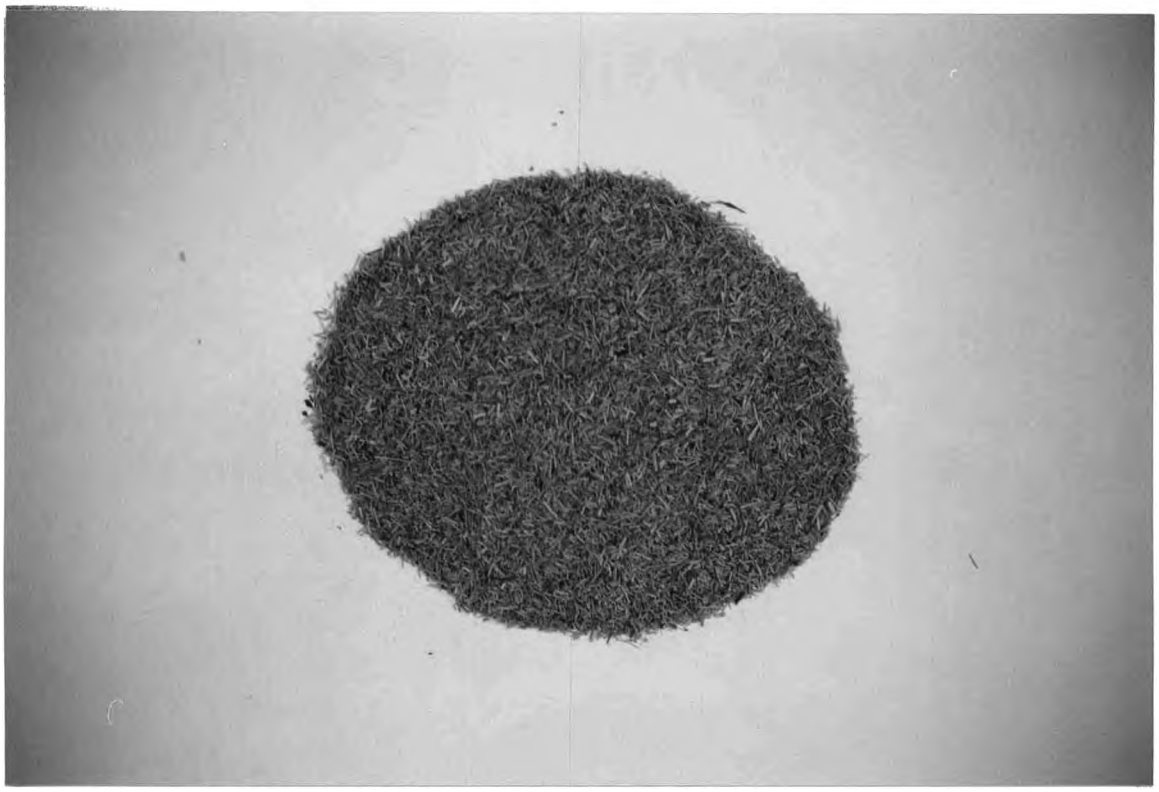
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

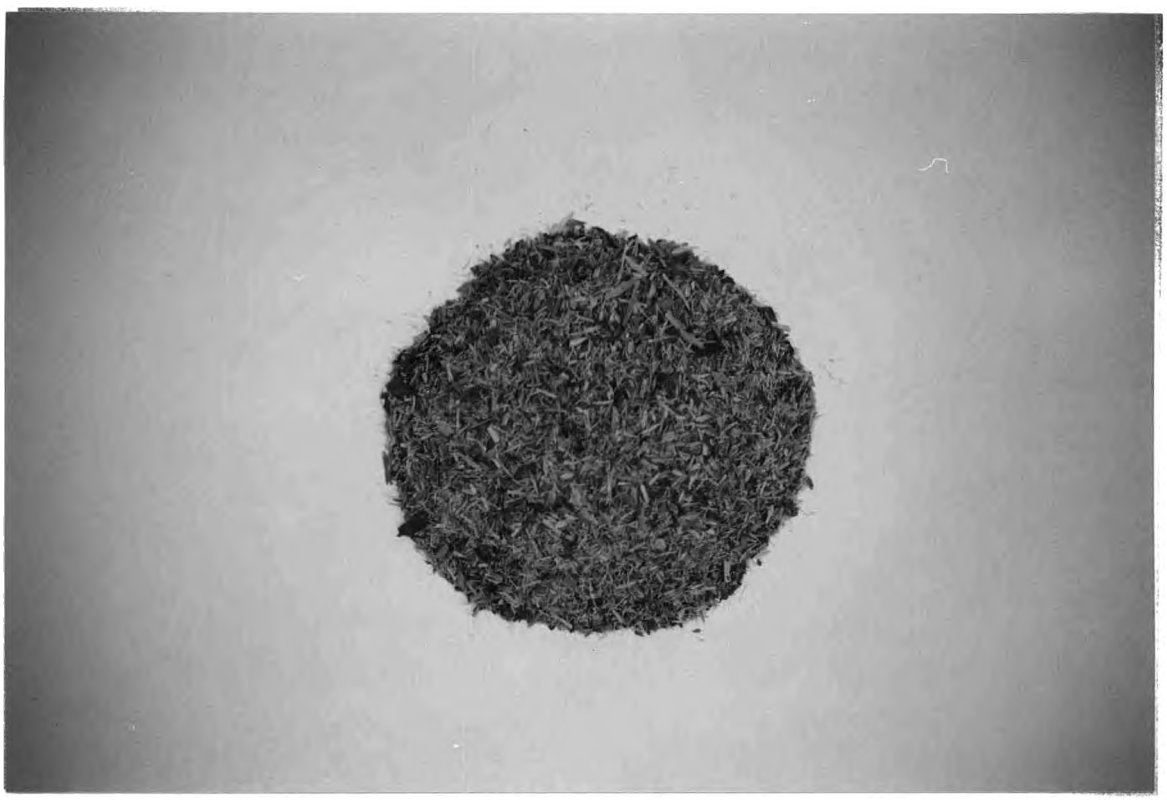
จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ 4 ส่วน ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว ความหนาแน่น การบวมน้ำ และพื้นที่ผิวของวัสดุ 3 ชนิดคือ ซานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (รูปที่ 4.1 ถึง 4.6) สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

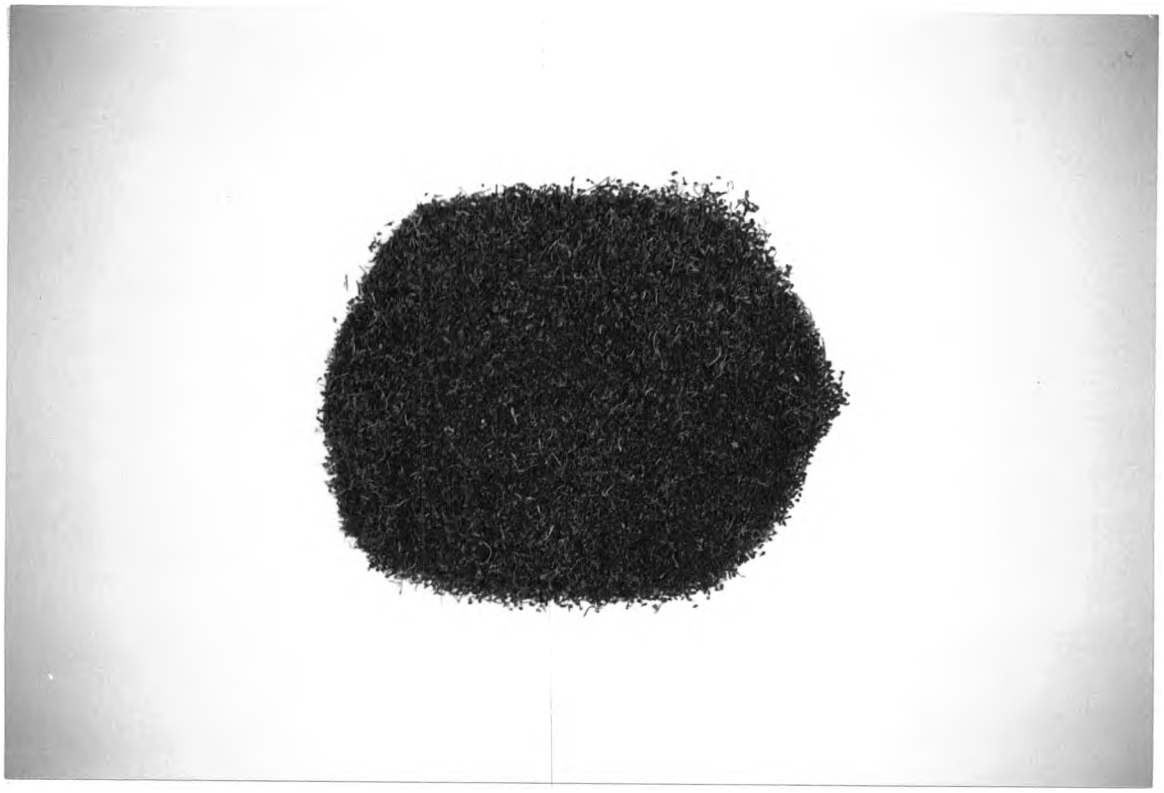
ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน พบว่า ซานอ้อยและผักตบชวาจะมีลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกัน คือเป็นเส้นใยยาว เมื่อไม่ได้ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ เส้นใยจะมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบกว่าและมีร่องลึกต่างๆ น้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10 ส่วนเส้นใยลูกปาล์ม จะมีลักษณะภายนอกที่แตกต่างจากซานอ้อยและผักตบชวา กล่าวคือ มีลักษณะค่อนข้างกลมและไม่เป็นเส้นใยยาว ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระคล้ายฟองน้ำ เส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและหยักมาก แต่ไม่เป็นร่องลึก ส่วนเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว พื้นผิวจะมีลักษณะขรุขระ และเห็นเป็นร่องลึกได้มากกว่า ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ซึ่งคาดว่าเกิดจากการใช้กรดแก่และด่างแก่ในการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ทำให้สิ่งต่างๆ ที่เกาะอยู่และสามารถหลุดออกได้ง่าย โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวภายนอกหลุดออกมา เหลือเพียงองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลสและสารเคมีที่เข้าไปเกาะเพิ่มเพื่อปรับสภาพของเซลลูโลสให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงลักษณะพื้นผิวของวัสดุภายหลังการกำจัดสีแล้ว โดยคัดเลือกซานอ้อยทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ที่ผ่านการกำจัดสีรีแอคทีฟ (Remazol Black B) แล้วมาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนอีกครั้ง พบว่า ซานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ ภายหลังการกำจัดสี จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยบริเวณขอบและผิวของวัสดุ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเกาะติดผิวของสีย้อม (รูปที่ 4.13) ส่วนซานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าไม่พบความแตกต่างอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อนนำมากำจัดสี(รูปที่4.14) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการกำจัดสีหลักของวัสดุเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นจึงไม่ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวภายนอกของวัสดุ



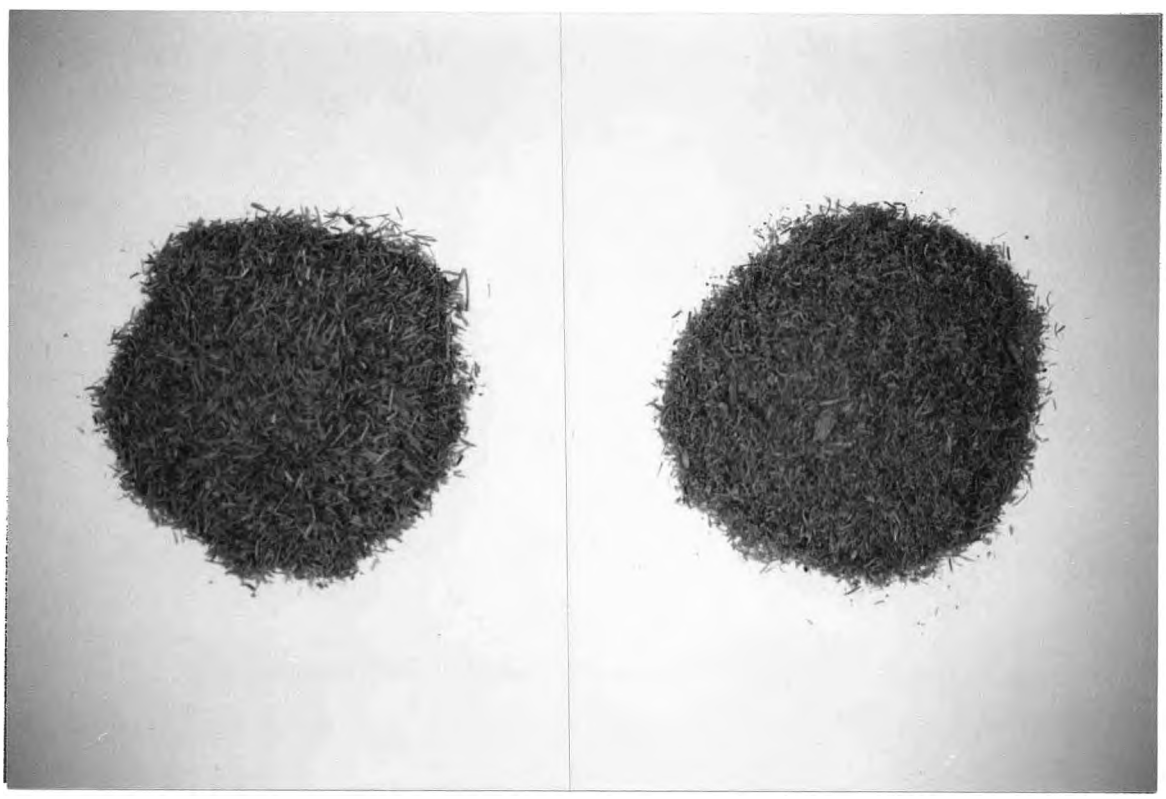
รูปที่ 4.1 ชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง



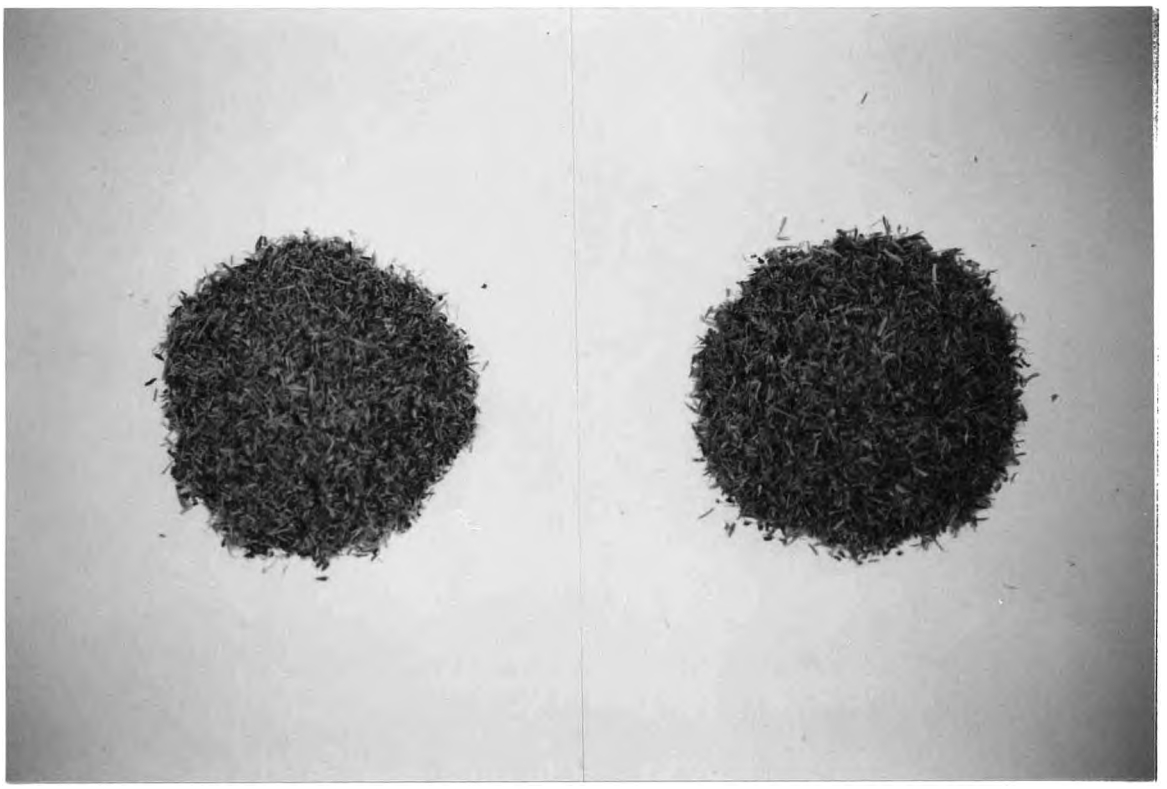
รูปที่ 4.2 ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลอง



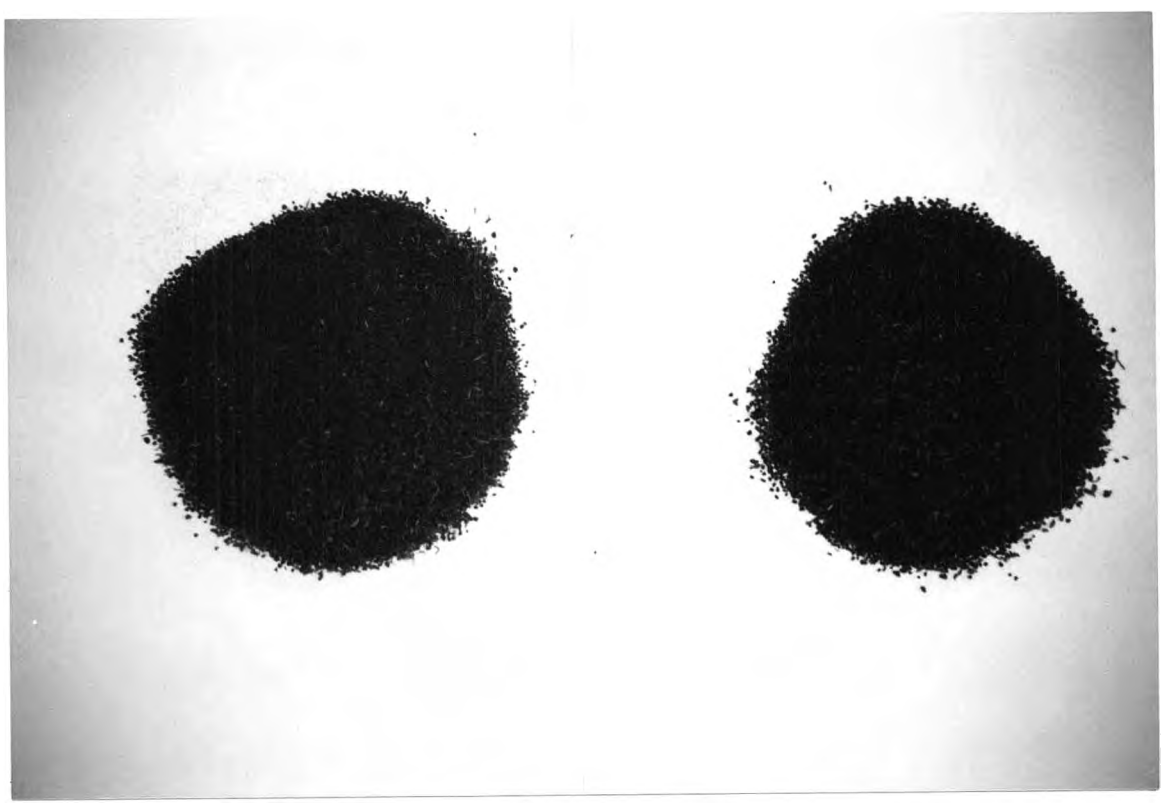
รูปที่ 4.3 เส้นใยลูกปาล์มที่ใช้ในการทดลอง



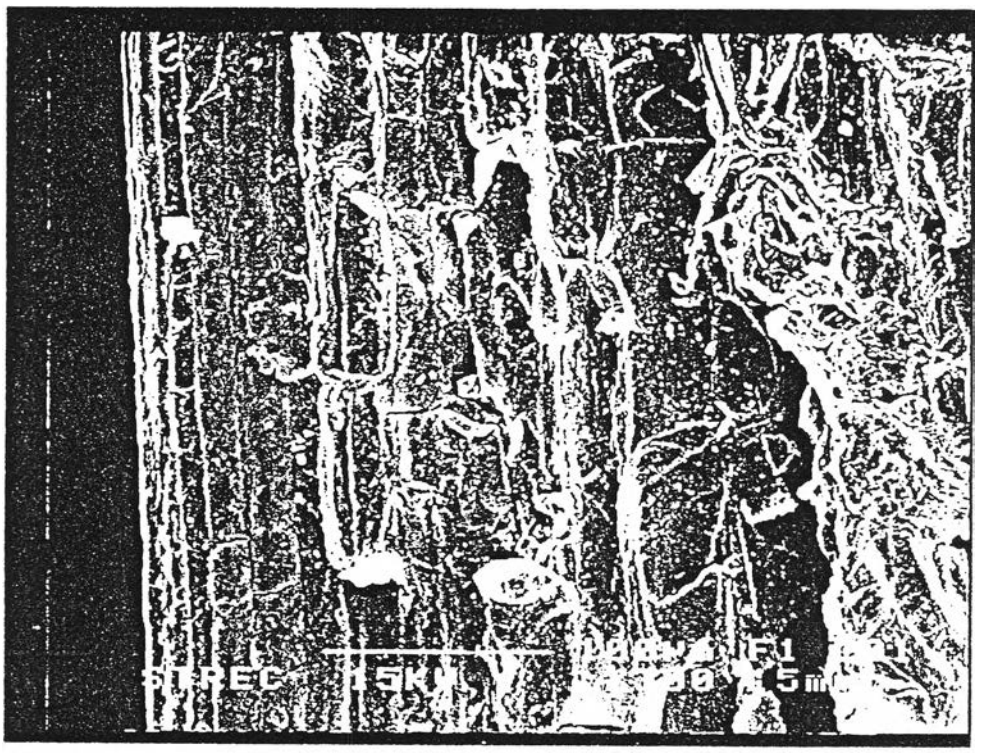
รูปที่ 4.4 ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ขวา)



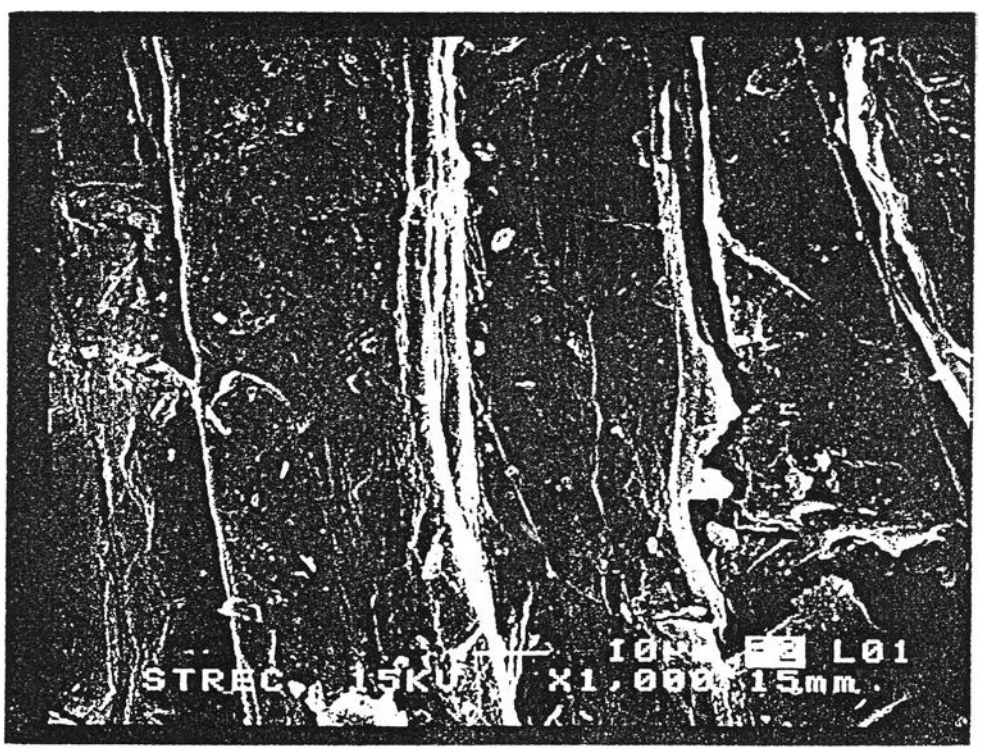
รูปที่ 4.5 ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ขวา)



รูปที่ 4 6 เส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ (ซ้าย) และปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ขวา)



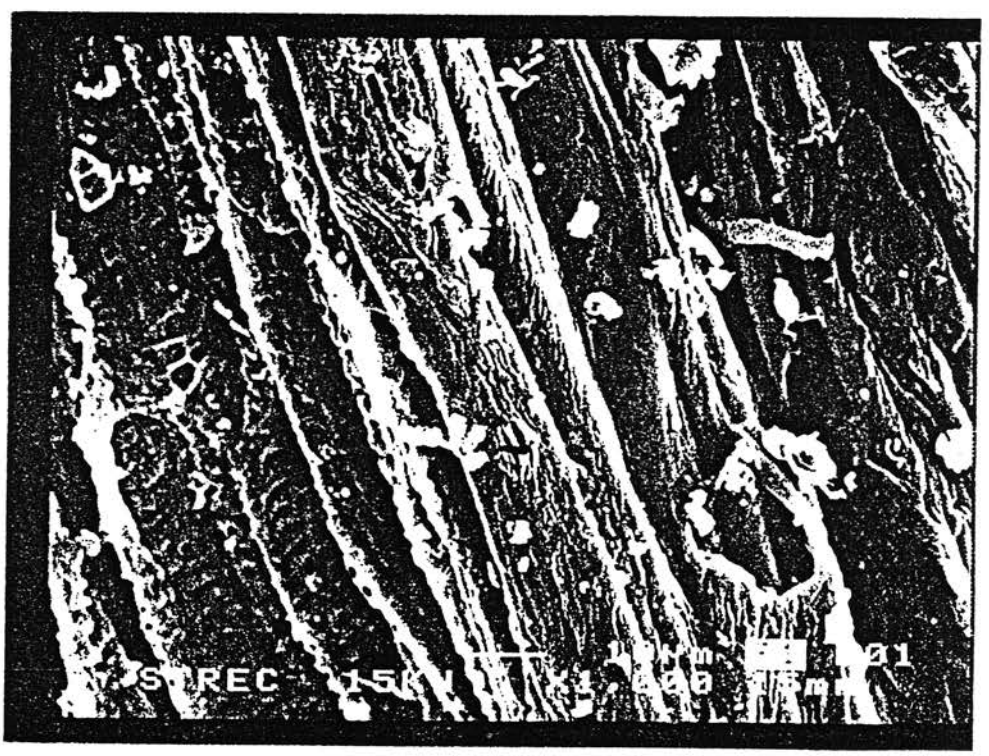
(ก)



(ข)

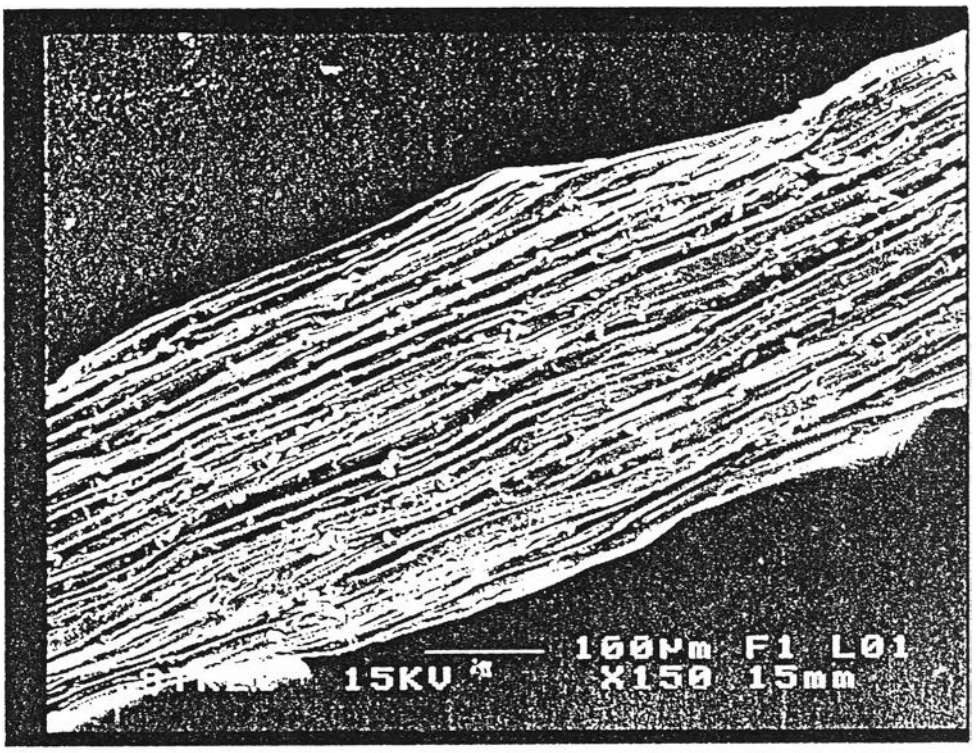
รูปที่ 4.7 **ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ**
(ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

(ก)

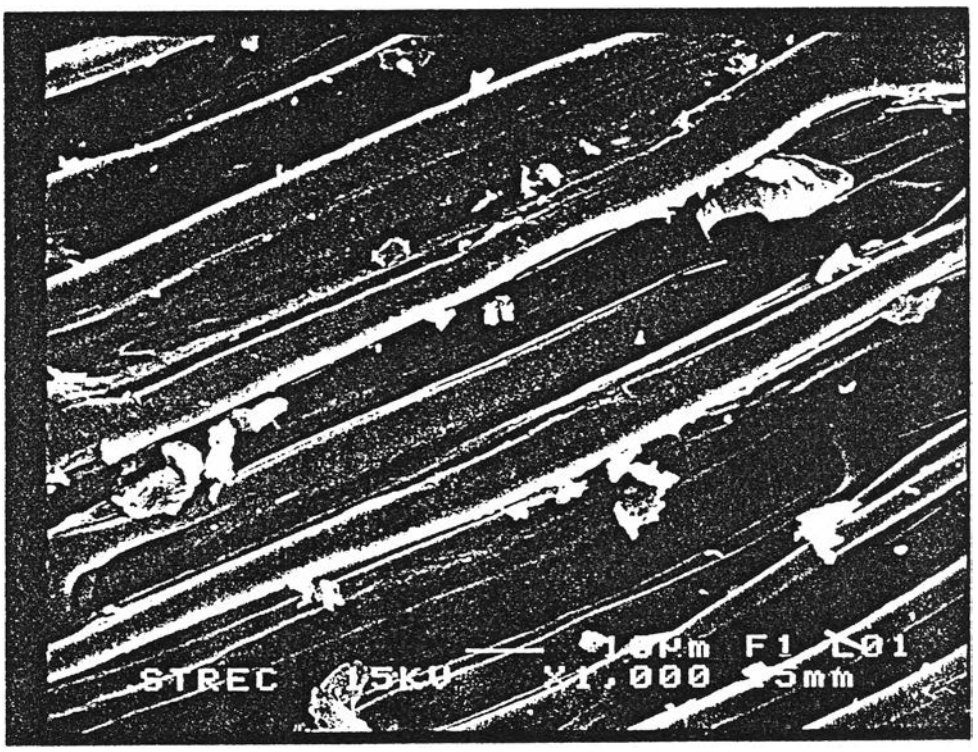


(ข)

รูปที่ 4.8 **ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์** (ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

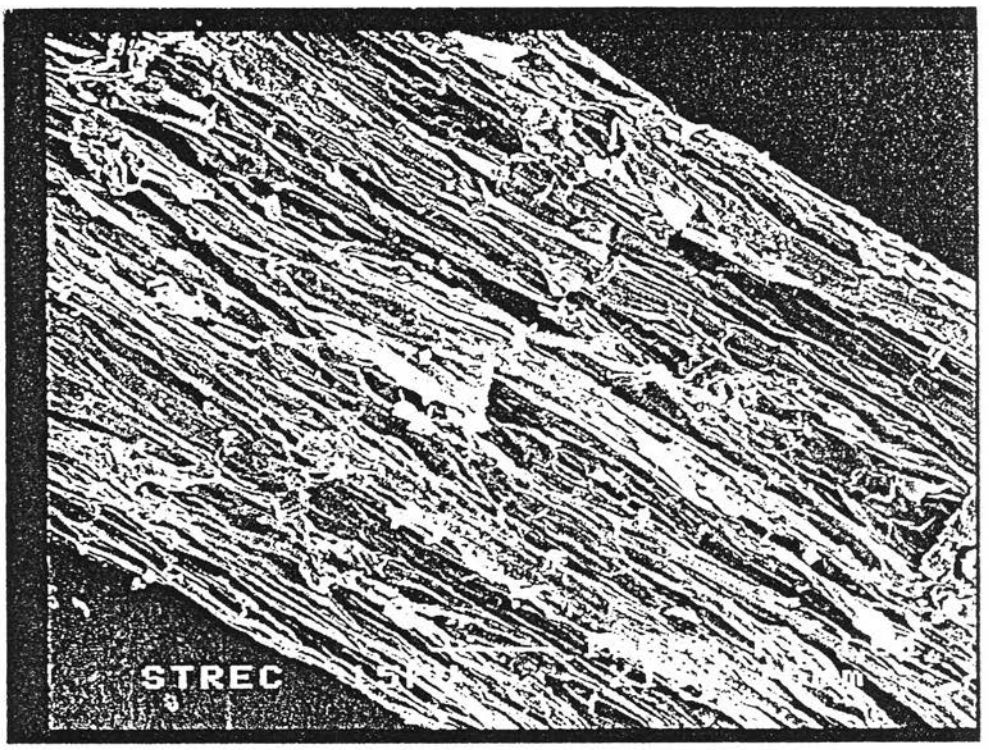


(ก)

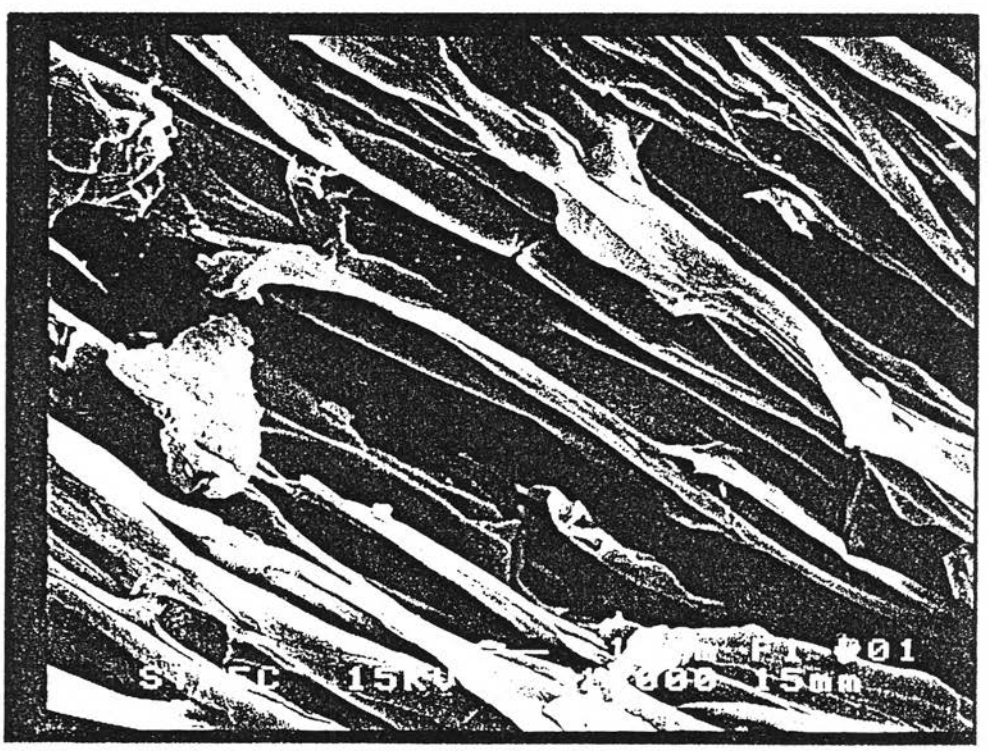


(ข)

รูปที่ 4.9 **ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ**
(ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

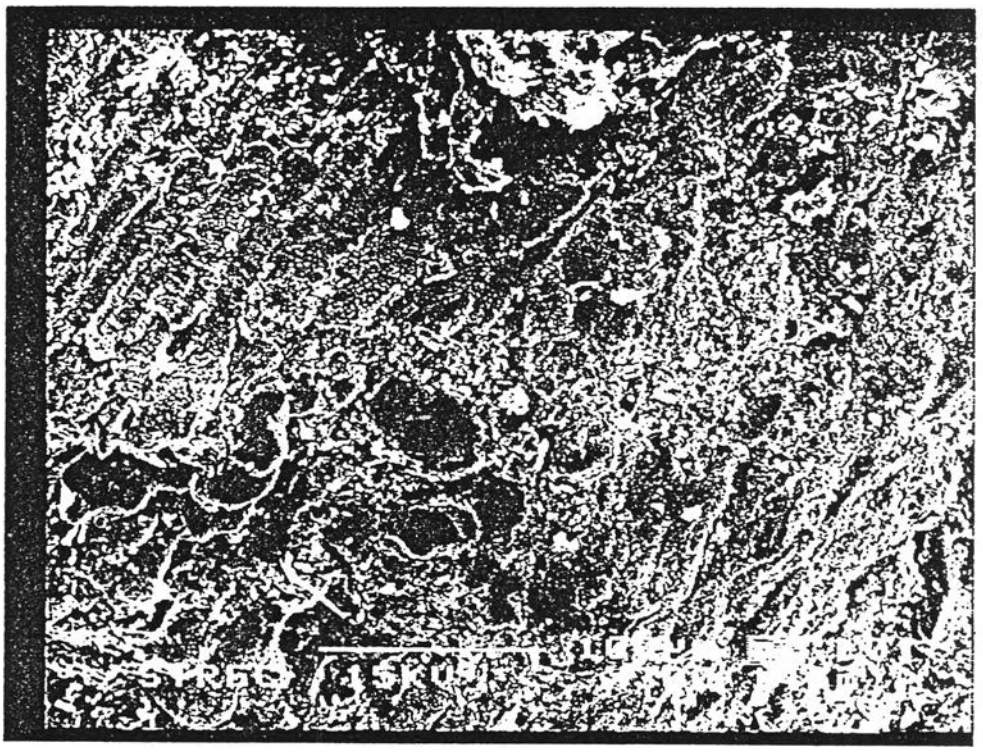


(ก)

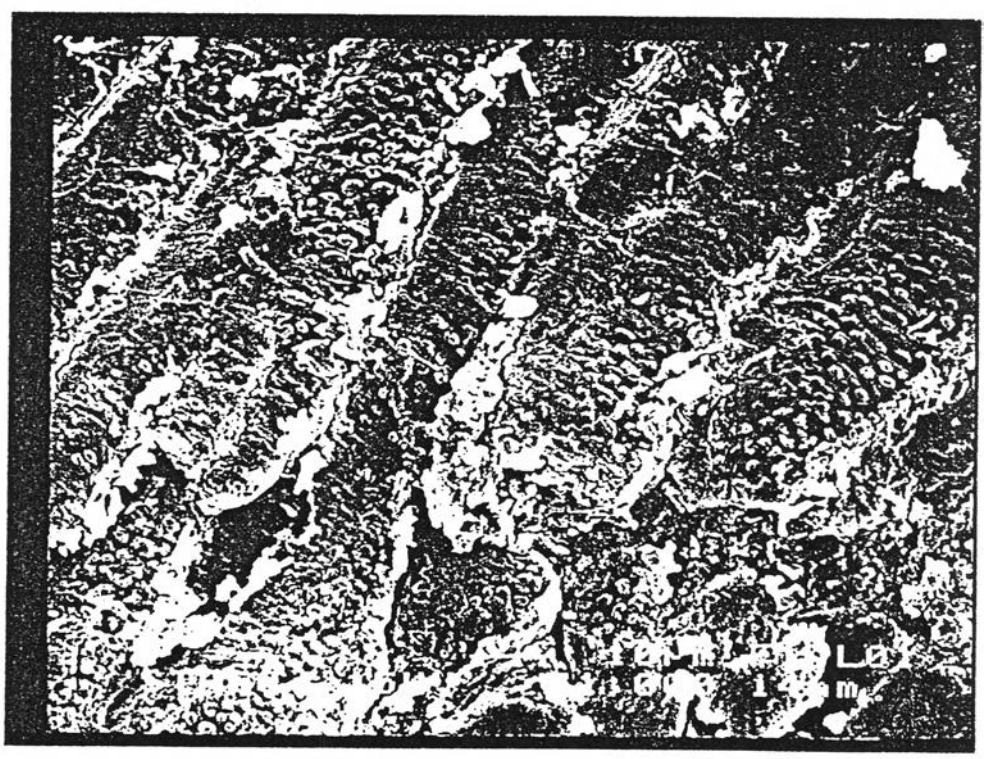


(ข)

รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

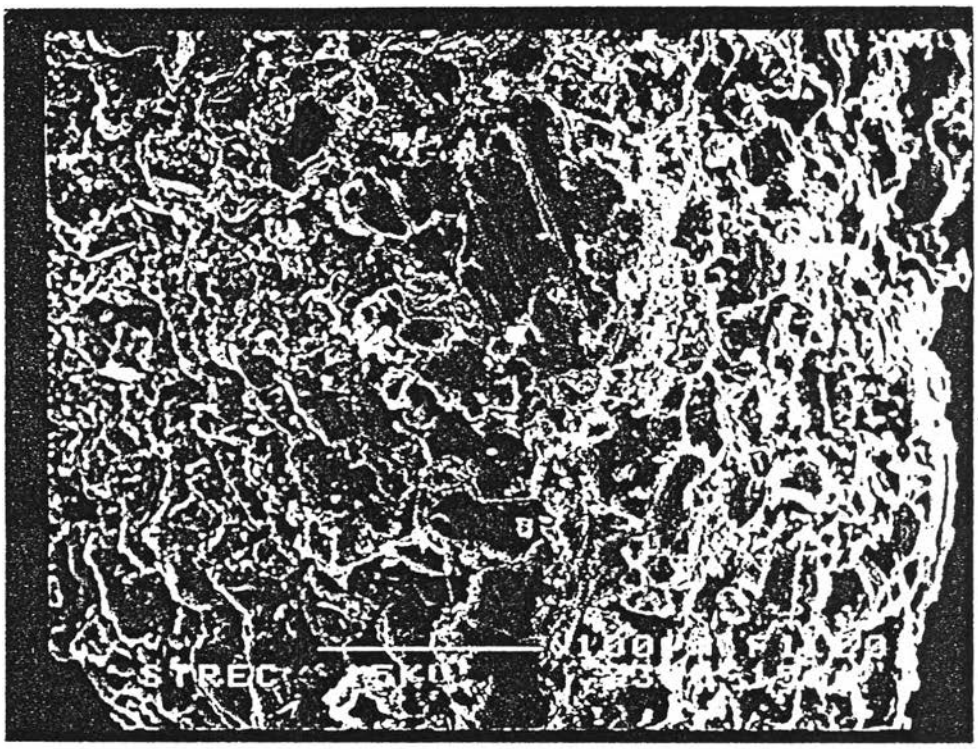


(ก)

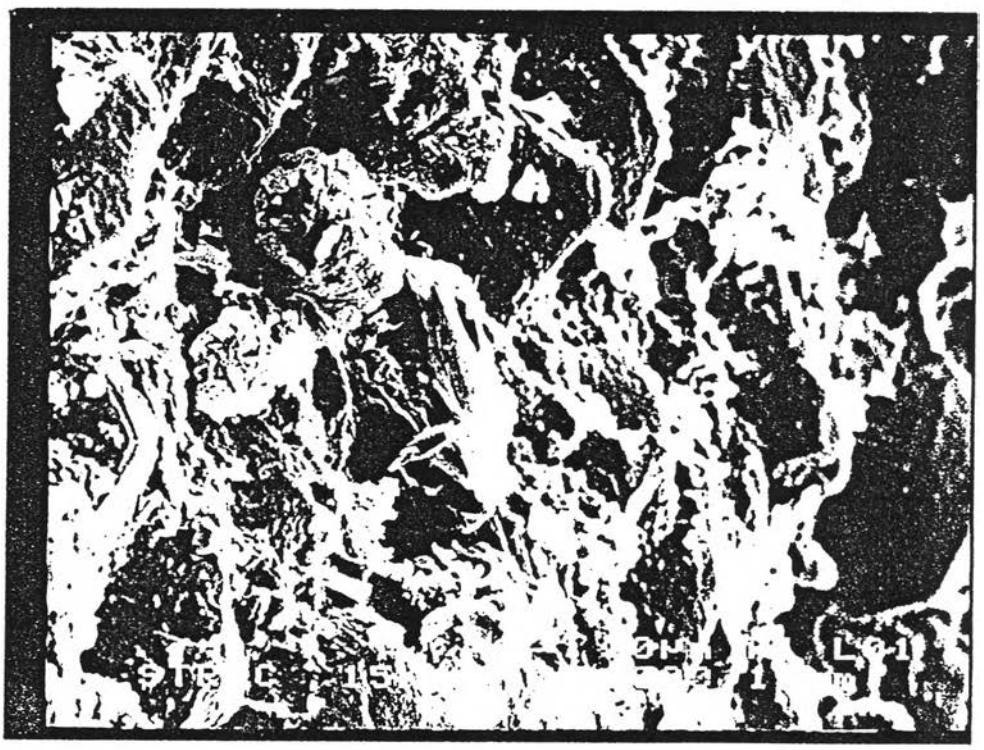


(ข)

รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ
(ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

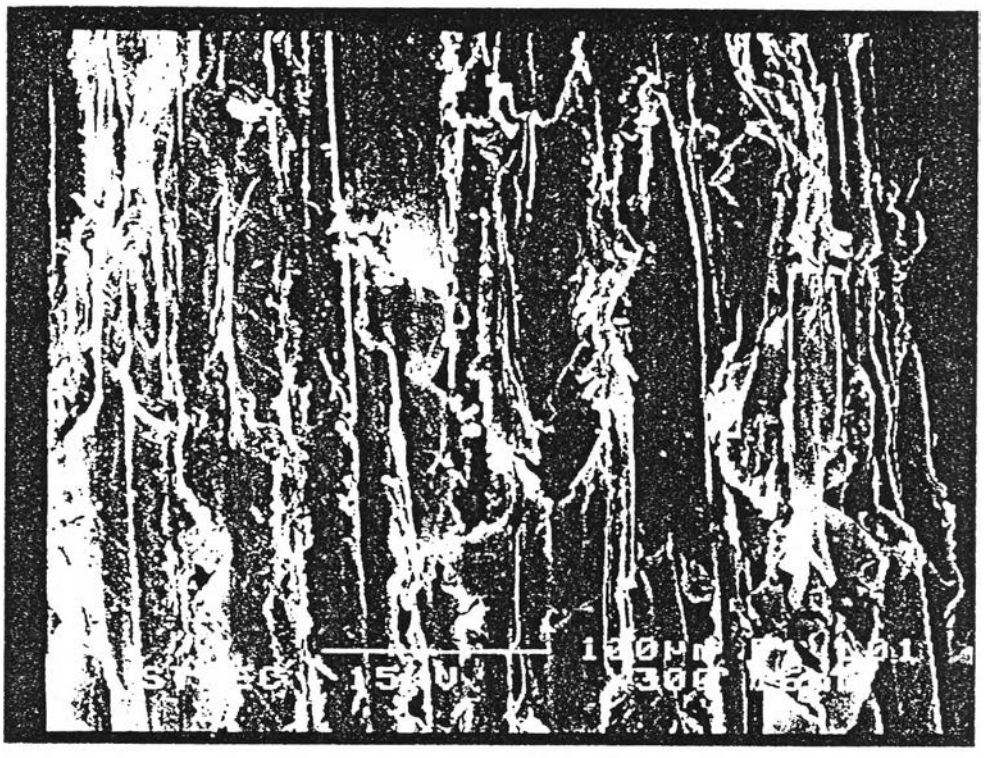


(ก)

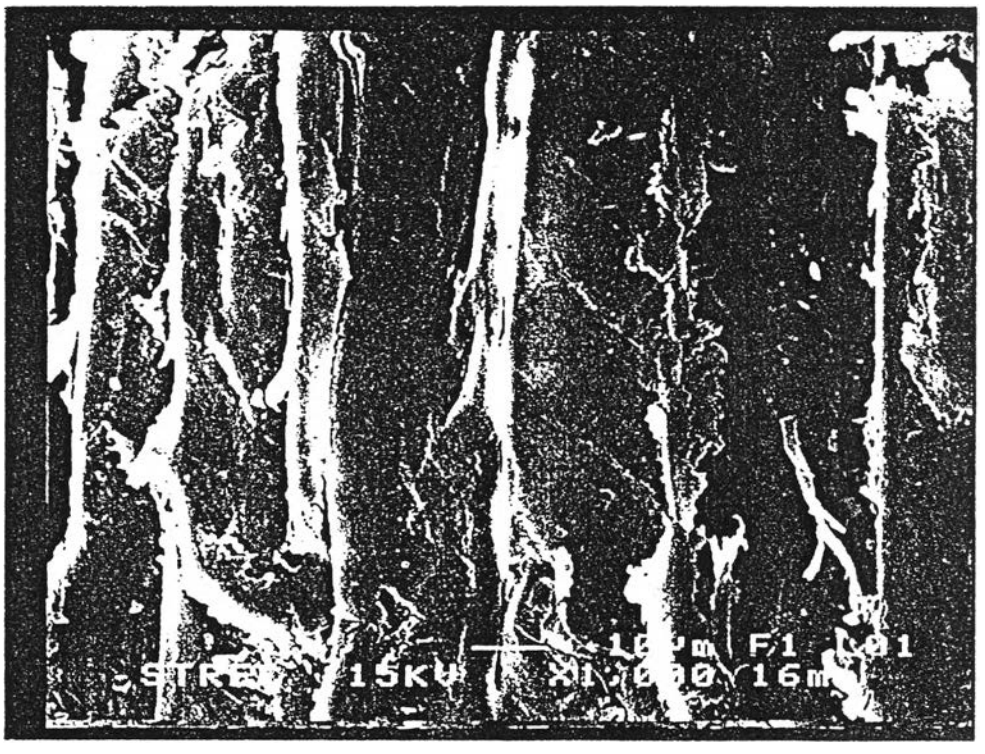


(ข)

รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

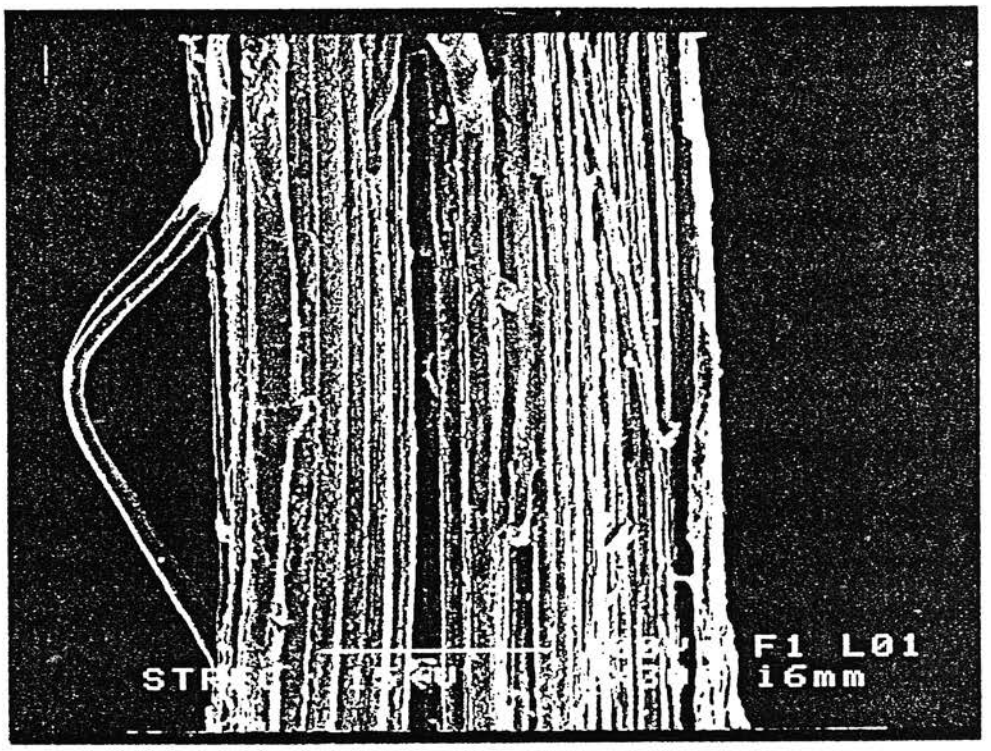


(ก)

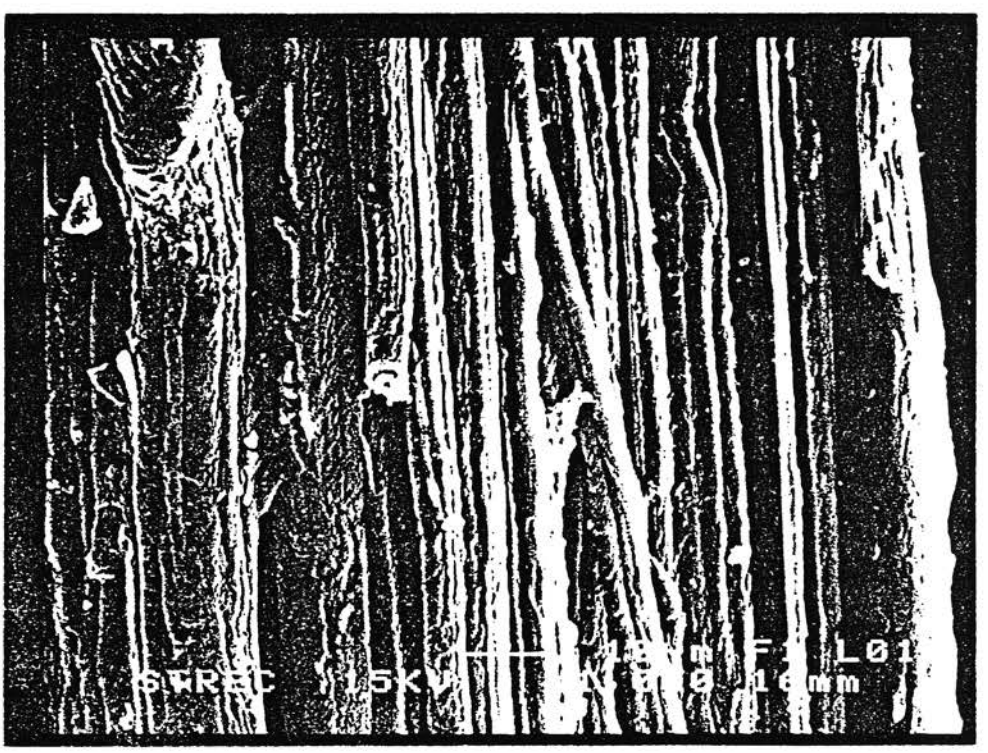


(ข)

รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ ภายหลังการกำจัดสี Remazol Black B (ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ภายหลังการกำจัดสี Remazol Black B (ก) กำลังขยาย 300 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

4.1.2 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุ

ความหนาแน่นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ (UNT) และชนิดที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (Q-R) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ฉ. พบว่า เส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มีค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 10.79 กรัมต่อลบ.ซม. ส่วนชานอ้อยและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ มีค่าความหนาแน่น 3.62 และ 1.70 กรัมต่อลบ.ซม. ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด และต่ำกว่าน้ำ จึงทำให้สามารถลอยน้ำได้ คือเท่ากับ 0.45 กรัมต่อลบ.ซม. และเมื่อพิจารณาแต่ละวัสดุ จะพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีไฮโดรคาร์บอนส่วนหนึ่งทำหน้าที่ประสานให้เกิดความเหนียวแน่น ทำให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าเมื่อไม่ได้ปรับสภาพ (Laszlo, 1994) คือมีสัดส่วนความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 3.04, 3.68 และ 6.62 เท่าตามลำดับ

4.1.3 ผลการศึกษาการบวมน้ำของวัสดุ

พบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มีค่าการบวมน้ำสูงสุด คือ 2.61 มล.เปียกต่อมล.แห้ง และเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าการบวมน้ำต่ำที่สุด เท่ากับ 1.32 มล.เปียกต่อมล.แห้ง ดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ฉ. นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในแต่ละวัสดุ พบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มเมื่อผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีค่าการบวมน้ำมากกว่า เมื่อไม่ได้ปรับสภาพ 1.43, 1.31 และ 1.02 เท่าตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ		ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	การบวมน้ำ (มล.เปียกต่อมล.แห้ง)
ชานอ้อย	UNT	1.19	1.40
	Q-R	3.62 (3.04)	2.00 (1.43)
ผักตบชวา	UNT	0.45	2.00
	Q-R	1.70 (3.78)	2.61 (1.31)
เส้นใยลูกปาล์ม	UNT	1.63	1.32
	Q-R	10.79 (6.62)	1.35 (1.02)

หมายเหตุ: ( ) สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของ Q-R เทียบกับ UNT ของวัสดุแต่ละชนิด

4.1.4 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุ

จากผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ โดยใช้ BET Method และ BJH Method พบว่าพื้นที่ผิวที่ได้จาก BET Method จะให้ค่าพื้นที่ผิวสูงกว่า BJH Method ดังตารางที่ 4.2 และภาคผนวก ช. เพราะ BET Method คิดค่าการกระจายรูพรุนทั้งหมด ใช้หลักการดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนผิวของแข็ง โดยที่ก๊าซไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุล 2.1976 อังสตรอม ดังนั้นค่า BET Surface Area ที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นค่าจากขนาดตั้งแต่ 2.1976 อังสตรอมขึ้นไป ส่วน BJH Method ไม่คิดค่าการกระจายในรูพรุนขนาดเล็ก คือวัดค่าการกระจายในรูพรุนขนาดระหว่าง 17-3000 อังสตรอม (ชลธา, 2538) โดยขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีพื้นที่ผิว (BET Surface Area) มากกว่าขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพเล็กน้อย คือเท่ากับ 6.51 และ 6.16 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ แต่มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเล็กกว่า คือเท่ากับ 40.8027 และ 46.4232 อังสตรอม ตามลำดับ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเกาะที่โครงสร้างของเซลลูโลสของสารคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ทำให้มีโครงสร้างใหญ่ขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ขนาดรูพรุนเล็กลง ส่งผลให้ปริมาตรของรูพรุนลดลงด้วย

ภายหลังการผ่านการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ (Remazol Black B) แล้ว ได้นำวัสดุทั้ง 2 มาวิเคราะห์อีกครั้ง พบว่าไม่พบความแตกต่างที่เด่นชัดของพื้นที่ผิวในขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมดังกล่าว ส่วนขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าหลังผ่านการบำบัดสี Remazol Black B พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุนลดลงเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าเกิดจากน้ำสีย้อมสังเคราะห์ดังกล่าว ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี สามารถผ่านเข้าไปในรูพรุนต่างๆ ของวัสดุได้ถูกดูดซับและเข้าไปเกาะติดอยู่ภายในผิวของวัสดุเล็กน้อย ทำให้พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุนลดลง

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

แบ่งการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ 3 ชนิดคือ ขานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำคอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อม และการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่า

ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุน ของชานอ้อย

ลักษณะ	ก่อนการบำบัดสี		หลังการบำบัดสี (Remazol Black B)	
	UNT	Q-R	UNT	Q-R
พื้นที่ผิว				
BET Surface Area (sq.m./g)	6.1605	6.5103	6.0725	4.1872
BJH Cumulative Adsorption Surface Area of Pore between 17-3000 A. dia. (sq.m./g)	3.8774	3.9049	3.8904	2.4623
BJH Cumulative Desorption Surface Area of Pore between 17-3000 A. dia. (sq.m./g)	4.1667	4.0757	4.1073	2.5250
ปริมาตรของรูพรุน				
BJH Cumulative Adsorption Pore Volume of Pore between 17-3000 A. dia. (cc./g)	0.005952	0.005326	0.006120	0.003302
BJH Cumulative Desorption Pore Volume of Pore between 17-3000 A. dia. (cc./g)	0.005593	0.005062	0.005732	0.003166
ขนาดของรูพรุน (4V/A)				
Average Pore Diameter (by BET) (A)	46.4232	40.8027	47.9331	40.1031
BJH Adsorption Average Pore Diameter (A)	61.4032	54.5620	62.9206	53.6350
BJH Desorption Average Pore Diameter (A)	53.6897	49.6809	55.8213	50.1617

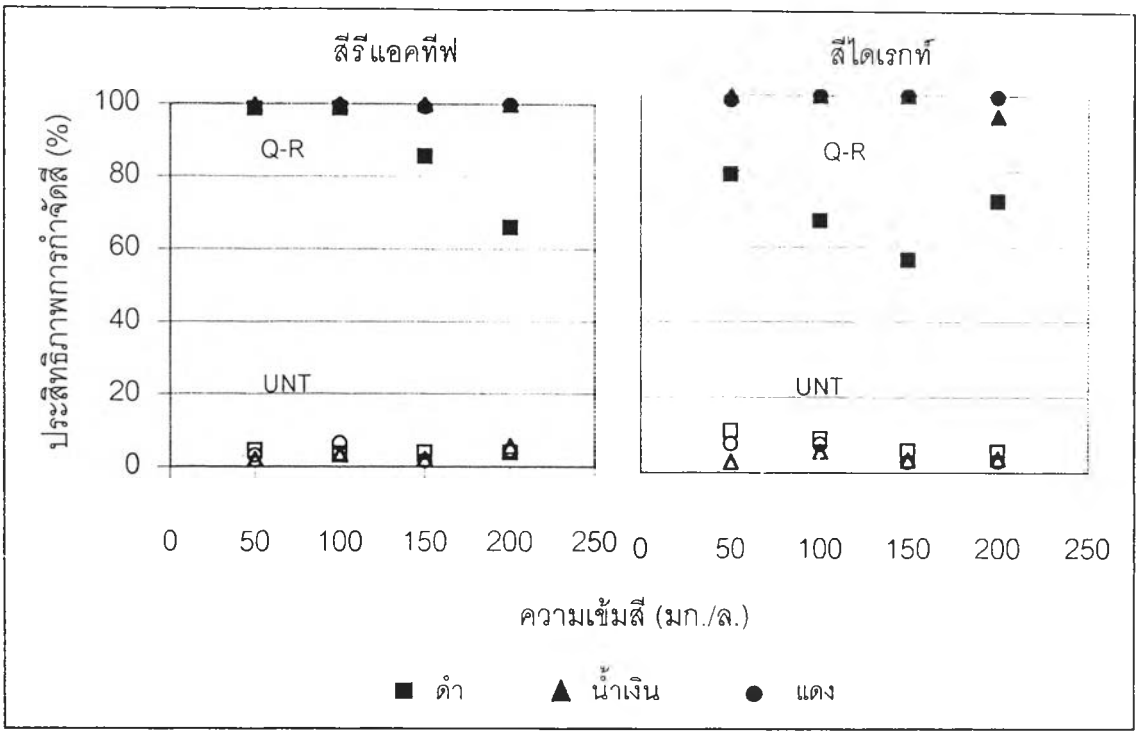
4.2.1 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อม

4.2.1.1 ผลการทดลองแบบแบตช์

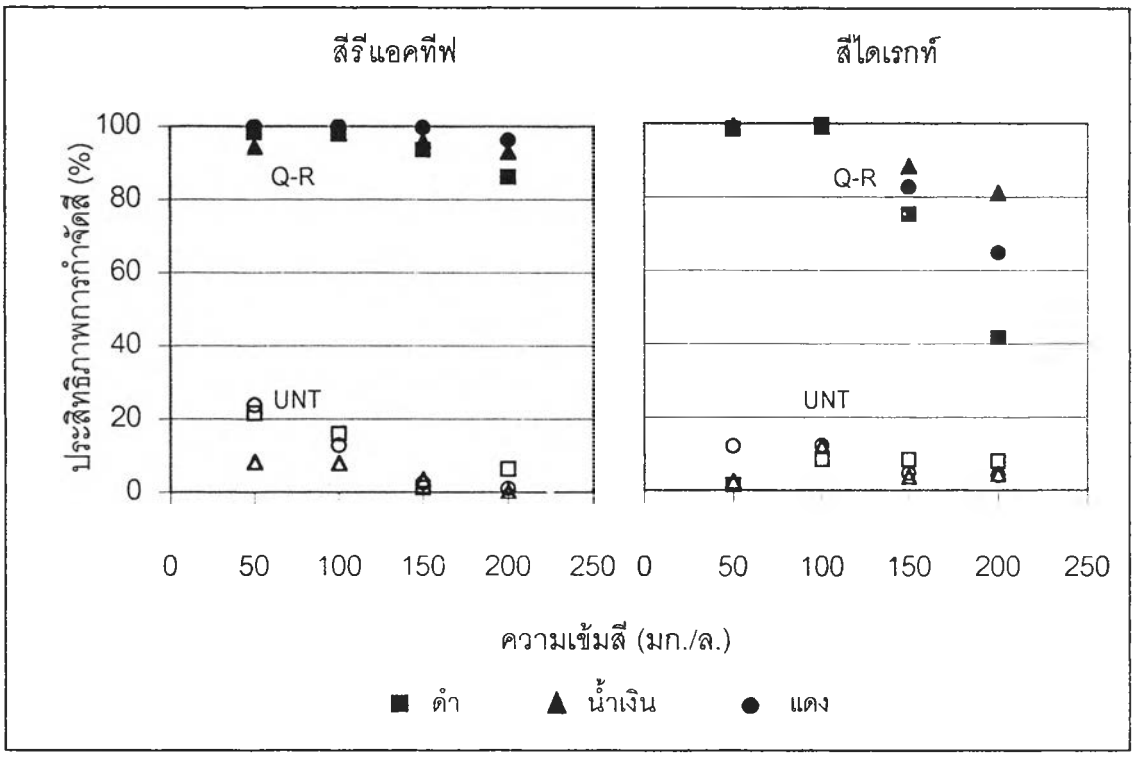
ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำย้อมของวัสดุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.15 ถึง 4.21 และภาคผนวก ก. พบว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20-23.78 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.02 ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์มาก คืออยู่ในช่วงร้อยละ 41.56-100 ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 91.54 โดยในกลุ่มวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ ความเข้มข้นของสีย้อมจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุเล็กน้อย ส่วนวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะมีแนวโน้มแตกต่างกันในแต่ละชนิดสีและชนิดของวัสดุที่ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น และจะค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง เช่น การกำจัดสีไดเรกท์ของเส้นใยลูกปาล์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งคาดว่าเกิดจากความเข้มข้นของสีย้อมที่น้อยเกินไป ทำให้ไอออน

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของวัสดุต่าง ๆ โดยการทดลองแบบแบตช์

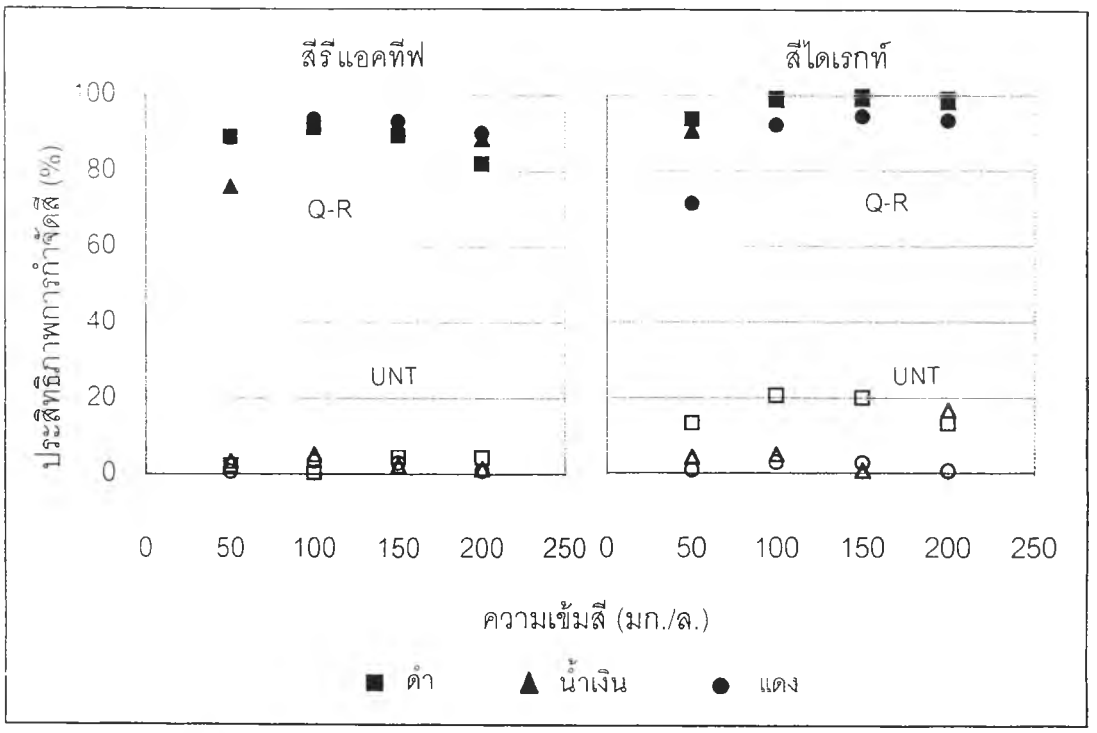
สี	ความเข้มสี	ชานอ้อย		ผักตบชวา		เส้นใยลูกปาล์ม	
	(มก./ล.)	UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
ลีรีแอคทีฟ							
Remazol	50	4.50	98.66	21.57	98.34	2.21	89.06
Black B	100	3.53	98.67	15.93	98.03	0.42	91.42
	150	3.93	85.54	1.24	93.60	4.61	89.47
	200	3.92	66.05	6.41	86.28	4.46	81.92
Remazol	50	2.09	99.89	8.28	94.36	3.35	75.77
Brilliant	100	3.30	100.00	7.95	98.02	5.32	92.74
Blue R	150	2.09	99.97	3.57	96.07	2.34	91.23
	200	5.68	99.88	0.20	93.07	1.39	88.54
Remazol	50	3.17	98.64	23.78	100.00	0.77	88.58
Brilliant	100	6.35	99.41	12.82	100.00	3.46	93.91
Red 3BS	150	1.58	99.16	2.52	99.77	3.04	93.23
	200	4.54	99.78	0.99	96.26	0.83	90.11
ลีไดเรกท์							
Best Direct	50	11.04	79.18	1.51	98.56	13.23	93.72
Black B	100	8.93	66.91	8.41	99.57	20.47	99.09
	150	5.84	56.61	8.38	75.30	19.98	99.70
	200	5.55	72.11	7.94	41.56	13.17	98.97
Sirius Blue	50	2.89	99.94	2.50	99.44	4.27	90.61
KCFN	100	5.63	99.97	12.07	99.32	5.04	98.90
	150	3.46	100.00	3.85	88.48	0.78	99.20
	200	3.71	94.41	4.48	81.06	16.62	98.23
Sirius Rubine	50	7.76	98.79	12.13	98.57	0.89	71.34
KZBL	100	7.54	100.00	12.35	99.37	2.87	92.21
	150	2.82	100.00	4.75	82.65	2.76	94.39
	200	2.94	99.52	4.16	64.74	0.51	93.35



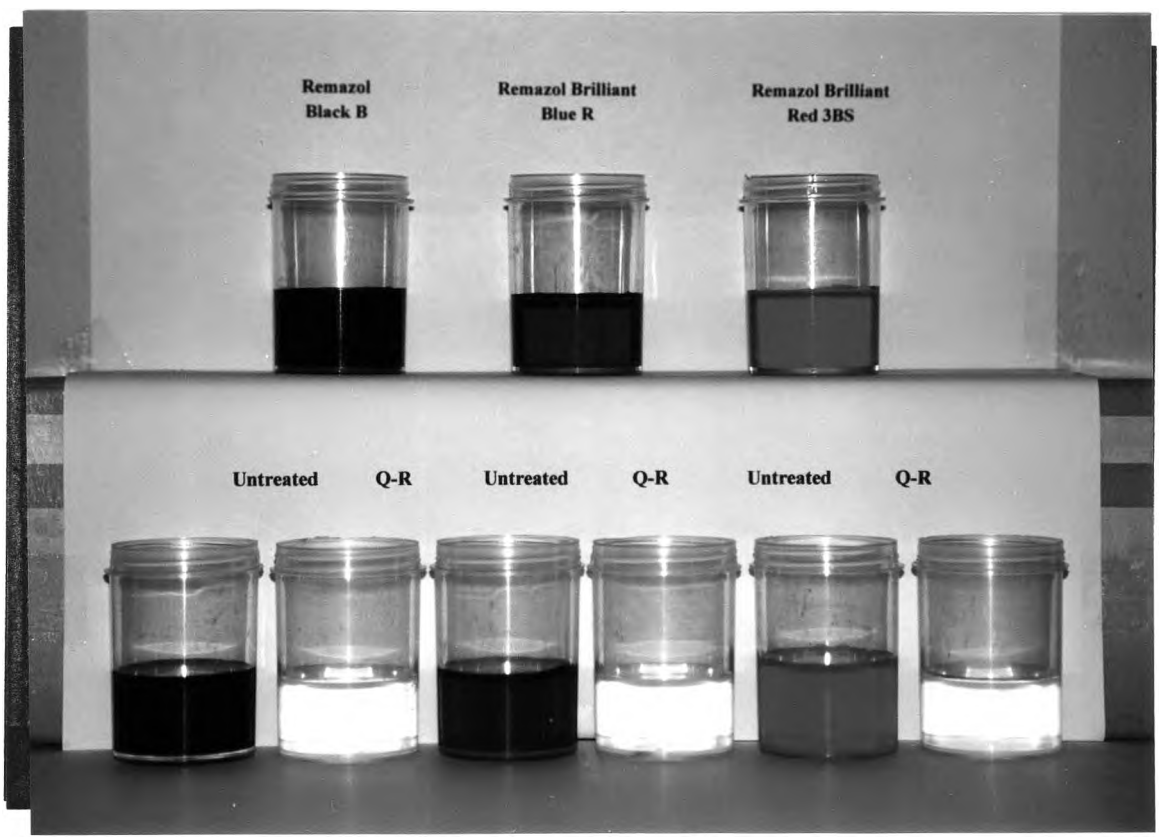
รูปที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของชานอ้อย



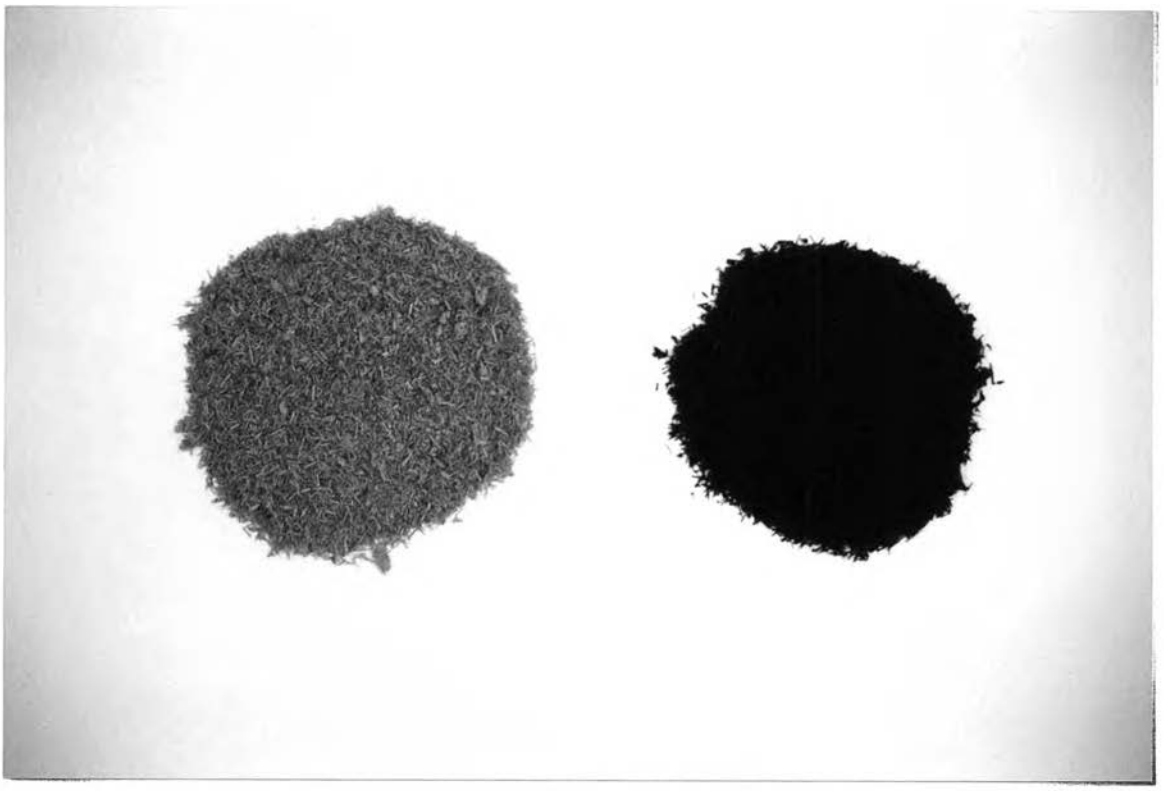
รูปที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของผักตบชวา



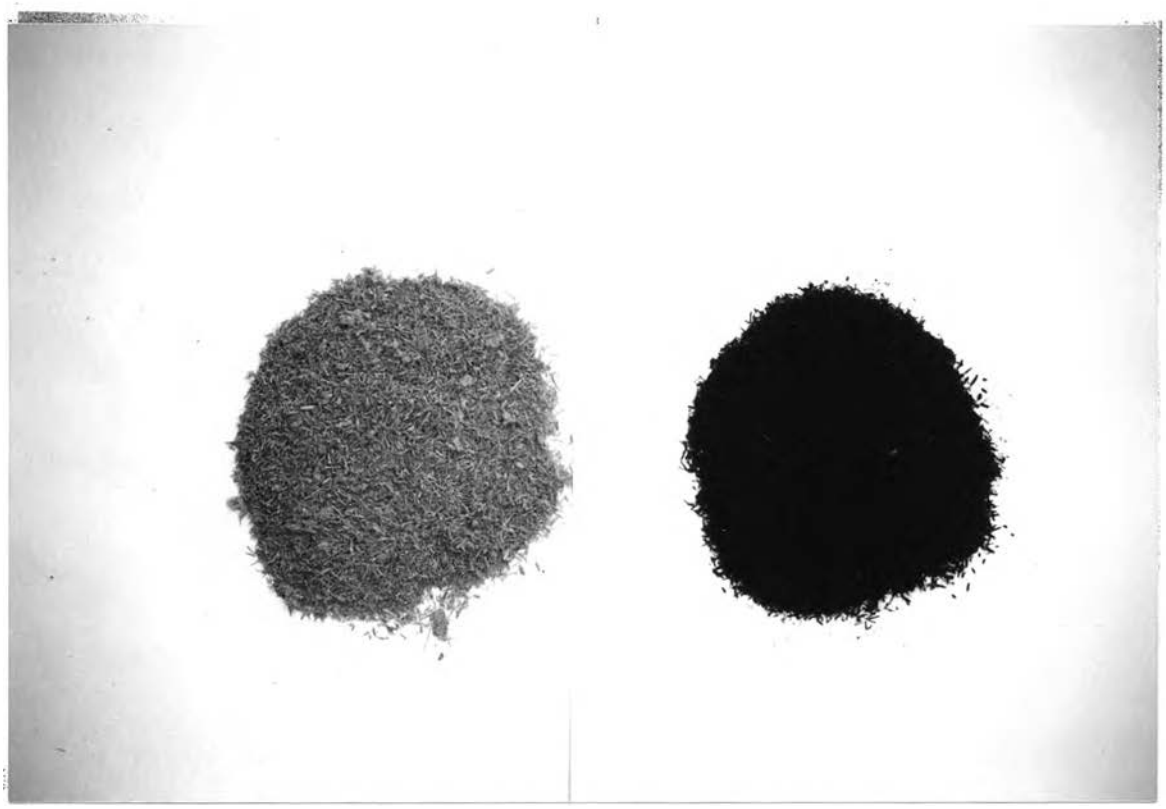
รูปที่ 4.17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเส้นใยลูกปาล์ม



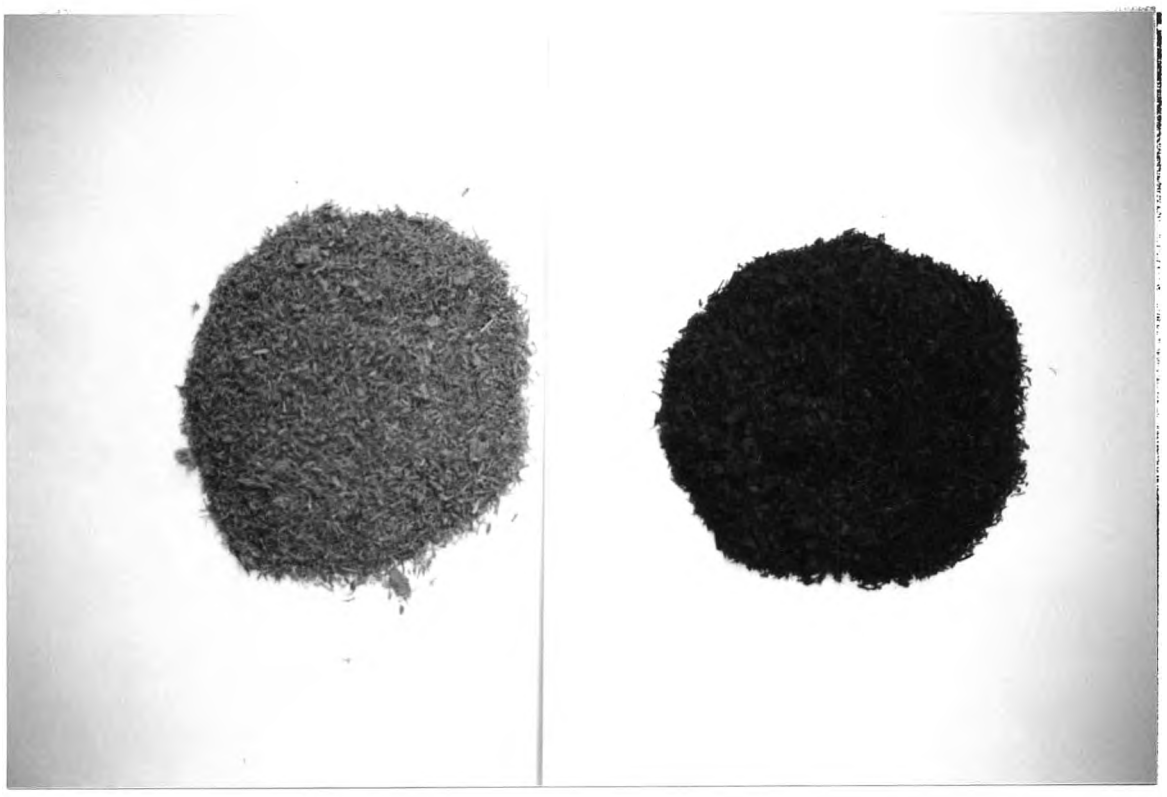
รูปที่ 4.18 สีรีแอคทีฟความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนและหลังการบำบัดด้วย UNT และ Q-R ชานอ้อย



รูปที่ 4.19 Q-R ชานอ้อย ก่อน (ซ้าย) และหลังผ่านสี Remazol Black B (ขวา)



รูปที่ 4.20 Q-R ชานอ้อย ก่อน (ซ้าย) และหลังผ่านสี Remazol Brilliant Blue R (ขวา)



รูปที่ 4.21 Q-R ชานอ้อย ก่อน (ซ้าย) และหลังผ่านสี Remazol Brilliant Red 3BS (ขวา)

อิสระที่กระจายอยู่ในสารละลายมีน้อย โอกาสที่จะสัมผัสกับเรซินเพื่อแลกเปลี่ยนไอออนจึงเกิดขึ้นน้อยลง ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อยลง กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสีย้อม กลุ่มนี้คาดว่าเกิดจากช่วงความเข้มสีที่ใช้ในการศึกษา (50-200 มิลลิกรัม/ลิตร) ไม่กว้างพอที่จะเห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำเสียที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดของโรงงานฟอกย้อม อยู่ในช่วง 10-200 มิลลิกรัม/ลิตร (Valencia, 1999) ดังนั้นจึงทำการศึกษาในช่วงความเข้มข้นดังกล่าวเท่านั้น ตัวอย่างของวัสดุที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่นชานอ้อยที่กำจัดสีรีแอคทีฟ Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และกลุ่มสุดท้ายได้แก่กลุ่มที่มีประสิทธิภาพลดลง เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น เช่นการกำจัดสีไดเรกท์ของผักตบชวา ดังรูปที่ 4.16 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่างๆ ของวัสดุทั้งสาม ที่ความเข้มสีแตกต่างกัน ในตารางที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นสีไดเรกท์ Best Direct Black B ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ได้สูงสุดเพียงร้อยละ 79.18 ดังนั้นในการพิจารณาเลือกความเข้มข้นของสีย้อม เพื่อใช้ในการศึกษาแบบคอลัมน์ต่อไป จึงพิจารณาเลือกความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2.1.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิว

จากการศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีย้อมของ Q-R ชานอ้อย โดยใช้ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์และฟรุนดริช สามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 4.22 ถึง 4.23 และภาคผนวก ช. และเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 ของไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ พบว่าการกำจัดสีย้อมของ Q-R ชานอ้อยเข้ากับไอโซเทอมแบบแลงมัวร์มากกว่าแบบฟรุนดริช ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (บุณยฤทธิ์, 2543) ที่สรุปการกำจัดสีย้อมของ Q-R ซังข้าวโพด Q-R เปลือกถั่วเหลือง และ Q-R ก้านดอกทานตะวัน ว่าเป็นไปตามไอโซเทอมแบบแลงมัวร์เช่นเดียวกัน ค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีย้อมของ Q-R ชานอ้อย (q_{max}, มิลลิกรัม/กรัม) แสดงดังตารางที่ 4.4

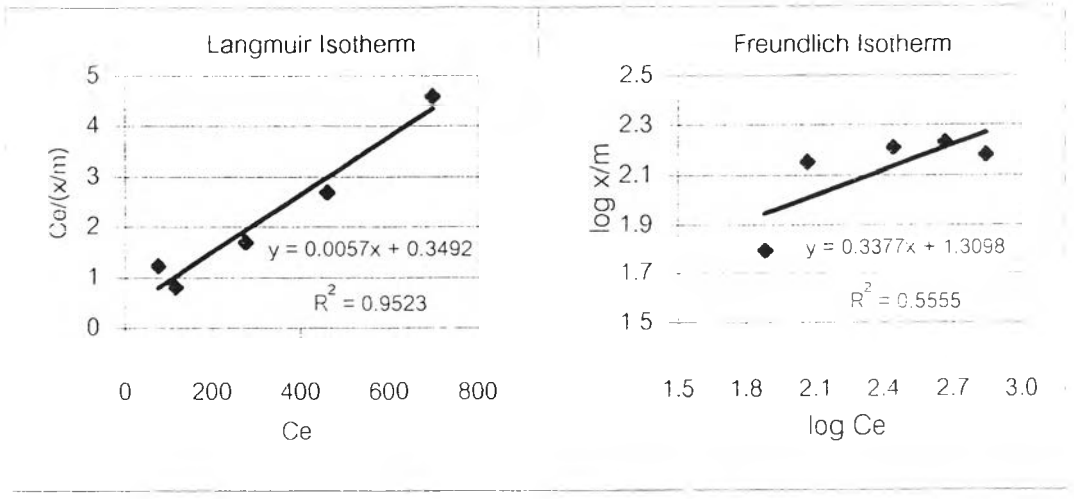
ตารางที่ 4.4 ความสามารถสูงสุดในการจับสีย้อมต่าง ๆ ของ Q-R ชานอ้อย

สี		แลงมัวร์		ฟรุนดริช
		q_{max}	R^2	R^2
รีแอคทีฟ	Remazol Black B	175	0.95	0.56
	Remazol Brilliant Blue R	192	1	0.98
	Remazol Brilliant Red 3BS	169	0.99	0.98
ไดเรกท์	Best Direct Black B	104	0.99	0.95
	Sirius Blue KCFN	85	0.97	0.95
	Sirius Rubine KZBL	83	0.95	0.92

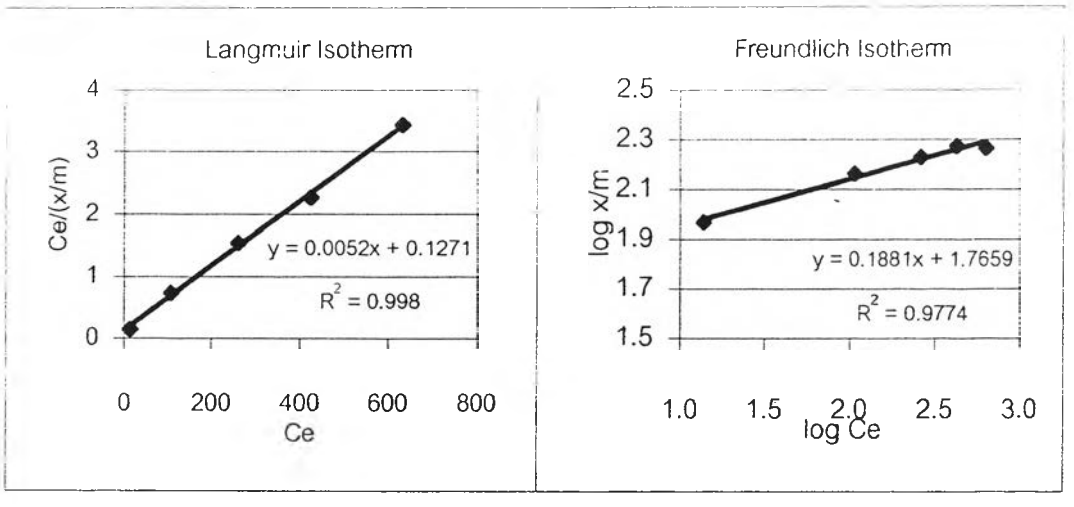
4.2.1.3 ผลการทดลองแบบคอลัมน์

1. การเลือกความสูงของเรซินที่เหมาะสม

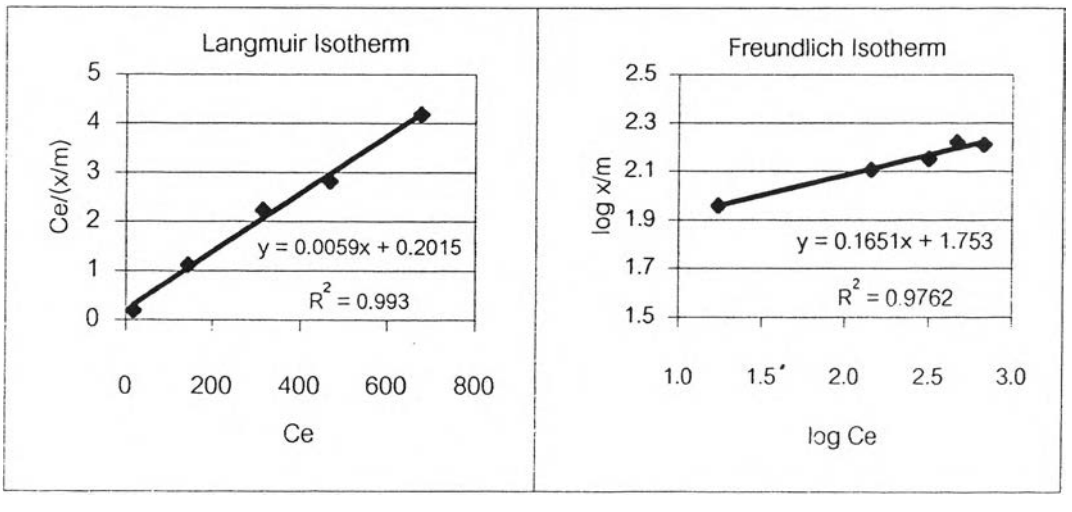
จากการแปรค่าขอบเขตการทำปฏิกิริยาหรือความสูงของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ 3 ค่าคือ 9 18 และ 27 เซนติเมตร ที่บรรจุในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร คิดเป็นอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ต่อความสูงของเรซินได้เท่ากับ 1:5 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ โดยให้น้ำเสียสีย้อมไดเรกท์ (Best Direct Black B) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ไหลผ่าน สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ ช.1 ในภาคผนวก ช. และรูปที่ 4.24 และ 4.25 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วยลิตรและปริมาตรเบด กับร้อยละการกำจัดสี โดยเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการกำจัด



(ก) สี Remazol Black B

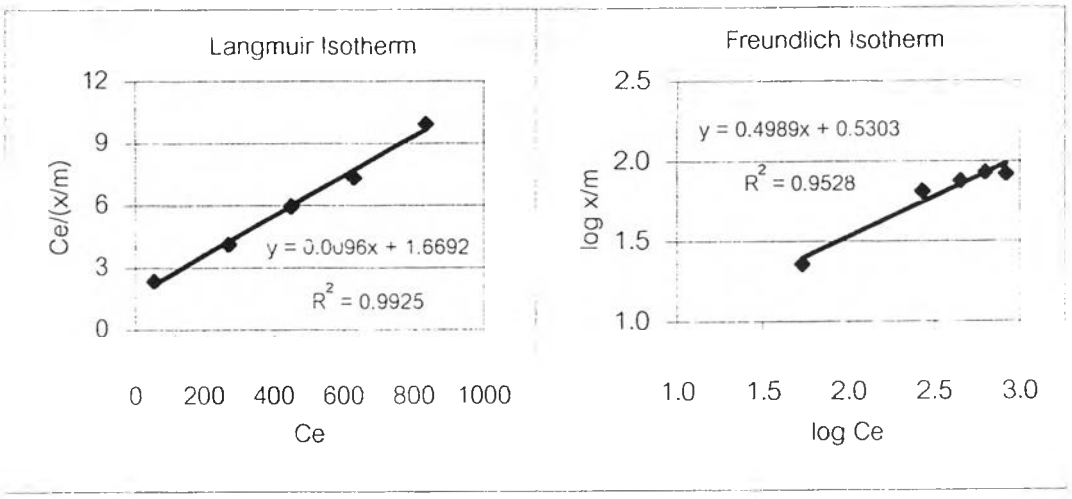


(ข) สี Remazol Brilliant Blue R

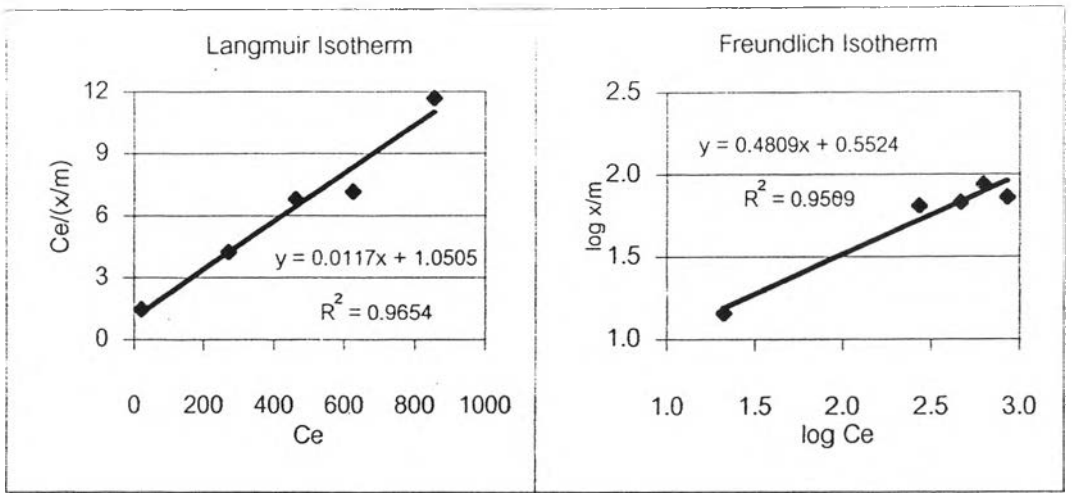


(ค) สี Remazol Brilliant Red 3BS

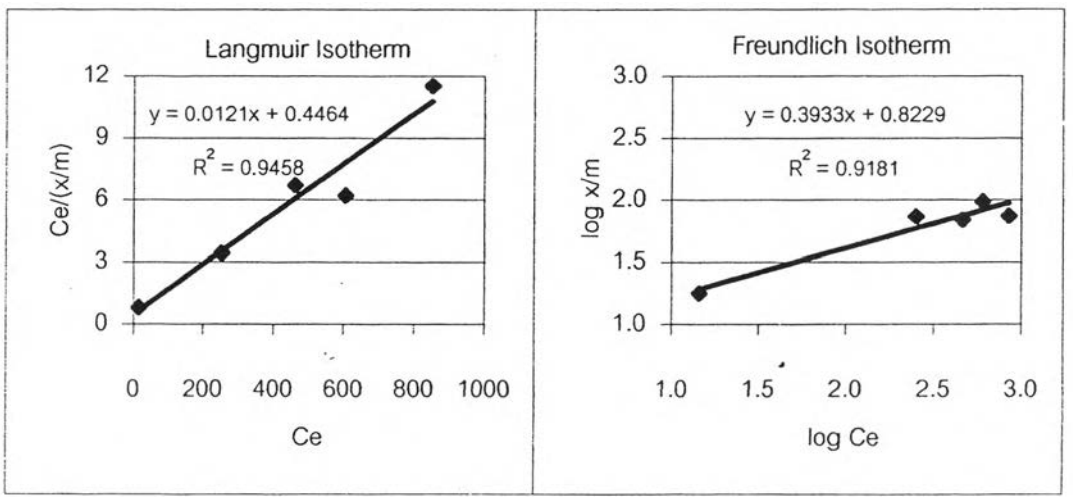
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีรีแอคทีฟของ Q-R ซานอ้อย



(ก) สี Best Direct Black B

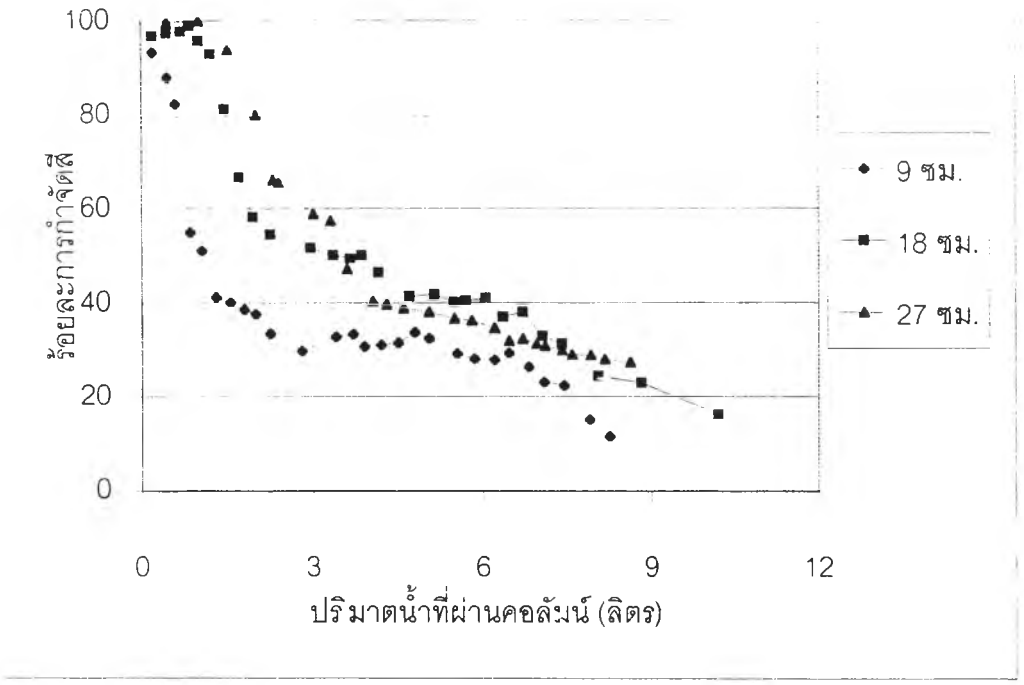


(ข) สี Sirius Blue KCFN

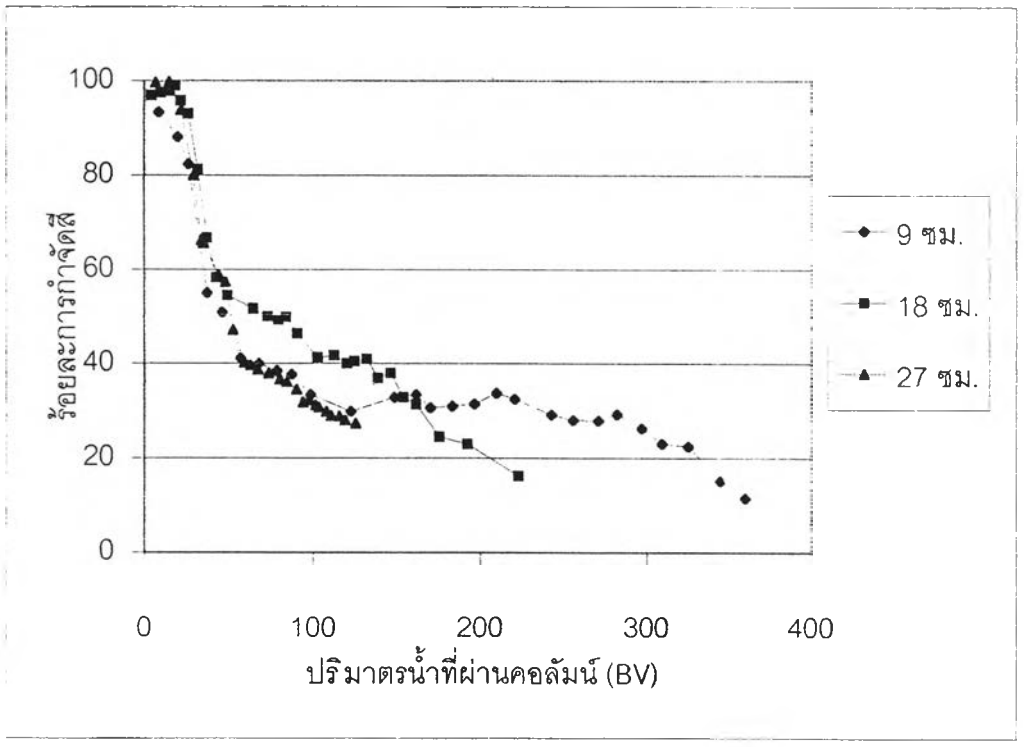


(ค) สี Sirius Rubine KZBL

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับสีไดเรกท์ของ Q-R ชานอ้อย



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วยลิตร กับร้อยละการกำจัดสี



รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วยปริมาตรเบดกับร้อยละการกำจัดสี

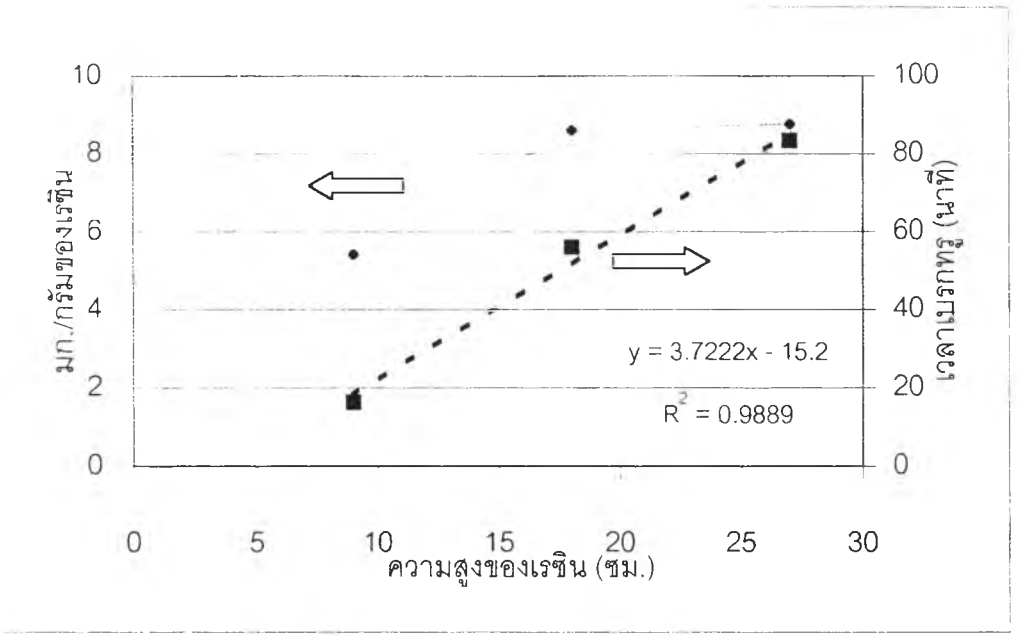
สีที่ร้อยละ 90 และ 50 ในแต่ละความสูงของเรซิน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเรซินกับปริมาณสีย้อมที่บำบัดได้ในหน่วยมิลลิกรัม/กรัมของเรซิน และเวลาเบรกทรู จากกราฟจะเห็นได้ว่า เวลาเบรกทรูจะแปรผันตรงกับความสูงของเรซิน กล่าวคือเมื่อความสูงของเรซินมากขึ้นหรือปริมาณเรซินเพิ่มขึ้น เวลาเบรกทรูจะยาวนานขึ้นนั่นเอง และเมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดสีที่แต่ละความสูงของเรซิน พบว่า เรซินที่มีความสูง 9 เซนติเมตร จะมีความสามารถในการกำจัดสีต่อ 1 กรัมต่ำกว่า 18 และ 27 เซนติเมตร นอกจากนี้เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ร้อยละ 90 จะได้ว่าความสูงของเรซิน 18 และ 27 เซนติเมตร มีความสามารถในการกำจัดสีใน 1 กรัมของเรซินได้ใกล้เคียงกัน ส่วนที่ร้อยละการกำจัดสีเท่ากับ 50 เรซินสูง 18 เซนติเมตร จะมีความสามารถสูงกว่าเล็กน้อย ดังนั้นในการทดลองแบบคอลัมน์ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้เรซินที่ความสูง 18 เซนติเมตร หรืออัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ต่อความสูงของเรซินได้เท่ากับ 1:10 เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งในด้านของความสามารถในการกำจัดสี และเวลาเบรกทรู

2. ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ

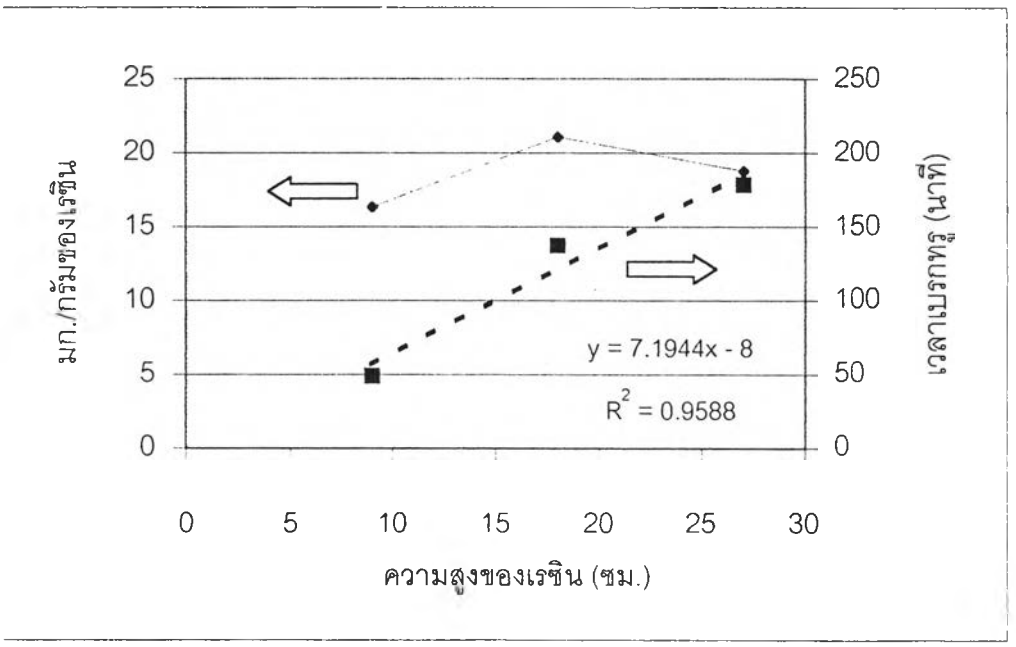
จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อม ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นวัสดุสูง 18 เซนติเมตร โดยแต่ละคอลัมน์จะใช้ปริมาณวัสดุแตกต่างกันคือ ชานอ้อย ผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์ม ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพจะใช้ปริมาณ 8.2 6.1 และ 27.5 กรัม ตามลำดับ และที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ปริมาณ 13 3.5 และ 30 กรัมตามลำดับ

2.1 สี Remazol Black B

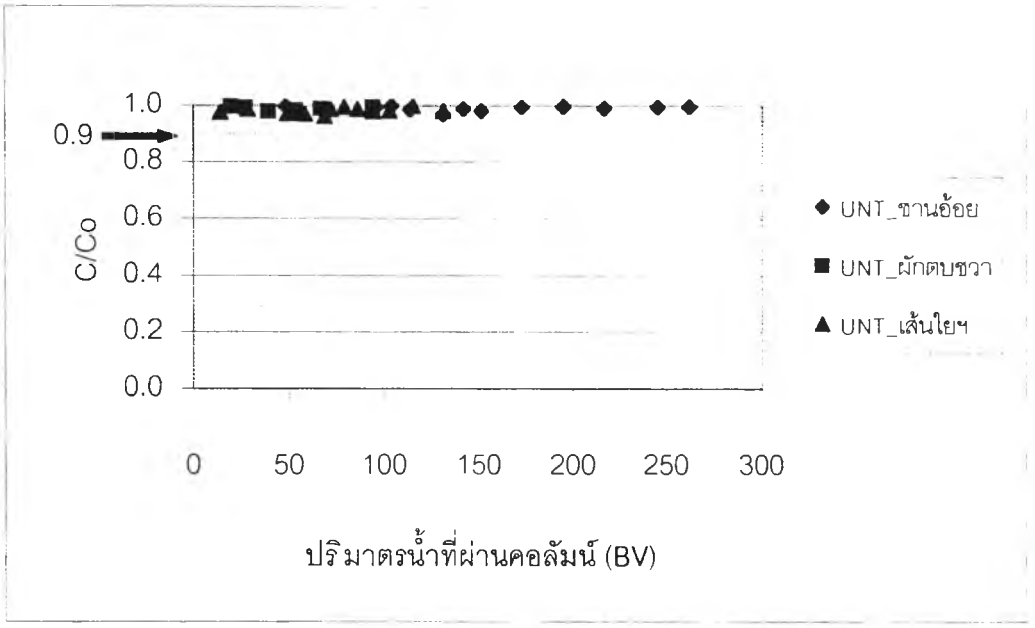
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Black B ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่าวัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Black B ได้ต่ำมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 4 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Black B ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 และภาคผนวก ข. นอกจากนี้เมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์



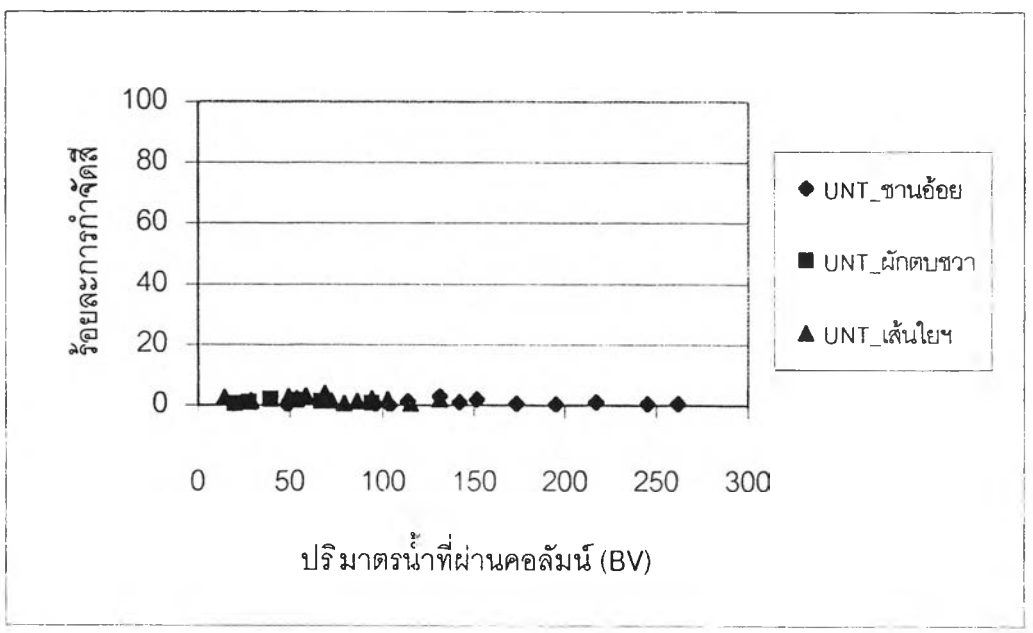
รูปที่ 4.26 แสดงความสามารถในการกำจัดสีที่ร้อยละ 90 ต่อกรัมของเรซิน ที่ความสูงของเรซินต่าง ๆ



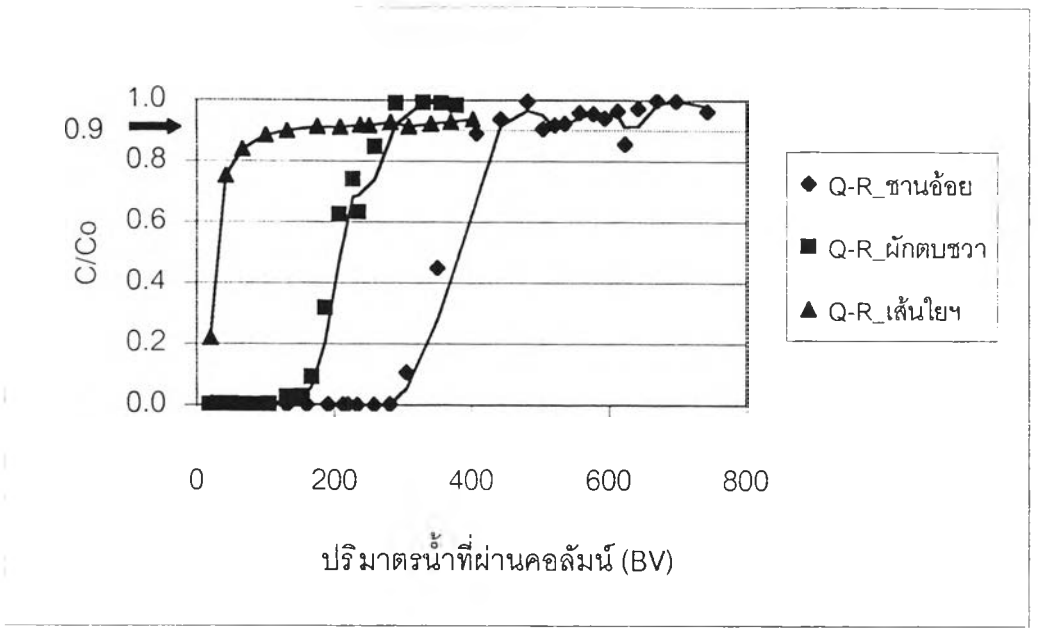
รูปที่ 4.27 แสดงความสามารถในการกำจัดสีที่ร้อยละ 50 ต่อกรัมของเรซิน ที่ความสูงของเรซินต่าง ๆ



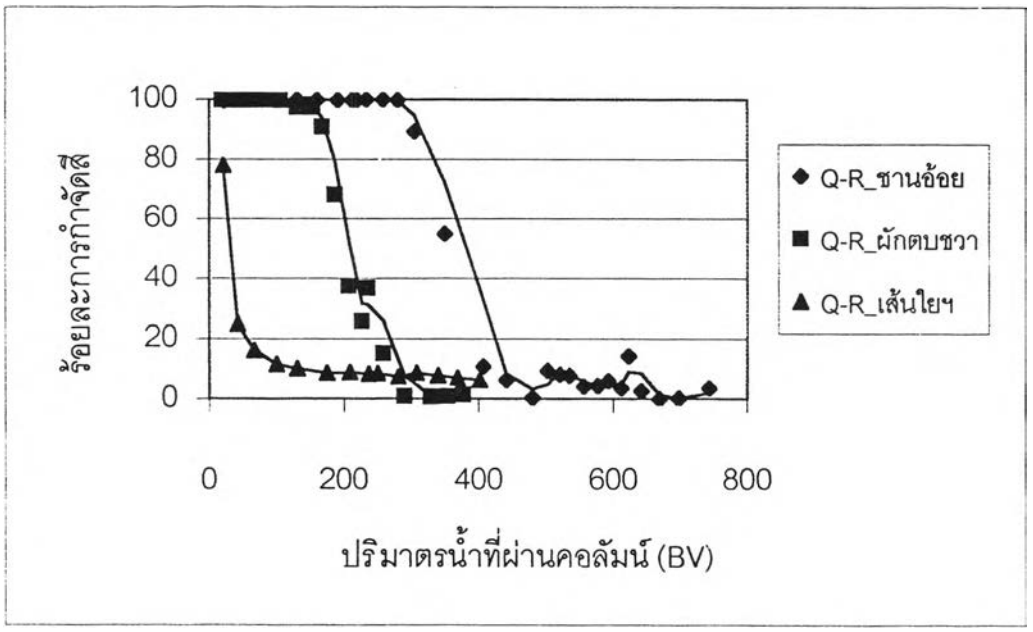
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

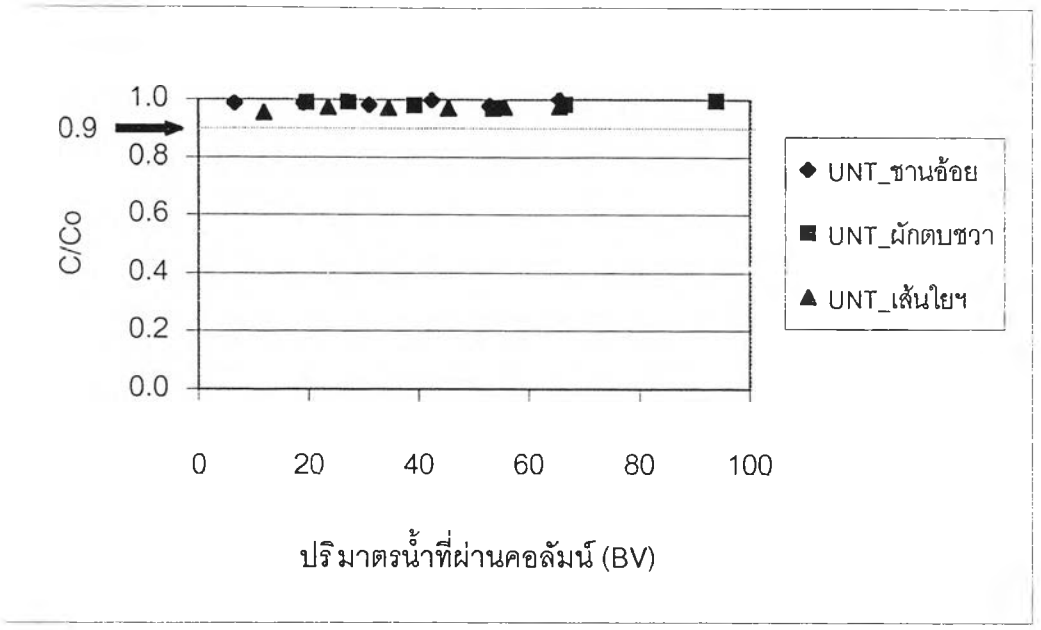
เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 400 300 และ 190 ปริมาตรบด ตามลำดับ (1 ปริมาตรเบด เท่ากับ 45.82 มิลลิลิตร) หรือคิดเป็น 141 393 และ 29 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุตามลำดับ

2.2 สี Remazol Brilliant Blue R

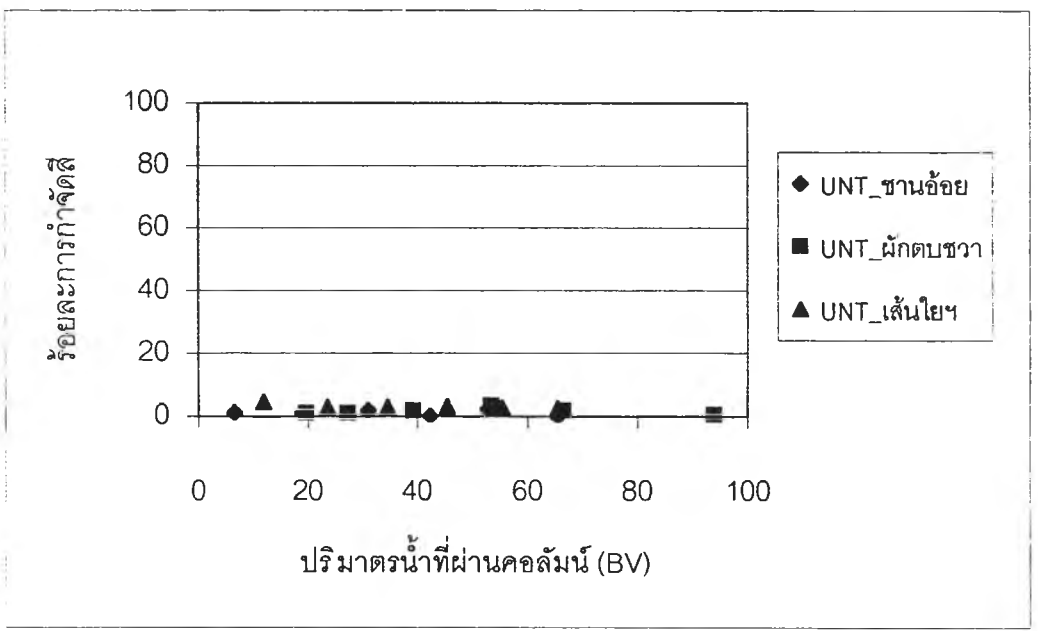
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่า วัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ได้ต่ำมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ ดังรูปที่ 4.34 และ 4.35 และภาคผนวก ข. นอกจากนี้เมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 700 400 และ 350 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 247 523 และ 53 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

2.3 สี Remazol Brilliant Red 3BS

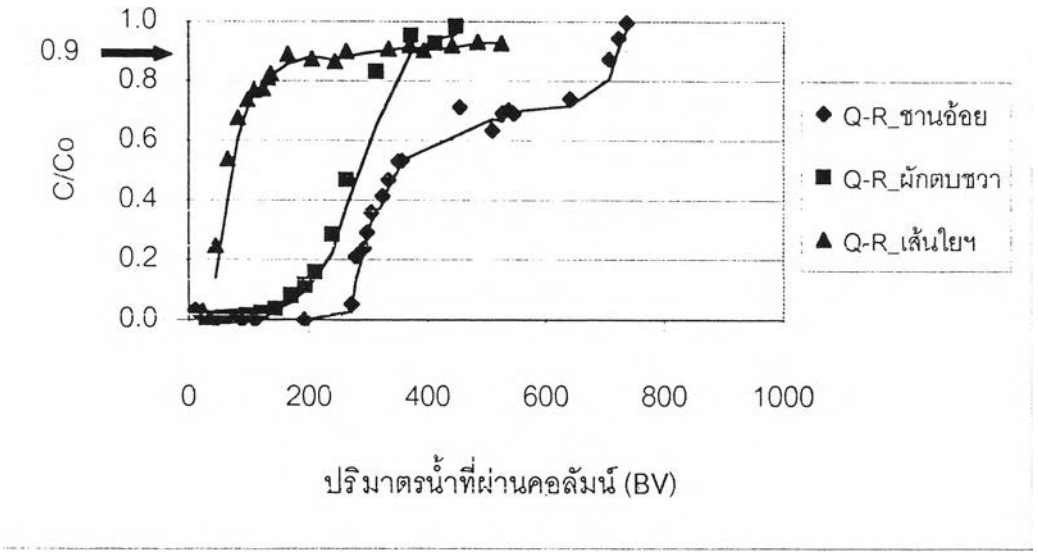
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่า วัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ได้ต่ำมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.36 และ 4.37 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ ดังรูปที่ 4.38 และ 4.39 และภาคผนวก ข. นอกจากนี้เมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 700 400 และ 390 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 247 523 และ 60 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ



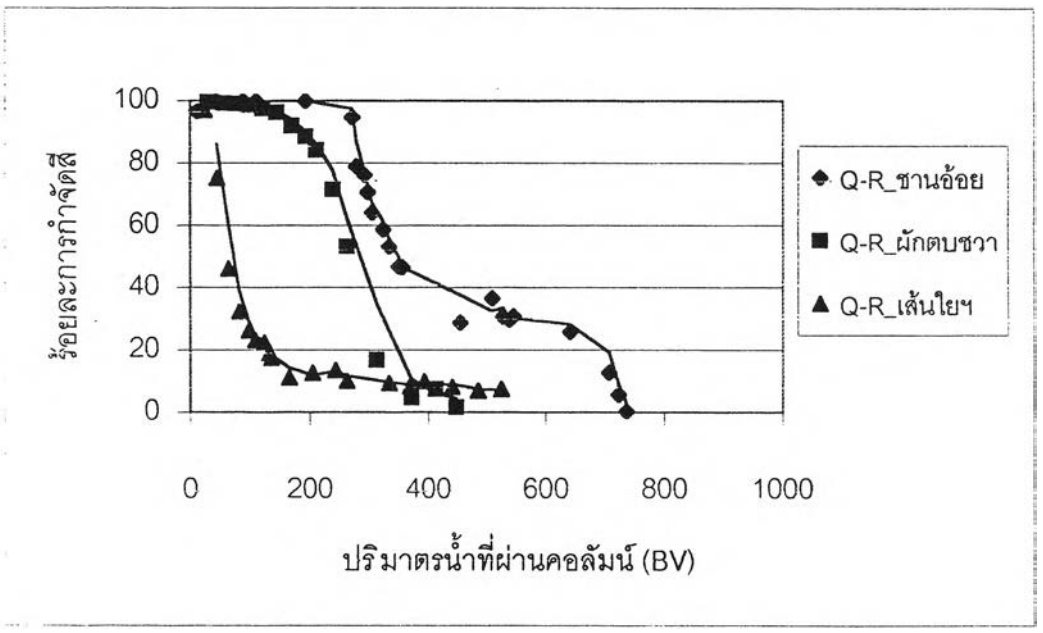
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



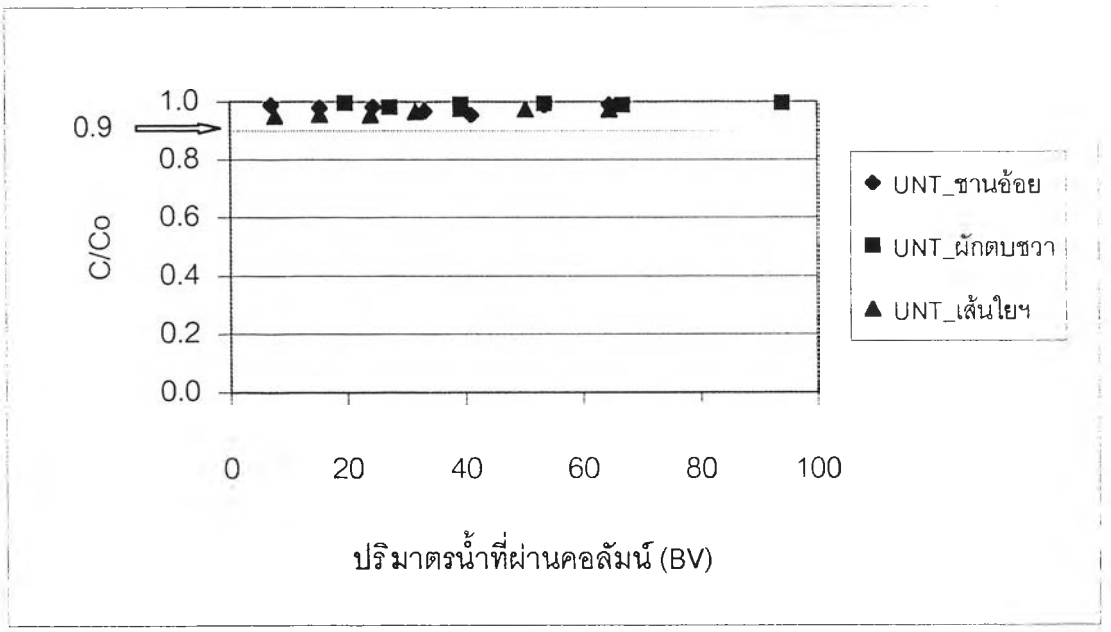
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



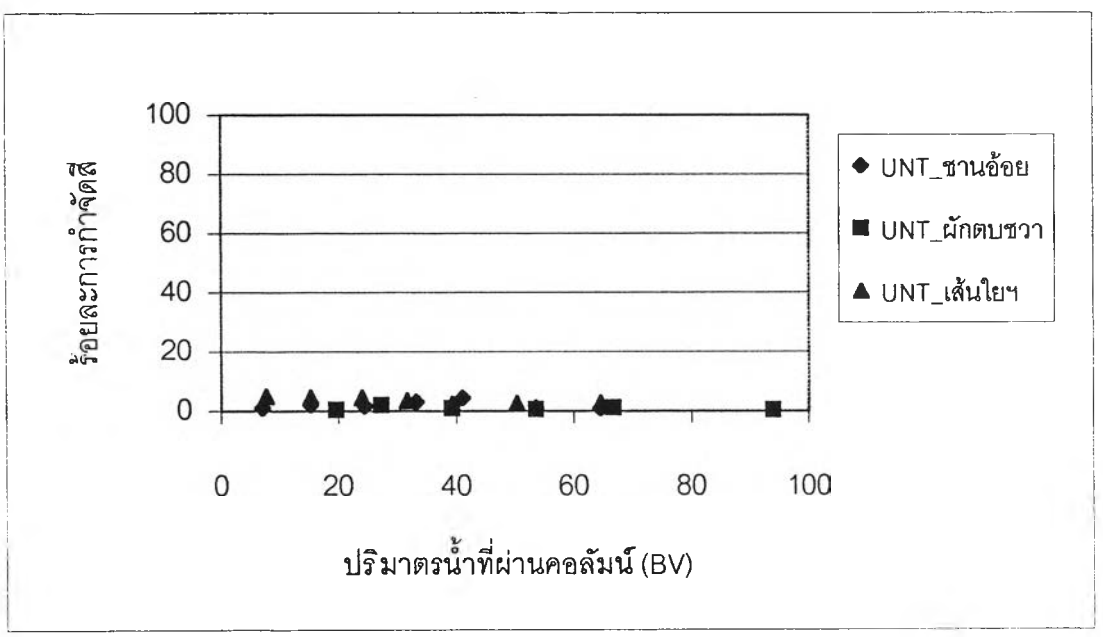
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



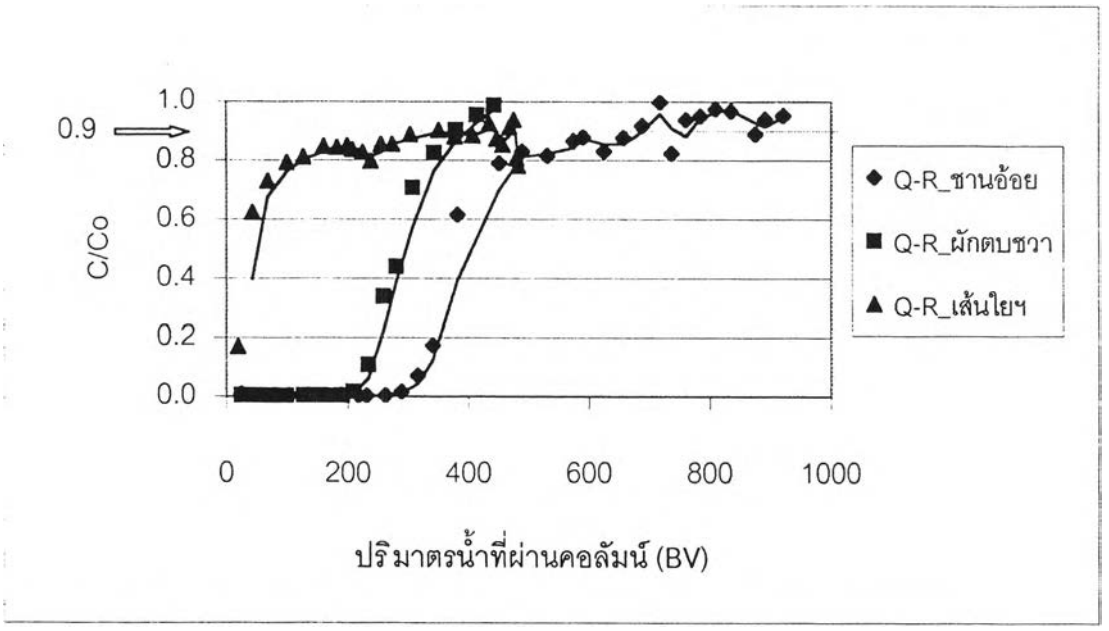
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



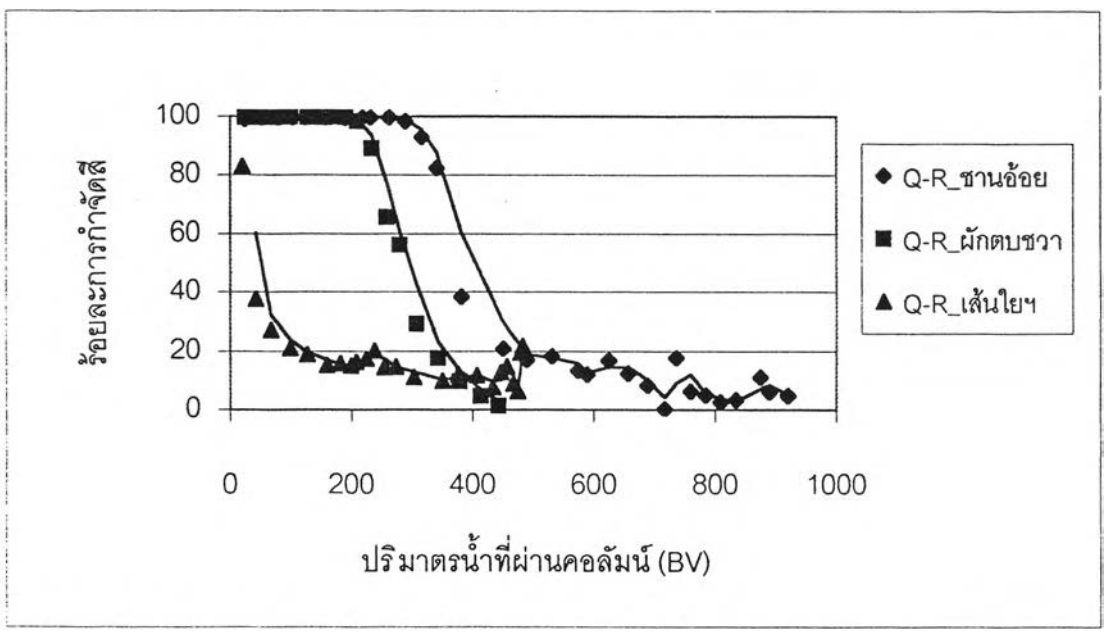
รูปที่ 4.36 **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม** Remazol Brilliant Red 3BS **ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ**



รูปที่ 4.37 **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม** Remazol Brilliant Red 3BS **ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ**



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Remazol Brilliant Red 3BS ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

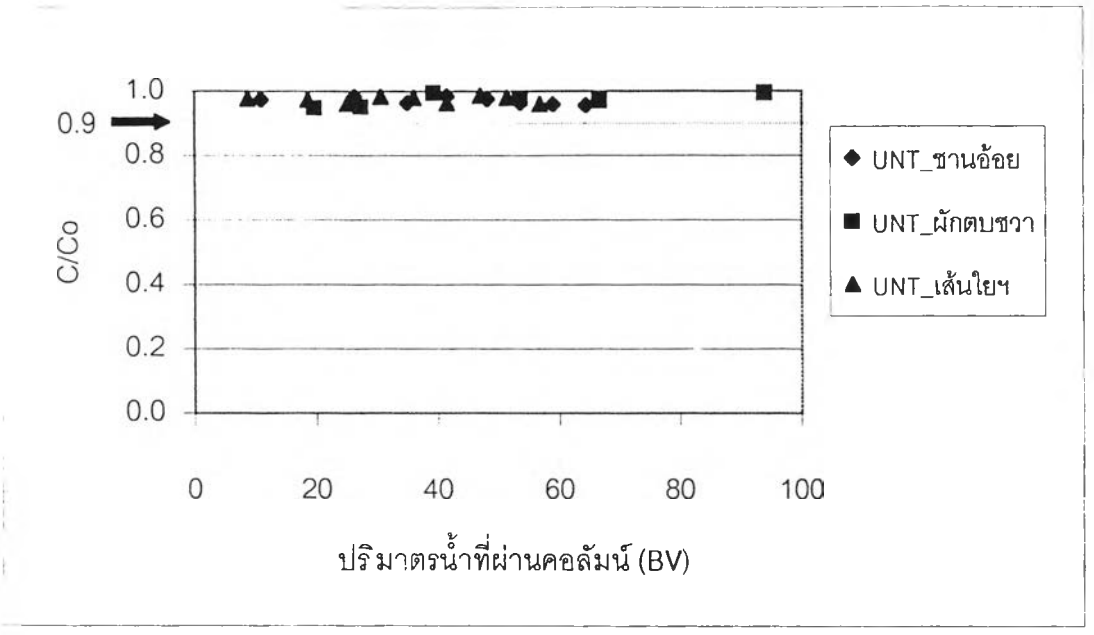
3. ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมไดเรกท์

3.1 สี Best Direct Black B

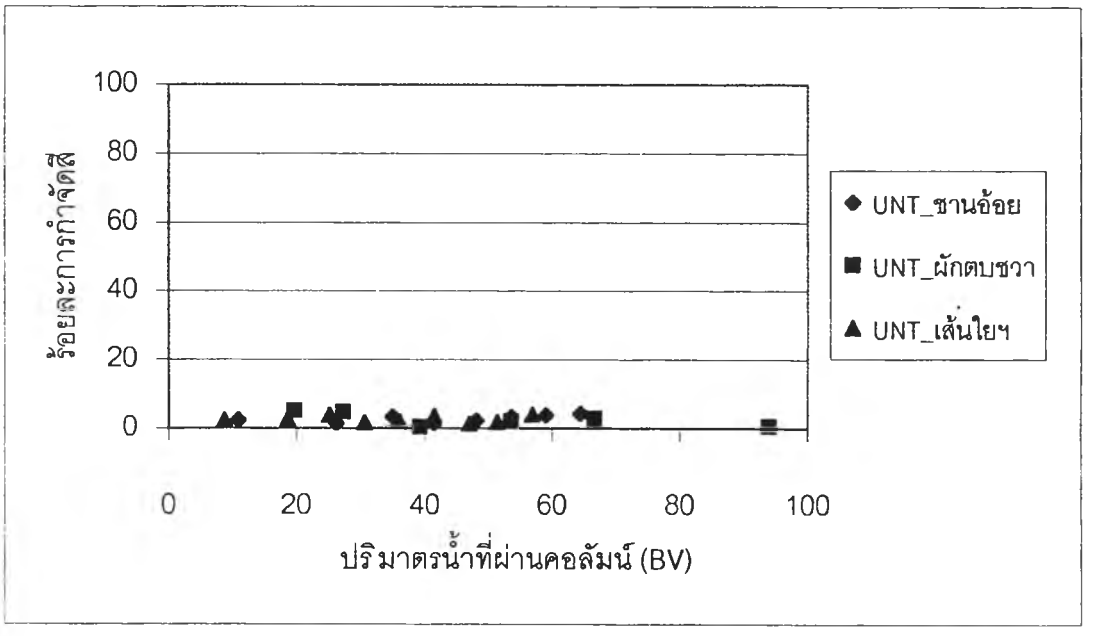
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Best Direct Black B ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่า วัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Best Direct Black B ได้สูงสุดร้อยละ 5 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยและผักตบชวามีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Best Direct Black B ได้ดีใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.42 และ 4.43 และภาคผนวก ข. และเมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 280 280 และ 150 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 99 366 และ 23 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

3.2 สี Sirius Blue KCFN

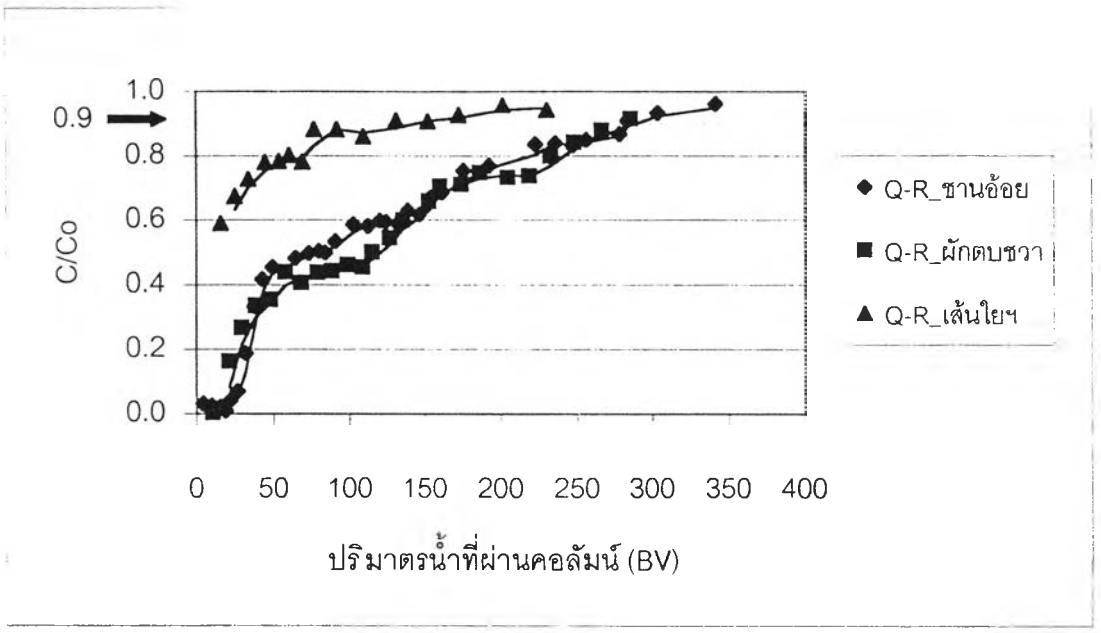
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่า วัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 4 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.44 และ 4.45 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ ดังรูปที่ 4.46 และ 4.47 และภาคผนวก ข. และเมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 600 450 และ 90 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 211 589 และ 14 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ



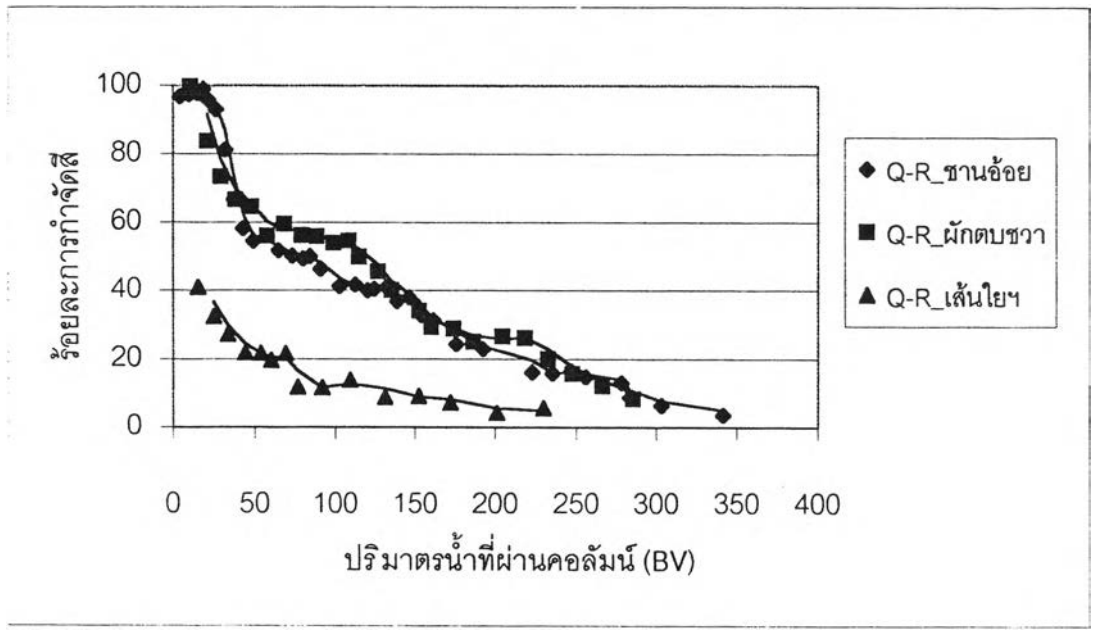
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Best Direct Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



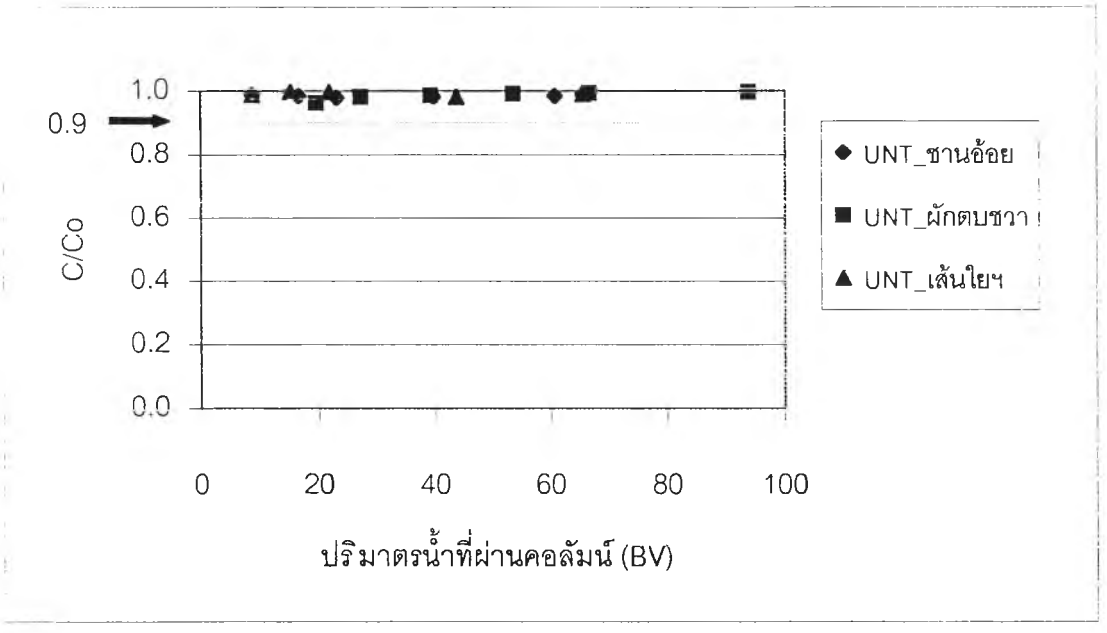
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Best Direct Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



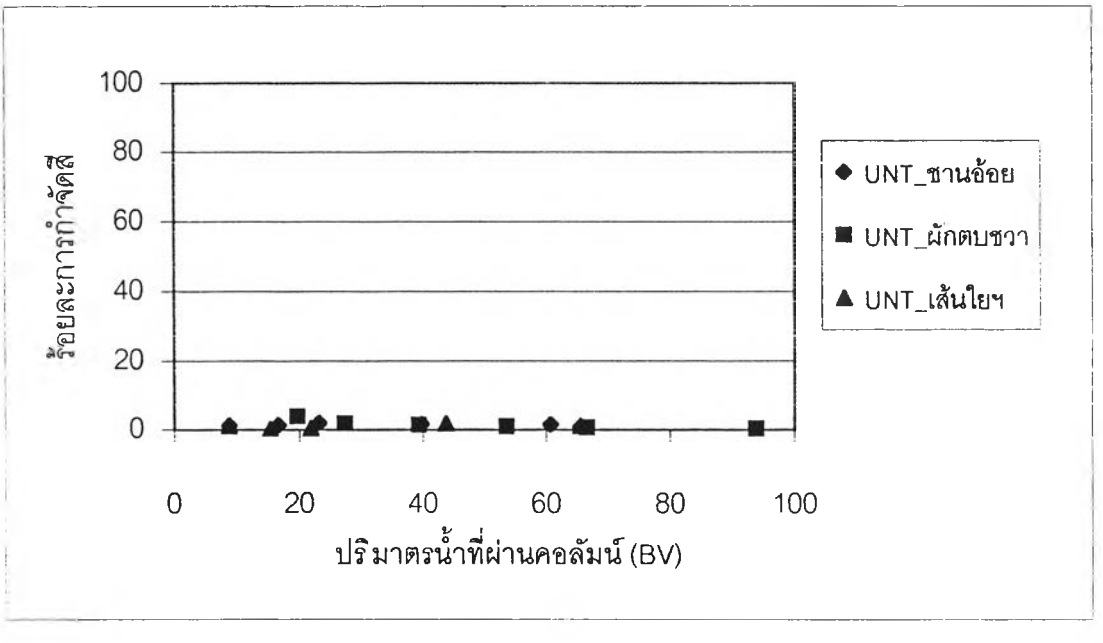
รูปที่ 4.42 **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Best Direct Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วน ความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์**



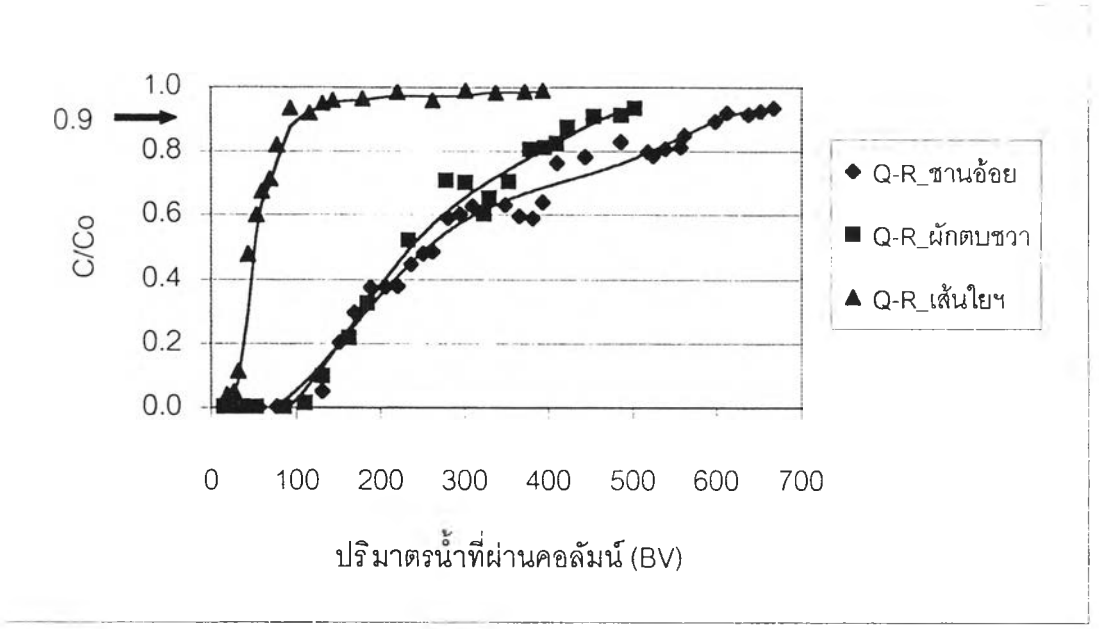
รูปที่ 4.43 **ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Best Direct Black B ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์**



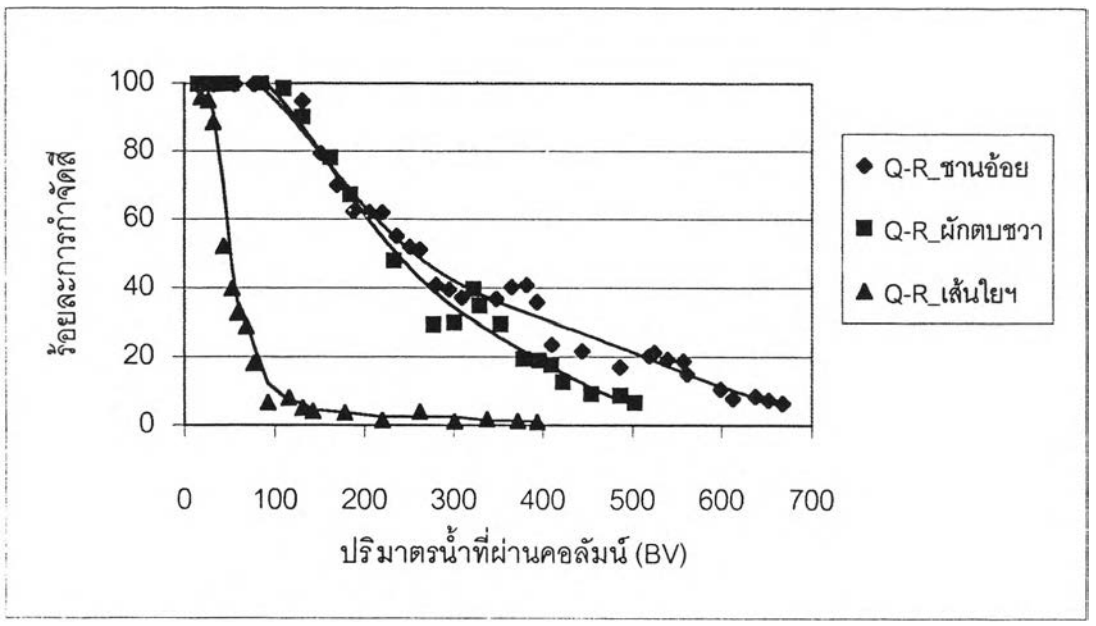
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Blue KCFN ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

3.3 สี Sirius Rubine KZBL

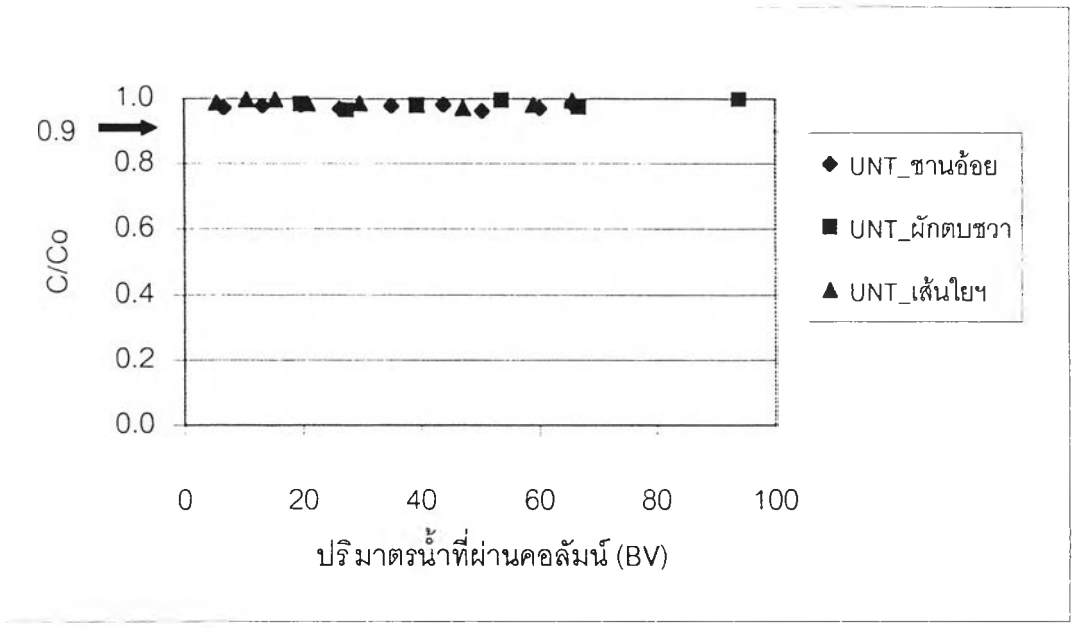
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ สูง 18 เซนติเมตร พบว่า วัสดุทั้ง 3 ที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 4 โดยมีค่า C/Co ประมาณเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.48 และ 4.49 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ ดังรูปที่ 4.50 และ 4.51 และภาคผนวก ข. และเมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ประมาณ 650 550 และ 300 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 229 720 และ 46 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

จากสีรีแอคทีฟและสีไดเรกท์ ทั้ง 3 โทนสีดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาความสามารถการกำจัดสี ในรูปของปริมาตรเบด ชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาในรูปของมิลลิกรัมของสีย้อม/กรัมวัสดุ จะได้ว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าชานอ้อย ดังตารางที่ 4.5 ทั้งนี้เนื่องจากผักตบชวามีความหนาแน่นต่ำกว่าชานอ้อย เมื่อนำไปใส่ในคอลัมน์ปริมาตรเท่ากัน จะใช้ปริมาณผักตบชวาน้อยกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมได้ดี แต่เนื่องจากมีค่าการบวมน้ำสูง หากนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะของคอลัมน์ อาจเกิดปัญหาการไหลผ่านของน้ำเสียได้

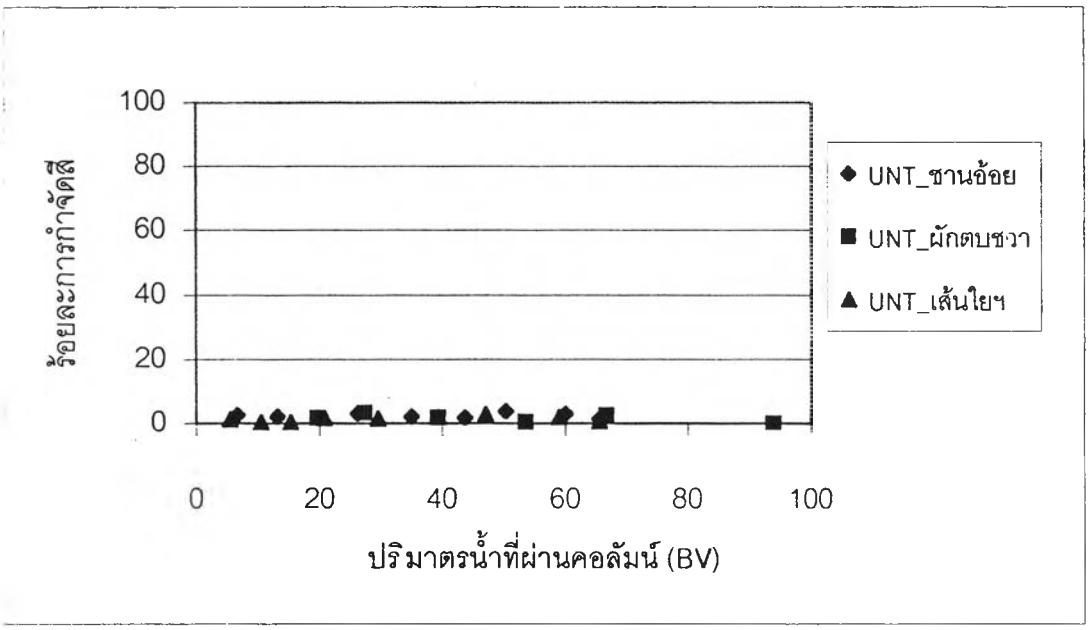
4.2.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่า

4.2.2.1 ผลการทดลองแบบแบตช์

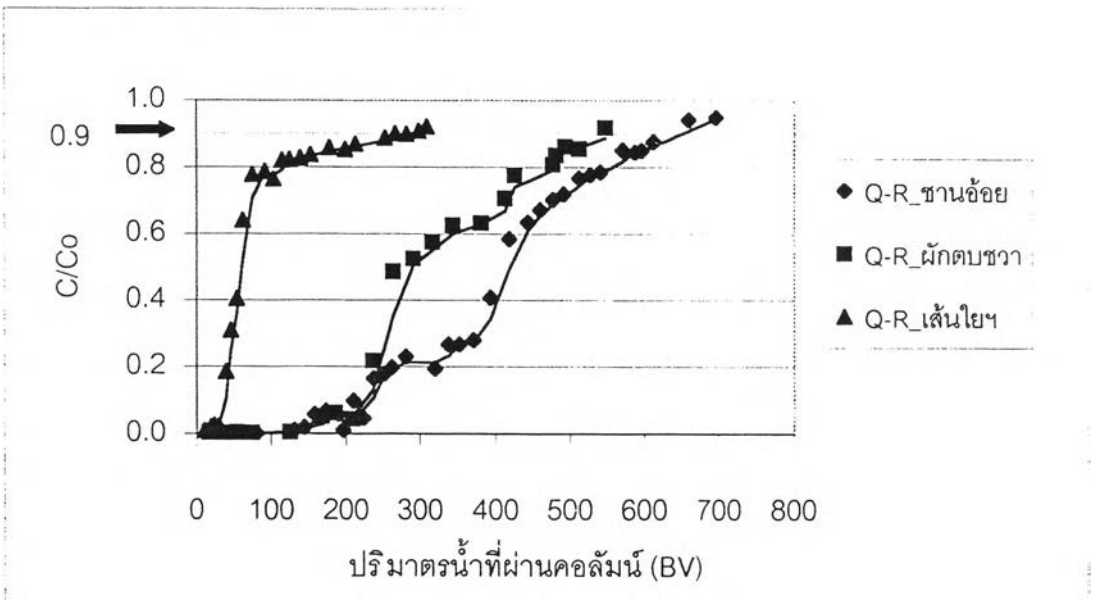
ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.52 และภาคผนวก ค. ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ อยู่ในช่วงร้อยละ 1.87-34.8 มีค่าเฉลี่ย 3 วัสดุ เท่ากับร้อยละ 13.55 โดยสัดส่วนการเจือจางน้ำกากส่า จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพค่อนข้างต่ำ



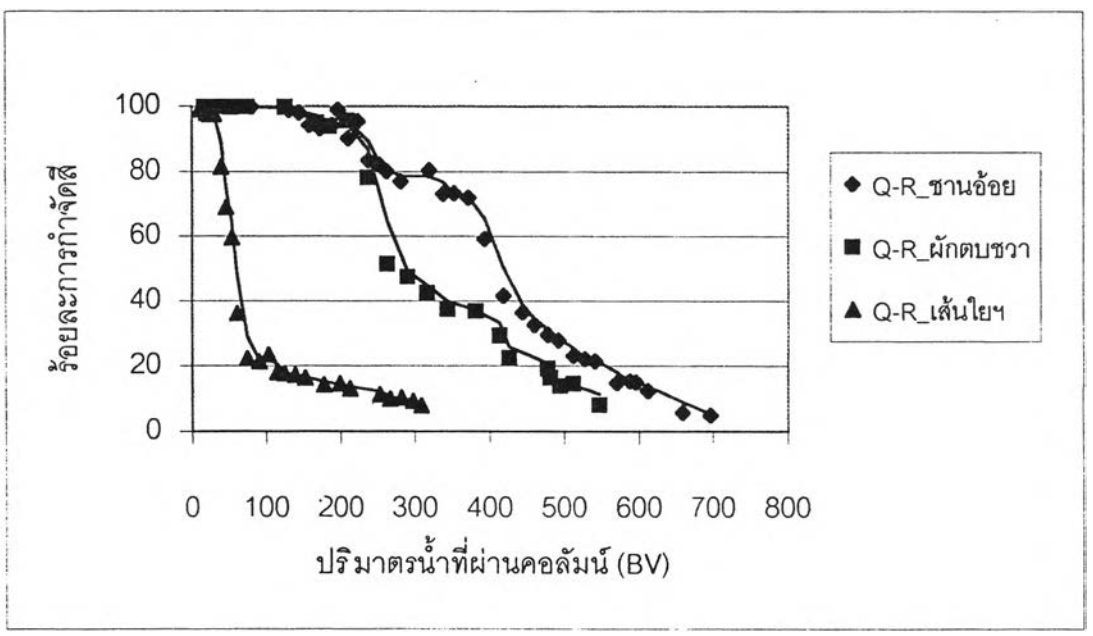
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสี ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสีย้อม Sirius Rubine KZBL ที่ผ่านคอลัมน์กับประสิทธิภาพการกำจัดสีของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของวัสดุชนิดต่างๆ

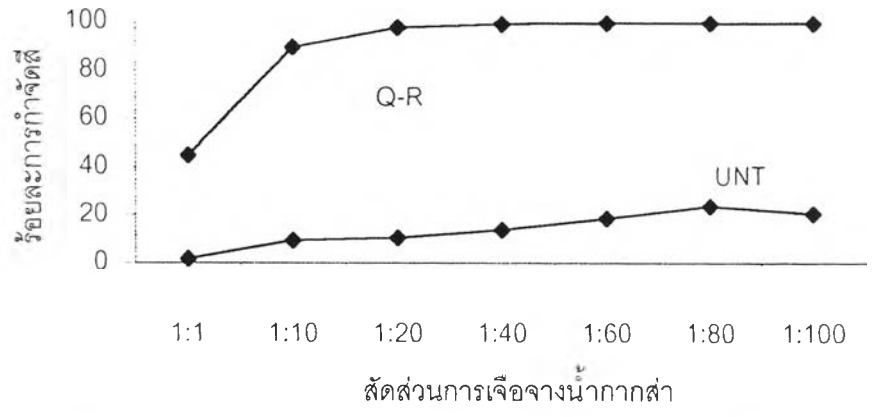
สี	Q-R ชานอ้อย		Q-R ผักตบชวา		Q-R เส้นใยลูกปาล์ม	
	ปริมาตรเบด	มก./กรัมวัสดุ	ปริมาตรเบด	มก./กรัมวัสดุ	ปริมาตรเบด	มก./กรัมวัสดุ
Remazol Black B	400	141	300	393	190	29
Remazol Brilliant Blue R	700	247	400	523	350	53
Remazol Brilliant Red 3BS	700	247	400	523	390	60
Best Direct Black B	280	99	280	366	150	23
Sirius Blue KCFN	600	211	450	589	90	14
Sirius Rubine KZBL	650	229	550	720	300	46

หมายเหตุ: - ความเข้มสี 100 มิลลิกรัม/ลิตร

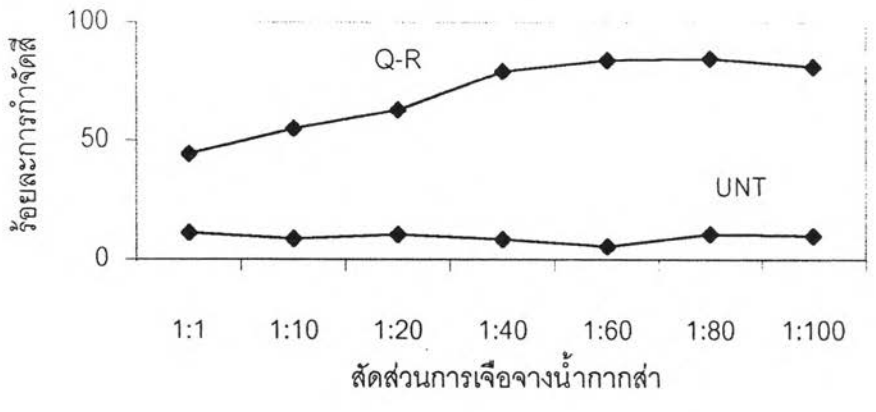
- ปริมาณQ-R ชานอ้อย 13 กรัม Q-R ผักตบชวา 3.5 กรัม และ Q-R เส้นใยลูกปาล์ม 30 กรัม

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุต่างๆ โดยการทดลองแบบแบตช์

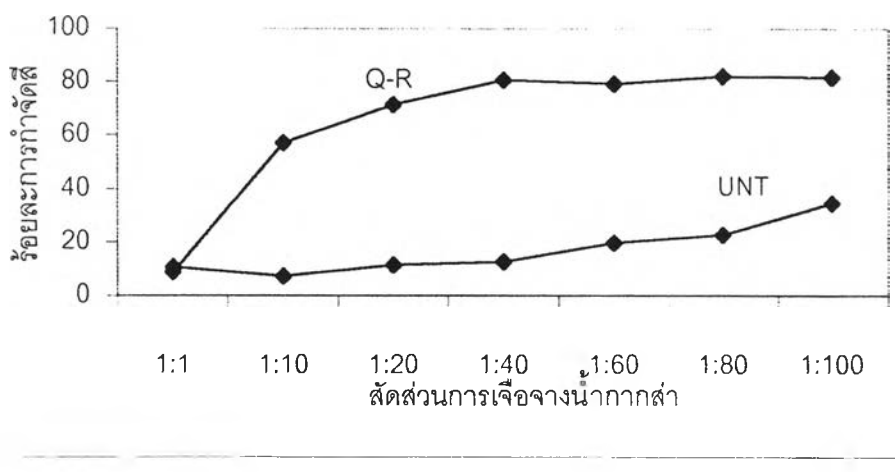
น้ำกากส่าเจือจาง	ชานอ้อย		ผักตบชวา		เส้นใยลูกปาล์ม	
	UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
1:1	1.87	44.80	11.35	44.33	10.70	8.85
1:10	9.41	89.54	8.94	55.05	7.35	56.87
1:20	10.56	97.46	10.59	62.89	11.59	71.23
1:40	13.77	98.84	8.72	79.33	12.74	80.59
1:60	18.61	99.36	5.61	84.14	19.90	79.11
1:80	23.71	99.41	10.88	84.68	22.77	81.94
1:100	20.55	99.12	10.12	81.27	34.80	81.70
ค่าเฉลี่ย	14.07	89.79	9.46	70.24	17.12	65.76



(ก) ชานอ้อย



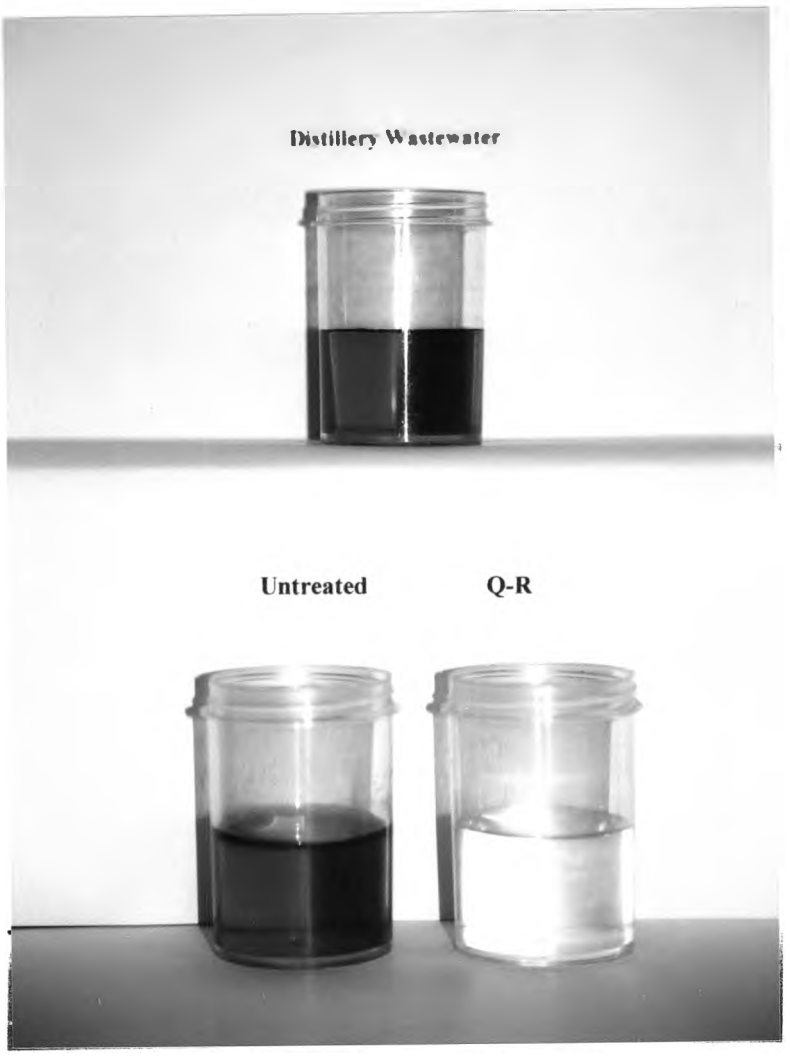
(ข) ผักตบชวา



(ค) เส้นใยลูกปาล์ม

รูปที่ 4.52 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าของ (ก) ชานอ้อย (ข) ผักตบชวา และ (ค) เส้นใยลูกปาล์ม

สวนวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากสา อยู่ในช่วงร้อยละ 8.85-99.41 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.26 โดยประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนการเจือจางน้ำกากส่าเพิ่มมากขึ้น และจะค่อนข้างคงที่เมื่อสัดส่วนการเจือจางตั้งแต่ 1:40 ขึ้นไป ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสีจะสูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพมาก โดยชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า (เจือจาง 1:80) สูงสุดถึงร้อยละ 99 รองลงมาคือผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์ม มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 85 และ 82 ตามลำดับ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกความเข้มข้นของน้ำเสีย เพื่อใช้ในการศึกษาแบบคอลัมน์ในขั้นตอนต่อไป จึงพิจารณาเลือกสัดส่วนการเจือจางน้ำกากส่าเท่ากับ 1:80 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้สูงสุดทั้ง 3 วัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 สีน้ำกากส่า (1:80) ก่อน (บน) และหลังการบำบัดด้วย UNT และ Q-R ชานอ้อย (ล่าง)

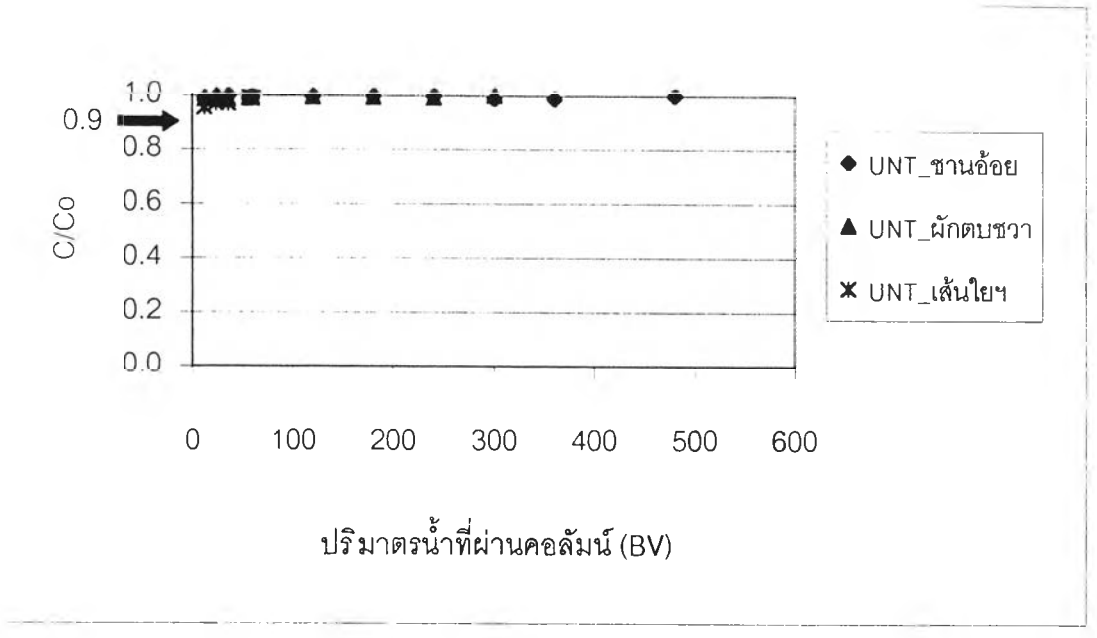
4.2.2.2 ผลการทดลองแบบคอลัมน์

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุต่างๆ ผ่านคอลัมน์ที่มีชั้นวัสดุสูง 18 เซนติเมตร โดยแต่ละคอลัมน์จะใช้ปริมาณวัสดุแตกต่างกันคือ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพจะใช้ปริมาณ 8.2 6.1 และ 27.5 กรัม ตามลำดับ และที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์จะใช้ปริมาณ 13 3.5 และ 30 กรัมตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่า (เจือจาง 1:80) ของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ได้ปรับสภาพ มีค่าต่ำมาก คือน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยมีค่าสัดส่วนความเข้มของสีของน้ำออกต่อน้ำเข้า (C/Co) ประมาณ 1 ดังรูปที่ 4.54 และ 4.55 ส่วนชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่า ผักตบชวาให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า (เจือจาง 1:80) สูงสุด รองลงมาคือชานอ้อย และเส้นใยลูกปาล์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.56 และ 4.57 และภาคผนวก ค. ซึ่งเมื่อกำหนดให้ค่าสีที่เหลืออยู่ในน้ำออกจากคอลัมน์เท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำเข้าเป็นเกณฑ์มาตรฐาน จะได้ว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม มีค่าสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้เท่ากับ 998 1850 และ 93 ปริมาตรเบดตามลำดับ หรือคิดเป็น 457 847 และ 43 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

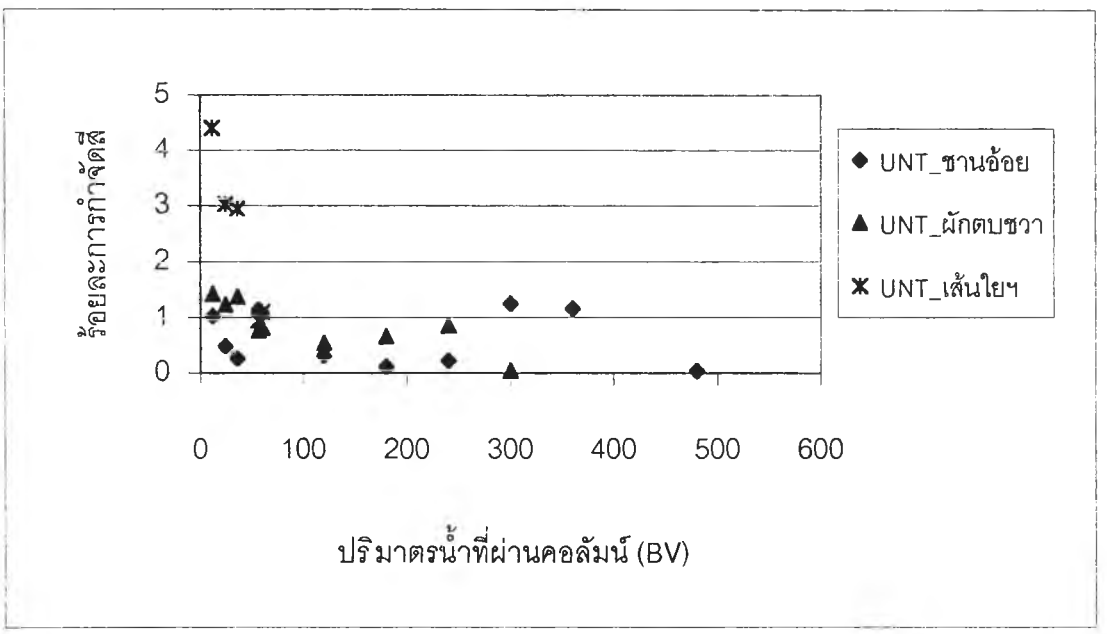
4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ

จากการวิเคราะห์หาโครงสร้างของวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ โดยเครื่องฟูริเอซ์ทรานฟอร์ม อินฟาเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) ที่จำนวนคลื่น (Wave Number) ช่วง 4000-400 ซม$^{-1}$ หรือช่วงความยาวคลื่น 2.5-25 ไมครอน พบว่าวัสดุมีโครงสร้างหลักคือ Alkyl Group, Hydroxy or Amino Compound และ Aliphatic Alcohol ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ง.

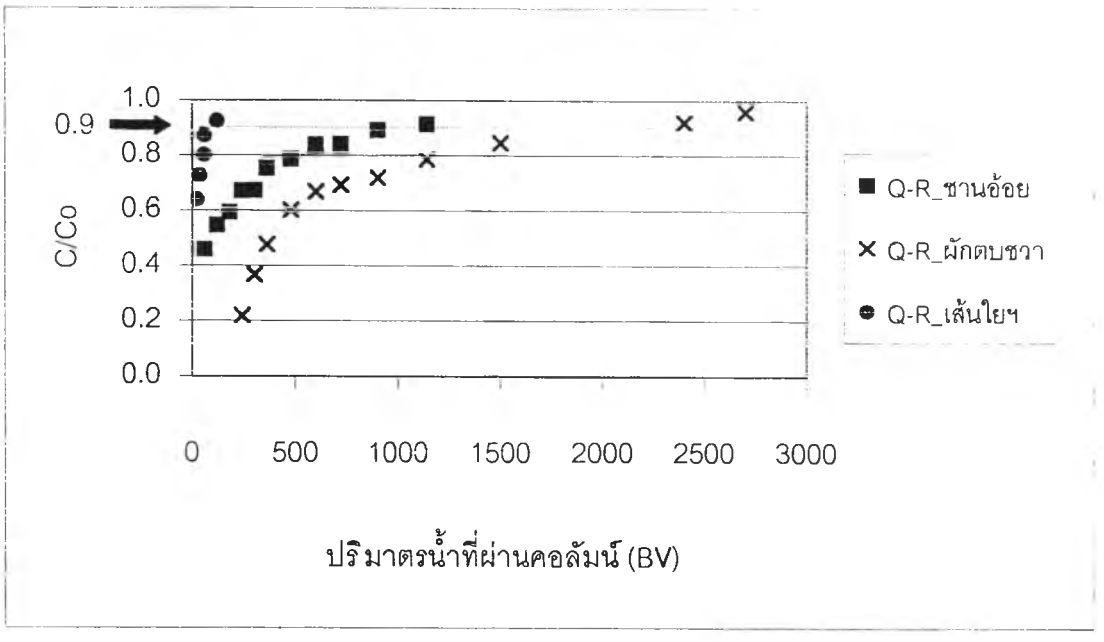
จะเห็นได้ว่าผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพมีหมู่อัลคิล –CH_2-O (จำนวนคลื่นช่วง1250-1000 ซม$^{-1}$) ซึ่งเป็นหมู่โครงสร้างของเซลลูโลสสูงสุด จึงคาดว่าในผักตบชวา จะมีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าเส้นใยลูกปาล์มและชานอ้อย และเมื่อพิจารณาวัสดุทั้ง 3 ชนิด ทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดที่ปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ พบว่าวัสดุส่วนใหญ่ที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์จะมีหมู่ไฮดรอกซิล –OH และหมู่อัลคิล –CH และ –CH_2-O (จำนวนคลื่นช่วง 3500-3250, 3000-2800 และ 1250-1000 ซม$^{-1}$ ตามลำดับ) สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ ซึ่งคาดว่าหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้น เกิดจากสารควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เข้าไปเกาะอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลส



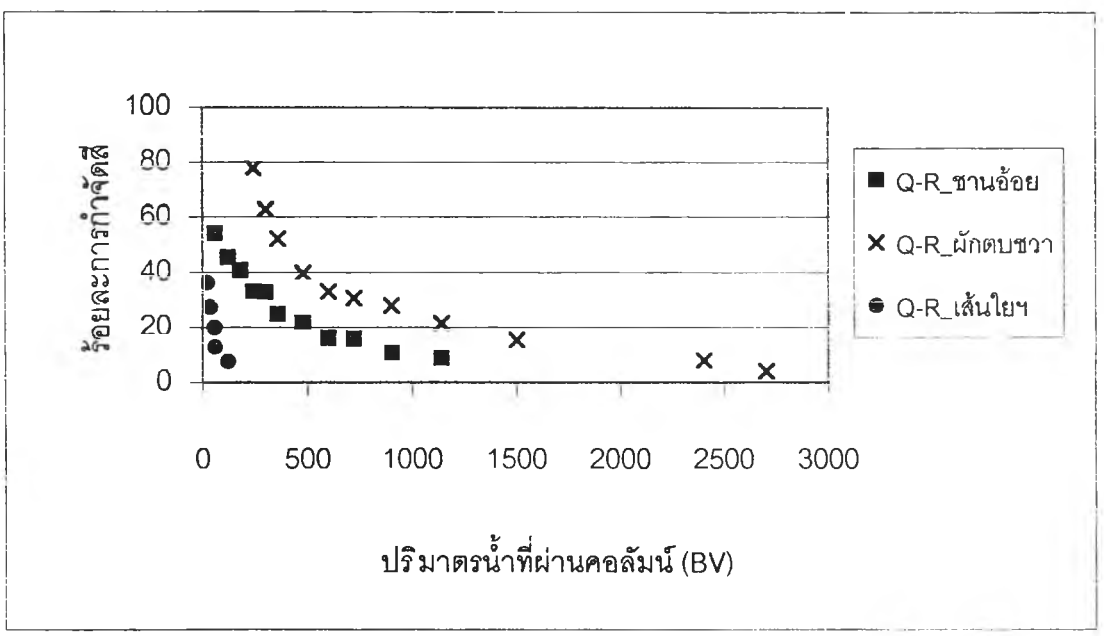
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่ากับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์กับสัดส่วนความเข้มสีของน้ำออกต่อน้ำเข้าของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์



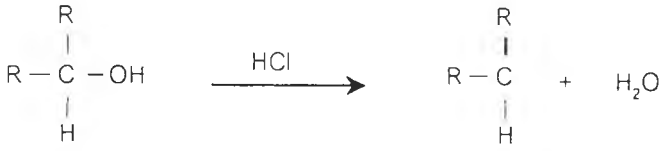
รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่ากับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ของวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปโครงสร้างหลักของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ		ค่า Absorbance ในหมู่ฟังก์ชันต่างๆ			
		ไฮดรอกซิล	อัลคิล		อัลคีน
		-OH	-CH	$-CH_2-O$	C=C
ก่อนการทดลอง					
- ชานอ้อย	UNT	0.60	0.07	0.29	0.17
	Q-R	0.90	0.20	0.61	0.23
- ผักตบชวา	UNT	0.74	0.11	0.40	0.37
	Q-R	0.94	0.22	0.57	0.39
- เส้นใยลูกปาล์ม	UNT	1.14	0.13	0.32	0.25
	Q-R	0.82	0.24	0.57	0.33
หลังการทดลองการกำจัดสี Remazol Black B					
- ชานอ้อย	UNT	0.48	0.07	0.34	0.13
	Q-R	0.66	0.13	0.49	0.15
หลังการทดลองการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R					
- ชานอ้อย	UNT	0.72	0.13	0.55	0.12
	Q-R	0.70	0.14	0.54	0.13

หมายเหตุ: ข้อมูลจากภาคผนวก ง.

ส่วนหมู่อัลคีน C=C (จำนวนคลื่นช่วง 1680-1560 ซม$^{-1}$) ซึ่งคาดว่าจะเป็นโครงสร้างของลิกนิน พบว่า เมื่อวัสดุผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ หมู่อัลคีน C=C มีเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวคาดว่าเกิดจากในขั้นตอนการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ มีการเติมกรดไฮโดรคลอริก เพื่อปรับพีเอช ทำให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากแอลกอฮอล์ (Dehydration of Alcohols) เกิดขึ้น เกิดผลิตผลเป็นอัลคีน (C=C) ขึ้น ซึ่งอัลคีนที่เกิดขึ้นคาดว่าเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณหมู่ไฮดรอกซิล –OH ของโครงสร้างของเซลลูโลส และบริเวณหมู่ไฮดรอกซิล –OH ของสาร CHMAC ที่มาเกาะเซลลูโลส แต่เนื่องจากการเกิดอัลคีนบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูง (>150 องศาเซลเซียส) ส่วนการเกิดอัลคีนบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของสาร CHMAC จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า (~80 องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงคาดว่าอัลคีนอาจเกิดขึ้นในบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลของสาร CHMAC ที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลสดังสมการ



การเกิดหมู่ฟังก์ชัน C=C มาก จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ เนื่องจากเกิดแรงพันธะที่แข็งแรงขึ้น และอาจทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นน้อยลง ซึ่งจากค่า Absorbance ของหมู่ฟังก์ชัน C=C ดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับผักตบชวาและเส้นใยลูกปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมทั้ง 6 สีของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพดังกล่าวที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาผักตบชวาซึ่งมีประสิทธิภาพรองลงมาจากชานอ้อย พบว่า มีผลในทางตรงกันข้าม คือมีหมู่ฟังก์ชัน C=C สูงกว่าเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากวัสดุดังกล่าว มีหมู่ฟังก์ชัน –OH ที่สูงมาก จึงทำให้ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ยังคงสามารถแลกเปลี่ยนไอออนและกำจัดสีย้อมได้ในระดับดี

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของชานอ้อย ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้ดีที่สุดอีกครั้งภายหลังการทดลอง โดยศึกษาชานอ้อยที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black B และ Remazol Brilliant Blue R ซึ่งเป็นสีที่ทราบโครงสร้างของสี ได้ผลดังตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ภายหลังการกำจัดสี จะมีหมู่ฟังก์ชันหลักได้แก่ –OH, -CH, $-CH_2-O-$ และ C=C ลดลงทั้งหมด

4.4 พีเอช

4.4.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียสีย้อม

ผลการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเสียสีรีแอคทีฟ 3 โทนสี ได้แก่ สี Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS และสีไดเรกท์ 3 โทนสี ได้แก่ สี Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL จากการทดลองแบบแบตช์และแบบคอลัมน์ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 และภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชก่อนการทดลอง มีค่าแตกต่างกัน โดยสีรีแอคทีฟ จะมีพีเอชอยู่ในช่วงกรดถึงกลาง คือ 4.1-7.9 และสีไดเรกท์ค่าพีเอชจะอยู่ในช่วงกลางถึงด่างคือ 6.7-9.9 ภายหลังการทดลองการกำจัดสีดังกล่าวโดย

ตารางที่ 4.8 ค่าพีเอชของน้ำสีย้อมและน้ำกากส่า ก่อนและหลังการทดลองแบบแบตช์

สี	ความเข้มสี (mg/l)	ชานอ้อย				ผักตบชวา				เส้นใยลูกปาล์ม			
		UNT		Q-R		UNT		Q-R		UNT		Q-R	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1. น้ำสีย้อม													
1.1 สีรีแอคทีฟ													
Remazol Black B	50	6.72	7.39	5.8	5.29	6.61	6.72	6.97	4.10	6.1	6.95	6.02	6.62
	100	6.57	6.97	5.49	5.35	6.14	6.71	6.51	4.18	6.02	6.86	5.49	6.46
	150	5.81	6.88	5.31	5.61	5.74	6.67	6.08	4.26	5.99	6.77	5.3	6.53
	200	5.62	6.76	5.17	5.66	5.59	6.69	6.53	4.32	5.94	6.66	5.23	6.44
Remazol Brilliant	50	7.9	6.93	7.94	6.71	6.46	6.73	6.11	3.59	6.6	7.15	6.13	6.42
Blue R	100	7.6	6.9	7.82	6.87	6.21	6.69	5.95	3.66	6.22	7.12	5.79	6.39
	150	7.32	6.82	7.77	7.10	6.13	6.7	5.84	3.74	6.14	7.01	6.03	6.53
	200	7.07	6.8	7.55	7.17	5.7	6.64	5.64	3.80	6.11	6.91	5.74	6.62
Remazol Brilliant	50	4.79	6.7	4.71	4.79	4.78	6.57	5.79	4.10	5.2	6.84	5.41	6.45
Red 3BS	100	4.39	6.49	4.29	4.69	4.45	6.5	5.02	4.15	4.71	6.79	4.57	6.09
	150	4.15	6.4	4.9	6.02	4.3	6.39	4.75	4.19	4.59	6.65	4.32	6.08
	200	4.05	6.29	4.67	6.09	4.2	6.32	4.6	4.23	4.52	6.46	4.19	5.87
1.2 สีไดเรกท์													
Best Direct	50	9.1	7.2	9.3	7.04	9.46	7.28	9.43	4.29	9.18	7.56	9.47	7.7
Black B	100	9.4	7.83	9.63	7.41	9.68	7.51	9.72	4.55	9.42	7.72	9.76	7.72
	150	9.64	8.03	9.83	7.63	9.82	7.74	9.83	5.09	9.54	7.93	9.85	7.9
	200	9.75	8.32	9.87	7.91	9.86	8.01	9.9	6.06	9.57	8.30	9.91	8.06
Sirius Blue	50	7.59	6.77	6.98	5.75	7.61	6.7	7.89	4.12	7.77	6.88	7.62	7.07
KCFN	100	7.63	6.85	7.4	6.23	7.8	6.73	7.96	4.17	7.82	6.79	7.78	6.83
	150	7.81	7.12	7.95	7.08	7.98	6.76	8.29	4.22	8.21	6.95	8.23	6.82
	200	8.1	7.79	8.32	7.31	8.25	6.79	8.57	4.26	8.47	6.90	8.49	6.88
Sirius Rubine	50	7.26	6.88	7.99	6.96	7.37	6.62	7.84	4.12	7.56	6.88	7.83	6.6
KZBL	100	7.48	6.95	8.16	7.29	7.47	6.69	8.26	4.16	7.65	6.60	7.89	6.51
	150	7.59	6.97	8.34	7.13	8.35	6.93	8.46	4.23	7.81	6.64	8.07	6.93
	200	7.82	7.17	8.37	7.22	8.42	6.91	8.56	4.27	8.01	6.87	8.14	6.76
2. น้ำกากส่า	1:1	8.46	9.26	8.32	9.52	8.32	9.15	8.48	9.22	8.36	9	8.21	8.79
(เจือจาง)	1:10	8.78	8.98	8.54	9.02	8.51	8.91	8.68	8.75	8.59	8.4	8.42	8.38
	1:20	8.9	8.77	8.65	8.5	8.58	8.54	8.75	8.11	8.67	8.1	8.47	8.01
	1:40	8.99	8.39	8.68	7.85	8.68	7.98	8.99	5.8	8.76	7.74	8.47	7.45
	1:60	8.85	8.01	8.85	7.93	8.85	7.68	8.85	4.62	8.77	7.37	8.44	7.21
	1:80	8.84	7.94	8.84	7.77	8.84	7.47	8.84	4.09	8.76	7.2	8.42	7.11
	1:100	8.93	7.85	8.57	7.39	8.57	7.25	8.93	3.75	8.72	7.38	8.66	6.46

ตารางที่ 4.9 ค่าพีเอชของน้ำสีย้อมและน้ำกากส่าก่อนและหลังการทดลองแบบคอลัมน์

ชนิด		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง					
			ชานอ้อย		ผักตบชวา		เส้นใยลูกปาล์ม	
			UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
1. น้ำสีย้อม								
1.1 สีรีแอคทีฟ								
Remazol Black B	n	6	13	29	6	19	13	31
	ต่ำสุด-สูงสุด	5.8-6.5	6.3-7.1	4.3-6.8	6.6-7.7	6.3-7.1	6.3-6.9	6.0-6.4
	ค่าเฉลี่ย	6.1	6.6	6.0	7.3	6.6	6.6	6.1
Remazol Brilliant	n	6	6	23	6	15	6	19
Blue R	ต่ำสุด-สูงสุด	5.8-7.6	7.1-7.7	4.2-8.0	6.8-7.9	6.0-7.1	6.6-6.9	6.4-7.2
	ค่าเฉลี่ย	6.6	7.4	7.3	7.5	6.6	6.7	6.7
Remazol Brilliant	n	6	7	31	6	18	7	24
Red 3BS	ต่ำสุด-สูงสุด	4.5-5.8	6.7-7.2	4.2-6.1	6.9-8.0	4.9-7.1	6.1-6.6	5.8-6.4
	ค่าเฉลี่ย	5.0	7.0	5.0	7.6	6.0	6.5	6.0
1.2 สีไดเรกท์								
Best Direct	n	6	8	34	6	24	9	15
Black B	ต่ำสุด-สูงสุด	7.4-9.7	7.5-7.7	3.2-7.5	7.2-8.1	7.2-7.7	6.8-7.0	6.2-7.8
	ค่าเฉลี่ย	8.7	7.6	6.4	7.7	7.5	6.9	7.2
Sirius Blue	n	6	6	33	6	22	5	19
KCFN	ต่ำสุด-สูงสุด	7.0-7.8	7.0-7.7	4.3-7.4	7.1-7.4	6.5-7.2	6.5-6.9	6.2-7.1
	ค่าเฉลี่ย	7.5	7.3	6.8	7.3	6.9	6.7	5.6
Sirius Rubine	n	6	8	35	6	21	9	23
KZBL	ต่ำสุด-สูงสุด	6.7-7.2	7.0-7.8	4.8-7.3	6.6-7.0	6.1-7.0	6.5-6.8	5.8-6.9
	ค่าเฉลี่ย	7.0	7.3	6.7	6.8	6.6	6.7	6.4
2. น้ำกากส่า	n	6	11	11	9	11	5	5
	ต่ำสุด-สูงสุด	8.1-8.4	7.8-8.2	7.3-8.2	8.1-8.2	7.5-8.1	6.8-7.1	6.9-7.4
	ค่าเฉลี่ย	8.3	8.0	7.9	8.1	7.8	6.9	7.2

ใช้ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งที่ไม่ได้ปรับสภาพ (UNT) และที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ (Q-R) พบว่าค่าพีเอชส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 6-8 ยกเว้นน้ำสีย้อมที่ผ่านการกำจัดสีโดย Q-R ผักตบชวา ซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ประมาณ 4 คาดว่าเกิดจากการกรดที่คงเหลืออยู่ภายในผักตบชวา ในขั้นตอนการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

ส่วนค่าพีเอชจากการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำสีย้อมต่างๆ ดังกล่าวไหลผ่านคอลัมน์ ค่าพีเอชของน้ำส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6-8 เช่นเดียวกับในผลการทดลองแบบแบตช์ ยกเว้นค่าพีเอชของน้ำสีย้อมที่ผ่านคอลัมน์ของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ที่มีค่าแตกต่างจากวัสดุอื่นเล็กน้อย คือมีค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากคอลัมน์ช่วงแรกต่ำ อยู่ในช่วง 3-5 หลังจากนั้นส่วนใหญ่จะปรับค่าสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 6-8 เช่นเดียวกับวัสดุอื่น ซึ่งคาดว่าค่าพีเอชที่ต่ำในช่วงแรกเกิดจากกรดที่คงเหลืออยู่ภายในชานอ้อย ในขั้นตอนการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

4.4.2 ค่าพีเอชของน้ำกากส่า

ผลการศึกษาค่าพีเอชของน้ำกากส่า ก่อนและหลังการกำจัดสีด้วย ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ทั้งที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ทั้งการทดลองแบบแบตช์ และแบบคอลัมน์ พบว่าน้ำกากส่าก่อนการทดลอง อยู่ในสภาวะด่างคือมีพีเอชอยู่ในช่วง 8.1-9.0 และภายหลังการทดลอง ค่าพีเอชของน้ำกากส่ามีแนวโน้มลดลง ที่การเจือจางน้ำกากส่าเพิ่มขึ้นสำหรับการทดลองแบบแบตช์ ส่วนการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า พีเอชมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.8-8.2 ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 และภาคผนวก ค.

4.5 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสีย้อม

จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่าชานอ้อยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมได้สูงสุด จึงเลือกชานอ้อยมาใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียสีย้อมต่างๆ ซึ่งตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นจากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่าน้ำสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะดูไม่น่ารังเกียจ เมื่อประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นจึงใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการคำนวณได้ดังนี้

- **สารเคมีหลักที่ใช้ในการเตรียมวัสดุควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส**
  - โซเดียมไฮดรอกไซด์ ราคา 280 บาทต่อ 1 กิโลกรัม
  - CHMAC ราคา 3,100 บาทต่อ 1 ลิตร
  - อีพิคลอโรไฮดริน ราคา 1,900 บาทต่อ 1 กิโลกรัม

- **การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัสดุควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส ต่อ 1 กรัมวัสดุได้ดังนี้**
  - **ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มัล ปริมาณ 2.45 มิลลิลิตร**

    คิดเป็นเงิน = 5 x 40 x (2.45/1000) x (280/1000)

    = 0.1372 บาท
  - ใช้ CHMAC ปริมาณ 1 มิลลิลิตร

    คิดเป็นเงิน = 3100/1000

    = 3.1 บาท
  - **ใช้อีพิคลอโรไฮดริน ปริมาณ 0.234 มิลลิลิตร**

    คิดเป็นเงิน = 0.234 x (1900/1000)

    = 0.4446 **บาท**

    รวมค่าใช้จ่าย = 0.1372 + 3.1 + 0.4446

    = 3.6818 **บาทต่อกรัม**

- **การคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียสีย้อมต่าง ๆ**

จากความสามารถในการกำจัดสีย้อมทั้ง 6 สี สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีย้อมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีจากน้ำเสียสีย้อมต่าง ๆ โดยชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์

สีย้อม	ราคา	
	บาทต่อลิตร	บาทต่อลบ.ม.
สีรีแอคทีฟ		
Remazol Black B	3.19	3,191
Remazol Brilliant Blue R	3.68	3,682
Remazol Brilliant Red 3BS	2.99	2,991
สีไดเรกท์		
Best Direct Black B	31.91	31,909
Sirius Blue KCFN	6.84	6,838
Sirius Rubine KZBL	3.19	3,191