

บทที่ 3

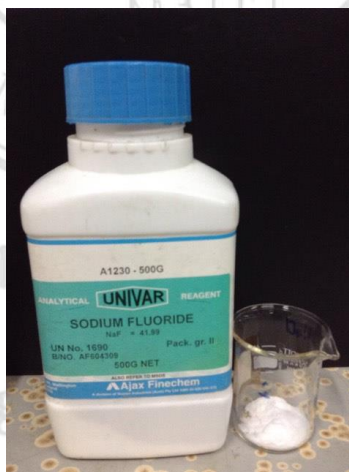
วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลทำภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 น้ำที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 น้ำสังเคราะห์

น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา เตรียมขึ้นจากโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium Fluoride; NaF) ละลายในน้ำ MilliQ ให้มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์เท่ากับ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่พบในน้ำใต้ดินธรรมชาติ



รูปที่ 3.1 โซเดียมฟลูออไรด์

3.1.2 น้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินที่ใช้ในการวิจัยมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์เท่ากับ 12.8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเก็บจากพื้นที่โรงเรียนบ้านบววก้าง หมู่ที่ 1 ตำบลบววก้าง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

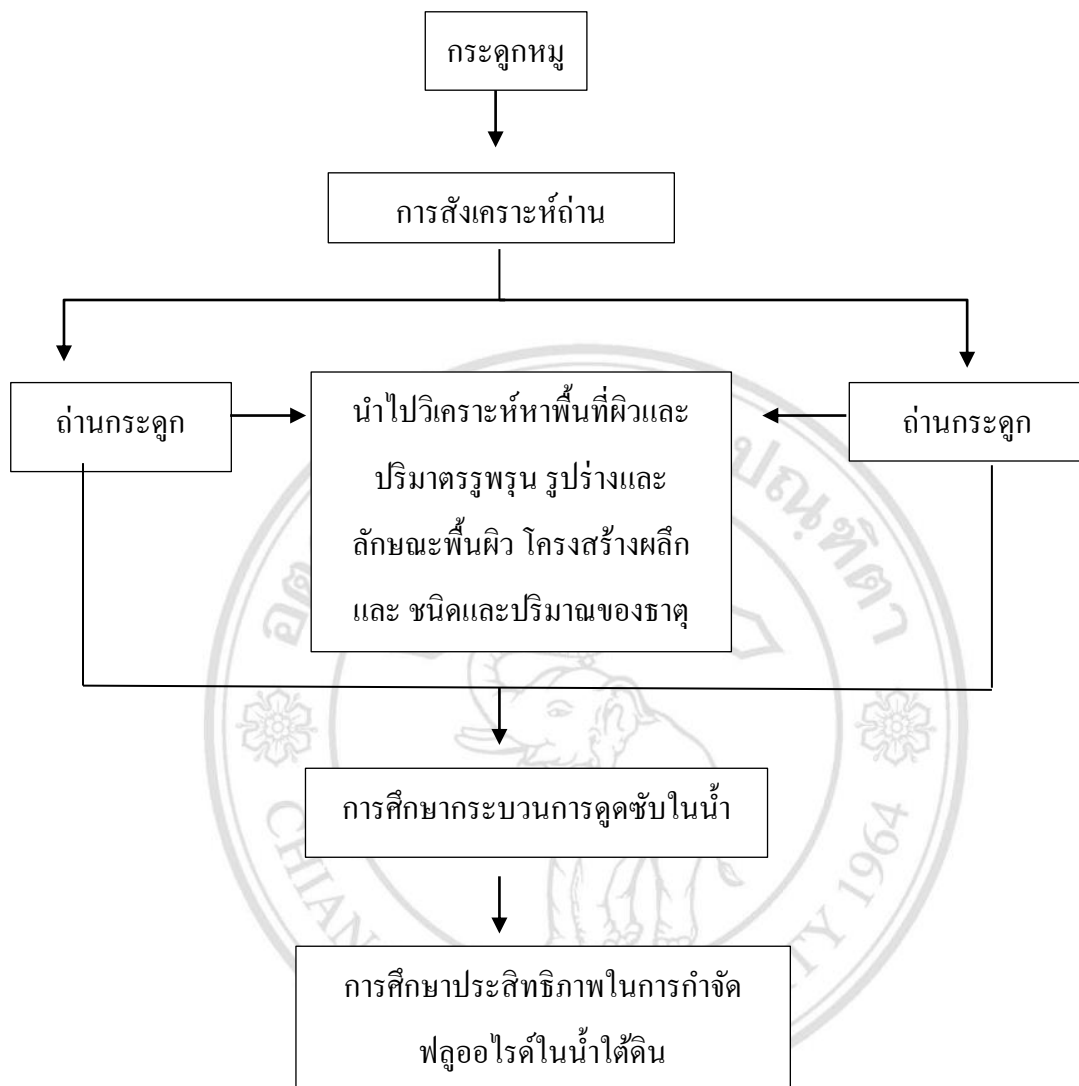


รูปที่ 3.2 น้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนฟลูออไรด์

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกระดุกและการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของถ่านกระดุก ขั้นตอนการศึกษากระบวนการดูดซับของถ่านกระดุก และขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ของถ่านกระดุกในน้ำใต้ดิน ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

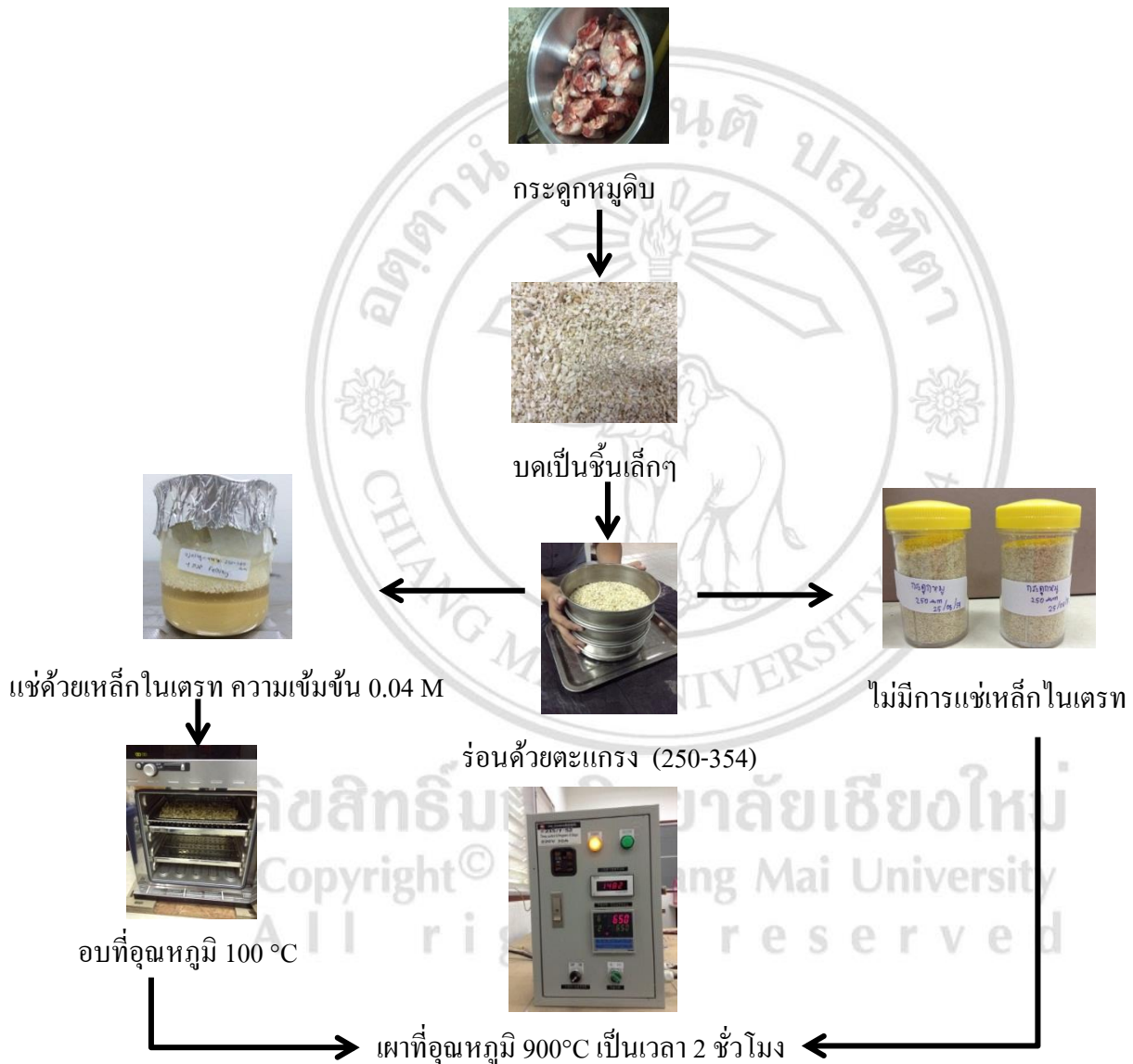


รูปที่ 3.3 แผนผังการศึกษา

3.2.1 การสังเคราะห์ถ่านกระจุก

ถ่านกระจุกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกเตรียมจากกระจุกหุดิบ โดยกระจุกที่จะนำมาศึกษานั้นจะต้องทำความสะอาดไขมันที่อยู่ภายในกระจุกด้วยการต้มจนให้น้ำมีสีขาวและกระจุกเปียกจะทำให้คอลลาเจนหลุด (Mayorga et al., 2014) หลังจากทำความสะอาดกระจุกเสร็จ นำกระจุกใส่ถาดและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำกระจุกแห้งมาทุบด้วยค้อนเพื่อลดขนาดให้เหลือ 1.5 ถึง 2 เซนติเมตร แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดบอลมิล (บดเปียก) หลังจากนั้นนำกระจุกไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาด 250

ไมโครเมตรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (1) ไม่มีการแช่เหล็ก (2) แช่ด้วยเหล็กไนเตรท ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) เป็นเวลา 1 วันเพื่อให้เกิดคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็ก (Bin et al., 2014) หลังจากนั้นนำกระดูกไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น แล้วทำการเผาโดยใช้เตาเผาแบบไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ติดอยู่บนผิวของกระดูก



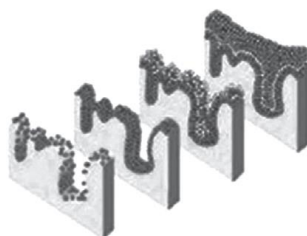
รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์ถ่านกระดูก



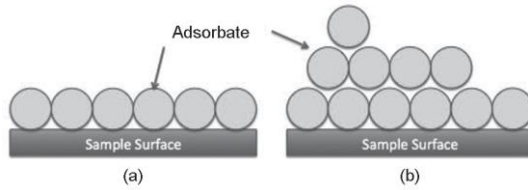
รูปที่ 3.5 ถ่านกระดุก

เมื่อนำถ่านกระดุกทั้ง 2 ชนิดออกจากเตาเผาและเก็บไว้ในกระปุกพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท ถ่านที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเฉพาะ ได้แก่ การหาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนโดยใช้ (Brunauer –Emmett-Teller ; BET) รูปร่างและลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) รูปแบบโครงสร้างผลึกโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; XRD) ชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence; XRF)

1) การหาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน โดยใช้สมการ (Brunauer –Emmett-Teller ; BET) พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ เป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนำวัสดุนั้น ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการหรือตามที่มาตรฐานกำหนด การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่จะกล่าวในที่นี้เป็นการวัดปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุ บรูเนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการ ดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมี ส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็น โมเลกุล ชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือ แพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็น โมเลกุลหลายชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถ เขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/Po) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น เป็นสมการที่ เรียกว่า “สมการของ BET” ได้สมการที่ 3.1 (วิระศักดิ์และคณะ, 2543)



รูปที่ 3.6 แสดงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ



รูปที่ 3.7 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สในโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ

$$\frac{1}{w\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)-1\right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0}\right) \quad \text{สมการ 3.1}$$

- เมื่อ
- W คือปริมาณของแก๊สในโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ P/P_0
 - W_m คือปริมาณของแก๊สในโตรเจนที่ถูกดูดซับเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็น โมเลกุลชั้นเดียว
 - P คือความดันของแก๊สในโตรเจนที่ใช้ในขณะที่ทำการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)
 - P_0 คือความดันอิ่มตัวของแก๊สในโตรเจน (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)
 - C คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน

(ที่มา : <http://www.stsc.science.cmu.ac.th/thai/analyzation-tools-detail.php?id=355>)

2) รูปแบบโครงสร้างผลึก โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; XRD) เครื่อง XRD เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin\theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยังผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆของการทดสอบ โดยสามารถ

หากการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วยในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีขนาดของUnit Cell ที่ไม่เท่ากันทำให้Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่เท่ากันทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆกับPattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าในตัวอย่างนั้นมีสารประกอบอะไรอยู่บ้างข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคXRD ก็คือไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณหรือหาองค์ประกอบตัวอย่างที่เป็นAmorphous ได้เนื่องจากตัวอย่างกลุ่มนี้จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์



รูปที่ 3.9 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction; XRD)

(ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/285/19/pic/9.jpg>)

3) **ชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบ** โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence; XRF) หลักการทำงานเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ธาตุโดยใช้หลักการเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรเมทรี (X-Ray Fluorescence Spectrometry) สำหรับวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง โดยการวัดอัตราการเรืองรังสีเอกซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุซึ่งปล่อยออกมาจากอะตอมที่สภาวะถูกกระตุ้นลักษณะการทำงานเป็นแบบSequential Type Spectrometry โดยใช้ผลึก (Analyzer Crystal) กระจายความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบโดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพโดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆด้านเช่นวัสดุศาสตร์, ธรณีวิทยา, สิ่งแวดล้อม, ทางการแพทย์รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆเป็นต้นการวิเคราะห์ของเครื่องXRF จะอาศัยหลักการเรืองรังสีเอกซ์ของตัวอย่างโดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่างธาตุต่างๆที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์แล้วคายพลังงานออกมาโดยพลังงานที่คายหรือFluorescenceออกมานั้นจะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่

ในตัวอย่างนั้นๆทำให้เราสามารถแยกได้ว่าในตัวอย่างที่ทดสอบนั้นมีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ Detector วัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวอย่าง



รูปที่ 3.10 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์(X-ray fluorescence; XRF)
(ที่มา : <https://app.strec.chula.ac.th/data-service/instrument/33/image/1>)

4) รูปร่างและลักษณะพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสงเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาคซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมากและเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะพื้นฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษาและกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ0.2 ไมโครเมตรและให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน3000 เท่าซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงมีความสามารถในการแยกชัดดีเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า3000 เท่าจนถึงระดับมากกว่า100000 เท่าและสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)
(ที่มา: <http://dpr.wu.ac.th/images/doc/01075902.jpg>)

3.2.2 การศึกษากระบวนการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับทำการศึกษาดังต่อไปนี้ (1) พีเอชที่ทำให้ประจุเป็นศูนย์ (2) จลนพลศาสตร์การดูดซับ (3) ปริมาณถ่านกระตุ้นที่เหมาะสม (4) ไอโซเทอมการดูดซับ โดยน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำฟลูออไรด์สังเคราะห์ และทำการทดลองต้องทำ 2 ครั้งเนื่องจากมีถ่าน 2 ชนิด

1) พีเอชที่ทำให้ประจุรวมเป็นศูนย์

การศึกษาพีเอชที่ทำให้ประจุรวมที่ผิวของถ่านกระตุ้นเป็นศูนย์มีขั้นตอนดังนี้ขั้นตอนแรกเตรียมน้ำ DI ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 12 ขวด โดยขวดที่ 1 ถึง 6 จะเติมกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 0.1 0.25 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนขวดที่ 7 ถึง 12 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 0.1 0.25 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 มิลลิลิตรตามลำดับ เพื่อให้มีพีเอชอยู่ในช่วง 3-11 จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ทั้ง 12 ขวดมาเติมโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับให้มีค่าความแรงประจุ 0.01 โมลาร์ และปรับให้มีปริมาตร 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำ DI ใส่ถ่านกระตุ้น 0.02 กรัม นำสารละลายที่ได้มาวัดพีเอชเริ่มต้นนำไปเขย่า ด้วยเครื่องเขย่าที่ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำสารละลายมาวัดค่าพีเอชสุดท้าย หลังจากนั้นพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชเริ่มต้นและพีเอชสุดท้ายจะได้ช่วงความสัมพันธ์ช่วงหนึ่งที่เป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งช่วงค่านี้จะเป็นช่วงพีเอชที่ทำให้ประจุมีค่าเป็นศูนย์ (Babic' et al., 1998) ขั้นตอนสุดท้ายหาความหนาแน่นประจุของพื้นผิวสามารถคำนวณได้ตามสมการ 3.1 ดังนี้

$$\text{Surface charge density (Cm}^{-2}\text{)} = \frac{\{[HCl] - [NaOH] - [H^+] + [OH^-]\}}{M \times S_{BET}} \times 96,500 \quad \text{สมการ 3.1}$$

เมื่อ	[HCl]	=	ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เติม (โมล/ลิตร)
	[NaOH]	=	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติม (โมล/ลิตร)
	[H ⁺]	=	ความเข้มข้นของโปรตอนไฮออน (โมล/ลิตร) คำนวณได้จาก pH = -log [H ⁺]
	[OH ⁻]	=	ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (โมล/ลิตร) คำนวณได้จาก from pOH = -log [OH ⁻] และ

pOH	=	14-pH
96500	=	Faraday's constant (C/mol)
M	=	น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม/ลิตร)
S_{BET}	=	พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (ตารางเมตร/กรัม)



รูปที่ 3.12 การหาค่าพีเอชที่ทำให้ประจุเป็นศูนย์

2) การศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์การดูดซับ

การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของฟลูออไรด์จะทำการทดลองแบบทีละเทโดยใช้น้ำสังเคราะห์ ปรับให้น้ำสังเคราะห์มีพีเอชเท่ากับ 4.0 6.0 7.0 8.0 และ 10.0 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์และปรับให้มีค่าความแรงของประจุเท่ากับ 0.025 0.05 และ 0.1 โมลาร์ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปริมาณถ่านกระดุกที่ใช้ 0.02 กรัม จากนั้นนำสารละลายไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบคงที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีการกำหนดเวลาในการดูดซับที่ 1 2 3 4 5 10 20 30 40 50 60 120 180 360 540 720 1440 และ 1620 นาที หลังจากครบตามเวลาที่กำหนดนำน้ำสังเคราะห์ที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองไนลอนที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตรเพื่อแยกกระดุกกับสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟลูออไรด์โดยใช้วิธี SPADNS



รูปที่ 3.15 การกลั่นผลผลิตการดูดซับ

3) การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับของฟลูออไรด์จะมีการทดลองแบบทีละเท ใช้น้ำฟลูออไรด์สังเคราะห์ 1020 30 40 50 100 150 200 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับให้น้ำสังเคราะห์มีพีเอช ค่าความแรงของประจุ ตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบคงที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับที่สภาวะสมดุลตามที่ได้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์หลังจากเวลาครบตามเวลาที่กำหนดนำมากรองด้วยกระดาษกรองไนลอนที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตรเพื่อแยกกระดูกกับสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟลูออไรด์โดยใช้วิธี SPADNS

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดิน

การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดฟลูออไรด์จะมีการทดลองแบบทีละเทใช้น้ำใต้ดิน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ โดยใช้ถ่านกระดูกที่เหมาะสมจากการศึกษาไอโซเทอม จากนั้นนำถ่านกระดูกเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 หลังจากเวลาครบตามเวลาที่กำหนดนำมากรองด้วยกระดาษกรองไนลอนที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตรเพื่อแยกกระดูกกับสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟลูออไรด์โดยใช้วิธี SPADNS

3.3 วิเคราะห์พารามิเตอร์

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาได้รวบรวมและสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	อ้างอิง
ฟลูออไรด์	SPADNS Method	สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (PHARO 100)	APHA, 2005
พีเอช	วัดโดยตรง	pH meter (HORIBA F-21)	
อุณหภูมิ	วัดโดยตรง	thermometer	
ปริมาณของแข็งละลาย	วัดโดยตรง	เครื่องวัดสภาพน้ำไฟฟ้า (HANNA 9835)	
การหาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน	วัดโดยตรง	Autosorb 1 MP, Quantachrome	
รูปแบบโครงสร้างผลึก	วัดโดยตรง	X-Ray Diffraction (XRD)	
ชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบ	วัดโดยตรง	X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF) (XRF (WDXRF))	
รูปร่างและลักษณะพื้นผิว	วัดโดยตรง	FE-Scanning Electron Microscope: JSM 6335 F	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved