

บทที่ 4

บทวิจารณ์

คุณสมบัติของตัวดูดซับ

จากการศึกษาพบว่าสภาพผิวของซังข้าวโพดเป็นกรดอ่อนๆ เนื่องจากซังข้าวโพดมี เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก

ความชื้นของตัวดูดซับ ความชื้น แสดงถึง ประสิทธิภาพในการทำให้แห้งในระหว่าง การผลิตและการเก็บรักษา ตัวดูดซับที่เตรียมจากซังข้าวโพดที่เตรียม โดยปรับปรุงผิวซังข้าวโพด โดยล้างด้วย กรด เบส และน้ำกลั่น ให้ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 6-7% ส่วนตัวดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์ มีค่าความชื้น 8-9% จากค่าความชื้นของตัวดูดซับที่เตรียมได้เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ซึ่งกำหนดให้มีความชื้นได้ไม่เกิน 8% ซึ่งถือว่าตัวดูดซับที่ เตรียมอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่เตรียมจากซังข้าวโพดใช้หลักการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของ BET ซึ่งเป็นวิธีให้ค่าที่น่าเชื่อถือที่สุด (Hassler, 1974) ซึ่งพบว่าพื้นที่ผิวซังข้าวโพดที่ดูดซับได้ดีที่สุดใน กลุ่มที่เตรียมโดยการล้าง คือ ซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบส (0.1M NaOH) ขนาด 40/60 เมช เท่ากับ 1.86 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่าเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงพอสมควรเมื่อเทียบกับดูดซับจากธรรมชาติ ตัวอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ถ่านกัมมันต์ จะให้ค่าดังแสดงใน ตาราง 13

ตาราง 13 พื้นที่ผิวของตัวดูดซับวัสดุธรรมชาติ

ชนิด	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)
ซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบสขนาด 40/60 เมช ^a	1.86
เปลือกหอย ^b	0.24
กระดองปู ^b	35
เส้นผมที่ปรับปรุงโดยใช้ JR 400 ^c	0.48

ที่มา : ^a งานวิจัยนี้ ^b ลีริชี่น ตะนุสะ (2543) ^c Thielmann *et al.* (2001)

ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่เตรียมเป็นถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยนี้ใช้ H_3PO_4 เป็นตัวกระตุ้นให้ค่าพื้นที่ผิวจากการวิเคราะห์แบบ BET เท่ากับ 527 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การเตรียมโดยใช้สารอื่นเป็นตัวกระตุ้นพบว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมีจะให้พื้นที่ผิวน้อยกว่าการเตรียมโดยใช้การกระตุ้นทางฟิสิกส์ อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวที่ได้จากงานวิจัยนี้ถือว่าให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่อยู่ในระดับกลาง ๆ ดังแสดงในตาราง 14

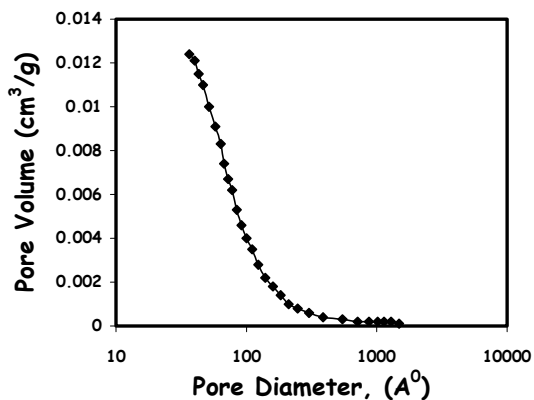
ตาราง 14 พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากซังข้าวโพดด้วยวิธีการต่าง ๆ

	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	พื้นที่ไมโครพอร์ (m^2/g)
ถ่านกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วย H_3PO_4 50% ^a	528	358
ถ่านกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วย H_3PO_4 50% ^b	960	555
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ CO_2 เป็นตัวกระตุ้น ^c	670	578
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้น	998	819
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ KOH เป็นตัวกระตุ้น ^d	548	-
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ K_2CO_3 เป็นตัวกระตุ้น ^d	668	-
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น ^e	791	694

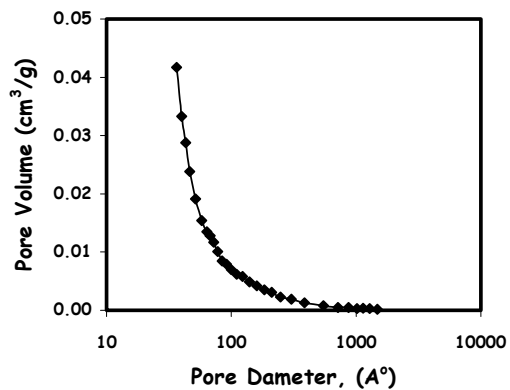
ที่มา : ^a งานวิจัยนี้ ^b El – Hendawy, Samra and Girgis (2001) ^c Chang , Chang and Tsai (2000)

^d Tsai *et al.* (2001) ^e Tsai, Chang and Lee (1998)

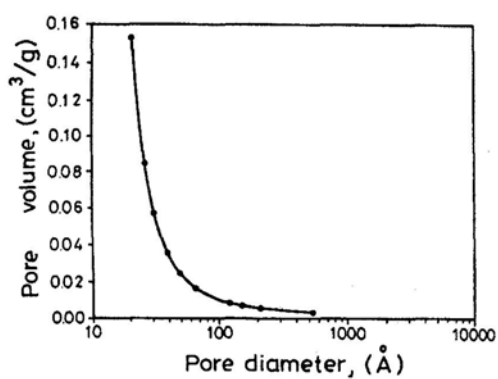
ลักษณะการกระจายของรูพรุน จากการทดลองพบว่าตัวดูดซับที่ปรับปรุงโดยการล้างด้วยเบสขนาด 40/60 เมช ไม่มีรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) อยู่เลย และมีรูพรุนขนาดกลาง (mesopores) อยู่ 74.67% และมีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) 25.33% และมีปริมาตรรูพรุนรวม 0.025 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากงานวิจัยนี้ มีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ 25.75% มีพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็กถึง 357.78 ตารางเมตรต่อกรัมหรือคิดเป็น 67.96% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูพรุนขนาดกลาง 51.32% และมีรูพรุนขนาดใหญ่ 22.93% มีปริมาตรรูพรุนรวม 0.11 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ กระตุ้นด้วย KOH และกระตุ้นด้วย K_2CO_3 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากการทดลองมีค่าปริมาตรรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 แบบ โดยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ มีปริมาตรรูพรุน 0.19 มิลลิลิตรต่อกรัม กระตุ้นด้วย KOH และกระตุ้นด้วย K_2CO_3 มีปริมาตรรูพรุน 0.26 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 0.32 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ดังในภาพประกอบ 4.1



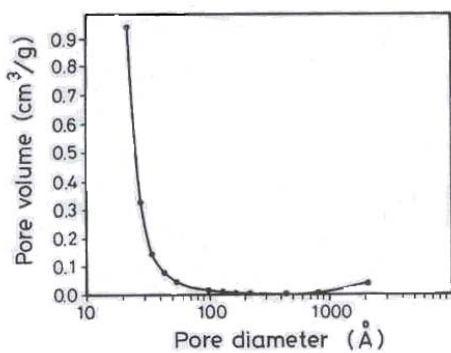
(a)



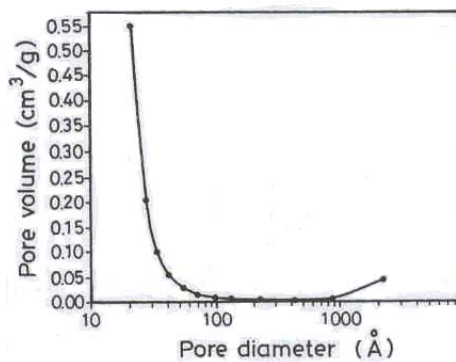
(b)



(c)



(d)



(e)

ภาพประกอบ 4.1 การกระจายของรูพรุนของตัวดูดซับที่ได้จากซังข้าวโพด

(a)¹ ซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบสขนาด 40/60 เมช (b)¹ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย H₃PO₄

(c)² ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ (d)³ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH

(e)³ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย K₂CO₃

ที่มา : ¹งานวิจัยนี้ ²Tsai, Chang and Lee, 1997 ³Tsai *et al.*, 2001

การศึกษาความสามารถในการดูดซับแบบกะ

ตัวดูดซับที่เตรียมจากชังข้าวโพดโดยการปรับปรุงได้แก่ชังข้าวโพดที่ล้างด้วยน้ำกลั่น เบส และกรด ที่ขนาดต่างๆ เมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับ PCP ที่มีความเข้มข้น 10 mg/L ในตัวอย่างน้ำสังเคราะห์ และ ความเข้มข้น 117.24 mg/L ในน้ำตัวอย่างจากโรงงาน จากการเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่าชังข้าวโพดขนาด 40/60 เมช มีความสามารถในการดูดซับ PCP ได้มากที่สุด เป็นไปได้ว่าขนาดที่ใหญ่กว่านี้ (20 และ 20/40 เมช) มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าจึงทำให้ดูดซับ PCP ได้น้อยกว่า และขนาดที่เล็กกว่า (60/80 และ 80/100 เมช) พื้นที่ผิวมากกว่าก็ตามแต่เป็นไปได้ว่าอาจมีการตัดรุกรุนให้มีขนาดไม่เหมาะที่จะดูดซับเท่ากับขนาด 40/60 เมช ส่วนชนิดของชังข้าวโพดที่ปรับปรุงพบว่าชังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบสมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่า ชังข้าวโพดที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และกรด เนื่องจากเบสสามารถละลายสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ในชังข้าวโพดออกได้ดีกว่า เพราะกลุ่มสารที่ติดอยู่ที่ชังข้าวโพดสามารถละลายได้ดีในเบส เช่นไขมันและเทนิน จึงถูกกำจัดออกไปได้ (Marshall and Johns, 1996) ทำให้ชังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบสมีความสามารถในการดูดซับดีกว่า ชังข้าวโพดที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และกรด

การศึกษาไอโซเทอร์ม

จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ ค่าคงที่การดูดซับ k และ $1/n$ จากสมการ Freundlich ที่ได้แสดงถึงประสิทธิภาพในการดูดซับ PCP ของตัวดูดซับชังข้าวโพดจากงานวิจัยนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับอื่น ๆ พบว่ากลุ่มตัวดูดซับที่ไม่ใช่ถ่านกัมมันต์ ชังข้าวโพดที่ปรับปรุงโดยการล้างด้วยเบสมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับที่เป็นของผสมระหว่างพีชกับเบนโทไนท์ โดยใช้ค่า k ที่สูงกว่า และ $1/n$ ต่ำกว่าซึ่งแสดงว่าชังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าและจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอัตราที่ไม่สูงมากนัก ส่วนตัวดูดซับของผสมระหว่างพีชและเบนโทไนท์ที่มีค่า k ต่ำ และ $1/n$ สูงกว่า ซึ่งแสดงว่าความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงและความสามารถในการดูดซับต่ำเมื่อความเข้มข้นต่ำ ส่วนกลุ่มถ่านกัมมันต์พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชังข้าวโพดในงานวิจัยนี้ให้ค่าความสามารถในการดูดซับต่ำสุดและมีค่าใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด Tangren - 1 แม้ว่า Tangren - 1 จะมีพื้นที่ผิวมากกว่าโดยมีพื้นที่ผิวถึง 896.5 ตารางเมตรต่อกรัมในขณะที่ถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยนี้มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 528 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ตัวอื่น ๆ มีค่าความสามารถในการดูดซับในการสูงกว่าเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ และอาจเป็นไปได้ว่าอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก H_3PO_4 ดูดซับได้น้อยกว่า เนื่องจากผิวของมันมี

สภาพความเป็นกรดค่อนข้างสูงคือมีฟอสเฟต ซึ่งจะปลดความสามารถในการดูดซับเพนตะคลอโรฟีนอลที่เป็นกรดอ่อน เช่นเดียวผลจากการสังเกตของ Daifullah และ Gisgis (1998) จากการดูดซับฟีนอลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก apricot stone shells กระตุ้นด้วย H_3PO_4

ตาราง 15 เปรียบเทียบค่า k และ 1/n ของการดูดซับ PCP จากสมการ Freundlich ของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	k	1/n	pH	อุณหภูมิ (°C)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)
ซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบส ขนาด 40/60 เมช ^a	1.123	0.542	5.9	28	1.86
Peat – Bentonite Mixture ^b	0.042	2.144	3-3.5	23	N/A
ถ่านกัมมันต์ผลิตจากซังข้าวโพด ^a	9.815	0.549	5.9	28	528
GAC Calgon F-300(Calgon Corp.,Mississauga,ON) ^c	189.600	0.174	8.5	30	N/A
GAC Tangren – 1 (Tangshan Chemical Corporation,China) ^d	20.530	0.253	10.3	20	897
GAC ^e	95.000	0.180			
PAC(300 mesh from WakoCo.,Japane) ^f	309.000	0.031	7.0	25	1,340

ที่มา : ^a งานวิจัยนี้ ; ^b Viraraghavan and Slough (1999) ; ^c Mollah and Robinson (1996a);

^d Liu *et al.* (2004) ; ^e Slaney and Bhamidimarri (1998) ; ^f Hu *et al.* (1998)

ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยหลักที่ผลต่อการดูดซับคือ อุณหภูมิและพีเอช แต่ในงานวิจัยไม่ได้มีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและพีเอช โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาความสามารถในการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง และพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5.92 แม้ว่าโดยทั่วไปการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นการทำให้อัตราการกระจายของโมเลกุลตัวดูดซับผ่านไปยังตัวดูดซับเข้าไปยังตัวดูดซับได้ดีขึ้นและขณะเดียวกันศักยภาพความสามารถในการดูดซับอนุภาคของตัวถูกดูดซับจะเปลี่ยน แต่การหาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการดูดซับ PCP จากงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา (Mollah and Robinson, 1996b; Suzuki, 1990; Radke and Prausnitz, 1972) พบว่าสำหรับในตัวทำละลายต่าง ๆ การดูดซับของ PCP บนถ่านกัมมันต์จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิไม่สูง เช่นอุณหภูมิแวดล้อมหรืออุณหภูมิห้องนั่นเอง และ ความสามารถในการละลายของ PCP ออกจากตัวดูดซับ (desorbing) จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส)

พีเอชของสารละลายเป็นนัยสำคัญของผลกระทบต่อตัวดูดซับ (adsorbent) และตัวถูกดูดซับ (adsorbate) เนื่องจากทั้งตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะมีหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งจะส่งผลความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายและจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับของโมเลกุลที่บริเวณที่แอคทีฟ (active site) ของตัวดูดซับ ตัวดูดซับบางชนิดจะมีความสามารถในการดึงไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อพีเอชของสารละลาย แต่จากการศึกษาผลกระทบของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ PCP ของงานวิจัยอื่น (Mollah and Robinson, 1996a) โดยทำการศึกษาที่ พีเอช 6, 7.5, 8.5, 9.5 และ 11 แต่ไม่ทำการศึกษาที่พีเอชต่ำกว่า 6 เนื่องจากมีการละลายของ PCP เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าที่พีเอชเท่ากับ 6 สามารถดูดซับ PCP ได้ดีที่สุด และการดูดซับจะลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการศึกษาการดูดซับฟีนอลิกอื่นๆ และจากการศึกษาพบว่า ความแรงไอออนิก (ionic strength) ที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่ากับ 4.28 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดซับ (Cooney and Wijaya, 1978)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงไม่มีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและพีเอชต่อการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของตัวดูดซับแบบต่อเนื่อง

น้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้ที่ผ่านการใช้งานมาหลายครั้งแต่ยังคงใช้ในการรักษาเนื้อไม้อยู่ จึงทำให้มีความเข้มข้นของ PCP ค่า COD และค่าของแข็งแขวนลอยสูง จากการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ใช้ซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบสขนาด 40/60 เมช เป็นตัวดูดซับ โดยตัวดูดซับจะหมดประสิทธิภาพในการดูดซับปริมาณน้ำผ่านคอลัมน์ 61.13 เท่าของปริมาตรบรรจุ เมื่อความเข้มข้นของ PCP เริ่มต้นเท่ากับ 95.30 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราไหลเท่ากับ 0.45 ลิตรต่อชั่วโมง และไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งได้ ซึ่งวิธีแก้ไขอาจทำเป็น 2 คอลัมน์ต่อกันให้น้ำเสียซึ่งอาจทำให้น้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ส่วนคอลัมน์ที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ พบว่าสามารถดูดซับ PCP ในน้ำเสียที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 94.80 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราไหล 0.45 ลิตรต่อชั่วโมงให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เท่ากับ 71.05 เท่าปริมาตรบรรจุ รวมทั้งกำจัด COD ใช้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งเท่ากับ 53.29 เท่าปริมาตรบรรจุ และถ่านกัมมันต์จะหมดประสิทธิภาพเมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ 296.05 เท่าปริมาตรบรรจุ

จากกราฟเบรคทรูการดูดซับ PCP ของซังข้าวโพดที่ล้างด้วยเบส ขนาด 40/60 เมช (ภาพประกอบ 3.11) และถ่านกัมมันต์ (ภาพประกอบ 3.14) จะเห็นว่าลักษณะของกราฟแตกต่างกันคือ กราฟเบรคทรูการดูดซับของซังข้าวโพด ความเข้มข้นของ PCP จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงว่าความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการดูดซับ PCP เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างตัวรับอิเล็กตรอนบนผิวของซังข้าวโพดกับไฮโดรเจนอะตอม ดังนั้นเมื่อผ่านน้ำที่มีการ PCP ปนเปื้อนอยู่ ตัวรับอิเล็กตรอนที่ผิวของซังข้าวโพดจะสร้างพันธะกับไฮโดรเจนอะตอมของ PCP ในทันที เมื่อตัวรับอิเล็กตรอนสร้างพันธะกับไฮโดรเจนอะตอมของ PCP หมด ทำให้ไม่สามารถดูดซับน้ำที่ปนเปื้อน PCP ที่ผ่านคอลัมน์ได้อีก ทำให้กราฟเบรคทรูเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังภาพประกอบ 3.11 ส่วนกราฟเบรคทรูการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะ และมีรูพรุนอยู่มาก PCP ในน้ำตัวอย่างจะถูกดูดซับเข้าไปอยู่ในรูพรุนที่มีอยู่มากจนกระทั่งเต็ม ทำให้ในช่วงแรกสามารถดูดซับ PCP ได้หมด เนื่องจากพื้นที่ผิวและรูพรุนยังสูงอยู่ แต่เมื่อดูดซับไประยะหนึ่งความสามารถจะค่อยๆ ลดลง ทำให้ลักษณะกราฟเบรคทรูค่อยๆ เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 3.14