

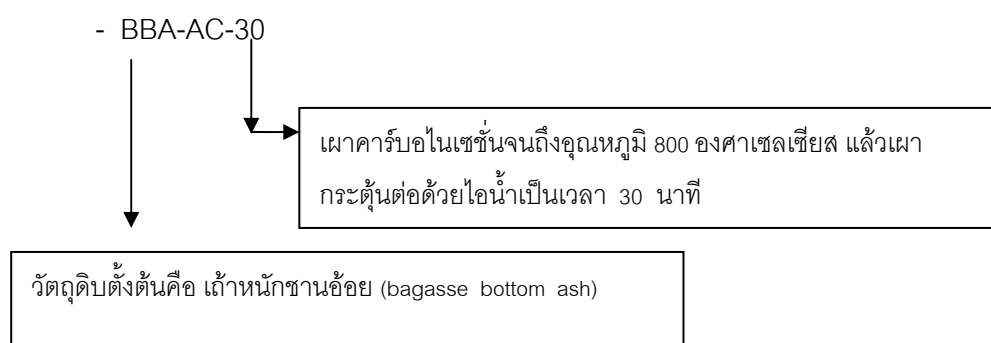
บทที่ 4

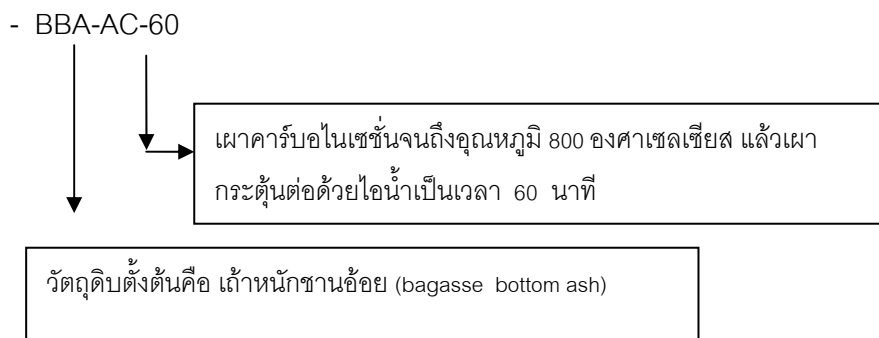
ผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติและคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย

1. การศึกษา Proximate analysis ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย

การเตรียมถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย จะเตรียมโดยนำเถ้าหนักขานอ้อย มาผสม กลูโคสไฮรป และกากน้ำตาล ในอัตราส่วน 10:10:20 โดยน้ำหนักและคลุกเคล้าให้เข้ากันจนส่วนผสมจับตัวกันเป็นก้อน และปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร จากนั้นนำส่วนผสมไปเผาเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยวิธีการเผาขั้นตอนเดียว (one-stage pyrolysis) กล่าวคือ ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) (เผาที่สภาวะอัดอากาศภายใต้สภาวะมีแก๊สไนโตรเจน) และทำการเผากระตุ้น (activation) ด้วยไอน้ำต่อทันที จนอุณหภูมิในเตามีอุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส แล้วใช้เวลากระตุ้นต่อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมง และ 60 นาที (ภาพที่ 4.1) โดยคำอธิบายสัญลักษณ์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย มีดังนี้





ผลการทดลองในการวิเคราะห์ proximate analysis แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) และปริมาณเถ้า (ash) ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขาน้อย จะเพิ่มสูงจากเถ้าหนักขาน้อย (BBA) โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเพิ่มขึ้น จาก ร้อยละ 52.77 (BBA) เป็น ร้อยละ 56.02 % สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และ ร้อยละ 59.73 สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-60 และ ปริมาณเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15.97 (BBA) เป็นร้อยละ 36.57 สำหรับ BBA-AC-30 และร้อยละ 35.48 สำหรับ BBA-AC-60 ส่วนค่าสารระเหย (volatile matter) และ % ผลผลิต (yield) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขาน้อยที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (BBA-AC-30) และ 60 นาที (BBA-AC-60) จะมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับ ค่าของเถ้าหนักขาน้อย (BBA)

การผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากเถ้าหนักขาน้อย จะเห็นว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสารระเหยลดลง และ ปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเถ้าหนักขาน้อย (BBA) ทั้งนี้เนื่องจาก ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนคาร์บอนในเซชัน (carbonization) ภายใต้สภาวะที่มีแก๊สไนโตรเจน (ไม่มีออกซิเจน) จะเป็นการกำจัดสารที่ระเหยซึ่งจะทำให้ปริมาณของคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะมีปริมาณเถ้า (ash) เกิดขึ้นด้วย (Katyal, Thambimuthu, & Valix, 2003; Guo & Luo, 1998) การให้ความร้อนจะเป็นการย่อยสลาย (decomposition) เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ของขาน้อย ซึ่งจะทำให้ % ผลผลิต (yield) ลดลงด้วย (Kalderis, Bethanis, Paraskeva, & Diamadopoulos, 2008)

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ Proximate analysis ของเถ้าหนักขานอ้อยและ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อยที่ระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วย ใอน้ำแตกต่างกัน

ตัวดูดซับ (adsorbents)	Proximate analysis (dry basis wt. %)			% ผลผลิต (yield)
	สารระเหย (volatile matter)	เถ้า (ash)	คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)	
BBA	31.25	15.97	52.77	100
BBA-AC-30	9.45	36.57	56.02	53.08
BBA-AC-60	4.79	35.48	59.73	50.03

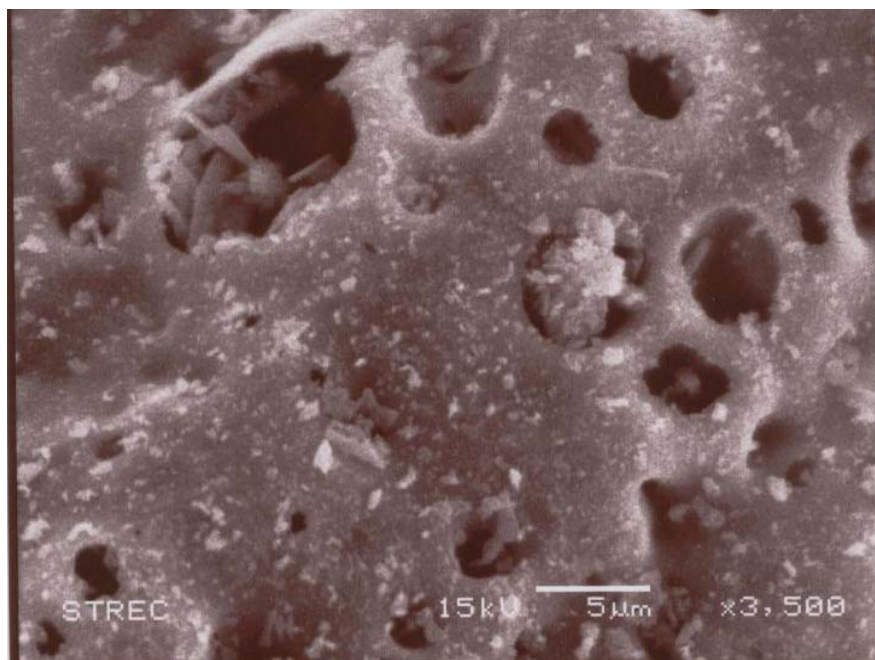
หมายเหตุ: BBA=เถ้าหนักขานอ้อย (bagasse bottom ash)

BBA-AC-30 = ถ่านกัมมันต์จากเถ้าหนักขานอ้อย ที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

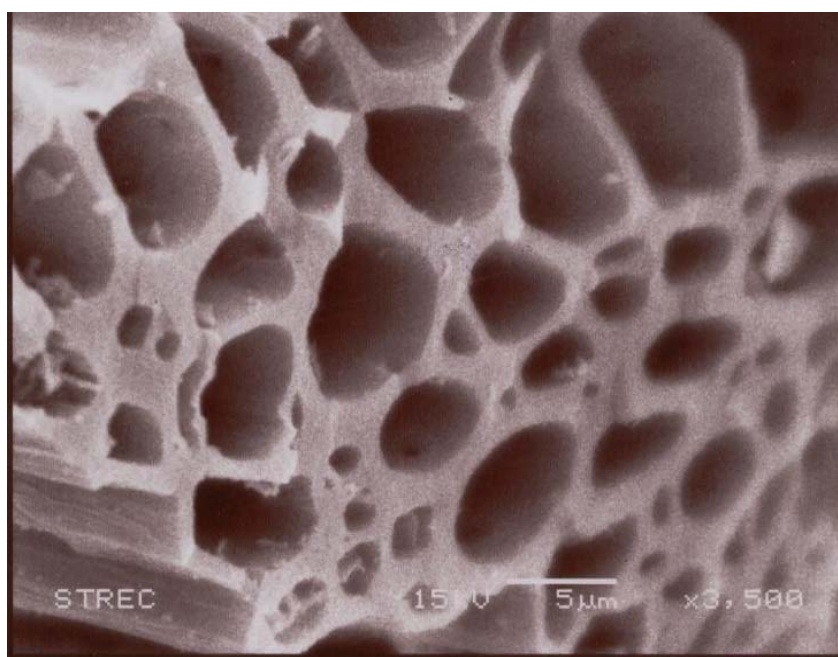
BBA-AC-60 = ถ่านกัมมันต์จากเถ้าหนักขานอ้อย ที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที

2.การศึกษาลักษณะของตัวดูดซับด้วย SEM (Scanning Electron Microscope)

ลักษณะของพื้นผิวของเถ้าหนักขานอ้อย และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อยที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที (BBA-AC-60) แสดงดังภาพที่ 4.1 จากภาพสังเกตเห็นว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย จะมีรูพรุนจำนวนมากและรูพรุนค่อนข้างใหญ่และเล็ก เมื่อเทียบกับเถ้าหนักขานอ้อยซึ่งมีรูพรุนจำนวนน้อยกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาเถ้าล่อยขานอ้อยให้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจะทำให้พื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก จึงน่าจะใช้เป็นตัวดูดซับสารต่างๆ และ สีของกลูโคสไซรัปได้ดี



ก) เถ้าหนักขาน้อย (Bagasse bottom ash, BBA)



ข) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากเถ้าหนักขาน้อย

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจาก SEM (ก) เถ้าหนักขาน้อย X 3500 เท่า

(ข) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากเถ้าหนักขาน้อย (BBA-AC-60) X 3500 เท่า

3. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เกิดจากเถาหนักชานอ้อย แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดที่เกิดจากเถาหนักชานอ้อยชนิด BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 มีค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) เท่ากับ 256.34 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 294.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วน ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (methylene blue) มีค่าเท่ากับ 427.23 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับ ถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และ มีค่าเท่ากับ 515.18 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-60 ซึ่งจะเห็นว่าสูงกว่า ถ่านักชานอ้อย (BBA) แสดงให้เห็นว่าการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดที่เกิดจากเถาหนักชานอ้อยมีผลต่อการสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) สูงขึ้นด้วยโดยเพิ่มขึ้นจาก 281.51 เป็น 478.81 และ 615.76 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ชนิด BBA-AC-30 และ ถ่านกัมมันต์ BBA-AC-60 ตามลำดับ ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีน เป็นค่าที่บอกจำนวนรูพรุนของตัวดูดซับชนิดขนาดเล็ก (micropore) และ ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เป็นค่าที่บอกจำนวนรูพรุนของตัวดูดซับเป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) (Jaguaribe, Medeiros, Barreto, & Araujo, 2005) อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากเถาหนักชานอ้อยมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า (commercial activated carbon, AC) พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากเถาหนักชานอ้อย โดยมีค่าสูงถึง 797 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าน้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากเถาหนักชานอ้อย โดยมีค่าเพียง 18.43 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จำนวนรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) ของถ่านกัมมันต์จากเถาหนักชานอ้อยมีแนวโน้มสูงกว่า จำนวนรูพรุนขนาดเล็ก (micropore)

ส่วนความหนาแน่นรวม (bulk density) ของ ถ่านกัมมันต์จากเถาหนักชานอ้อย (0.0580 ± 0.044 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับ BBA-AC-60 และ 0.0585 ± 0.053 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และ ถ่านักชานอ้อย (0.0585 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ไม่ต่างกันมากนัก ส่วนค่าความหนาแน่นรวมของถ่านกัมมันต์ทางการค้า (0.445 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ ถ่านักชานอ้อย และถ่านกัมมันต์จากหนักชานอ้อย

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	ความหนาแน่น รวม (bulk density) (g cm ⁻³)	ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (iodine number) (mg g ⁻¹)	ค่าการดูดซับ เมทิลีนบลู (methylene blue) (m ² g ⁻¹)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) (m ² g ⁻¹)
BFA	0.0812±0.0038	233.28	106.31	281.51
BFA-AC-30	0.0580±0.0440	256.34	427.23	478.81
BFA-AC-60	0.0585±0.0530	294.82	515.18	615.76
Commercial activated carbon (AC)	0.4448±0.0082	797.00	18.43	959.00

หมายเหตุ: BBA=ถ่านกัมมันต์

BBA-AC-30 = ถ่านกัมมันต์จากถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

BBA-AC-60 = ถ่านกัมมันต์จากถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

Commercial activated carbon, AC=ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

4. ลักษณะพื้นที่ผิวของตัวถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านกัมมันต์ (BET surface area)

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เกิดจากถ่านกัมมันต์ จากถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง surface area analyzer พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface Area) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (pore size diameter) ปริมาตรของรูพรุนทั้งหมด (total pore volume) ปริมาตรของรูพรุนขนาดกลาง (mesopore volume) และ ปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็ก (micropore volume) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากจากถ่านหินชานอ้อยเมื่อระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำแตกต่างกัน

ตัวดูดซับ	Physical properties					
	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 (Å)	V_{me}/V_T (%)
BBA	281.51	0.1840	0.1267	0.0573	26.14	68.86
BBA-AC-30 นาที	478.81	0.3591	0.1851	0.1740	31.42	51.54
BBA-AC -60 นาที	615.76	0.4712	0.2516	0.2196	30.61	53.40

หมายเหตุ : S_T : BET surface area, V_T : Total pore volume, V_{me} : Mesopore volume,

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

BBA= ถ่านหินชานอ้อย

BBA-AC-30 นาที = ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อย ที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

BBA-AC-30 นาที = ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อยที่มีการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที

ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อยด้วยเครื่อง Surface area analyzer พบว่า เมื่อเผาคาร์บอนในเซชัน (carbonization) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและการกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที และ 60 นาที ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตได้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) เท่ากับ 478.81 ตารางเมตรต่อกรัม และ 615.76 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ถูกเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (BBA-AC-30) และ 60 นาที (BBA-AC-60) ตามลำดับ ขณะที่ถ่านหินชานอ้อย (BBA) มีพื้นที่ผิวเพียง 281.51 ตารางเมตรต่อกรัม และ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำสูงขึ้นจาก 30 นาที เป็น 60 นาที พื้นที่ผิวของรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น และทำให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) เท่ากับ 51.54 % และ 53.40 % เมื่อเผากระตุ้นด้วยไอน้ำนาน 30 นาที (BBA-AC-30) และ 60 นาที (BBA-AC-60) ตามลำดับ โดยพิจารณาที่ค่า mesoporosity (สัดส่วนระหว่างปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) ต่อปริมาตรรูพรุนทั้งหมด: V_{me}/V_T) จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อย มีโครงสร้างรูพรุนที่

เป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) สูงกว่า รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ซึ่ง เป็นขนาดรูพรุนที่เหมาะสมในการดูดซับสีของกลูโคสไซรัป

การศึกษาสภาวะเหมาะสมในการดูดซับสีกลูโคสไซรัปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อย (โดยการทดลองในคอลัมน์)

1. ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีกลูโคสไซรัปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดที่ผลิตจากถ่านหินชานอ้อย

จากการศึกษาผลของเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีกลูโคสไซรัปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดที่ผลิตจากถ่านหินชานอ้อยชนิดเกิดที่ระยะเวลาการเผาระดับด้วยไอน้ำ 30 นาที และ 60 นาที (ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส) โดยการทดลองทำการป้อนกลูโคสไซรัปแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที) และทำการเก็บตัวอย่างกลูโคสที่ปลายคอลัมน์ ที่เวลา 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดัง แสดงดัง ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.2

การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไซรัปคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{การคำนวณประสิทธิภาพของการดูดซับสี} = \frac{(A_b - A_a)}{A_b} \times 100$$

โดย A_b = ค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสไซรัปก่อนการดูดซับ ที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร

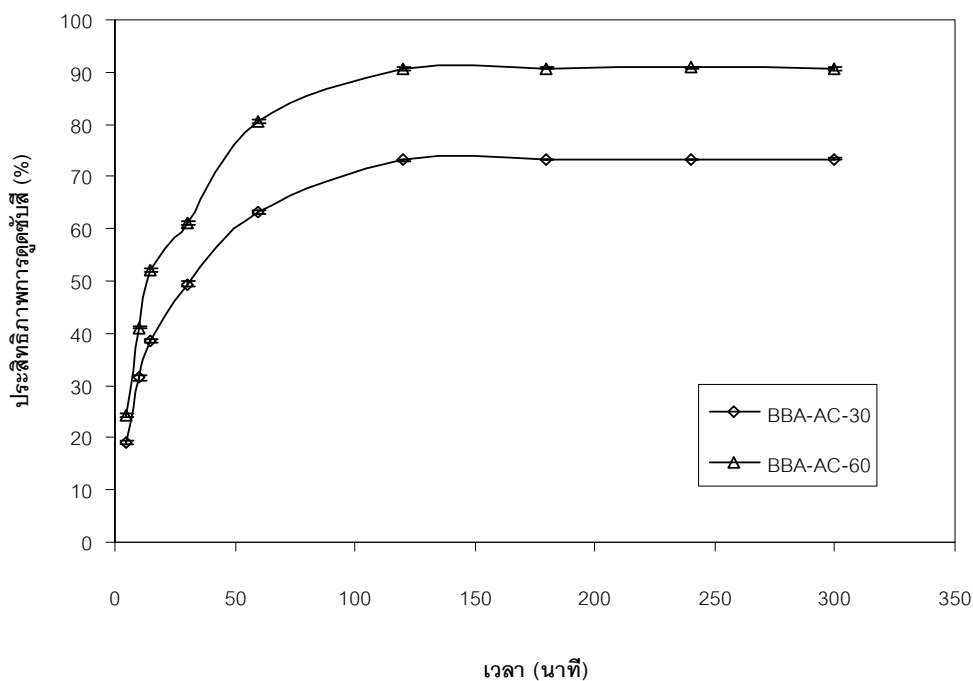
A_a = ค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสไซรัปหลังดูดซับ ที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.4 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีของกลูโคสไครป์ด้วยถ่านกัมมันต์
ชนิดเกิดจากเถ้าหมักขาน้อย

เวลา (นาที)	ร้อยละการดูดซับสีของกลูโคสไครป์			
	BBA-AC-30	SD	BBA-AC-60	SD
5	19.14	0.44	24.24	0.25
10	31.50	0.43	41.07	0.25
15	38.64	0.31	51.94	0.35
30	49.43	0.60	61.03	0.34
60	63.26	0.26	80.53	0.49
120	73.11	0.09	90.63	0.19
180	73.23	0.09	90.75	0.26
240	73.27	0.15	90.83	0.24
300	73.31	0.15	90.55	0.20

หมายเหตุ : 1) อุณหภูมิในการเผาะกระตุ้นด้วยไอน้ำ 800 องศาเซลเซียส

2) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงของเวลาในการดูดซับสีของกลูโคสไครป์ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าหมักขาน้อย

จากตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการดูดซับสีกุโคลสไชรปที่ระยะเวลาต่างๆ กัน ถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าลอยขาน้อยสามารถดูดซับสีของกุโคลสไชรปสูงถึง $19.14\% \pm 0.44$ (BBA-AC-30) และ $24.24\% \pm 0.25$ (BBA-AC-60) ภายใน 5 นาที และประสิทธิภาพการกำจัดสีค่อยๆ เพิ่มขึ้น และ จะค่อยๆ คงที่ และ จากการนำข้อมูลของการดูดซับสีของกุโคลสไชรป ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดที่ผลิตจากเถ้าหนักขาน้อยที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ กันไปวิเคราะห์ด้วยวิธี DTRM (Duncan's new multiple range test) พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีกุโคลสไชรปที่เวลา 120 นาที ถึง 300 นาที ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นการดูดซับสีของกุโคลสไชรปด้วยถ่านกัมมันต์จากเถ้าหนักขาน้อยจะเข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium) ภายในเวลา 120 นาที (ภาพที่ 4.2) ของถ่านกัมมันต์ทั้งสอง (ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยเงื่อนไขเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที (BBA-AC-30) และ 60 นาที (BBA-AC-60)) และจากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดที่ผลิตจากเถ้าหนักขาน้อยเมื่อระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีต่างกันด้วย โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีกุโคลสไชรปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าหนักขาน้อยที่ระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ระยะเวลา 60 นาที (BBA-AC-60) มีประสิทธิภาพเท่ากับ $90.63\% \pm 0.19$ ขณะที่การดูดซับสีกุโคลสไชรปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดที่ผลิตจากเถ้าลอยขาน้อยที่ระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที (BBA-AC-30) มีประสิทธิภาพการดูดซับสีเพียงร้อยละ 73.11 ± 0.09 ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าหนักขาน้อยเมื่อระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำ 60 นาที (อุณหภูมิในการเผากระตุ้น 800 องศาเซลเซียส) จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) สูงถึง 615.76 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งสูงกว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเถ้าหนักขาน้อยเมื่อระยะเวลาการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำ 30 นาที (478.81 ตารางเมตร/กรัม) ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสีของกุโคลสไชรปได้ดีกว่า

นอกจากนี้การทดลองยังได้วิเคราะห์ค่าพีเอชหลังดูดซับสีกุโคลสไชรปที่ระยะเวลาการดูดซับสีต่างๆ กัน (ตารางที่ 4.5) และผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการดูดซับสีกุโคลสไชรปเพิ่มขึ้น จาก 5 นาที เป็น 300 นาที ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 เป็นตัวดูดซับ พีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จาก 5.60 เป็น 7.60 สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และเพิ่มขึ้นจาก 5.68 เป็น 7.69 สำหรับสำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-60 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้นจะทำให้พีเอชของกุโคลสไชรปเพิ่มขึ้นโดยสภาพเป็นด่างเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากพีเอชของถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย โดยพีเอชประมาณ 7-8 เมื่อทำการดูดซับกุโคลสไชรปทำให้สารละลายมีความเป็นด่าง

เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พีเอชที่พบใกล้เคียงกับพีเอชที่ยอมรับได้ของการผลิตน้ำเชื่อม โดยทั่วไป พีเอชที่ยอมรับของการผลิตน้ำเชื่อมได้อยู่ระหว่าง 7.7-8.3 (อรุณี, 2553)

ตารางที่ 4.5 ค่าพีเอชหลังการดูดซับสีกลูโคสไครป์ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อยที่ ระยะเวลาดูดซับต่างๆ

เวลา (นาที)	ค่าพีเอช			
	BBA-AC-30	SD	BBA-AC-60	SD
5	5.60	0.05	5.68	0.04
10	5.72	0.06	5.78	0.01
15	5.81	0.03	5.90	0.02
30	6.05	0.01	6.15	0.02
60	6.32	0.09	6.41	0.04
120	7.04	0.02	7.24	0.04
180	7.25	0.03	7.46	0.02
240	7.39	0.04	7.55	0.04
300	7.60	0.02	7.69	0.01

หมายเหตุ : 1) อุณหภูมิในการเผาระดับด้วยไอน้ำ 800 องศาเซลเซียส

2) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2. ผลของความสูงของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อยในคอลัมน์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไครป์

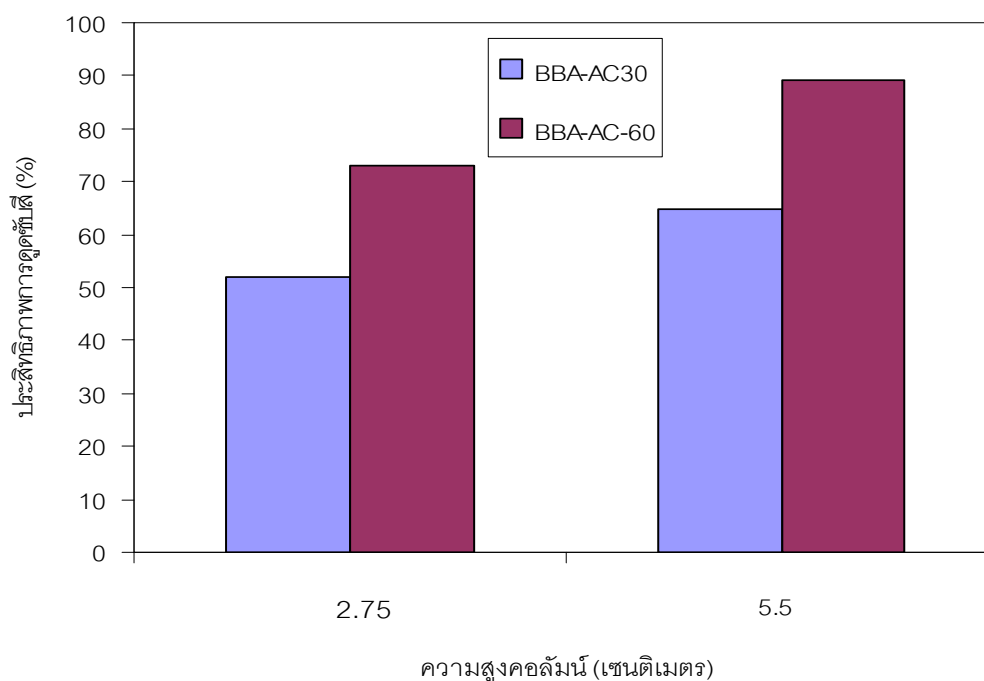
จากการศึกษาความสูงของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดในคอลัมน์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไครป์ การทดลองกำหนดให้ความสูงของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์สูง เท่ากับ 2.75 และ 5.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการป้อนกลูโคสไครป์แบบต่อเนื่อง (อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที) ที่ระยะเวลาการดูดซับ 2 ชั่วโมง จึงเก็บตัวอย่างที่ปลายคอลัมน์ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความสูงของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อย BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไครป์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

ถ่านกัมมันต์ปริมาณมากขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสีได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Selvara, Manonmani, & Pattabhi (2003) และ Garg, Gupta, Yadav, & Kumar (2003) ที่กล่าวว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของความสูงของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าลอยขาน้อยในคอลัมน์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไชรูป

ความสูงของ ถ่านกัมมันต์ใน คอลัมน์ (เซนติเมตร)	ร้อยละการดูดซับสีกลูโคสไชรูป			
	BBA-AC-30	SD	BBA-AC-60	SD
2.75	51.94	0.26	64.84	0.19
5.50	72.95	0.20	89.21	0.20



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงผลของความสูงของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าหนักขาน้อยในคอลัมน์ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไชรูป

นอกจากนี้การทดลองยังได้วิเคราะห์ค่าพีเอชหลังดูดซับสีกูลูโคสไשרปที่ความสูงของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ต่างๆ กัน (ตารางที่ 4.7) และผลการทดลองพบว่า หลังการดูดซับสีกูลูโคสไשרปโดยใช้ถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 เป็นตัวดูดซับ เมื่อความสูงของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์เพิ่มสูงขึ้นจาก 2.75 เป็น 5.5 เซนติเมตร จะทำให้ พีเอชหลังดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 7.05 เป็น 7.27 สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และเพิ่มขึ้นจาก 7.14 เป็น 7.32 สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-60 ซึ่งจะเห็นว่าพีเอชของกลูโคสไשרปเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของถ่านในคอลัมน์เพิ่มขึ้นโดยมีมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อยหลังดูดซับทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหิวน้ำมันมีความเป็นด่างเล็กน้อยเมื่อปริมาณถ่านเพิ่มสูงขึ้นด้วย

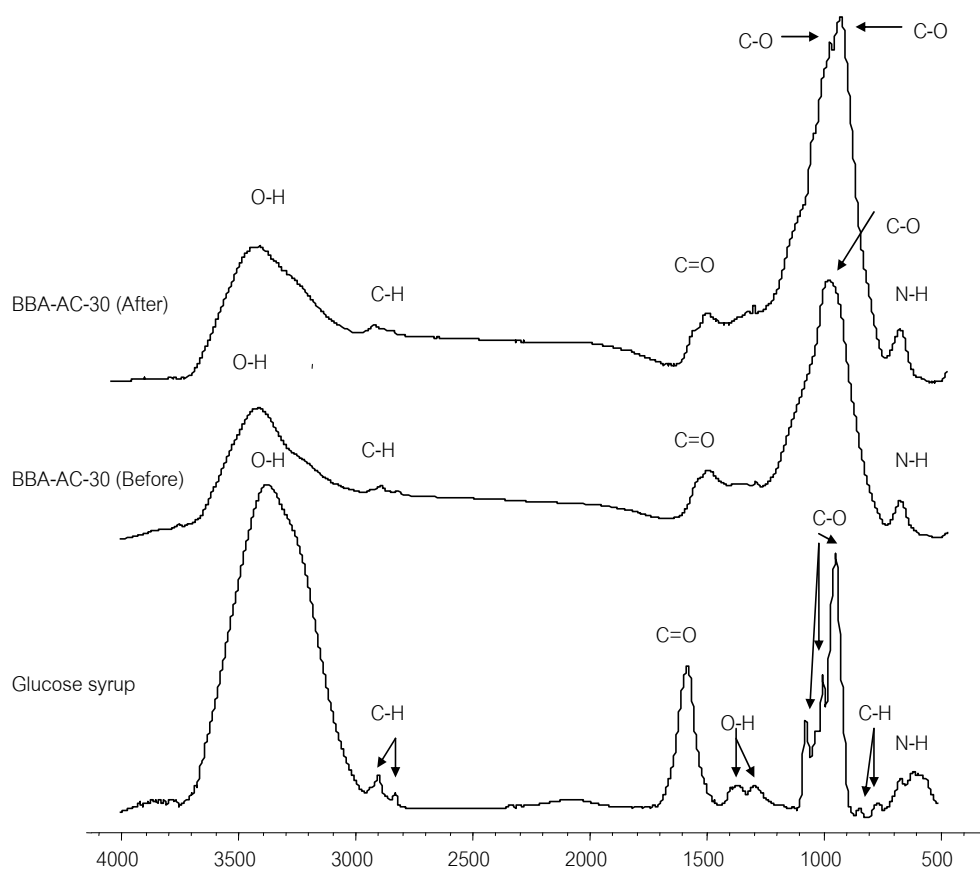
ตารางที่ 4.7 ผลของพีเอชหลังการดูดซับสีของกลูโคสไשרปด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากถ่านหิวน้ำมัน

ความสูงของ ถ่านกัมมันต์ใน คอลัมน์ (เซนติเมตร)	พีเอชหลังการดูดซับสี			
	BBA-AC-30	SD	BBA-AC-60	SD
2.75	7.05	0.02	7.14	0.02
5.50	7.27	0.03	7.32	0.03

ผลการศึกษาการดูดซับสเปกตรัมอินฟราเรดของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อย

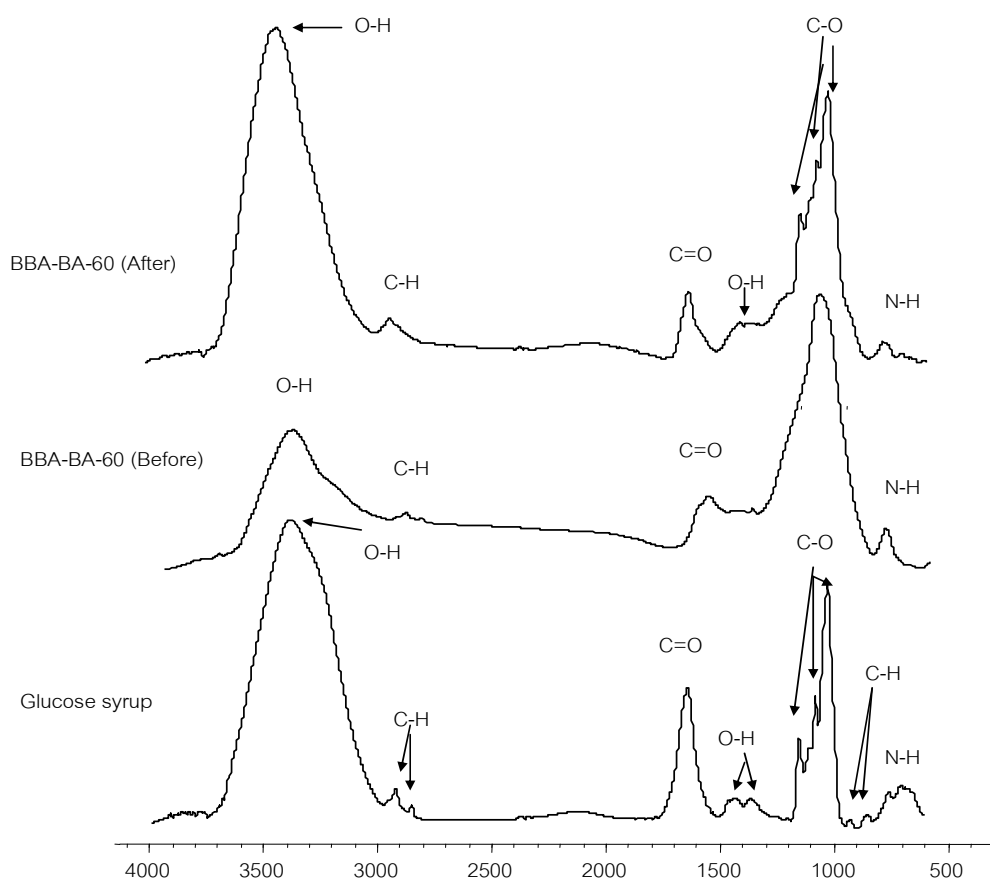
1. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อยก่อนและหลังดูดซับด้วย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

ภาพที่ 4.4 และ 4.5 เป็นผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อย BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 ก่อนและหลังดูดซับสเปกตรัมอินฟราเรด โดยวิเคราะห์ด้วย FTIR



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากถ่านหินชานอ้อย BBA-AC-30 ก่อนและหลังดูดซับสเปกตรัมอินฟราเรด

จากภาพที่ 4.6 พบว่าหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าลอยขานอ้อย BBA-AC-30 ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ตำแหน่งพีค (peak) 3385 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-H ที่ตำแหน่ง 2924 หมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ตำแหน่ง 1650 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ที่ตำแหน่ง 1036 ต่อเซนติเมตร และหมู่เอมีน (amines) ที่ตำแหน่ง 760 ต่อเซนติเมตร และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย BBA-AC-30 ไปดูดซับสีกลูโคสไครป์ พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันใหม่เพิ่มขึ้น ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล (C=O) (ตำแหน่งพีคที่ 1650 ต่อเซนติเมตร) และหมู่ C-O (ตำแหน่งพีคที่ 1089, 1036 ต่อเซนติเมตร) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อยเหล่านี้เนื่องมาจากการดูดซับสีกลูโคสไครป์บนผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่ง หมู่คาร์บอนิล (C=O) และ หมู่ C-O เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกลูโคสไครป์ และ ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันใดบนผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด จากเถ้าหนักขานอ้อย BBA-AC-30 มีผลต่อการดูดซับสีของกลูโคสไครป์



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากเถ้าหนักขานอ้อย BBA-AC-60 ก่อนและหลังดูดซับสีกลูโคสไครป์

จากภาพที่ 4.5 พบว่าหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าลอยขานอ้อย BBA-AC-30 ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ตำแหน่งพีก (peak) 3385 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-H ที่ตำแหน่ง 2924 หมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ตำแหน่ง 1650 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ที่ตำแหน่ง 1036 ต่อเซนติเมตร และหมู่เอมีน (amines) ที่ตำแหน่ง 760 ต่อเซนติเมตร และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย BBA-AC-60 ไปดูดซับสีกลูโคสไชรูป พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันใหม่เพิ่มขึ้น ได้แก่ O-H (ตำแหน่งพีก 1440 ต่อเซนติเมตร) หมู่คาร์บอนิล (C=O) (ตำแหน่งพีกที่ 1650 ต่อเซนติเมตร) และหมู่ C-O (ตำแหน่งพีกที่ 1156, 1089, 1036 ต่อเซนติเมตร) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย BBA-AC-60 เหล่านี้เนื่องมาจากการดูดซับสีกลูโคสไชรูปบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่ง หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) หมู่คาร์บอนิล (C=O) และ หมู่ C-O เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกลูโคสไชรูป และ ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่า ไม่มีหมู่ฟังก์ชันใดๆบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเถ้าหนักขานอ้อยมีผลต่อการดูดซับสีของกลูโคสไชรูป ซึ่งผลของ FTIR ของ BBA-AC- 60 และ ผลFTIR ของ BBA-AC- 60 มีลักษณะใกล้เคียงกันแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น

2. การศึกษาการแยกสีของกลูโคสไชรูปออกจากตัวดูดซับ

การทดลองจะเป็นการศึกษาการแยกสี (desorption) ของกลูโคสไชรูปออกจากตัวดูดซับ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย โดยสารที่ใช้ในการแยกสี ได้แก่ น้ำกลั่น ตามด้วย 0.5 M NaOH และ เอทานอล 95 % ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการแยกสีของกลูโคสไชรูปออกจากถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการแยกสี (desorption efficiency) (%)			
	น้ำกลั่น	0.5 M NaOH	เอทานอล 95 %	รวม
BBA-AC-30	2.75±0.25	6.78±0.37	86.58±1.25	93.33
BBA-AC-60	3.53±0.46	7.23±0.67	87.75±0.87	95.44

ผลการทดลอง พบว่าปริมาณการแยกสีของกลูโคสไชรป์ออกจากตัวดูดซับด้วย เอทานอล 95 % ค่อนข้างสูงมาก สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าลอยขานอ้อยชนิด BBA-AC-30 ประสิทธิภาพการแยกสีสูงถึง ร้อยละ 86.58 ± 1.25 และ ร้อยละ 86.58 ± 1.25 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อยชนิด BBA-AC-60 ขณะที่แยกสีด้วย น้ำกลั่น ประสิทธิภาพน้อยมาก เพียงร้อยละ 2.75 ± 0.25 และร้อยละ 3.53 ± 0.46 สำหรับถ่านกัมมันต์ BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 ตามลำดับ และการแยกสีด้วย 0.5NaOH มีประสิทธิภาพน้อยเช่นกันร้อยละ 3.53 ± 0.46 และร้อยละ 3.53 ± 0.46 สำหรับ BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อรวมประสิทธิภาพการแยกสีของกลูโคสไชรป์ออกจากตัวดูดซับทั้ง 3 สาร (น้ำกลั่น 0.5 M NaOH และ เอทานอล 95%) พบว่าประสิทธิภาพการแยกสีรวมของกลูโคสไชรป์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย สูงกว่าร้อยละ 93 ทำให้สามารถนำตัวดูดซับมา regeneration เพื่อนำกลับมาให้ใหม่ได้ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับตัวดูดซับในการดูดซับสีกลูโคสไชรป์

จากการทดลองจะเห็นว่าสามารถแยกสีของกลูโคสไชรป์ได้สูงที่สุดเมื่อใช้ เอทานอล 95% เป็นสารแยกสี (eluent) แสดงว่า กลไกการดูดซับน่าจะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) โดยแรงดึงดูดระหว่างสีกลูโคสไชรป์และถ่านกัมมันต์ น่าจะถูกดึงดูดได้ด้วยแรงแรงแวนเดอร์วาล ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นเมื่อทำการแยกสีด้วยเอทานอล จึงสามารถแยกสีออกมาได้ง่าย นอกจากนี้ผลการทดลอง FTIR ยังเป็นการยืนยันได้อีกว่า การดูดซับน่าจะเป็นการดูดซับทางกายภาพเนื่องจาก หมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นหลังดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเถ้าหนักขานอ้อย หมู่ไฮดรอกซิล (OH) หมู่คาร์บอนิล (C=O) และ หมู่ C-O เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกลูโคสไชรป์ และ ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน ดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีกลูโคสไชรป์ด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกิดจากเถ้าหนักขานอ้อยกับตัวดูดซับอื่นๆ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสี (decolorization efficiency) ของกลูโคสไชรป์เปรียบเทียบกับตัวดูดซับอื่นๆ เช่น เถ้าลอยขานอ้อย (bagasse bottom ash, BFA) และถ่านกัมมันต์ทางการค้า (commercial activated carbon) โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลาการดูดซับ 120 นาที และ ความสูงของตัวดูดซับในคอลัมน์เท่ากับ 5.5 เซนติเมตร ซึ่งผลของประสิทธิภาพในการดูดซับสีของกลูโคสไชรป์แสดง ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีกลูโคสไครป์ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพ การดูดซับสี (%)	Physical properties				
		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 (Å)
BBA	45.09±0.09	281.51	0.1840	0.1267	0.0573	26.14
BBA-AC-30	72.99±0.35	478.81	0.3591	0.1851	0.1740	31.42
BBA-AC-60	90.83±0.24	615.76	0.4712	0.2516	0.2196	30.61
Commercial activated carbon	65.49 ±0.46	959	0.4466	0.0309	0.4157	18.64

ผลการทดลองเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินชานอ้อยดูดซับสีของกลูโคสไครป์เปรียบเทียบกับ ตัวดูดซับ อื่นๆ เช่น ถ่านหินชานอ้อย และ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก ถ่านหินชานอ้อย ชนิด BBA-AC-30 และ BBA-AC-60 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า ถ่านหินชานอ้อย และ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีจากกลูโคสไครป์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินชานอ้อยสูงสุด เมื่อการผลิตถ่านกัมมันต์เริ่มเผากระตุ้นถ่านลอยชานอ้อยด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 °C และเผากระตุ้นต่อด้วยไอน้ำอีก 60 นาที (BFA-AC-60) โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสีเท่ากับร้อยละ 90.83 ±0.24 ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากถ่านหินชานอ้อย BBA-AC-60 มีพื้นที่ผิวสูงประมาณ 615.76 ตารางเมตร/กรัม เมื่อเทียบกับตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ถ่านลอยชานอ้อย ที่มีพื้นที่ผิวเพียง 281.51 ยกเว้น ถ่านกัมมันต์ทางการค้า (commercial activated carbon) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ มากกว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อย แต่ประสิทธิภาพการดูดซับต่ำกว่าทั้งนี้อาจเนื่องจาก โครงสร้างพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีโครงสร้างรูพรุนเป็นขนาดเล็ก (micropore) มากกว่า รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) จึงอาจไม่เหมาะสำหรับการดูดซับสีที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่กว่า โดยสัดส่วนของปริมาตรของรูพรุนเล็กต่อปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (micropore volume :total voume (V_{mi}/V_T) มีค่าสูงถึงเพียง 93. 52% ซึ่งน่าจะไม่เหมาะสมกับการดูดซับสีของกลูโคสสไครป์ ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินชานอ้อยมีโครงสร้างรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) มากกว่ารูพรุนขนาดเล็ก โดยปริมาตรของรูพรุนขนาดกลาง ต่อปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 53.40 % (V_{me}/V_T) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินชานอ้อยน่าจะใช้รูพรุนขนาดกลางในการดูดซับสีจากกลูโคสไครป์มากกว่ารูพรุนขนาดเล็ก

