

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเถ้านักขานอ้อยและถ่านกัมมันต์เถ้านักขานอ้อย

ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของเถ้านักขานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเถ้านักขานอ้อย

Proximate (dry basis)	%
สารระเหย	16.48
คาร์บอนคงตัว	65.12
เถ้า	18.40
Ultimate (dry free ash)	%
คาร์บอน	60.83
ไฮโดรเจน	0.24
ออกซิเจน	38.86
ไนโตรเจน	0.07
คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี	
พื้นที่ผิวทั้งหมด (S_T , ตร.ซม. / ก.)	256
ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (V_T , ลบ.ซม. / ก.)	0.2072
ปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (V_{mc} , ลบ.ซม. / ก.)	0.1032
ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (V_{mi} , ลบ.ซม. / ก.)	0.1040
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (D, อังสตรอม)	32
ความหนาแน่น (ก. / ลบ.ซม.)	0.31
จำนวนเลขไอโอดีน (มก. / ก.)	250

4.2 ศึกษาการปรับสภาพของเถ้านักขานอ้อย

ผลการศึกษาการปรับสภาพของเถ้านักขานอ้อยด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (0.1 M H_2SO_4) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (0.1 M NaOH) แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าเถ้านักขานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมสูงกว่าเถ้านักขาน

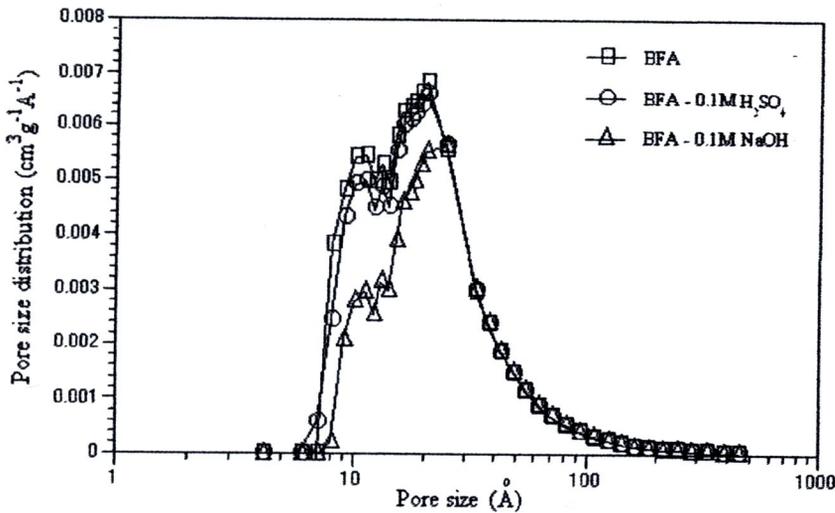
อ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้เนื่องจากว่าเจ้าหน้าที่อ้อยมีพื้นที่ผิวสูงกว่าเจ้าหน้าที่อ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถึงแม้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยจะไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เจ้าหน้าที่อ้อยมีการกระจายตัวของรูพรุนขนาดกลางสูงกว่าเจ้าหน้าที่อ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วดังแสดงในรูปที่ 4.1 จึงสามารถประมาณได้ว่าสารสีในน้ำเชื่อมมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและจะถูกดูดซับในรูพรุนขนาดกลางของเจ้าหน้าที่อ้อย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเจ้าหน้าที่อ้อยที่ไม่ต้องปรับสภาพใดๆ สำหรับการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับและประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อม

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)	ค่าสี (ICUMSA)	สมบัติทางกายภาพ				
			S_T ($m^2 g^{-1}$)	V_T ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mc} ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mi} ($cm^3 g^{-1}$)	D (Å)
เจ้าหน้าที่อ้อย	73 ± 1.05^a	272 ± 10.72	256^a	0.2072	0.1032	0.1040	32^a
เจ้าหน้าที่อ้อย-0.1M H_2SO_4	71 ± 0.49^a	293 ± 4.95	250^b	0.2037	0.1041	0.0996	33^a
เจ้าหน้าที่อ้อย-0.1M NaOH	69 ± 0.81^a	318 ± 8.24	209^c	0.1834	0.1040	0.0794	35^a

หมายเหตุ: S_T : พื้นที่ผิวทั้งหมด (ตร.ซม. / ก.), V_T : ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลบ.ซม. / ก.), V_{mc} : ปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (ลบ.ซม. / ก.), V_{mi} : ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (ลบ.ซม. / ก.), D: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (อังสตรอม)

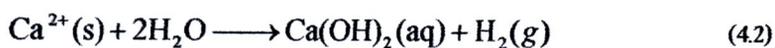
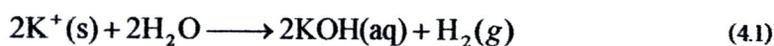
ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

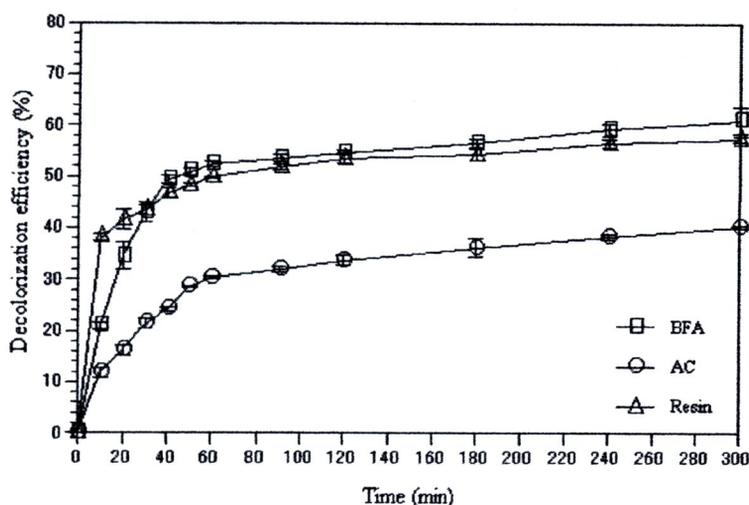


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของรูพรุนขนาดกลางของถ่านกัมมันต์ที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

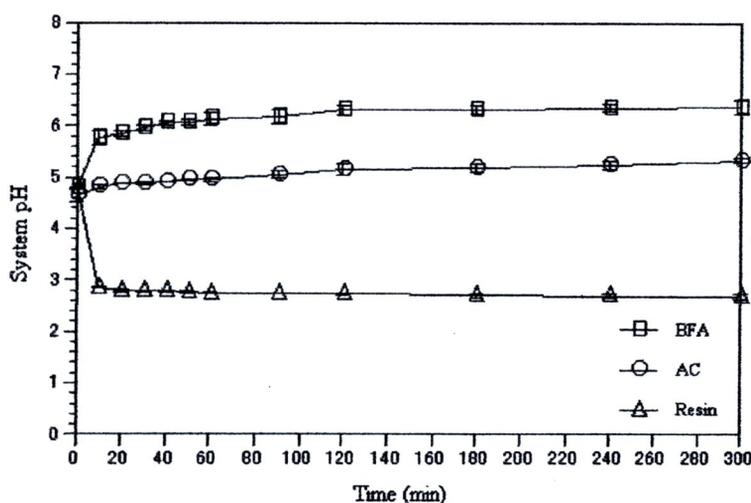
4.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยถ่านกัมมันต์ เรซิน และ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า บรรจุตัวดูดซับน้ำหนักร้อยละ 10 ในระบบคอลัมน์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมคงที่ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ระบบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเชื่อมเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีค่าความเป็นด่างสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับ ในขณะที่ระบบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเชื่อมเมื่อใช้เรซินเป็นตัวดูดซับมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาของระบบเพิ่มมากขึ้นหมู่เอมีนของเรซินซึ่งทำหน้าที่ทำปฏิกิริยากับสารสีในน้ำเชื่อมแล้วปล่อยหมู่คลอไรด์ไอออนออกจากเรซิน ซึ่งจะรวมตัวกับ ไฮโดรเจนไอออนเป็นกรดไฮโดรคลอริกจึงทำให้ระบบมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น สำหรับระบบค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านกัมมันต์ เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าความเป็นด่างสูงขึ้นอาจเนื่องจากหมู่ โฟสเฟตเซียมและแคลเซียมที่ถ่านกัมมันต์ปล่อยออกมาจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 4.1 – 4.2 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกระยะเวลาของระบบ 1 ชั่วโมงสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมและไอโซโทม และเทอร์โมไดนามิกของการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์ขั้นต่อไป





รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อม โดยเจ้าหน้าที่งานอ้อย เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้า น้ำหนักร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาของระบบที่แตกต่างกัน

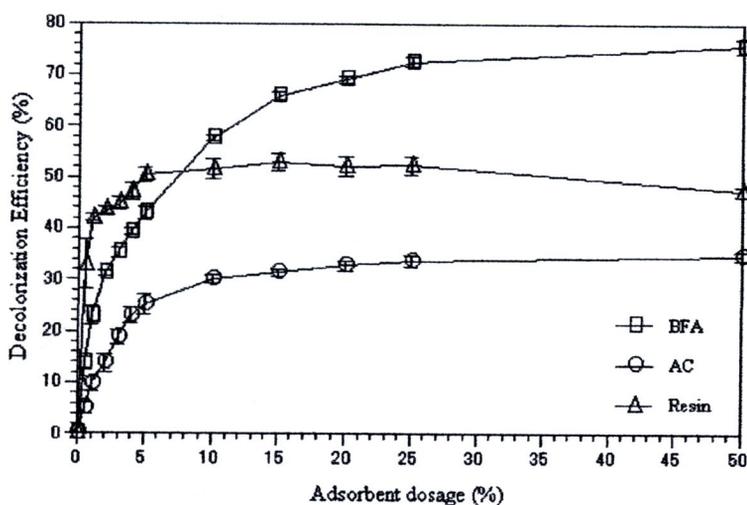


รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบการกำจัดสีน้ำเชื่อม โดยเจ้าหน้าที่งานอ้อย เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้า น้ำหนักร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาของระบบที่แตกต่างกัน

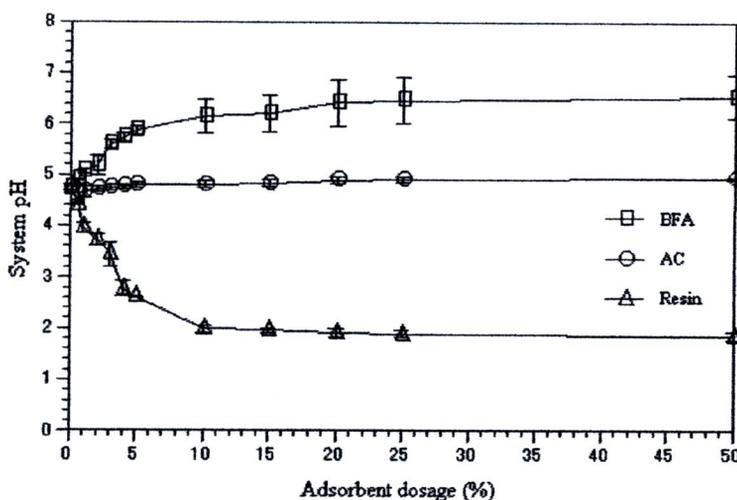
4.4 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่งานอ้อย

ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำเชื่อม โดยเจ้าหน้าที่งานอ้อย ในระบบคอลัมน์ดังแสดง ในรูปที่ 4.4 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณของเจ้าหน้าที่งานอ้อยและถ่านกัมมันต์ทางการค้าจนกระทั่งถึงน้ำหนักร้อยละ 10 ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมเมื่อใช้เรซินจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเรซินถึงน้ำหนัก

ร้อยละ 10 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.5 ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงเลือกปริมาณตัวดูดซับน้ำหนักร้อยละ 10 สำหรับการศึกษาขั้นต่อไป



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อย เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ปริมาณตัวดูดซับที่แตกต่างกัน

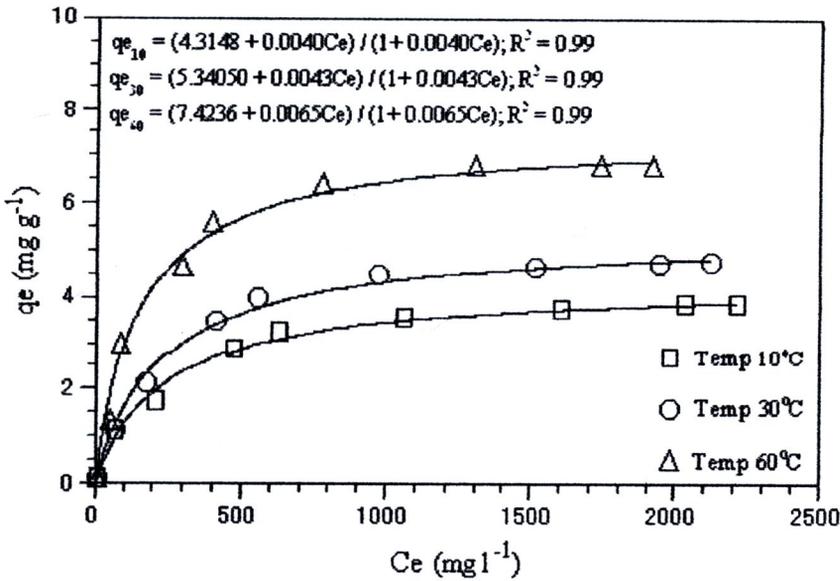


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อย เรซิน และถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ปริมาณตัวดูดซับที่แตกต่างกัน

4.5 ไอโซเทอม และเทอร์โมไดนามิกของการดูดซับสีน้ำเชื่อมโดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อย

สีเมลานอยดินสังเคราะห์ใช้เป็นตัวแทนของสีในน้ำเชื่อมเพื่อศึกษาไอโซเทอม และเทอร์โมไดนามิก โดยทดสอบอุณหภูมิที่ 30, 40 และ 60 องศาเซลเซียส

ผลของอุณหภูมิต่อไอโซเทอมการดูดซับของสีเมลานอยดินสังเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.6 ไอโซเทอมของสีเมลานอยดินสังเคราะห์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของแลงเมียร์เนื่องจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.9 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 แลงเมียร์ไอโซเทอมของการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์ โดยเจ้าหน้าที่อุณหภูมิตั้งที่ 10, 30 และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ของการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์ โดยเจ้าหน้าที่อุณหภูมิต่างกัน

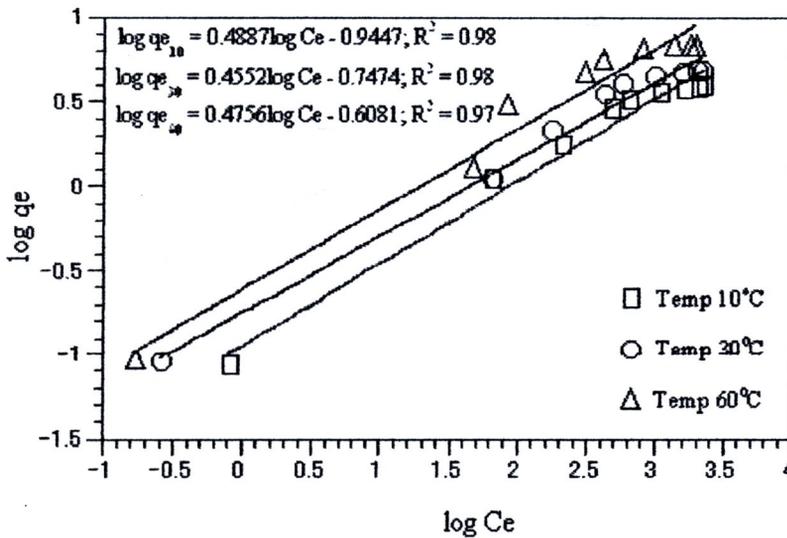
อุณหภูมิ (°C)	q_{max} ($mg\ g^{-1}$)	R^2	b (mg^{-1})
10	4.32 ^a	0.99	0.0040 ^c
30	5.34 ^b	0.99	0.0043 ^b
60	7.42 ^a	0.99	0.0065 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์แสดงในตารางที่ 4.3 ค่า q_{max} แสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียวในหน่วยของมิลลิกรัมสีเมลานอยดินสังเคราะห์ต่อกรัมตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่าผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับของเจ้าหน้าที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับจาก 4.32

ถึง 7.42 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่า q_{max} ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสูงกว่า 30 และ 10 องศาเซลเซียสที่สภาวะสมดุลของกราฟแลงเมอว์ ทุกค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสามารถอธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิสูงเจ้าหน้าที่ชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

นอกจากนี้ค่า b เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 0.0040 ถึง 0.0065 ลิตรต่อมิลลิกรัมที่อุณหภูมิ 10 ถึง 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงเจ้าหน้าที่ชานอ้อยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (บ่งบอกถึงความจำเพาะและความแข็งแรงของการดูดซับ) ต่อสปีเมลานอยดินสังเคราะห์สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 4.7 ฟรอนคลิซไอโซเทอมแบบเส้นตรงของการดูดซับสปีเมลานอยดินสังเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อยที่อุณหภูมิต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่ของสมการฟรอนคลิซของการดูดซับสปีเมลานอยดินสังเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อย

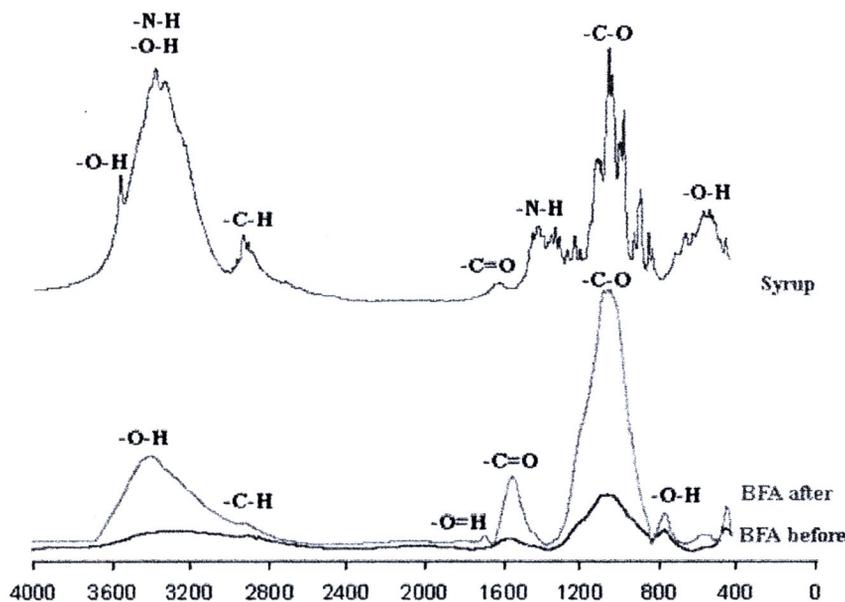
อุณหภูมิ (°C)	K_f (mg^{-1})	n	R^2
10	0.11 ^b	2.05 ^a	0.98
30	0.18 ^{ab}	2.20 ^a	0.98
60	0.25 ^a	2.10 ^a	0.97

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ฟรุคโตสไอโซโทมแบบเส้นตรงของการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์ โดยเจ้าหน้าที่ชานอ้อยที่อุณหภูมิแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.7 ค่า n และ K , คำนวณจากค่าความชันและจุดตัดแกนตั้งของกราฟฟรุคโตสที่แสดงในตารางที่ 4.4 ไอโซโทมของสีเมลานอยดินสังเคราะห์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของฟรุคโตสเพราะสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.9 ค่า K , ในฟรุคโตสไอโซโทมมีความสัมพันธ์กับความสามารถของตัวดูดซับต่อตัวถูกดูดซับ ในการศึกษาครั้งนี้ ค่า K , เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่า q_{max} จากแลงเมียร์ไอโซโทมแสดงว่าความสามารถในการดูดซับของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า n ในฟรุคโตสไอโซโทมเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับ ค่า n ที่สูงกว่าแสดงถึงความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่า ค่า n ค่า n ของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยอยู่ในช่วง 2-10 แสดงถึงการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 10 ถึง 60 องศาเซลเซียส

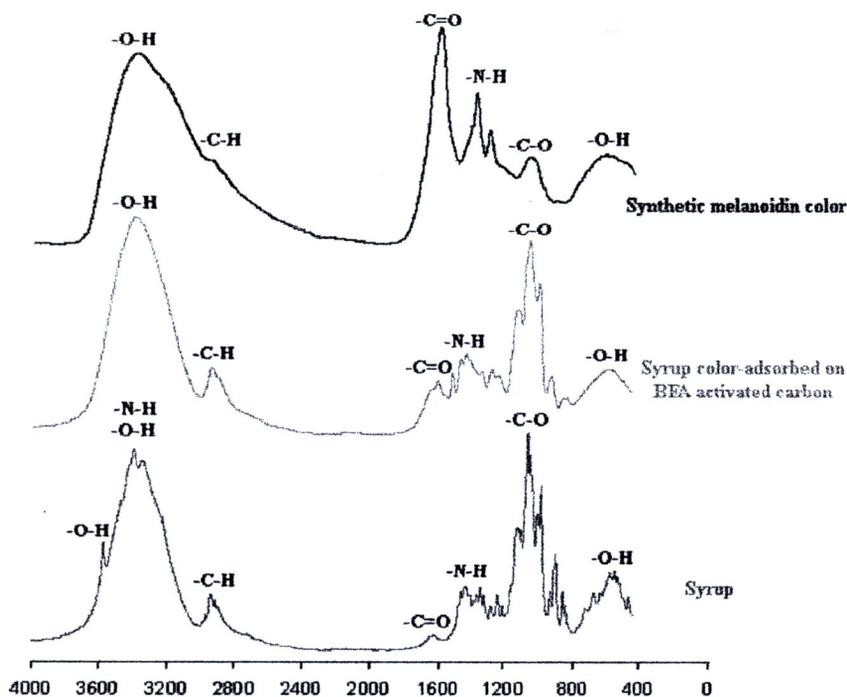
4.6 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยก่อนและหลังการดูดซับน้ำเชื่อมและเมลานอยดิน

สเปกตรัมอินฟราเรดของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยก่อนและหลังดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแสดงในรูปที่ 4.8 หลังจากดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแล้วพบหมู่ฟังก์ชันใหม่ของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยที่ 3400 คมเซนติเมตร (-O-H และ N-H), 3000 คมเซนติเมตร (-C-H), 1600 คมเซนติเมตร (-O-H และ -C=O), 1100 คมเซนติเมตร (-C-O) และ 800 คมเซนติเมตร (-O-H) แสดงว่าเจ้าหน้าที่ชานอ้อยดูดซับสีจากน้ำเชื่อม



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมอินฟราเรดของเจ้าหน้าที่ชานอ้อยก่อนและหลังดูดซับสีจากน้ำเชื่อม

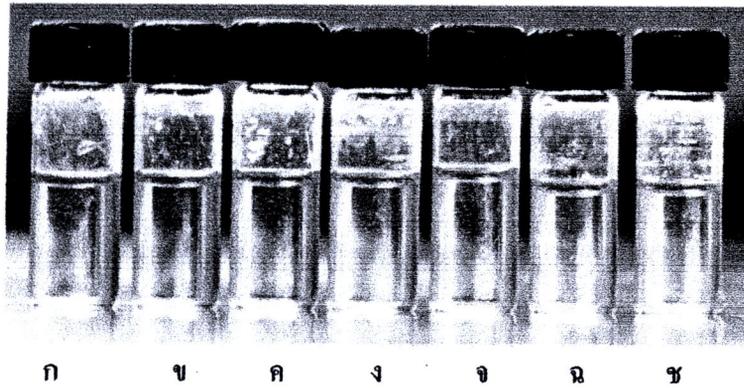
สเปกตรัมอินฟราเรดของน้ำเชื่อม ถ่านกัมมันต์เด้าหนักขานอ้อยที่ดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแล้วและสีเมลานอยดินสังเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.9 หมู่ฟังก์ชันใหม่ของ ถ่านกัมมันต์เด้าหนักขานอ้อยที่ดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแล้วและสีเมลานอยดินสังเคราะห์ที่พบคือ -O-H, -C-H, -N-H, -C-O และ -C=O ซึ่งใกล้เคียงกับที่พบในน้ำเชื่อม สีเมลานอยดินสังเคราะห์พบหมู่ -C=O (คาร์บอกซิลิก) ที่ 1600 ต่อเซนติเมตรซึ่งแตกต่างจากน้ำเชื่อม ดังนั้น หลังจากถ่านกัมมันต์เด้าหนักขานอ้อยที่ดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแล้วพบว่า ถ่านกัมมันต์เด้าหนักขานอ้อยที่ดูดซับสีจากน้ำเชื่อมแล้วได้รับ -C=O และ -O-H ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูดซับสีจากน้ำเชื่อม ตำแหน่งคลื่นและลักษณะของสเปกตรัมอินฟราเรดซึ่งมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันแสดงในตารางที่ 4.5



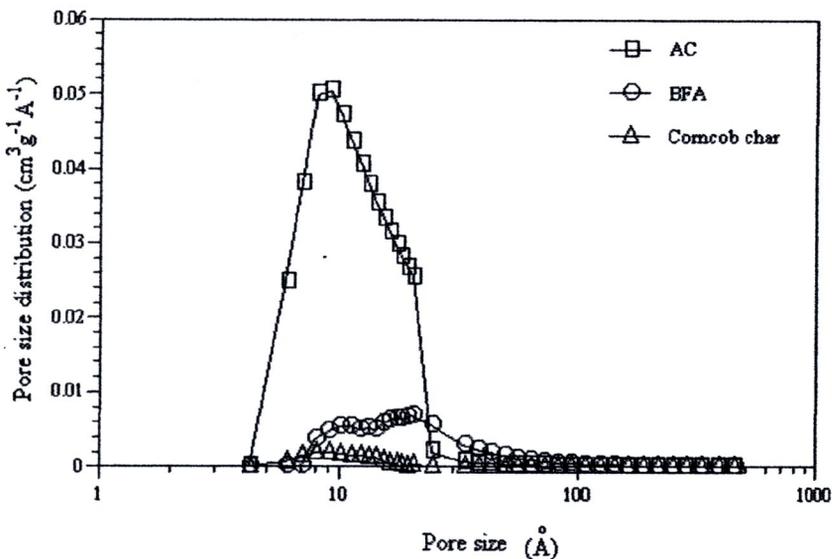
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมอินฟราเรดของน้ำเชื่อม ถ่านกัมมันต์เด้าหนักขานอ้อยหลังดูดซับสีจากน้ำเชื่อมและสีเมลานอยดินสังเคราะห์

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งคลื่นและลักษณะของสเปกตรัมอินฟราเรดซึ่งมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันของน้ำเชื่อม เถ้าหนักขานอ้อยหลังคั่วบดสีจากน้ำเชื่อมและสีเมลานอยดินสังเคราะห์

น้ำเชื่อม			
ลักษณะ	ตำแหน่งคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
Peak	3566	OH	R-CH ₂ -OH
	3397	OH	R-CH ₂ -OH
	3347	OH	R-CH ₂ -OH
	2945	CH	R-CH ₂ -OH
	1655	C=O Stretch	CO-NH-C
	1443	NH Stretch	CO-NH-C
	1350	NH Stretch	CO-NH-C
	1245	CO	Ph-OC
	1133	CO	R ₂ -CH-OH
	1071	CO	Ph-CR-OH
	991	CO	Ph-CR-OH
	912	OH	C-C-COOH
	869	OH	C-C-COOH
	689	OH	COOH
	595	OH	COOH
เถ้าหนักขานอ้อยหลังคั่วบดสีจากน้ำเชื่อม			
ลักษณะ	ตำแหน่งคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
Peak	3409	OH	R-CH ₂ -OH
	2945	CH	R-CH ₂ -OH
	1621	C=O Stretch	CO-NH-C
	1518	C=O Stretch	CO-NH-C
	1429	NH Stretch	CO-NH-C
	1279	CO	Ph-OC
	1134	CO	R ₂ -CH-OH
	1057	CO	Ph-CR-OH
	1028	CO	Ph-CR-OH
	940	OH	C-C-COOH
	859	OH	C-C-COOH
	623	OH	COOH
สีเมลานอยดินสังเคราะห์			
ลักษณะ	ตำแหน่งคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
Peak	3402	OH	R-CH ₂ -OH
	2957	CH	R-CH ₂ -OH
	1617	C=O Stretch	CO-NH-C
	1394	NH Stretch	CO-NH-C
	1311	NH Stretch	CO-NH-C
	1081	CO	Ph-CR-OH
	631	OH	COOH



รูปที่ 4.10 ลักษณะของน้ำเชื่อมก่อน (ก) และหลังกำจัดสีด้วยถ่านซังข้าวโพด (ข), ถ่านกัมมันต์ทางการค้า (ค), ไคตินปรับสภาพ (ง), ไคติน (จ), ถ่านหินกษานอ้อย (ฉ) และ เรซิน (ช) ในอัตราส่วนตัวดูดซับน้ำหนักร้อยละ 10

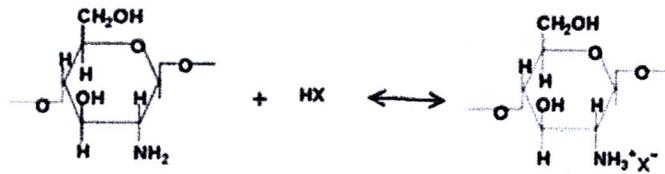


รูปที่ 4.11 การกระจายตัวของรูพรุนของถ่านหินกษานอ้อย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และถ่านซังข้าวโพด

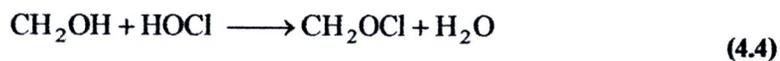
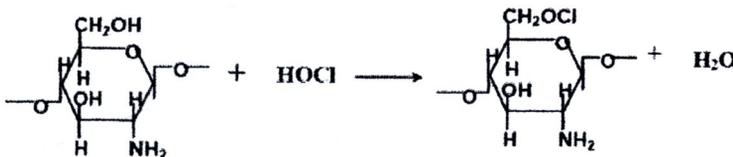
4.7.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยไคตินและไคตินปรับสภาพ

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและลักษณะน้ำเชื่อมโดยไคตินและไคตินปรับสภาพแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไคตินมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่าไคตินปรับสภาพ

สำหรับไคตินช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 8 ลดลงประมาณ 6 แสดงถึงการลดลงของหมู่เอมีนอย่างเป็นทางการเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงดังแสดงในสมการที่ 4.3 [48]



สำหรับไคตินปรับสภาพนั้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมลดลงอาจเนื่องจากปฏิกิริยาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ในขั้นตอนการฟอกไคติน กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ในสารละลายจะทำปฏิกิริยากับหมู่แอลกอฮอล์ (CH_2OH) ของโพลีเมอร์เซลลูโลสและเปลี่ยนไปเป็น CH_2OCl ดังแสดงในสมการที่ 4.4 [49]



ค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งต้นของระบบการกำจัดสีน้ำเชื่อมของไคตินและไคตินปรับสภาพมีการเปลี่ยนแปลงจาก 8.45 ไปเป็น 5.71 และ 5.39 ทั้งนี้เนื่องจากตัวดูดซับภายใต้สภาวะกรดจะพบหมู่เอมีนที่มีประจุบวก หมู่ไฮดรอกซิลบนไคตินเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีประสิทธิภาพสำหรับการดูดซับสีจากน้ำเชื่อมภายใต้สภาวะความเป็นด่างในขณะที่การเปลี่ยนหมู่แอลกอฮอล์ไปเป็น HOCl นั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมของไคตินปรับสภาพลดลงเนื่องจากไม่สามารถดูดซับโมเลกุลสีได้เหมือนไคติน

สำหรับเรซินในการศึกษาค้างนี้ใช้ AMBERLITE FPA90 Cl ซึ่งเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุลบประกอบด้วยหมู่เอมีนบนโครงสร้างค้ำยโพลีสไตรีน [49] ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นเนื่องจากโครงสร้างค้ำยขนาดใหญ่ของเรซินมีรูขนาดใหญ่เมื่อรวมกับคุณสมบัติของเรซินที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนด่างที่แรงและโครงสร้างหลักที่เป็นสายโพลีเมอร์อะโรมาติกทำให้เรซินสามารถกำจัดสีน้ำเชื่อมได้ดีเนื่องจากโมเลกุลอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่ละลายอยู่ในน้ำเชื่อมมีประจุลบแบบอ่อนลักษณะของน้ำเชื่อมที่ดูดซับด้วยเรซินแล้วแสดงในรูปที่ 4.10

4.7.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย (สภาวะที่ 1)

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและลักษณะน้ำเชื่อมโดยถ้ำหนักชานอ้อยและถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย (สภาวะที่ 1) แสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสีและค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ้ำหนักชานอ้อยและถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยที่เตรียมโดยไอน้ำ (BBA450-Stream800-60) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถ้ำหนักชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่าถ้ำหนักชานอ้อย ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยมีปริมาตรพื้นที่ผิวทั้งหมดและการกระจายตัวของรูพรุนขนาดกลางสูงกว่าถ้ำหนักชานอ้อยดังแสดงในรูปที่ 4.13 เพราะสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่พบในน้ำเชื่อมจะถูกดูดซับด้วยรูพรุนขนาดกลางของถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่าถ้ำหนักชานอ้อย



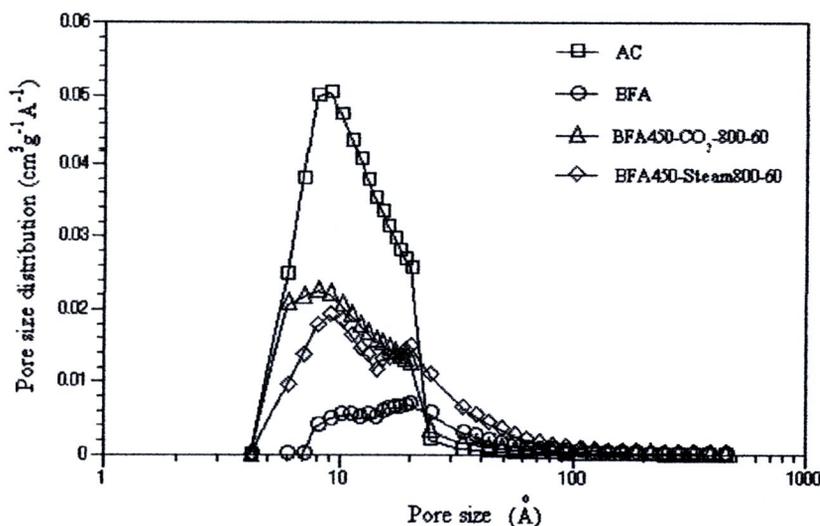
รูปที่ 4.12 ลักษณะของน้ำเชื่อมก่อน (ก) และหลังกำจัดสีด้วย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า (ข), ถ้ำหนักชานอ้อย (ค), BBA450-CO₂,800-60 (ง), BBA450-Stream800-60 (จ)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมและสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากถ่านอ้อยและถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อย (สภาวะที่ 1)

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)	ค่าสี (ICUMSA)	สมบัติทางกายภาพ				
			S_T ($m^2 g^{-1}$)	V_T ($cm^3 g^{-1}$)	V_{me} ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mi} ($cm^3 g^{-1}$)	D (\square)
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	18 ± 0.08^d	832 ± 0.82	971^a	0.4916	0.0404	0.4512	20^c
ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อย	73 ± 1.05^c	272 ± 10.72	256^d	0.2072	0.1032	0.1040	32^a
BBA450-CO ₂ -800-60	86 ± 0.81^b	147 ± 8.24	467^c	0.2785	0.0596	0.2189	24^b
BBA450-Steam800-60	96 ± 0.49^a	37 ± 4.96	601^b	0.4639	0.2068	0.2571	31^a

หมายเหตุ: S_T : พื้นที่ผิวทั้งหมด (ตร.ซม. / ก.), V_T : ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลบ.ซม. / ก.), V_{me} : ปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (ลบ.ซม. / ก.), V_{mi} : ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (ลบ.ซม. / ก.), D: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (อังสตรอม)

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



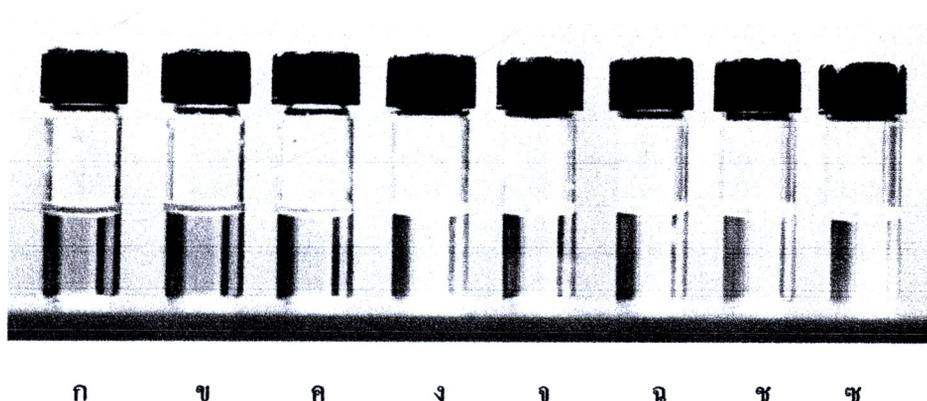
รูปที่ 4.13 การกระจายตัวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อย และถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อย (สภาวะที่ 1)

ถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อยที่กระตุ้นด้วยไอน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่าถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อยที่กระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ถ่านอ้อยที่กระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถพัฒนารูพรุนขนาดกลางได้สูงกว่าการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากไอน้ำมีความว่องไวมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิเดียวกัน [50] น้ำมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้มีอัตราการแพร่เข้าไปในรูพรุนของถ่านได้เร็ว

กว่าเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไอน้ำเร็วกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณสามเท่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส [51]

4.7.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมโดยถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย (สภาวะที่ 2)

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและลักษณะน้ำเชื่อมโดยถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยซึ่งกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยแปรผันอุณหภูมิ (300-800 องศาเซลเซียส) (สภาวะที่ 2) แสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยทั้งหมดมีพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วง 491 – 595 ตารางเมตรต่อกรัมและ 93 – 96 % (สีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำเชื่อมมีค่าระหว่าง 43 – 67 ICUMSA จากค่าเริ่มต้น 1020 ICUMSA) ตามลำดับ



รูปที่ 4.14

ลักษณะของน้ำเชื่อมก่อนและหลังกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย (สภาวะที่ 2):

ก = น้ำเชื่อมก่อนกำจัดสี, ข = ถ่านกัมมันต์ทางการค้า, ค = ถ้ำหนักชานอ้อย,
 ง = BBA300-Steam800-30, จ = BBA400-Steam800-30, ฉ = BBA500-Steam800-30,
 ช = BBA600-Steam800-30 และ ซ = BBA800-Steam800-30

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมและสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินและถ่านกัมมันต์ถ่านหิน (สภาวะที่ 2)

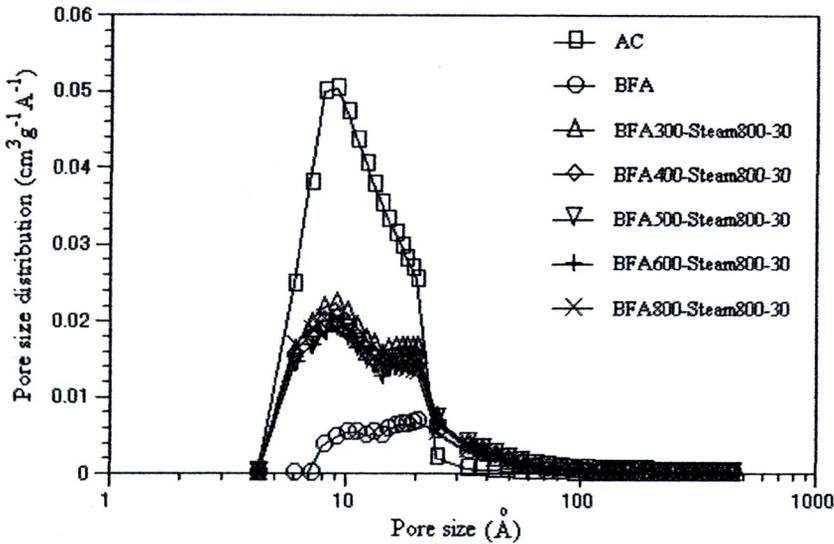
ตัวคูณ	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)	ค่าสี (ICUMSA)	สมบัติทางกายภาพ				
			S_T ($m^2 g^{-1}$)	V_T ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mc} ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mi} ($cm^3 g^{-1}$)	D (□)
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	18 ± 0.08^c	832 ± 0.82	971 ^a	0.4916	0.0404	0.4512	20 ^c
ถ่านกัมมันต์	73 ± 1.05^b	272 ± 10.72	256 ^b	0.2072	0.1032	0.1040	32 ^a
BBA300-Steam800-30	96 ± 0.25^a	43 ± 2.47	595 ^b	0.3983	0.1330	0.2653	27 ^b
BBA400-Steam800-30	95 ± 0.91^a	50 ± 9.07	547 ^c	0.3661	0.1221	0.2440	27 ^b
BBA500-Steam800-30	95 ± 0.33^a	49 ± 3.30	524 ^d	0.3635	0.1307	0.2328	28 ^b
BBA600-Steam800-30	96 ± 0.25^a	45 ± 2.47	513 ^c	0.3560	0.1277	0.2283	28 ^b
BBA800-Steam800-30	93 ± 0.58^a	67 ± 5.77	491 ^f	0.3253	0.1022	0.2231	27 ^b

หมายเหตุ: S_T : พื้นที่ผิวทั้งหมด (ตร.ซม. / ก.), V_T : ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลบ.ซม. / ก.), V_{mc} : ปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (ลบ.ซม. / ก.), V_{mi} : ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (ลบ.ซม. / ก.), D: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (อังสตรอม)

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 ทุกค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสีและค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของถ่านกัมมันต์ถ่านหินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผิวทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ถ่านหินที่กระตุ้นด้วยไอน้ำโดยแปรผันอุณหภูมิ (300-800 องศาเซลเซียส) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ถ่านหินในช่วง 491 – 595 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งเหมาะสำหรับการกำจัดสีน้ำเชื่อมและมีการกระจายตัวของรูพรุนขนาดกลางสูงกว่าส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำเชื่อมสูงกว่าถ่านกัมมันต์ถ่านหินและถ่านกัมมันต์ทางการค้าดังแสดงในรูปที่ 4.15

การพัฒนาวิธีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ถ่านหินให้เป็นตัวคูณที่ดีเพื่อใช้แทนที่เรซินสามารถพัฒนาโดยกระตุ้นด้วยไอน้ำจะได้ผลดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์และสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับกระตุ้นถ่านกัมมันต์ถ่านหินให้เป็นถ่านกัมมันต์ถ่านหินคือ BBA300-Steam800-30 เนื่องจากค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนและประสิทธิภาพการกำจัดสีใกล้เคียงกับ BBA450-Steam800-60



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ถ่านหนักชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ถ่านหนักชานอ้อย (สภาวะที่ 2)

4.7.5 ศึกษาการคายการดูดซับ

การคายการดูดซับใช้ศึกษาเพื่อหากลไกการดูดซับ เนื่องจากสารสีในน้ำเชื่อมมีแนวโน้มเป็นสารโพลีเมอร์หลายชนิดซึ่งประกอบด้วยหมู่กรดคาร์บอกซิลิกหนึ่งหมู่หรือหลายหมู่ขึ้นไปจึงทำให้มีสมบัติเป็นประจุลบอย่างอ่อน [41-42, 49, 52-53] ดังนั้นการทดลองนี้จะใช้สีที่ถูกดูดซับอยู่บน ถ่านหนักชานอ้อย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า เรซิน และสีที่ถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับอื่นๆ ด้วยน้ำกลั่นตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80

ผลการศึกษาพบว่าสามารถชะสีจากน้ำเชื่อมโดยน้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ยกเว้นถ่านกัมมันต์ถ่านหนักชานอ้อย (ทั้ง BBA450-Steam-800-60 และ BBA450-CO₂-800-60) เมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 สามารถชะสีได้สูงกว่าน้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ดังแสดงในตารางที่ 4.9 แสดงว่าการดูดซับของสารสีบนตัวดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับ ไอโซเทอมของการดูดซับสีเมลานอยดินสังเคราะห์ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสีในน้ำเชื่อม

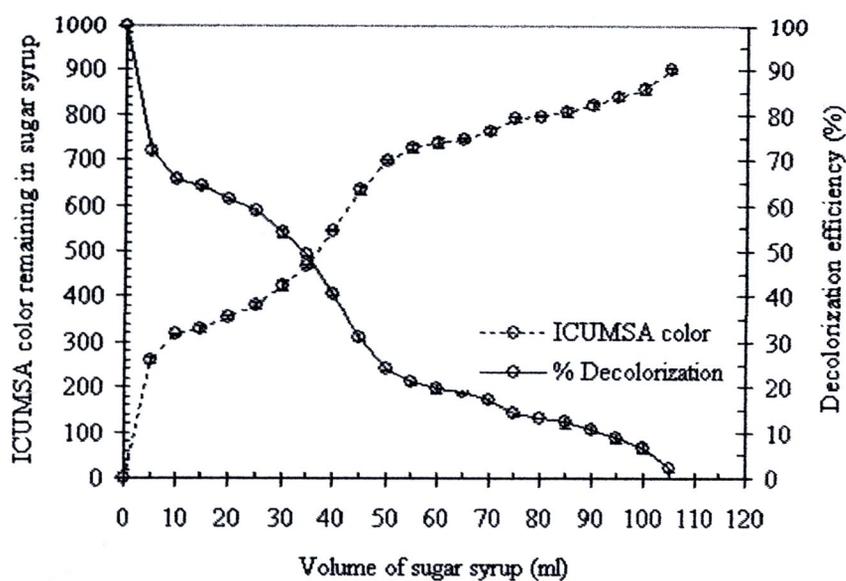
ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการคายการดูดซับของสารสีในน้ำเชื่อมจากสีที่ถูกดูดซับอยู่บนแผ่น นักชานอ้อย ถ่านกัมมันต์ถ่านนักชานอ้อย เรซิน ถ่านกัมมันต์ทางการค้า ถ่านซังข้าวโพด และโคติน โดยน้ำกลั่นตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการคายการดูดซับ (%)			
	น้ำกลั่น	0.5M NaOH	80% Methanol	รวม
ถ่านนักชานอ้อย	13 + 0.83 ^d	84 + 7.36 ^a	-	97
BBA450-Steam-800-60	2 + 0.41 ^f	2 + 1.79 ^f	94 + 4.66	98
BBA450-CO ₂ -800-60	3 + 0.29 ^{ef}	24 + 1.33 ^d	70 + 3.58	97
เรซิน	6 + 0.80 ^e	85 + 3.89 ^a	-	91
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	36 + 2.05 ^b	64 + 7.21 ^c	-	100
ถ่านซังข้าวโพด	87 + 4.44 ^a	10 + 5.46 ^e	-	97
โคตินปรับสภาพ	24 + 2.00 ^c	74 + 7.13 ^c	-	98
โคติน	22 + 3.08 ^c	77 + 2.56 ^c	-	99

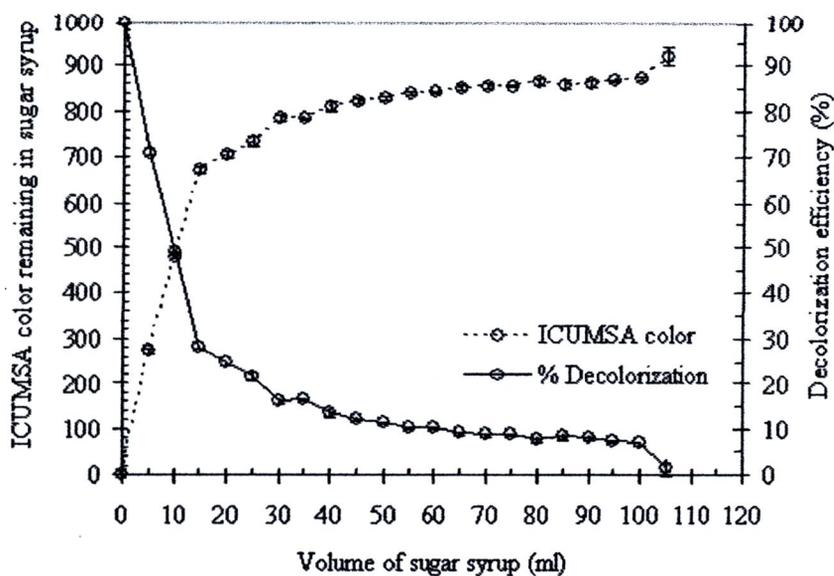
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรตัวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.8 ศึกษาประสิทธิภาพความจุสูงสุดในการดูดซับสีน้ำเชื่อม (Breakthrough studies) โดยตัวดูดซับชนิดต่างๆ ในระบบคอลัมน์

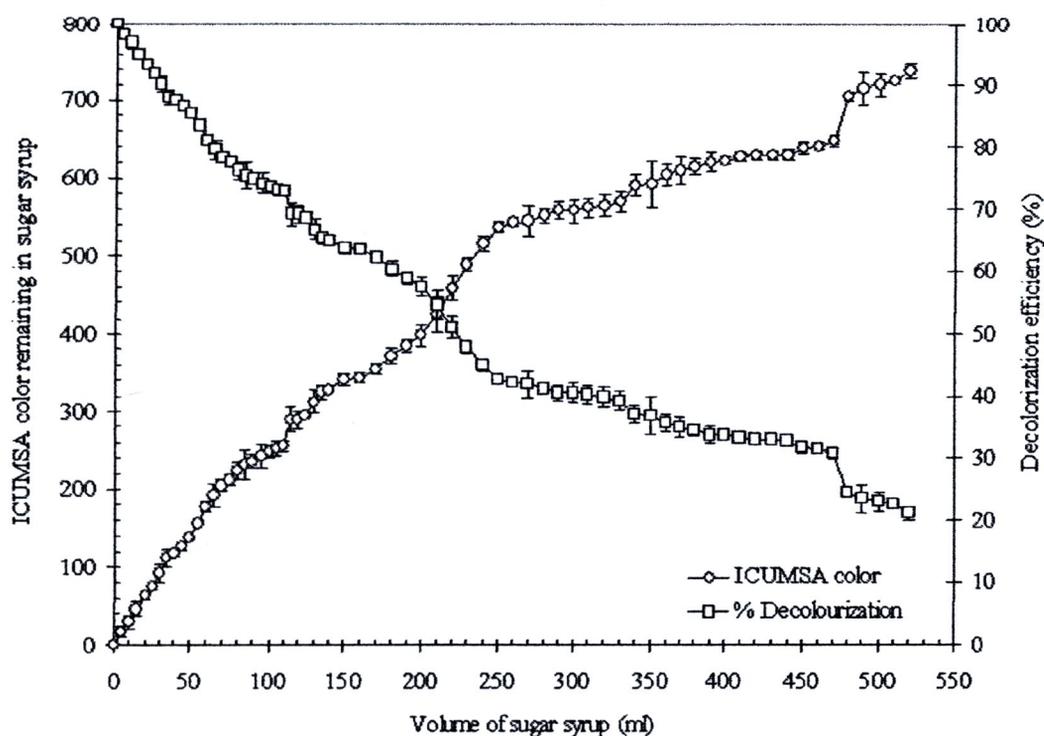
ประสิทธิภาพความจุสูงสุดของเรซิน ถ่านนักชานอ้อยและถ่านกัมมันต์ถ่านนักชานอ้อย (BBA450-Steam-800-60) ในการกำจัดสีน้ำเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.18 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเรซินและ ถ่านนักชานอ้อยมีประสิทธิภาพความจุสูงสุดในการดูดซับสีน้ำเชื่อมที่ปริมาตรของน้ำเชื่อมประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อปริมาตรตัวดูดซับ 0.5 กรัมโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมร้อยละ 72 (ค่าสีของน้ำเชื่อมคงเหลือ 259 ICUMSA) (รูปที่ 4.16) และร้อยละ 71 (ค่าสีของน้ำเชื่อมคงเหลือ 273 ICUMSA) (รูปที่ 4.17) ตามลำดับ ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ถ่านนักชานอ้อยมีประสิทธิภาพความจุสูงสุดในการดูดซับสีน้ำเชื่อมที่ปริมาตรของน้ำเชื่อมประมาณ 50 มิลลิลิตรต่อปริมาตรตัวดูดซับ 0.5 กรัมโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมร้อยละ 85 (ค่าสีของน้ำเชื่อมคงเหลือ 138 ICUMSA) (รูปที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่า ถ่านนักชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเชื่อมน้อยกว่าเรซินและถ่านกัมมันต์ถ่านนักชานอ้อย (BBA450-Steam-800-60) ภายใต้อัตราการไหลผ่านคอลัมน์เท่ากันที่ 0.4 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพความจุสูงสุดของเรซินในการกำจัดสีน้ำเชื่อม



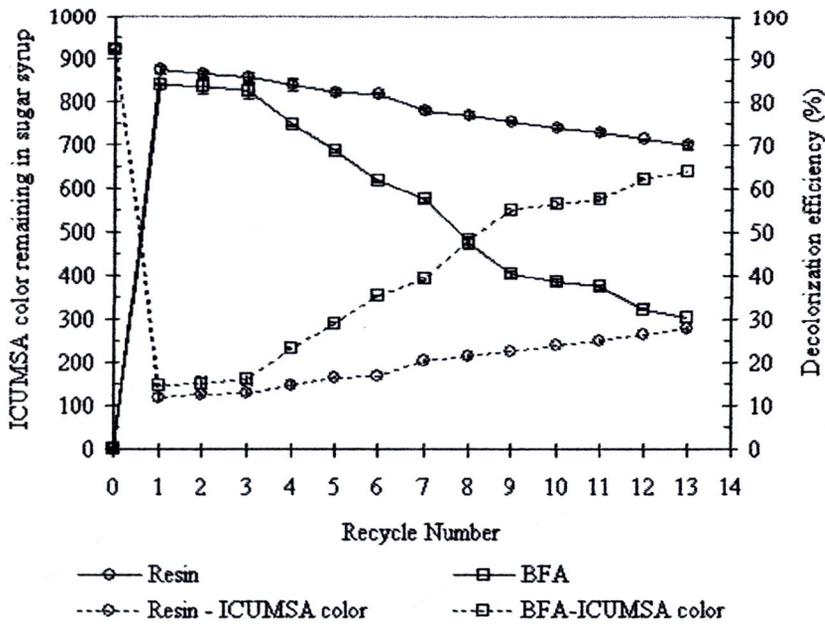
รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพความจุสูงสุดของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีน้ำเชื่อม



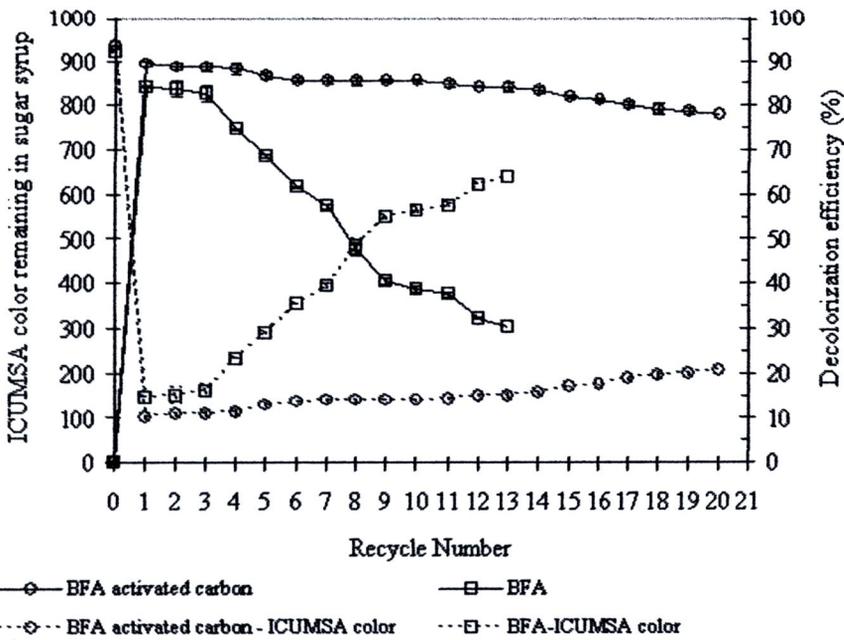
รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพความจุสูงสุดของถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย (BBA450-Steam-800-60) ในการกำจัดสีน้ำเชื่อม

4.9 ศึกษาจำนวนรอบในการนำ เรซิน ถ้ำหนักชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยกลับมาใช้ใน ระบบคอลัมน์

ในการศึกษาครั้งนี้สีที่ถูกดูดซับบนเรซินและถ้ำหนักชานอ้อยจะถูกชะออกด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และสีที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยจะถูก ชะออกด้วยเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ผลการศึกษาพบว่าถ้ำหนักชานอ้อยและเรซิน 0.5 กรัม สามารถลดสีของน้ำเชื่อมที่ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ค่าสีของน้ำเชื่อมคงเหลือ 150 ICUMSA) (รูปที่ 4.19) ซึ่งหมายถึงถ้ำหนักชานอ้อย 50 กิโลกรัมและเรซิน 12.5 กิโลกรัมสามารถใช้กำจัดสีน้ำเชื่อมปริมาตร 1 ลูกบาศก์ลิตร ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อย 0.77 กิโลกรัมสามารถใช้กำจัดสีน้ำเชื่อมปริมาตร 1 ลูกบาศก์ลิตร แสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ถ้ำหนักชานอ้อยสามารถลดปริมาตรตัวดูดซับได้ถึง 65 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ้ำหนักชานอ้อย



รูปที่ 4.19 จำนวนรอบในการนำถ่านหินกานอ้อยและเรซินกลับมาใช้ในระบบคอลัมน์เพื่อกำจัดสีน้ำเชื่อม



รูปที่ 4.20 จำนวนรอบในการนำถ่านหินกานอ้อยและถ่านกัมมันต์ถ่านหินกานอ้อย (BBA450-Stream-800-60) กลับมาใช้ในระบบคอลัมน์เพื่อกำจัดสีน้ำเชื่อม