



บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

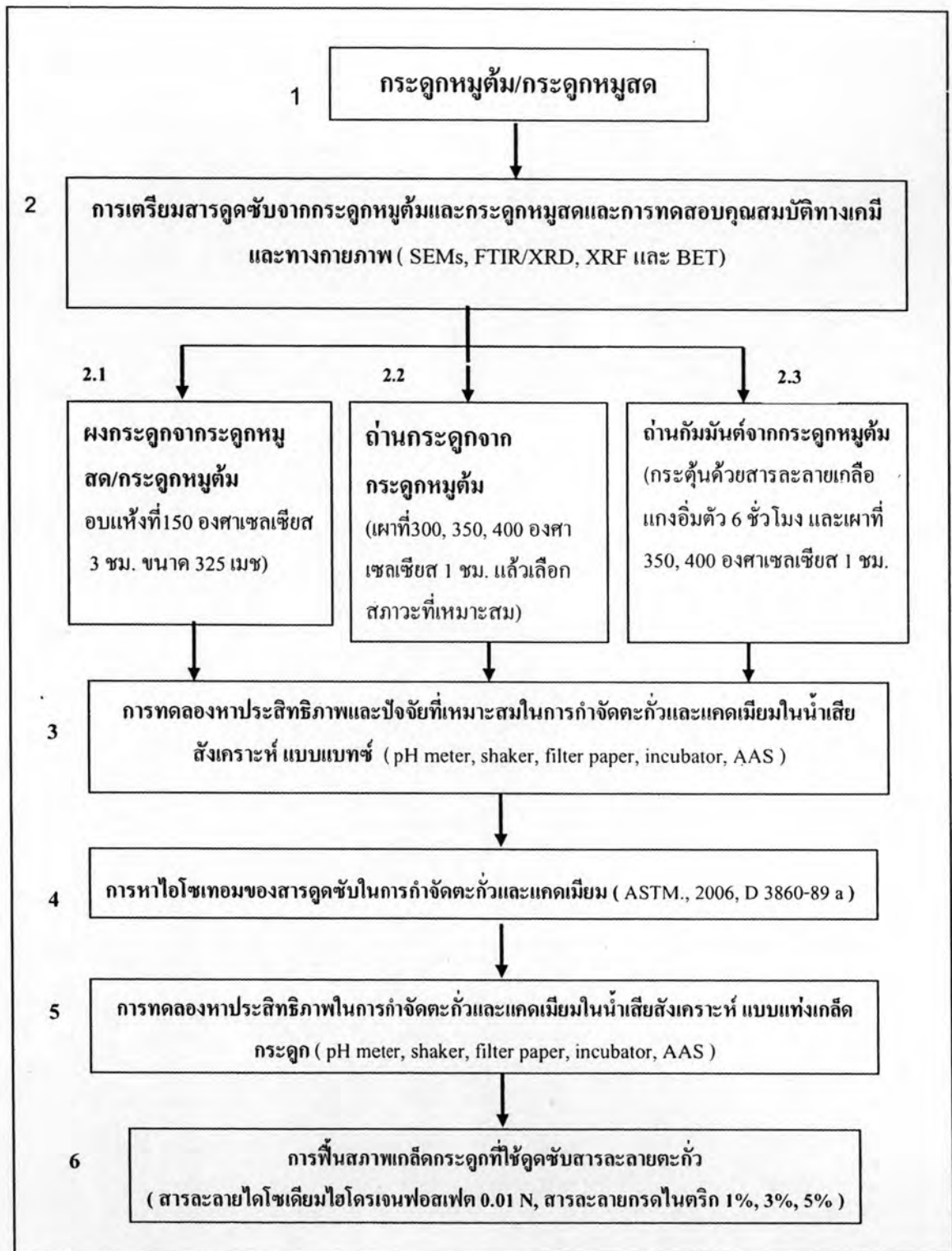
3.1 แผนงานการวิจัย

แผนงานการวิจัยประกอบด้วยการศึกษาทฤษฎี แนวความคิดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักด้วยสารดูดซับที่เตรียมจากกระดูกสัตว์ การทดลองเตรียม เกล็ดกระดูก ผงกระดูก ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์จากกระดูกหมู ต่อจากนั้นนำสารดูดซับที่เตรียมได้ทดลองกำจัดสารละลายสังเคราะห์ของ ตะกั่ว แคดเมียม ความเข้มข้น 10-30 มิลลิกรัมต่อลิตร แบบเบทซ์ รวมทั้งการหาไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกระดูกและผงกระดูกในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม ตามลำดับ การศึกษาการกำจัดสารละลายตะกั่วและแคดเมียมด้วยแท่งเกล็ดกระดูก และการฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้ดูดซับตะกั่วแล้วด้วยสารเคมี(ภาพที่3.1)

3.2 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยเตรียมวัสดุเบื้องต้นสำหรับเตรียมสารดูดซับ การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือ และการเตรียมสารละลายสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียม สรุปลขั้นตอนงานวิจัยดังนี้

- 3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3.2.2 การเตรียมสารดูดซับจากกระดูกหมู; เกล็ดกระดูก ผงกระดูก ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์กระดูก (กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์) ที่อุณหภูมิต่างกัน เพื่อหาสภาวะการเตรียมที่เหมาะสมของสารดูดซับ
- 3.2.3 การทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของสารดูดซับที่เตรียมได้ก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับ
- 3.2.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.2.5 การดำเนินการทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยวิธีแบบเบทซ์และแบบแท่งเกล็ดกระดูก
- 3.2.6 การฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้ดูดซับสารละลายตะกั่ว
- 3.2.7 การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง
- 3.2.8 สรุปลผลการทดลองและเสนอแนะ



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างงานวิจัยเรื่อง การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยสารดูดซับจากกระดูกหมู

3.3 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.3.1 ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิเคราะห์หินค้ำ กรมศุลกากร

- เตรียมผงกระดูก เกล็ดกระดูก ถ่านกระดูกและถ่านกัมมันต์กระดูกที่กระตุ้นด้วยเกลือแกง
- การหาไอโอดีนนัมเบอร์
- การหาฟังก์ชันนัล กรุ๊ป ของกระดูกสัตว์และของถ่านกระดูก โดย FTIR (Perkin Elmer Spectrum one)

3.3.2 ห้องปฏิบัติการกำจัดขยะ หน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเตรียมสารละลายของตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อเป็นน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการทดลองกำจัดโลหะหนักแบบเบดซ์
- การหาไอโซเทอมของการดูดติดผิวของการกำจัดแคดเมียมและตะกั่ว
- การหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือในสารละลายภายหลังการใส่สารดูดซับทั้ง 3 ชนิดในการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- การทดลองฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้แล้ว

3.3.3 วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรของโพรง ของผงกระดูก ถ่านกระดูกและถ่านกัมมันต์กระดูก (BET: "Quantachrom" Autosorb-1)

3.3.4 ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การบดหยาบ(Wood Chopper) และบดละเอียดของ กระดูกหมู
- การคัดร่อนขนาดของเกล็ดกระดูก ผงกระดูก ถ่านและถ่านกัมมันต์ (Standard ASTM Sieves: size 8, 20, 30, 325 mesh)
- หาปริมาณสารละลายตะกั่ว แคดเมียม และแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(AAS: "Shimadzu" AA-6800F, Japan)

3.3.5 ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ภาพถ่ายโครงสร้างของสารดูดซับทั้ง 3 ชนิด ก่อนและภายหลังการดูดซับโลหะหนักด้วยกล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคป(SEMs : TEOL JSM-6400)

- องค์ประกอบทางเคมี ของสารดูดซับทั้ง 3 ชนิด ก่อนและภายหลังการดูดซับ โลหะหนักด้วยเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRF : Oxford ED2000) CHNS/O Analyser (Perkin Elmer PE 2400 Series 2) และ XRD (Bruker D8 Discover Germany)

3.4 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เตาเผา (muffle furnace) พร้อมอุปกรณ์ดูดควัน
- ตู้อบ (incubator)
- เครื่องชั่งละเอียด (สามารถชั่งน้ำหนักถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- พีเอชมิเตอร์
- เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer : Perkin Elmer Spectrum One)
- เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (XRF : Oxford ED2000) CHNS/O Analyser : Perkin Elmer PE 2400 Series 2)
- เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรค โดมิเตอร์ (XRD : Bruker D8 Decover Germany)
- เครื่องเขย่าสาร (Shaker: VRN-360, Japan)
- เครื่องบดวัสดุอย่างหยาบ (wood chopper)
- เครื่องบดวัสดุอย่างละเอียด
- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (shimadzu AA-6800F, Japan)
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป แบบสแกน (SEM :TEOL JSM -6400)
- เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรของโพรงของสารดูดซับ (surface area analyzer “Quantachrome ” Autosorb-1)
- ตะแกรงร่อน คัดแยกขนาด ผงและเม็ดถ่านกัมมันต์ ขนาด 8, 20, 35 และ 325 mesh ตามมาตรฐาน ASTM
- ครกหินและ โกร่งทำด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

3.4.2 วัสดุ สารเคมีและเครื่องแก้ว

- หม้อดินขนาดต่าง ๆ กันพร้อมฝา
- บีเกอร์ กระบอกตวง และฟลาสค์ (flask) ขนาดต่าง ๆ (25, 50, 100, 250, 500, 1000 มิลลิลิตร)
- ปีเปต ขนาด 5, 10, 25, 50, 100 มิลลิลิตร
- หลอดแก้วสำหรับหยดสารพร้อมจุกยาง
- ขวดแก้วใส่สารชนิดใสและสีชา ขนาด 100, 250, 500, 1000 มิลลิลิตร
- ขวดแก้ววัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 10, 1000 มิลลิลิตร
- กรวยแก้ว (separating funnel)
- กระจกหน้าปิดนาฬิกาขนาดต่าง ๆ
- กระจกทรงเบอร์ 1, 5 และ 42
- ฟอยล์ลูมิเนียม เทปกาว เทปกระดาษ ดินสอสีเขียนแก้ว ถุงมือ ซ้อนดักสาร คีม คีบภาชนะ ลูกยางสำหรับดูดสาร
- น้ำกลั่น
- สารละลายมาตรฐานของตะกั่วและแคดเมียม
- กรดเกลือเข้มข้น กรดไนตริกเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไอโอไดด์ โปแตสเซียมไอโอเตต ไอโอดีน โซเดียมไทโอซัลเฟต แป้ง (starch) เลดไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$)

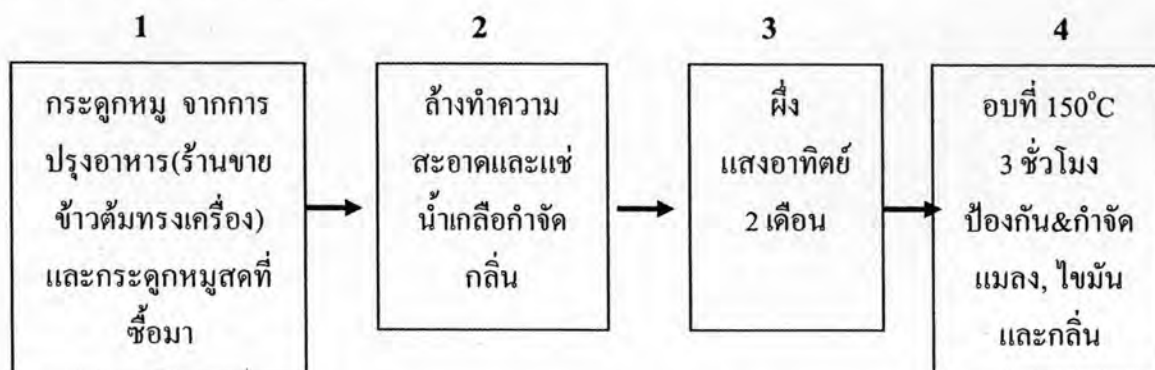
3.5 การเตรียมสารดูดซับ

การทดลองหาสภาวะการเตรียมสารดูดคิดผิว 4 ชนิดจากกระดูกหมู คือ ผงกระดูก เกล็ดกระดูก ถ่านกระดูกและถ่านกัมมันต์กระดูกที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ได้สรุปตัวแปรและพารามิเตอร์ ตารางที่ 3.2 การเตรียม มีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 การเตรียมกระดูกเบื้องต้น

นำกระดูกหมูต้มที่ได้จากร้านขายข้าวต้มทรงเครื่องที่นำกระดูกส่วนขาหรือขาหน้า (picnic shoulder) และขาหลัง (Ham) มาต้มและใส่เครื่องปรุงเป็นน้ำซุปล้างต้มซึ่งผ่านการต้มด้วยไฟอ่อนๆประมาณ 10 ชั่วโมง นำมาล้างทำความสะอาดกำจัดไขมัน เลือด เส้นเอ็น และส่วนประกอบไม่

ฟุ้งประสงค์ รวมทั้งกำจัดกลิ่นด้วยน้ำเกลือ เมื่อล้างสะอาดแล้วนำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 2 เดือน แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นและกำจัดแมลงจะได้วัสดุขั้นต้นสำหรับการเตรียมสารดูดซับต่อไป(ภาพที่ 3.2) ซึ่งสามารถเก็บได้นาน ควรเก็บตัวอย่างอย่างมิดชิด ผนึกอย่างดีระวังสัตว์รบกวน



ภาพที่ 3.2 การเตรียมกระดูกหมูเบื้องต้น

3.5.2 การเตรียมเกล็ดกระดูกและผงกระดูก

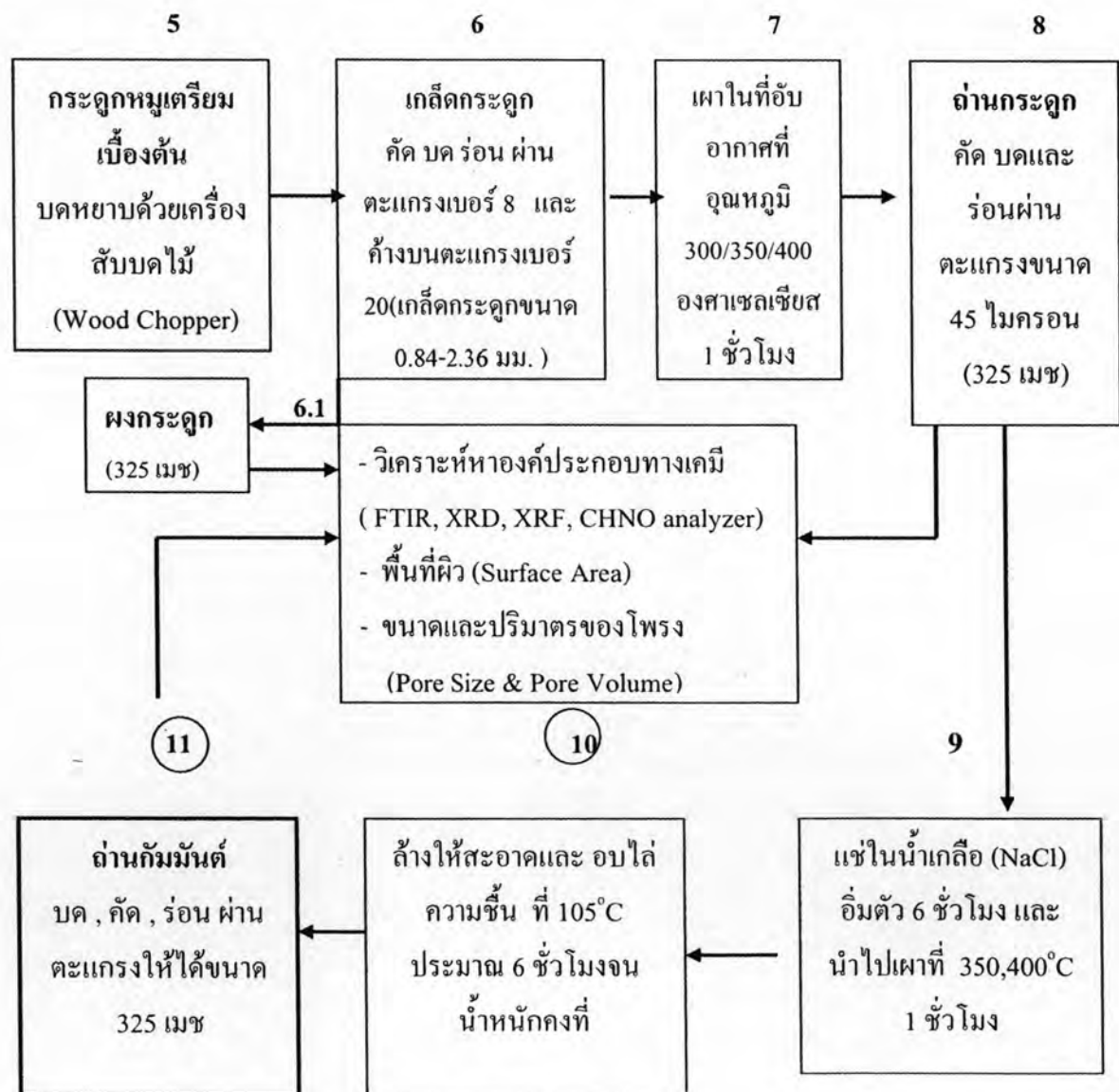
นำกระดูกหมูที่เตรียมเบื้องต้นมาบดหยาบด้วยเครื่องบดหญ้า-ฟาง (wood - chopper) จะได้เกล็ดกระดูกเป็นก้อนและชิ้นเล็กกลง นำมาร่อนกำจัดเศษผงและขยะที่ติดมาหลังจากนั้นนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นจะได้สารดูดซับกระดูกอบคัดขนาดเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ผงกระดูกขนาดร่อนผ่านตะแกรง 325 เมช หรือ 45 ไมโครเมตร จะได้สารดูดซับผงกระดูกอย่างละเอียด (bone powder) มีสีน้ำตาลเข้ม กลุ่มที่ 2 คือเกล็ดกระดูกร่อนผ่านตะแกรง 8 เมช และค้ำบนตะแกรง 20 เมช จะได้เกล็ดกระดูก (bone granule) ขนาด 0.84 – 2.36 มิลลิเมตร สำหรับทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมแบบแท่งต่อเนื่อง (column) (ภาพที่ 3.3) ส่วนกลุ่มที่ 3 เป็นขนาดที่ใหญ่กว่า 8 เมช เก็บไว้เป็นวัสดุสำรองต่อไป โดยเตรียมชนิดผง 1 กิโลกรัม และชนิดเกล็ด 5 กิโลกรัม

3.5.3 การเตรียมถ่านกระดูก

นำเกล็ดกระดูกที่มีขนาด 0.84 – 2.36 มิลลิเมตรไปเผาที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 300, 350 และ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงด้วยเตาเผาที่ตั้งอุณหภูมิและเวลาอัตโนมัติ (Valcan bas furnace; 3-1750 USA.) โดยชั่งน้ำหนักวัดดูคียบก่อนและหลังการเผาเพื่อหาน้ำหนักที่สูญหายไปภายหลังการเผา และนำมาบดด้วยโกรงเซอร์โคเนียมให้ละเอียดที่มีขนาดร่อนผ่านตะแกรง 325 เมช (ภาพที่ 3.3) จะได้ถ่านกระดูก 3 ชนิดที่เตรียมที่อุณหภูมิต่างกัน (Bone Char; BC300-1, BC350-1 และ BC400-1)

3.5.4 การเตรียมถ่านกัมมันต์กระดูก

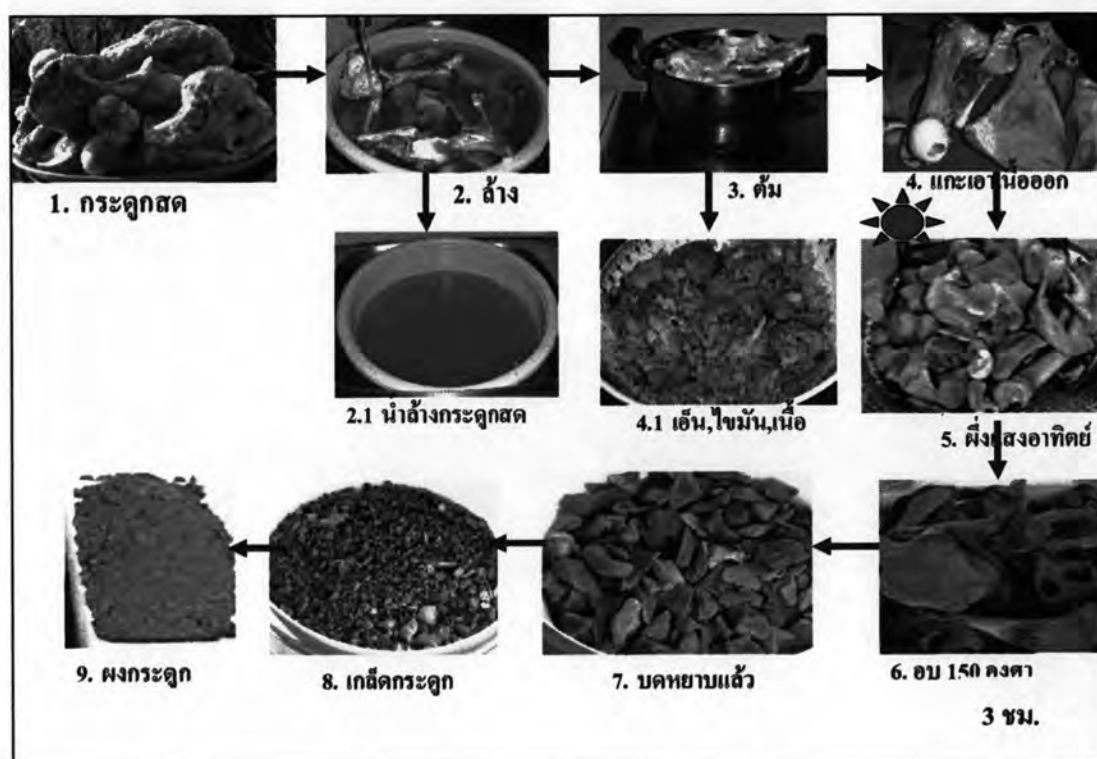
นำเกล็ดกระดูกชนิด BC 400-1 มาแช่ในสารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 350 และ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาดโดยแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนน้ำใหม่ ทำเช่นนี้เรื่อยไปและทดสอบการล้างด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด 0.01 M จนแน่ใจว่าล้างเกลือออกหมดแล้ว นำไปอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่คงที่จะได้ถ่านกัมมันต์กระดูก (activated bone char: ABC) 2 ชนิด คือ ABC 350-1 และ ABC 400-1 นำมาบดให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรง 325 เมช (ภาพที่ 3.3) จะได้ถ่านกัมมันต์กระดูก (Activated Bone Char; ABC350-1, ABC400-1)



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารดูดซับจากกระดูกหมูต้ม

3.5.5 การเตรียมเกล็ดกระดูกและผงกระดูกจากกระดูกสด(สารดูดซับควบคุม)

การเตรียมสารดูดซับควบคุมเพื่อทำหน้าที่เปรียบเทียบกับสารดูดซับกระดูกที่ได้จากร้านอาหาร โดยซื้อกระดูกหมูสดส่วนที่เป็นขาหน้าและขาหลังซึ่งเป็นกระดูกหมูบริเวณ เดียวกัน นำมาเตรียมด้วยสภาวะเหมือนกันกับสารดูดซับจากร้านอาหาร โดยต้ม 10 นาที 2, 4, 6, 10 ชั่วโมงและนำไปผึ่งแสงอาทิตย์ เตรียมในสภาวะเหมือนกับใน 3.5.1 และ 3.5.2 ทุกประการ แล้วบดให้เป็นผงละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช จะได้ผงกระดูกสด (ภาพที่ 3.4 และตารางที่ 3.2)



ภาพที่ 3.4 การเตรียมผงกระดูกจากกระดูกสด

3.6 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารดูดซับที่เตรียมได้ก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดของโพรงและปริมาตรทั้งหมดของโพรง ภาพถ่ายพื้นผิวและโครงสร้างผลึกของสารดูดซับ คุณสมบัติทางเคมี เช่น กลุ่มองค์ประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส คาร์บอน เป็นต้น วิเคราะห์ ชนิดและรุ่นของเครื่องมือ สรุปรวมตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ วิธีหรือเครื่องมือในการทดสอบและการอ้างอิง

พารามิเตอร์	วิธีหรือเครื่องมือในการทดสอบ	การอ้างอิง
ความชื้นของสารดูดซับ	Oven-Drying	ASTM, 2006.(D2867-04)
ความหนาแน่นของสารดูดซับ	การหาน้ำหนักสารดูดซับต่อ 1 หน่วย ปริมาตร	ASTM, 2006.(D2854-96)
โครงสร้างผลึกของสารดูดซับ	XRD: Bruker AXS D8 Discover, Germany	Skoog, et al.,1998.
ธาตุองค์ประกอบ	XRF: Oxford ED2000	Skoog, et al.,1998.
ปริมาณคาร์บอน	CHNS/O Analyse: Perkin Elmer PE 2400 Series2	Skoog, et al.,1998.
กลุ่มองค์ประกอบสารอินทรีย์	FTIR	Skoog, et al.,1998.
โครงสร้างพื้นผิว	SEM: TEOL, JSM-6400	Skoog, et al.,1998.
คุณสมบัติทางกายภาพ; - พื้นที่ผิวจำเพาะ, ขนาดของโพรง - ปริมาตรทั้งหมดของโพรง	BET: Quantachrom, Autosorb-1	ASTM, 2006.(C1274-00)
การเตรียมความเข้มข้นสารละลายโลหะ	การเตรียมสารละลายจากรีเอเจนต์	ชุดิมา เลิศชวนะกุล, 2526
หาความเข้มข้นสารละลายโลหะ	AAS: Shimadzu AA-6800 F, Japan	ASTM, 2006.(D3557-02; D3559-03; D511-03)
ไอโซโทมการดูดซับ	AAS: Shimadzu AA-6800 F, Japan	ASTM, 2006.(D3860-89a)

3.7 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียม

3.7.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่ว

ใช้แลคไนเตรท($Pb(NO_3)_2$) รีเอเจนต์เกรด มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ซึ่งปริมาณ 3.1998 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 2,000 มิลลิลิตรในขวดแก้ววัดปริมาตร(volumetric flask) ปรับพีเอชให้ได้ 5.0 ± 0.1 ด้วยสารละลายกรดไนตริกเจือจางเข้มข้น 1% และสารละลายค่างเจือจางโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายตะกั่วที่เตรียมได้นี้มีความเข้มข้นประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารละลายตั้งต้นสำหรับเตรียมสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อไปโดยใช้สูตร $N_1 V_1 = N_2 V_2$

เมื่อ N_1 เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

V_1 เป็นปริมาตรสารละลายที่ต้องการเตรียม มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร หรือ ลิตร

N_2 เป็นความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

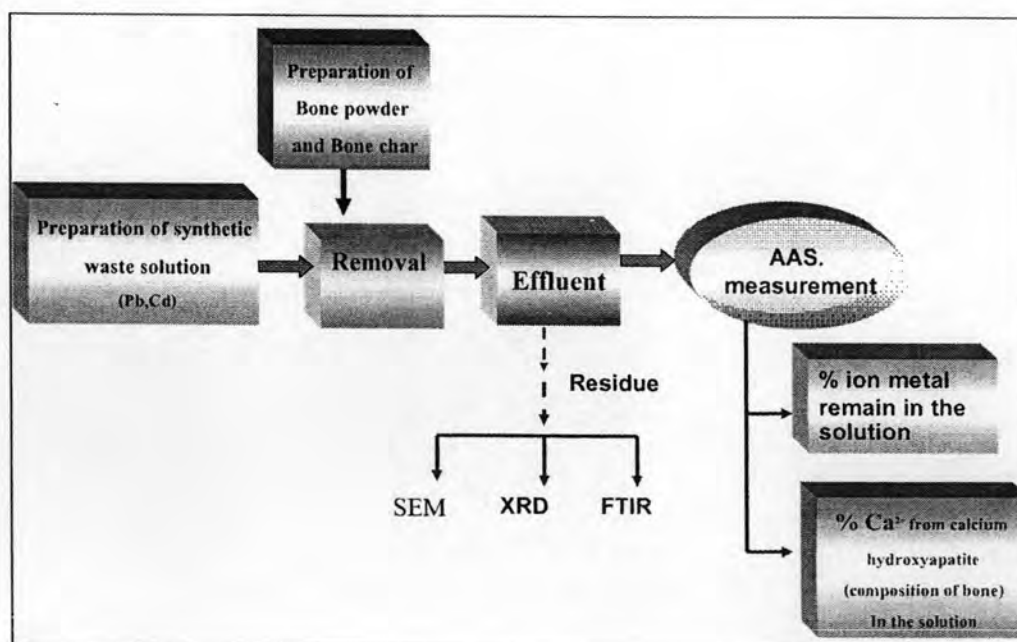
V_2 เป็นปริมาตรสารละลายตั้งต้นที่ใช้เตรียมสารละลายที่ต้องการ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร หรือ ลิตร

3.7.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของแคดเมียม

ใช้แคดเมียมคลอไรด์($CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$) รีเอเจนต์เกรด ชั่งปริมาณ 4.2200 กรัม ละลายน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ในขวดแก้ววัดปริมาตร(volumetric flask) ปรับพีเอชให้ได้ 5.0 ± 0.1 ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจางเข้มข้น 1% และสารละลายต่างเจือจางโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายแคดเมียมที่เตรียมได้มีความเข้มข้นประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารละลายตั้งต้นสำหรับเตรียมสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อไปโดยใช้สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

3.8 การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมแบบไม่ต่อเนื่อง(แบบแบทช์)

ก่อนการทดลองหาความจุในการดูดซับ(adsorptive capacity)สารละลายตะกั่วหรือสารละลายแคดเมียมด้วยสารดูดซับที่เตรียมจากกระดูกหมู จะต้องหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับสารดูดซับแต่ละชนิดในการดูดซับโลหะแต่ละชนิด สรุปขั้นตอนการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยสารดูดซับกระดูก ภาพที่ 3.5 และตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.5 ฟังการทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยสารดูดซับจากกระดูกหมู

3.8.1 การทดลองหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับสารดูดซับกระดูกในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม

(ก) สารละลายตะกั่ว

ชั่งผงกระดูก(ต้ม) 0.02 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่างใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5.0 ± 0.1 เขย่าด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที (shaker VRN – 360, Japan) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1, 4, 8, 16, 24, 36, 48, 72 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง No. 42 (0.45 ไมครอน) และนำไปหาปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลายด้วย AAS (shimadzu AA – 6800 F, Japan)

ถ่านกระดูก (BC 350-1) และ ถ่านกระดูก(BC400-1) ทำการทดลองหาเวลาสัมผัสใช้ปริมาณสารดูดซับและวิธีการเช่นเดียวกับการหาเวลาสัมผัสโดยใช้ผงกระดูก สรุปลักษณะและพารามิเตอร์ตารางที่ 3.4

(ข) สารละลายแคดเมียม

ชั่งผงกระดูก(ต้ม) ปริมาณ 0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 0.8 และ 1.2 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่างลงในขวดพลาสติก 120 มิลลิลิตรที่มีฝาปิด ใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ แคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิลิตร ที่พีเอช 5.0 ± 0.1 เขย่าด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลาคือ 30 นาที 1, 4, 8, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง No.42 (0.45 ไมครอน) และนำไปหาปริมาณแคดเมียมที่เหลือในสารละลายด้วย AAS

การหาเวลาสัมผัสของถ่านกระดูก BC350-1 และถ่านกระดูก BC400-1 ดำเนินการเช่นเดียวกับการหาเวลาสัมผัสของผงกระดูก สรุปลักษณะและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.4

3.8.2 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมกับประสิทธิภาพการกำจัดของสารดูดซับกระดูก

(ก) สารละลายตะกั่ว

ใช้สารละลายตะกั่วเข้มข้น 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณผงกระดูกต้ม 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.40 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง ที่ พีเอช 5 ± 0.1 ใช้สารละลายตะกั่ว 50 มิลลิลิตรในขวดพลาสติก 120 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที ในเวลา 24 ชั่วโมง

เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที, 1, 4, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรอง No.42 ไปวัดค่าความเข้มข้นของโลหะที่ละลายในน้ำตัวอย่าง ภายหลังการกำจัดด้วย AAS สรุปรูปตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.5

(ข) สารละลายแคดเมียม

ใช้สารละลายแคดเมียมเข้มข้น 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณผงกระดูก ต้มระหว่าง 0.02 ถึง 0.80 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง การทดลองดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองใช้ สารละลายตะกั่ว แต่เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละช่วงเวลา 30 นาที 1, 2, 4, 8, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง สรุปรูป ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.5

3.8.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารละลายตะกั่วและแคดเมียม

ไอโซเทอมการดูดซับสารละลายโลหะเป็นสถานะของระบบการดูดซับที่เข้าสู่สภาวะ สมดุล คืออัตราการดูดซับของสารดูดซับเท่ากับอัตราการหลุดออกไปของไอออนโลหะซึ่งเป็นตัวถูก ดูดซับออกจากสารดูดซับ สถานะนี้ความเข้มข้นของสารละลายในระบบจะคงที่ นิยมอธิบาย พฤติกรรมการดูดซับด้วยสมการไอโซเทอมของฟรอนด์ลิชและแลงมัวร์สำหรับการดูดซับสารละลาย ตะกั่วและสารละลายแคดเมียม สรุปรูปตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.6

(ก) ไอโซเทอมการดูดซับของสารละลายตะกั่ว

ใช้ผงกระดูกปริมาณ 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.40, 0.60, 0.80, และ 1.00 กรัมต่อลิตรน้ำ ตัวอย่าง เติมน้ำตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ± 0.1 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง นำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 หรือขนาด 0.45 ไมครอน นำ น้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน

การศึกษาไอโซเทอมของถ่านกระดูก(BC 350-1) และถ่านกระดูก(BC 400-1) ใช้ สถานะเช่นเดียวกับการทดลองไอโซเทอมการดูดซับของผงกระดูก แต่ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง และ ใช้ปริมาณสารดูดซับน้อยกว่าผงกระดูก ซึ่งได้สรุปรูปตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.6

(ข) ไอโซโทมการดูดซับของสารละลายแคดเมียม

ใช้ผงกระดูกปริมาณ 0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียมสังเคราะห์ประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ± 0.1 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 หรือขนาด 0.45 ไมครอน นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน

3.9 การทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยแท่งเกล็ดกระดูก

เตรียมเกล็ดกระดูกอบที่ได้จากกระดูกคัมของร้านอาหารนำมาบด คัดขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 20 เกล็ดกระดูกที่ได้จะมีขนาดระหว่าง 0.84-2.36 มิลลิเมตร นำเกล็ดกระดูกไปต้มในน้ำเดือดประมาณครึ่งชั่วโมงเพื่อไล่อากาศที่อยู่ในโพรงออกให้น้ำเข้าไปแทนที่และบรรจุเกล็ดกระดูกลงไปในคอลัมน์พลาสติกใสทำด้วยอะคริลิกโพลีเมอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.5 เซนติเมตร ยาว 125 เซนติเมตร บรรจุเกล็ดกระดูกสูง 90 เซนติเมตร ในแต่ละช่วงสูง 30 เซนติเมตร จะมีท่อสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลออกตามปริมาตรของน้ำที่ผ่านการกรองที่ต้องการ โดยเกล็ดกระดูกสูง 30 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 95.651 กรัม สรุปลำดับแปรและพารามิเตอร์ตารางที่ 3.7

(ก) สารละลายตะกั่ว

เตรียมตัวอย่างสารละลายตะกั่วเข้มข้นประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการเตรียมครั้งละ 100 ลิตร และปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 4.0 ± 0.1 ที่เลือกพีเอชนี้เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าที่พีเอช 5 จะเกิดการตกตะกอนของสารละลายตะกั่วมากและดูดซับเร็ว สามารถบำบัดน้ำได้ปริมาณน้อยเพียง 3.6 ลิตรก็ดูดซับ (อุบลรัตน์, 2544) จากนั้นปั้มน้ำขึ้นไปจนถึงพักสูงจากพื้นประมาณ 3 เมตร และปล่อยให้น้ำไหลผ่านคอมลัมน์ด้วยอัตราการไหล 0.6 ลิตรต่อชั่วโมง จากบนลงล่าง และเก็บตัวอย่างที่ระยะชั้นเกล็ดกระดูกสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร โดยเก็บครั้งแรกเมื่อกรองน้ำได้ 100 ลิตรและเก็บตัวอย่างครั้งต่อไปทุก 20 ลิตร นำตัวอย่างน้ำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 และวัดพีเอช แล้วนำไปหาปริมาณสารตะกั่วที่เหลือในน้ำของแต่ละช่วงความสูงชั้นเกล็ดกระดูกด้วยเครื่อง AAS

(ข) สารละลายแคดเมียม

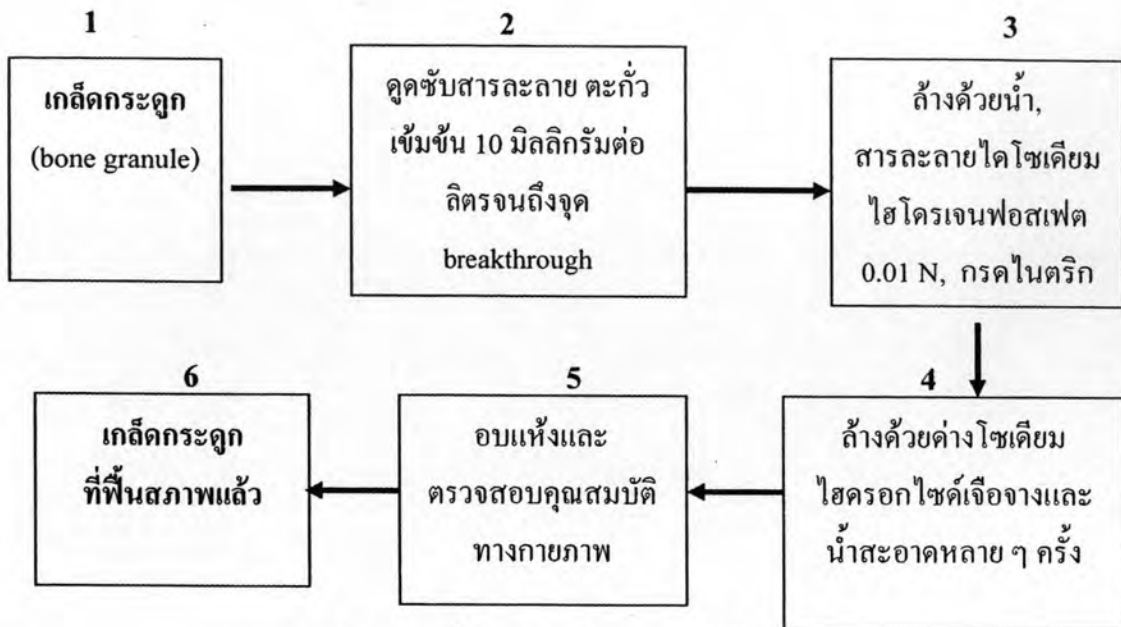
สำหรับการศึกษาการกำจัดแคดเมียมของเกลือกระดูกแบบแห้ง ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองกำจัดตะกั่ว โดยการเตรียมสารละลายแคดเมียมความเข้มข้นประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การปรับพีเอช อัตราเร็วการไหลของน้ำ ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองกำจัดตะกั่ว โดยศึกษาที่ระดับความสูงของเกลือกระดูก สูง 30 เซนติเมตรเท่านั้น เนื่องจากการทดลองกำจัดสารละลายตะกั่วแบบแห้งใช้เกลือกระดูก 3 ช่วง ช่วงละสูง 30 เซนติเมตร โดยที่เกลือกระดูกมีประสิทธิภาพในการกรองสูงมากใช้เวลาการทดลองถึง 4 เดือน ทำให้เกลือกระดูกเปลี่ยนแปลงและกลายเป็นผงไม่สามารถทดลองจนถึงจุด Breakthrough ได้ ดังนั้นการทดลองกำจัดสารละลายแคดเมียมจึงใช้ชั้นเกลือกระดูกสูง 30 เซนติเมตรเท่านั้น

3.10 การฟื้นฟูสภาพเกลือกระดูกที่ใช้ดูดซับสารละลายตะกั่ว

นำเกลือกระดูกที่ใช้ดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้นประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองสารดูดซับแบบแห้งในข้อ 3.9 จนถึงสถานะใกล้ Breakthrough แล้วมาฟื้นฟูสภาพด้วยวิธีทางเคมี ด้วยสารละลายของกรดอินทรีย์และเกลืออนินทรีย์ของฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการฟื้นฟูสภาพ 30 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปหาปริมาณสารตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นผิวและโพรงของสารดูดซับเกลือกระดูกด้วยการนำไปหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิคแอนะไลเซอร์ (ภาพที่ 3.6)

สารละลายกรดที่ใช้เป็นกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 5, ส่วนสารละลายเกลือฟอสเฟตหรือไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.01 โมล และน้ำกลั่นอุ่น ประมาณ 70 องศาเซลเซียส

การทดลองซังเกลือกระดูกที่ใช้งานแล้ว 0.3 กรัม ต่อสารละลายที่นำมาฟื้นฟูสภาพ 100 มิลลิตร นำไปเขย่าด้วยอัตราความเร็ว 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปหาปริมาณตะกั่ว ส่วนเกลือกระดูกนำไปอบแห้งหาน้ำหนักเกลือกระดูกที่เหลือ จากนั้นทดลองหาปริมาณเกลือกระดูกที่เหมาะสมนำมาฟื้นฟูสภาพแล้วได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ปริมาณเกลือกระดูก 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัมต่อกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งให้ผลดีที่สุด ปริมาณ 100 มิลลิตรไปเขย่าที่สภาวะเดียวกับที่หาชนิดสารละลายที่เหมาะสมสรุปตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง ตารางที่ 3.8



ภาพที่ 3.6 การพื้นสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้งานแล้ว

3.11 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการทดลอง

ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองกำจัดโลหะหนักด้วยสารดูดซับที่เตรียมจากกระดูกหมู ตารางที่ 3.2 ถึงตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการเตรียมสารดูดซับจากกระดูกหมู

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. สภาวะการเตรียมผงกระดูกและเกล็ดกระดูกจากกระดูกคัมและกระดูกสด - อุณหภูมิที่ใช้อบและระยะเวลา	150 องศาเซลเซียส 3-4 ชั่วโมง
2. สภาวะการเตรียมถ่านกระดูกจากกระดูกหมูคัม - อุณหภูมิที่ใช้เผา - ระยะเวลาในการเผา	300 , 350 , 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
3. สภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์กระดูก(กระตุ้นด้วย NaCl อิมตัว 6 ชม.) - อุณหภูมิที่ใช้เผา - ระยะเวลาในการเผา	350 , 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
ตัวแปรควบคุม	
1. ขนาดของเกล็ดกระดูก	0.84 - 2.36 มิลลิเมตร
2. ขนาดของผงกระดูก, ถ่านกระดูก, ผงถ่านกัมมันต์กระดูก	325 เมช

ตารางที่ 3.2(ต่อ) ตัวแปรและพารามิเตอร์ในการเตรียมสารดูดซับจากกระดูกหมู

ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. คุณสมบัติทางกายภาพ	พื้นที่ผิวจำเพาะ, ขนาดของโพรง, ปริมาตรของโพรง, ความหนาแน่น
2. คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ เช่น Ca, P กลุ่มสารอินทรีย์, ปริมาณคาร์บอน, คาร์บอนเนต

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆของการศึกษาการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยสารดูดซับกระดูก(แบบแบทช์)

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ชนิดสารดูดซับ	ผงกระดูก(ต้ม), ผงกระดูก(สด), ถ่านกระดูก, ถ่านกัมมันต์กระดูก
2. ชนิดโลหะที่จะกำจัด	สารละลายตะกั่ว/ สารละลายแคดเมียม
3. ความเข้มข้นสารละลายโลหะ	10, 20, 30, 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรควบคุม	
2. ลักษณะของน้ำเสียเริ่มต้น	
- ความเข้มข้น เริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก	- Pb /Cd : 10 ,20, 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- พีเอช	- Pb,Cd = 5.0±0.1(ศุภกิจ,2545; อุบลรัตน์,2544 ; Aklil A., Mouflish M. and Sebti S.,2004)
- ปริมาตรน้ำเสียที่ใช้	- 50 มิลลิลิตร
3. ปริมาณผงกระดูก ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์กระดูกที่ใช้ในการทดลอง	-Pb, Cd : 0.006,0.01,0.015,0.02,0.05,0.1,0.2,...2.0 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง (ASTM; D3860-89a)
4. ความเร็วในการกวนผสม	175 รอบ ต่อ นาที
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. ลักษณะของน้ำเสียดังเคราะห์หลังการทดลอง	- ปริมาณ โลหะหนักที่เหลือในน้ำเสียดังเคราะห์ ภายหลังการดูดซับ
	- พีเอช
2. ความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก	- ร้อยละของปริมาณโลหะหนักที่ลดลง (ร้อยละของการกำจัด)
	- ความจุของการดูดซับ(มก./ก. สารดูดซับ)

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาเวลาสัมผัสของการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วย สารดูดซับกระดูก

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ชนิดสารดูดซับที่ใช้ : 1.1 ผงกระดูก 1.2 ถ่านกระดูกเผาที่ 350, 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง 1.3 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ 2. ชนิดของโลหะหนัก 3. เวลาสัมผัส	สารละลายตะกั่ว, แคดเมียม 10, 20, 30, นาที, 1, 4, 8, 16, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง สำหรับตะกั่ว 30, นาที, 1, 4, 8, 16, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง สำหรับแคดเมียม
ตัวแปรควบคุม	
1. ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น - ความเข้มข้นของโลหะหนัก - พีเอช - ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ 2. ปริมาณสารดูดซับ - ผงกระดูก - ถ่านกระดูก 3. ความเร็วในการกวนผสม	10 มิลลิลิตรต่อลิตร 5±0.1 50 มิลลิลิตร 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 ก./ล. สำหรับตะกั่ว 0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 0.8., 1.20 ก./ล. สำหรับ แคดเมียม 0.006, 0.015, 0.02, 0.05, 0.10 ก./ล. สำหรับตะกั่ว 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 ก./ล. สำหรับ แคดเมียม 175 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง 2. ความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก	- ปริมาณตะกั่ว/แคดเมียมที่เหลือในน้ำเสีย สังเคราะห์ - พีเอช - ร้อยละของการกำจัด - ความจุของการดูดซับ(มก./ก. สารดูดซับ)

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม (การทดลองแบบเบตซ์)

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์	ตะกั่ว/ แคดเมียม: 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสีย
2. ชนิดโลหะหนัก	ตะกั่ว, แคดเมียม
ตัวแปรควบคุม	พารามิเตอร์
1. ชนิดสารดูดซับ : ผงกระดูก, ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์กระดูก	
2. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้	50 มิลลิลิตร
3. พีเอชสารละลายโลหะ	5.0±0.1
4. ปริมาณผงกระดูกและถ่านกระดูกที่ใช้	0.006, 0.01, 0.015, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัม ต่อลิตรน้ำตัวอย่าง
5. ความเร็วในการกวนผสม	175 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	- ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ และ ปริมาณแคดเมียมไอออนที่ถูกแทนที่ - พีเอช
2. ความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก	- ร้อยละการกำจัด - ความจุของการดูดซับ(มก./ก. สารดูดซับ)

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาไอโซเทอมของการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม ด้วยสารดูดซับถ่านกระดูกและผงกระดูก

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ปริมาณสารดูดซับที่ใช้ : 1.1 ผงกระดูก 1.2 ถ่านกระดูก - เผาที่ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง 2. ชนิดของโลหะหนัก 3. เวลาสัมผัส	ตะกั่ว : 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 กรัมต่อลิตร น้ำเสีย แคดเมียม : 0.02, 0.05, 0.1, 0.5, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 กรัมต่อ ลิตรน้ำเสีย ตะกั่ว : 0.006, 0.015, 0.018, 0.024, 0.05, 0.1 กรัม ต่อลิตร น้ำตัวอย่าง (ASTM., 2006 (D3860-89a)) แคดเมียม : 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14 กรัมต่อ ลิตรน้ำเสีย สารละลายตะกั่ว, แคดเมียม 4 ชั่วโมง(ผงกระดูก) และ 24 ชั่วโมง(ถ่านกระดูก) สำหรับ ตะกั่ว และ 72 ชั่วโมงสำหรับแคดเมียม
ตัวแปรควบคุม	พารามิเตอร์
1. ชนิดสารดูดซับ 2. ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น - ความเข้มข้นของโลหะหนัก - พีเอช - ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ 3. ความเร็วในการกวนผสม	เลือกสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด โลหะ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 5±0.1 50 มิลลิลิตร 175 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง 2. ความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก	- ปริมาณตะกั่ว/แคดเมียมที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ - พีเอช - ร้อยละของการกำจัด - ความจุของการดูดซับ(มก./ก. สารดูดซับ)

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมแบบแท่งเกล็ดกระดูก

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ชนิดโลหะหนัก 2. ความสูงชั้นเกล็ดกระดูก	ตะกั่ว, แคดเมียม 90 เซนติเมตร สำหรับการกำจัดตะกั่ว 30 เซนติเมตร สำหรับการกำจัดแคดเมียม
ตัวแปรควบคุม	
1. ชนิดสารดูดซับ : เกล็ดกระดูก 2. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว/แคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 3. อัตราการไหลของสารละลายโลหะ 4. พีเอชของสารละลายโลหะ 5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์	ขนาด 0.84 - 2.36 มิลลิเมตร 10 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสีย 0.6 ลิตร ต่อชั่วโมง 4.0 ± 0.1 2.5 เซนติเมตร
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง 2. ความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก	- ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ และ ปริมาณแคดเมียมไอออนที่ถูกแทนที่ - พีเอช - ร้อยละการกำจัด - ความจุของการดูดซับ(มก./ก. สารดูดซับ)

ตารางที่ 3.8 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้ดูดซับตะกั่ว

ตัวแปรอิสระ	พารามิเตอร์
1. ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ดูดซับสารละลายตะกั่ว 1.1 น้ำกลั่น 1.2 สารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.3 สารละลายกรดไนตริก	อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เข้มข้น 0.01 N เข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5
ตัวแปรควบคุม	
1. น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว 2. ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ฟื้นฟูสภาพ 3. ความเร็วในการกวนผสม 4. อุณหภูมิห้อง 5. เวลาที่ใช้ในการล้าง (เวลาต้มผัก)	0.3, 0.5, 1 และ 2 กรัม 100 มิลลิลิตร 175 รอบต่อนาที 25 องศาเซลเซียส 30 นาที

ตารางที่ 3.8(ต่อ) ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูกที่ใช้ดูดซับตะกั่ว

ตัวแปรตาม	
1. ประสิทธิภาพการฟื้นฟูสภาพเกล็ดกระดูก	- ปริมาณตะกั่วในสารละลายที่นำมาล้าง - ความจุในการดูดซับสารละลายตะกั่วได้
2. น้ำหนักของเกล็ดกระดูกที่เหลือภายหลังการ ฟื้นฟูสภาพ	- ส่วนสูญเสียของน้ำหนักถ่านกัมมันต์
3. คุณสมบัติทางกายภาพ	- ความถ่วงจำเพาะ, พื้นที่ผิวจำเพาะ - ปริมาตรและขนาดของโพรง

3.12 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (Statistic and Analysis of data)

ความรู้ในเรื่องสถิติที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ (ชัยสิทธิ์ เถлимมีประเสริฐ, 2542) มีดังนี้

3.12.1 ช่วงข้อมูล(Range)

3.12.2 ค่าเฉลี่ยหรือตัวกลางเลขคณิต(Arithmetic mean/Mean; \bar{X})

3.12.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation; S)

3.12.4 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย(Simple linear regression equation)

$$Y = a + bx$$

3.12.5 สัมประสิทธิ์การทำนาย(Coefficient of determination; R^2)