

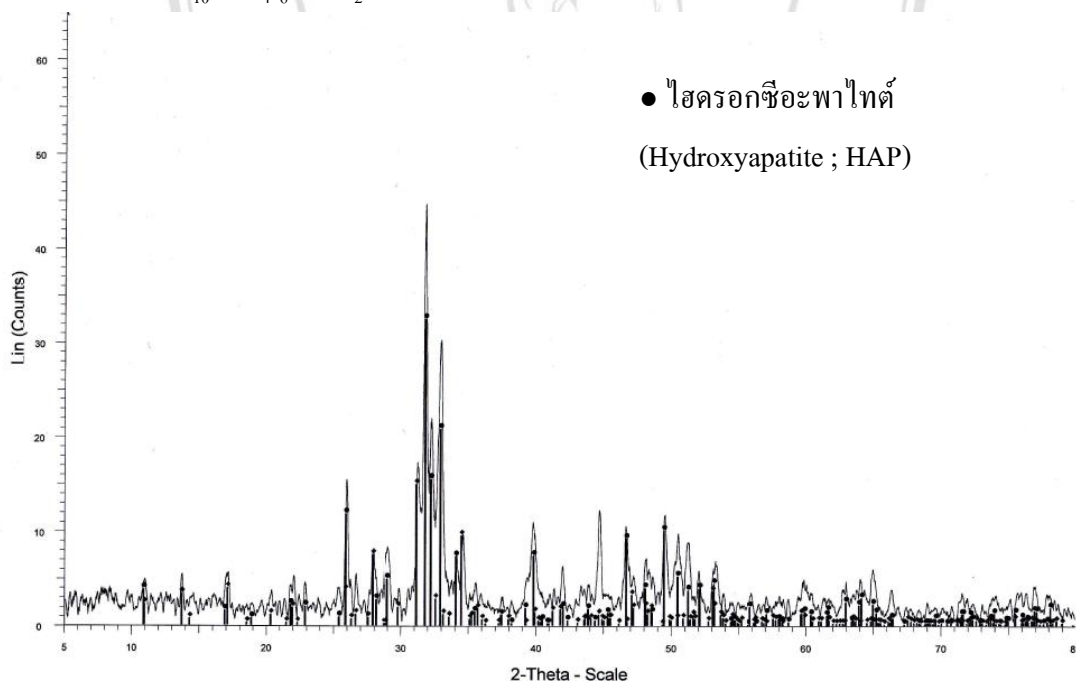
บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะสมบัติของถ่านกระดูก

4.1.1 โครงสร้างผลึก

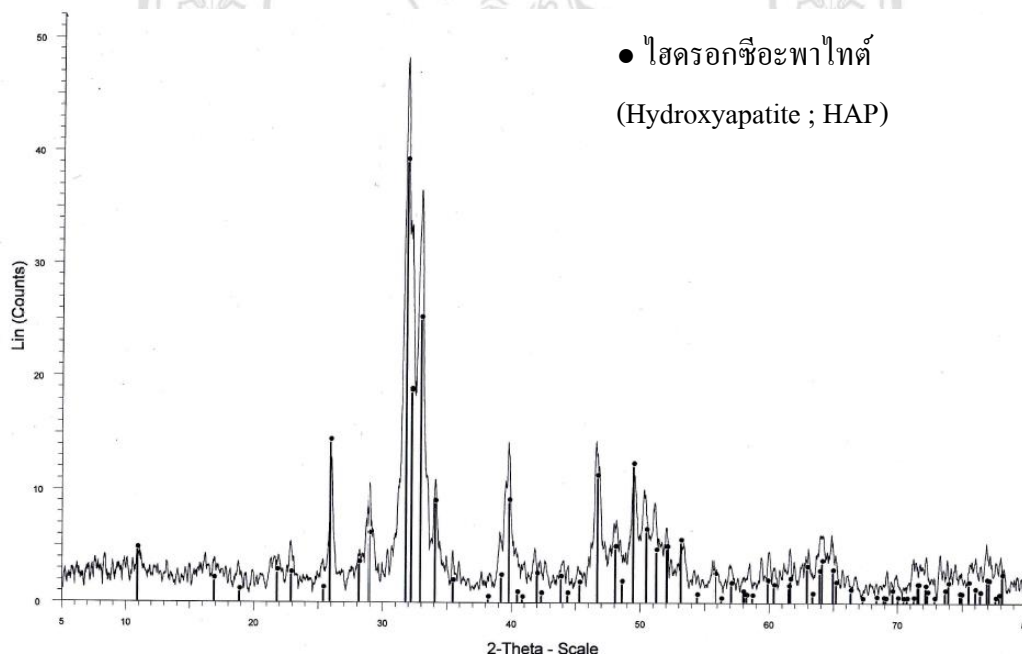
การศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; XRD) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูป 4.1 ตัวอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite ; HAP) ในถ่านกระดูกที่ไม่สามารถแยกด้วยแม่เหล็ก (PBC) (ก) และในถ่านกระดูกที่สามารถแยกด้วยแม่เหล็ก (FPBC) (ข) โดยที่ HAP คือ สารประกอบที่พบในกระดูกเป็นผลึกที่เกิดจากการก่อตัวของแคลเซียมและฟอสฟอรัส [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$]



(ก)

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงตัวอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ HAP ในถ่านกระดูก PBC พบว่า การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของในช่วง $2\theta = 10.9^\circ - 79.2^\circ$ (ข) แสดงตัวอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ HAP ในถ่านกระดูก PBC พบว่า การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของในช่วง $2\theta = 10.9^\circ -$

79.2° และ FPBC การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ HAP ในถ่านกระดูกสองชนิด มีช่วง 2θ เท่ากัน เนื่องจากเป็นกระดูกชนิดเดียวกัน (กระดูกหมู) ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกหกเหลี่ยมของ HAP แต่ส่วนที่ต่างกันคือปริมาณของ HAP ซึ่งในถ่าน PBC ปริมาณของ HAP ร้อยละ 75 มีค่ามากกว่าถ่านกระดูก FPBC ที่มีปริมาณของ HAP ร้อยละ 50 จากการทดลองเห็นได้ว่าการสังเคราะห์ถ่านกระดูกที่สภาวะต่างกัน (มีการแช่เหล็กและไม่มีการแช่เหล็กในเตรท) มีผลต่อปริมาณ HAP ของถ่านกระดูก อ้างอิงจากงานวิจัยของ Benyapa (2015) ทำการศึกษากลไกการดูดซับฟลูออไรด์ออกจากน้ำโดยถ่านกระดูกหมู โดยสังเคราะห์ถ่านกระดูกด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 450 550 และ 650 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณของ HAP ร้อยละ 71.016 70.414 และ 92.837 จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละของ HAP ที่มากที่สุด ดังนั้นการสังเคราะห์ถ่านกระดูกในภาวะต่างๆ มีผลปริมาณ HAP และปริมาณ HAP ยังส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากสารละลาย เนื่องจากฟลูออไรด์ไอออนจะเข้าแทนที่ไฮดรอกซีไอออน (Sudhakar et al, 2009) ดังแสดงในสมการ 2.24 (บทที่ 2) โดยไอออนที่จะแทนที่กันควรมีประจุและขนาดใกล้เคียงกัน



(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite ; HAP) ในถ่าน PBC (ก) และ FPBC (ข) โดยใช้ X-ray diffraction (XRD)

4.1.2 ชนิดและปริมาณธาตุ

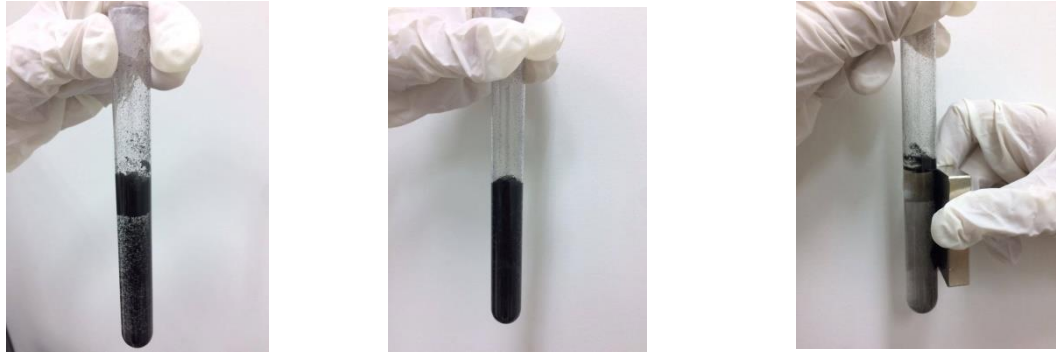
จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence ; XRF) พบว่ามีชนิดและปริมาณธาตุดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุโดยใช้ X-ray fluorescence spectrometer (XRF)

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)									
	Ca	P	Mg	Na	Si	S	Al	K	Fe	Cl
PBC	38.00	15.80	0.78	0.61	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	<0.01
F-PBC	35.70	16.00	0.62	0.75	0.18	0.11	0.06	0.03	4.14	<0.04

จากตารางนี้แสดงให้เห็นว่า PBC และ FPBC มีชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบที่เหมือนกัน และมีสัดส่วนร้อยละ โดยน้ำหนักที่ใกล้เคียง โดยปริมาณของธาตุแคลเซียม (Ca) จะพบมากที่สุดในส่วนกระดูกทั้งสองชนิด ใน PBC และ FPBC มีปริมาณธาตุแคลเซียม (Ca) อยู่ 38.0 และ 35.70 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุเหล็กจะเห็นได้ว่ามีปริมาณที่แตกต่างกัน PBC และ FPBC มีปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) อยู่ 0.03 และ 4.14 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ผิวของ FPBC มีเหล็กเคลือบอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohan และคณะ (2012) ที่ทำการศึกษาการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำใต้ดินโดยใช้ชีวมวลจากซังข้าวโพดที่มีและไม่มีแม่เหล็ก อธิบายได้ว่าเมื่อนำชีวมวลจากซังข้าวโพดที่มีและไม่มีแม่เหล็กไปวัดปริมาณชนิดและปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence ; XRF) พบว่าชีวมวลจากซังข้าวโพดที่มีแม่เหล็กมีปริมาณของธาตุเหล็กสูงกว่าของซังข้าวโพดที่ไม่มีแม่เหล็กอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นยืนยันได้ว่าการทำให้ตัวดูดซับมีแม่เหล็กหรือมีคุณสมบัติแยกด้วยแม่เหล็ก ที่ผิวของดูดซับจะมีเหล็กเคลือบอยู่

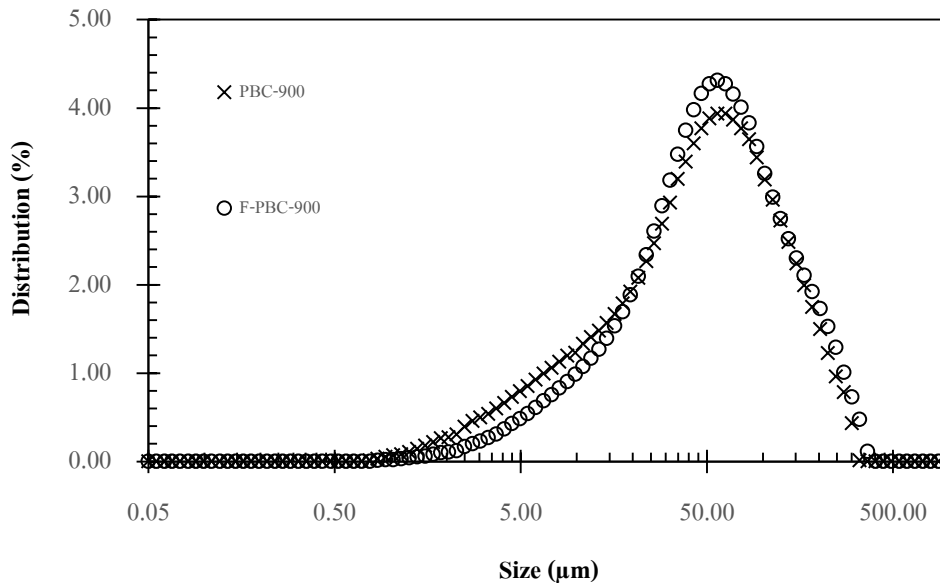
การทดสอบการแยกถ่านกระดูกที่มีสมบัติแยกด้วยแม่เหล็กออกจากสารละลายโดยใช้แม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจากการทดสอบนั้นเริ่มจากการทดลองการดูดซับฟลูออไรด์ ซึ่งเมื่อถึงเวลาเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์จะใช้แม่เหล็กดูดติดกับถ่านกระดูกเพื่อให้ถ่านกระดูกแยกออกจากสารละลาย ซึ่งง่ายต่อการเก็บตัวอย่างและง่ายต่อการแยกตัวดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยจากการทดสอบ ถ่านกระดูกสามารถแยกด้วยแม่เหล็กได้ (Fang et al., 2014)



รูปที่ 4.2 ใช้แม่เหล็กแยก FPBC ออกจากน้ำ

4.1.3 การกระจายอนุภาค

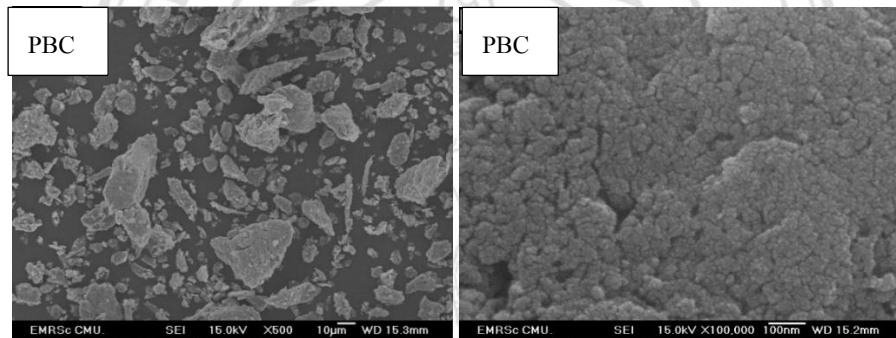
การกระจายขนาดอนุภาคของถ่านกระตุ้นทั้ง 2 ชนิด แสดงในรูป 4.3 พบว่าการกระจายขนาดของอนุภาคมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดย PBC และ FPBC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 50 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ขนาดและการกระจายอนุภาคมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยเมื่อเทียบสารชนิดเดียวกัน มวลหรือน้ำหนักเท่ากัน และมีการกระจายอนุภาคอย่างสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน สารที่มีขนาดเล็กจะมีจำนวนอนุภาคมากกว่า เป็นผลให้พื้นที่ผิวโดยรวมของสารที่มากกว่า ส่งผลให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงกว่า (ชรรมรัตน์และคณะ, 2552)



รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดอนุภาคของ PBC และ FPBC

4.1.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

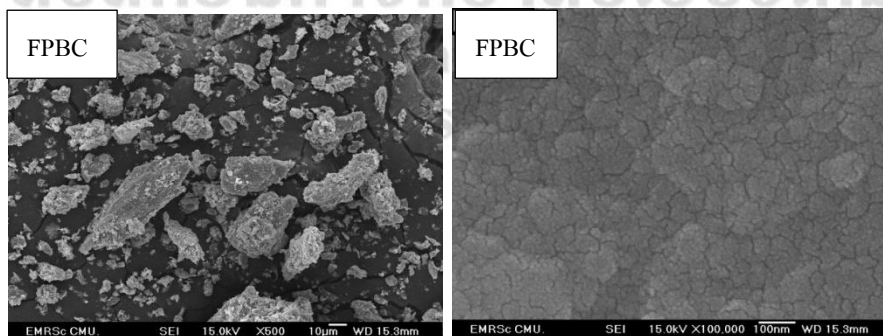
ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกถูกวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) และรูปที่ 4.5 (ก) ซึ่งแสดงถึงลักษณะพื้นฐาน ของถ่านกระดูก ชนิด PBC และ FPBC ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงให้เห็นว่า ขนาดอนุภาค และรูปร่างของอนุภาคของถ่านกระดูกทั้งสองชนิดนั้นมีรูปร่างและรูปทรงที่ไม่แน่นอน มีผิวขรุขระ เมื่อสังเกตความแตกต่างและเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าถ่านกระดูกชนิด FPBC (ก) นั้นอาจจะมีเหล็กจากสารละลายเหล็กในเตรทที่แช่เคลือบผิวของถ่านกระดูกชนิด FPBC และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะของรูพรุนจาก รูปที่ 4.4 (ข) และรูปที่ 4.5 (ข) ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า นั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกระดูก ชนิด PBC (ข) นั้น มีลักษณะของรูพรุนที่ค่อนข้างเห็นได้ชัด และมีปริมาณมากกว่า เมื่อเทียบกับ ถ่านกระดูกชนิด FPBC ที่มีลักษณะของรูพรุนค่อนข้างจะชิดกันและสังเกตได้ยาก



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) ของ PBC (ก)
พื้นผิวอนุภาค PBC กำลังขยาย 500 เท่า (ข) พื้นผิวอนุภาค PBC กำลังขยาย 100,000 เท่า



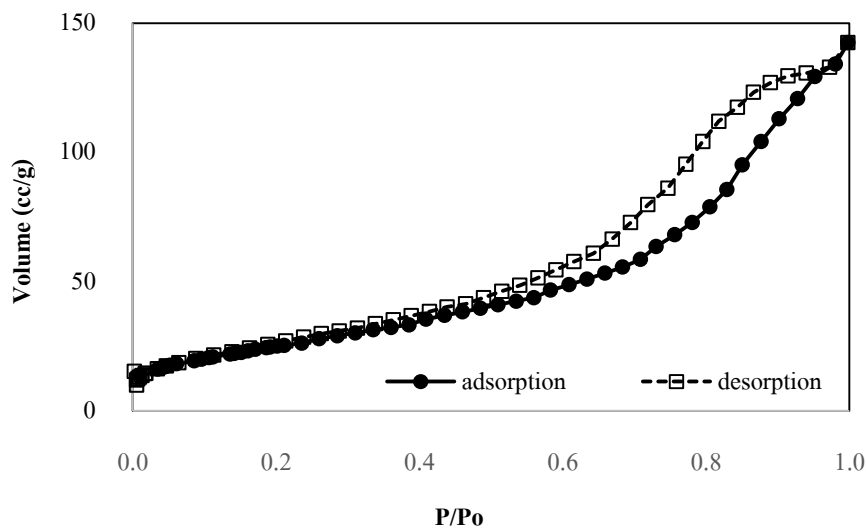
(ก)

(ข)

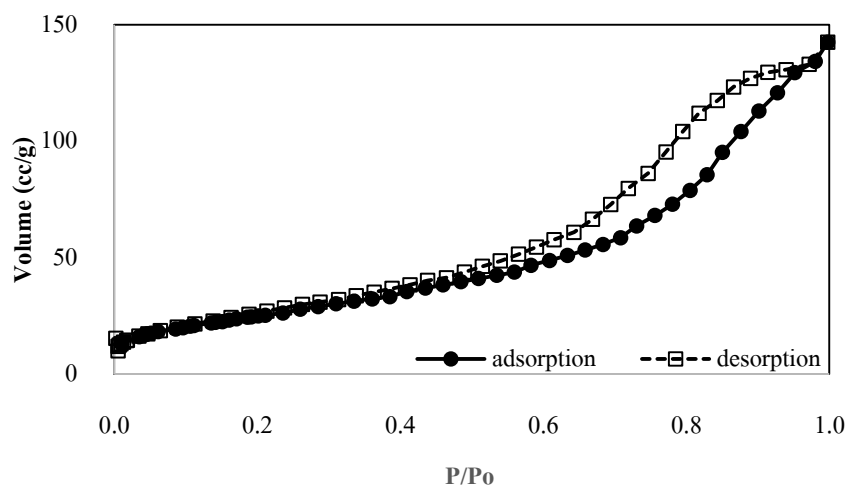
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) ของ FPBC (ก)
พื้นผิวอนุภาค FPBC กำลังขยาย 500 เท่า (ข) พื้นผิวอนุภาค FPBC กำลังขยาย 100,000 เท่า

4.1.5 พื้นผิวและการกระจายของรูพรุน

ไอโซเทอมการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนของการดูดซับและคายซับของถ่าน PBC และ FPBC แสดงรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ นำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ผิว (Surface area) ขนาดของรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับแต่ละชนิด โดยใช้สมการ Brunauer-Emmett-Teller (BET) เพื่อคำนวณพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นหนึ่งในลักษณะสมบัติที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยทั่วไปสำหรับตัวดูดซับที่มีพื้นผิวนิกเดียวกัน ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากกว่ามักจะให้ความสามารถในการดูดซับที่สูงกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นผิวน้อย (Ryan and Radford, 1987)

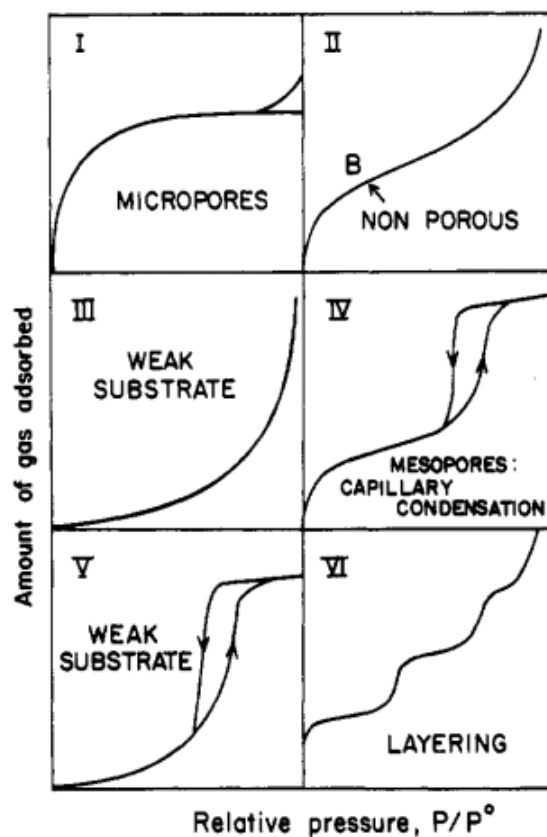


รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมของการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนของ PBC



รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนของ FPBC

จากการทดลองพบว่าไอโซเทอมของการดูดซับและคายซับของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับ PBC และ FPBC มีลักษณะเป็น IV แสดงว่าเป็นไอโซเทอมที่พบมากในวัสดุที่มีรูพรุนส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดกลาง (ขนาดรูพรุนอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตร) ในช่วงแรกมีค่าความดันสัมพัทธ์ต่ำไอโซเทอมจะเหมือนกับไอโซเทอมชนิดที่ 2 จากนั้นการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความดันสัมพัทธ์สูงขึ้นเนื่องจากเกิดการควบแน่นแคปิลลารี (capillary condensation) ขึ้นในรูพรุน ซึ่งทำให้เกิด hysteresis loop ในช่วงการคายซับ ซึ่งข้อมูลการควบแน่นแคปิลลารี สามารถนำไปคำนวณหาขนาดการกระจายรูพรุนในของแข็งที่มีรูพรุนขนาดกลางได้ (ปริญทร, 2551) การกระจายและปริมาตรของรูพรุนจะสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ (Laura R. B., 2009) ตามการจำแนกประเภท IUPAC (1985) แสดงไว้ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชนิดของไอโซเทอมของการดูดซับ, IUPAC classification (1985)

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ตามทฤษฎีของ BET (The BrunauerEmmett-Teller) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ปริมาตรของรูพรุนเมโซพอร์รัส (mesoporus) ของ FPBC น้อยกว่า PBC ซึ่งอาจเกิดจากเหล็กไนเตรทไปเคลือบผิวจึงทำให้ปริมาตรของเมโซพอร์รัสลดลง (Mohan, et al., 2014) โดยที่พื้นที่ผิว BET ของตัวดูดซับ FPBC และ PBC มีค่าเท่ากับ 81 และ 78 ตรม.ต่อกรัม

ตามลำดับ ส่วนปริมาตรของรูพรุนไมโครพอร์ (micropore) FPBC มีค่าสูงกว่า PBC แสดงให้เห็นว่า ปริมาตรรูพรุนของถ่านกระดุกมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่ผิวของถ่านกระดุกที่ทำหน้าที่ในการ ดูดซับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ผิวที่อยู่ภายในโครงสร้างรูพรุน ในกระบวนการดูดซับโดยทั่วไปการ ดูดซับมักเกิดขึ้นภายในรูพรุนภายในมากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นลักษณะและปริมาตรรูพรุนมักจะส่งผล ต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (Wingenfelder et al, 2005)

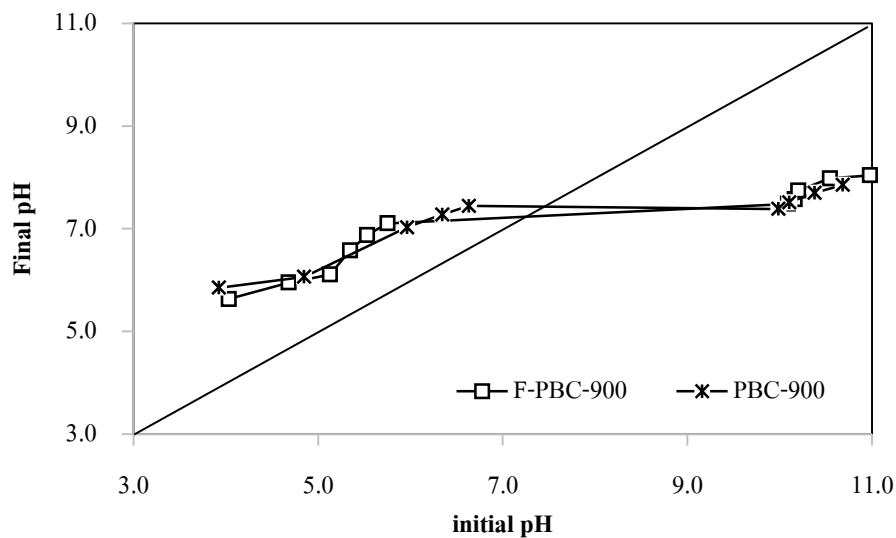
ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและการกระจายของรูพรุน

ตัวอย่าง	S_{bet} (m^2/g)	V_{mic-DR} (cm^3/g)	V_{meso} (cm^3/g)
PBC - 900	78	0.0323	0.2490
F-PBC-900	81	0.0334	0.2229

4.2 การศึกษาสมดุลการดูดซับ

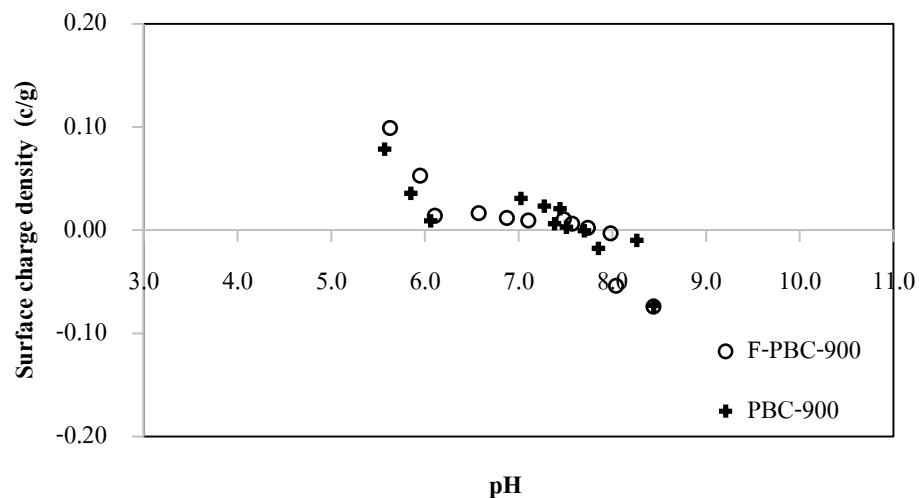
4.2.1 ประจุที่ทำให้พื้นที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์ (PZC)

การทำ PZC เพื่อหาช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำหนดพีเอชในการศึกษาจลนพลศาสตร์ การดูดซับ



รูปที่ 4.9 พีเอชที่ทำให้ประจุรวมที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์

การหาค่าพีเอชให้ประจุรวมที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์ (PZC) ของถ่าน PBC และ FPBC พิจารณาจาก ส่วนที่เป็นพื้นที่ราบของการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้ายหลัง 24 ชั่วโมง มีค่าพีเอช ที่ PZC อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 PZC แสดงค่าพีเอช ที่มีผลต่อพื้นผิวดูดซับ ค่าพีเอชสารละลายที่สูงกว่า PZC ของถ่านกระดูก (>8.5) ส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านกระดูกมีประจุเป็นลบ ในขณะที่ค่าพีเอชของสารละลายมีค่าต่ำกว่า PZC ของถ่านกระดูก (<6.5) จะทำให้ผิวของถ่านกระดูกมีประจุเป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของประจุพื้นผิวของถ่าน PBC และ FPBC ผลที่ได้เป็นไปตามผลของ PZC สอดคล้องกับงานวิจัยของ Medellin-Castillo (2015) ที่ใช้ถ่านกระดูกในการดูดซับฟลูออไรด์มีค่าพีเอช ที่ PZC เท่ากับ 8.4 เช่นเดียวกันกับงานวิจัย Ismail และ AbdelKareem (2015) ศึกษาการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ถ่านกระดูกไก่ และกะเพราว่าถ่านกระดูกไก่และกะเพรา มีค่าพีเอช ที่ PZC เท่ากับ 8.1 และ 7.9 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นประจุของพื้นที่ผิวประมาณ 8-10 และงานวิจัยของ Benyapa (2015) ทำการศึกษาการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ถ่านกระดูกหมู ไก่ และวัว พบว่า ถ่านกระดูกหมู ไก่ และวัว มีค่าพีเอช ที่ PZC เท่ากับ 8.6, 9.0 และ 7.9 จากงานวิจัยข้างต้นที่ได้กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ถ่านกระดูก มีช่วงค่าพีเอช ที่ PZC อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันกระดูกที่ใช้ต่างชนิดกัน

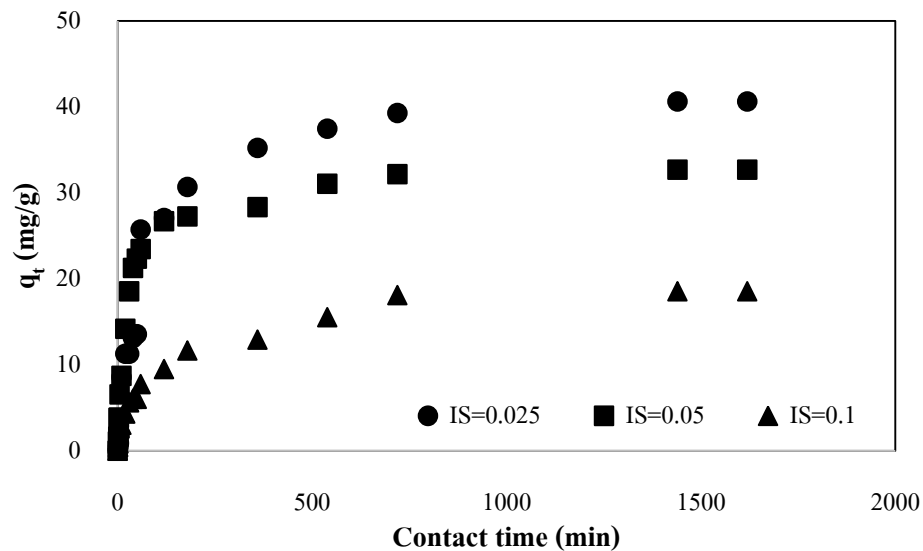


รูปที่ 4.10 ความหนาแน่นประจุ

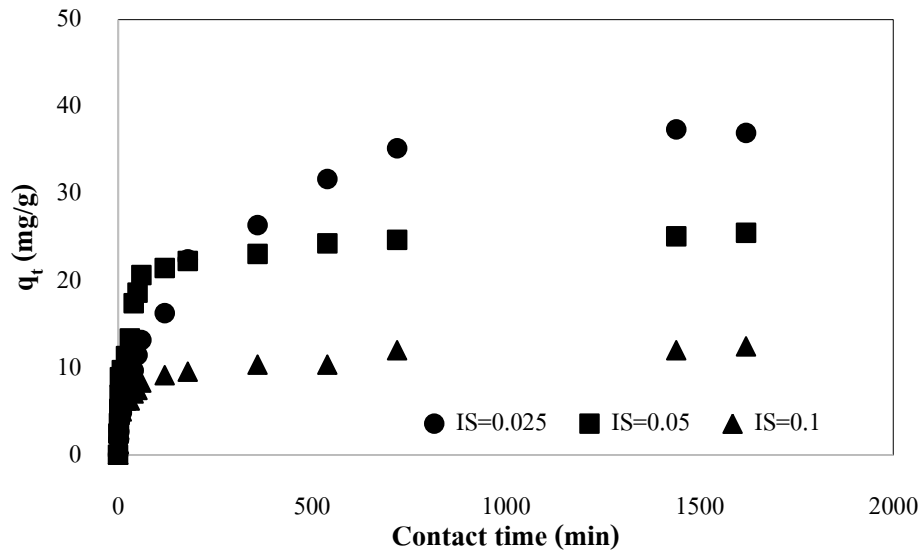
4.2.2 จลนพลศาสตร์การดูดซับ

ผลการทดลองพบว่าถ่านกระดูกทั้งสองชนิดจะเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 360 นาที รูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่ถูกดูดซับด้วย FPBC 4.11 (ข) และ PBC 4.11 (ก) ที่ค่าความแรงประจุต่างๆ โดยที่ค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 24.29 และ 32.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ค่าความแรงประจุ 0.05 โมลาร์ พบว่า

FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 12.02 และ 18.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ค่าความแรงประจุ 0.1 โมลาร์ พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 10.69 และ 15.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการทดลองความแรงของประจุมีผลต่อการดูดซับฟลูออไรด์ และค่าความแรงของประจุน้อยจะมีผลทำให้การดูดซับฟลูออไรด์ดีขึ้นเนื่องจากสารละลายที่มีค่าความแรงประจุสูง ไอออนของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ส่งผลต่อกลไกของการดูดซับฟลูออไรด์ของถ่านกระดุกทำให้เกิดการดูดซับได้น้อยลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ มณฑล คงปิ่น และคณะ (2549) ในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ที่สถานะสมดุลมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ตัวดูดซับ FPBC และ PBC พบว่าที่สถานะสมดุล PBC สามารถดูดซับฟลูออไรด์ได้ 32.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งดูดซับสูงกว่า FPBC 24.29 มิลลิกรัมต่อกรัม FPBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้น้อยเกิดจากพื้นที่ผิวสัมผัสของ FPBC ถูกเคลือบด้วยเหล็กไนเตรททำให้รูพรุนถูกอุดตันทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mohan, et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตามค่าความแรงของประจุและคุณสมบัติการดูดซับแม่เหล็กของถ่านกระดุกทั้ง 2 ชนิดไม่มีผลต่อระยะเวลาสัมผัสที่สถานะสมดุล



(ก)

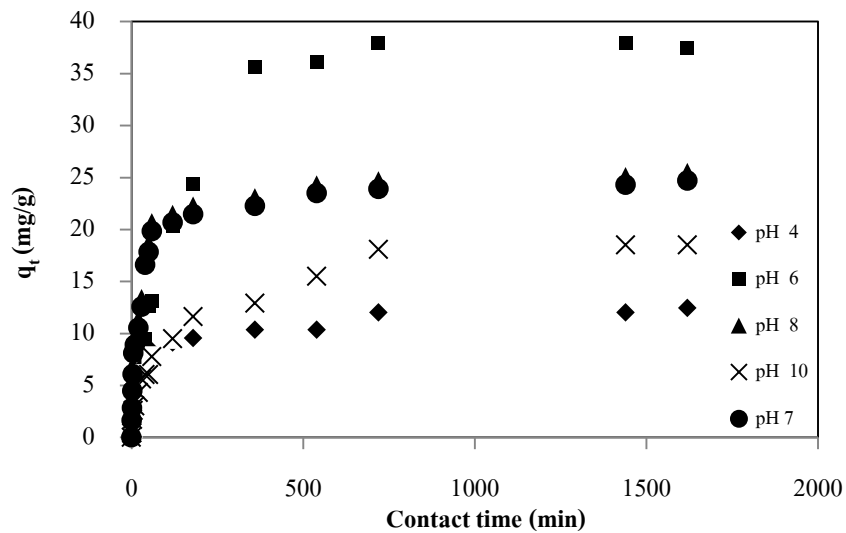


(ข)

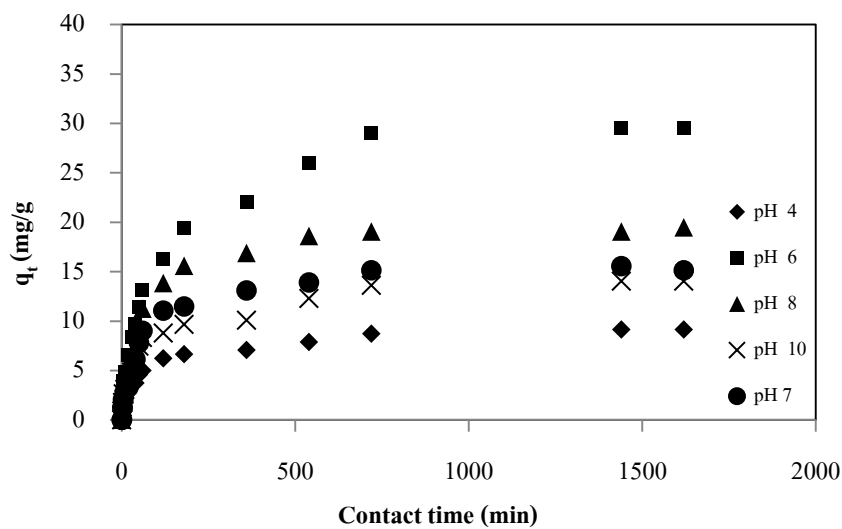
รูปที่ 4.11 การดูดซับฟลูออไรด์ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่พีเอช 6 ของ PBC (ก) และ FPBC (ข)

การดูดซับฟลูออไรด์ของพีเอชต่างๆ ดังภาพที่ 4.12 FPBC 4.12 (ก) และ PBC 4.12 (ข) ซึ่งทำการศึกษาที่ค่าพีเอช 4.0 6.0 7.0 8.0 และ 10.0 โดยที่ค่าพีเอช เท่ากับ 4.0 พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 7.88 และ 10.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 6.0 พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 24.29 และ 32.13 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 7.0 พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 18.59 และ 23.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 8.0 พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 23.45 และ 29.54 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 10.0 พบว่า FPBC และ PBC ดูดซับฟลูออไรด์ได้ 13.59 และ 18.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการทดลองความค่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับฟลูออไรด์ และที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 มีผลทำให้การดูดซับฟลูออไรด์ดีเนื่องจากสารละลายที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า PZC (<6.5) ทำให้ผิวของถ่านกระดูกเป็นบวกจึงทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเนื่องจากฟลูออไรด์มีประจุเป็นลบ ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 4 มีค่าพีเอชของสารละลายน้อยกว่า PZC เช่นกัน แต่ความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์เกิดได้น้อยเนื่องจากสารละลายมีค่าความเป็นกรดสูงจึงทำให้เกิดการกักตรอนที่ผิวของถ่านกระดูก ดังนั้นจึงทำให้การดูดซับเกิดได้น้อย (Tomar et al., 2014 ; Cai et al., 2016) ส่วนที่สารละลายที่ค่าพีเอชสูงกว่า PZC (>8.5) ผิวของถ่านกระดูกเป็นลบทำให้ความสามารถในการดูดซับเกิดได้น้อยเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Panida Prarat., 2011) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Benyapa (2015) ทำการศึกษาทั่วโลกการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ถ่านกระดูกออกจากน้ำใต้ดิน ได้อธิบายผลกระทบของพีเอชต่อการดูดซับฟลูออไรด์ได้ว่าการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ถ่านกระดูกหุ้มความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์เท่ากับ 0.134 มก/ก เมื่อพีเอชของสารละลายที่ PZC ที่สภาวะสมดุล (PZC = 8.6) แต่

ความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ของถ่านกระตุ้นลดลงเป็น 0.0367-0.079 มก/ก เมื่อพีเอชของสารละลายสูงกว่าค่า PZC อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นเป็น 0.3660 มก/ก เมื่อพีเอชของสารละลายน้อยกว่าค่า PZC ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟลูออไรด์คือค่าที่เอชที่น้อยกว่าค่า PZC พื้นที่ผิวจึงจะมีประจุเป็นบวกส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์สูง เนื่องจากฟลูออไรด์ไอออนมีประจุเป็นลบ (Medellin-Castillo et al., 2014)



(ก)



(ข)

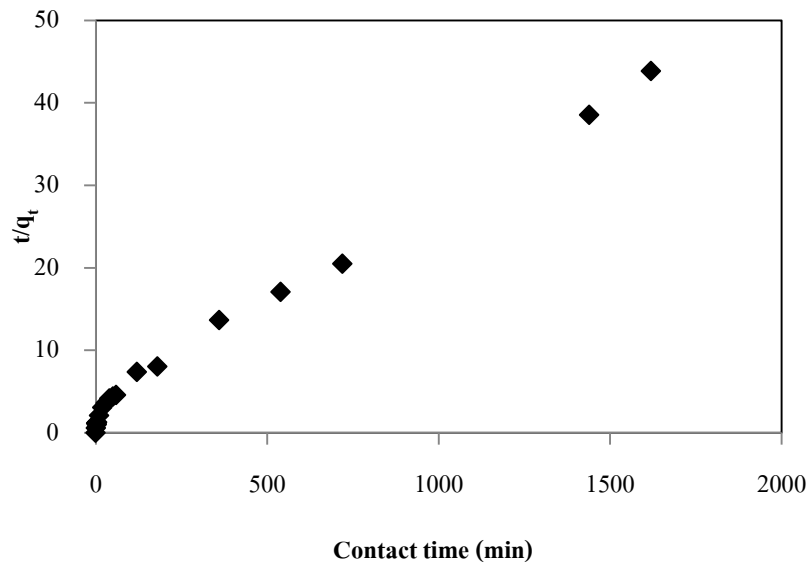
รูปที่ 4.12 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชต่างๆ ที่ค่าความแรงประจุเท่ากับ 0.025 ของ PBC (ก) และ FPBC (ข)

ค่าพีเอชของสารละลายมีผลต่อรูปแบบของฟลูออไรด์ โดยที่ค่าพีเอช < 3.5 ฟลูออไรด์จะอยู่ในรูปของ กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ที่ค่าพีเอช > 3.5 ฟลูออไรด์จะอยู่ในรูปของ ฟลูออไรด์ไอออน (F⁻) และที่ค่า พีเอช > 10 ฟลูออไรด์จะอยู่ในรูปของกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) + ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) (Yulin et al., 2009) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

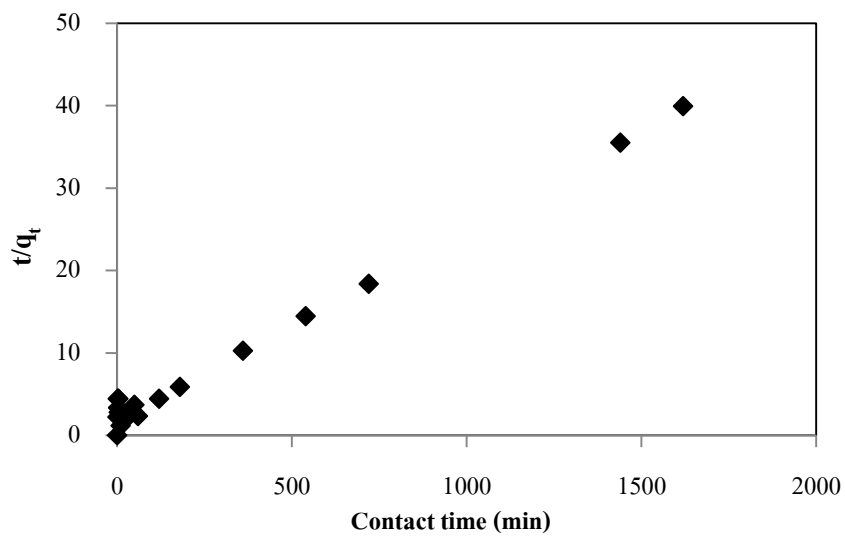
ตารางที่ 4.3 รูปแบบของฟลูออไรด์ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	รูปของฟลูออไรด์
<3.5	กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)
>3.5	ฟลูออไรด์ไอออน (F ⁻)
>10	กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) + ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH ⁻)

จากผลการทดลองจลนพลศาสตร์การดูดซับฟลูออไรด์บนถ่านกระดูกทั้งสองชนิด ถูกนำมาวิเคราะห์อันดับปฏิกิริยาของการดูดซับ โดยมีการวิเคราะห์ทั้งหมด 4 อันดับปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ปฏิกิริยาอันดับสอง ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.13 ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) โดยเลือกพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ที่มากที่สุด (ค่าเข้าใกล้ 1) จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ของอันดับปฏิกิริยาแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมีค่าสูงสุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอันดับปฏิกิริยาเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียมคืออันดับปฏิกิริยาที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับฟลูออไรด์ด้วย FPBC และ PBC สอดคล้องกับการศึกษาของ (Valencia, et al 2012) อันดับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับสองเทียมสามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับเป็นการดูดซับทางสารเคมีซึ่งอาจเกิดจากแรงดึงดูดของสารที่มีขั้วต่างกันระหว่างฟลูออไรด์ไอออนกับผิวของถ่านกระดูก (Ho & Ofomaja, 2006) โดยที่ค่าคงที่ (k) ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ปฏิกิริยาอันดับสอง และปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมคำนวณได้จากความชันของเส้นกราฟถดถอยแต่ละเส้น ค่าคงที่ (k) ของปฏิกิริยาอันดับสองเทียมคำนวณได้จากความชันยกกำลังสองหารด้วยจุดตัดของเส้นกราฟถดถอย (Aunnop et al., 2015) การดูดซับฟลูออไรด์บน FPBC และ PBC เป็นอันดับปฏิกิริยาแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียมที่ค่าคงที่เท่ากับ 0.002 และ 0.001 g / (mg • min)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 รูปแบบของจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียมของ PBC (ก) FPBC

(ข)

พารามิเตอร์ของจลนพลศาสตร์การดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ PBC และ FPBC แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ของจลนพลศาสตร์การดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ PBC และ FPBC

Adsorbents	qe,exp mg/g	qe,cal (mg/g)	first order		second order		Pseudo first order		Pseudo second order	
			R ²	k	R ²	k	R ²	K _{p1}	R ²	K _{p2}
PBC	32.13	32.40	0.6048	0.0006	0.6877	0.0001	0.9141	-0.0025	0.9996	0.001
FPBC	24.29	24.71	0.4672	0.0003	0.5219	4×10 ⁻⁵	0.7349	-0.0038	0.9925	0.002

4.2.3 แบบจำลองการแพร่ภายในรูพรุน (Intraparticle diffusion model)

การแพร่ภายในรูพรุนสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลของจลนพลศาสตร์การดูดซับ เพื่อศึกษากลไกของปฏิกิริยาในกระบวนการดูดซับของถ่านกระดุก ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ 4. 1 (Weber and Morris)

$$q_t = k_i t^{1/2} + C$$

สมการ 4.1

- เมื่อ
- q_t คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (มก/ก)
 - t คือ เวลา (นาที)
 - k_i คือ ค่าคงที่การแพร่ภายในรูพรุน (มก/กรัม.นาที^{1/2})
 - C คือ จุดตัดแกน ซึ่งได้จากการพล็อต q_t กับ $t^{1/2}$

สำหรับค่า C McKay และ คณะ (1980) อธิบายได้ว่า ค่า C จะบอกถึงผลกระทบที่เกิดจากความหนาของชั้นฟิล์ม ยิ่งค่า C มากผลกระทบที่เกิดจากความหนาของชั้นฟิล์มยิ่งมาก โดย G. McKay ได้ดำเนินการทดลองโดยการผสมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟพบว่าค่า C มีค่าเป็นลบจึงทำให้ G. McKay เชื่อว่า ค่า C ส่งผลต่อการแพร่กระจายภายในรูพรุนทำให้การแพร่ภายในรูพรุนเกิดได้ช้า แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยต่างๆ ส่วนใหญ่ค่า C จะมีค่าเป็นบวก นั่นคือมีการดูดซับอย่างรวดเร็วในระยะเวลาดั้ง

การหาค่าการดูดซับเริ่มต้น จากสมการที่ 4.1 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$q_{ref} = k_{pt} t_{ref}^{1/2} + C$$

สมการ 4.2

เมื่อ q_{ref} คือ ความเข้มข้นของเฟสของแข็งที่เวลา $t = t_{ref}^{1/2}$
 $t_{ref}^{1/2}$ คือ ช่วงเวลาที่ยาวนานที่สุดในกระบวนการดูดซับ

สมการ 4.2 – 4.1 จะได้

$$q_{ref} - q_t = k_p(t_{ref}^{1/2} - t^{1/2}) \quad \text{สมการ 4.3}$$

สมการที่ 4.3 จัดเรียงสมการใหม่ได้ดังนี้

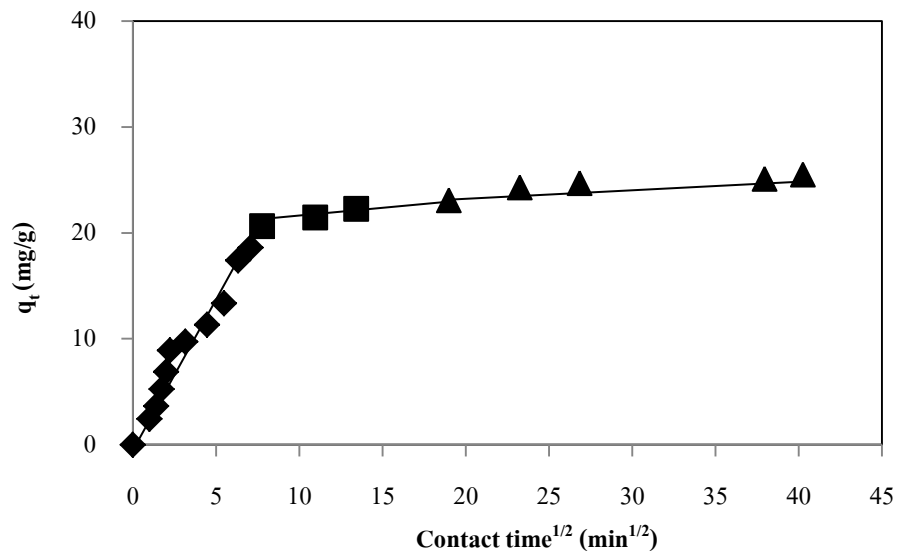
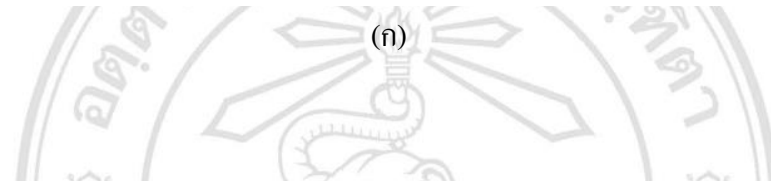
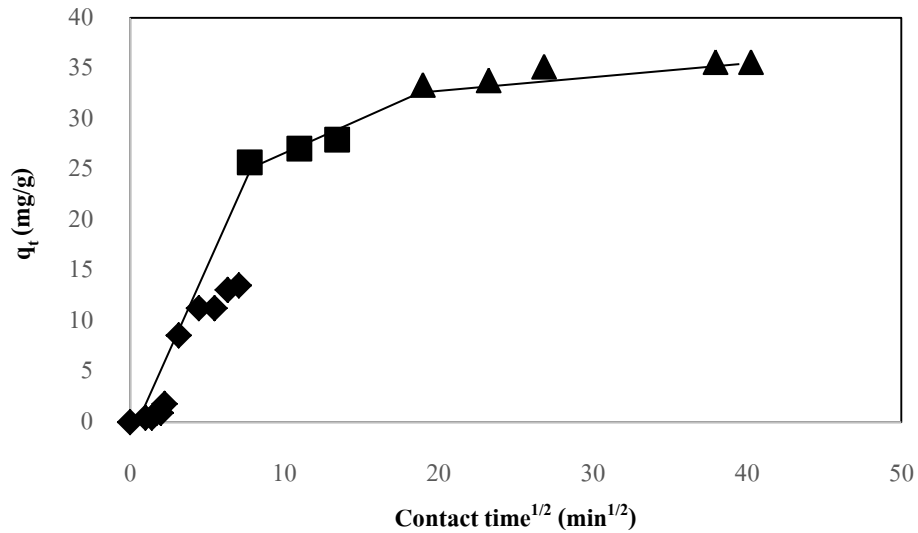
$$\left(\frac{q_t}{q_{ref}}\right) = 1 - R_i \left[1 - \left(\frac{t}{t_{ref}}\right)^{1/2}\right] \quad \text{สมการ 4.4}$$

เมื่อ $R_i = (k_p t_{ref}^{1/2} / q_{ref})$, ซึ่งหมายถึงตัวดูดซับเริ่มต้นของแบบจำลอง
 การแพร่ภายในรูพรุน

ลักษณะของเส้นโค้งขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่ภายในรูพรุนซึ่งหาได้จากการนำสมการที่ 4.4 เท่ากับ
 สมการที่ 4.2 จะได้ R_i ดังนี้

$$R_i = \frac{q_{ref} - C}{q_{ref}} = 1 - \left(\frac{C}{q_{ref}}\right) \quad \text{สมการ 4.5}$$

สมการ 4.5 ชี้ให้เห็นว่า R_i สามารถแสดงได้ในเทอมของอัตราส่วนของปริมาณการดูดซับ
 เริ่มต้น (C) กับปริมาณการดูดซับสุดท้าย (q_{ref}) เมื่อ $C = 0$ (นั่นคือไม่มีการดูดซับในระบบดูดซับ
 เริ่มต้น) $R_i = 1$ อย่างในกรณีสมการ 4.2 ปรากฏการณ์นี้มักเกิดขึ้นกับตัวดูดซับเรซินสังเคราะห์ที่มี
 อนุภาคขนาดใหญ่และรูพรุนมีขนาดสม่ำเสมอ (Serpen et al., 2007 ; Zhang et al., 2007) เมื่อ
 กระบวนการ $C = q_{ref}$ (การดูดซับเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มกระบวนการ) $R_i = 0$ โดยปกติจะไม่ถือว่าเป็น
 กระบวนการดูดซับ แต่จะเป็นกระบวนการอื่น ๆ เช่นการรวมตัวและการจับตัวเป็นก้อนแล้ว
 ตกตะกอน แม้ว่าตัวดูดซับบางชนิดจะมีปรากฏการณ์คล้ายคลึงกันก็ตาม (Ozcan et a., 2007 ;
 Mouzdahir et a., 2007 ; Gercel et a., 2007) ลักษณะของพฤติกรรมการดูดซับเริ่มต้นนี้สามารถ
 วิเคราะห์และอธิบายด้วยลักษณะเส้นโค้งเริ่มต้นตามรูปแบบของการกระจายภายในรูพรุน



All rights reserved (ข)

รูปที่ 4.14 การแพร่ภายในรูพรุน (ก) PBC (ข) FPBC

โดยทั่วไปกลไกการดูดซับของการดูดซับของแข็ง – ของเหลว จะมี 3 ขั้นตอน (Albadarin et al., 2012) ขั้นตอนแรก การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ ขั้นตอนที่สอง การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆแทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของตัวกลางดูดซับการขนส่งฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิด

การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film diffusion) และขั้นตอนสุดท้าย การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของตัวกลางดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในรูพรุน โดยที่ขั้นตอนสุดท้ายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับขั้นตอนข้างต้น ดังนั้นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับสามารถเป็นได้ทั้งการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม และหรือการแพร่ภายในรูพรุนของตัวดูดซับตามรูปแบบการแพร่กระจายภายในรูพรุนของตัวดูดซับ ถ้าการแพร่ภายในรูพรุนเกี่ยวข้องกับ การดูดซับ เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง q_t กับ $t^{1/2}$ กราฟควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง และผ่านจุดกำเนิด แสดงว่าการแพร่กระจายภายในรูพรุนเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ (Ozcan et al., 2007) รูปที่ 4.14 เป็นรูปแสดงการแพร่กระจายภายในรูพรุนของถ่านกระดูกทั้งสองชนิด (ก) PBC (ข) FPBC

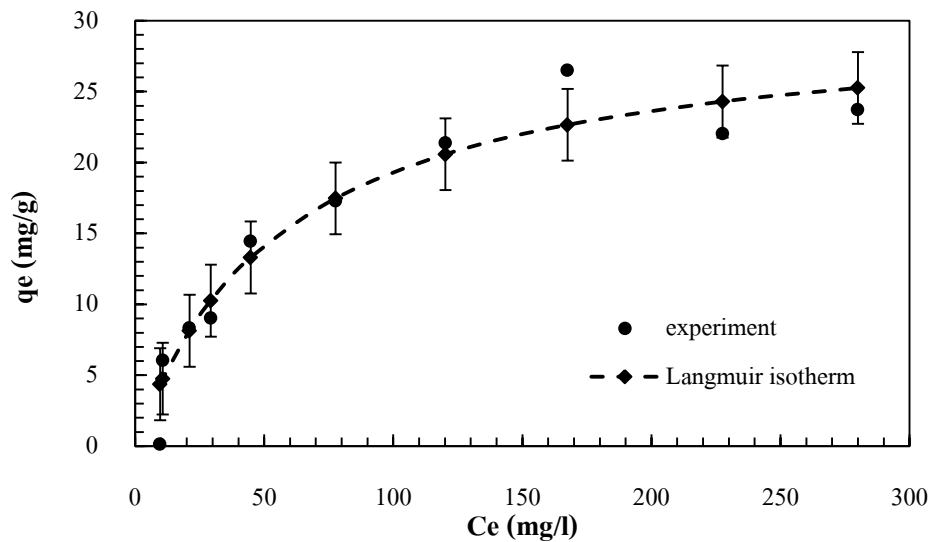
ช่วงแรกเป็นการอธิบายการถึงการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของฟลูออไรด์จากสารละลายโดยจะแพร่จากชั้นขอบถึงผิวนอกของถ่านกระดูก ส่วนช่วงที่เป็นการอธิบายถึงอินทราพาทิกเคิลหรือการแพร่เข้าสู่ภายในรูพรุน ซึ่งฟลูออไรด์จะแพร่เข้าสู่รูพรุนของถ่านกระดูก และช่วงที่สามคือสถานะสมดุล เมื่อนำไปพล็อตกราฟ ระหว่าง q_t กับ $t^{1/2}$ กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง และผ่านจุดกำเนิดแสดงว่า การแพร่ภายในรูพรุนเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ismail และ AbdelKareem (2015) ที่ทำการศึกษาการแพร่ภายในรูพรุนของกระดูกแกะและกระดูกไก่ในกระบวนการดูดซับฟลูออไรด์ โดยพล็อตกราฟระหว่าง q_t กับ $t^{1/2}$ กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงชี้ให้เห็นว่า กระบวนการดูดซับถูกควบคุมโดยการแพร่ภายในรูพรุน กราฟเป็นเส้นตรงและผ่านจุดกำเนิด ซึ่งหมายความว่า กระบวนการดูดซับฟลูออไรด์ของถ่านกระดูกทั้งสองการแพร่ภายในรูพรุนเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่เมื่อพล็อตกราฟ ระหว่าง q_t กับ t กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่ไม่ผ่านจุดกำเนิด หมายความว่าขั้นที่จำกัดอัตราการดูดซับไม่ใช่การแพร่ภายในรูพรุนเพียงอย่างเดียว (Keskinan et al., 2004; Pan et al., 2009) อย่างไรก็ตามอัตราการดูดซับของการแพร่กระจายภายในรูพรุนควรจะเกิดช้าที่สุดสำหรับการดูดซับฟลูออไรด์บนรูพรุนขนาดเล็กของถ่านกระดูก ซึ่งอัตราค่าคงที่ของการแพร่กระจายภายในรูพรุน k_p คือค่าที่คำนวณได้จากของช่วงที่สองในกราฟ จุดตัด C ในช่วงที่สอง ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาของชั้นขอบของถ่านกระดูก (Kavitha & Namasivayam, 2007) การแพร่กระจายภายในรูพรุนมีบทบาทสำคัญต่อขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับ

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ของการกระจายภายในรูพรุนสำหรับการดูดซับฟลูออไรด์

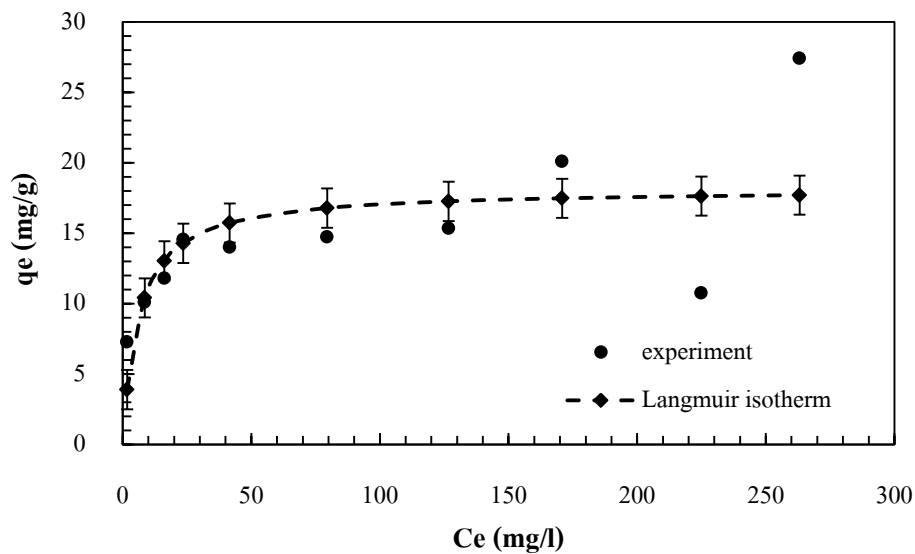
ตัวดูดซับ	stage 1			stage 2		
	k_i (มก/ก.นาที ^{1/2})	C	R^2	k_i (มก/ก.นาที ^{1/2})	C	R^2
PBC	2.8019	2.7025	0.9163	0.2264	2.5740	0.8672
FPBC	2.5390	0.8294	0.9742	0.1275	2.0600	0.8977

4.2.5 ไอโซเทอมการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโดยใช้ความเข้มข้นของฟลูออไรด์เท่ากับ 10 20 30 40 50 100 150 200 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) สมการฟรูนดลิช (Freunflich) จากตารางที่ 4.6 เนื่องจากค่า R^2 ของสมการเส้นตรงที่พล็อตตามสมการแลงเมียร์มีค่าสูงที่สุด จึงกล่าวได้ว่า ไอโซเทอมของการดูดซับมีความสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากที่สุดซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้ว่าการดูดซับนั้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ในการดูดซับนั้นฟลูออไรด์จะถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวหรือภายในรูพรุนของถ่านกระดุก เมื่อมีการดูดซับจนเต็มพื้นผิวก็จะไม่สามารถดูดซับฟลูออไรด์ได้อีก การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแลงเมียร์ดังแสดงในรูปที่ 4.15



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 รูปแบบของเส้นไอโซเทอมของการดูดซับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ก) PBC (ข)

FPBC

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ของไอโซเทอมการดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ PBC และ FPBC

adsorbents	Temp (°C)	Langmuir			Freundlich		
		q_m	K_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
PBC	25	30.46	0.017	0.9959	2.31	0.43	0.9796
FPBC	25	18.12	0.16	0.9889	6.82	0.1945	0.9154

จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟลูออไรด์ของถ่านกระดูกทั้งสองชนิดจะเกิดได้ดีในสภาวะที่ต้องมีการปรับค่าความแรงประจุให้มีค่าเท่ากับ 0.025 และพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6 โดยปริมาณถ่านกระดูกที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการดูดซับฟลูออไรด์อยู่ที่ 5.1 กรัม โดยที่ระยะเวลาสัมผัสเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 360 นาที

4.3 การกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำใต้ดิน

ใช้น้ำใต้ดินโดยมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ ดังแสดงตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำใต้ดินก่อนและหลังการดูดซับ

พารามิเตอร์	การดูดซับ		
	ก่อน	หลัง	
		ถ่าน PBC	ถ่าน FPBC
ค่าพีเอช	7.12	7.40	7.44
ค่าความแรงประจุ (โมลาร์)	0.02	0.02	0.02
ความเข้มข้นฟลูออไรด์เริ่มต้น (มก/ล)	12.8	0.43	0.46
ปริมาณเหล็ก (Fe) (มก/ล)	0.21	0.20	0.20
ปริมาณไนเตรท (NO ₃) (มก/ล)	0.125	0.123	0.125

จากตาราง ที่ 4.7 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำใต้ดินก่อนการดูดซับ พบว่า มีค่าพีเอช และ ค่าความแรงประจุ อยู่ที่ 7.12 และ 0.02 โมลาร์ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์เริ่มต้นเท่ากับ 12.8 มก/ล ซึ่งมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค โดยที่มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคกำหนดให้มีฟลูออไรด์ไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (แต่อนุโลมสูงสุดได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กระทรวงสาธารณสุข, 2534) ส่วนปริมาณของเหล็กและไนเตรทมีค่า 0.21 และ 1.24 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค โดยกำหนดให้มีปริมาณเหล็กและไนเตรทไม่เกิน 0.5 และ 45 มก/ล ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2534)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำใต้ดินหลังการดูดซับ โดยใช้ถ่านกระดูก PBC และ FPBC เป็นตัวดูดซับ พบว่า ค่าพีเอชของถ่าน PBC และ FPBC เท่ากับ 7.40 และ 7.44 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพีเอชก่อนการดูดซับ เนื่องจากถ่านกระดูกมีค่าพีเอช 6.5-8.5 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อนเมื่อเติมลงไปในการละลายส่งผลให้มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น จึงมีการเติมสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อให้ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าความแรงประจุของถ่าน PBC และ FPBC เท่ากับ 0.02 โมลาร์ ค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ของถ่าน PBC และ FPBC เท่ากับ 0.43 และ 0.46 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (กำหนดให้มีฟลูออไรด์ไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในการสังเคราะห์ถ่าน FPBC มีการทำถ่านมาแช่ด้วยเหล็กไนเตรท เมื่อทำการดูดซับปริมาณของเหล็กและไนเตรทที่อยู่บนผิวของถ่านกระดูกอาจจะหลุดออกมาอยู่ในสารละลาย จึงต้องมีการวัดปริมาณเหล็กและไนเตรทหลังดูดซับ พบว่าปริมาณของเหล็กของถ่าน PBC และ FPBC เท่ากับ 0.20 มก/ก เมื่อ

เทียบกับปริมาณเหล็กก่อนการดูดซับ (0.21 มก/ก) พบว่าไม่มีปริมาณเหล็กหลุดออกมาอยู่ในสารละลายน้ำ และปริมาณไนเตรทของถ่าน PBC และ FPBC เท่ากับ 0.123 และ 0.125 เมื่อเทียบกับปริมาณไนเตรทก่อนการดูดซับ (0.125 มก/ก) พบว่าไม่มีปริมาณไนเตรทหลุดออกมาอยู่ในสารละลายน้ำเช่นเดียวกัน

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ระหว่างน้ำสังเคราะห์และน้ำใต้ดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำใต้ดิน

ลักษณะของน้ำ	ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นฟลูออไรด์เริ่มต้น (มก/ล)	ความเข้มข้นฟลูออไรด์สุดท้าย (มก/ล)	ความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ถูกกำจัด (มก/ล)	ประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ (%)
น้ำสังเคราะห์	PBC	10.81	0.45	10.36	95.8
	FPBC	10.52	0.49	10.03	95.3
น้ำใต้ดิน	PBC	12.80	0.43	12.37	96.6
	FPBC	12.80	0.46	12.34	96.4

ประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำใต้โดยใช้ถ่านกระดูกที่สามารถแยกและไม่สามารถแยกด้วยแม่เหล็กได้โดยใช้สมการที่ 4.6

$$1 - \frac{c_e}{c_0} \times 100 \quad \text{สมการ 4.6}$$

เมื่อ c_0 คือ ความเข้มข้นฟลูออไรด์เริ่มต้น (มก/ก)
 c_e คือ ความเข้มข้นฟลูออไรด์สุดท้าย (มก/ก)

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ของถ่าน PBC 95.8 % และถ่าน FPBC ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับอยู่ที่ประมาณ 95.3% เนื่องด้วยมวลของถ่านกระดูกของถ่าน FPBC มีมวลของเหล็กไนเตรทปนอยู่ด้วย จึงส่งผลให้มีมวลของถ่านน้อยกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟลูออไรด์ลดลง (Mohan, et al., 2014) และเมื่อมีการเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพน้อยกว่าการกำจัดฟลูออไรด์โดยใช้น้ำใต้ดิน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำสังเคราะห์ของถ่าน PBC 69.6 % และถ่าน FPBC ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับอยู่ที่ประมาณ 96.4% เหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์น้อยกว่าน้ำใต้ดิน เนื่องมาจากการปรับค่า

ความแรงประจุของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการปรับ จึงส่งผลให้อีออนคลอไรด์อิสระที่แตกตัวอยู่ในสารละลายรบกวนกลไกการดูดซับฟลูออไรด์จึงส่งผลให้การกำจัดฟลูออไรด์ลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rao and Karthikeyan, (2012) ที่ทำการทดลองกำหนดปริมาณไอออนคลอไรด์ในน้ำตัวอย่าง 10 - 50 มก / ล โดยใช้ NaCl ที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์เริ่มต้นอยู่ที่ 10-25 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าสายละลายที่ความเข้มข้นคลอไรด์สูง จะมีผลต่อการดูดซับฟลูออไรด์ ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ลดลง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved