

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตหลังผ่านขั้นตอนการตกตะกอนด้วยสารเคมี พบว่าลักษณะสีของน้ำเสียค่อนข้างใส และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12 และยังคงมีค่าซีโอดีสูงประมาณ 1,300 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า SS และ TDS มีค่า 40 และ 2,182 มิลลิกรัมต่อลิตร เห็นได้ว่าซีโอดีของน้ำเสียหลังผ่านขั้นตอนการตกตะกอนมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม (มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดเพื่อลดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต โดยจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต (หัวข้อ ที่ 2.2) ค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังการตกตะกอนน่าจะเป็นตัวทำละลายที่ใช้ล้างเครื่องพิมพ์ เป็นของเสียที่เป็นของเหลวที่มีความเป็นพิษสูงซึ่งควรบำบัดโดยวิธีการดูดซับ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตหลังผ่านการตกตะกอน

คุณสมบัติ	ลักษณะ/ค่าที่วัดได้	มาตรฐานน้ำทิ้ง*
สี	เหลืองอ่อนใส	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	12±0.03	5.5 - 9.0
ซีโอดี(mg/l)	1,300±60	120 - 400
SS(mg/l)	40±3	50 - 150
TDS(mg/l)	2,182±137	3,000 - 5,000

* ไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด

4.2 ลักษณะของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ได้แก่ ชังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โดยนำมาเผาให้เป็นถ่านก่อนนำมาใช้ ส่วนเถาขานอ้อยและเถาขี้เถื่อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการเผาไหม้ขานอ้อยและขี้เถื่อยเป็นเชื้อเพลิง ตารางที่ 4.2 แสดงคุณลักษณะที่ของตัวดูดซับที่ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวของตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด (Fixed carbon) มีค่าค่อนข้างสูงโดยมีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัวสูงถึง 60.6-77.9%

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	Proximate analysis (dye basis wt %)		
	Fixed carbon	Volatile matter	Ash
ถ่านกัมมันต์(AC)	77.2	14.7	8.1
ถ่านซังข้าวโพด(CC)	77.9	18.4	3.7
เถาขานอ้อย(BG)	60.6	22.6	16.8
เถาจี่เลื่อย(SD)	61.7	24.7	13.6

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง เช่น ถ่านซังข้าวโพด เถาจี่เลื่อย เถาขานอ้อย นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้าโดยใช้ปริมาณสารดูดซับต่อน้ำเสีย 20%(w/v) ที่ระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง จากสีโอดีของน้ำเสียตั้งต้นเท่ากับ 1,346 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านกัมมันต์การค้าสามารถดูดซับสีโอดีให้เหลือเพียง 686 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 49.06% ถ่านซังข้าวโพดและเถาจี่เลื่อยสามารถดูดซับสีโอดีเหลือเท่ากับ 725 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 46% ส่วนเถาขานอ้อยดูดซับสีโอดีคงเหลือ 958 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับต่ำที่สุดคิดเป็น 29% (ตารางที่ 4.3, รูปที่ 4.1) เมื่อพิจารณาถึงค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวและรูพรุนที่สูงขึ้น ยกเว้นถ่านซังข้าวโพดซึ่งค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนต่ำสุดแต่ยังสามารถดูดซับได้สูงถึง 46%

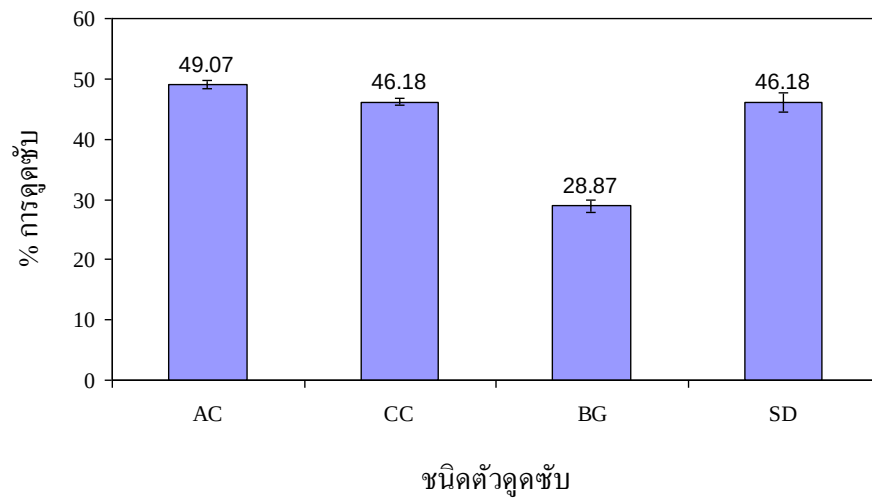
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ เทียบกับพื้นที่ผิวและรูพรุน

ตัวดูดซับ	สีโอดีที่เหลือ(mg/l)	% การดูดซับ	BET (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	D(Å)
AC	686	49±0.7	1132.64	0.6189	21.90
CC	725	46±0.5	62.35	0.0434	27.87
BG	958	29±1.0	114.74	0.0913	31.83
SD	725	46±1.6	215.47	0.1376	25.54

* AC = ถ่านกัมมันต์การค้า (Lot1), CC = ถ่านซังข้าวโพด, BG = เถาขานอ้อย, SD (Lot1) = เถาจี่เลื่อย

สีโอดีตั้งต้น = 1,346 mg/l

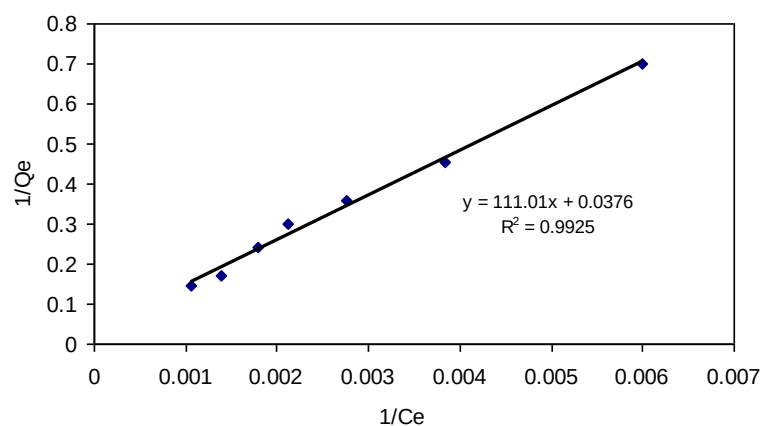
BET = Specific surface area, V_T = Total pore volume, D = Average pore diameter



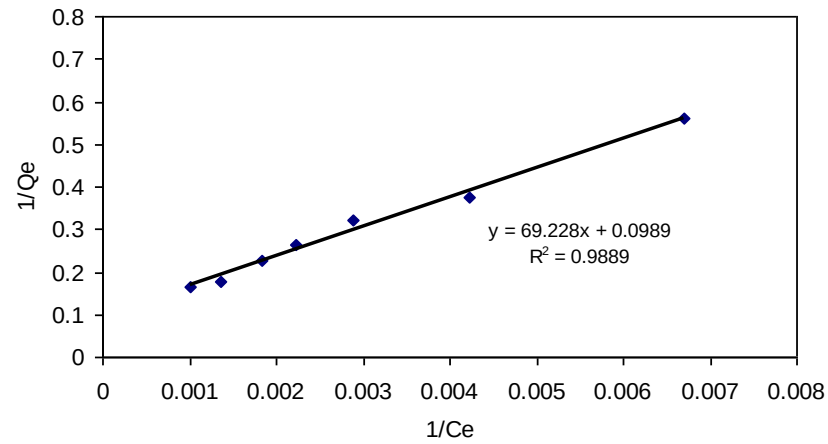
รูปที่ 4.1 การบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า พบว่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์การค้า ถ่านซังข้าวโพดและถั่วลิสงมีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นจึงนำตัวดูดซับทั้งหมดมาหาไอโซเทอมของการดูดซับเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตของตัวดูดซับแต่ละชนิด

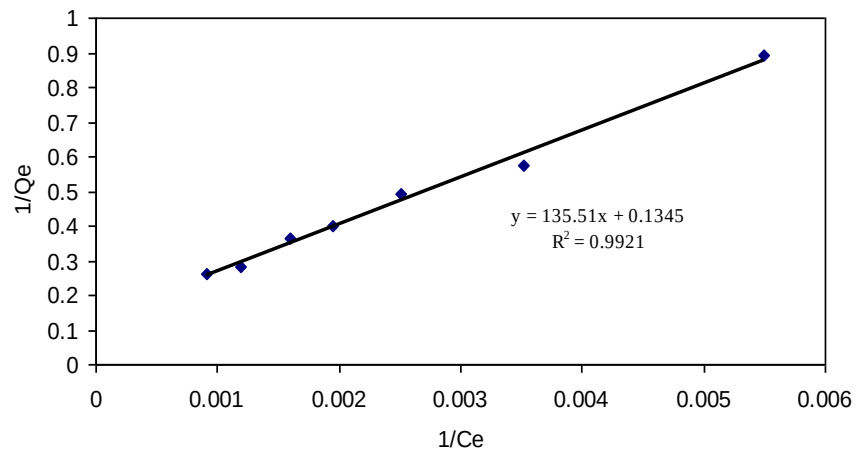
4.4 การศึกษาไอโซเทอมของบำบัดซีโอดีจากตัวดูดซับชนิดต่างๆ



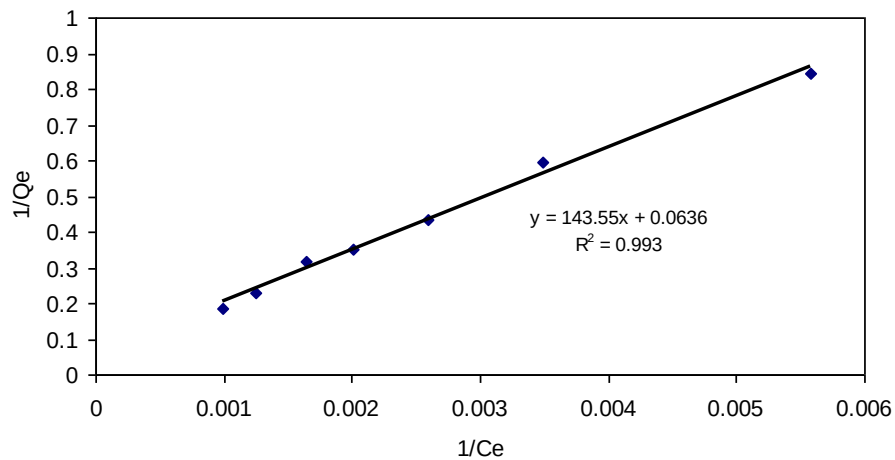
รูปที่ 4.2 แลงเมอร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถ่านกัมมันต์การค้า



รูปที่ 4.3 แลงเมอร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถ่านซังข้าวโพด



รูปที่ 4.4 แลงเมอร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถ่านอ้อย



รูปที่ 4.5 แลงเมียร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ไข่ไก่เลื้อย

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ที่คำนวณได้จากสมการแลงเมียร์ในการบำบัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ตัวดูดซับประเภทต่างๆ

ตัวดูดซับ	Langmuir constants		
	$Q_{\max}$ (mg/g)	b (l/mg)	R^2
ถ่านกัมมันต์การค้า	26.60	3.39×10^{-4}	0.992
ถ่านซังข้าวโพด	10.11	1.43×10^{-3}	0.988
เถ้าขานอ้อย	7.43	9.93×10^{-4}	0.992
ไข่ไก่เลื้อย	15.72	4.43×10^{-4}	0.993

จากไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์แบบเส้นตรงตามสมการที่ 4.1

$$1/q_e = 1/Q_{\max} + 1/(bQ_{\max} C_e) \quad (4.1)$$

โดย q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบ monolayer ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ

$Q_{\max}$ คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบ monolayer

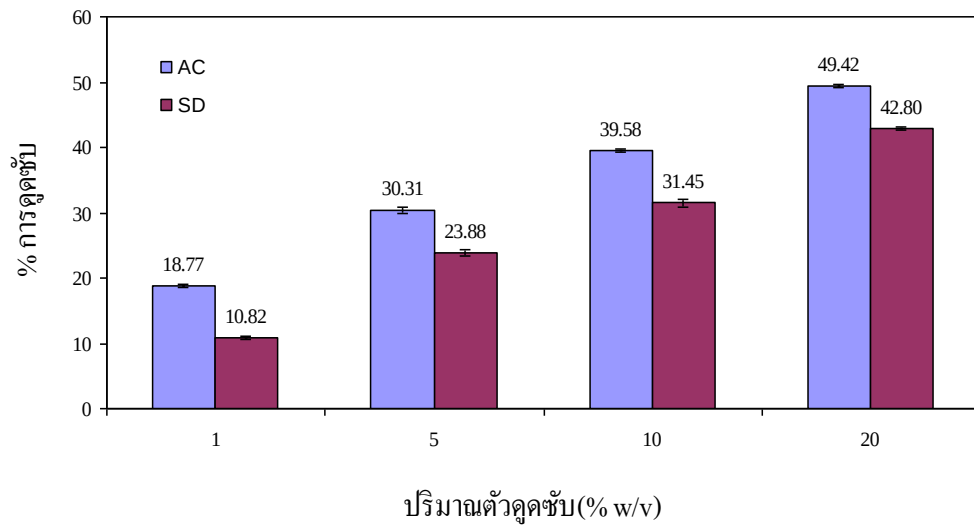
C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวที่สภาวะสมดุล (mg/l)

b คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ

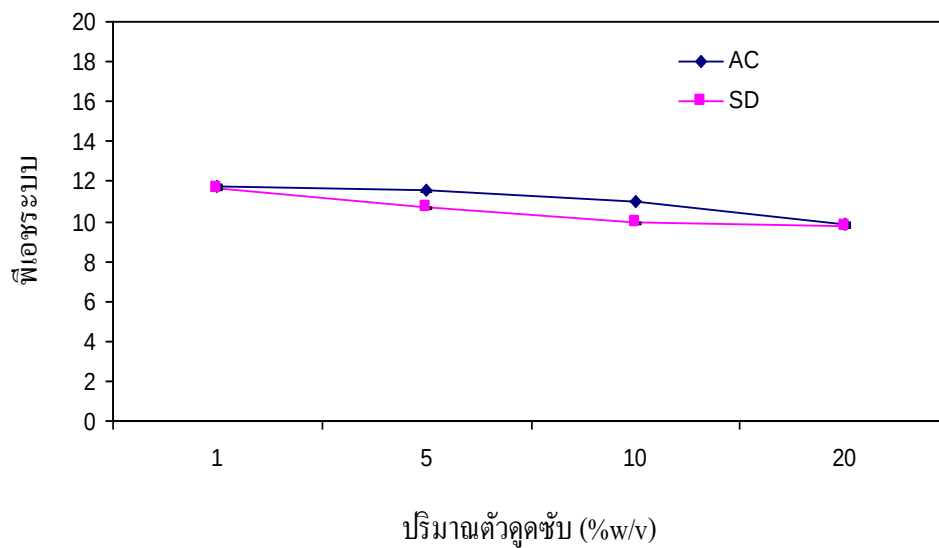
ไอโซเทอมของการบำบัดชีโอดีทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C จากตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด สามารถคำนวณค่าคงที่ได้ตามสมการแลงเมียร์ที่ 4.1 [21, 24] ให้ผลดังตารางที่ 4.4 โดยพบว่าถ่านกัมมันต์การค้ามีความสามารถในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับชีโอดี(Q_{max}) ตามด้วยถ่านกัมมันต์การค้า ชังข้าวโพดและถ่านอ้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.59, 15.72, 10.11 และ 7.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยที่สัมประสิทธิ์ในการดูดซับชีโอดี(b) ของถ่านชังข้าวโพดมีค่าสูงสุดตามด้วยถ่านกัมมันต์การค้า ถ่านอ้อย และถ่านกัมมันต์การค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.43×10^{-3} , 3.39×10^{-4} , 4.43×10^{-4} และ 9.93×10^{-4} ลิตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ โดย R^2 มีค่าสูง(0.98-0.99) แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับ(b) ซึ่งก็คือค่าความความจำเพาะ(Affinity) ต่อการดูดซับชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตของถ่านชังข้าวโพดจะมีค่าสูงแต่เมื่อพิจารณาถึงค่า Q_{max} แล้วยังคงมีค่าต่ำกว่าถ่านกัมมันต์การค้า ดังนั้นจากการทดสอบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโดยสมการแลงเมียร์แบบเส้นตรงทำให้ได้ถ่านกัมมันต์การค้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถดูดซับชีโอดีได้ดีที่สุดจากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์การค้าไปทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตต่อไป

4.5 การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของตัวดูดซับต่อการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

การศึกษาถึงผลของการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวดูดซับต่อการดูดซับน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยตัวดูดซับที่ทำการศึกษาคือ ถ่านกัมมันต์การค้าและถ่านกัมมันต์การค้า ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของตัวดูดซับ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับต่อน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต 1%, 5%, 10% และ 20%(w/v) ที่ระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวดูดซับมากขึ้น จากงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของระดับความเข้มข้นของตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์การค้าที่ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ (SD) และถ่านกัมมันต์การค้าที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (SDC) พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของ SDC เพิ่มขึ้นจาก 59.6% เป็น 99.8% เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (0.2-1.0 g/100 ml) ที่ความเข้มข้นสี 250 mg/l ส่วนเปอร์เซ็นต์การดูดซับของ SD เพิ่มขึ้นจาก 18.6% เป็น 86.9% ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน เป็นผลจากบริเวณที่จะดูดซับนั้นมีเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น[35] โดยในผลการทดลองนี้ถ่านกัมมันต์การค้าสามารถดูดซับชีโอดีน้ำเสียโรงพิมพ์ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์การค้าในทุกๆ ระดับความเข้มข้นซึ่งมีค่าการบำบัดชีโอดีเท่ากับ 19%, 30%, 40% และ 49% ตามลำดับ โดยถ่านกัมมันต์การค้าบำบัดชีโอดีได้ 11%, 24%, 31% และ 43% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งแนวโน้มของฟิโอะระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 10 - 12 ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ปริมาณตัวดูดซับต่อเปอร์เซ็นต์การบำบัดซีโอติน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตจากถ่านกัมมันต์ การค้าและถ่านขี้เลื่อย



รูปที่ 4.7 ปริมาณตัวดูดซับต่อฟิเอชระบบในการบำบัดซีโอติน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตจากถ่านกัมมันต์ การค้าและถ่านขี้เลื่อย

4.6 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับจากถ่านขี้เลื่อยที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยสารเคมี

4.6.1 การเผากระตุ้นถ่านขี้เลื่อยโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)

การทดลองนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติโดยนำถ่านขี้เลื่อยที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) ที่ระดับความเข้มข้นของตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสียจากโรงพิมพ์ 20%(w/v) ใช้

อัตราส่วนของปริมาณเถ้าขี้เถ้าต่อสารเคมีเท่ากับ 1:1(w/w) ที่อุณหภูมิเผา 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้าให้ผลดังตารางที่ 4.5 จากซีโอไซด์ของน้ำเสียตั้งต้นเท่ากับ 1,442 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านกัมมันต์การค้าสามารถดูดซับซีโอไซด์ให้คงเหลือ 661 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 54% เถ้าขี้เถ้าที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์สามารถดูดซับซีโอไซด์ได้สูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้า โดยสามารถดูดซับซีโอไซด์คงเหลือเท่ากับ 694 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 52% ส่วนเถ้าขี้เถ้าดูดซับซีโอไซด์คงเหลือ 869 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งดูดซับซีโอไซด์ได้ต่ำสุดคิดเป็น 40% เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ผิวและรูพรุนของเถ้าขี้เถ้าที่เพิ่มจาก 169.57 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.1013 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 613.07 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.3096 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เถ้าขี้เถ้าที่เผากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 1:1 ทำให้เปอร์เซ็นต์ในการบำบัดซีโอไซด์เพิ่มขึ้นซึ่งการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์สามารถเพิ่มรูพรุนภายในโครงสร้างคาร์บอนของตัวดูดซับ ทั้งยังรักษาผลที่ได้จากการเผากระตุ้น(yield) ของตัวดูดซับให้มีความสูงอีกด้วย [40, 41] ดังนั้นจากผลการทดลองในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เพิ่มขึ้น ได้มีรายงานถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาโดยใช้การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์นั้นพบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า boiling point ของ $ZnCl_2$ (756 องศาเซลเซียส) จะเป็นผลทำให้รูพรุนแบบ Micropore และ Mesopore ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำลายรูพรุนและทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสสูญหายไป [42] ดังนั้นการเผากระตุ้นเถ้าขี้เถ้าด้วย $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 500°C น่าจะเพียงพอต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอไซด์จากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์จากเถ้าขี้เถ้า เถ้าขี้เถ้าที่ผ่านกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และถ่านกัมมันต์การค้า

ตัวดูดซับ	ซีโอไซด์ที่เหลือ (mg/l)	% การดูดซับ	BET(m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	D(Å)
AC	661	54±0.6	970.69	0.4916	20.26
SD	869	40±0.2	169.57	0.1013	23.91
SD-ZnCl ₂	694	52±0.5	613.07	0.3096	20.20

*AC = ถ่านกัมมันต์การค้า(Lot2)

SD = เถ้าขี้เถ้า (Lot2)

SD-ZnCl₂ = เถ้าขี้เถ้าเผากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิเผา 500 °C

ซีโอไซด์ตั้งต้น = 1,442 mg/l, ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 20 % (w/v)

BET = Specific surface area, V_T = Total pore volume, D = Average pore diameter

4.6.2 การเผากระดุนถ่านซีที่ละลายโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

4.6.2.1 ถ่านซีที่ละลายที่เผากระดุนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1

การทดลองนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีโดยนำถ่านซีที่ผ่านการเผากระดุนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ระดับความเข้มข้นของตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสียจากโรงพิมพ์ 10% (w/v) ใช้อัตราส่วนของปริมาณถ่านซีที่ละลายต่อสารเคมีเท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิ 500 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า ให้ผลดังตารางที่ 4.6 จากความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสียตั้งต้น 1,352 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านซีที่ละลายที่อุณหภูมิ 800 (SDKOH-800) สามารถดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียให้เหลือเพียง 848 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 37% ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้าที่สามารถดูดซับซีโอดีให้เหลือ 861 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 36% ถ่านซีที่ละลายที่ 500 (SDKOH-500) ดูดซับซีโอดีเหลือ 938 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 31% ส่วนถ่านซีที่ไม่ได้ผ่านการเผากระดุนด้วย KOH (SD) ค่าซีโอดีคงเหลือ 962 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับต่ำสุดที่ 29% เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านซีที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเผากระดุนที่อุณหภูมิ 500 °C มีค่าเท่ากับ 429.26 m²/g และ 0.2351 cm³/g ที่อุณหภูมิ 800 °C พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 850.20 m²/g และ 0.4324 cm³/g โดยแนวโน้มการดูดซับมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากถ่านซีที่ละลาย ถ่านซีที่เผากระดุนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 และถ่านกัมมันต์การค้า

ตัวดูดซับ	ซีโอดีที่เหลือ (mg/l)	% การดูดซับ	BET (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	D (Å)
AC	861	36±0.7	970.69	0.4916	20.26
SD	962	29±1.0	169.57	0.1013	23.91
SDKOH-500	938	31±1.9	429.26	0.2351	21.91
SDKOH-800	848	37±0.5	850.20	0.4324	20.34

* AC = ถ่านกัมมันต์การค้า (Lot2), SD = ถ่านซีที่ละลาย (Lot2)

SDKOH-500 = ถ่านซีที่ละลายกระดุนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 (w/w) อุณหภูมิ 500°C

SDKOH-800 = ถ่านซีที่ละลายกระดุนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 (w/w) อุณหภูมิ 800°C

ซีโอดีตั้งต้น = 1,352 mg/l, ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 10 % (w/v)

BET = Specific surface area, V_T = Total pore volume, D = Average pore diameter

4.6.2.2 เถ้าขี้เถ้าที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2

การเผากระตุ้นเถ้าขี้เถ้าด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ที่ระดับความเข้มข้นของตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสียจากโรงพิมพ์ 5%(w/v) ใช้อัตราส่วนของสารเคมีต่อปริมาณเถ้าขี้เถ้า 1:2 ที่อุณหภูมิเผา 500 และ 800 องศาเซลเซียส เวลานาน 1 ชั่วโมง ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้าให้ผลดังตารางที่ 4.7 จากความเข้มข้นของซีโอดีตั้งต้นของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต 1,280 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ่านกัมมันต์การค้าสามารถดูดซับซีโอดีเหลือ 961 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 24% โดยเถ้าขี้เถ้าเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส(SDKOH-800) สามารถดูดซับได้สูงใกล้เคียงกันได้ซีโอดีคงเหลือ 970 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 23% ตามด้วย เถ้าขี้เถ้าเผาที่ 500 องศาเซลเซียส(SDKOH-500) ดูดซับซีโอดีคงเหลือ 1,050 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 17% ส่วนเถ้าขี้เถ้าที่ไม่ได้ผ่านการเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(SD) ดูดซับซีโอดีคงเหลือ 1,086 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 14% เมื่อพิจารณาจากค่าพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับต่างๆ ให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมาคือประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากเถ้าขี้เถ้าและเถ้าขี้เถ้าที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน 1:2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า

ตัวดูดซับ	ซีโอดีที่เหลือ (mg/l)	% การดูดซับ	BET(m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	D(Å)
AC	961	24±0.8	970.69	0.4916	20.26
SD	1086	14±0.5	169.57	0.1013	23.91
SDKOH-500	1050	17±0.4	447.95	0.2351	21.91
SDKOH-800	970	23±0.7	867.75	0.4324	20.34

*AC = ถ่านกัมมันต์การค้า (Lot2), SD = เถ้าขี้เถ้า (Lot2)

SDKOH-500 = เถ้าขี้เถ้ากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2(w/w) อุณหภูมิ 500°C

SDKOH-800 = เถ้าขี้เถ้ากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2(w/w) อุณหภูมิ 800°C

ซีโอดีตั้งต้น = 1,280 mg/, ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 5 % (w/v)

BET = Specific surface area, V_T = Total pore volume, D = Average pore diameter

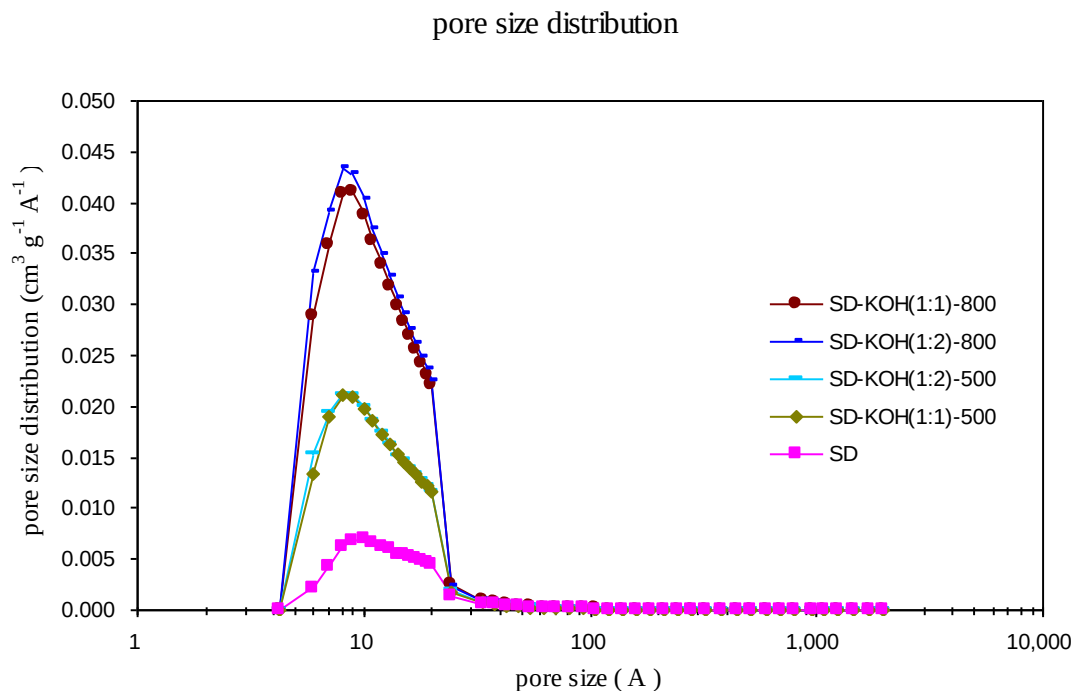
การกระตุ้นตัวดูดซับด้วยสารเคมีรวมถึงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นมีรายงานว่าทำให้สัดส่วนของปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น ทั้งยังมีการพัฒนาของรูพรุนจำนวนมาก [43] การกระตุ้นด้วยสารเคมี เช่น กรดฟอสฟอริก, ซิงค์คลอไรด์ และสารประกอบพวกโลหะอัลคาไลน์ซึ่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นโลหะอัลคาไลน์ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นอย่างกว้างขวาง มีรายงานถึงปฏิกิริยาทางเคมีของ

ออกไซด์ ดังเช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ โซเดียมคลอไรด์ (NaOH) เมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในระหว่างการเผากระตุ้นกับตัวดูดซับไปส่งเสริมการสร้างรูพรุนภายในให้เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก [44] แสดงดังสมการที่ 4.2 - 4.4



จากผลการทดลองถึงประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอไซด์ของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนทั้ง 1:1(w/w) และ 1:2(w/w) ที่อุณหภูมิเผา 500 และ 800 °C จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของสารเคมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับ งานวิจัยของ Ganan และคณะ[45] พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 450 °C เป็น 750 °C ทำให้สารระเหย (volatile matter) ถูกปลดปล่อยออกมาซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดรูพรุนตามมาเป็นจำนวนมาก [46]

จากรูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการกระจายของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ารูพรุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Micropore (< 20 Å) โดยมีรูพรุนแบบ Mesopore (20-500 Å) อยู่ในปริมาณเล็กน้อย พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์เมื่อทำการเผากระตุ้นที่อัตราส่วนเดียวกันที่อุณหภูมิสูง (SDKOH-800) สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนได้มากกว่า SDKOH-500 ในการศึกษาผลของสัดส่วนของสารเคมีที่มีผลต่อการสร้างรูพรุนของเปลือกมันฝรั่งแม้จะพบว่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore volume) เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสารเคมีในการเผากระตุ้นมากขึ้นก็ตาม[47] แต่ในการทดลองนี้อัตราส่วนของสารเคมีที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเผาเดียวกันสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนได้ไม่มากนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลของอุณหภูมิพบว่ายังมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าผลของอุณหภูมิซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจนกว่า ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวถ่านกัมมันต์ที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิเผา 800 °C มีความเหมาะสมต่อการบำบัดซีโอไซด์น้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตที่สุด อีกทั้งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ยังเป็นสารเคมีที่มีราคา*ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ซิงค์คลอไรด์หากจะพิจารณาในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์จึงถูกเลือกที่จะนำไปใช้ในศึกษาขั้นต่อไป



รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.7 ศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน

การศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET Surface area) ของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 500 และ 800 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีจะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าถ่านกัมมันต์ การนำถ่านกัมมันต์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับเกลืออนินทรีย์ด้วยอัตราส่วนต่างๆแล้วนำไปเผาในที่อวกาศ ณ อุณหภูมิที่จะทำให้อนินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอนินทรีย์ ให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและยังลดปริมาณน้ำมันดินและสารที่ระเหยได้ให้น้อยลงด้วย เนื่องจากการนำถ่านมาแช่ทิ้งไว้ในสารเคมีก่อนนำมาทำการเผากระตุ้นสารประกอบที่เหลือตกค้างบนผิวถ่านบางส่วนจะละลายออกจากถ่าน จากนั้นถ่านจะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิวถ่าน เมื่อนำถ่านมาเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูง จะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้ และเปลี่ยนเป็นก๊าซระเหยออกไป ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นมากมาย การเพิ่มอุณหภูมิจาก 500 เป็น 800 องศาเซลเซียสจะเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) และปริมาณรูพรุน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับสารเคมีซึ่งจะเพิ่มปริมาณรูพรุนเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันดิน สารระเหยที่ยังคงเหลือและอะตอมของถ่านบางอะตอมในผลึกให้สลายตัวออกทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีรูพรุนและพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น [48, 49]

ตารางที่ 4.8 การศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านไม้และถ่านไม้ที่ผ่านเผาการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวดูดซับ	BET (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	V _{me} (cm ³ /g)	V _{mi} (cm ³ /g)	D (Å)
SD	169.57	0.1013	0.0257	0.0756	23.91
SDKOH(1:1)-500	429.26	0.2351	0.0341	0.2010	21.91
SDKOH(1:1)-800	850.20	0.4324	0.0493	0.3831	20.34
SDKOH(1:2)-500	447.95	0.2378	0.0354	0.2024	21.23
SDKOH(1:2)-800	867.75	0.4401	0.0457	0.3944	20.29

SD = ถ่านกัมมันต์ (Lot2)

SDKOH (1:1)-500 = ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านไม้และถ่านไม้ที่ผ่านเผาการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 500°C

SDKOH (1:1)-800 = ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านไม้และถ่านไม้ที่ผ่านเผาการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 800°C

SDKOH (1:2)-500 = ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านไม้และถ่านไม้ที่ผ่านเผาการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2(w/w) อุณหภูมิ 500°C

SDKOH (1:2)-800 = ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านไม้และถ่านไม้ที่ผ่านเผาการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2(w/w) อุณหภูมิ 800°C

BET = Specific surface area, V_T = Total pore volume, V_{me} = Mesopore volume,

V_{mi} = Micropore volume, D = Average pore diameter

อุณหภูมิและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุน จะเห็นได้ว่าการเผากระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูง (500°C และ 800°C) สามารถเพิ่มพื้นที่ผิว(BET)และรูพรุนแบบต่างๆ (V_T, V_{me} และ V_{mi})ได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นแนวโน้มแบบเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารเคมี และพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เด่นชัดกว่า สังเกตได้จากการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 500 °C ไปเป็น 800 °C ที่อัตราส่วนเดียวกันสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนได้มากกว่าการเพิ่มสัดส่วนของสารเคมีที่อุณหภูมิเดียวกัน รูพรุนส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็ก Micropore (< 20 Å) ซึ่งมีมีส่วนน้อยมากที่เป็นแบบ Mesopore(20-500 Å) การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารละลายกรดหรือเกลือของโลหะด่างเช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ผสมกับถ่านที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อน อีออนของโลหะจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่าน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้นดังสมการที่ 4.5- 4.9 [50, 51]





จากสมการที่ 4.5 – 4.9 เป็นปฏิกิริยาทางเคมีของการผสมสารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมกับถ่านกัมมันต์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อน ไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่าน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่ต้องการอัตราส่วนของสารเคมีต่อถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้สารเคมีสามารถแพร่ผ่านเข้าไปอยู่ในรูพรุนของถ่านเป็นจำนวนมาก เมื่อนำมาเผากระตุ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวที่มากขึ้นตามมาด้วย

4.8 การศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับด้วยเครื่อง SEM/EDX

4.8.1 ถ่านกัมมันต์การค้า

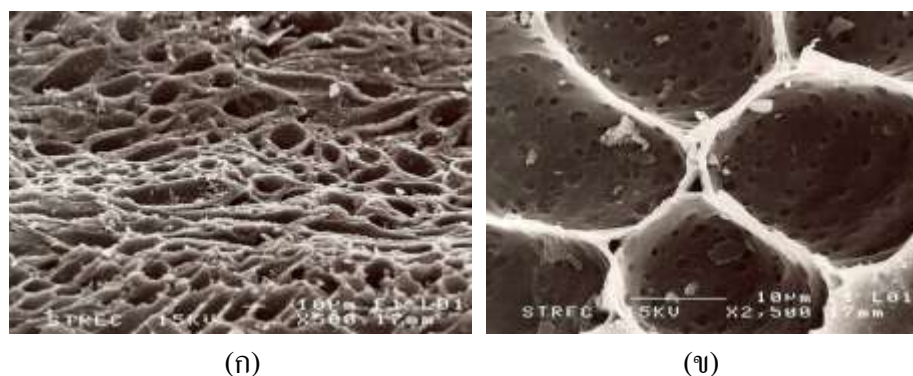
ตารางที่ 4.9 พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์การค้า

ตัวดูดซับ	BET(m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	V _{me} (cm ³ /g)	V _{mi} (cm ³ /g)	D(Å)
ถ่านกัมมันต์การค้า(AC)	970.69	0.4916	0.0404	0.4512	20.26

* AC (Lot2)

BET = Specific surface area , V_T = Total pore volume , V_{me} = Mesopore volume

V_{mi} = Micropore volume, D = Average pore diameter



รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นที่ผิวและรูพรุนถ่านกัมมันต์การค้า

(ก) พื้นที่ผิวและรูพรุนถ่านกัมมันต์การค้า (กำลังขยาย 500 เท่า)

(ข) พื้นที่ผิวและรูพรุนถ่านกัมมันต์การค้า (กำลังขยาย 2,500 เท่า)

จากรูปที่ 4.9 ลักษณะของถ่านกัมมันต์เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope จะมองเห็นพื้นที่ผิวเป็นหลุมขรุขระ เมื่อนำมาขยายที่กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่าพื้นที่ขรุขระที่เห็นมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ด้านในเป็นจำนวนมาก เมื่อทำการศึกษากับ BET Analyser จากตารางที่ 4.9 พบว่ามีพื้นที่ผิวสูง ซึ่งการจากการศึกษาด้วยเครื่อง Surface area analyzer พบว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิว 970.69 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนเท่ากับ 20.26 อังสตรอมและมีความพรุนสูงดังแสดงค่า Total Pore Volume เท่ากับ 0.4916 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนส่วนใหญ่เป็นแบบ Micropore เท่ากับ 0.4512 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีส่วนน้อยที่มีปริมาตรรูพรุนแบบ Mesopore ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0404 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

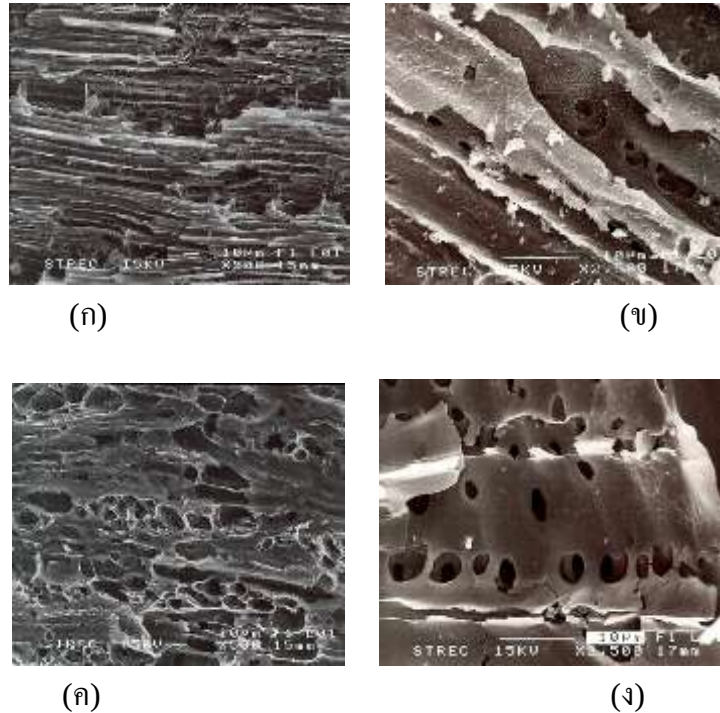
4.8.2 ถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

การศึกษาร่องรอยของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:1(w/w) เสาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แสดงดังตาราง 4.10 พบว่าถ่านกัมมันต์มี BET surface area เท่ากับ 169.59 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนแบบ Micropore และ Mesopore เท่ากับ 0.0756 และ 0.0257 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.03 ส่วนถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีค่า BET surface area เท่ากับ 850.20 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนแบบ Micropore และ Mesopore เท่ากับ 0.3831 และ 0.0493 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8.25 ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM/EDX) พบว่าปริมาณคาร์บอนของถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 67.27 เปอร์เซ็นต์เป็น 75.96 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากองค์ประกอบของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าของสารระเหยลดลงและสารอินทรีย์ต่างๆ ออกไปทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบรองลงมาคือ O, Ca, K, Mg, Si, P, และ Al ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 คุณลักษณะและองค์ประกอบต่างๆ ของถ้ำซีลี้อยและถ้ำซีลี้อยที่ผ่านการกระตุ้นด้วย
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบของตัวดูดซับ		
	ถ้ำซีลี้อย	ถ้ำซีลี้อยที่ผ่านการกระตุ้น
BET surface area(m ² /g)	169.59	850.20
Total pore volume (cm ³ /g)	0.101	0.432
Micropore volume (cm ³ /g)	0.0756	0.3831
Mesopore volume(cm ³ /g)	0.0257	0.0493
Average pore diameter(Å)	23.91	20.34
pH	9.03	8.25
Element (%) (SEM/EDX)		
C	67.27	75.96
O	25.31	20.27
Mg	0.73	0.36
Al	0.20	0.08
Si	0.44	0.18
P	0.22	0.23
K	1.52	0.18
Ca	3.94	2.74

รูปที่ 4.10 ก แสดงพื้นที่ผิวของถ้ำซีลี้อยที่กำลังขยาย 500 เท่า เมื่อทำการขยายที่ 2,500 เท่า ดังรูปที่ 4.10 ข แสดงให้เห็นผลึกเม็ดเล็กๆ ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวและภายในโพรงของถ้ำซีลี้อย จากงานวิจัยของปิยะวรรณ [52] พบว่าผลึกที่เกาะบนผิวถ้ำซีลี้อยนั้นมี K มากที่สุดรองลงมาคือ O, Ca, Mg, Fe, S, Cl และ P ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11 ส่วนถ้ำซีลี้อยเมื่อถูกนำมาเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนของถ้ำต่อสารเคมี 1:1(w/w) อุณหภูมิเผา 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.10 ค และ ง จะสังเกตเห็นรูพรุนพื้นที่ผิวเป็นหลุมและมีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.10 ลักษณะของเก้าอี้เลื้อยและเก้าอี้เลื้อยที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

- (ก) รูปร่างลักษณะต่างๆ ของเก้าอี้เลื้อย (กำลังขยาย 500 เท่า)
- (ข) พื้นที่ผิวและรูพรุนของเก้าอี้เลื้อย (กำลังขยาย 2,500 เท่า)
- (ค) รูปร่างลักษณะต่างๆ เก้าอี้เลื้อยเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 800 °C (กำลังขยาย 500 เท่า)
- (ง) พื้นที่ผิวและรูพรุนของเก้าอี้เลื้อยเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 800 °C (กำลังขยาย 2,500 เท่า)

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบของเก้าอี้เลื้อยบริเวณที่เป็นผลึก [52]

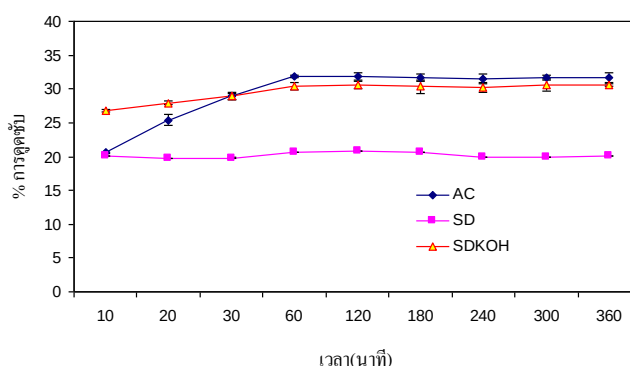
องค์ประกอบของเก้าอี้เลื้อยบริเวณที่เป็นผลึก	
Element (%)	
O	18.26
Mg	5.77
P	0.95
S	2.61
Cl	2.34
K	55.72
Ca	11.08
Fe	3.26

4.9 การบำบัดชีโอดีของน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตจากถ่านกัมมันต์การค้าถั่วเขียวและถั่วเขียวที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

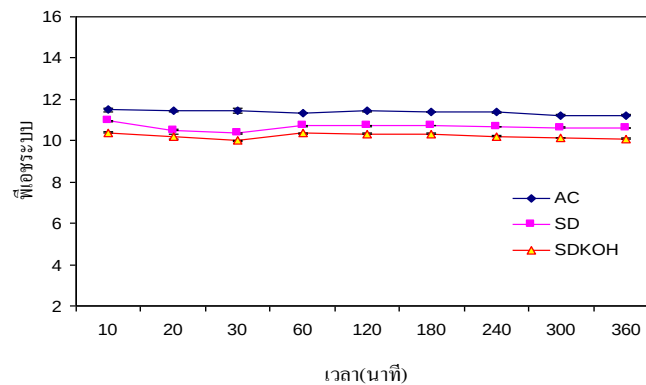
หลังจากทำการศึกษาลักษณะและองค์ประกอบของถ่านกัมมันต์การค้า ถั่วเขียวและถั่วเขียวที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิเผา 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นนำตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดไปศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตในด้านต่างๆ ดังนี้

4.9.1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดชีโอดีน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต ที่เวลา 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 และ 360 นาที ที่ปริมาณตัวดูดซับต่อน้ำเสีย 0.5% (w/v) แสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับชีโอดีของถั่วเขียวมีค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เวลาที่ 10 ถึง นาที 360 ส่วนถ่านกัมมันต์การค้า และถั่วเขียวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์. ในช่วงแรก (เวลาที่ 10 ถึง 60) เปอร์เซ็นต์การดูดซับค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่ตั้งแต่เวลาที่ 60 เป็นต้นไป เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับโดยเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์การค้าและถั่วเขียวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตั้งแต่เวลาที่ 60 เป็นต้นไป(ภาคผนวก ข) ส่วนค่าพีเอชระบบในช่วงแรกค่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตั้งแต่เวลาที่ 60 เป็นต้นไปเริ่มมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งให้ผลคล้ายกับงานวิจัยในการทดลองบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตสี โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เถ้ามะพร้าว พบว่า ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการกำจัดสีคือ 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมงผ่านไปประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าคงที่ [5] ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 1 ชั่วโมงในการศึกษาเปรียบเทียบตัวดูดซับทั้งสามชนิดในการทดลองขั้นต่อไป



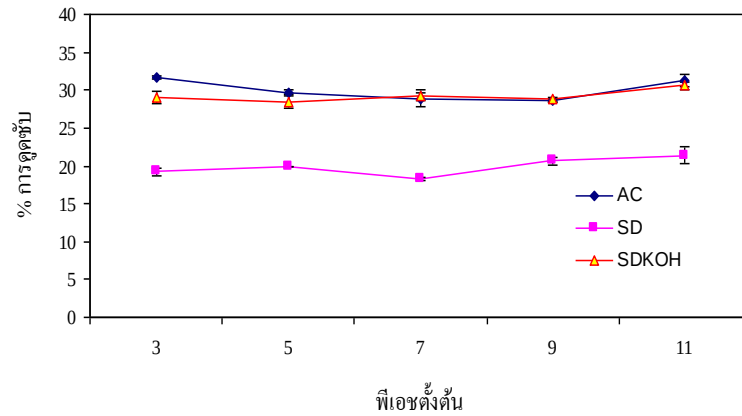
รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตโดยใช้ถั่วเขียว ถั่วเขียวที่เผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และถ่านกัมมันต์การค้าที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ



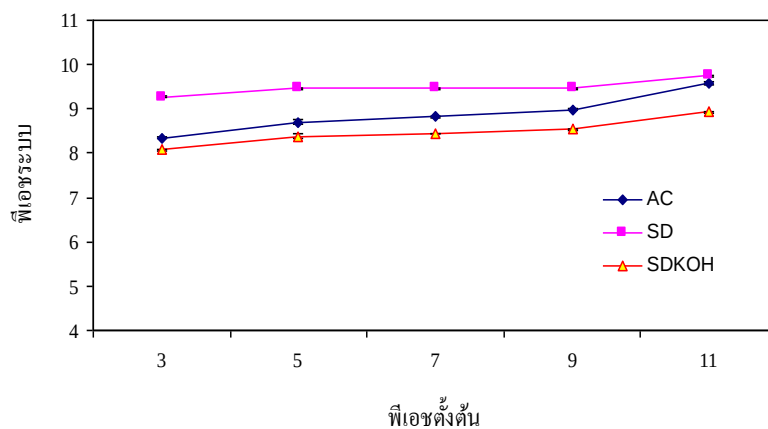
รูปที่ 4.12 ค่าความเป็นกรด - ค่าของระบบ โดยใช้ถ่านกัมมันต์การคั่วที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์และถ่านกัมมันต์การคั่วที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ

4.9.2 การศึกษาค่าความเป็นกรด - ค่าของน้ำเสียตั้งต้นต่อการบำบัดชีโอดีน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของถ่านกัมมันต์การคั่ว ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะความเป็นกรด - ค่าเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 3, 5, 7, 9 และ 11 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสียที่ทำการปรับค่าพีเอชตั้งต้นเท่ากับ 0.5%(w/v) ระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่าความเป็นกรด-ค่าเริ่มต้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีของน้ำเสียโดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยซึ่งถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับได้ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 28-31% ส่วนถ่านกัมมันต์ดูดซับชีโอดีได้น้อยกว่าซึ่งอยู่ในช่วง 18-21% อาจเป็นผลจากหลังทำการเติมตัวดูดซับการเปลี่ยนแปลงของพีเอชระบบ(รูปที่ 4.14) มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 8-9 จึงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของพีเอชตั้งต้นของน้ำเสียไม่มีผลต่อการบำบัดชีโอดีอย่างชัดเจน ผลการศึกษานี้คล้ายกับงานวิจัยของ Namasivayam และ Kadirvelu [53] ได้ทำการทดลองบำบัดชีโอดีของน้ำเสียโดยทำการศึกษาผลของเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียโดยใช้ขุยมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการเผา Carbonize พบว่าไม่มีเปลี่ยนแปลงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการกำจัดสีของน้ำเสีย โดยกล่าวว่าถ้าให้ระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับที่นานเพียงพอ อนุภาคของสารอินทรีย์ของสีในน้ำเสียนั้นสามารถแทรกผ่านเข้าไปอยู่ในรูพรุนของคาร์บอนที่ซับซ้อนแน่นหนาได้ โดยที่ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไม่มีผลกระทบต่อการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ การดูดซับ และถ่านกัมมันต์การค้า



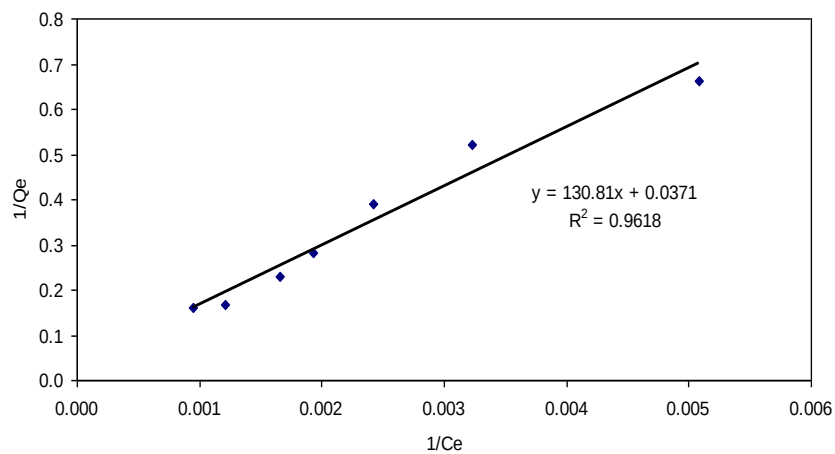
รูปที่ 4.14 ฟิเอซระบบต่อการเปลี่ยนแปลงฟิเอซตั้งต้นของน้ำเสีย

4.10 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

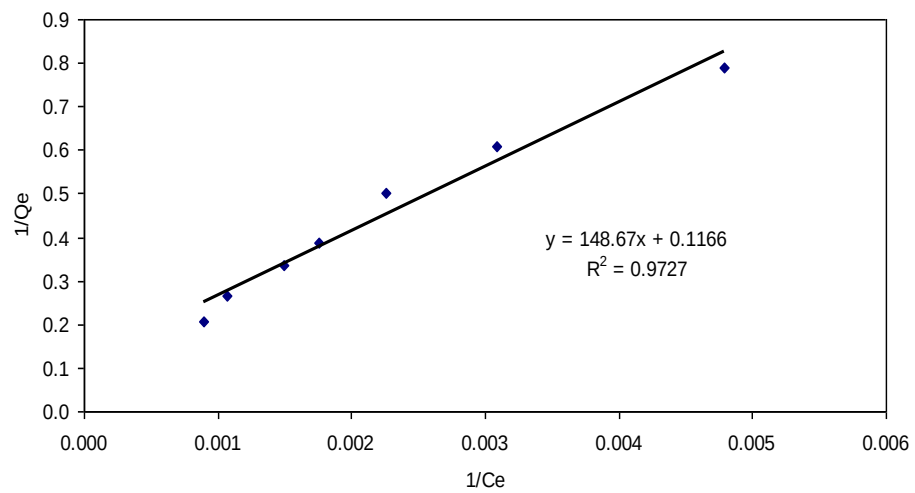
4.10.1 ไอโซเทอมของแลงเมียร์จากการดูดซับน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

จากไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์แบบเส้นตรงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C จากตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 4.15-4.17 สามารถคำนวณค่าคงที่ตามสมการแลงเมียร์ที่ 4.1 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าถ่านกัมมันต์การค้าและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด (Q_{max}) ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 26.95 และ 22.77 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์มีค่า Q_{max} น้อยที่สุดเท่ากับ 8.57 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยค่า b เป็น

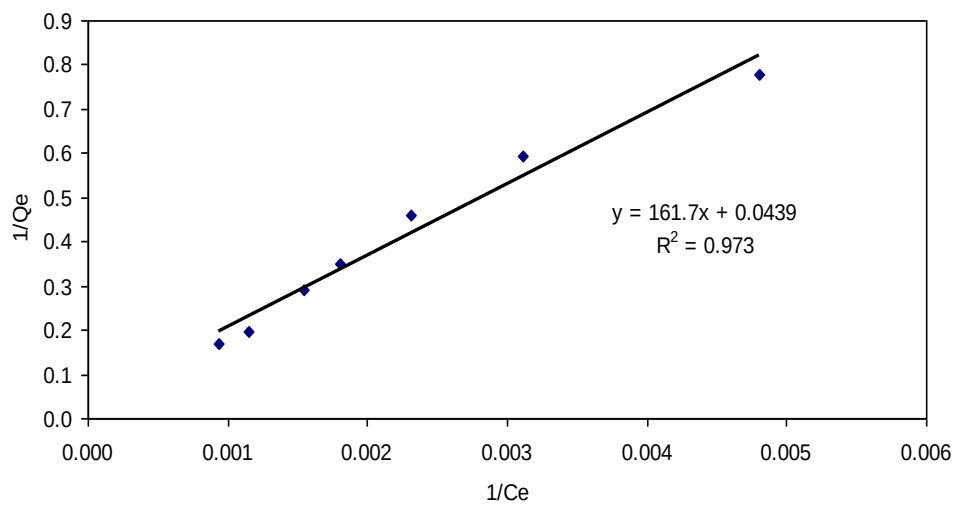
สัมประสิทธิ์ในการดูดซับหรือค่าความจำเพาะ(Affinity) ต่อการดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ ออฟเซตมีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-4} , 2.71×10^{-4} และ 7.84×10^{-4} ลิตรต่อมิลลิกรัม โดยที่ R^2 มีค่าค่อนข้างสูง (0.96-0.97) โดยพบว่างานวิจัยที่ใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากจีเลื้อยเพื่อใช้ในการดูดซับสีไคเร็กซ์ก็สามารถใช้ไอโซเทอมของแลงเมียร์ในการอธิบายลักษณะการดูดซับได้ดีเช่นเดียวกัน[38] จากผลการทดสอบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโดยสมการแลงเมียร์แบบเส้นตรงพบว่าค่า $Q_{\max}$ ของถ่านกัมมันต์การค้ายังคงสูงที่สุดอาจเนื่องด้วยพื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่มีค่าสูง 970.69 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.4916 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม จึงทำให้สามารถดูดซับซีโอดีได้มาก ส่วนถ่านจีเลื้อยหลังจากทำการเผากระตุ้นพื้นที่ผิวและรูพรุนจาก 169.57 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัมและ 0.1013 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 850.20 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.4324 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ค่า $Q_{\max}$ ที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 8.58 มิลลิกรัมต่อกรัมเป็น 22.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.15 แลงเมียร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้า



รูปที่ 4.16 แลงเมอร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.17 แลงเมอร์ไอโซเทอมของการบำบัดซีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.12 ค่าคงที่ที่คำนวณได้จากสมการแลงเมียร์ในการบำบัดชีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์การค้าถ่าน
ขี้เลื่อย และถ่านขี้เลื่อยกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวดูดซับ	Langmuir Adsorption isotherm			BET(m ² /g)	V _T (cm ³ /g)
	Q _{max} (mg/g)	b(l/mg)	R ²		
AC	26.95	2.83×10 ⁻⁴	0.961	970.69	0.4916
SD	8.58	7.84×10 ⁻⁴	0.973	169.57	0.1013
SDKOH	22.78	2.72×10 ⁻⁴	0.973	850.20	0.4324

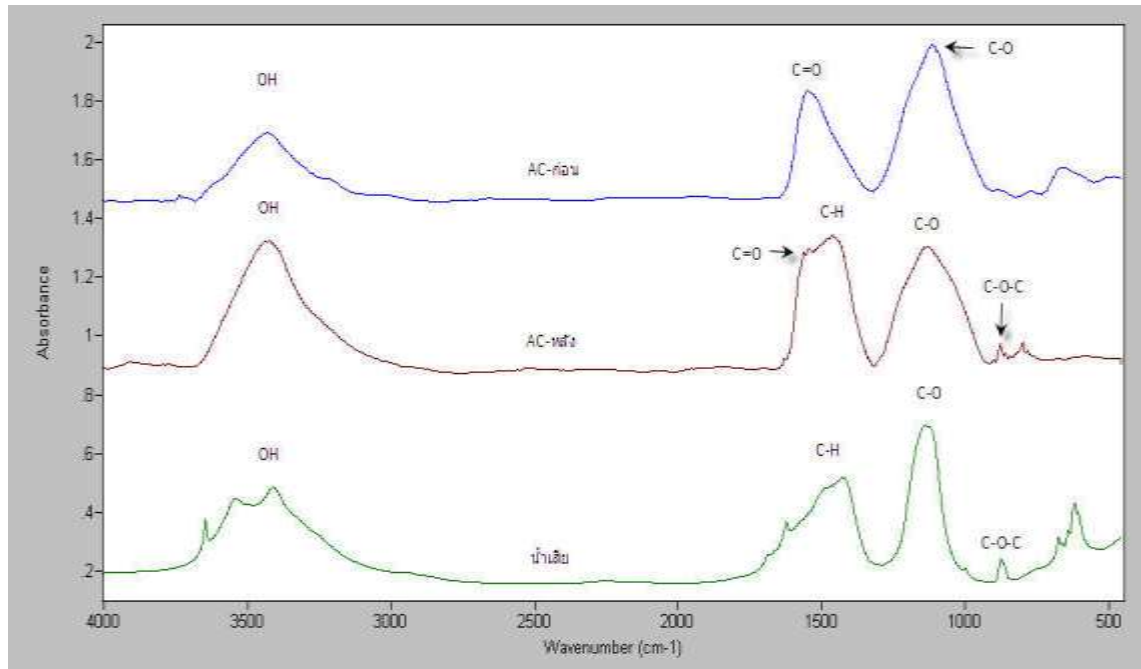
*AC = ถ่านกัมมันต์การค้า, SD = ถ่านขี้เลื่อย

SDKOH = ถ่านขี้เลื่อยกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:1(w/w) อุณหภูมิ 800 °C

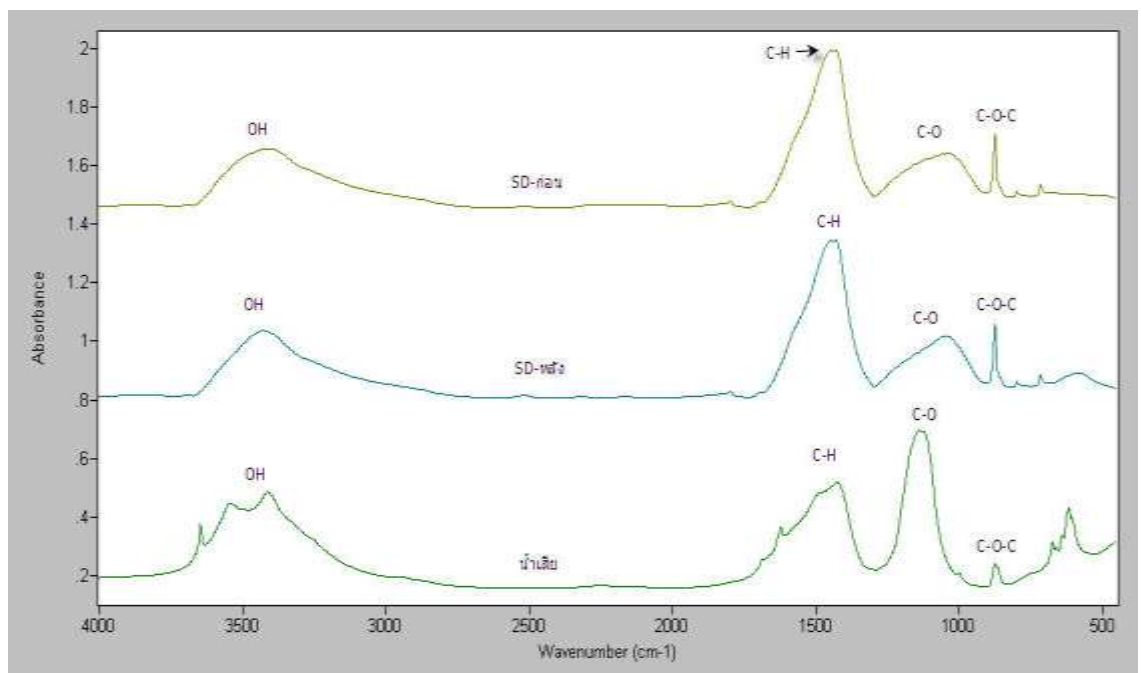
4.11 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันในการดูดซับน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์การค้า ถ่านขี้เลื่อย และถ่านขี้เลื่อยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทั้งก่อนและหลังดูดซับชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.19 - 4.21

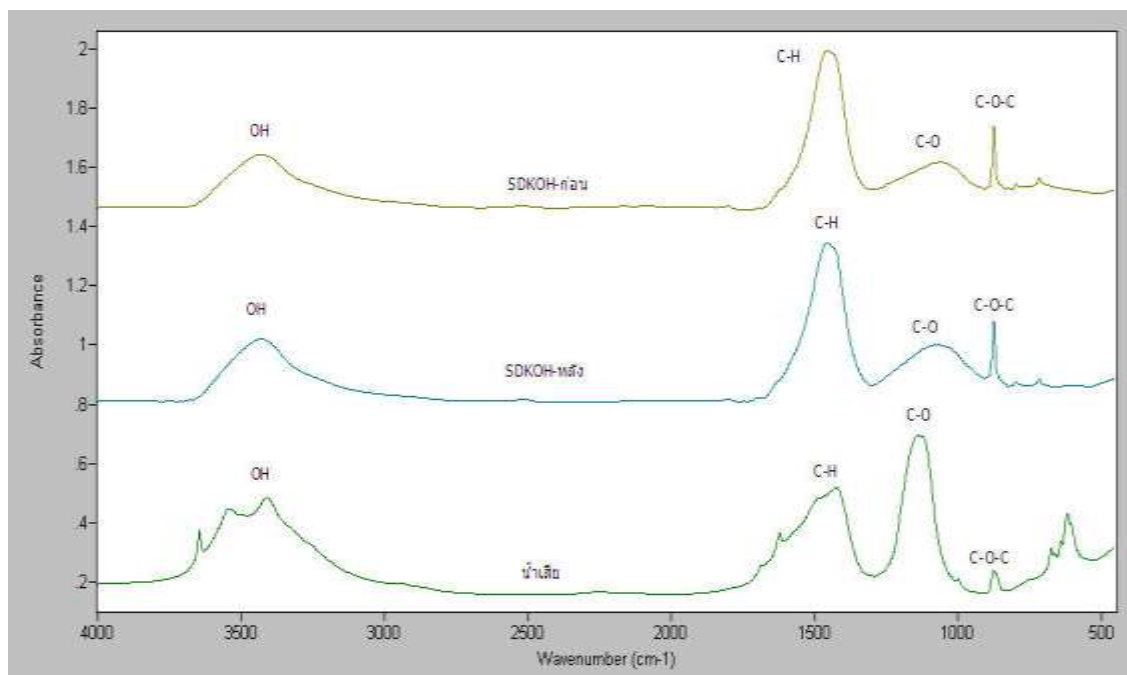
ตำแหน่งช่วงคลื่น 3,700-3,200 คือตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน OH ตำแหน่งช่วงคลื่น 1,640-1,540 คือหมู่ฟังก์ชัน C=O ที่ตำแหน่งช่วงคลื่น 1,485-1,445 คือหมู่ฟังก์ชัน C-H ช่วงคลื่น 1,075-1,000 คือหมู่ C-O และตำแหน่งช่วงคลื่น 950-815 คือหมู่ C-O-C โดยมีลักษณะที่คล้ายกับหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีหมู่ที่เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1,400-1,600 คือ หมู่ C-H และเลขคลื่นที่ 3,300-3,600 คือ หมู่ O-H [54] จากรูปที่ 4.18 พบว่าถ่านกัมมันต์การค้าหลังจากทำการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตแล้วมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นเด่นชัดคือมีพีคของ C-H และ C-O-C เกิดขึ้นโดยคาดว่าจะเป็นผลจากน้ำเสียซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันนี้อยู่ในองค์ประกอบของน้ำอยู่ด้วย ส่วนหมู่ฟังก์ชันของถ่านขี้เลื่อยและถ่านขี้เลื่อยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 มีหมู่ฟังก์ชันหลักๆ เหมือนกันคือ หมู่ OH, C-H, C-O และ C-O-C โดยพบว่าหลังจากทำการบำบัดชีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซตแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันเกิดขึ้น โดยคาดว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดนี้น่าจะมีแนวโน้มกลไกที่คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.18 หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์การถ้ำก่อนและหลังดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต



รูปที่ 4.19 หมู่ฟังก์ชันของถ่านซีเลื่อยที่ก่อนและหลังดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต



รูปที่ 4.20 หมู่ฟังก์ชันของถั่วจีเลื้อยที่ทำการเผากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลัง
ดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียโรงพิมพ์ออฟเซต

4.12 การศึกษาการแยกขยะออกจากตัวดูดซับ

ตารางที่ 4.13 การแยกขยะซีโอดีจากถ่านกัมมันต์การค้า ถั่วจีเลื้อย และถั่วจีเลื้อยที่ผ่านการ
กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวชะละลาย		ซีโอดีที่ถูกชะ (%)		
		AC	SD	SDKOH
น้ำกลั่น	30 °C	43	98	97
	100 °C	4	2	1
0.1 M NaOH		1	-	-
0.5 M NaOH		-	-	-
0.5 M HCl		-	-	-
รวม		48	100	98

จากตารางที่ 4.13 เป็นการแยกขยะซีโอดีออกจากถ่านกัมมันต์ทางการค้า ถั่วจีเลื้อย และถั่วจีเลื้อยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ 48%, 100% และ 98% ตามลำดับ โดยพบว่าน้ำกลั่นสามารถชะซีโอดีออกจาก ถั่วจีเลื้อย และถั่วจีเลื้อยที่ผ่านการกระตุ้นด้วย

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้เกือบหมด มีเพียงเล็กน้อยที่สามารถชะออกได้ด้วยน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส ส่วนถ่านกัมมันต์การค้ำน้ำกลั่นสามารถชะออกมาได้เพียง 43% มีเพียงเล็กน้อยที่ชะด้วยน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส และ 0.1 NaOH การใช้ 0.5 M NaOH และ 0.5 M HCl ไม่สามารถชะซีโอไดต์ออกมาได้อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวและรูพรุนที่อาจซับซ้อนมากกว่าถ่านซีลื้อและถ่านซีลื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จึงทำให้โมเลกุลของซีโอไดต์น้ำเสียสามารถรุดผ่านรูพรุนเข้าไปอยู่รูพรุนด้านในอาจเป็นไปได้ยากที่จะสามารถชะซีโอไดต์ออกมาออกมาได้หมด ดังนั้นการชะซีโอไดต์ออกจากถ่านซีลื้อและถ่านซีลื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ออกมาด้วยน้ำได้เกือบหมดอาจบ่งชี้ได้ว่าซีโอไดต์ที่ถูกดูดซับบนถ่านซีลื้อและถ่านซีลื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ถูกดูดซับด้วยแรงดึงดูดอย่างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's) ส่วนถ่านกัมมันต์การค้ำ คาดว่าแนวโน้มกลไกการดูดซับน่าจะมีการดูดซับทางเคมีร่วมด้วย