์เกิดพันธะที่แข็งแรงในการดูดติดสีย้อมทำให้การรีเจนเนอเรตเป็น

ไปได้ยาก ส่วนแกลบข้าว เปลือกไม้สักเศษฝ้าย และเส้นผม สามารถดูดติดผิวได้กับสีย้อมเบสิก เท่านั้น ทั้งยังเกิดการแลกเปลี่ยนประจุและพันธะเคมีในขณะที่มีการดูดติดผิวอีกด้วย

El-Geundi, 1991 ศึกษาการกำจัดสีย้อมเบสิก 2 สี คือ Astrazon Blue และ Maxilon Red และสีย้อมแอซิด 2 สี คือ Telon Blue และ Erionyl Red โดยใช้ซังข้าวโพดป่น ทำการทดลอง โดยแปรค่าความเร็วในการรวน ขนาดอนุภาค และปริมาณของซังข้าวโพดป่น ผลการทดลองพบว่า ซังข้าวโพดป่นสามารถดูดซับสีย้อมเบสิกได้ดีคือเท่ากับ 160 และ 94.5 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Astrazon Blue และ Maxilon Red ตามลำดับ แต่สามารถดูดซับสีย้อมแอซิดได้ต่ำกว่าคือเท่ากับ 47.7 และ 41.4 มิลลิกรัมต่อกรัมของสี Erionyl Red และ Telon Blue ตามลำดับ การเพิ่มความเร็วในการรวนและปริมาณของวัสดุสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการลดขนาดซังข้าวโพดป่นจะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดผิวโดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเบสิกสูงกว่าสีย้อมแอซิด เนื่องจากซังข้าวโพดมีเซลลูโลสประกอบเป็นโครงสร้าง และเมื่อเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำจะให้ประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถดูดติดผิวกับสีย้อมประจุบวกได้

Nassar และ El-Geundi, 1991 ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมด้วยตัวดูดซับที่มาจากธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวดูดซับ คือ ดินเหนียว ชานอ้อย และซังข้าวโพด เปรียบเทียบกับผงถ่านกัมมันต์ สีที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Telon Blue ANL (สีย้อมแอซิด ; $\lambda_{\max} = 600$ นาโนเมตร), Maxilon Red BL-N (สีย้อมเบสิก ; $\lambda_{\max} = 535$ นาโนเมตร) และ Astrazone Blue FRA (สีย้อมเบสิก ; $\lambda_{\max} = 585$ นาโนเมตร) การทดลองทำเป็นแบตช์ โดยใช้ตัวดูดซับที่มีปริมาณเท่ากันในแต่ละแบตช์ แล้วแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายสี ที่อุณหภูมิ 23 -27 องศาเซลเซียสคิดค่าใช้จ่ายของวัสดุแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับเท่ากันได้ผลดังตารางที่ 2.5

Meyer, Carlsson และ Oellermann, 1992 ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติมาเป็นตัวดูดซับ วัสดุที่ใช้ได้แก่ ถ่านหินบาร์บีคิว (Barbecue Charcoal) พีชเส้นใย (Vermiculite) ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด ทราย ผักเน่า (Peatmoss) และเปลือกข้าว พบว่าวัสดุทุกชนิดสามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 50 แต่วัสดุที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ถ่านหินบาร์บีคิวและเปลือกข้าว มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึงร้อยละ 67 และร้อยละ 65 ตามลำดับ จากผลการทดลองเบื้องต้นได้นำถ่านหินบาร์บีคิวมาทดลองหาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บีคิวโดยแปรค่าพีเอชจาก 4 ถึง 9 พบว่าในช่วงพีเอชระหว่าง 5 ถึง 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านหินบาร์บีคิวค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ได้

ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบชั้นตรึง (Fixed-bed Reactor) เพื่อบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับของถ่านหินบาร์บิคิวโดยให้น้ำไหลจากบนลงล่าง และมีเวลากักน้ำเท่ากับ 1.6 ชั่วโมง พบว่าถ่านหินจะอิ่มตัวเต็มที่เมื่อวันที่ 25 ของการทดลองโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82

ตารางที่ 2.5 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีของตัวดูดซับแต่ละชนิดเทียบกับถ่านกัมมันต์

(Nassar และ El-Geundi, 1991)

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

Laszlo และ Dintzis, 1994 ทำการวิจัยปรับปรุงเสถียรภาพทางกายภาพ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อย ด้วยการสร้างโครอสส์ลิงค์โดยใช้สารอีพิกคลอโรไฮดริน ทดสอบเสถียรภาพของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมี 3 วิธี คือ NDF Treatment (Natural Detergent Fiber Treatment) Soxhlet Treatment และ Sodiumborate buffer Treatment พบว่าเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการสร้างโครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ในขณะที่เปลือกถั่ว

เหลืองและขาน้อยที่ผ่านการสร้างครอสส์ลิงค์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงน้อยมาก (ไม่เกินร้อยละ 1) เมื่อทดสอบด้วยวิธี NDF และ Soxhlet ไม่เกินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Sodiumborate buffer พบว่าเปลือกถั่วเหลืองและขาน้อยที่ผ่านการบำบัดด้วยอีพิคลอโรไฮดรินจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.9 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 1.3 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมของการทำปฏิกิริยากับสารอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 4-6 ชั่วโมง

Laszlo, 1995 ศึกษาเกี่ยวกับผลของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive Dye: Remazol Brilliant Red F3B) โดยใช้ควอเทอร์นารีเซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; QA52) พบว่าควอเทอร์นารีเซลลูโลสสามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟได้แม้ในสภาพที่มีสารอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นสูง และยังพบว่าควอเทอร์นารีเซลลูโลสสามารถทำการฟื้นฟูสภาพด้วยต่างกันได้ ซึ่งประหยัดกว่าการใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนแบบอื่นในการกำจัดสีจากน้ำทิ้ง

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

Laszlo, 1996 ทำการวิจัยโดยใช้ขาน้อยกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Brilliant Red F3B) จากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยนำขาน้อยที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีและครอสส์ลิงค์ด้วย สาร CHMAC และสารอีพิคลอโรไฮดรินเป็นเรซินที่ใช้ในการกำจัดสีเปรียบเทียบกับควอเทอร์นารีเซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; Quarternary ammonium Cellulose: QA52) โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่าขาน้อยที่ผ่านการทำควอเทอร์นารีและครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการกำจัดสีในสภาวะที่เป็นเบสได้ดีกว่าควอเทอร์นารีเซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด โดยพบว่าในสารละลายที่มีความเป็นเบสมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีของขาน้อยที่ผ่านการควอเทอร์นารีและครอสส์ลิงค์ลดลงจากร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 25 ส่วน QA52 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงจากร้อยละ 70 เป็นร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินที่มี

ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุด คือ กำจัดได้ร้อยละ 95 ภายในเวลา 5-15 นาที ควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

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

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

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

Shi และคณะ, 1999 ได้นำก้านทานตะวันมาพัฒนาความสามารถในการดูดติดผิวโดยปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยหมู่ quaternary ammonium ถูกทำปฏิกิริยาทางเคมีให้ยึดติดกับก้านทานตะวันเพื่อให้สามารถดูดติดผิวสีประจุลบในน้ำเสีย ทำการทดลองกับสารละลายสีเบสิก (ประจุบวก) 2 สี ได้แก่ Methylene Blue และ Basic Red 9 และ สีไดเรกต์ (ประจุลบ) 2 สี ได้แก่ Congo Red และ Direct Blue 71 แล้วใช้สมดุลไอโซเทอร์มและไคเนติกแอดซอร์พชัน (Kinetic Adsorption) ในการหาค่าการดูดติดผิว ซึ่งก่อนทำการปรับสภาพก้านทานตะวันมีความสามารถในการดูดติดผิวสีไดเรกต์ต่ำแต่ดูดติดผิวได้ดีกับสีเบสิก ซึ่งหลังการปรับสภาพก้านทานตะวันแล้วพบว่ามีความสามารถในการดูดติดผิวสีไดเรกต์สูงขึ้นแต่จะทำให้การดูดติดผิวสีเบสิกลดลง

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

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

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

Somboon, Bhavakul และ Siriananpibool, 2000 ศึกษาศักยภาพของการใช้ผงผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสีทอขนาดเล็กเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ โดยทดสอบกับสีไดเรกต์ 2 ชนิด (Sirius Blue KGRLN และ Sirius Blue FBGLN) พบว่า ทั้งผงผักตบชวาสามารถดูดซับสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ โดยสามารถดูดซับสี Sirius Blue KGRLN ได้ดีกว่าสี Sirius Blue FBGLN 2.9 เท่า และสามารถดูดซับสี Sirius Blue KGRLN ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ 3.2 เท่า

ชลธา ไกรวัตนุสรณ์ ลัดดา ยาวีร์ชน และศักดิ์จิตรา ต้นสมบุญ, 2538 ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำตาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยและศึกษาผลของความชื้นที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านให้ได้ถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือร้อยละ 54.4 ซึ่งจะให้ผลการดูดซับสีจากน้ำตาลได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.4

สัญญาวัล อิงคภาคย์, 2539 ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดซีไอดีและสีจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และแกลบ พบว่าถ่านไม้และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวซีไอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมโดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีไอดีและสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78-97 และร้อยละ 37-96 ตามลำดับ และที่ความสูงของถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้ความสามารถในการลดซีไอดีและสีสูงสุด

วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อัญญา, 2540 ศึกษาการกำจัดสีไโดเรกท์ด้วยผงผักตบชวา โดยสีไโดเรกท์ที่ใช้ได้แก่ สี Sirius Red F3B, Sirius Red Violet RL, Sirius Blue S-BRR และ Sirius Orange K-CF โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่าผงผักตบชวาจะดูดซับสีไโดเรกท์ทุกชนิดได้อย่างรวดเร็ว โดยจะใช้เวลาถึงจุดสมดุลน้อยกว่า 40 นาที และจะมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงประมาณร้อยละ 90 และสามารถบำบัดสีได้ดีในช่วงพีเอช 6-10 นอกจากนี้การฟื้นฟูสภาพของผักตบชวาสามารถทำได้ง่าย โดยแช่ผักตบชวาในสารละลายเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 11.0 แต่การฟื้นฟูสภาพนั้นไม่คุ้มค่า เนื่องจากผงผักตบชวามีราคาสูง และการล้างสีออกมาได้น้อย จึงไม่เหมาะต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542 ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไโดเรกท์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีโครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าควอเทอร์นารีโครอสส์ลิงค์เรซินที่ทำจากวัสดุชนิดเดียว

กัน โดยประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 4 ในขณะที่ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสส์ลิงค์มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 95 – 99

บุญยฤทธิ ปัญญาภิญโญผล, 2543 ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน ทำการทดลองแบบแบดซ์กับสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 23.35 ในขณะที่ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสส์ลิงค์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟร้อยละ 30.74-100 และร้อยละ 97.31-100 ตามลำดับ

รัฐพล แสนสวาท และคณะ, 2544 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue และ Navy Blue 171 ของชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์มากโดยควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย เปลือกถั่วเหลือง และถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue เป็นร้อยละ 91 ร้อยละ 91 และร้อยละ 5 และประสิทธิภาพในการกำจัดสี Navy Blue 171 เป็นร้อยละ 63 ร้อยละ 79 และร้อยละ 4 ตามลำดับ ความสามารถสูงสุดในการดูดติดผิวของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลืองสำหรับสี Remazol Brilliant Blue ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเป็น 286 และ 370 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ และสี Navy Blue 171 เป็น 222 และ 333 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ ตามลำดับ

รัชนิย์ รุกขชาติ, 2544 ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) สีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และน้ำเสียจริงของควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเฉลี่ยร้อยละ 95.54 โดยวัสดุที่ใช้ได้ดีที่สุดคือ กาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีทั้ง

6 สีเท่ากับ 625 625 625 455 556 และ 455 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงเฉลี่ยร้อยละ 98.65

ลัดดา ยาวีรวัจน์, 2544 ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) สีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และน้ำการส่าของควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกลำดัม ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกลำดัมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ และสีไดเรกต์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.02 ในขณะที่ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกลำดัมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์ไนซ์และสารสร้างโครอสต์ลิงค์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 91.54 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกาบส่าเป็นร้อยละ 13.55 และร้อยละ 75.26 ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

3.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำเสียที่บำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อม 3 แห่ง ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. พารามิเตอร์ผันแปร - เวลาสัมผัส - อัตราเร็วการกวน - พีเอช	- ปรับเวลาสัมผัสเป็น 10 20 30 60 90 และ 120 นาที - ปรับอัตราเร็วการกวนเป็น 10 15 30 60 90 และ 120 รอบต่อนาที - ปรับพีเอชให้ได้ 2 4 6 8 10 และ 12
2. ชนิดวัสดุ	- ถ่านกัมมันต์ - เส้นใยลูกปาล์ม
3. ชนิดน้ำเสีย	- น้ำเสียจากโรงงาน 3 แห่ง
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ในการทดลอง	พารามิเตอร์
1. ปริมาณวัสดุ 2. อุณหภูมิ	- 100 มิลลิกรัม - อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. สมบัติของน้ำออก	- ความเข้มสีของน้ำออก

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ชนิดวัสดุ 2. ปริมาณวัสดุ 3. ชนิดน้ำเสีย	- ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำปล่ม - 20 50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัม - น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดสีเดียว RR20 และ RB10 - น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดแล้ว F1 F2 และ F3
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ในการทดลอง	พารามิเตอร์
1. ลักษณะสมบัติที่ผ่านการกำจัด 2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสี	- ความเข้มข้นในน้ำออก - เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. เวลาสัมผัส 2. อัตราเร็วการกวน 3. ปริมาณน้ำเสีย 4. อุณหภูมิ	- 120 นาที - 120 รอบต่อนาที - 500 มิลลิลิตร - อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอม

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ชนิดวัสดุ 2. ปริมาณวัสดุ 3. ชนิดน้ำเสีย	- ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำปล่ม - 20 50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัม - น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดสีเดียว RR40 และ RB40 - น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดสีผสม R20B20 R20B40 R40B20 และ R40B40 - น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดแล้ว F1 F2 และ F3
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ในการทดลอง	พารามิเตอร์
1. ลักษณะสมบัติที่ผ่านการกำจัด 2. ไอโซเทอมพารามิเตอร์	- ความเข้มข้นในน้ำออก - Q_{max} b K_f และ $1/n$
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. เวลาสัมผัส 2. อัตราเร็วการกวน 3. ปริมาณน้ำเสีย 4. อุณหภูมิ	- 120 นาที - 120 รอบต่อนาที - 500 มิลลิลิตร - อุณหภูมิห้อง

3.1.2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแต่ละส่วน จะแบ่งเป็น 5 ส่วน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ HORIBA รุ่น F-13
- เครื่องบดวัสดุ
- เครื่องคัดแยกขนาด
- เครื่องชั่งสารเคมี
- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1201
- เครื่องกวน

- บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
- เต้าอบวัสดุ
- หลอดทดลอง
- ชุดเครื่องกรอง
- กระดาษกรองใยแก้ว
- ขวดพิกโนมิเตอร์
- เครื่อง BET Surface Area Analyzer Model Micromeritics ASAP 2000
(ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน SEM รุ่น JEOL JSM 5410 LV
- เครื่องมืออินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ FT-IR ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น 1760X
(ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- เครื่อง Jar Test Reactor ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น MJZH720W

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารควอเทอร์ไนซ์: นอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethylammonium Chloride; CHMAC)
- สารสร้างพันธะ: อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin หรือ 1-chloro-2, 3-epoxypropane)
- โซเดียมคลอไรด์
- โซเดียมคาร์บอเนต
- กรดไฮดรอกลอริก
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- ถ่านกัมมันต์
- สี Remazol Brilliant Red 3BS
- สี Remazol Black B

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมวัสดุและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 เตรียมวัสดุเบื้องต้น

นำเส้นใยลูกปาล์มและถ่านกัมมันต์ มาล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง จากนั้นตากแดดให้แห้ง แล้วอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 80 (Sieve Opening 0.177 มิลลิเมตร)

3.2.1.2 การเตรียม Crosslinked-Quatenized Cellulose (Laszlo, 1996)

1. นำวัสดุ (1 กรัม) มาปรับสภาพด้วย 5 นอร์มัล ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 มิลลิลิตร (6.25 มิลลิโมลของด่างต่อกรัมของเรซิน) แล้วอัดลงก้นปีกเกอร์ เพื่อให้สารละลายผ่านเข้าไปได้ง่ายขึ้น จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
2. เติม 4.0 มิลลิโมล ของ CHMAC 1.0 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมไปอัดลงก้นปีกเกอร์อีกครั้งหนึ่ง ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
3. นำไปตั้งไว้ในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็น เวลา 3 ชั่วโมง
4. นำวัสดุที่ได้มาเติมน้ำ 500* มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีพีเอช 2.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หลังจากนั้น กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
5. กรองวัสดุที่เตรียมได้ออกจากสารละลาย แล้วล้างด้วยน้ำปลอดประจุ จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C

หมายเหตุ : การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง จะเตรียมครั้งเดียวในปริมาณที่มากพอ สำหรับใช้ตลอดการทดลอง โดยแต่ละวัสดุจะเตรียมประมาณ 100 กรัม โดยเติมปริมาณสารเคมีมีตามสัดส่วนดังกล่าวข้างต้น

* ปริมาณน้ำที่เติม จะเติมจนวัสดุสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำในสภาพที่สามารรถกวนเพื่อปรับพีเอชได้สะดวก

3.2.2 การเก็บน้ำตัวอย่าง

เก็บน้ำเสียจากโรงงานโดยเก็บน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดทางชีววิทยาแล้ว

3.2.3 การแปรผันพารามิเตอร์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

3.2.3.1 การแปรผันค่าพีเอช

1. ใส่น้ำเสียจากโรงงาน ปริมาณ 0.5 ลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตรจำนวน 2 บีกเกอร์
2. วัดสี และพีเอชของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง
3. ปรับพีเอชให้ได้ 2
4. จากนั้นใส่เส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว และถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในบีกเกอร์ที่ 1-2 ตามลำดับ
5. ทำการรวนบีกเกอร์ทั้ง 2 ด้วยความเร็ว 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
6. กรองวัสดุออก จากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสี
7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนพีเอชเป็น 4 6 8 10 และ 12
8. ทำการทดลองข้อ 1-7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากโรงงานอื่น
9. บันทึกผลการทดลอง

3.2.3.2 การแปรผันค่าเวลาสัมผัส

1. ใส่น้ำเสียจากโรงงาน ปริมาณ 0.5 ลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตรจำนวน 2 บีกเกอร์
2. วัดสี ของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง
3. จากนั้นใส่เส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว และถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในบีกเกอร์ที่ 1-2 ตามลำดับ
4. ทำการรวนบีกเกอร์ทั้ง 2 ด้วยความเร็ว 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง
5. กรองวัสดุออก จากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสี
6. ทำการทดลองข้อ 1-5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเวลาสัมผัสเป็น 20, 30, 60, 90 และ 120 นาที
7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากโรงงานอื่น
8. บันทึกผลการทดลอง

3.2.3.3 การแปรผันค่าอัตราเร็วการทวน

1. ใส่น้ำเสียจากโรงงาน ปริมาณ 0.5 ลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตรจำนวน 2 บีกเกอร์
2. วัดสี ของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง
3. จากนั้นใส่เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว และถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในบีกเกอร์ที่ 1-2 ตามลำดับ
4. ทำการทวนบีกเกอร์ทั้ง 2 ด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
5. กรองวัสดุออก จากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสี
6. ทำการทดลองข้อ 1-5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราเร็วการทวนเป็น 15, 30, 60 และ 120 รอบต่อนาที
7. ทำการทดลองข้อ 1-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากโรงงานอื่น
8. บันทึกผลการทดลอง

3.2.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี

3.2.4.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RR20 และ RB10

1. น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RR20
ชั่งสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 20 มิลลิกรัม นำมาละลายในน้ำ 1 ลิตร
2. น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RB10
ชั่งสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 10 มิลลิกรัม นำมาละลายในน้ำ 1 ลิตร

3.2.4.2 การเตรียมน้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดแล้ว F1 F2 และ F3

เก็บน้ำเสียจากโรงงาน โดยเก็บน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดทางชีววิทยาแล้ว ให้สัญลักษณ์ F1 F2 และ F3 สำหรับน้ำทิ้งที่เก็บจากโรงงานที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

3.2.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ให้ได้น้ำหนัก 0.02 กรัม, 0.05 กรัม, 0.1 กรัม, 0.2 กรัม, 0.3 กรัม และ 0.4 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร 6 บีกเกอร์
2. เตรียมน้ำเสีย RR20 ปริมาตร 0.5 ลิตร วัดค่าสี จากนั้นนำใส่ในบีกเกอร์ที่มีวัสดุในข้อ 1
3. กวนบีกเกอร์ทั้ง 6 ด้วยอัตราความเร็ว 120 รอบต่อนาที และเวลาสัมผัส 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. กรองวัสดุออกจากนั้นนำสารละลายสีที่เหลือไปวัดค่าสี
5. ทำการทดลองในข้อ 1-2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนวัสดุเป็นเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการโครอสส์ลิงค์และควอเตอร์ไนซ์
6. ทำการทดลองในข้อ 1-5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดน้ำเสียเป็น RB10 F1 F2 และ F3 ตามลำดับ

3.2.5 การศึกษาไอโซเทอม

3.2.5.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RR40 และ RB40

1. น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RR40
ชั่งสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม นำมาละลายในน้ำ 1 ลิตร
2. น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว RB40
ชั่งสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม นำมาละลายในน้ำ 1 ลิตร

3.2.5.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B20 R20B40 R40B20 และ R40B40

1. น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B20
ชั่งสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 20 มิลลิกรัม และชั่งสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 20 มิลลิกรัม นำมาละลายรวมกันในน้ำ 1 ลิตร
2. น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B40
ชั่งสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 20 มิลลิกรัม และชั่งสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม นำมาละลายรวมกันในน้ำ 1 ลิตร

3. น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B20

ซังสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม และซังสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 20 มิลลิกรัม นำมาละลายรวมกันในน้ำ 1 ลิตร

4. น้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B40

ซังสี Remazol Brilliant Red 3BS ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม และซังสี Remazol Black B ให้ได้น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม นำมาละลายรวมกันในน้ำ 1 ลิตร

3.2.5.3 การเตรียมน้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดแล้ว F1 F2 และ F3

เก็บน้ำเสียจากโรงงาน โดยเก็บน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดทางชีววิทยาแล้ว ให้สัญลักษณ์ F1 F2 และ F3 สำหรับน้ำทิ้งที่เก็บจากโรงงานที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

3.2.5.4 การศึกษาไอโซเทอม

- ซังถ่านกัมมันต์ให้ได้น้ำหนัก 0.02 กรัม, 0.05 กรัม, 0.1 กรัม, 0.2 กรัม, 0.3 กรัม และ 0.4 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร 6 บีกเกอร์
- เตรียมน้ำเสีย RR40 ปริมาตร 0.5 ลิตร วัดค่าสี จากนั้นนำใส่ในบีกเกอร์ที่มีวัสดุในข้อ 1
- กวนบีกเกอร์ทั้ง 6 ด้วยอัตราความเร็ว 120 รอบต่อนาที และเวลาสัมผัส 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- กรองวัสดุออกจากนั้นนำสารละลายที่เหลือไปวัดค่าสี
- ทำการทดลองในข้อ 1-2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนวัสดุเป็นเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการครอสลิงค์และควอเตอร์ไนซ์
- ทำการทดลองในข้อ 1-5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดน้ำเสียเป็น RB40 R20B20 R20B40 R40B20 R40B40 F1 F2 และ F3 ตามลำดับ
- คำนวณไอโซเทอมโดยพล็อตกราฟระหว่าง C กับ C/q โดยที่ C คือ ความเข้มข้นในหน่วย SU ของน้ำออก และ q คือ ปริมาณสีที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับ หน่วยเป็น กรัมSU/กรัมวัสดุ

3.2.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

3.2.6.1 การศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ เส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ และถ่านกัมมันต์ มาหาค่าความหนาแน่นโดยใช้ขวดพิกิโนมิเตอร์ ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าและฝาขวด
2. ใส่วัสดุลงในขวด ชั่งน้ำหนัก ขวด ฝา และวัสดุ
3. ใส่น้ำให้เต็มขวด ปิดฝา แล้วชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้ง
4. เทวัสดุทิ้ง และล้างขวดให้สะอาด ใส่น้ำให้เต็มขวด (ไม่มีวัสดุ) แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณ ความหนาแน่นของวัสดุ = ((น้ำหนักจากข้อ 2 – น้ำหนักจากข้อ 1) / (น้ำหนักจากข้อ 3 – น้ำหนักจากข้อ 4))

3.2.6.2 การศึกษาการบวมน้ำของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนการทดลอง ได้แก่ เส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ และถ่านกัมมันต์ มาหาค่าการบวมน้ำของวัสดุ ดังนี้

1. นำวัสดุมาตวงปริมาตร บันทึกปริมาตรของวัสดุ
2. ใส่น้ำให้ท่วมวัสดุ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง บันทึกปริมาตรของวัสดุอีกครั้ง
3. คำนวณ การบวมน้ำของวัสดุ = (ปริมาตรจากข้อ 2 / ปริมาตรจากข้อ 1)

3.2.6.3 การศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ ได้แก่ เส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์ และถ่านกัมมันต์ ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของวัสดุด้วยเครื่อง BET SURFACE AREA ANALYZER ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.6.4 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ ได้แก่ เส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์ ครอบสลิคิงค์ และถ่านกัมมันต์ ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.6.5 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้ ได้แก่ เส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์ ครอบสลิคิงค์ และถ่านกัมมันต์ ไปตรวจสอบด้วยเครื่องฟูรีเยอร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้าง ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3. วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเข้มข้นของสารละลายสี	- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1201
2. พีเอช	- เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ HORIBA รุ่น F-13
3. ลักษณะทางกายภาพของสารเคลือบผิวเปลี่ยนแปลงไอออน	- ขวดพีคิโนมิเตอร์ - เครื่อง BET SURFACE AREA ANALYZER MODEL MICROMERITICS รุ่น ASAP 2000 - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนรุ่น JEOL JSM-5410LV - เครื่องฟูรีเยอร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น 760X
4. Batch Test	- เครื่อง JAR TEST REACTOR ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น MJZH720W

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาคือ ถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 4.1) และเส้นใยลูกลูปาล์มที่การปรับสภาพด้วยวิธีครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ (รูปที่ 4.2)

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีสีดำ ลักษณะเป็นผง ผลิตโดยบริษัท China Golddragon Rosin Group Corp. มีชื่อทางการค้าว่า activated carbon PA-1 มีคุณสมบัติเบื้องต้น ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ PA - 1 ที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
การกำจัดสีคาราเมล (Caramel Decolorisation)	110%
การดูดซับ Methylene Blue (Methylene Blue Absorption)	13.8 มิลลิลิตร
ปริมาณเถ้า	5.5 %
คลอไรด์	0.0 %
เหล็ก	0.06%
ตะกั่ว	0.%
ฟิเอน	3 - 5
ความชื้น	28 %

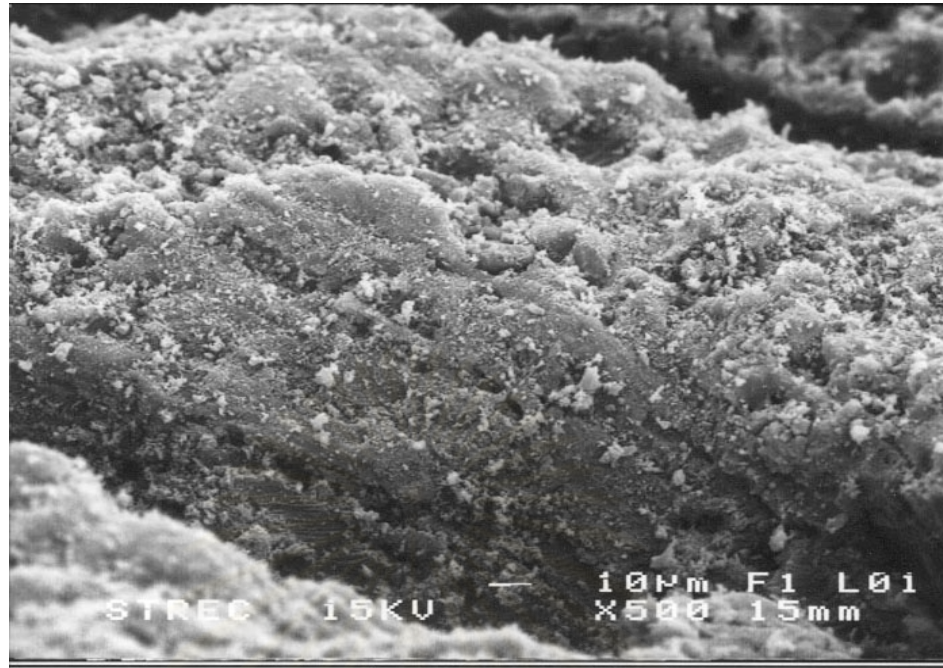
เส้นใยลูกลูปาล์มที่ใช้ในการทดลอง เป็นเส้นใยลูกลูปาล์มที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มจากจังหวัดตรัง ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการครอสส์ลิงค์ (crosslinking) เพื่อทำให้เกิดพันธะระหว่างเซลลูโลสในเส้นใยลูกลูปาล์ม ทำให้เส้นใยลูกลูปาล์มมีความคงทนมากขึ้น เนื่องจากโดยปกติ เซลลูโลสธรรมชาติมักเปื่อยยุ่ยเมื่อนำมาใช้ในน้ำเสีย ไม่แข็งแรงเหมือนเซลลูโลสสังเคราะห์ และกระบวนการควอเทอร์ไนซ์ (quaternization) เพื่อทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันในการแลกเปลี่ยนไอออนให้กับเซลลูโลสในเส้นใยลูกลูปาล์ม ทำให้เส้นใยลูกลูปาล์มมีความสามารถในการกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ดีขึ้น ความสามารถในการกำจัดสีของเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพเพิ่มขึ้นสูงมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับเส้นใยลูกลูปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (ลัดดา ,2545) ลักษณะภายนอกเป็นผงสีน้ำตาล



รูปที่ 4.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 เส้นใยลูกลำมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโครสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์



(ก)

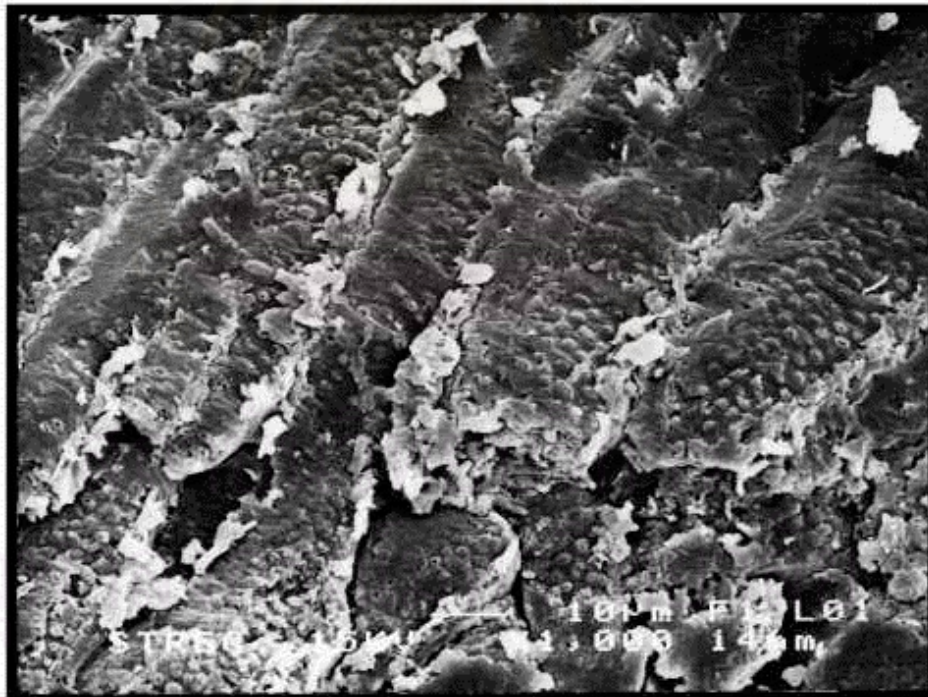


(ข)

รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของ ถ่านกัมมันต์
(ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 1500 เท่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกลูกปาล์ม
 (ก) ยังไม่ปรับสภาพ (ข) ปรับสภาพด้วยการทำครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

การศึกษาลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของวัสดุใน 3 ส่วนคือ ความหนาแน่น การบวมน้ำ และพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ ถ่านกัมมันต์และ เส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านกระบวนการโครสสลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ ได้ผลปรากฏแสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำโครสสลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

คุณสมบัติ	ถ่านกัมมันต์	เส้นใย ลูกปาล์ม
ความหนาแน่น (มก./ล.)	10.23	9.68
การบวมน้ำ (ปริมาตรเปียก/ปริมาตรแห้ง)	1.02	1.32
พื้นที่ผิว		
BET Surface Area (sq.m /g)	1163.8	7.0
Langmuir Surface Area (sq.m./g)	1575.4	-
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-300 A dia.(sq.m./g)	578.6	4.0
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 A dia. (sq.m./g)	614.3	4.2
ปริมาตรของรูพรุน		
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of Pore Between 17-3000 A. dia. (cc./g.)	0.811	0.005271
BJH cumulative Desorption Pore Volume of Pore between 17-3000 A dia. (cc./g)	0.843	0.004966
ขนาดของรูพรุน (4V/A)		
Average Pore Diameter (by BET) (A)	26.8	38.1
BJH Adsorption Average Pore Diameter (A)	56.1	52.4
BJH Desorption Average Pore Diameter (A)	54.9	47.1

ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านกระบวนการโครสสลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง คือ 10.23 g/cm^3 และ 9.68 g/cm^3 สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านกระบวนการโครสสลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ตามลำดับ ถึงแม้ว่าเส้นใยลูกปาล์มจะ

เป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติซึ่งมักจะมีความหนาแน่นต่ำ แต่ความหนาแน่นที่สูงนี้เป็นผลมาจากกระบวนการปรับสภาพด้วยการโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ ซึ่งทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายของเซลลูโลส ทำให้พันธะมีความกระชับแน่นมากขึ้นและทำเป็นผลให้เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพนี้มีความหนาแน่นสูงขึ้นจากก่อนปรับสภาพมากกว่า 6 เท่า (ัดดา, 2544 และ Laszlo,1994) สำหรับความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่สูงนั้น เป็นผลมาจากลักษณะของถ่านโดยปกติ

ในการศึกษาการบวมน้ำ จะสนใจผลการศึกษาจากเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์เป็นหลัก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติมักพบการบวมน้ำค่อนข้างสูงและเป็นปัญหาอุดตันในการใช้งาน ผลการศึกษาพบว่าเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยมีการบวมน้ำเท่ากับ 1.32 มิลลิลิตรเปียกต่อมิลลิลิตรแห้ง ซึ่งจะทำให้มีปัญหาในการประยุกต์ใช้งานโดยเฉพาะการใช้ในคอลัมน์ เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีก็ตาม ส่วนถ่านกัมมันต์ไม่พบการบวมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นรูพรุนเล็ก ๆ อยู่ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงและสามารถดูดซับได้ดีปริมาณมาก ส่วนเส้นใยลูกลูปาล์มที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และที่ปรับสภาพด้วยวิธีโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์แสดงในรูป 4.4 ก และ 4.4 ข ตามลำดับ เส้นใยลูกลูปาล์มเมื่อยังไม่ได้ปรับสภาพมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและหยักมาก แต่ไม่เป็นร่องลึก เมื่อปรับสภาพแล้ว เส้นใยลูกลูปาล์มมีลักษณะเปลี่ยนไปเล็กน้อยคือ มีลักษณะขรุขระและเห็นเป็นร่องลึกได้มากกว่า ซึ่งคาดว่าเกิดจากการใช้กรดแก่และด่างแก่ในการทำโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ ทำให้สิ่งต่าง ๆ ที่เกาะอยู่สามารถหลุดออกได้ง่าย โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวภายนอกหลุดออกมาเหลือเพียงองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลสและสารเคมีที่เข้าไปเกาะเพิ่มเพื่อปรับสภาพของเซลลูโลสให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ในการศึกษาพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ โดยใช้วิธี BET และ วิธี BJH พบว่า พื้นที่ผิวที่ได้จากวิธี BET สูงกว่าวิธี BJH ดังตารางที่ 4.2 และภาคผนวก จ. เพราะ วิธี BET ให้ค่าพื้นที่ผิวสูงกว่า วิธี BJH เพราะ วิธี BET คิดค่าการกระจายรูพรุนทั้งหมด ใช้หลักการดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนผิวของแข็งโดยที่ก๊าซไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุล 2.1976 อังสตรอม ดังนั้นค่า BET Surface Area ที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นค่าจากขนาดตั้งแต่ 2.1976 อังสตรอมขึ้นไป ส่วน วิธี BJH ไม่คิดค่าการกระจาย

ในรูปพุนขนาดเล็ก คือวัดค่าการกระจายในรูปพุนขนาดระหว่าง 17 - 3000 อังสตรอม (ชลธา, 2538) พื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์มีสูงมากคือ 1163 ตารางเมตร/กรัม (BET Surface Area) เมื่อเทียบกับ เส้นใยลูกลูปาล์มซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 6.9 ตารางเมตร/กรัม (BET Surface Area) แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยการโครอสต์ลิ่งและควอเทอร์ไนซ์ ไม่ได้ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของ เส้นใยลูกลูปาล์มมากขึ้น แต่ช่วยให้มีหมู่ฟังก์ชันสำหรับแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งทำให้เส้นใยลูกลูปาล์ม มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีโดยที่พื้นที่ผิวสัมผัสไม่ได้เพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์หาโครงสร้างของเส้นใยลูกลูปาล์ม โดยเครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) จำนวนคลื่น (Wave Number) ช่วง 4000-400 cm^{-1} หรือช่วงความยาวคลื่น 2.5-25 ไมครอน ผลการวิเคราะห์ที่แสดง ในภาคผนวก ข. พบว่าวัสดุมีโครงสร้างหลักคือ Alkyl Group, Hydroxy or Amino Compound และ Aliphatic Alcohol

ในการศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างของเส้นใยลูกลูปาล์มก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีโครอสต์ลิ่งและควอเทอร์ไนซ์ พบว่า เส้นใยลูกลูปาล์มก่อนการปรับสภาพ มีค่า absorbance ของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 1.14 หมู่อัลคิล (-CH, -CH₂O-) 0.13 และ 0.32 หมู่อัลคีน (C=C) 0.25 และเส้นใยลูกลูปาล์มภายหลังการปรับสภาพมีค่า absorbance ของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ดังนี้ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 0.82 หมู่อัลคิล (-CH, -CH₂O-) 0.24 และ 0.57 หมู่อัลคีน (C=C) 0.33

จากผลการศึกษาโครงสร้าง พบว่า เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโครอสต์ลิ่งและควอเทอร์ไนซ์จะมีหมู่ไฮดรอกซิล -OH และหมู่อัลคิล -CH, -CH₂O- (จำนวนคลื่นช่วง 3,500-3,250 3,000-2,800 และ 1,250-1,000 cm^{-1} สูงกว่าเส้นใยลูกลูปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ ซึ่งคาดว่าหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้น เกิดจากสารควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งเข้าไปเกาะอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลส ส่วนหมู่อัลคีน C=C (จำนวนคลื่นช่วง 1,680-1,560 cm^{-1}) ซึ่งคาดว่าจะเป็โครงสร้างของลิกนิน พบว่าเมื่อวัสดุผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง หมู่อัลคีน C=C มีเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวคาดว่าเกิดจากในขั้นตอนการทำควอเทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่ง มีการเติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อปรับพีเอช ทำให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากแอลกอฮอล์ (dehydration of alcohols) เกิดขึ้น เกิดผลิตผลเป็นอัลคีน (C=C) ขึ้น ซึ่งอัลคีนที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณหมู่ไฮดรอกซิล -OH ของโครงสร้างของเซลลูโลส และบริเวณหมู่ไฮดรอกซิล -OH ของสาร CHMAC ที่เกาะเซลลูโลส แต่เนื่องจากการเกิดอัลคีนบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจะ

เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูง (> 150 องศาเซลเซียส) ส่วนการเกิดอัลคีนบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของสาร CHMAC จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า (~80 องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงคาดว่าอัลคีนอาจเกิดขึ้นในบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของสาร CHMAC ที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลส

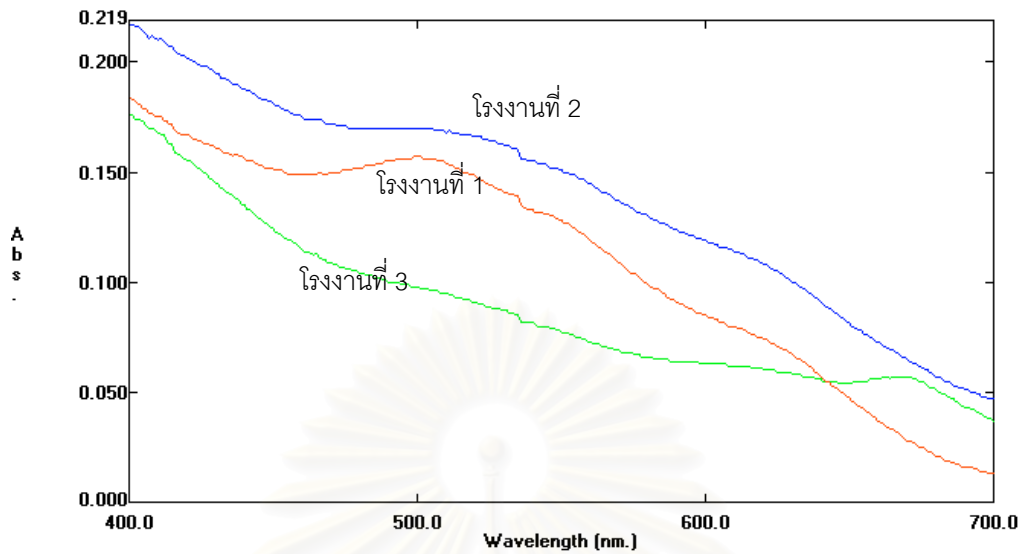
การเกิดหมู่ฟังก์ชัน C=C มาก จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ เนื่องจากเกิดแรงพันธะที่แข็งแรงขึ้น และอาจทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นน้อยลง

4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ที่ใช้ในการทดลองมาจากโรงงานฟอกย้อมผ้า 3 โรงงาน โดยมีสมบัติเบื้องต้น ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการทดลอง

โรงงานที่	1	2	3
วัตถุประสงค์	ด้าย	ผ้าดิบ	ผ้าดิบ
ประเภทวัตถุประสงค์	ฝ้าย 70% โพลีเอสเตอร์ 30 %	ฝ้าย 100 %	ฝ้าย 100 %
ระบบบำบัดน้ำเสีย	เอเอส	เอเอส	เอเอส
ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม. ต่อวัน)	3,500	4,000	2,500
สี	ม่วงใส	ม่วงใส	ชาอ่อน
ความเข้มข้น (SU : Space Unit)	33.1	41.7	26.3
ความเข้มข้น (ADMI)	387	425	296
พีเอช	7.8	8.2	7.6



รูปที่ 4.5 กราฟ absorbance ของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการทดลอง

โรงงานทั้ง 3 โรงงานเป็นโรงงานย้อมผ้าและผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (activated sludge) แต่มีความแตกต่างกัน คือ โรงงานที่ 1 เป็นโรงงานย้อมผ้า และโรงงานที่ 2 และ 3 เป็นโรงงานย้อมผ้าดิบ และ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 1 และ 2 มีสีม่วงใส แต่ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 3 มีสีชาอ่อน สีที่ใช้ในโรงงานขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยที่ย้อม โรงงานที่ 2 และ 3 เป็นโรงงานย้อมผ้า 100 % ดังนั้นสีที่ใช้จึงเป็นสีย้อมผ้า คือ สีรีแอกทีฟ สีไดเร็กต์ สีซัลเฟอร์ และสีแวท ส่วนโรงงานที่ 1 ซึ่งย้อมผ้า 70% และย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 30 % โดยประมาณ จึงมีสีที่ใช้ในการย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ คือ สีดิสเพอร์ส ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม คาดว่าสีที่ผ่านออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยมากเป็นสีรีแอกทีฟ เนื่องจากสีรีแอกทีฟเป็นสีที่นิยมใช้เป็นจำนวนมากและมีความสามารถในการย้อมติดเส้นใย (Degree of Fixation) ต่ำ คือ ประมาณ 50-90% ในขณะที่สีย้อมผ้าชนิดอื่น เช่น สีไดเร็กต์มีความสามารถในการย้อมติดเส้นใย 70-95% สีซัลเฟอร์มีความสามารถในการย้อมติดเส้นใย 60-90% และสีแวทมีความสามารถในการย้อมติดเส้นใย 80-95% ส่วนสีดิสเพอร์สซึ่งใช้ในการย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีความสามารถในการย้อมติดเส้นใยสูงถึง 90 - 100% ทำให้ในน้ำออกจากระบบน้ำเสียของโรงงานเป็นสีรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ (Society of Dyers and Colorists, 1995 : 14)

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจาก โรงงานที่ 1, 2 และ 3 มีความเข้มข้นสีในหน่วย SU (Space Unit) ซึ่งวัดจากค่า optical density หรือ ค่า absorbance ในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เท่ากับ 33.1 , 41.7 และ 26.3 SU ดังแสดงค่า absorbance ของ น้ำทิ้งที่

ผ่านการบำบัดแล้วจากทั้ง 3 โรงงานในรูปที่ 4.5 และ มีความเข้มข้นในหน่วย ADMI เท่ากับ 387 , 425 และ 296 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างใส ซึ่งค่าความเข้มข้นในหน่วย ADMI เป็นการระบุหน่วยโดยคำนวณจากค่า absorbance ในการดูดกลืนสีเช่นเดียวกับหน่วย SU แต่ให้น้ำหนักของค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไปตามความรู้สึกรับรู้ของมนุษย์ โดยมนุษย์จะรับรู้ว่ามีค่า ADMI เท่ากันมีความเข้มข้นเท่ากัน แต่สี ADMI ไม่สัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของสีอย่างแท้จริง ในการทดลองนี้ โดยมากจึงระบุสีในหน่วย SU ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสี ค่าความเข้มข้นในหน่วย SU วัดจากพื้นที่ได้กราฟ ดังนั้นในรูปที่ 4.5 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 2 ซึ่งมีพื้นที่ได้กราฟมากที่สุดจึงมีค่าความเข้มข้นสูงสุดคือ 41.7 SU และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจาก โรงงานที่ 3 มีความเข้มข้นน้อยที่สุดคือ 26.3 SU

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 1 และ 2 มีสีม่วงอ่อน เนื่องจากในสีที่ใช้ในการฟอกย้อม 4 โทนคือสีดำ สีแดง สีนํ้าเงิน และสีเหลือง นั้น สีเหลืองมีการใช้น้อยที่สุด จึงทำให้ในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีสี 3 โทน คือ สีดำ สีแดง และสีนํ้าเงิน เมื่อผสมรวมกันจึงมีโทนสีม่วง ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 3 มีสีชาอ่อน ซึ่งอาจจะเป็นสีของสารประกอบที่เป็นผลผลิตของการย่อยสลายสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัด

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ จะทำการศึกษาคัดสีของวัสดุทั้งสองชนิด ในสภาวะต่างกันคือ เวลาสัมผัส อัตราเร็วการกวน และพีเอช

4.3.1 ผลของ เวลาสัมผัส ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

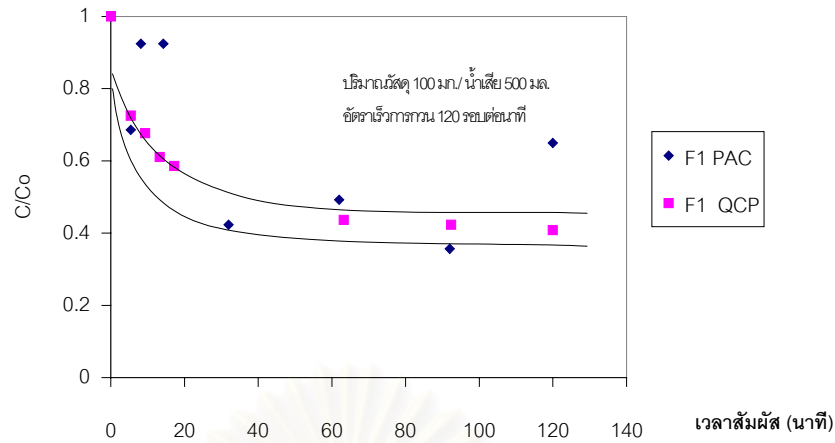
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัส กับ ความเข้มข้นในน้ำออก ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 1 2 และ 3 โดยใช้ปริมาณวัสดุ 100 กรัม อัตราเร็วการกวน 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง แสดงไว้ดังรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ในการดูดซับสีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดซับ มี 3 ขั้นตอน คือ การแพร่ของสีจากในสารละลายภายนอกผ่านชั้นฟิล์มรอบวัสดุเข้าไปยังผิวสัมผัสภายนอกของวัสดุ (film diffusion) ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสีในสารละลายภายนอกกับที่ผิววัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพปั่นป่วนบริเวณผิววัสดุ หลังจากนั้นสีจะแพร่จากผิวภายนอกเข้าไปยังภายในวัสดุ (Intraparticle diffusion) ซึ่งอาจแพร่เข้าไปในสถานะสีที่ละลายน้ำ (pore diffusion) หรือ ในสถานะสีที่ถูกดูดซับที่ผิว (solid diffusion) ก็ได้ และขั้นตอนสุดท้ายคือการดูดติดผิว (reaction at adsorptive site) ซึ่งขั้นตอนสุดท้ายเกิดขึ้นเร็วมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น และจากการทดลองแปรผันอัตราเร็วในการกวนพบว่า ที่อัตราเร็วการกวน 120 รอบต่อนาที อัตราการแพร่ผ่านฟิล์มน้อยกว่าอัตราการดูดซับ ทำให้อาจกล่าวได้ว่า อัตราการดูดซับในการทดลองแปรผันเวลาสัมผัสนี้ ขึ้นอยู่กับ อัตราการแพร่ภายในวัสดุ

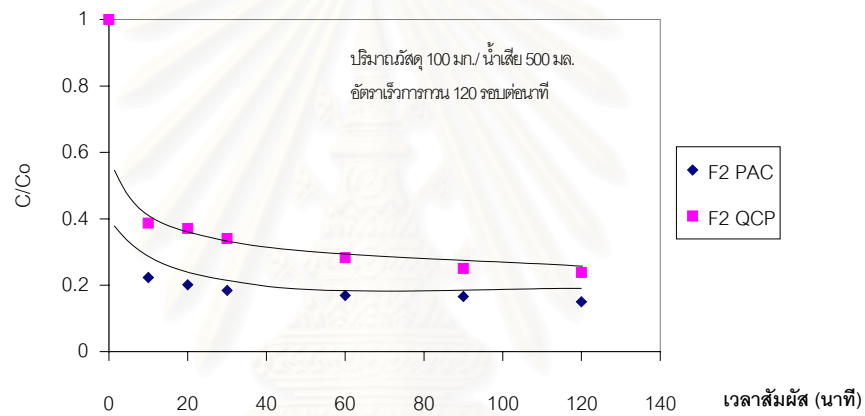
จากผลการทดลองพบว่า ในการดูดซับสีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมที่ 1 ด้วยถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในช่วง 5 -10 นาทีแรก ความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อย ๆ ช้าลงเมื่อเวลาสัมผัสมากขึ้น และเข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัสโดยประมาณ 60 นาที โดยอัตราส่วนความเข้มข้นที่สมดุลต่อความเข้มข้นของน้ำเข้า (C/C_0) ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์ม ปริมาณ 100 มิลลิกรัมเป็น 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ในการศึกษา น้ำทิ้งจากโรงงานที่ 2 และ 3 พบว่าความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเช่นเดียวกัน อัตราส่วนความเข้มข้นที่สมดุลต่อความเข้มข้นของน้ำเข้า (C/C_0) สำหรับทั้ง 2 โรงงานโดยประมาณเท่ากันคือ 0.1 และ 0.2 สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์ม

ในการดูดซับในช่วง 5 นาทีแรก สีในสารละลายถูกดูดซับอย่างรวดเร็ว อัตราความเข้มข้นต่อความเข้มข้นของน้ำเข้าช่วงนี้ลดลงอย่างรวดเร็ว ในน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 ค่า C/C_0 ในช่วง 5 นาทีแรกเป็น 0.4 และ 0.5 สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มตามลำดับ ค่า C/C_0 ในช่วง 5 นาทีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 2 เป็น 0.2 และ 0.4 และของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วโรงงานที่ 3 เป็น 0.2 และ 0.4 สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มตามลำดับ

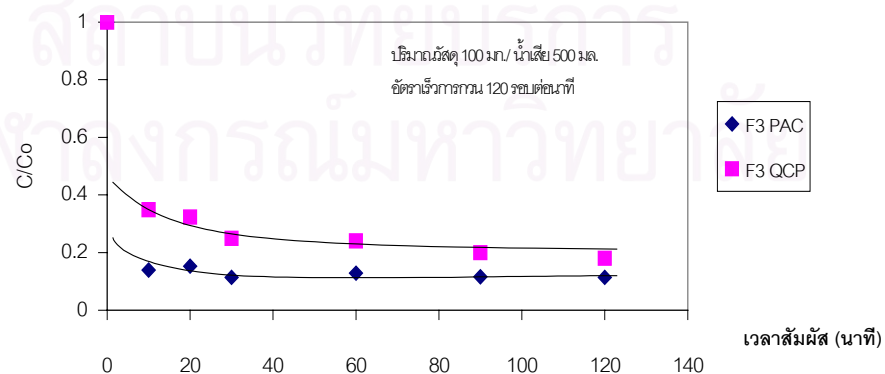
ในการศึกษา เวลาสัมผัสที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุล จากกราฟพบว่า ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์ม 100 มิลลิกรัมและอัตราเร็วการกวน 120 รอบต่อนาที น้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 ใช้เวลาเข้าสู่สมดุลประมาณ 60 นาที ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 2 และ 3 ใช้เวลาประมาณ 40 นาที



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัสนาที กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียโรงงานที่ 1



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัสนาที กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียโรงงานที่ 2



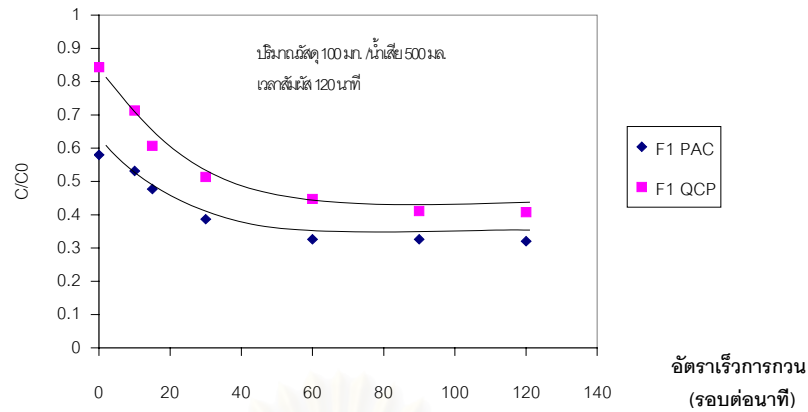
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาสัมผัสนาที กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียโรงงานที่ 3

4.3.1 ผลของ อัตราเร็วการกวน ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์ และเส้นใยลูกลปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

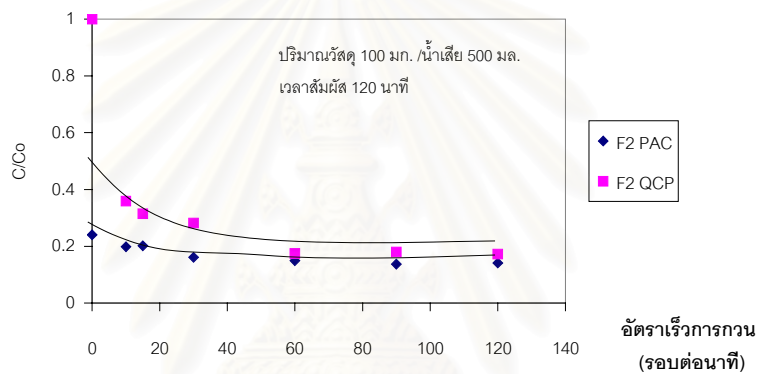
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้นในน้ำออก ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานที่ 1 2 และ 3 โดยใช้ปริมาณวัสดุ 100 กรัม เวลาสัมผัส 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ความสัมพันธ์แสดงไว้ดังรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11

จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงอัตราเร็วการกวนต่ำระบบยังไม่เข้าสู่สมดุลในเวลาสัมผัสที่ศึกษา คือ 120 นาที แต่เมื่อเพิ่มอัตราเร็วการกวนขึ้นไป ระบบสามารถเข้าสู่สมดุลภายในเวลาที่กำหนด เนื่องจากในช่วงที่อัตราเร็วการกวนต่ำ กระบวนการแพร่จากสารละลายเข้าไปยังผิววัสดุ (film diffusion) เป็นกระบวนการย่อยของการดูดซับที่เกิดขึ้นช้าที่สุด เนื่องจากที่อัตราเร็วการกวนต่ำ ชั้นฟิล์มที่ผิวมีความหนามากกว่าที่อัตราเร็วการกวนสูง จึงทำให้การแพร่ของสีเกิดขึ้นช้า เมื่อเทียบกับกระบวนการแพร่ภายในวัสดุ (intraparticle diffusion) เมื่ออัตราเร็วการกวนสูงขึ้น ชั้นฟิล์มที่ผิววัสดุบางลงเนื่องจากความปั่นป่วนในระบบมากขึ้น ทำให้การแพร่ของสีจากน้ำทิ้งเข้าไปยังผิววัสดุเกิดขึ้นเร็วขึ้น และการแพร่ภายในวัสดุกลายเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้ากว่าและเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราเร็วปฏิกิริยาแทนในที่สุด

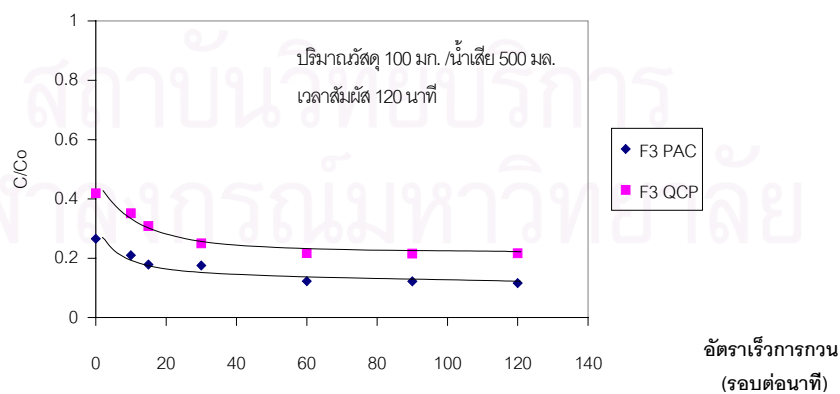
เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราเร็วการกวนของน้ำทิ้งจาก 3 โรงงาน ที่อัตราเร็วการกวนต่ำ น้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 เกิดการดูดซับได้น้อย ($C/C_0 = 0.8$ และ 0.6 สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลปาล์ม ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับโรงงานที่ 2 ($C/C_0 = 0.55$ และ 0.3) และโรงงานที่ 3 ($C/C_0 = 0.5$ และ 0.3) ดังที่กล่าวข้างต้น ที่อัตราเร็วการกวนต่ำ อัตราเร็วของการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มจากสารละลายไปยังผิววัสดุเนื่องจากขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มจากสารละลายไปยังผิววัสดุเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราเร็วปฏิกิริยาการดูดซับที่อัตราเร็วการกวนต่ำ ซึ่งอัตราเร็วของการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มที่ผิววัสดุขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสีในสารละลายกับความเข้มข้นสีที่ผิววัสดุ (concentration gradient) เมื่ออัตราเร็วของการดูดซับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 3 (ความเข้มข้นน้ำเข้า 26.3 SU) มากกว่าอัตราเร็วของการดูดซับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 (ความเข้มข้นน้ำเข้า 33.1 SU) จึงทำให้เกิดข้อขัดแย้งกับสมมติฐานดังกล่าว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก คุณสมบัติในการแพร่ของสีในน้ำทิ้งต่างกัน หรือ มีปัจจัยในระดับโมเลกุลอื่นนอกจากแรงผลักดันที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น ซึ่งมีอิทธิพลต่อแรงผลักดันหรือแรงดูดในการแพร่ของสีด้วย (Weber 1972: 215)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานที่ 1



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานที่ 2



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกวน กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการการกวนที่ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุล พบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 ต้องใช้อัตราเร็วการกวนประมาณ 60 รอบต่อนาที ในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับภายในเวลาสัมผัส 120 นาที ส่วนโรงงานที่ 2 และ 3 ใช้อัตราเร็วการกวนอย่างน้อย 40 รอบต่อนาที และอัตราเร็วการกวนมีผลต่อถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าในการออกแบบระบบดูดซับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลาสัมผัส 120 นาที ต้องใช้อัตราเร็วรอบในการกวนอย่างน้อย 40 - 60 นาที

4.3.3 ผลของ พีเอช ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสต์ลิ่งค์และควอเทอร์ไนซ์

ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสต์ลิ่งค์และควอเทอร์ไนซ์ โดยให้ปริมาณวัสดุเป็น 100 มิลลิกรัมกับน้ำเสียปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่อัตราเร็วการกวน 120 รอบต่อนาที และเวลาสัมผัส 120 นาที แสดงดังในรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.14

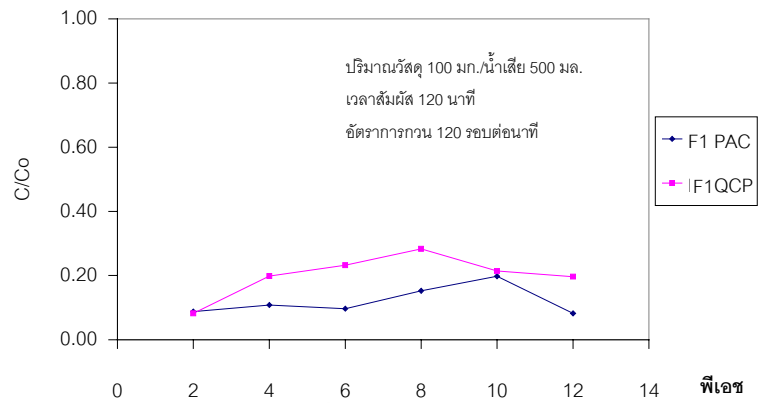
ในการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่ผ่านการบำบัดแล้วของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีโครอสต์ลิ่งค์และควอเทอร์ไนซ์ พบว่า ในน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 1 ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอช เท่ากับ 2 และเมื่อพีเอชมากขึ้น ประสิทธิภาพจะลดลง (C/C_0 เพิ่มขึ้น) และประสิทธิภาพจะมากขึ้นอีกครั้งที่พีเอช เท่ากับ 12 สำหรับการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานที่ 2 และ 3 เป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 2 และประสิทธิภาพลดลงเมื่อพีเอชมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมทั้ง 3 แห่งของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ แสดงสรุปในตารางที่ 4.4

จากผลการทดลองผลของค่าพีเอช ที่มีต่อการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์ อาจเนื่องมาจากถ่านกัมมันต์โดยปกติมีประจุที่ผิวเป็นประจุลบ เมื่อสารละลายมีพีเอชต่ำลงทำให้ ไฮโดรเจนไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้น และทำให้ประจุที่ผิวถ่านกัมมันต์เป็นกลาง ดังนั้นจึงมีพื้นที่สำหรับดูดซับสีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับผลการทดลองที่พีเอช 12 อาจเกิดจากความผิดพลาดในการทดลอง

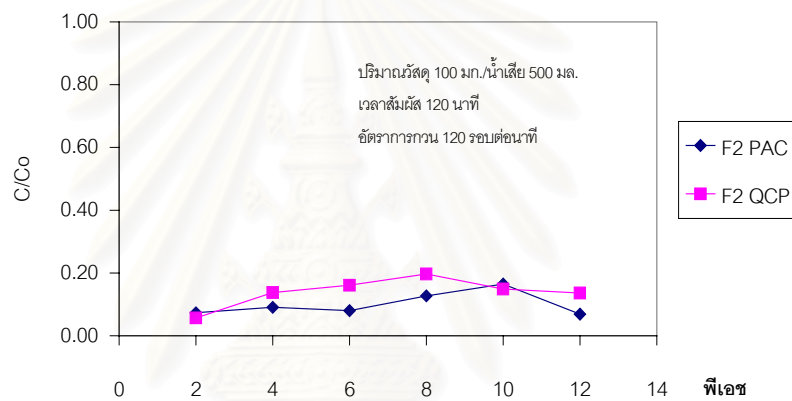
จากผลการทดลอง กล่าวสรุปได้ว่าพีเอชมีผลต่อการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพไม่มากนัก ประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วง 70-95%

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

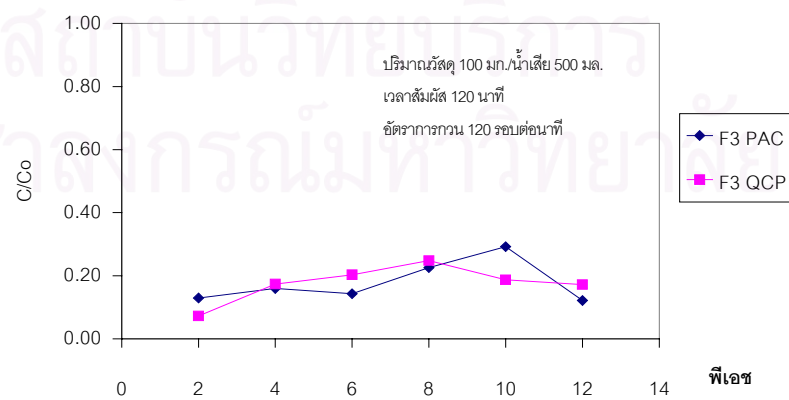
น้ำเสีย	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)			
		ถ่านกัมมันต์		เส้นใยลูกปาล์ม	
		SU	ADMI	SU	ADMI
โรงงานที่ 1	2	91.2	90.8	91.8	91.7
	4	89.2	89.4	80.2	80.1
	6	90.3	90.1	76.8	76.9
	8	84.7	84.5	71.7	71.8
	10	80.2	80.4	78.6	78.8
	12	91.8	91.7	80.4	80.4
โรงงานที่ 2	2	92.7	90.2	94.3	89.0
	4	91.0	83.7	86.2	81.3
	6	92.0	81.8	83.9	78.9
	8	87.3	82.9	80.3	74.8
	10	83.5	79.8	85.1	79.7
	12	93.2	87.8	86.4	79.2
โรงงานที่ 3	2	87.0	77.7	92.8	94.6
	4	84.0	72.3	82.6	70.0
	6	85.7	76.4	79.7	62.2
	8	77.4	59.8	75.2	55.8
	10	70.8	52.1	81.3	65.9
	12	87.8	82.8	82.8	70.3



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นน้ำเสียจากโรงงานที่ 1



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นน้ำเสียจากโรงงานที่ 2



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ความเข้มข้นน้ำเสียจากโรงงานที่ 3

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสต์ลิ่งค์และควอเทอร์ไนซ์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดคือ น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว และน้ำเสียจริงจากโรงงาน โดยเลือกความเข้มข้นที่ทำให้ความเข้มข้นสีใกล้เคียงกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสี น้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว (single component synthetic wastewater) ที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดคือ สีแดงเตรียมจาก Remazol Brilliant Red 3BS ความเข้มข้น 20 มก./ล. และสีดำเตรียมจาก Remazol Black B ความเข้มข้น 10 มก./ล. ในการทดลองนี้เลือกใช้สี Remazol Brilliant Red 3BS และสี Remazol Black B ซึ่งเป็นสีรีแอกทีฟทั้ง 2 สี เนื่องจากสีรีแอกทีฟเป็นสีที่มักพบในโรงงานฟอกย้อมผ้าประเภทฝ้าย และเป็นประเภทสีที่ประสิทธิภาพในการย้อมติด (degree of fixation) ต่ำ คือ 50 - 90 % โดยประมาณ เมื่อเทียบกับสีชนิดอื่นที่ใช้ในการย้อมผ้าฝ้าย เช่น สีไดเรกต์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย้อมติด 70-90 % โดยประมาณ หรือสีประเภทอื่น เช่น สีดิสเพิร์ส ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีประสิทธิภาพในการย้อมติดประมาณ 90 - 100 % จึงทำให้สีรีแอกทีฟมักจะคงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งสูง (Society of Dyers and Colourists, 1995 : 14)

น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม 3 โรงงาน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับที่ใช้ในการศึกษาข้อ 4.2 และ 4.3

คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพมีความเข้มข้นสีใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพ

ชนิดน้ำเสีย	สัญลักษณ์	ชนิดสี	ความเข้มข้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นสี	
				SU	ADMI
น้ำเสียสังเคราะห์ สีเดียว	RR20	Remazol Red 3BS	20	36.3	1567
	RB10	Remazol Black B	10	48.7	794
น้ำเสียจริง จากโรงงาน	F1	โรงงานที่ 1	-	33.1	352
	F2	โรงงานที่ 2	-	41.7	425
	F3	โรงงานที่ 3	-	26.3	296

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำสมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ แสดงดังในตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 และ รูปที่ 4.15 ถึง 4.16

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียวของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำสมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

น้ำเสีย	ปริมาณวัสดุ (มก.)	ความเข้มข้น ในน้ำเข้า (SU)	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)			
			ถ่านกัมมันต์		เส้นใยลูกลำสม	
			SU	ADMI	SU	ADMI
Remazol Brilliant Red (RR20)	20	36.3	67.1	71.2	67.5	72.8
	50	36.3	83.1	84.2	83.1	83.6
	100	36.3	96.3	98.5	100.0	99.9
	200	36.3	98.1	99.2	100.0	99.9
	300	36.3	98.4	99.4	100.0	99.9
	400	36.3	98.8	99.5	99.4	99.7
Remazol Black B (RB10)	20	48.7	33.7	50.3	51.5	58.1
	50	48.7	54.0	60.5	74.7	73.3
	100	48.7	66.3	68.8	99.8	98.9
	200	48.7	100.0	99.7	100.0	99.5
	300	48.7	97.5	81.7	100.0	99.4
	400	48.7	83.2	88.0	99.2	97.5

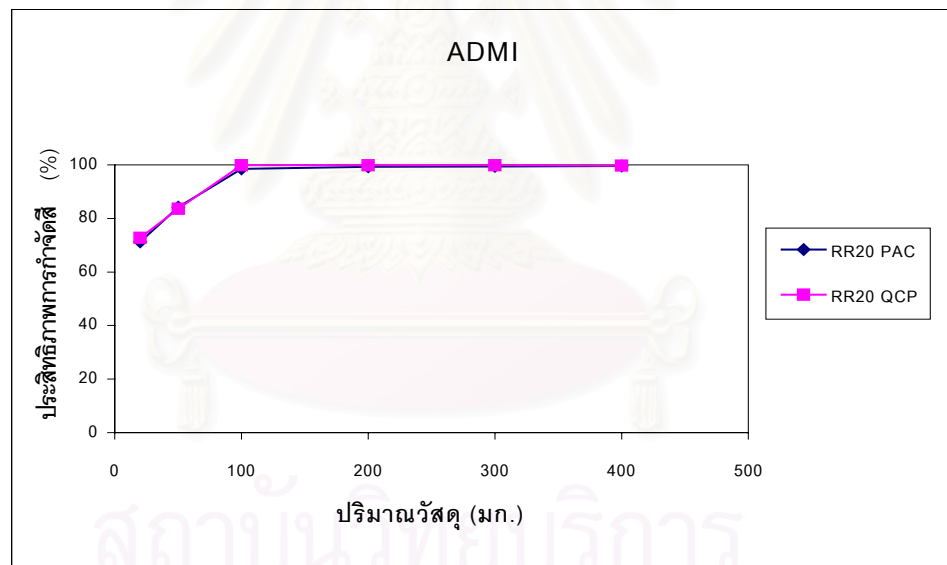
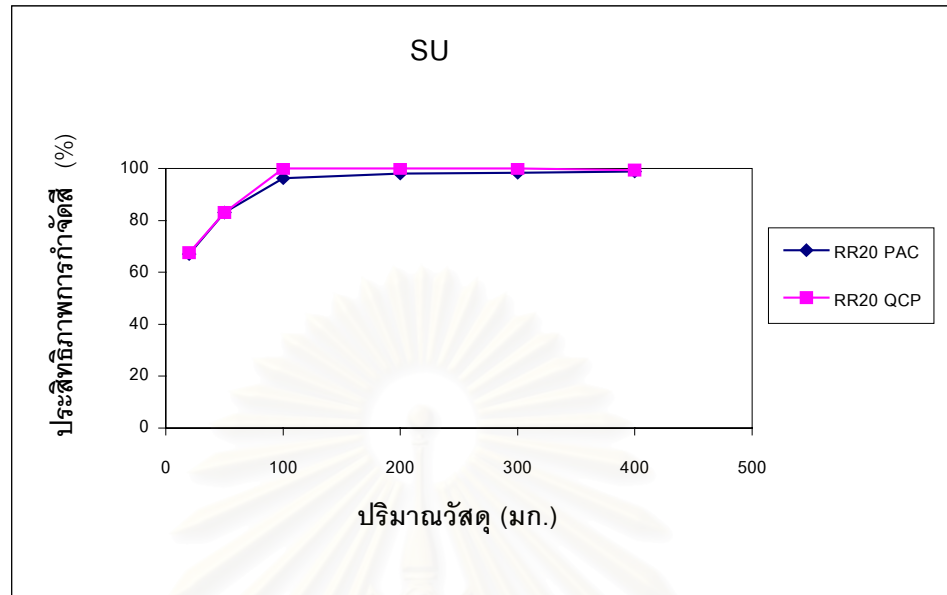
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำที่จกโรงงานของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำไยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสต์ลิ่งค์และควอเทอร์ไนซ์

น้ำเสีย	ปริมาณวัสดุ (มก.)	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)			
		ถ่านกัมมันต์		เส้นใยลูกลำไย	
		SU	ADMI	SU	ADMI
น้ำเสียจาก โรงงานที่ 1 (F1)	20	43.50	46.02	16.01	15.63
	50	63.14	63.01	32.93	32.67
	100	81.57	81.25	64.05	63.92
	200	95.17	94.89	77.64	77.56
	300	97.07	96.88	83.08	82.95
	400	91.84	91.76	86.40	86.36
น้ำเสียจาก โรงงานที่ 2 (F2)	20	54.12	46.15	45.92	40.68
	50	71.41	64.74	59.60	55.70
	100	85.15	81.69	81.63	77.33
	200	96.75	93.76	94.71	89.51
	300	97.13	95.42	96.60	91.69
	400	98.27	96.85	96.69	92.63
น้ำเสียจาก โรงงานที่ 3 (F3)	20	55.99	46.00	52.92	37.87
	50	74.26	64.33	63.48	46.42
	100	86.93	79.74	77.23	59.03
	200	93.84	88.41	86.33	72.00
	300	93.22	90.45	88.50	77.96
	400	96.54	92.73	90.43	81.86

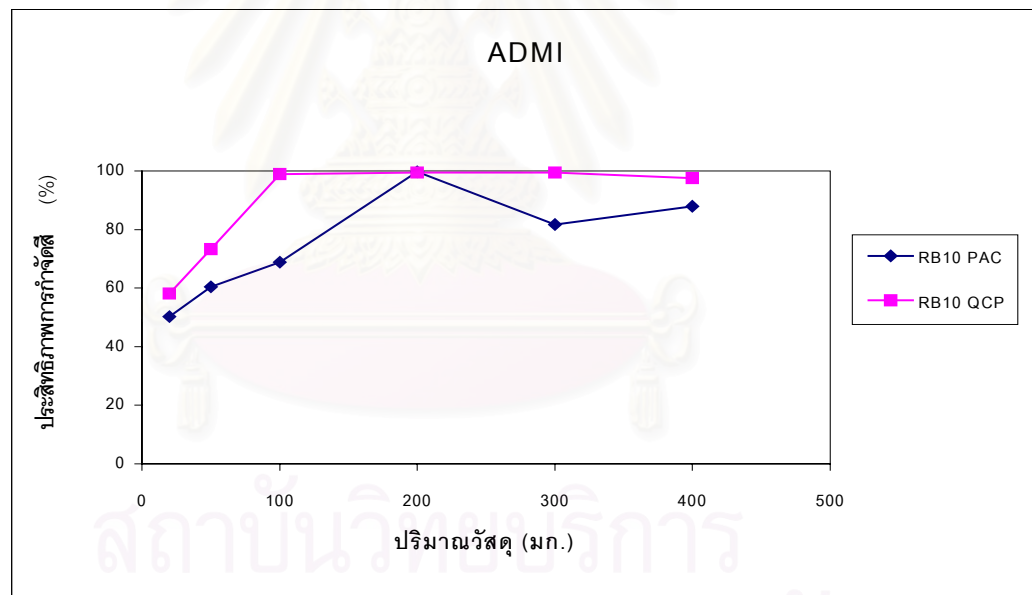
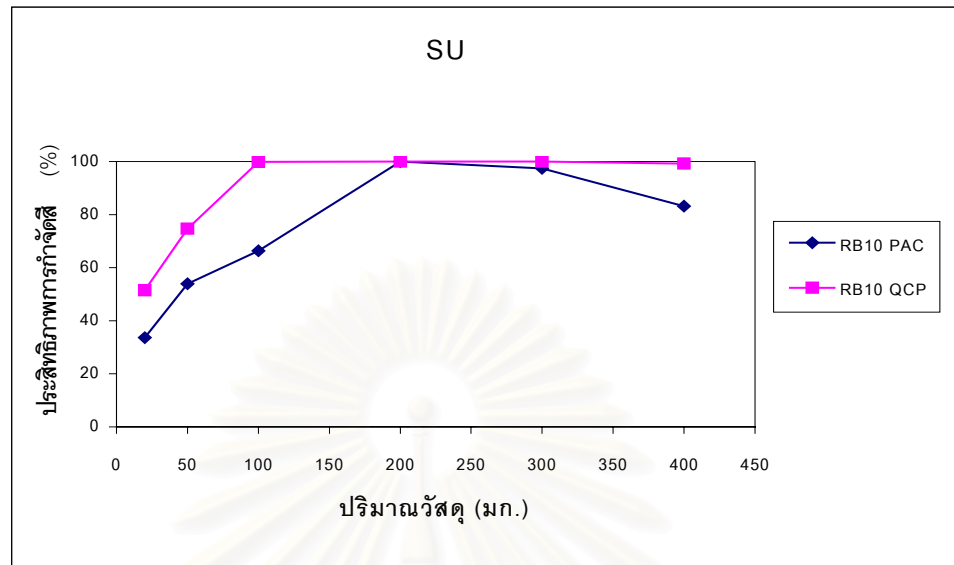
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ที่ปริมาณวัสดุ 100 กรัม

ชนิดน้ำเสีย	น้ำเสีย	ปริมาณวัสดุ (มก.)	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)			
			ถ่านกัมมันต์		เส้นใยลูกปาล์ม	
			SU	ADMI	SU	ADMI
น้ำเสีย สังเคราะห์	RR 20	100	96.3	98.5	100.0	99.9
	RB 10	100	66.3	68.8	99.8	98.9
	เฉลี่ย	-	81.3	83.7	99.9	99.4
น้ำทิ้งจากโรง งานฟอกย้อม	F 1	100	81.57	81.25	64.05	63.92
	F 2	100	85.15	81.69	81.63	77.33
	F 3	100	86.93	79.74	77.23	59.03
	เฉลี่ย	-	84.6	80.9	74.3	66.8



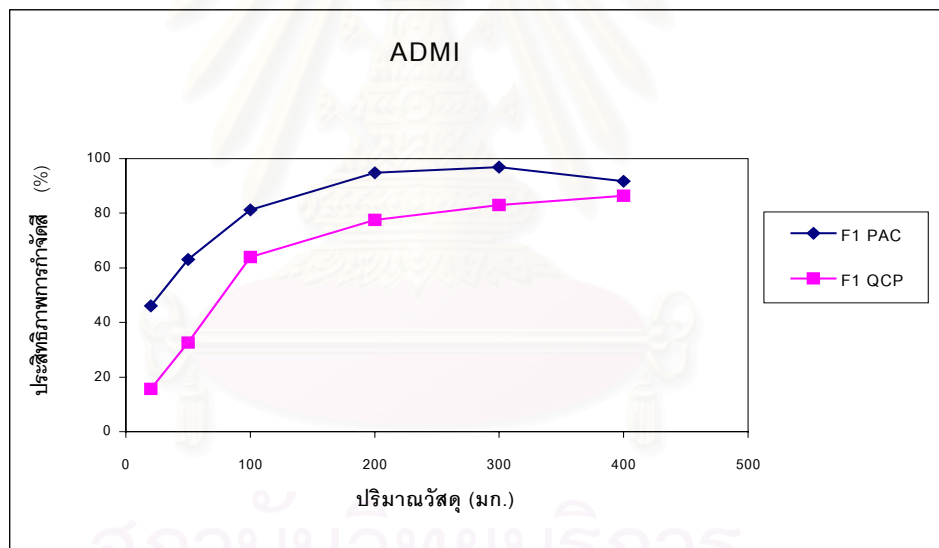
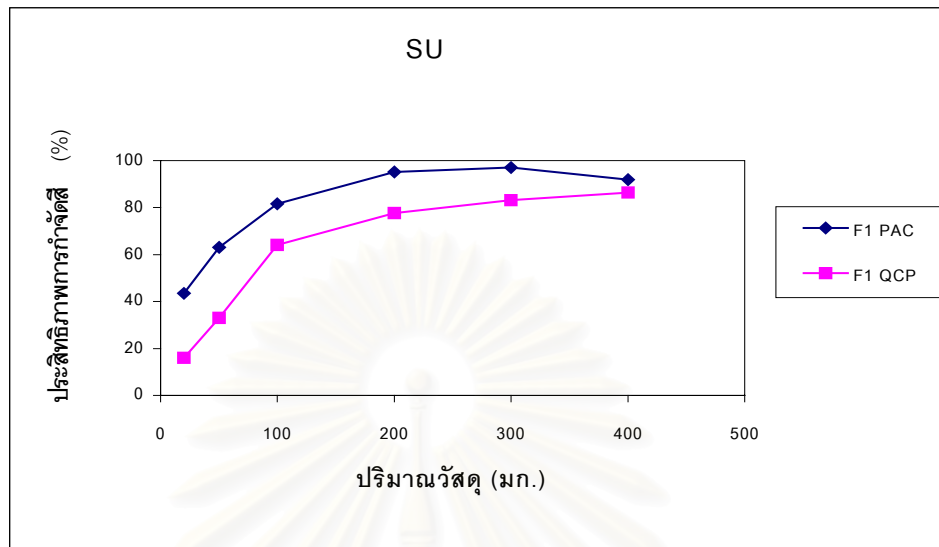
(ก) น้ำเสียสังเคราะห์ RR20

รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปลาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว



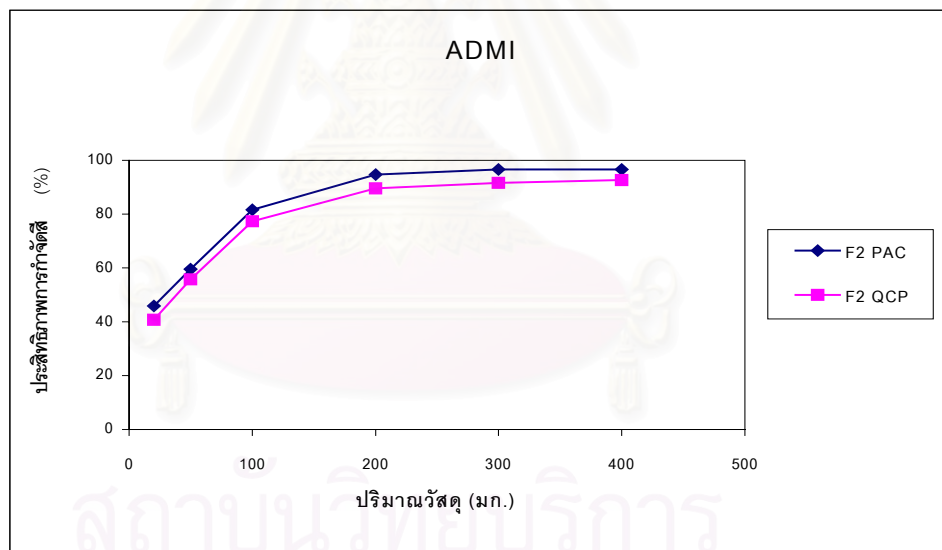
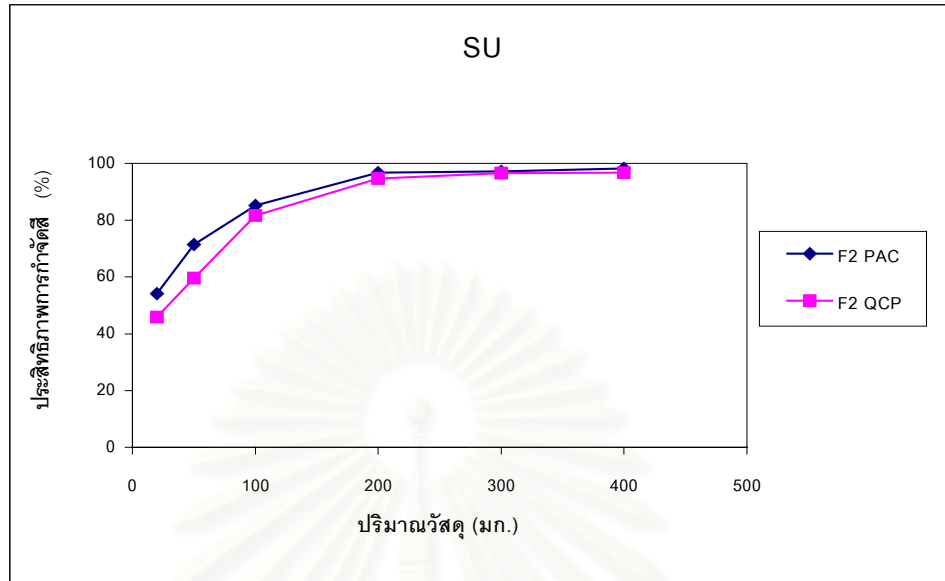
(ข) น้ำเสียสังเคราะห์ RB10

รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียว (ต่อ)



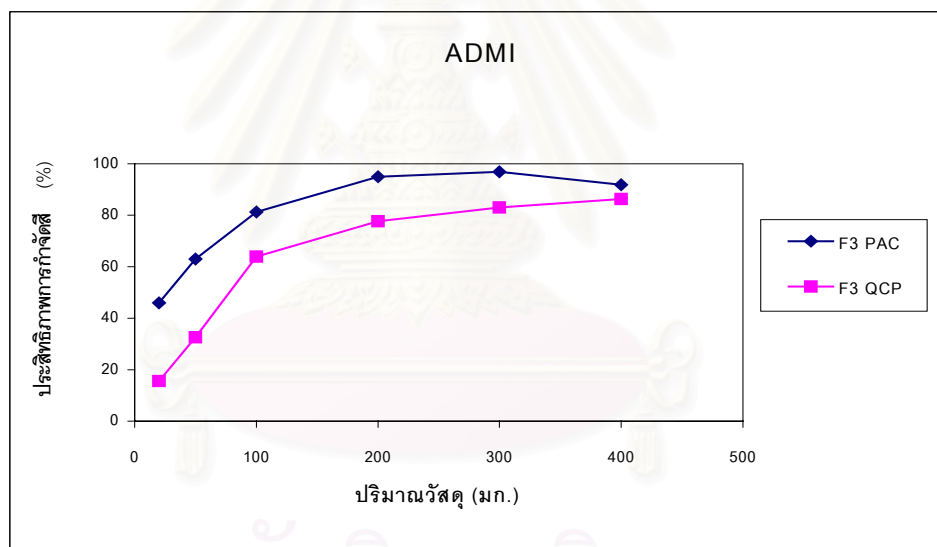
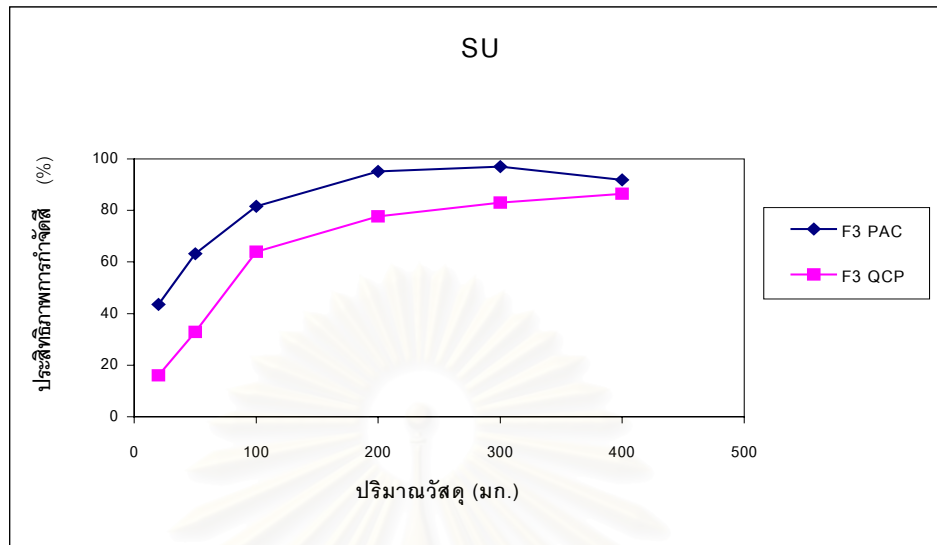
(ก) น้ำเสียจากโรงงานที่ 1

รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำเสียจริงจากโรงงาน



(ข) น้ำเสียจากโรงงานที่ 2

รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำเสียจริงจากโรงงาน (ต่อ)



(ค) น้ำเสียจากโรงงานที่ 3

รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในน้ำเสียจริงจากโรงงาน (ต่อ)

4.4.2 การศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

ผลการศึกษาไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) ของน้ำเสียในตารางที่ 4.5 แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.17 - 4.25 ภาคผนวก ค. และ ง.

Q_{max} ที่ได้จากการทดลองแสดงถึงขีดความสามารถสูงสุดของวัสดุที่ใช้กำจัดสี จากผลการทดลองพบว่า ในตัวอย่างน้ำเสียสีเดียว (RR40 และ RB40) วัสดุมีความสามารถในการกำจัดสีได้สูงที่สุด ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มสามารถดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Brilliant Red 3BS ได้สูงถึง 2,000 และ 2,500 gSU/g^a ตามลำดับ และดูดซับสี Remazol Black B ได้เท่ากัน คือ 909 gSU/g

ในตัวอย่างน้ำเสียสีผสม (R20B20 R20B40 R40B20 และ R40B40) เส้นใยลูกลูปาล์มมีความสามารถดูดซับสีได้สูงสุด 1429 588 476 และ 625 gSU/g ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ไม่สามารถหาความสัมพันธ์เชิงไอโซเทอมได้ เนื่องจากสีรบกวนจากถ่านกัมมันต์มารบกวนความเข้มข้นสีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง (ดูในภาคผนวก ง. รูปที่ ง.11 ง.12 ง.13 และ ง.14) สังเกตได้จากค่า absorbance ของตัวอย่างน้ำเสีย R20B20 R20B40 R40B20 และ R40B40 ที่ความยาวคลื่นสูง สูงกว่าค่า absorbance ของน้ำเข้า ทำให้ความเข้มข้นสีที่วัดได้คลาดเคลื่อนและไม่สอดคล้องตามไอโซเทอม และจากผลการทดลอง พบว่า เส้นใยลูกลูปาล์มดูดซับสีในน้ำเสียสีผสมได้น้อยกว่า สีในน้ำเสียสีเดียว ในน้ำเสียสีผสม R20B40 เส้นใยลูกลูปาล์มดูดซับสีได้สูงสุด 588 gSU/g ในขณะที่ ดูดซับสี Remazol Brilliant Red 3BS สีเดียวได้ 2,500 gSU/g และ สี Remazol Black ได้ 909 gSU/g น้ำเสียอื่นในกลุ่มเดียวกันก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน แสดงถึงผลของการดูดซับแบบแข่งขัน (competitive adsorption) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียลดลงเมื่อมีตัวถูกดูดซับมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป และคาดว่าเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงต่ำ

ผลการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจริงที่ได้จากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม ที่ผ่านระบบบำบัดแบบเอเอสจากโรงงานแล้ว การศึกษาไอโซเทอมพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงไม่สูงมากนัก ($R^2 < 0.9$)

^a กรัม SU (g SU) เป็นหน่วยมวลที่สมมติขึ้นที่ของมวลของสีที่อยู่ในน้ำเสีย โดยสมมติให้ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสี 1 SU ปริมาตร 1 ลิตร มีมวลสีละลายอยู่ 1 gSU

ในน้ำเสียจากโรงงานที่ 1 ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มสามารถดูดซับสีได้สูงสุด 476 และ 227 gSU/g ตามลำดับ และในน้ำเสียจากโรงงานที่ 2 พบว่า ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มสามารถดูดซับสีได้สูงสุด 400 และ 345 gSU/g ตามลำดับ และในน้ำเสียจากโรงงานที่ 3 ไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเลย ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้บ่อยสำหรับกรณีน้ำเสียจริง เนื่องจากสารรบกวนที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลศึกษาฟรอนด์ลิกไอโซเทอม (Freundlich Isotherm) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบดังแสดงค่าพารามิเตอร์ไว้ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาแลงเมียร์ไอโซเทอมพารามิเตอร์

น้ำเสีย	วัสดุ	Q_{max} (gSU/g)	R^2
RR40	ถ่านกัมมันต์	2000 ^a	0.684
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	2500 ^a	0.504
RB40	ถ่านกัมมันต์	909	0.949
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	909	0.958
R20B20	ถ่านกัมมันต์	n.a. ^b	0.029
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	1429	0.862
R20B40	ถ่านกัมมันต์	n.a. ^b	0.065
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	588	0.992
R40B20	ถ่านกัมมันต์	n.a. ^b	0.048
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	476	0.924
R40B40	ถ่านกัมมันต์	n.a. ^b	0.072
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	625	0.998
F 1	ถ่านกัมมันต์	476	0.852
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	227	0.728
F 2	ถ่านกัมมันต์	400	0.971
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	345	0.903
F 3	ถ่านกัมมันต์	n.a. ^b	0.831
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	n.a. ^b	0.001

^a เป็นค่าโดยประมาณเนื่องจากในการวิเคราะห์ไอโซเทอม พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงไม่ชัดเจน

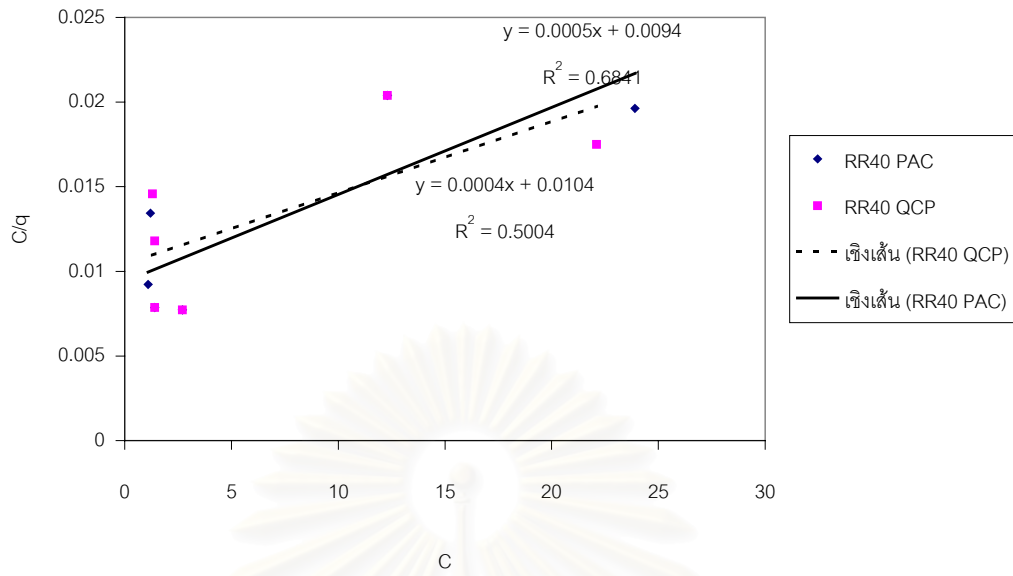
^b ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ในการวิเคราะห์ไอโซเทอม

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของ Q_{max} ของน้ำเสียแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลอง

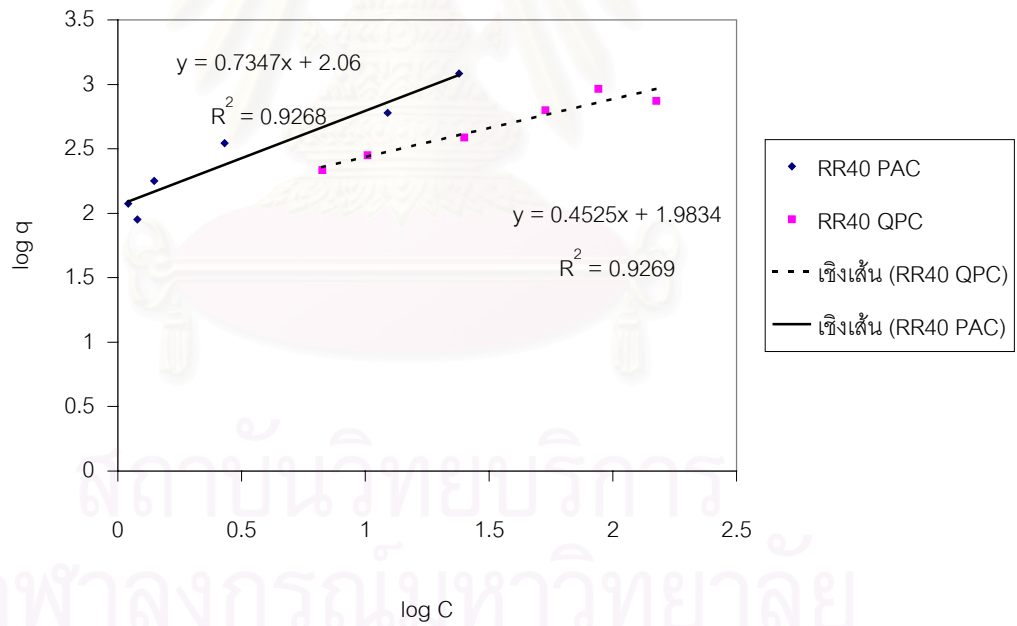
น้ำเสีย	วัสดุ	Q_{max} เฉลี่ย (gSU/g)
น้ำเสียสังเคราะห์ ชนิดสีเดียว	ถ่านกัมมันต์	1456
	เส้นใยลูกปาล์ม	1705
น้ำเสียสังเคราะห์ ชนิดสีผสม	ถ่านกัมมันต์	n.a.
	เส้นใยลูกปาล์ม	780
น้ำเสียจากโรงงาน	ถ่านกัมมันต์	438
	เส้นใยลูกปาล์ม	286

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาพรอยต์ลิตไอโซเทอมพารามิเตอร์

น้ำเสีย	วัสดุ	Kf	1/n	R^2
RR40	ถ่านกัมมันต์	42.6	1.6299	0.7818
	เส้นใยลูกปาล์ม	15.0	1.1751	0.9062
RB40	ถ่านกัมมันต์	65.4	1.8154	0.9615
	เส้นใยลูกปาล์ม	48.8	1.6886	0.9469
R20B20	ถ่านกัมมันต์	32.2	1.5077	0.9655
	เส้นใยลูกปาล์ม	8.2	0.9129	0.9806
R20B40	ถ่านกัมมันต์	114.8	2.0600	0.9268
	เส้นใยลูกปาล์ม	109.6	2.0400	0.9113
R40B20	ถ่านกัมมันต์	96.2	1.9834	0.9269
	เส้นใยลูกปาล์ม	385.8	2.5864	0.8622
R40B40	ถ่านกัมมันต์	6.1	0.7881	0.2127
	เส้นใยลูกปาล์ม	317.0	2.5011	0.7315
F 1	ถ่านกัมมันต์	39482.1	4.5964	0.6918
	เส้นใยลูกปาล์ม	373.6	2.5724	0.6530
F 2	ถ่านกัมมันต์	0.6	-0.2284	0.6277
	เส้นใยลูกปาล์ม	258.9	2.4132	0.4729
F 3	ถ่านกัมมันต์	58.1	1.7645	0.3644
	เส้นใยลูกปาล์ม	431.8	2.6353	0.0310

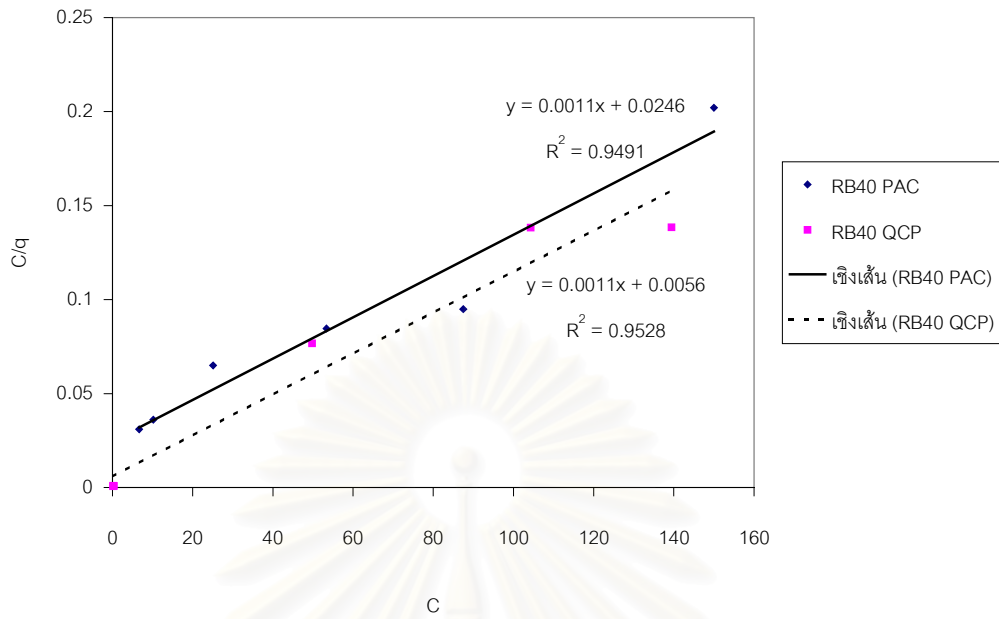


(ก) แล่งเมียร์

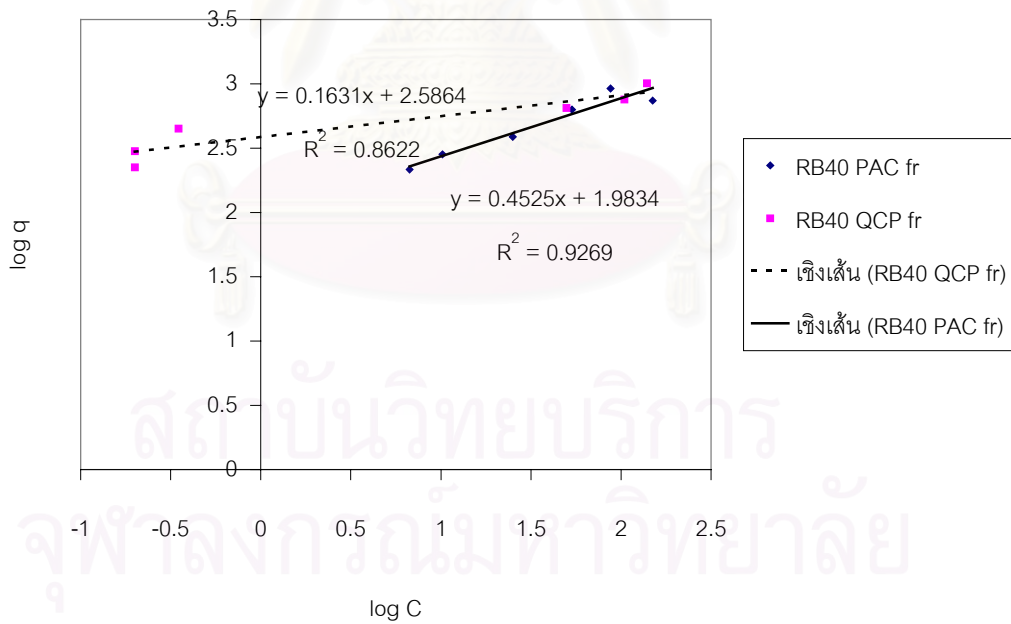


(ข) ฟรอยด์ลิต

รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำมในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Brilliant Red 3BS (RR40)

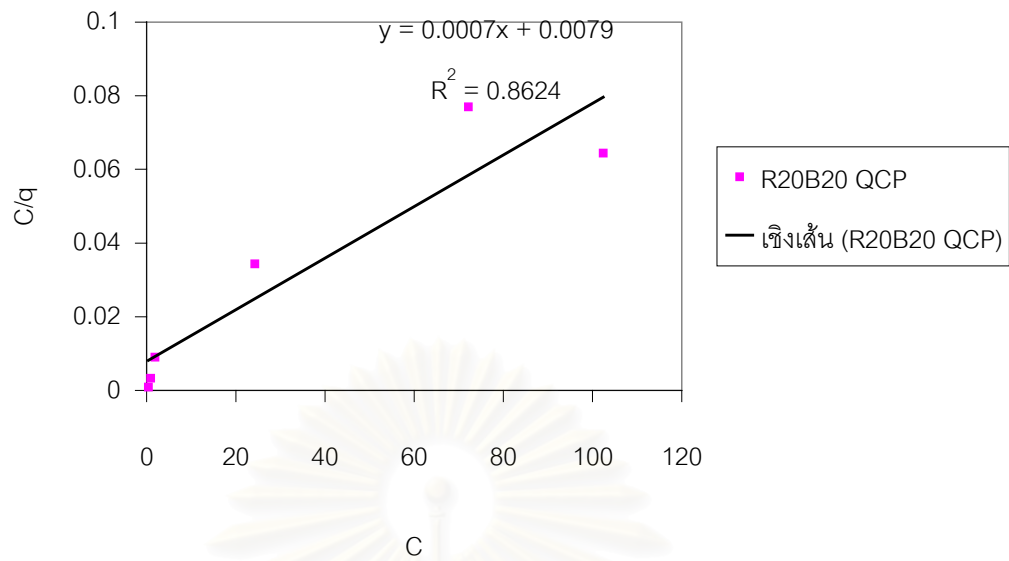


(ก) แล่งเมียร์

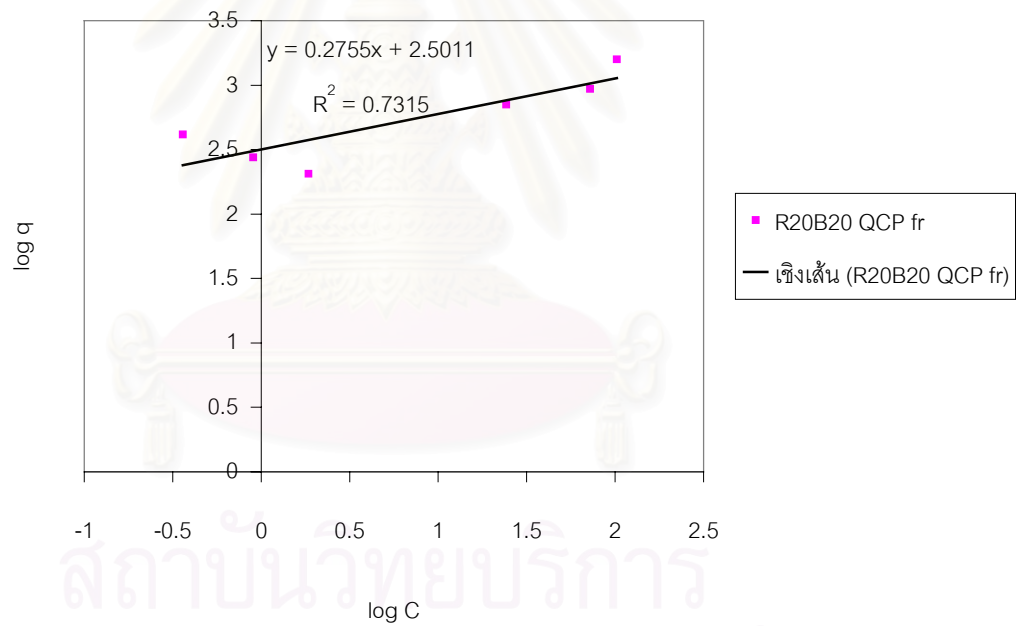


(ข) ฟรอยด์ลิต

รูปที่ 4. 18 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Black B (RB40)

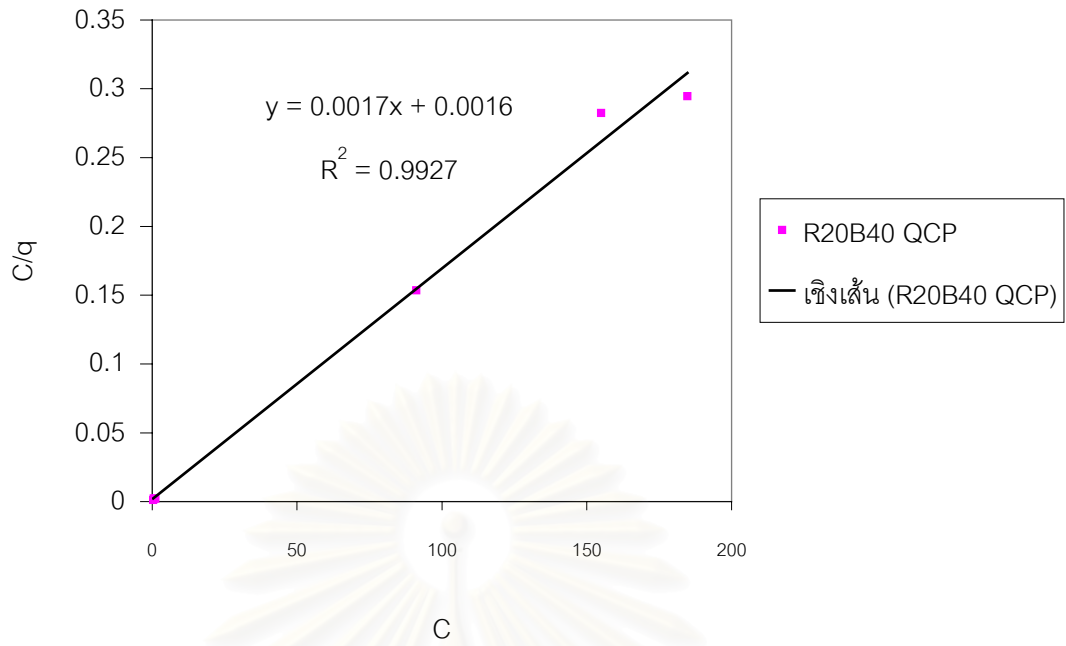


(ก) แล่งเมียร์

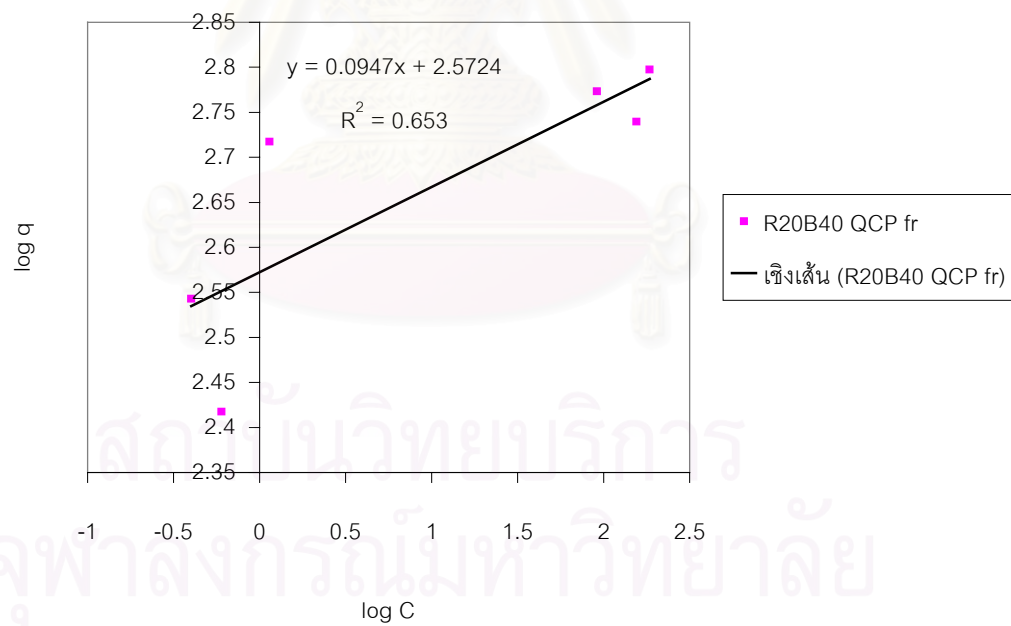


(ข) ฟรอยด์ลิค

รูปที่ 4. 19 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B20

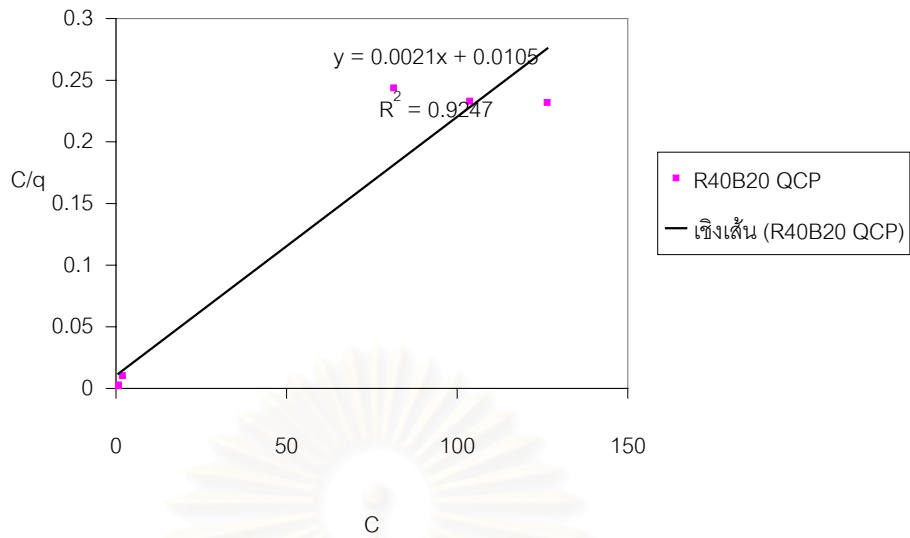


(ก) แล่งเมียร์

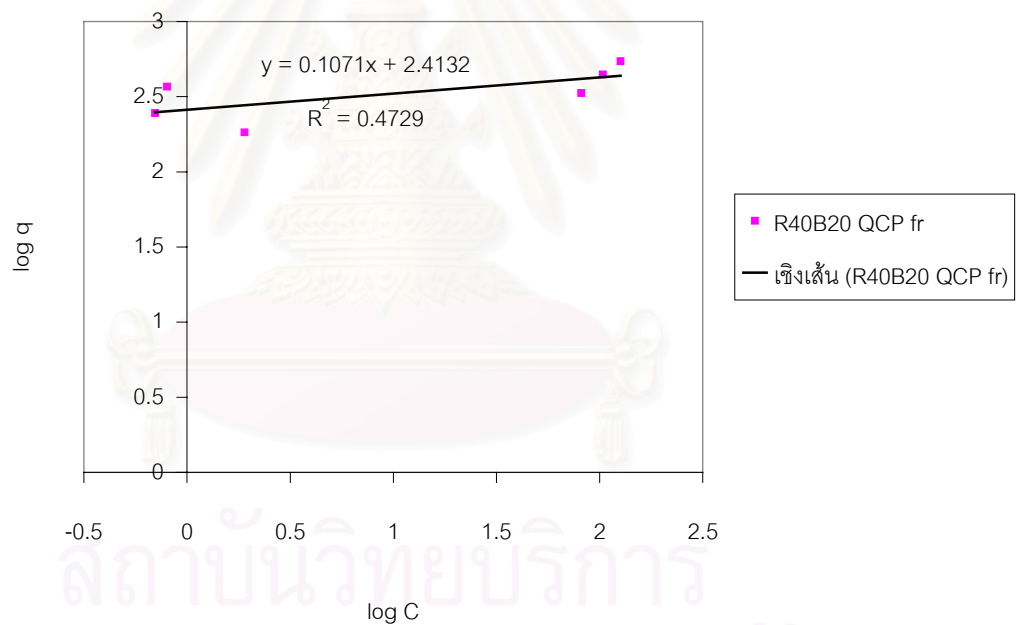


(ข) ฟรอยด์ลิต

รูปที่ 4. 20 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำมในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R20B40

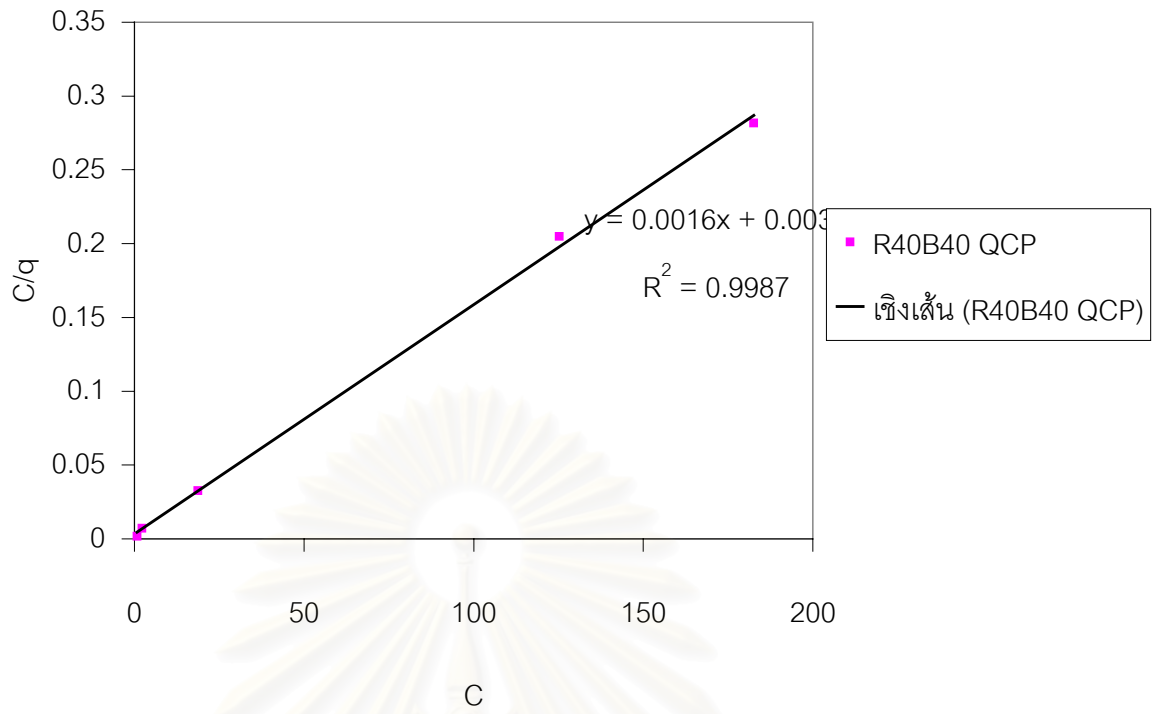


(ก) แล่งเมียร์

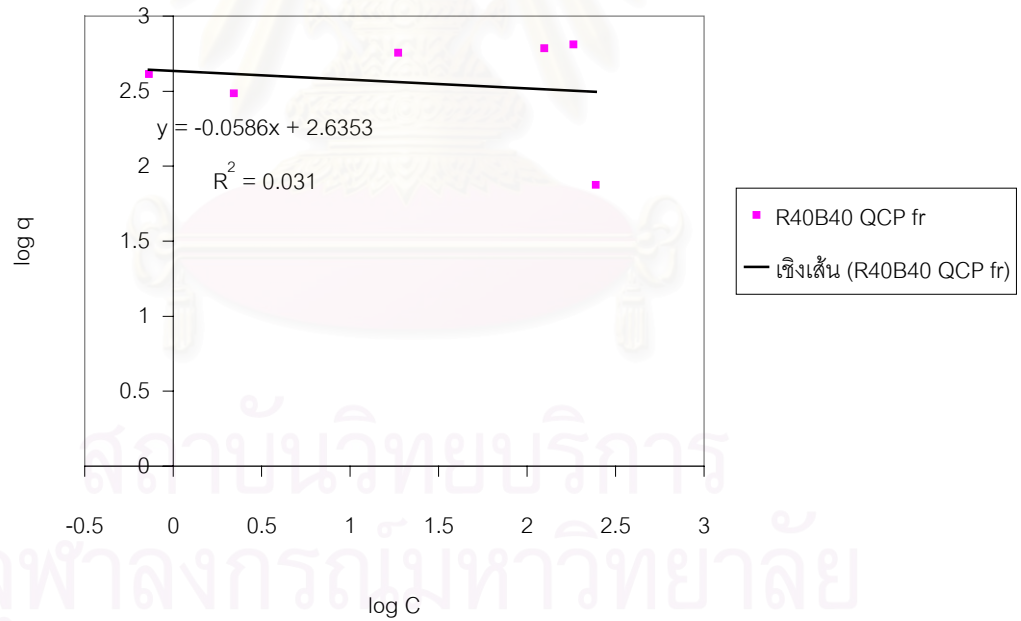


(ข) ฟรอยด์ลิค

รูปที่ 4. 21 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B20

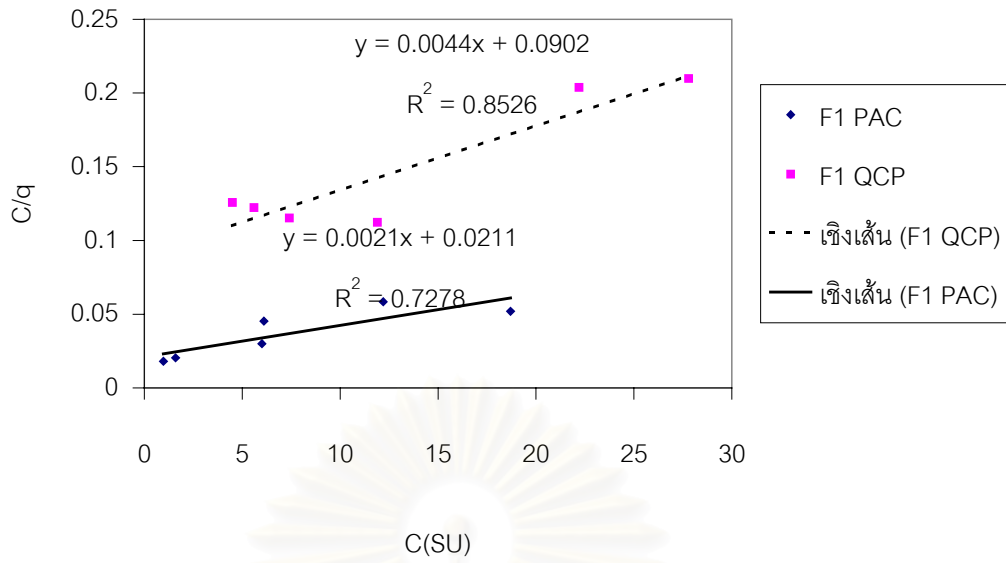


(ก) แล่งเมียร์

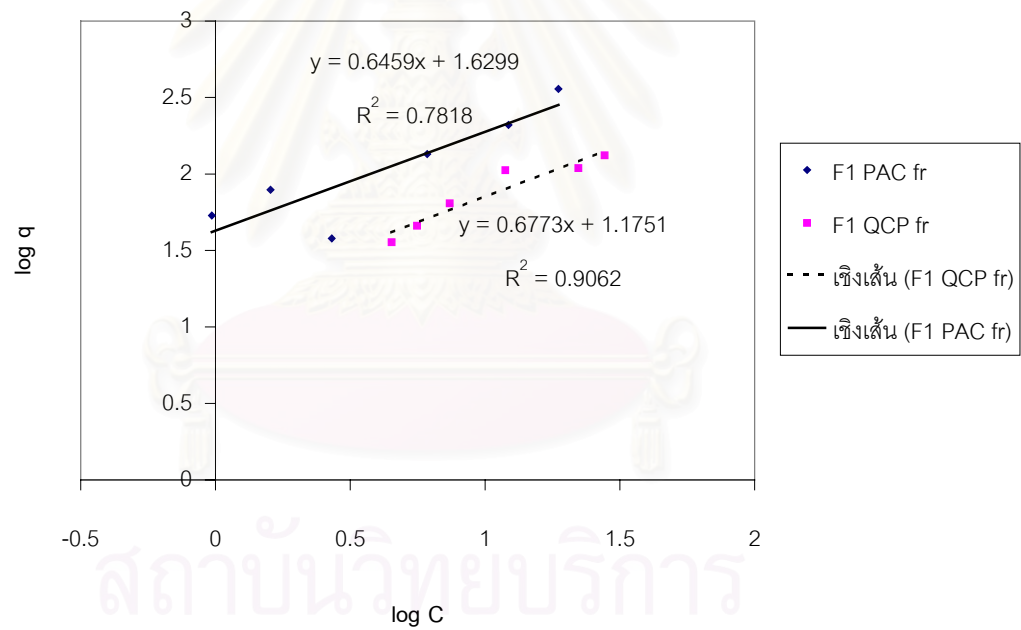


(ข) ฟรอยด์ลิต

รูปที่ 4. 22 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีผสม R40B40

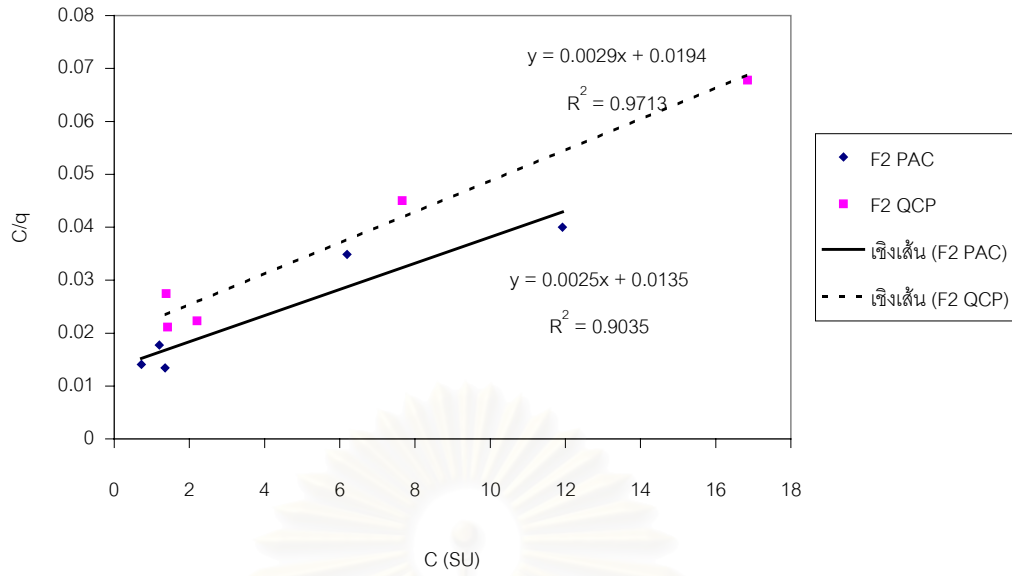


(ก) แล่งเมียร์

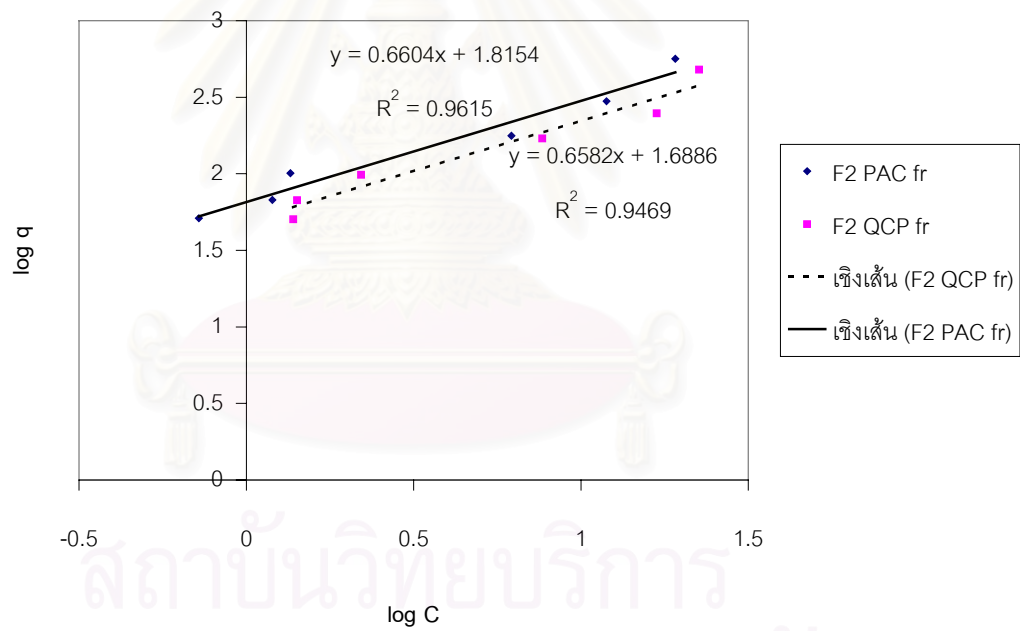


(ข) ฟรอยด์ลิค

รูปที่ 4. 23 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำสนในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานที่ 1 (F1)

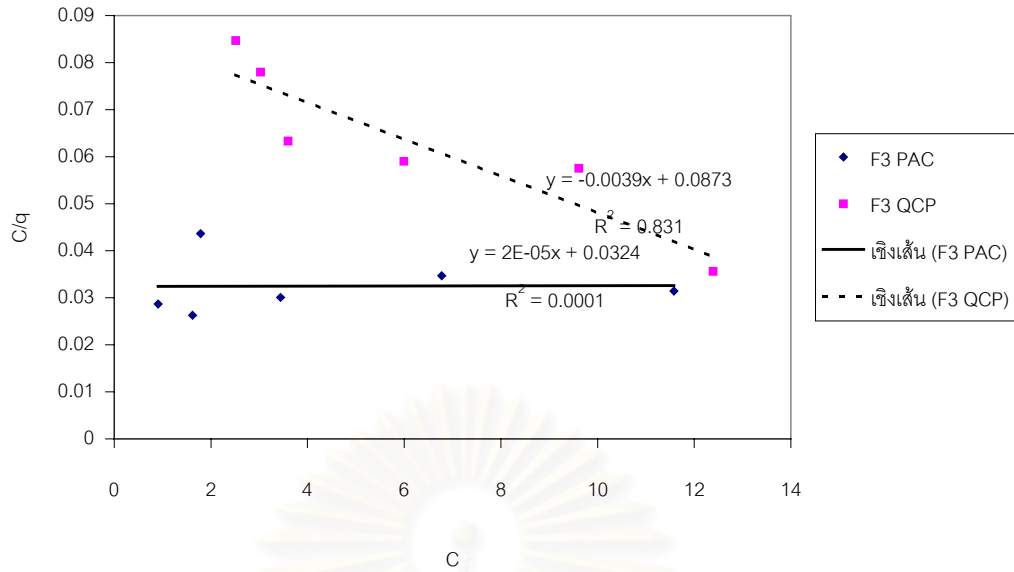


(ก) แล่งเมียร์

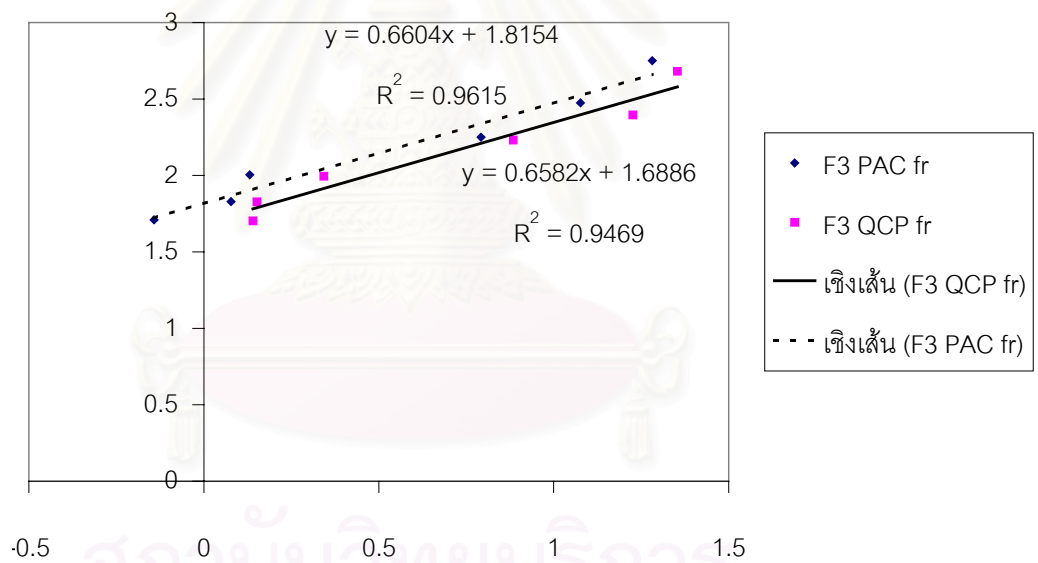


(ข) ฟรอยด์ลิต

รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มในการกำจัดสี
ในน้ำเสียจากโรงงานที่ 2 (F2)



(ก) แล่งเมียร์



(ข) ฟรอยด์ลิค

รูปที่ 4. 25 เปรียบเทียบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำมในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานที่ 3 (F3)

4.5 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสีย้อม

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ แต่เนื่องจากในอนาคต มาตรฐานน้ำทิ้งจะมีความเข้มงวดมากขึ้นและเพื่อความสะดวกในการประมาณ จึงใช้มาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศอังกฤษ (พื้นที่ลุ่มน้ำ Severn Trench แม่น้ำ Erewash^a) ซึ่งกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งโดยกำหนดค่า absorbance สูงสุดที่ยอมรับให้ได้ ที่ความยาวคลื่นต่างกันไว้อย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของแม่น้ำ Erewash พื้นที่ลุ่มน้ำ Severn Trench (Society of Dyers and Colourists, 1995 : 28)

ความยาวคลื่น (nm)	400	450	500	550	600	650	700
Absorbance	0.025	0.015	0.012	0.010	0.008	0.005	0.003

เพื่อลดความยุ่งยากของการประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี จึงคำนวณค่ามาตรฐานออกมาเป็นหน่วยความเข้มสี SU ซึ่งตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าว กำหนดให้ความเข้มสีไม่เกิน 3.2 SU จึงใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการคำนวณมาได้ ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ ราคา 100 บาท ต่อ กิโลกรัม คิดเป็น 1 บาท ต่อ กรัม

- ค่าใช้จ่ายสารเคมีหลักที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยลูกปาล์มด้วยการโครอสต์ลิงค์และควอ

เทอร์ไนซ์

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ราคา 280 บาทต่อ กิโลกรัม

- CHMAC ราคา 3,100 บาทต่อลิตร

- อีพิกลอโรไฮดริน ราคา 1,900 บาทต่อกิโลกรัม

^a มาตรฐานน้ำทิ้งในแต่ละแม่น้ำจะแตกต่างกันไป เนื่องจากเป็นไปตามลักษณะตามธรรมชาติ แต่โดยรวมแล้วมีมาตรฐานคล้ายคลึงกัน

- การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพเส้นใยลูกปาล์มด้วยการครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์ ต่อ 1 กรัมวัสดุ ได้ดังนี้

- ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มัล ปริมาณ 2.45 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นเงิน} &= 5 \times 40 \times (2.45/1,000) \times (280/1,000) \\ &= 0.13 \text{ บาท} \end{aligned}$$

- ใช้ อีพิกลอโรไฮดริน ปริมาณ 0.234 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นเงิน} &= 0.234 \times (1,900/1,000) \\ &= 0.44 \text{ บาท} \end{aligned}$$

- ใช้ CHMAC ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ปริมาณ 1 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นเงิน} &= 3,100/1,000 \\ &= 3.1 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพเส้นใยลูกปาล์ม} &= 0.1372+3.1+0.4446 \\ &= 3.68 \text{ บาท/กรัม} \end{aligned}$$

- การคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจริง

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม 3 โรงงาน สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมต่าง ๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีครอสส์ลิงค์และควอเทอร์ไนซ์

น้ำเสียจากโรงงาน	ถ่านกัมมันต์		เส้นใยลูกปาล์ม	
	ปริมาณที่ต้องใช้ (กรัม/ลิตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลิตร)	ปริมาณที่ต้องใช้ (กรัม/ ลิตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลิตร)
โรงงานที่ 1	0.27	0.14	0.33	1.21
โรงงานที่ 2	0.26	0.13	0.34	1.25
โรงงานที่ 3	0.23	0.12	0.46	1.6
เฉลี่ย	0.25	0.13	0.38	1.35

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การทดลองศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม สำหรับ ถ่านกัมมันต์ และ เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการโครอสส์ลิงค์และควอเตอร์ไนซ์ พบว่า ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ สามารถกำจัดสีได้ดี โดยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพดีกว่าเส้นใยลูกลูปาล์มเล็กน้อย เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีปริมาณพื้นที่ผิวมากกว่าเส้นใยลูกลูปาล์มมาก คือ ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสัมผัส BET surface area สูงถึง 1,163 ตารางเมตรต่อกรัม ในขณะที่เส้นใยลูกลูปาล์มมีพื้นที่ผิวสัมผัส BET surface area เท่ากับ 6.9 ตารางเมตรต่อกรัมเท่านั้น และเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมีน้อย แสดงให้เห็นว่า กลไกการกำจัดสีของเส้นใยลูกลูปาล์มเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนนอกเหนือ ไปจากการดูดติดผิว

สำหรับ ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงาน 2 แห่ง เป็นสีม่วงอ่อน และอีกโรงงานเป็นสีขาวอ่อน ๆ เนื่องจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้ามักประกอบด้วย 3 สีคือ สีน้ำเงิน สีแดง และสีดำ เมื่อผสมรวมกันจึงกลายเป็นสีม่วง ส่วนน้ำทิ้งที่มีสีขาวอ่อนคาดว่าเกิดจากผลผลิตของการย่อยสลายของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำทิ้งที่มีสีม่วงมีความเข้มข้น 41.7 และ 40.6 SU ส่วนน้ำทิ้งที่มีสีขาวอ่อนมีความเข้มข้น 26.3 SU เส้นกราฟของแอมซอบแนนซ์ (absorbance) ของน้ำทิ้งทั้ง 3 โรงงานมีลักษณะคล้ายคลึงกันแม้จะมีสีต่างกัน คือ มีค่าแอมซอบแนนซ์สูงสุดที่แสงความยาวคลื่นต่ำ และมีค่าแอมซอบแนนซ์ต่ำที่สุดที่แสงความยาวคลื่นสูง ต่างไปจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยปกติซึ่งมักมีค่าแอมซอบแนนซ์สูงที่แสงความยาวคลื่นกลาง ๆ

ในการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมของ ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า ในระบบปฏิกรณ์แบบแบตช์ซึ่งใช้น้ำเสียตัวอย่าง 0.5 ลิตร เติมวัสดุกำจัดสีคือถ่านกัมมันต์หรือเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ 100 กรัม เมื่อกำหนดให้กวนด้วยอัตราเร็วการกวน 120 รอบต่อนาที พบว่า เวลาสัมผัส มีผลต่อการกำจัดสีของระบบ สีจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มกวน และจะค่อย ๆ เข้าสู่สมดุลของการดูดซับเมื่อเวลาไปประมาณ 60 นาทีและหลังจากนี้ความเข้มข้นจะคงที่ และทุกน้ำเสียตัวอย่างมีลักษณะเหมือนกัน

ในระบบปฏิกรณ์แบบแบตช์แบบเดียวกัน ซึ่งใช้น้ำเสียตัวอย่าง 0.5 ลิตร เติมวัสดุกำจัดสีคือถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ 100 กรัม เมื่อกำหนดให้เวลาสัมผัสคงที่ 120 นาที พบว่า อัตราเร็วในการกวน มีผลต่อการกำจัดสีของระบบดังนี้ เมื่อปล่อยให้ระบบเข้าสู่สมดุลโดยไม่กวน คือ อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 0 รอบต่อนาที วัสดุทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดสีได้ดีพอสมควรและดีขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกวน จนกระทั่ง ถึงอัตราเร็วค่าหนึ่งซึ่งเพียงพอต่อการเข้าสู่สมดุลภายในเวลาสัมผัสที่กำหนด เมื่อเพิ่มอัตราเร็วไปมากกว่านี้จะไม่ช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีขึ้น แสดงว่า อัตราการถ่ายเทมวลจากน้ำเสียไปยังผิววัสดุ (film diffusion mass transfer rate) เป็นกลไกหนึ่งของการดูดซับสีของวัสดุ และมีผลต่อการกำจัดสีเมื่ออัตราเร็วการกวนหรือสภาพปั่นป่วนภายนอกต่ำ และถ่านกัมมันต์ต้องการอัตราเร็วการกวนต่ำกว่าเส้นใยลูกลูปาล์ม

จากการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดสีของวัสดุ พบว่า ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมทั้ง 3 แห่งได้ดีในพีเอชต่ำ และประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเมื่อพีเอชมากขึ้น ในการแปรผันค่าพีเอช ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพอยู่ในช่วง 70-95 %

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้วกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าในน้ำเสียจริงที่มีความเข้มข้นสีใกล้เคียงกัน ในน้ำเสียสังเคราะห์ เส้นใยลูกลูปาล์มกำจัดสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ แต่ในน้ำเสียจริง ถ่านกัมมันต์กำจัดสีได้ดีกว่าเส้นใยลูกลูปาล์ม

จากการศึกษาไอโซเทอมพบว่า การดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีเดียว และน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีผสมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มไปตามแลงเมียร์ไอโซเทอม ค่า Q_{max} ของน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีเดียวสูงกว่าค่า Q_{max} ของน้ำเสียสังเคราะห์แบบสีผสม และค่า Q_{max} ของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 2 แบบมากกว่าค่า Q_{max} ของน้ำเสียจริง โดยเฉลี่ยแล้วค่า Q_{max} ของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่า 1,456 และ 1,705 กรัมSU/กรัมวัสดุ สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มตามลำดับ น้ำเสียสังเคราะห์แบบสีผสมมีค่า Q_{max} 780 กรัมSU/กรัมเส้นใยลูกลูปาล์ม และน้ำเสียจริงมีค่า Q_{max} 438 และ 286 กรัมSUต่อกรัมวัสดุ สำหรับถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลูปาล์มตามลำดับ

เมื่อนำประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบกับเส้นใยลูกลูปาล์ม พบว่า อัตราค่าบำบัดน้ำเสียจริงที่บำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมโดยประมาณของถ่านกัมมันต์เฉลี่ย 0.25 บาท/ลิตร และอัตราค่าบำบัดน้ำเสียโดยประมาณของเส้นใยลูกลูปาล์มเฉลี่ย 1.35 บาท/ลิตร ในน้ำเสียจากโรงงานทั้ง 3 แห่ง ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีกว่าเส้นใยลูกลูปาล์ม และเส้นใยลูกลูปาล์มมีราคาสูงกว่า ทำให้เส้นใยลูกลูปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงสภาพต้องพัฒนาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ทดแทนถ่านกัมมันต์ต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษา Q_{\max} วัสดุธรรมชาติที่ราคาถูกหรือหาได้ง่ายที่นำมาใช้ในการเตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนอื่น ๆ นอกเหนือจากเส้นใยลูกปาล์ม
2. ศึกษาความจำเป็นเจาะจงในการดูดซับสีแต่ละชนิดของเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน
3. ศึกษาขนาดของวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับและในทางประยุกต์
4. ศึกษาการนำกลับมาเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกลับมาใช้ใหม่
5. ศึกษาแนวทางประยุกต์การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติในการกำจัดสี
6. ศึกษาการนำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกศสุชา พูลคำ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ชลธาท ไกรวัตนุสรณ์, ลัดดา ยาวีร์ชน และศักดิ์จิตรา ต้นสมบุญ. การผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- ชัยยุทธ ช่างสาร. การย้อมสีผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- ธงชัย พรธอนสวัสดิ์. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า: รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ์. เล่ม2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- นัฐพล แสนสวาท นิคม ดุพัสดุ ปกรณ์ จารุตระกูลชัย และ ปิติ ปิยะจตุรวัฒน์. การกำจัดสีย้อมโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ชานอ้อยและเปลือกถั่วเหลือง) เปรียบเทียบกับแอกติเวเตดคาร์บอน. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- บุญยฤทธิ ปัญญาภิญโญผล. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ปราณี สติรพิพัฒนกุล. การผลิตอะซิโตน-บิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกล้างด้วยเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

- ปิยนุช นาคพงศ์. การปรับปรุงวัสดุขุมน้ำพื้นฐานเซลลูโลสโดยกราฟท์โคโพลิเมอร์เซชันของอะครีโลไนทริลและกรดอะคลิลิกบนไมโครคริสทอลล์เซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- มันดิน ตันกุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2532.
- รัชนีย์ รุกขชาติ. การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลสจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สหสาขา วิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ลัดดา ยาวีร์ชน. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงค์เซลลูโลส ที่ทำจากขานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อยุธยา. การบำบัดสีไดเรกต์ด้วยผงผักตบชวา. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- สัญญาวัล อิงคภาศย์. ประสิทธิภาพของการลดสีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการข้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เทคนิคการพิมพ์, 2527.

ภาษาอังกฤษ

- Ahmedna, M., Johns, M.M., Clarke, S.J., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Potential of agricultural by-product-based activated carbons for use in raw sugar decolourization. Journal of Science Food and Agricultural 75 (1997): 117-124.
- Ahmedna, M., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. Bioresource Technology 71 (2000)a: 113-123.
- Ahmedna, M., Marshall, W.E., and Rao, R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by-products and their effects on raw sugar decolorization. Bioresource Technology 71 (2000)b: 103-112.

- 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.
- El-Geundi, M.S. Color removal from textile effluents by adsorption techniques. Water Research 25, 3 (1991): 271-273.
- Hwang, M.C., and Chen, K.M. The removal of color from effluents using polyamide-epichlorohydrin-cellulose polymer I: Preparation and use in dye removal. Journal of Applied Polymer Science 48 (1993): 299-311.
- Johnson, A. The Theory of Coloration of Textiles. 2nd ed. West Yorkshire: Dyers, 1989.
- Laszlo, J.A. Electrolyte effects on hydrolyzed reactive dye binding to quaternized cellulose. Textile Chemist and Colorist 27, 4 (April 1995): 25-27.
- Laszlo, J.A. Preparing an ion exchange resin from sugarcane bagasse to remove reactive dye from wastewater. Textile Chemist and Colorist 28, 5 (May 1996): 13-17.
- Laszlo, J.A., and Dintzis, F.R. Crop residues as ion-exchange materials: Treatment of soybean hull and sugar beet fiber (pulp) with epichlorohydrin to improve cation-exchanger capacity and physical stability. Journal of Applied Polymer 52 (1994): 531-538.
- McKay, G., El-Geundi, M., and Nassar, M.M. Equilibrium studies during the removal of dyestuffs from aqueous solutions using bagasse pith. Water Research 21, 12 (1987): 1513-1520.
- McKay, G., Ramprasad, G., and MowLi, P. Desorption and regeneration of dye colours from low-cost materials. Water Research 21, 3 (1987): 375-377.
- Mehna, A., Bajpai, P., and Bajpai, P.K. Studies on decolorization of effluent from a small pulp mill utilizing agriresidues with *Trametes Versicolor*. Enzyme and Microbial Technology 17, 1 (January 1995): 18-22.
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering: Treatment disposal reuse. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- Meyer, V., Carlsson F.H.H., and Oellermann, R.A. Decolorizaion of textile effluent using a low cost natural adsorbent material. Water Science Technology 26, 5-6 (1992): 1205-1211.

- Nassar, M.M., and El-Geundi, M.S. Comparative cost of colour removal from textile effluents using natural adsorbent. Journal of Chemical Technology Biotechnology 50 (1991): 257-264.
- Pendyal, B., Johns, M.M., Marshall, W.E., Amedna, M., and Rao, R.M. Removal of sugar colorants by granular activated carbons made from binders and agricultural by-products. Bioresource Technology 69 (1999): 45-51.
- Poots, V.J.P., McKay, G., and Healy, J.J. The removal of acid dye from effluent using natural adsorbent-I, II. Water Research 10 (1976): 1061-1070.
- Rangnekar, D.W. and Singh, P.P. An introduction to synthetic dyes. Bombay: Himalaya, 1980.
- Shi, W., Xu, X., and Sun, G. Chemically modified sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater. Journal of Applied Polymer Science 71 (1999): 1841-1850.
- Society of Dyers and Colourists. Colors in dyehouse effluent. Yorkshire : SDC, 1995.
- Somboon W., Bhavakul W., and Siriananpibool S. Removal of direct dyes from aqueous solution using water hyacinth as an adsorbent. Proceedings of International Conference on Industrial Hazardous Waste Management. Bangkok (January 28, 2000): 117-122.
- Sun, G., and Xu, X. Sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater. Industrial Engineering Chemistry Research 36, 3 (1997): 808-812.
- Valencia, S.A., Salvation, J.L., and Yang, S.T. Adsorption of basic and reactive dyes from simulated textile wastewater using corn fiber as adsorbent. Paper Abstracts of The 3rd Southeast Asian Regional Conference on Higher Engineering Education Network. Manila (October 27-28, 1999): 2.
- Weber, J.W., Jr. Physicochemical process for water quality control. New York : John - Wiley and Sons, 1972.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กาญจนาภา ครองธรรมชาติ. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพสเฟอรัสโพลีเมอร์ชนิดคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- เกรียงสิน เต็มสุนทร. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานพิมพ์ผ้า. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2536.
- จินตนา แป้นสุวรรณ. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมระหว่างกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา กับแบบแอนนออกซิก-แอนแอโรบิก/ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ปราณี สติรพิพัฒน์กุล. การผลิตอาซิไตน-บิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกละลายด้วยเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- เพชรพร เขาวกิจเจริญ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. รายงานผลการวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537

ภาษาอังกฤษ

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



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.
ตารางผลการทดลองการแปรผันพารามิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 1

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพในการกำจัด (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	33.1	352	30.6	326	0.92	7.6
ถ่านกัมมันต์	100	20	33.1	352	30.6	324	0.92	7.6
ถ่านกัมมันต์	100	30	33.1	352	14.0	151	0.42	57.7
ถ่านกัมมันต์	100	60	33.1	352	16.3	179	0.49	50.8
ถ่านกัมมันต์	100	90	33.1	352	11.8	124	0.36	64.4
ถ่านกัมมันต์	100	120	33.1	352	21.5	221	0.65	35.1
QCP	100	10	33.1	352	22.4	234	0.68	32.3
QCP	100	20	33.1	352	20.2	214	0.61	39.0
QCP	100	30	33.1	352	19.4	206	0.59	41.4
QCP	100	60	33.1	352	14.5	155	0.44	56.3
QCP	100	90	33.1	352	14.0	150	0.42	57.7
QCP	100	120	33.1	352	13.5	144	0.41	59.2

ตารางที่ ก.2 ผลของ เวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 2

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	41.7	425	9.3	115	0.22	77.7
ถ่านกัมมันต์	100	20	41.7	425	8.4	106	0.20	79.8
ถ่านกัมมันต์	100	30	41.7	425	7.7	98	0.18	81.6
ถ่านกัมมันต์	100	60	41.7	425	7.0	91	0.17	83.1
ถ่านกัมมันต์	100	90	41.7	425	6.9	87	0.17	83.4
ถ่านกัมมันต์	100	120	41.7	425	6.2	80	0.15	85.0
QCP	100	10	41.7	425	16.4	184	0.39	61.3
QCP	100	20	41.7	425	15.5	176	0.37	62.9
QCP	100	30	41.7	425	14.2	161	0.34	65.9
QCP	100	60	41.7	425	11.8	135	0.28	71.7
QCP	100	90	41.7	425	10.4	118	0.25	74.9
QCP	100	120	41.7	425	9.9	112	0.24	76.1

ตารางที่ ก.3 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 3

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	26.3	296	3.6	66	0.14	86.1
ถ่านกัมมันต์	100	20	26.3	296	4.0	65	0.15	84.7
ถ่านกัมมันต์	100	30	26.3	296	3.0	57	0.11	88.6
ถ่านกัมมันต์	100	60	26.3	296	3.3	63	0.13	87.1
ถ่านกัมมันต์	100	90	26.3	296	3.0	57	0.12	88.4
ถ่านกัมมันต์	100	120	26.3	296	3.0	55	0.11	88.6
QCP	100	10	26.3	296	9.1	145	0.35	65.2
QCP	100	20	26.3	296	8.5	136	0.32	67.7
QCP	100	30	26.3	296	6.5	120	0.25	75.0
QCP	100	60	26.3	296	6.3	118	0.24	76.0
QCP	100	90	26.3	296	5.2	111	0.20	80.0
QCP	100	120	26.3	296	4.7	109	0.18	82.0

ตารางที่ ก.4 ผลของอัตราเร็วการกวนที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 1

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	อัตราเร็ว การกวน (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	33.1	352	17.6	187	0.53	46.8
ถ่านกัมมันต์	100	20	33.1	352	15.8	165	0.48	52.3
ถ่านกัมมันต์	100	30	33.1	352	12.8	134	0.39	61.3
ถ่านกัมมันต์	100	60	33.1	352	10.8	114	0.33	67.4
ถ่านกัมมันต์	100	90	33.1	352	10.8	113	0.33	67.4
ถ่านกัมมันต์	100	120	33.1	352	10.6	110	0.32	68.0
QCP	100	10	33.1	352	23.6	237	0.71	28.7
QCP	100	20	33.1	352	20.1	212	0.61	39.3
QCP	100	30	33.1	352	17.0	183	0.51	48.6
QCP	100	60	33.1	352	14.8	156	0.45	55.3
QCP	100	90	33.1	352	13.6	145	0.41	58.9
QCP	100	120	33.1	352	13.5	142	0.41	59.2

ตารางที่ ก.5 ผลของอัตราการกวนที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 2

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	อัตราเร็ว การกวน (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	41.7	425	8.3	104	0.20	80.2
ถ่านกัมมันต์	100	20	41.7	425	8.4	100	0.20	79.8
ถ่านกัมมันต์	100	30	41.7	425	6.7	87	0.16	83.9
ถ่านกัมมันต์	100	60	41.7	425	6.2	83	0.15	85.1
ถ่านกัมมันต์	100	90	41.7	425	5.7	76	0.14	86.3
ถ่านกัมมันต์	100	120	41.7	425	5.9	78	0.14	85.9
QCP	100	10	41.7	425	15.0	179	0.36	64.1
QCP	100	20	41.7	425	13.1	159	0.31	68.6
QCP	100	30	41.7	425	11.8	145	0.28	71.8
QCP	100	60	41.7	425	7.3	98	0.17	82.6
QCP	100	90	41.7	425	7.5	101	0.18	82.0
QCP	100	120	41.7	425	7.2	99	0.17	82.7

ตารางที่ ก.6 ผลของอัตราการกวนที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 3

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	อัตราเร็ว การกวน (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	10	26.3	296	5.5	0	0.21	79.0
ถ่านกัมมันต์	100	20	26.3	296	4.7	0	0.18	82.2
ถ่านกัมมันต์	100	30	26.3	296	4.6	0	0.18	82.4
ถ่านกัมมันต์	100	60	26.3	296	3.2	0	0.12	87.7
ถ่านกัมมันต์	100	90	26.3	296	3.2	0	0.12	87.8
ถ่านกัมมันต์	100	120	26.3	296	3.1	0	0.12	88.4
QCP	100	10	26.3	296	9.3	0	0.35	64.8
QCP	100	20	26.3	296	8.1	0	0.31	69.2
QCP	100	30	26.3	296	6.6	0	0.25	75.0
QCP	100	60	26.3	296	5.7	0	0.22	78.3
QCP	100	90	26.3	296	5.7	0	0.22	78.4
QCP	100	120	26.3	296	5.7	0	0.22	78.3

ตารางที่ ก.7 ผลของพีเอชที่มีต่อความเข้มสีของน้ำออก โรงงานที่ 1

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	pH ในน้ำเข้า	ความเข้มสีในน้ำเข้า		ความเข้มสีในน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	2	40.6	433	3.6	40	0.09	91.2
ถ่านกัมมันต์	100	4	40.6	433	4.4	46	0.11	89.2
ถ่านกัมมันต์	100	6	40.6	433	3.9	43	0.10	90.3
ถ่านกัมมันต์	100	8	40.6	433	6.2	67	0.15	84.7
ถ่านกัมมันต์	100	10	40.6	433	8.0	85	0.20	80.2
ถ่านกัมมันต์	100	12	40.6	433	3.3	36	0.08	91.8
QCP	100	2	40.6	433	3.3	36	0.08	91.8
QCP	100	4	40.6	433	8.1	86	0.20	80.2
QCP	100	6	40.6	433	9.4	100	0.23	76.8
QCP	100	8	40.6	433	11.5	122	0.28	71.7
QCP	100	10	40.6	433	8.7	92	0.21	78.6
QCP	100	12	40.6	433	8.0	85	0.20	80.4

ตารางที่ ก.8 ผลของพีเอชที่มีต่อความเข้มข้นของน้ำออก โรงงานที่ 2

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	pH ในน้ำเข้า	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพในการกำจัด (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	2	41.7	425	3.1	42	0.07	92.7
ถ่านกัมมันต์	100	4	41.7	425	3.8	69	0.09	91.0
ถ่านกัมมันต์	100	6	41.7	425	3.4	78	0.08	92.0
ถ่านกัมมันต์	100	8	41.7	425	5.3	73	0.13	87.3
ถ่านกัมมันต์	100	10	41.7	425	6.9	86	0.16	83.5
ถ่านกัมมันต์	100	12	41.7	425	2.9	52	0.07	93.2
QCP	100	2	41.7	425	2.4	47	0.06	94.3
QCP	100	4	41.7	425	5.8	79	0.14	86.2
QCP	100	6	41.7	425	6.7	90	0.16	83.9
QCP	100	8	41.7	425	8.2	107	0.20	80.3
QCP	100	10	41.7	425	6.2	86	0.15	85.1
QCP	100	12	41.7	425	5.7	88	0.14	86.4

ตารางที่ ก.9 ผลของพีเอชที่มีต่อความเข้มสีของน้ำออก โรงงานที่ 3

วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (กรัม)	pH ในน้ำเข้า	ความเข้มสีในน้ำเข้า		ความเข้มสีในน้ำออก		C/Co	ประสิทธิภาพใน การกำจัดสี (% SU)
			SU	ADMI	SU	ADMI		
ถ่านกัมมันต์	100	2	26.3	296	3.4	66	0.13	87.0
ถ่านกัมมันต์	100	4	26.3	296	4.2	82	0.16	84.0
ถ่านกัมมันต์	100	6	26.3	296	3.8	70	0.14	85.7
ถ่านกัมมันต์	100	8	26.3	296	5.9	119	0.23	77.4
ถ่านกัมมันต์	100	10	26.3	296	7.7	142	0.29	70.8
ถ่านกัมมันต์	100	12	26.3	296	3.2	51	0.12	87.8
QCP	100	2	26.3	296	1.9	16	0.07	92.8
QCP	100	4	26.3	296	4.6	89	0.17	82.6
QCP	100	6	26.3	296	5.4	112	0.20	79.7
QCP	100	8	26.3	296	6.5	131	0.25	75.2
QCP	100	10	26.3	296	4.9	101	0.19	81.3
QCP	100	12	26.3	296	4.5	88	0.17	82.8

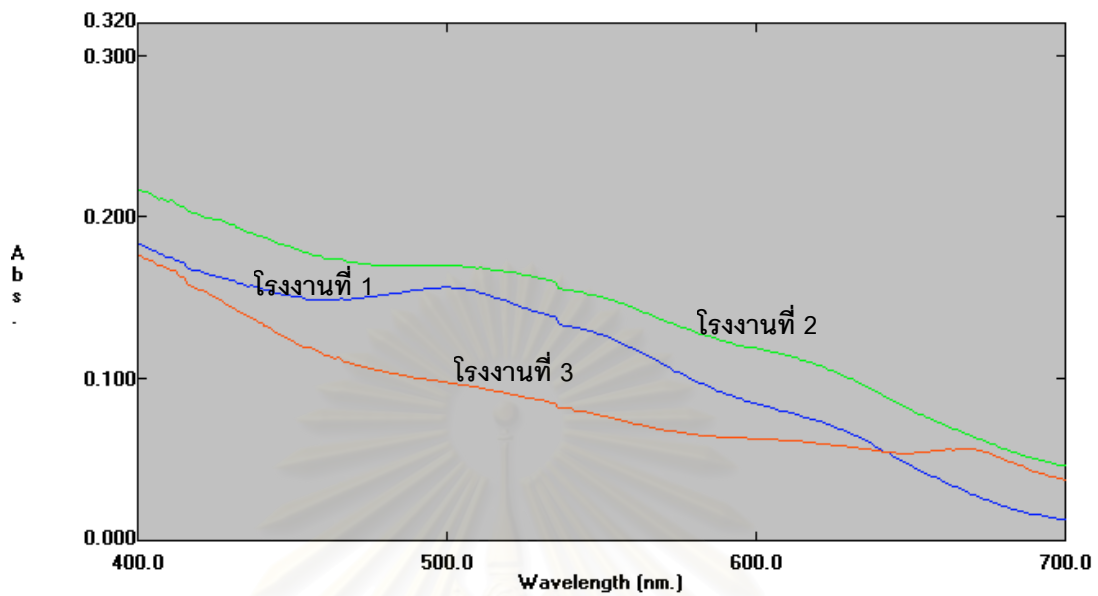
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



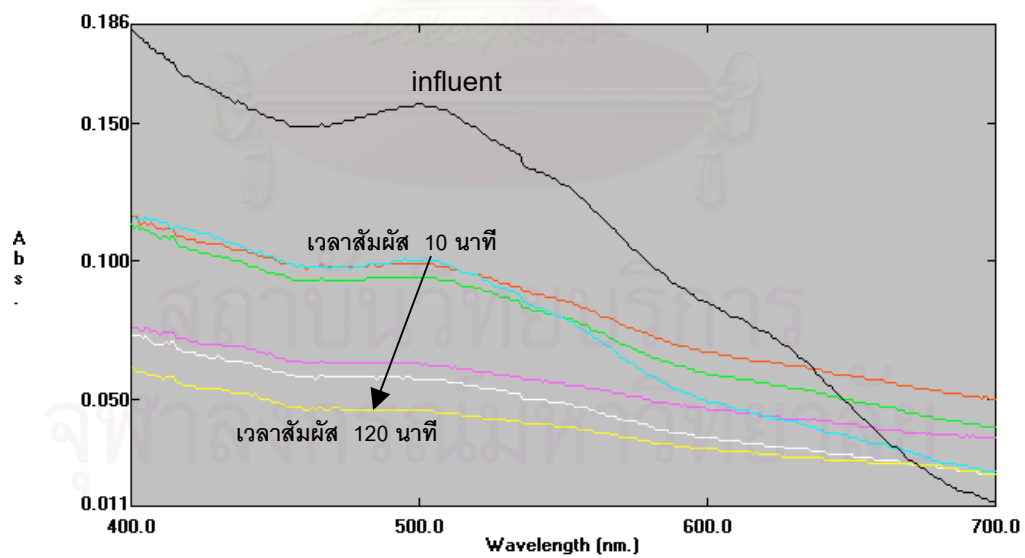
ภาคผนวก ข.

รูปแสดงค่า Absorbanceในการศึกษาพารามิเตอร์

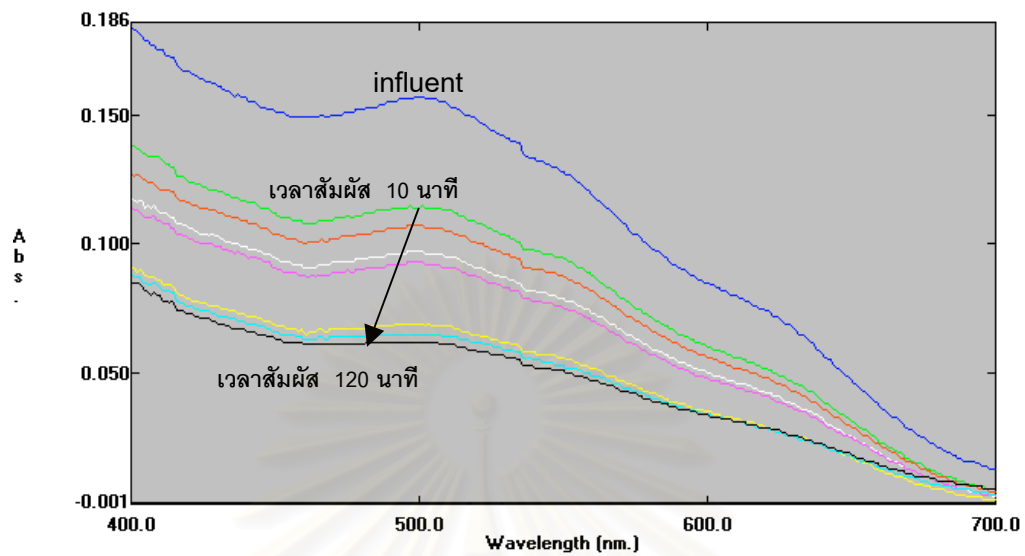
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



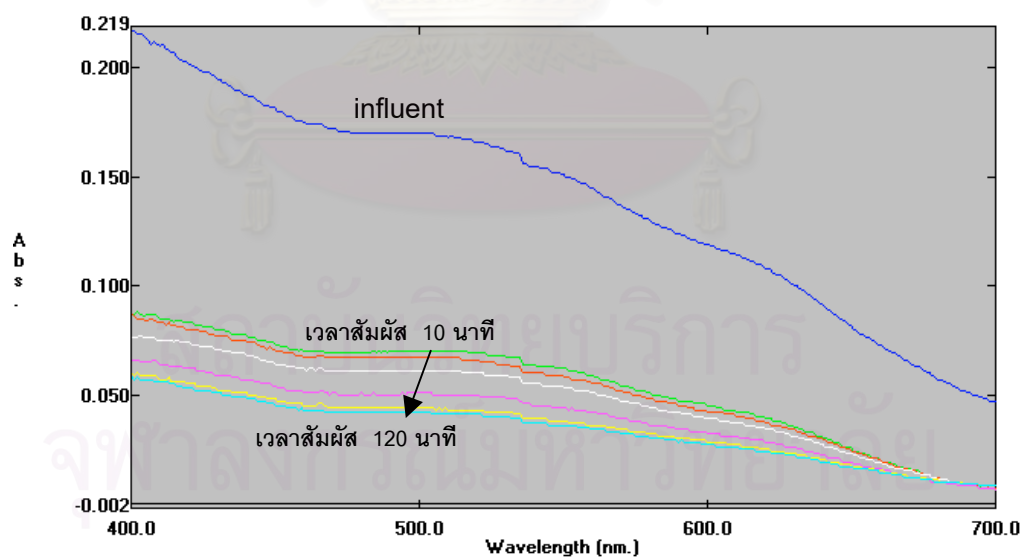
รูปที่ ข.1 Absorbance ของตัวอย่างน้ำเสียจาก โรงงาน 3 แห่ง



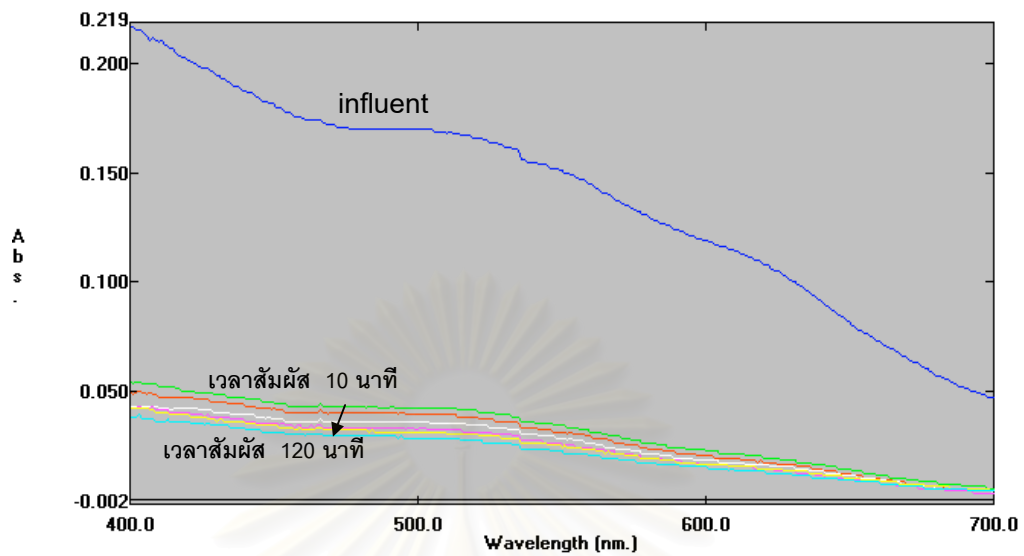
รูปที่ ข.2 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันเวลาสัมผัส)



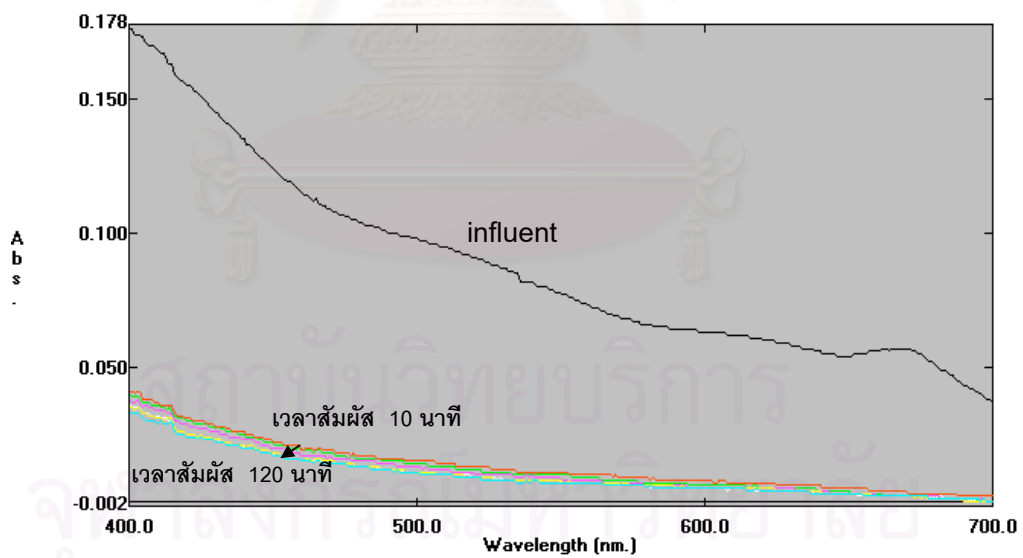
รูปที่ ๓.3 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันเวลาสัมผัส)



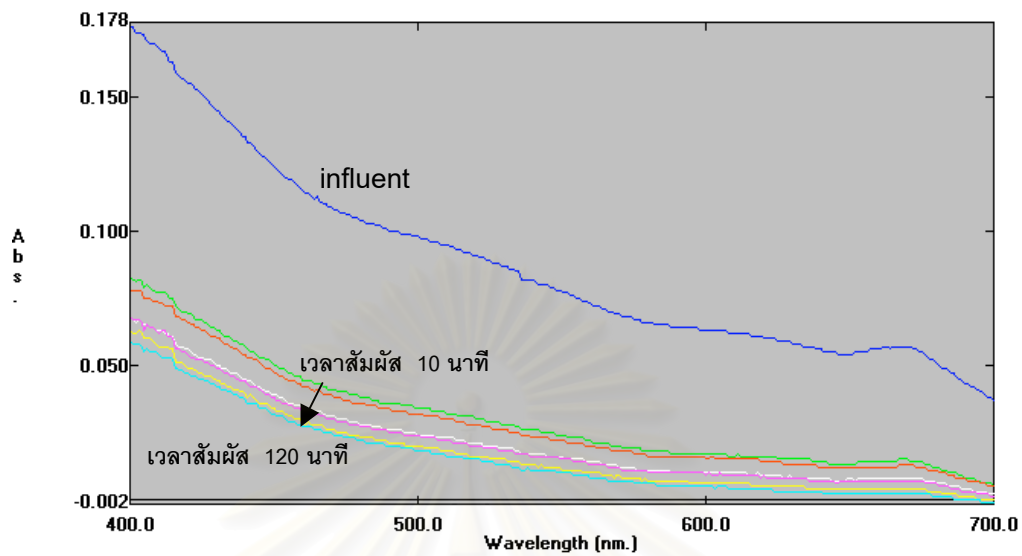
รูปที่ ๓.4 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันเวลาสัมผัส)



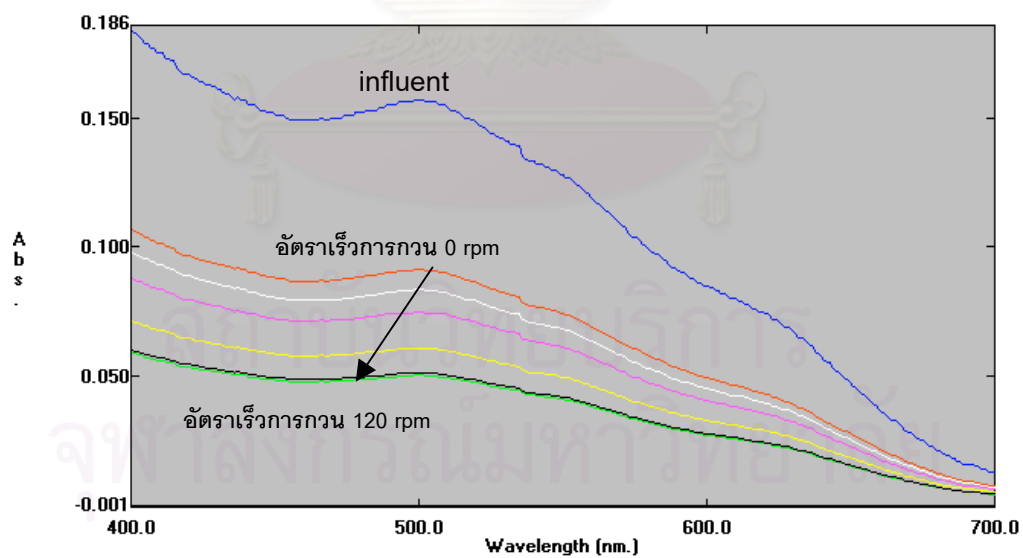
รูปที่ ข.5 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันเวลาสัมผัส)



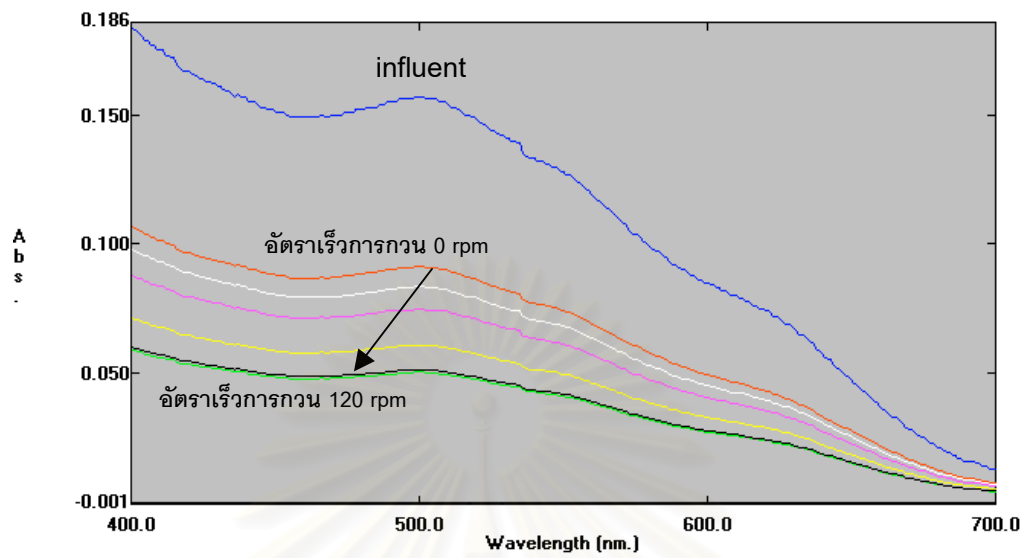
รูปที่ ข.6 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันเวลาสัมผัส)



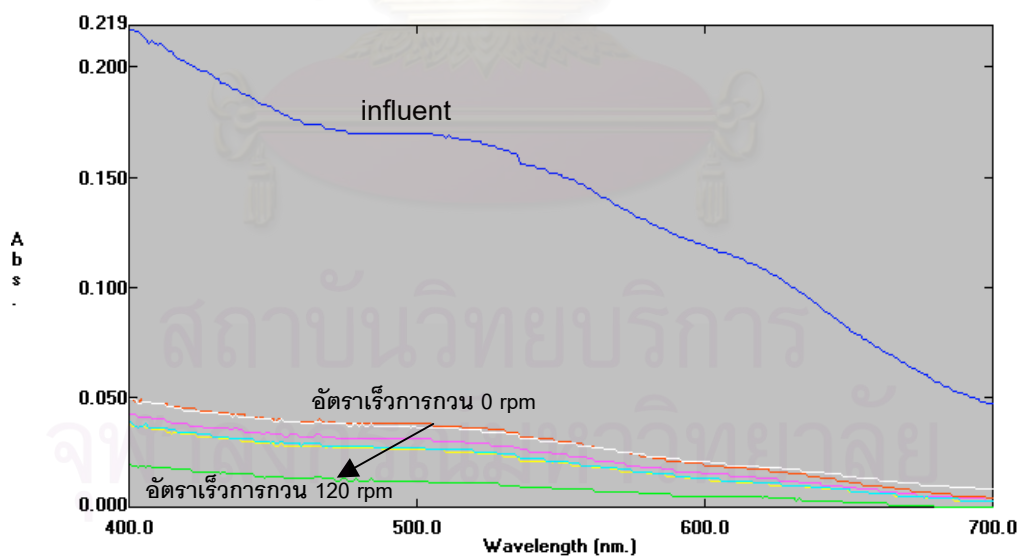
รูปที่ ๑.๗ Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันเวลาสัมผัส)



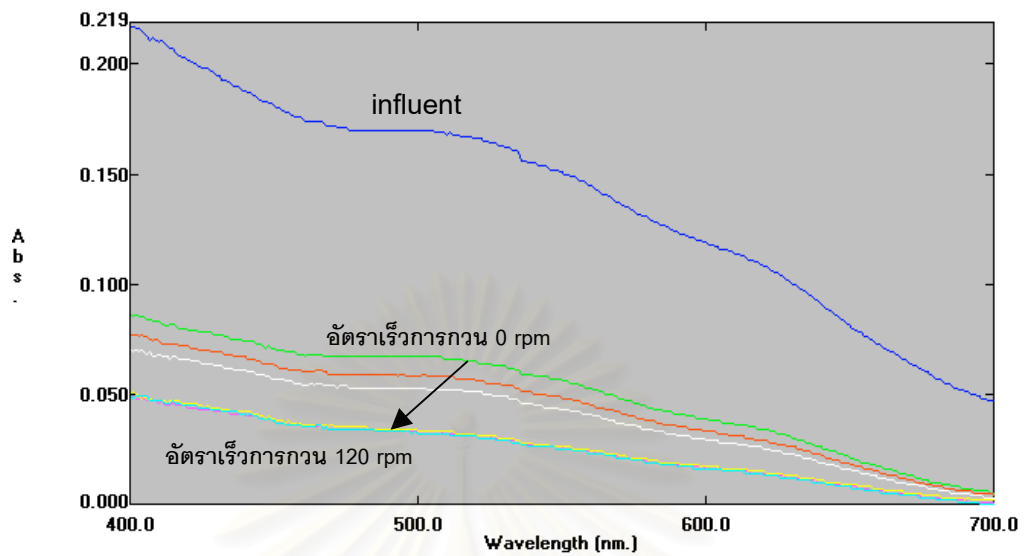
รูปที่ ๑.๘ Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันอัตราเร็วการกวน)



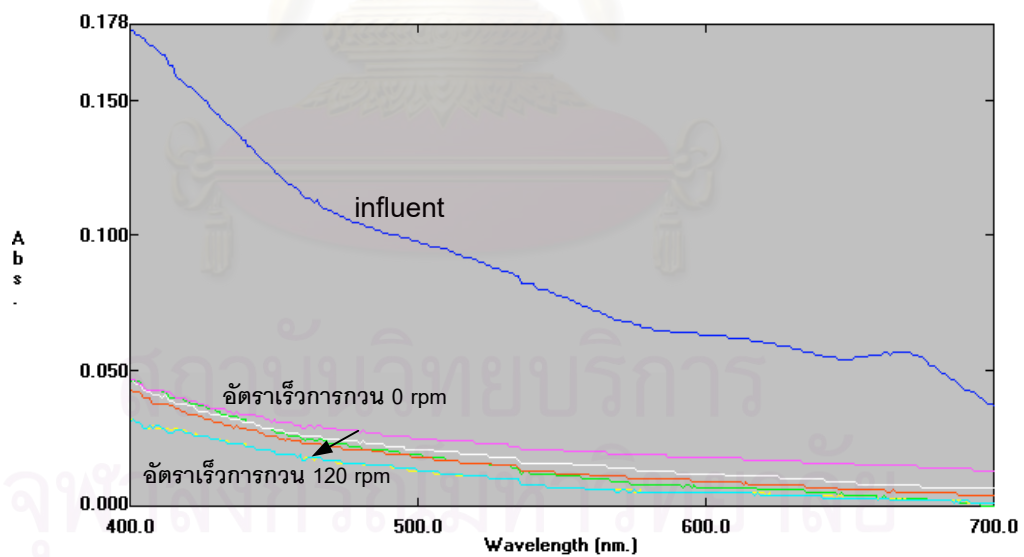
รูปที่ ๙.9 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันอัตราเร็วการกวน)



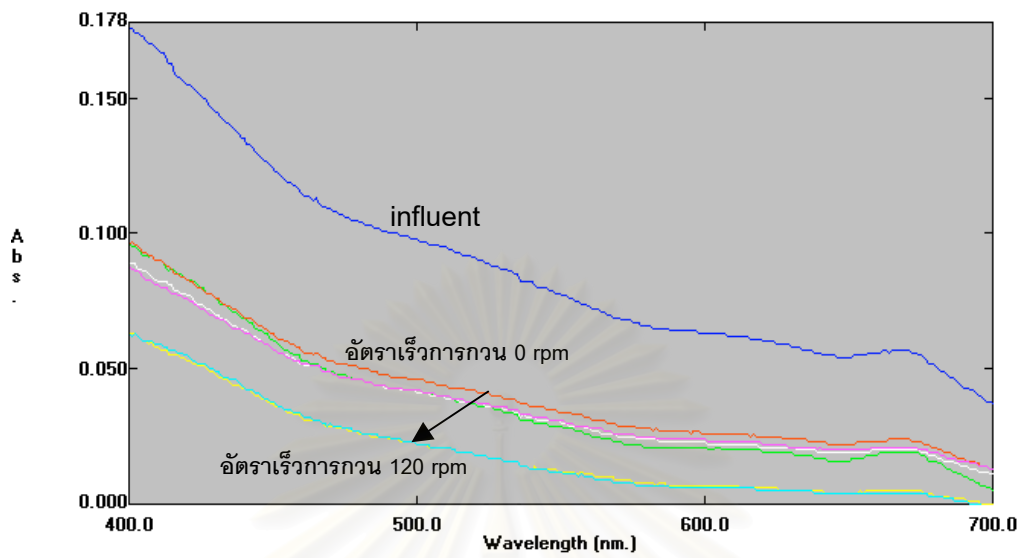
รูปที่ ๙.10 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันอัตราเร็วการกวน)



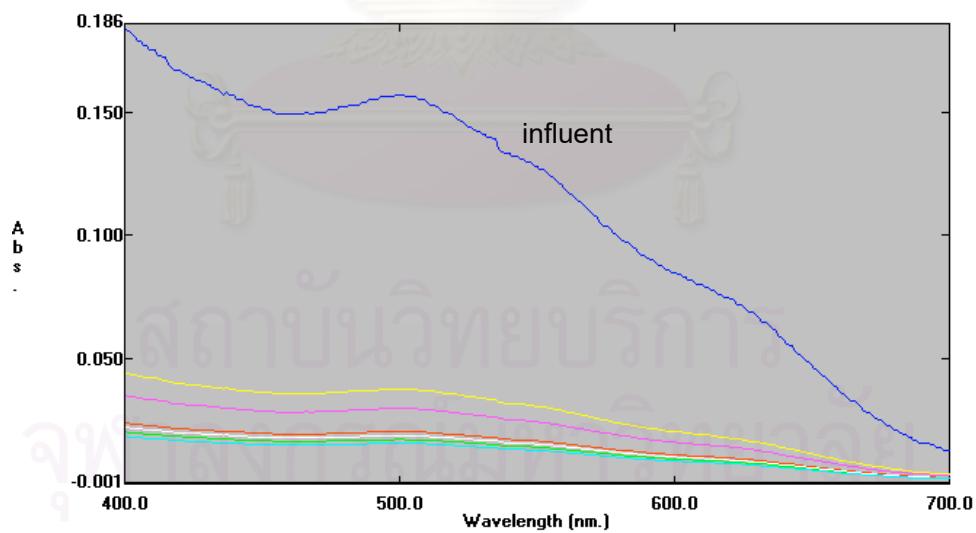
รูปที่ ข.11 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันอัตราเร็วการกวน)



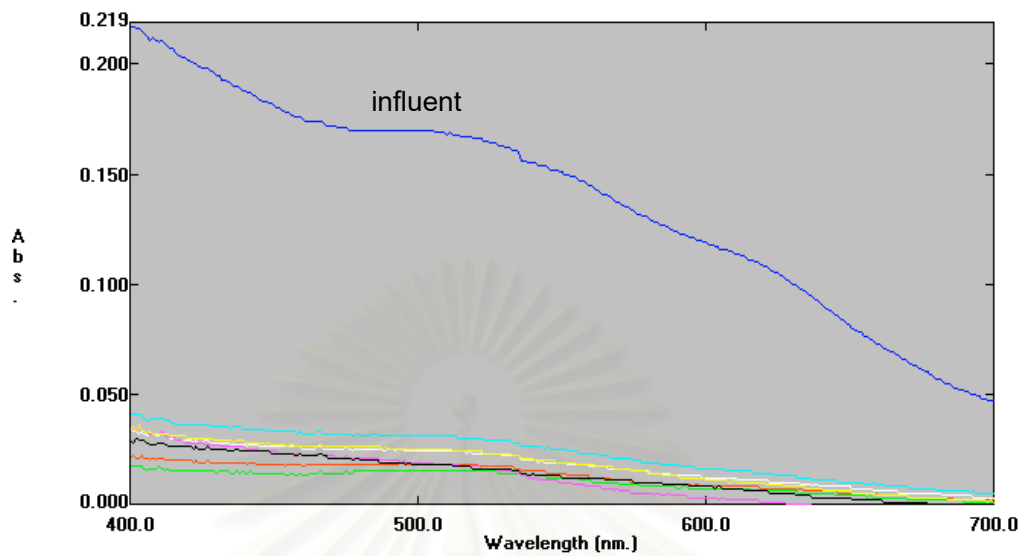
รูปที่ ข.12 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันอัตราเร็วการกวน)



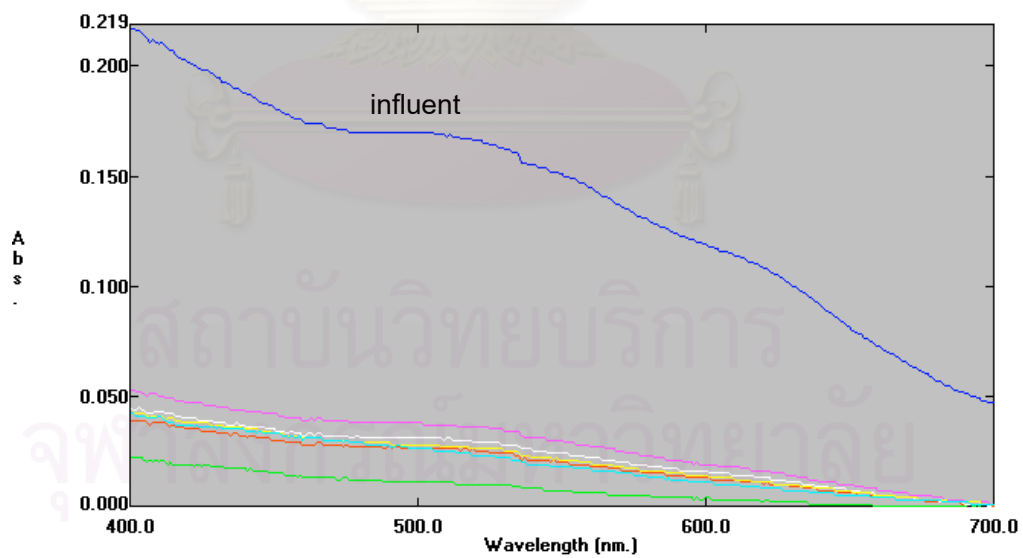
รูปที่ ข.13 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันอัตราเร็วการกวน)



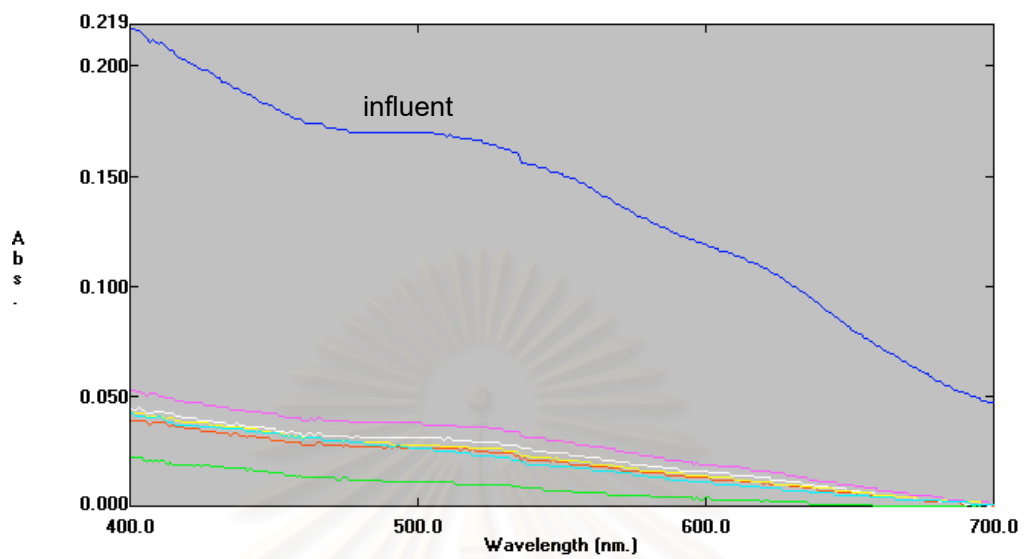
รูปที่ ข.14 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันพีเอชน้ำเข้า)



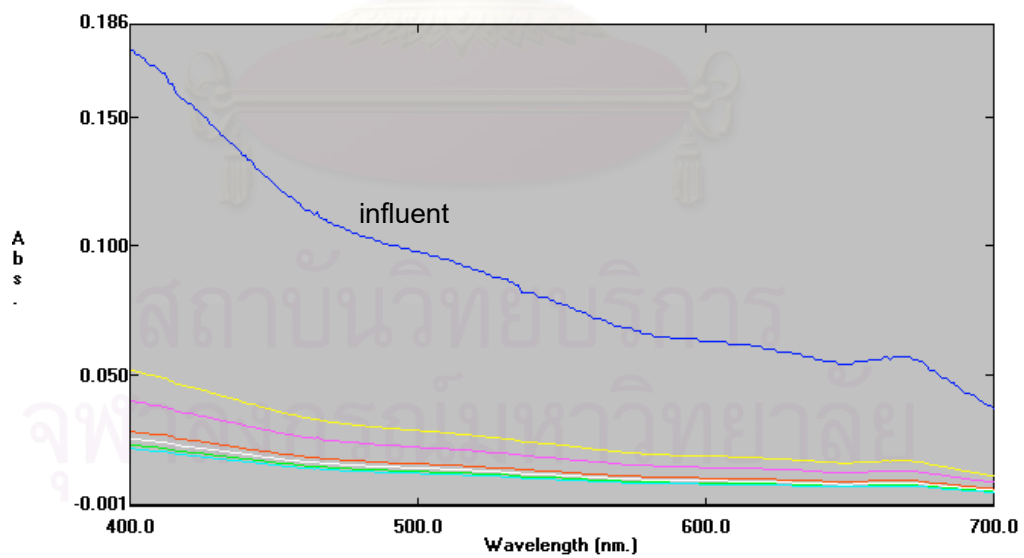
รูปที่ ข.15 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 1 (เส้นใยลูกปาล์ม แปรผันพีเอชน้ำเข้า)



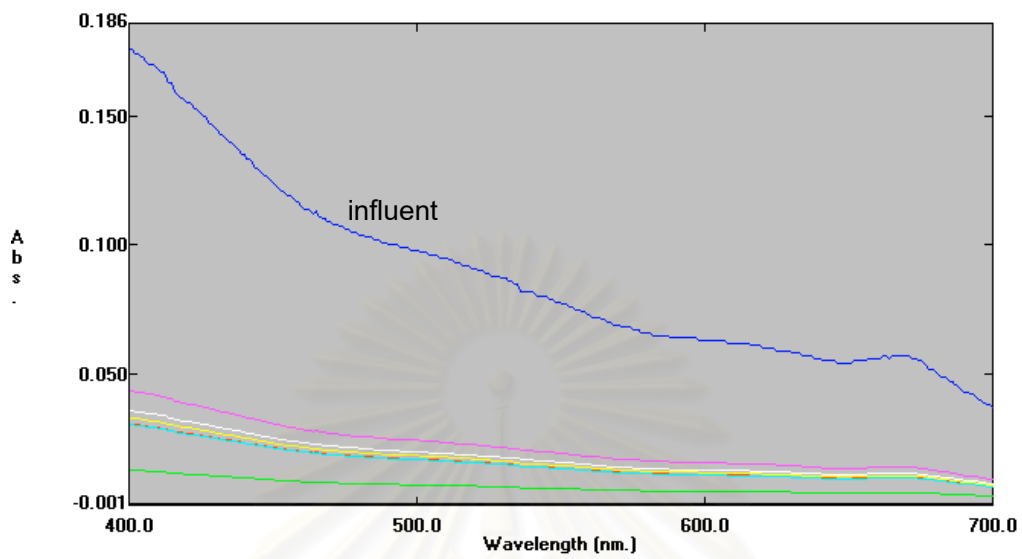
รูปที่ ข.16 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันพีเอชน้ำเข้า)



รูปที่ ข.17 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 2 (เส้นใยลูกลำปล่ม แปรผันพีเอชน้ำเข้า)

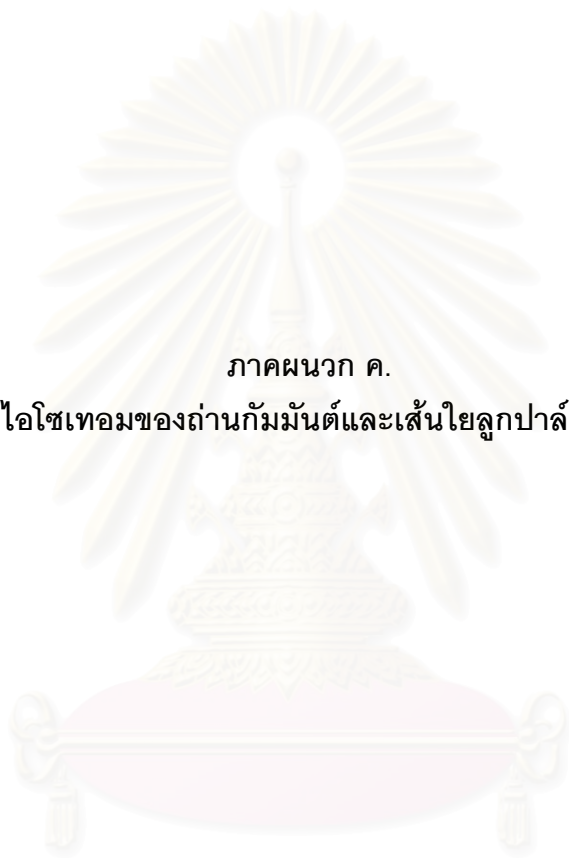


รูปที่ ข.18 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (ถ่านกัมมันต์ แปรผันพีเอชน้ำเข้า)



รูปที่ ข.19 Absorbance ของน้ำออก โรงงานที่ 3 (เส้นใยลูกลำม แปรผันพีเอชน้ำเข้า)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



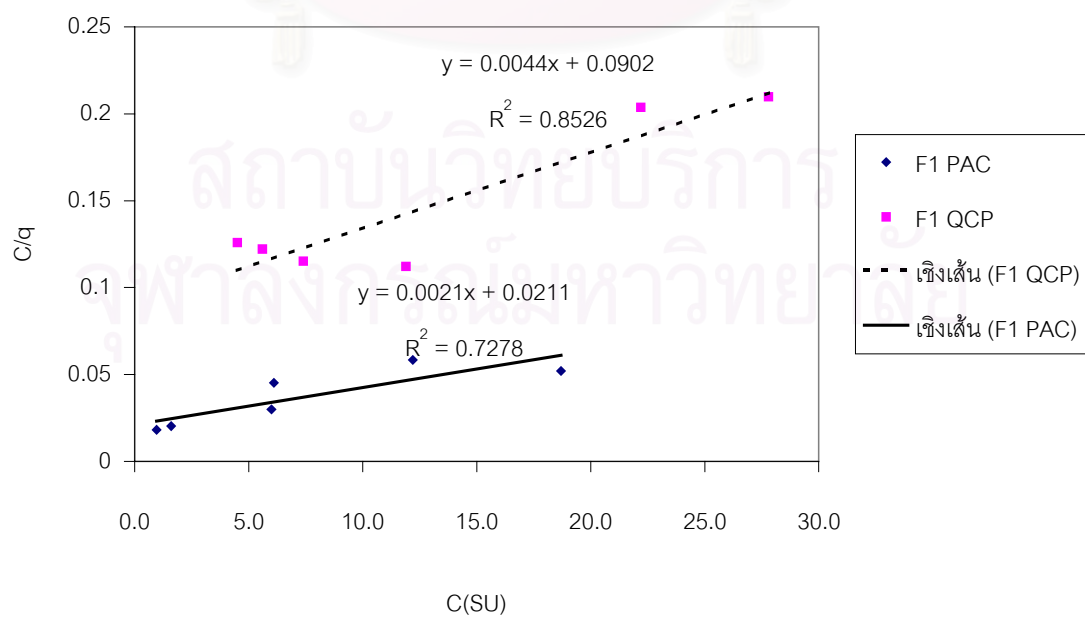
ภาคผนวก ค.

ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำไยที่ปรับสภาพแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

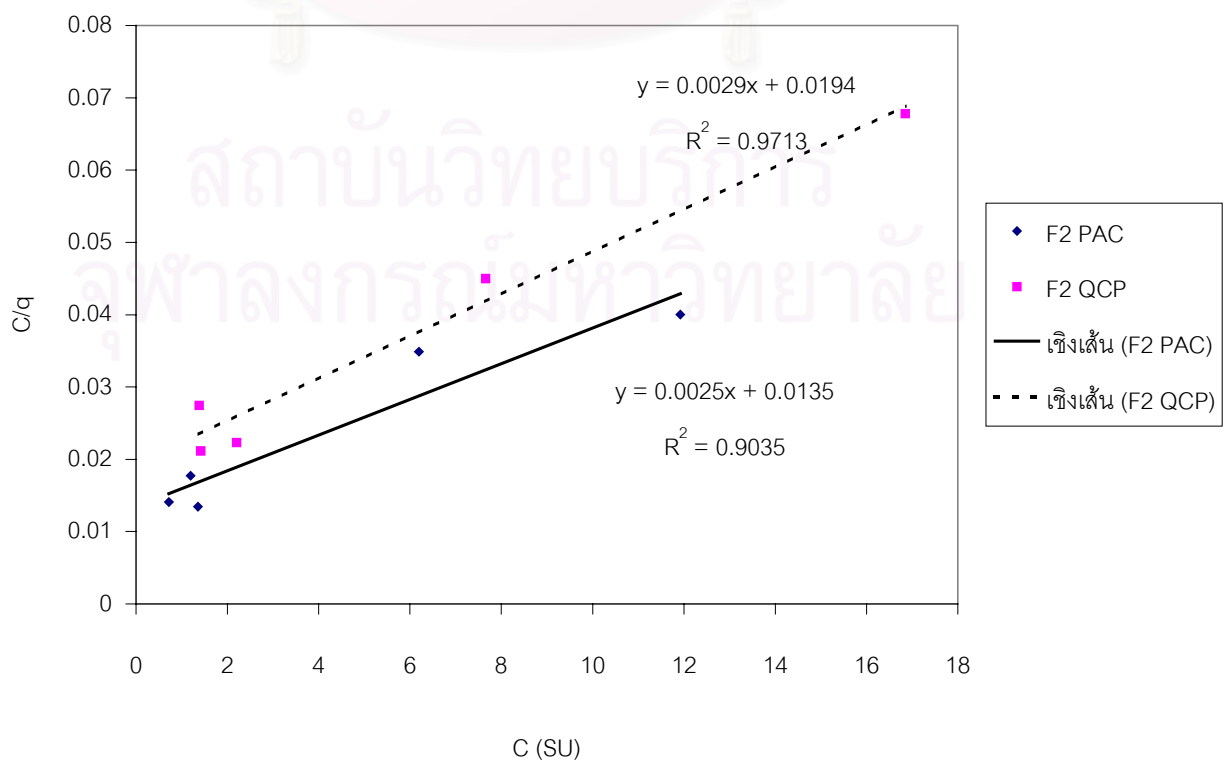
ตารางที่ ค. 1 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้วในตัวอย่างน้ำเสีย จากโรงงานที่ 1

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (mg)	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
F 1	ถ่านกัมมันต์	20	33.1	352	18.7	190	18.7	360.00	476.2	0.09459
F 1	ถ่านกัมมันต์	50	33.1	352	12.2	130	12.2	209.00		
F 1	ถ่านกัมมันต์	100	33.1	352	6.1	66	6.1	135.00		
F 1	ถ่านกัมมันต์	200	33.1	352	1.6	18	1.6	78.75		
F 1	ถ่านกัมมันต์	300	33.1	352	1.0	11	0.97	53.55		
F 1	ถ่านกัมมันต์	400	33.1	352	2.7	29	2.7	38.00		
F 1	QCP	20	33.1	352	27.8	297	27.8	132.50	227.3	0.04878
F 1	QCP	50	33.1	352	22.2	237	22.2	109.00		
F 1	QCP	100	33.1	352	11.9	127	11.9	106.00		
F 1	QCP	200	33.1	352	7.4	79	7.4	64.25		
F 1	QCP	300	33.1	352	5.6	60	5.6	45.83		
F 1	QCP	400	33.1	352	4.5	48	4.5	35.75		



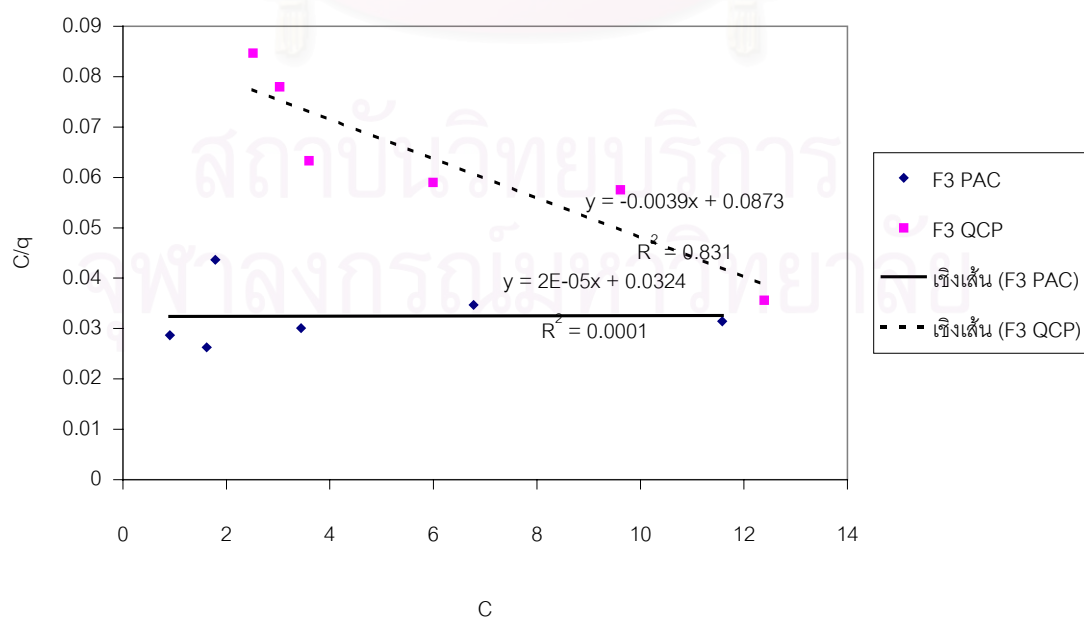
ตารางที่ ค. 2 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้วในตัวอย่างน้ำเสีย จากโรงงานที่ 2

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ (mg)	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
F 2	ถ่านกัมมันต์	20	41.7	425	19.1	229	19.133	564.18	344.8	0.1495
F 2	ถ่านกัมมันต์	50	41.7	425	11.9	150	11.92	297.80		
F 2	ถ่านกัมมันต์	100	41.7	425	6.2	78	6.194	177.53		
F 2	ถ่านกัมมันต์	200	41.7	425	1.4	27	1.354	100.87		
F 2	ถ่านกัมมันต์	300	41.7	425	1.2	19	1.196	67.51		
F 2	ถ่านกัมมันต์	400	41.7	425	0.7	13	0.721	51.22		
F 2	QCP	20	41.7	425	22.6	252	22.553	478.68	400.0	0.1852
F 2	QCP	50	41.7	425	16.8	188	16.848	248.52		
F 2	QCP	100	41.7	425	7.7	96	7.66	170.20		
F 2	QCP	200	41.7	425	2.2	45	2.204	98.74		
F 2	QCP	300	41.7	425	1.4	35	1.419	67.14		
F 2	QCP	400	41.7	425	1.4	31	1.382	50.40		



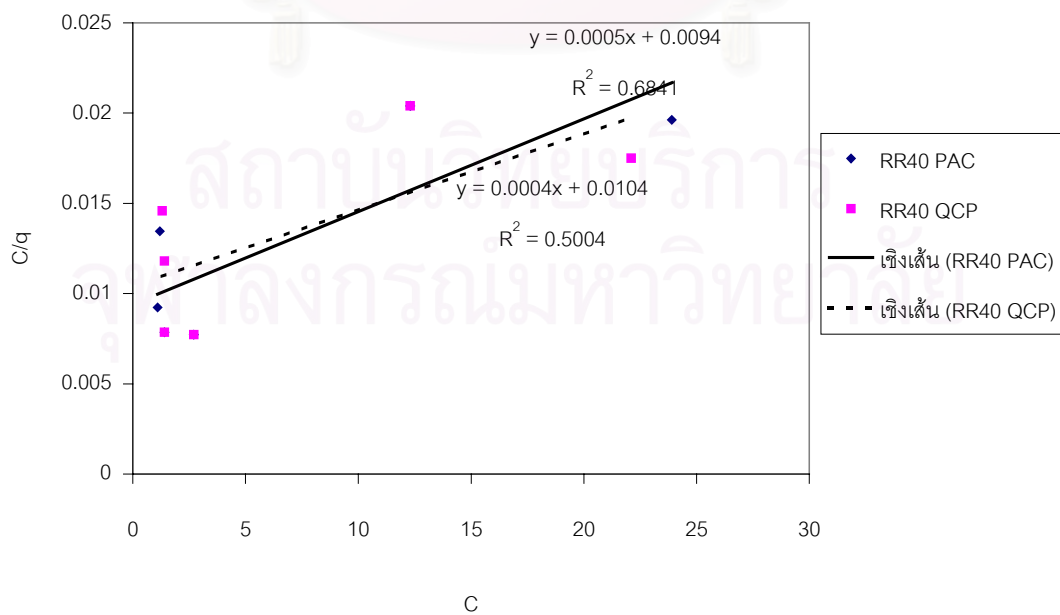
ตารางที่ ค. 3 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้วในตัวอย่างน้ำเสีย จากโรงงานที่ 3

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
F 3	ถ่านกัมมันต์	20	26.3	296	11.6	160	11.6	368.40	n.a.	n.a.
F 3	ถ่านกัมมันต์	50	26.3	296	6.8	106	6.8	195.43		
F 3	ถ่านกัมมันต์	100	26.3	296	3.4	60	3.4	114.39		
F 3	ถ่านกัมมันต์	200	26.3	296	1.6	34	1.6	61.74		
F 3	ถ่านกัมมันต์	300	26.3	296	1.8	28	1.8	40.89		
F 3	ถ่านกัมมันต์	400	26.3	296	0.9	22	0.9	31.76		
F 3	QCP	20	26.3	296	12.4	184	12.4	348.18	n.a.	n.a.
F 3	QCP	50	26.3	296	9.6	159	9.6	167.06		
F 3	QCP	100	26.3	296	6.0	121	6.0	101.63		
F 3	QCP	200	26.3	296	3.6	83	3.6	56.80		
F 3	QCP	300	26.3	296	3.0	65	3.0	38.82		
F 3	QCP	400	26.3	296	2.5	54	2.5	29.75		



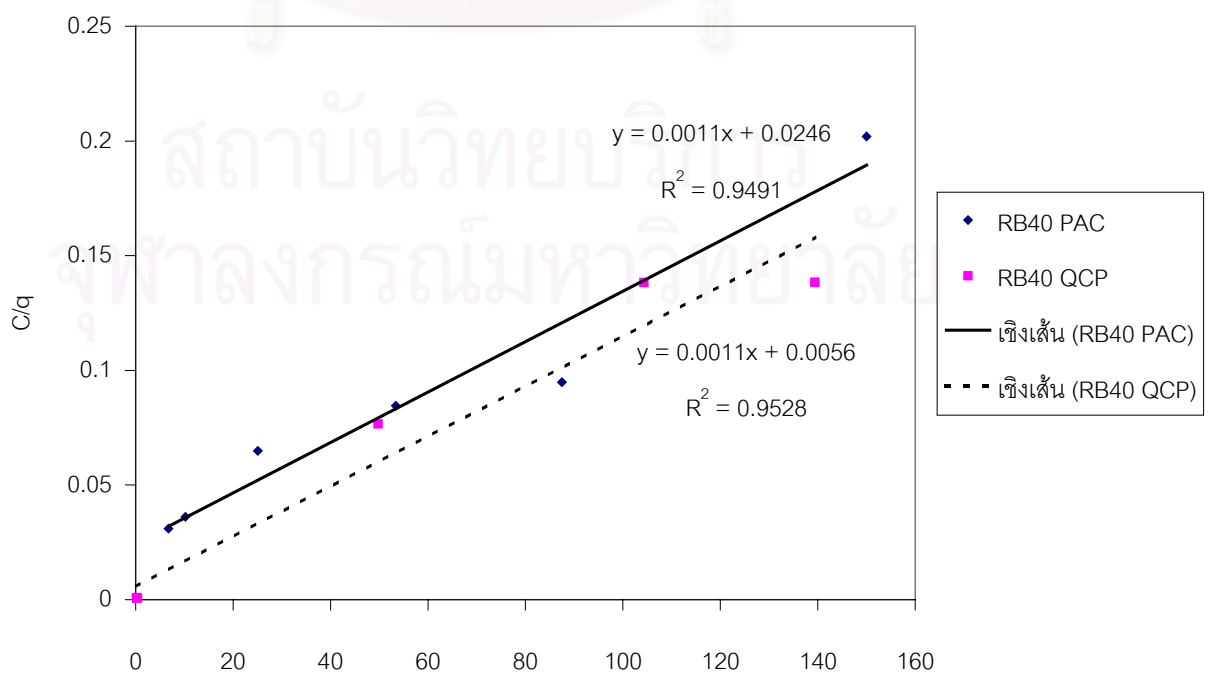
ตารางที่ ค. 4 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้วในตัวอย่างน้ำเสีย RR40 (สีแดง)

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
RR40	ถ่านกัมมันต์	20	72.6	1938	23.9	722	23.9	2,000	0.0532	
RR40	ถ่านกัมมันต์	50	72.6	1938	12.3	273	12.3			
RR40	ถ่านกัมมันต์	100	72.6	1938	2.7	30	2.7			
RR40	ถ่านกัมมันต์	200	72.6	1938	1.4	15	1.4			
RR40	ถ่านกัมมันต์	300	72.6	1938	1.1	16	1.1			
RR40	ถ่านกัมมันต์	400	72.6	1938	1.2	14	1.2			
RR40	QCP	20	72.6	1938	22.1	784	22.1	2,500	0.03846	
RR40	QCP	50	72.6	1938	12.3	490	12.3			
RR40	QCP	100	72.6	1938	2.7	33	2.7			
RR40	QCP	200	72.6	1938	1.4	26	1.4			
RR40	QCP	300	72.6	1938	1.4	10	1.4			
RR40	QCP	400	72.6	1938	1.3	4	1.3			



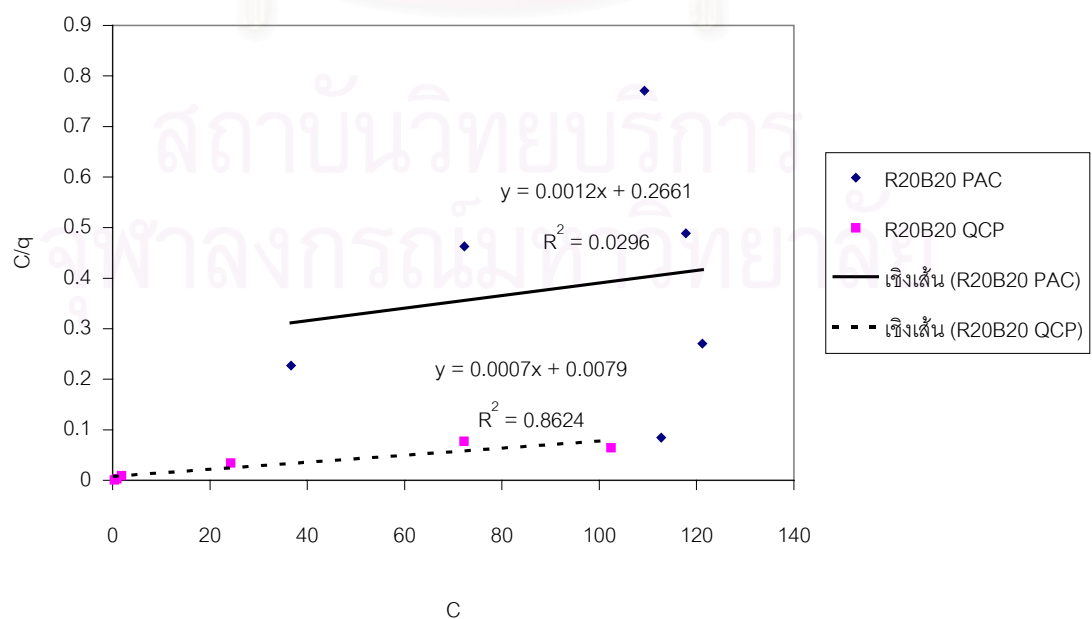
ตารางที่ ค. 5 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้วในตัวอย่างน้ำเสีย RB40 (สีดำ)

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
RB40	ถ่านกัมมันต์	20	179.7	2050	150	1934	150	742.50	909	0.0447
RB40	ถ่านกัมมันต์	50	179.7	2050	87.5	1262	87.5	922.00		
RB40	ถ่านกัมมันต์	100	179.7	2050	53.4	812	53.4	631.50		
RB40	ถ่านกัมมันต์	200	179.7	2050	25.1	363	25.1	386.50		
RB40	ถ่านกัมมันต์	300	179.7	2050	10.2	131	10.2	282.50		
RB40	ถ่านกัมมันต์	400	179.7	2050	6.7	74	6.7	216.25		
RB40	QCP	20	179.7	2050	139.4	1722	139.4	1007.50	909	0.1964
RB40	QCP	50	179.7	2050	104.3	1232	104.3	754.00		
RB40	QCP	100	179.7	2050	49.8	250	49.8	649.50		
RB40	QCP	200	179.7	2050	0.35	7	0.35	448.38		
RB40	QCP	300	179.7	2050	0.2	15	0.2	299.17		
RB40	QCP	400	179.7	2050	0.2	12	0.2	224.38		



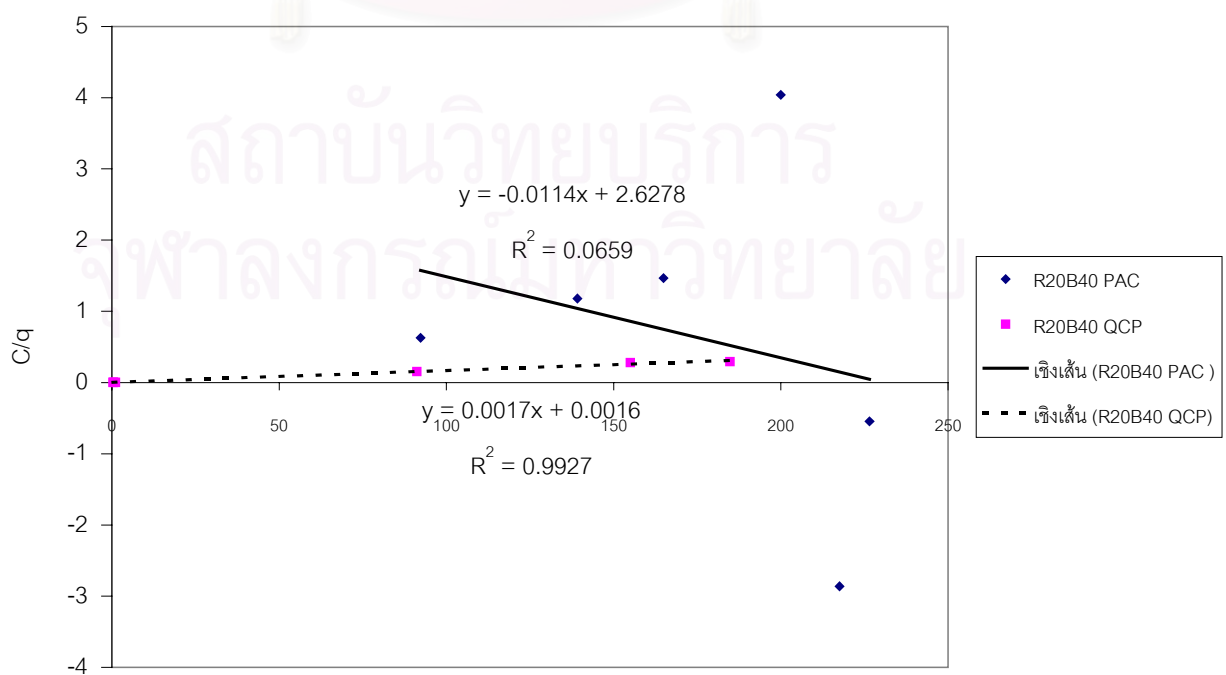
ตารางที่ ค. 6 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว
ในตัวอย่างน้ำเสีย R20B20

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณ วัสดุ	ความเข้มข้นในน้ำเข้า		ความเข้มข้นในน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
R20B20	ถ่านกัมมันต์	20	166	2290	112.7	1714	112.7	1332.50	n.a.	n.a.
R20B20	ถ่านกัมมันต์	50	166	2290	121.2	1734	121.2	448.00		
R20B20	ถ่านกัมมันต์	100	166	2290	117.8	1588	117.8	241.00		
R20B20	ถ่านกัมมันต์	200	166	2290	109.3	1388	109.3	141.75		
R20B20	ถ่านกัมมันต์	300	166	2290	72.3	876	72.3	156.17		
R20B20	ถ่านกัมมันต์	400	166	2290	36.7	449	36.7	161.63		
R20B20	QCP	20	166	2290	102.4	1666	102.4	1590.00	1428.6	0.08861
R20B20	QCP	50	166	2290	72.2	1257	72.2	938.00		
R20B20	QCP	100	166	2290	24.3	460	24.3	708.50		
R20B20	QCP	200	166	2290	0.36	4	0.36	414.10		
R20B20	QCP	300	166	2290	0.9	9.5	0.9	275.17		
R20B20	QCP	400	166	2290	1.85	20	1.85	205.19		



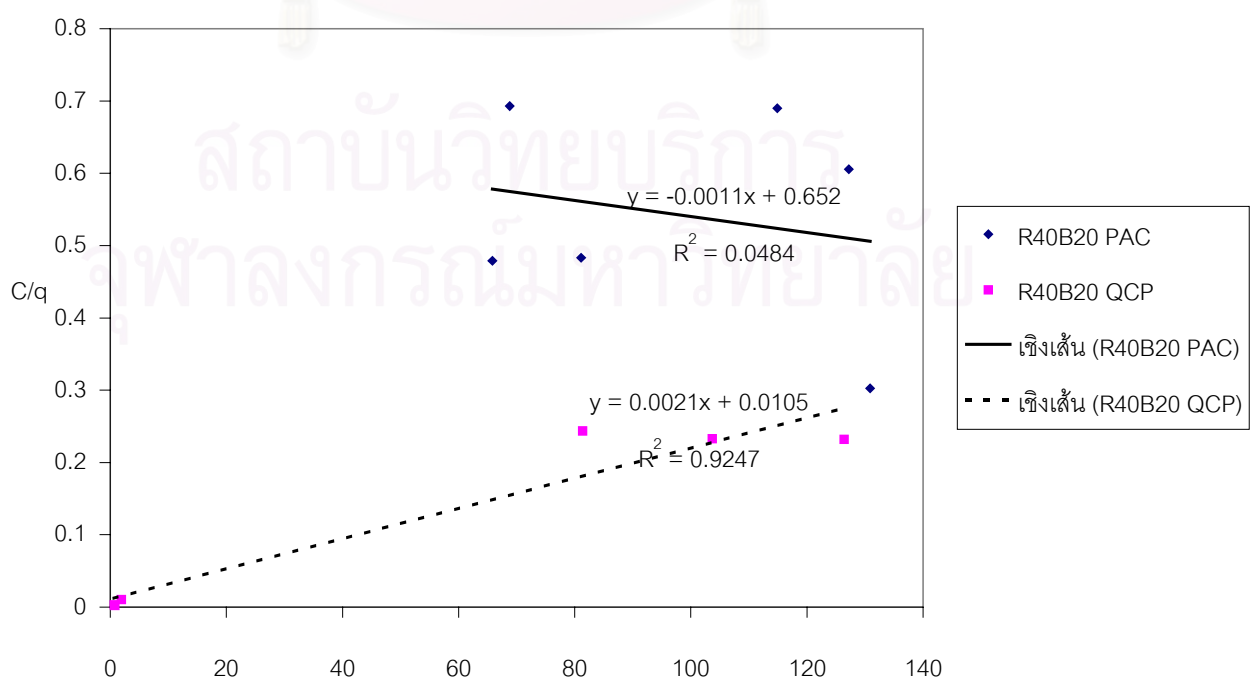
ตารางที่ ค. 7 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว ในตัวอย่างน้ำเสีย R20B40

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณวัสดุ	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
R20B40	ถ่านกัมมันต์	20	209.9	2428	226.5	2378	226.5	-415.00	n.a.	n.a.
R20B40	ถ่านกัมมันต์	50	209.9	2428	217.5	2314	217.5	-76.00		
R20B40	ถ่านกัมมันต์	100	209.9	2428	200.0	2203	200	49.50		
R20B40	ถ่านกัมมันต์	200	209.9	2428	164.9	1928	164.9	112.50		
R20B40	ถ่านกัมมันต์	300	209.9	2428	139.2	1632	139.2	117.83		
R20B40	ถ่านกัมมันต์	400	209.9	2428	92.3	1256	92.3	147.00		
R20B40	QCP	20	209.9	2428	184.8	2264	184.8	627.50	588.2	1.0625
R20B40	QCP	50	209.9	2428	155.0	2021	155	549.00		
R20B40	QCP	100	209.9	2428	91.2	1389	91.2	593.50		
R20B40	QCP	200	209.9	2428	1.1	14	1.14	521.90		
R20B40	QCP	300	209.9	2428	0.4	7	0.4	349.17		
R20B40	QCP	400	209.9	2428	0.6	1	0.6	261.63		



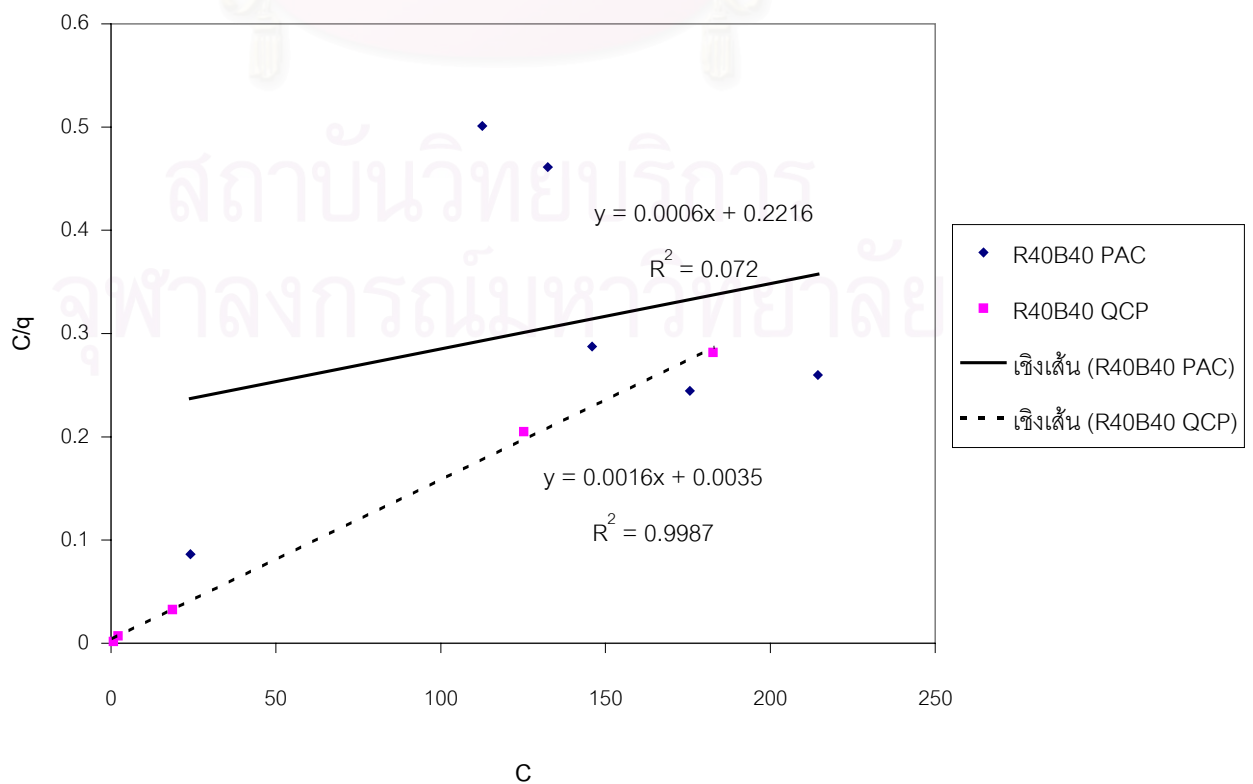
ตารางที่ ค. 8 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว
ในตัวอย่างน้ำเสีย R40B20

น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณ วัสดุ	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
R40B20	ถ่านกัมมันต์	20	148.2	2142	130.9	2180	130.9	432.50	n.a.	n.a.
R40B20	ถ่านกัมมันต์	50	148.2	2142	127.2	2139	127.2	210.00		
R40B20	ถ่านกัมมันต์	100	148.2	2142	114.9	2025	114.9	166.50		
R40B20	ถ่านกัมมันต์	200	148.2	2142	81.1	1650	81.1	167.75		
R40B20	ถ่านกัมมันต์	300	148.2	2142	65.8	1350	65.8	137.33		
R40B20	ถ่านกัมมันต์	400	148.2	2142	68.8	1095	68.8	99.25		
R40B20	QCP	20	148.2	2142	126.4	2142	126.4	545.00	476.2	0.2
R40B20	QCP	50	148.2	2142	103.7	1822	103.7	445.00		
R40B20	QCP	100	148.2	2142	81.4	1487	81.4	334.00		
R40B20	QCP	200	148.2	2142	0.8	11	0.8	368.50		
R40B20	QCP	300	148.2	2142	0.7	11	0.7	245.83		
R40B20	QCP	400	148.2	2142	1.9	22	1.9	182.88		



ตารางที่ ค. 9 ผลการทดลองไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว
ในตัวอย่างน้ำเสีย R40B40

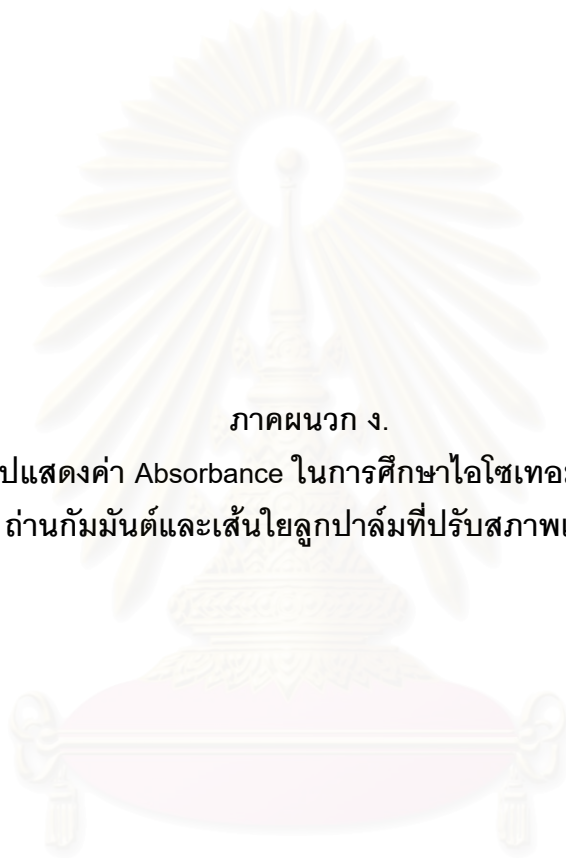
น้ำเสีย	วัสดุ	ปริมาณ วัสดุ	ความเข้มข้นน้ำเข้า		ความเข้มข้นน้ำออก		C (SU)	q (gSU/g)	Q _{max}	b
			SU	ADMI	SU	ADMI				
R40B40	ถ่านกัมมันต์	20	247.4	2886	214.4	2718	214.4	825.00	n.a.	n.a.
R40B40	ถ่านกัมมันต์	50	247.4	2886	175.6	2156	175.6	718.00		
R40B40	ถ่านกัมมันต์	100	247.4	2886	145.9	2101	145.9	507.50		
R40B40	ถ่านกัมมันต์	200	247.4	2886	132.5	2064	132.5	287.25		
R40B40	ถ่านกัมมันต์	300	247.4	2886	112.6	1823	112.6	224.67		
R40B40	ถ่านกัมมันต์	400	247.4	2886	24.1	46	24.1	279.13		
R40B40	QCP	20	247.4	2886	244.4	2718	244.4	75.00	625.0	0.4571
R40B40	QCP	50	247.4	2886	182.6	2377	182.6	648.00		
R40B40	QCP	100	247.4	2886	125.2	1967	125.2	611.00		
R40B40	QCP	200	247.4	2886	18.7	344	18.7	571.75		
R40B40	QCP	300	247.4	2886	0.73	12	0.73	411.12		
R40B40	QCP	400	247.4	2886	2.2	20	2.2	306.50		



ตารางที่ ค. 10 การคำนวณค่าไอโซเทอม พารามิเตอร์ ของตัวอย่างน้ำเสีย โดยพล็อตกราฟ ระหว่าง C/q และ C

น้ำเสีย	วัสดุ	ความชื้น	ระยะตัดแกน Y	R ²	Q _{max}	b
RR40	ถ่านกัมมันต์	0.0005	0.0094	0.6841	2000	0.0532
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0004	0.0104	0.504	2500	0.0385
RB40	ถ่านกัมมันต์	0.0011	0.0246	0.9491	909	0.0447
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0011	0.0056	0.9581	909	0.1964
R20B20	ถ่านกัมมันต์	0.0012	0.2661	0.0296	n.a. ^a	n.a. ^a
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0007	0.0079	0.8624	1428.6	0.0886
R20B40	ถ่านกัมมันต์	-0.0144	2.658	0.0659	n.a. ^a	n.a. ^a
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0017	0.0016	0.9927	588.2	1.0625
R40B20	ถ่านกัมมันต์	-0.0011	0.652	0.0484	n.a. ^a	n.a. ^a
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0021	0.0105	0.9247	476.2	0.2
R40B40	ถ่านกัมมันต์	0.0006	0.2216	0.072	n.a. ^a	n.a. ^a
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0016	0.0035	0.9987	625.0	0.4571
F 1	ถ่านกัมมันต์	0.0021	0.0222	0.7287	476.2	0.0946
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0044	0.0902	0.8526	227.3	0.0488
F 2	ถ่านกัมมันต์	0.0025	0.0135	0.9035	400.0	0.1852
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	0.0029	0.0194	0.9713	344.8	0.1495
F 3	ถ่านกัมมันต์	2x 10 ⁻⁵	0.0324	0.001	n.a. ^a	n.a. ^a
	เส้นใยลูกลูปาล์ม	-0.0039	0.0873	0.831	n.a. ^a	n.a. ^a

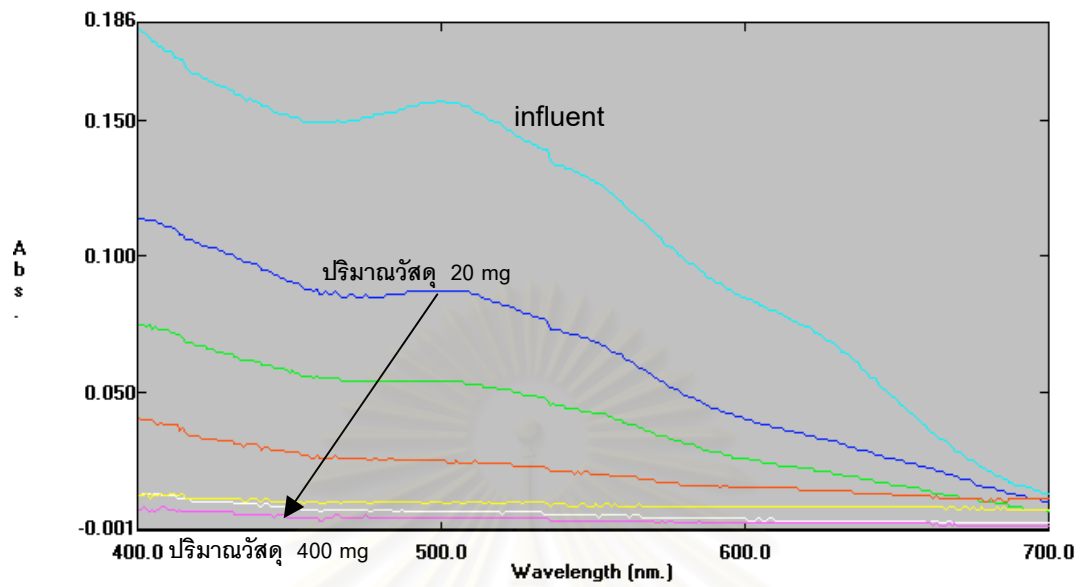
^a ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สอดคล้องกับไอโซเทอม



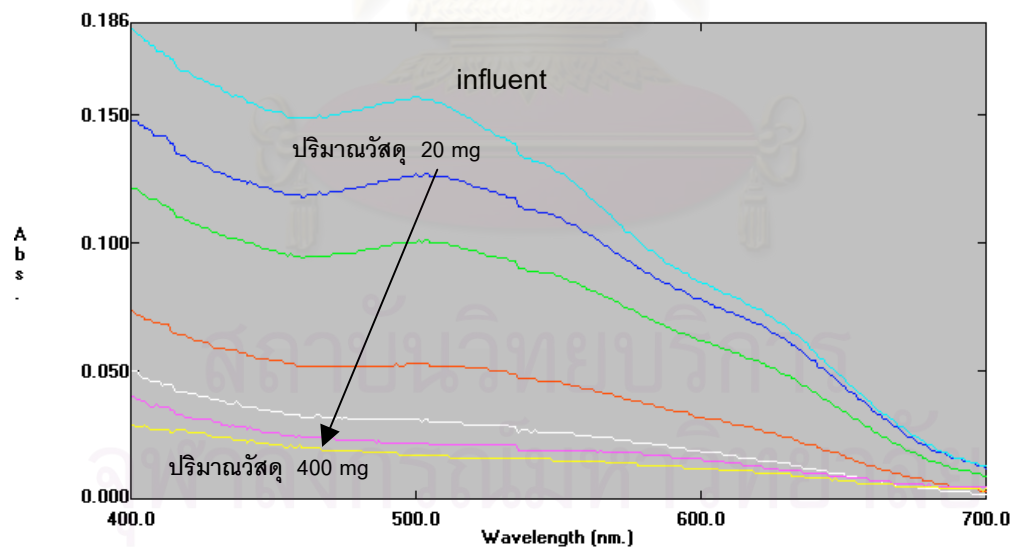
ภาคผนวก ง.

รูปแสดงค่า Absorbance ในการศึกษาไอโซเทอมของ
ถ่านกัมมันต์และเส้นใยลูกลำไยที่ปรับสภาพแล้ว

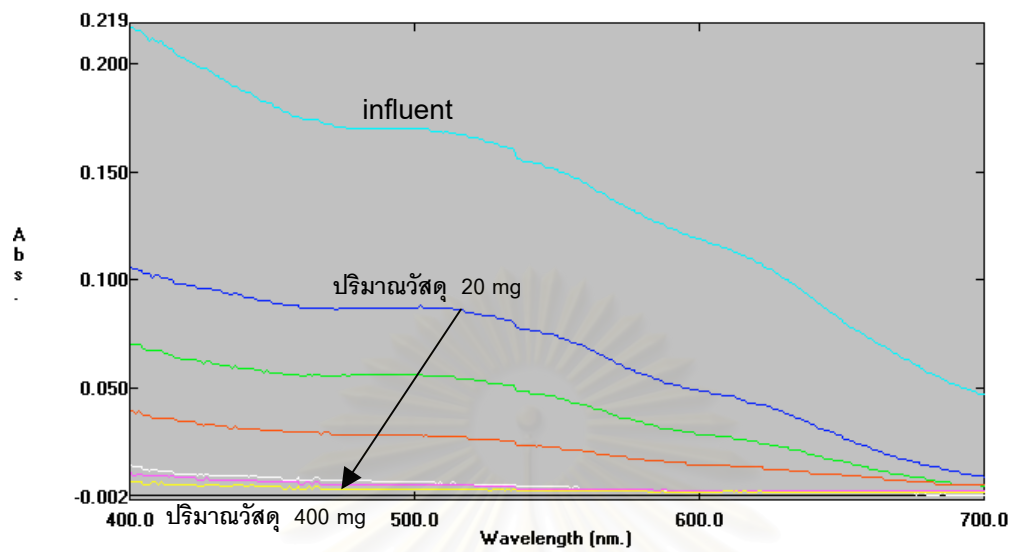
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



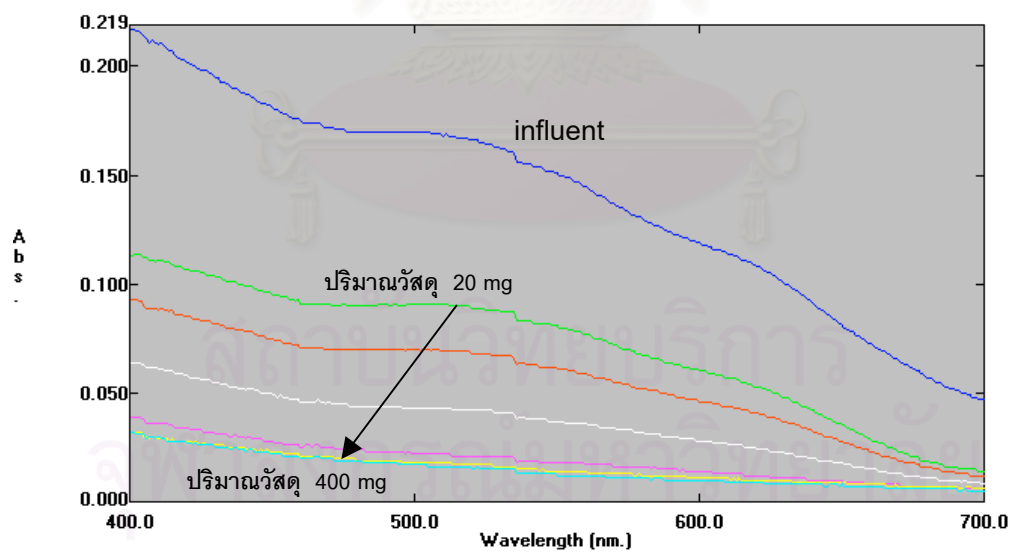
รูปที่ ง. 1 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 1 (F1) ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



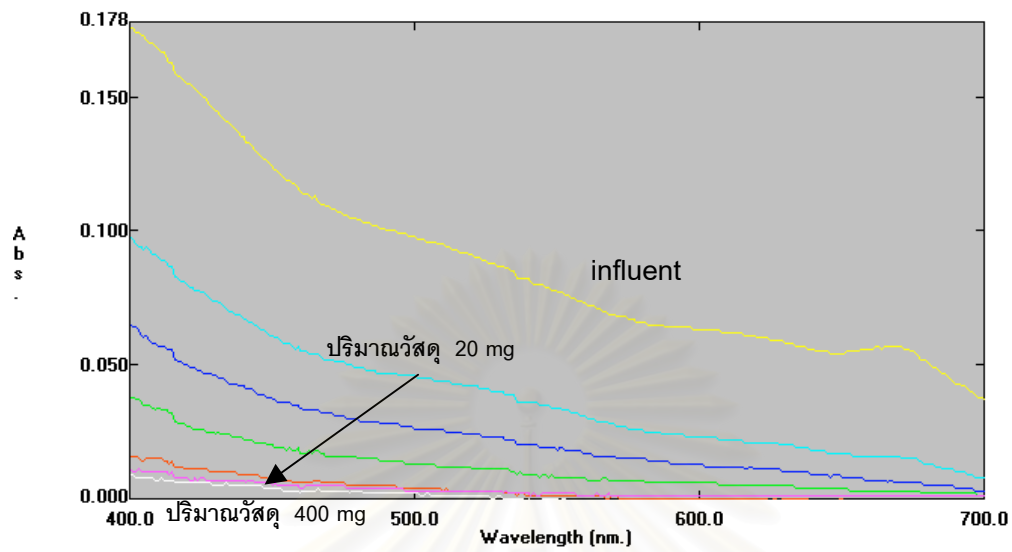
รูปที่ ง. 2 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 1 (F1) ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



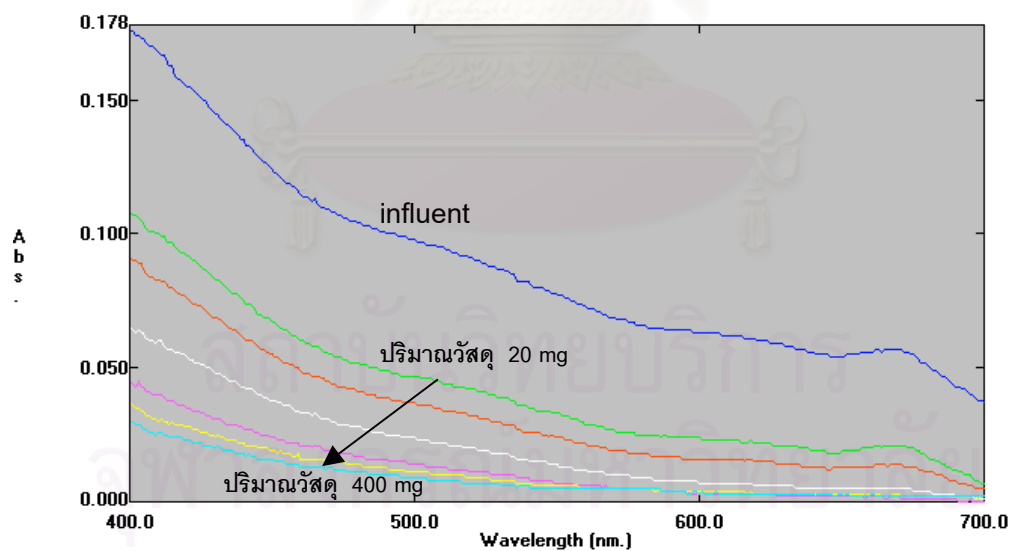
รูปที่ ง. 3 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 2 (F2) ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



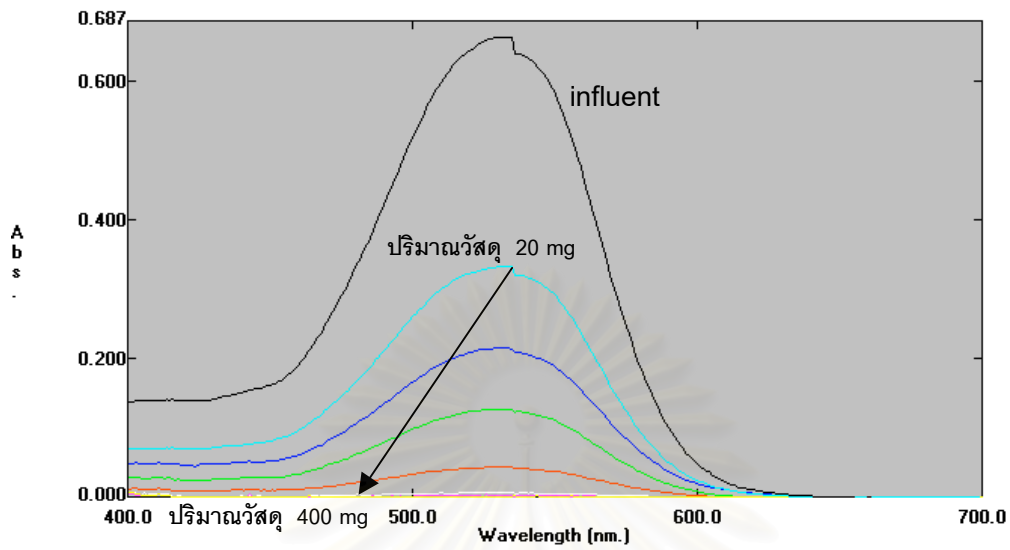
รูปที่ ง. 4 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 2 (F2) ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกลูปาล์ม



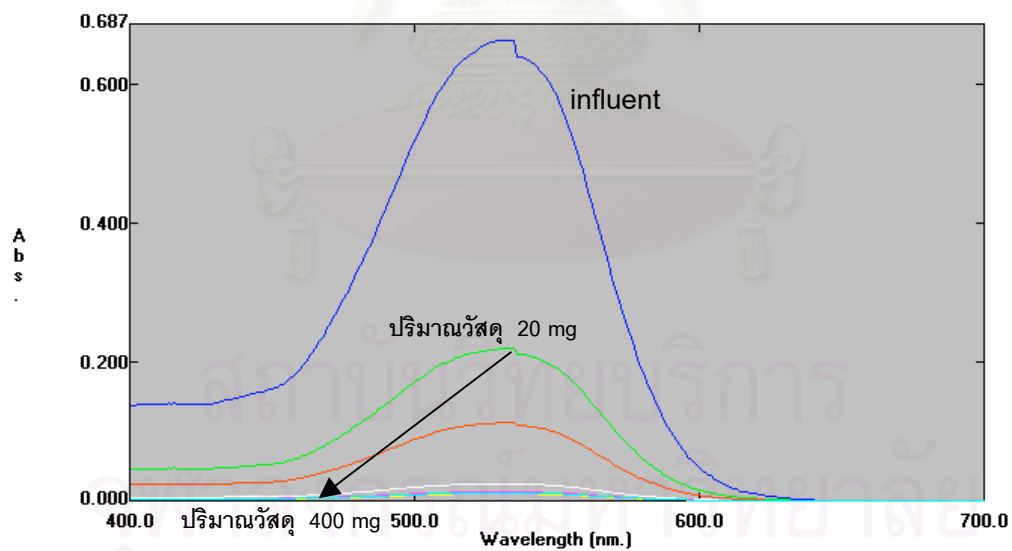
รูปที่ ง. 5 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 3 (F3) ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



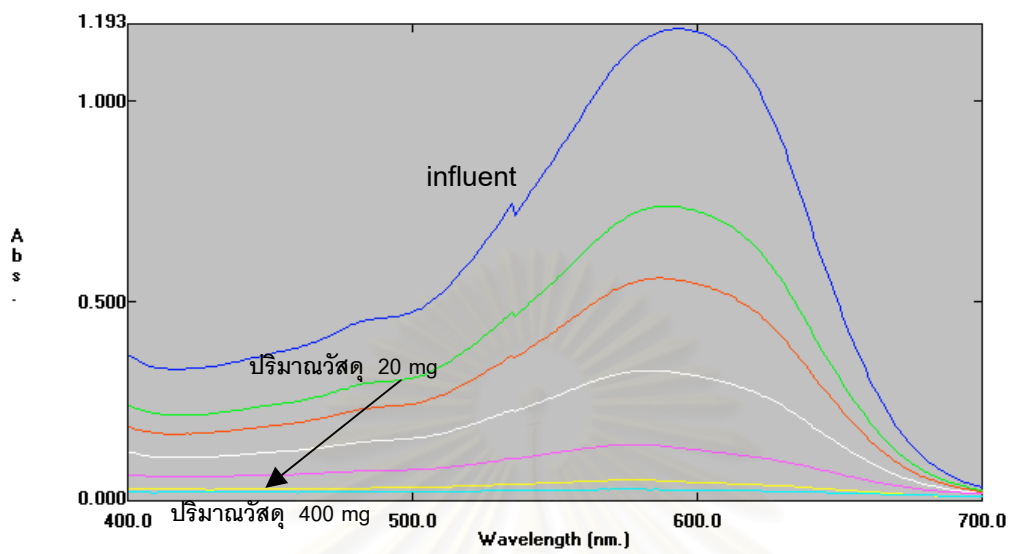
รูปที่ ง. 6 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียโรงงานที่ 3 (F3) ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกลูปาล์ม



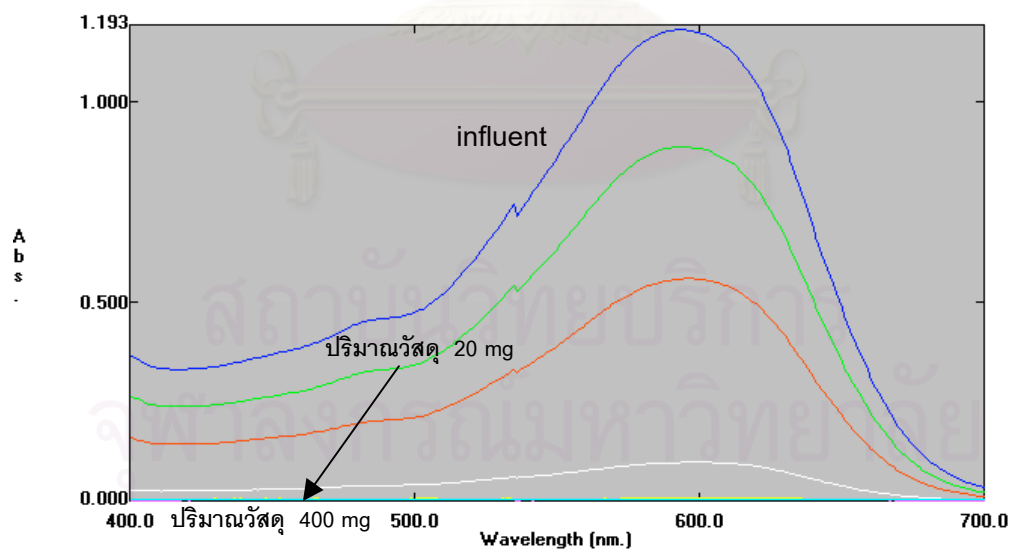
รูปที่ ง. 7 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียสังเคราะห์ RR40 (สีแดง) ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



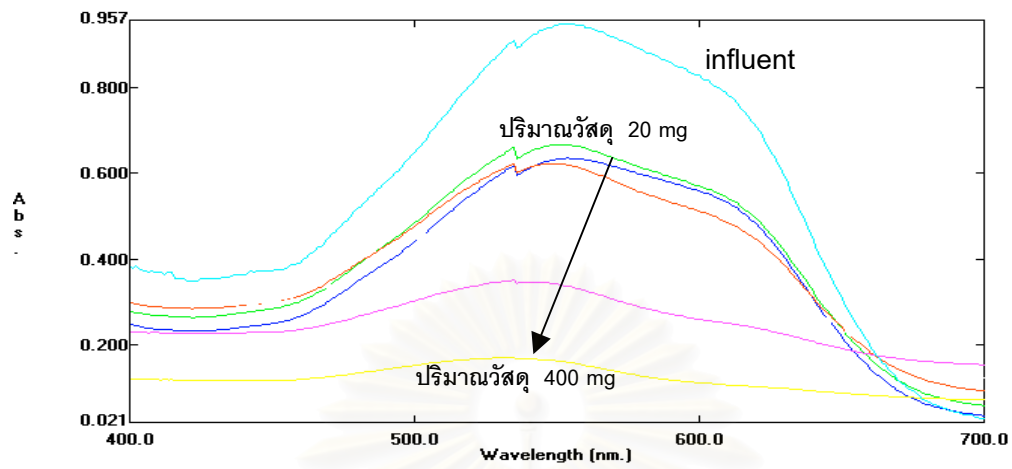
รูปที่ ง. 8 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียสังเคราะห์ RR40 (สีแดง) ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



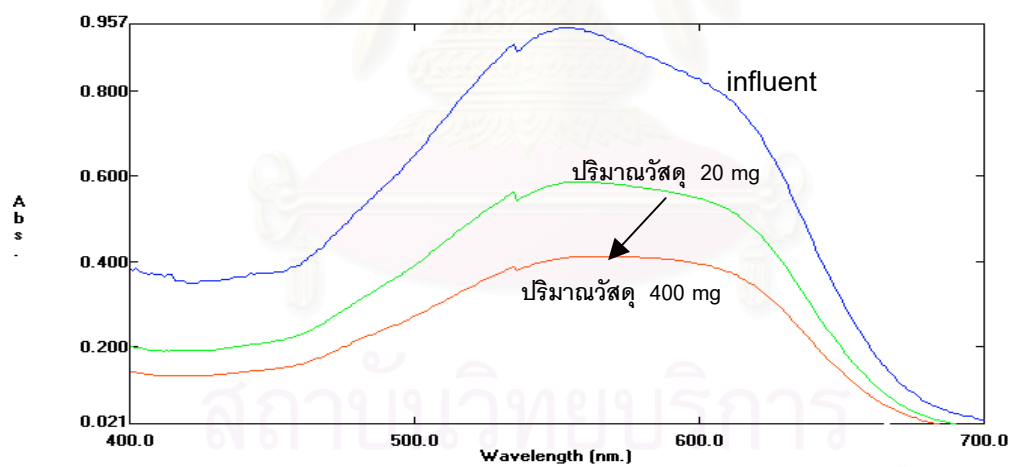
รูปที่ ง. 9 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียสังเคราะห์ RB40 (สีแดง) ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



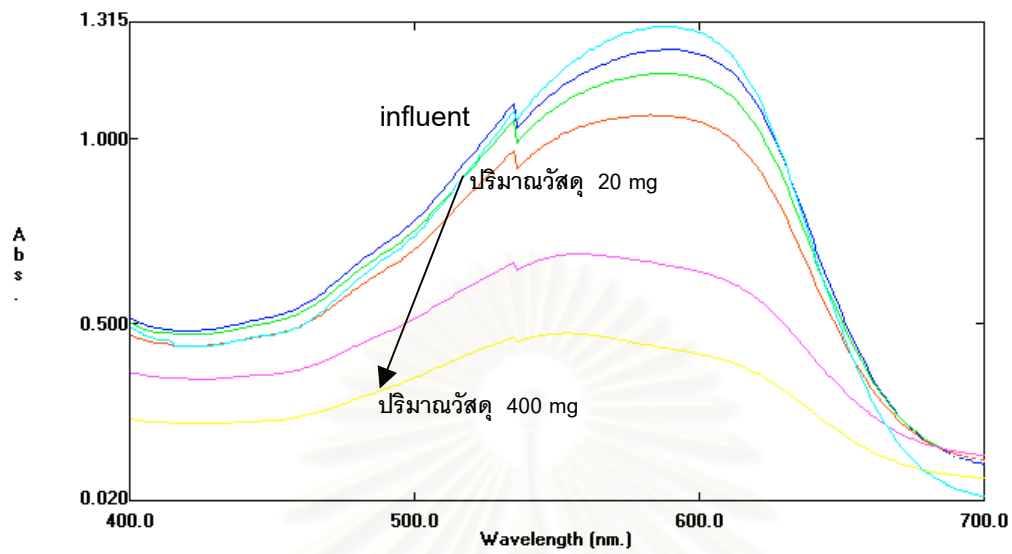
รูปที่ ง. 10 กราฟ Absorbance ของน้ำเสียสังเคราะห์ RB40 (สีแดง) ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



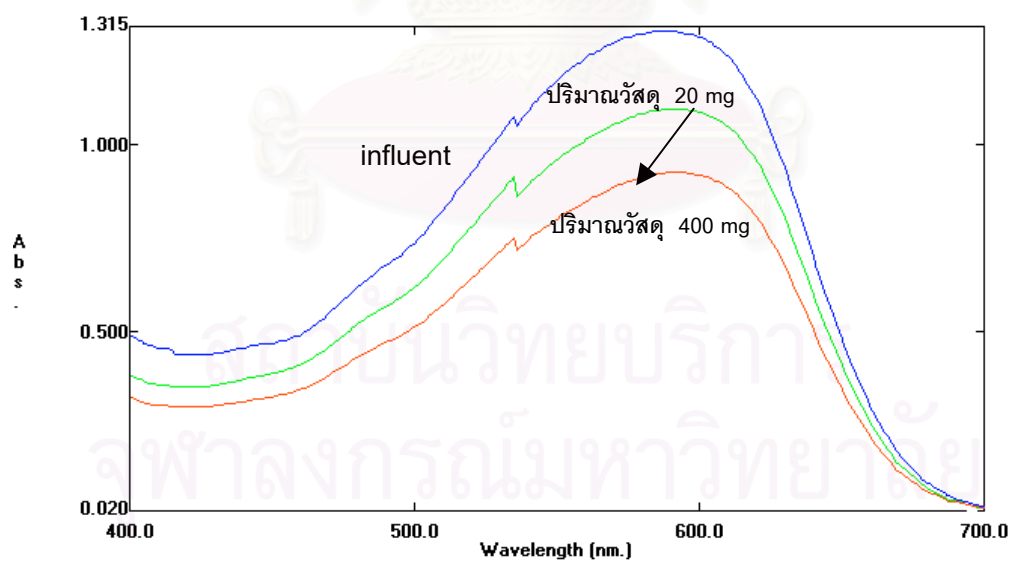
รูปที่ ง. 11 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R20B20 ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



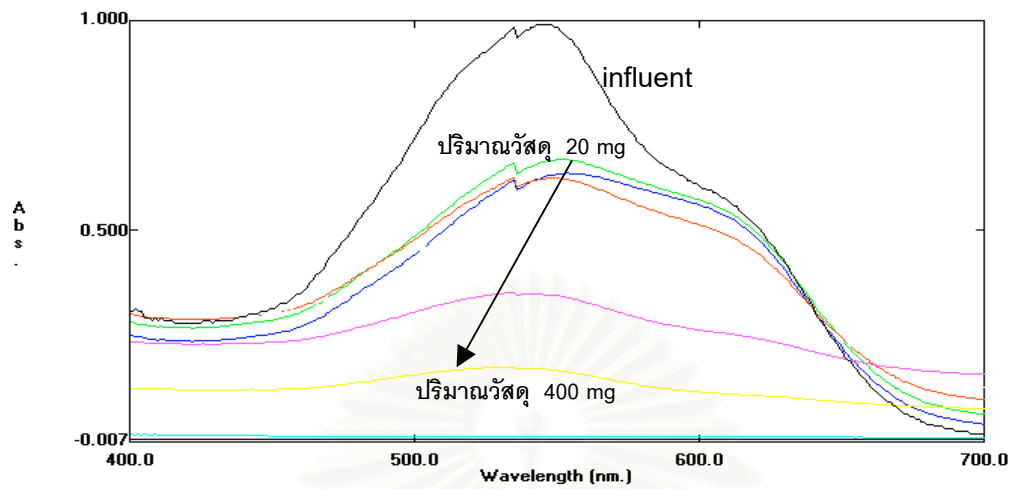
รูปที่ ง. 12 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R20B20 ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



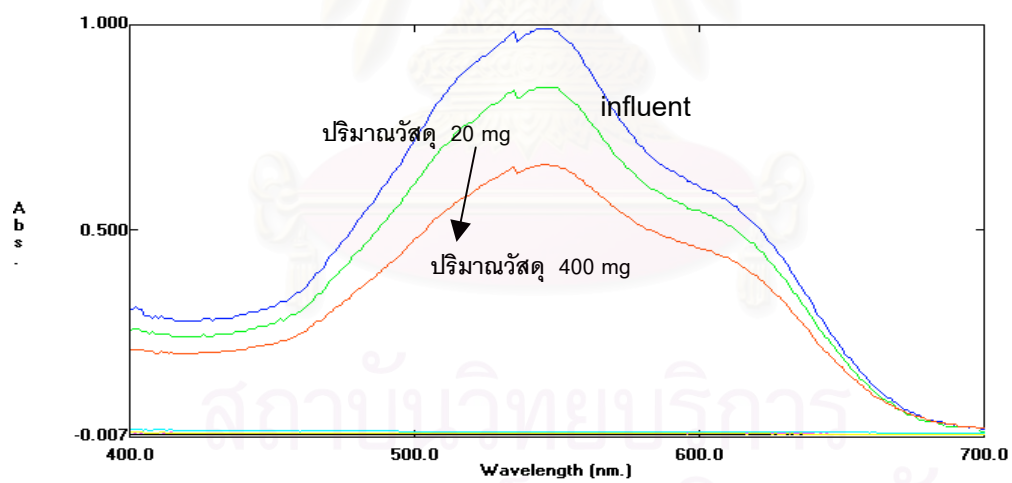
รูปที่ ง. 13 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R20B40 ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



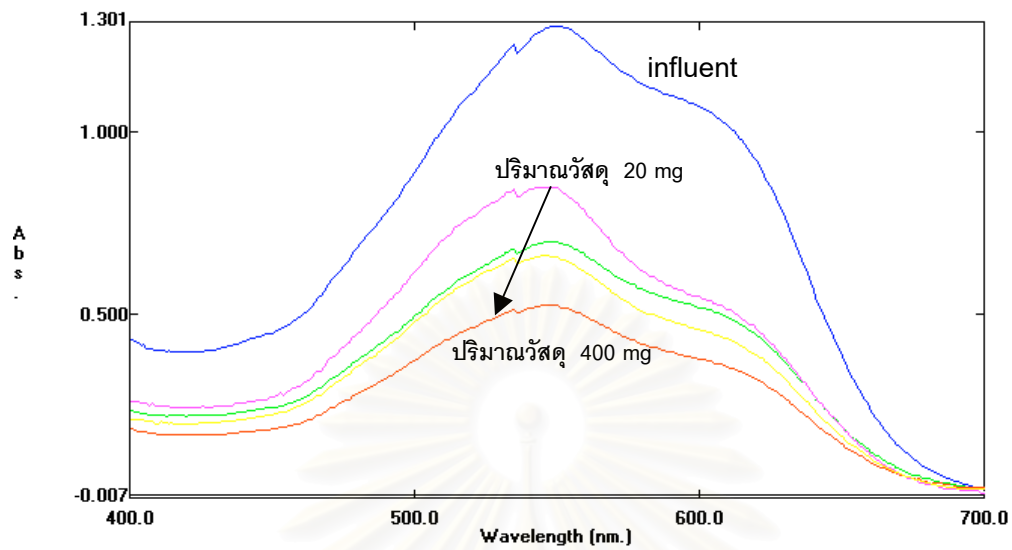
รูปที่ ง. 14 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R20B40 ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกลูปาล์ม



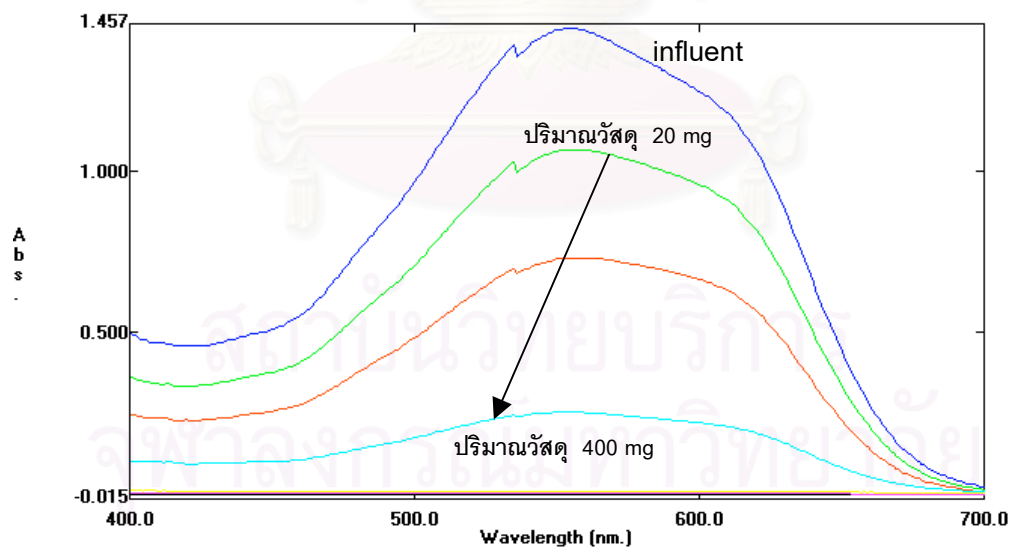
รูปที่ ง. 15 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R40 B20 ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



รูปที่ ง. 16 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R40B20 ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



รูปที่ ง. 17 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R40 B40 ในการศึกษาไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์



รูปที่ ง. 18 กราฟ Absorbance ของ น้ำเสีย R40 B40 ในการศึกษาไอโซเทอมของเส้นใยลูกปาล์ม



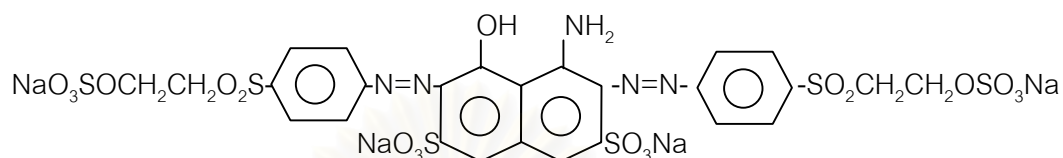
ภาคผนวก จ.
สูตรโครงสร้างของสื่ที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

FW 991.82



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

หมายเหตุ

สี Remazol Brilliant Red 3BS ไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างสีได้ เนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตไม่เปิดเผย

ตารางที่ จ.1 คุณสมบัติต่างๆของสี

	Remazol Brilliant Red 3BS	Remazol Black B
CHEMICAL CLASS	Monoazo	Disazo
REACTIVE SYSTEM	--	Vinylsulphonyl
C.I. CONSTITUTION NO.	--	50505
HUE.		
Daylight	Bright Bluish Red	Black
Artificial light (tungsten)	Yellower	--
DYEING		
Cellulose	Exhaustion and padding methods	Cold padding with urea and NaHCO ₃ , drying and fixing with steam or heat
Nylon	--	--
Silk	--	--
Wool	--	--
PRINTING	Cellulose	Cellulose: direct printing with NaHCO ₃ and a neutral alginate thickener and fixing with neutral steam

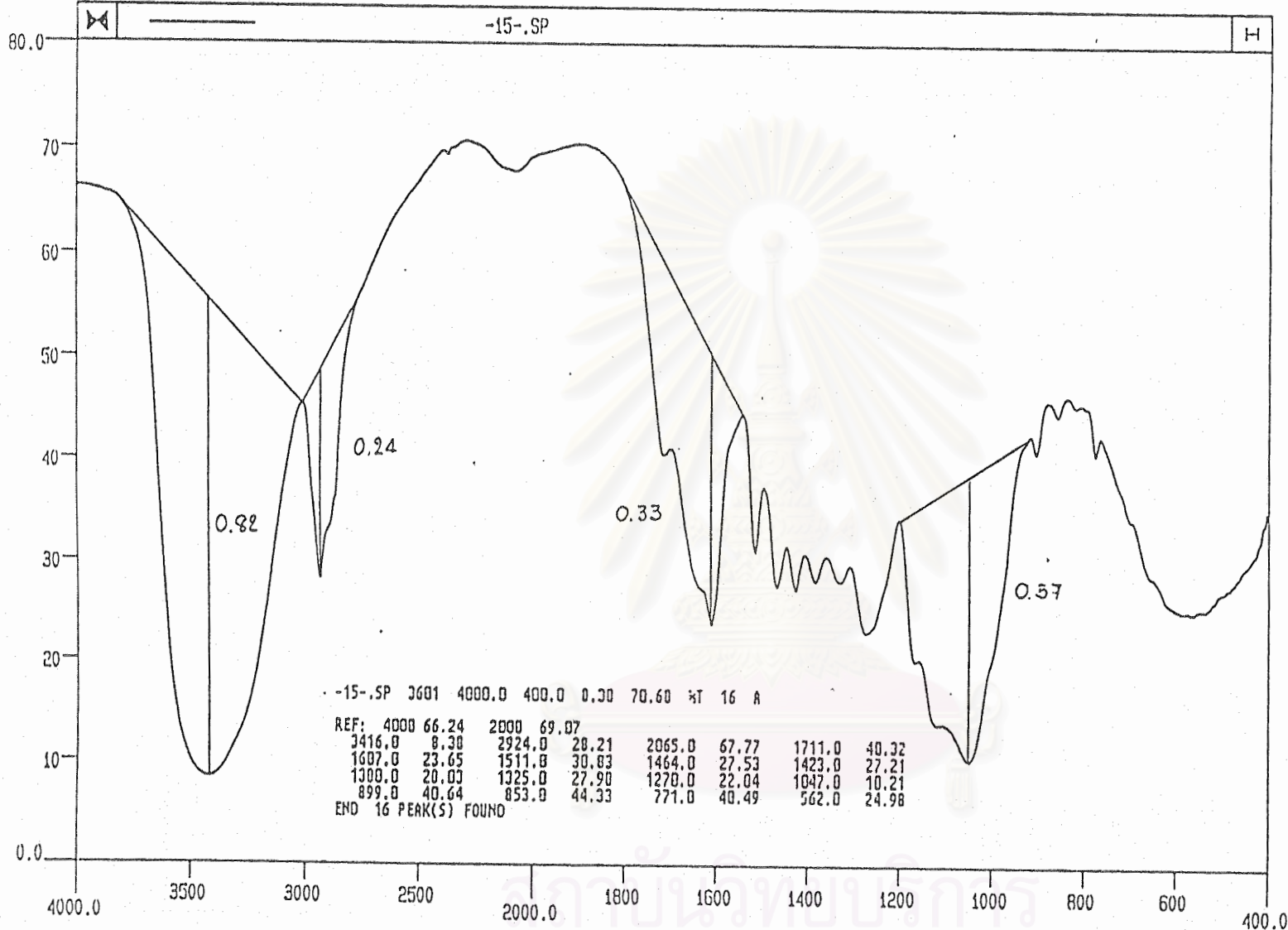
ตารางที่ ๑.1 คุณสมบัติต่างๆของสี (ต่อ)

	Remazol Brilliant Red 3BS	Remazol Black B
FASTNESS PROPERTIES		
Fibre	Cotton	Cotton
Method	ISO	ISO
Alkali	--	3
Burnt Gas Fumes	--	--
Carbonising-Alkaline rinse	--	--
Neutral rinse	--	--
Decatising	--	--
Light--1/3-1/2 normal	3-4	2-3
Normal	4	5
2X normal	5	--
Peroxide Bleach-Alternation	--	--
Staining	--	4-5 (greener)
Perpiration-Alternation	5 (acid/alk.)	5
Staining	5	--
Soda Boil-Alternation	--	--
Staining	--	--
Washing-Alternation	5 (95 ⁰ C)	4-5(75 ⁰ C)
Staining	5	5
OTHER PROPERTIES		
Dischargeability	Not dischargeable	Not suitable for discharge
Effect of Metals-Copper	--	--
-Iron	--	--
Reaction in Substance		
H ₂ SO ₄ conc.	--	--
Dilute HCl	--	--
Dilute NaOH	--	--
NON-TEXTILE USAGE	--	--
NOTES		Solubility in water: good



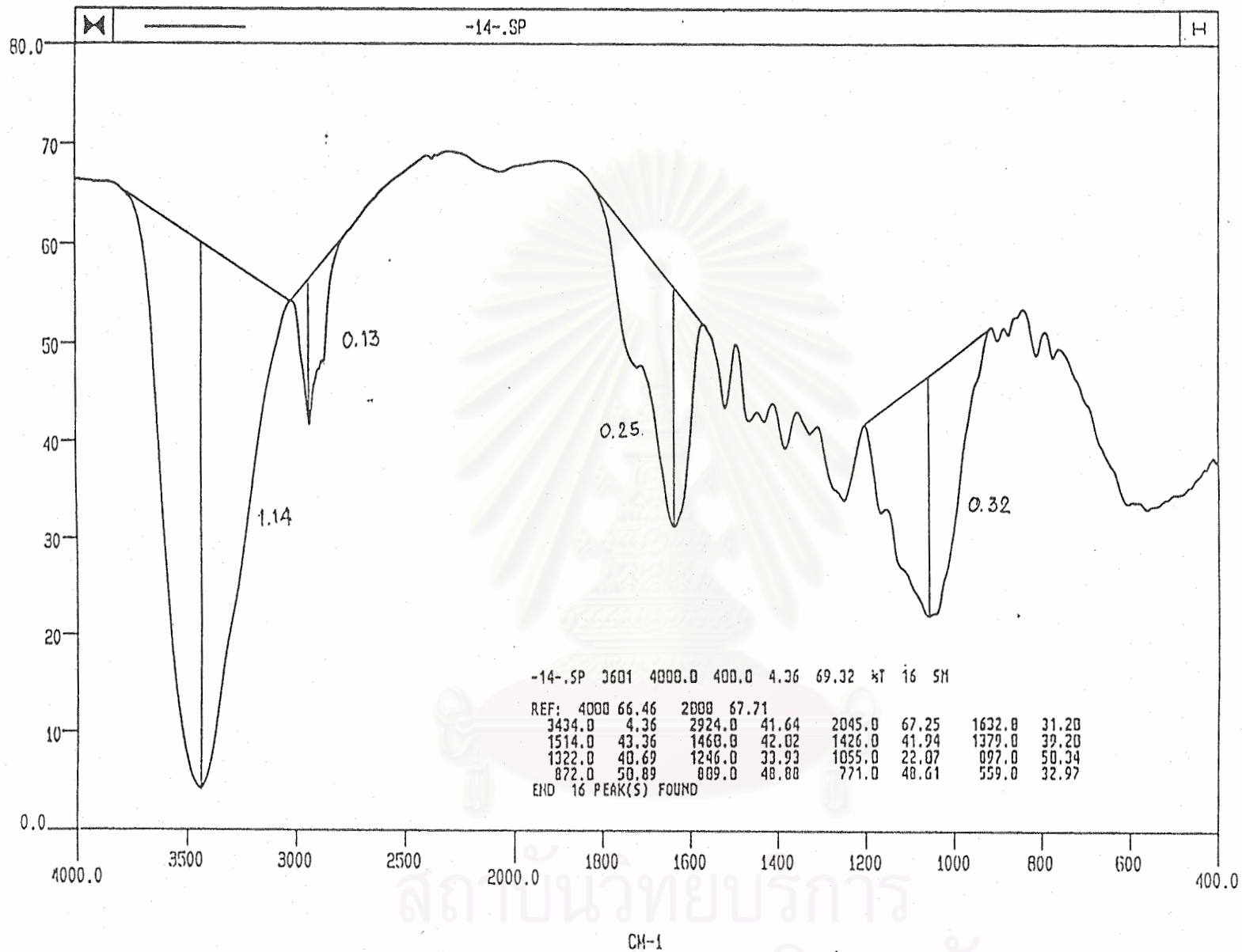
ภาคผนวก ฉ.
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



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

รูปที่ ๑.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยลูกลำดัมที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



201 NALKE GROUP - GENERAL
 402 HYDROXY OR AMINO COMPOUND - GENERAL
 PSUs above may be subject to interference. Consult Manual.

รูปที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยลูปปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำครอสส์ลิงค์และควอร์เทอร์ไนส์



ภาคผนวก ซ.

BET Analysis

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผล BET Analysis สำหรับ ถ่านกัมมันต์

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03

A

PAGE 14

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: J1	/23	START 15:38:41 06/06/01
SAMPLE ID: pac		COMPL 22:46:01 06/06/01
SUBMITTER:		REPRT 09:23:41 06/07/01
OPERATOR: tanakorn		SAMPLE WT: 0.3761 g
UNIT NUMBER: 1		FREE SPACE: 54.6369 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen		EQUIL INTRVL: 5 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA:	1163.8123	sq. m/g
LANGMUIR SURFACE AREA:	1575.4502	sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/P ₀ 0.2045:	1155.1877	sq. m/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	578.6520	sq. m/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	614.2653	sq. m/g
MICROPORE AREA:	454.8204	sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS THAN 959.6313 A DIAMETER AT P/P ₀ 0.9794:	1.054538	cc/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.811116	cc/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.843219	cc/g
MICROPORE VOLUME:	0.205544	cc/g

PORE SIZE

AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A BY LANGMUIR):	26.7743	A
BJH ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	56.0693	A
BJH DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	54.9090	A

2. ผล BET Analysis สำหรับ เส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีควอเทอร์ไนส์ และครอสส์ลิงค์

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 73.03

PAGE 13

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: JI /25	START 15:10:09 06/08/01
SAMPLE ID: sec	COMPL 16:19:01 06/08/01
SUBMITTER:	REPT 16:19:02 06/08/01
OPERATION:	SAMPLE Wt: 0.3119 g
UNIT NUMBER: 1	FREE SPACE: 54.4665 cc
ANALYSIS GAS: Nitrogen	EQUIL INTRVL: 5 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA:	3.7265	sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P/Po 0.1996:	1.3184	sq. m/g
BUN CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	4.0260	sq. m/g
BUN CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	4.2149	sq. m/g
MICROPOROUS AREA:	-1.6121	sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS INH:		
1230.3629 A DIAMETER AT P/Po 0.9840:	0.006640	cc/g
BUN CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.005271	cc/g
BUN CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER:	0.004766	cc/g
MICROPOROUS VOLUME:	-0.002717	cc/g

PORE SIZE

AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A BY BET):	38.1260	A
BUN ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	52.3693	A
BUN DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A):	47.1248	A

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนกร จันทสุบรรณ เกิดวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดปัตตานี สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดปัตตานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรม ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญา วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย