บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่ทำการวิจัย

การทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้ จะกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การเตรียมสารดูดติดผิว และ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สารดูดติดผิว

สารดูดติดผิวที่ใช้ในการทดลอง คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ A, B และ C ซึ่งลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยที่ถ่านกัมมันต์A และB เป็นของ Calgon Carbon Corporation และถ่านกัมมันต์C เป็นของ ICI ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดก่อนจะทำการทดลองจะต้องทำการร่อนคัดขนาด โดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 12 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40 ซึ่งจะได้ขนาดของถ่านกัมมันต์อยู่ระหว่าง 0.42-1.68 มม. แล้วจึงทำการล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเศษผงและสิ่งปนเปื้อนต่างๆออกจากถ่านกัมมันต์ จากนั้นจะนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงทิ้งให้เย็นในโถป้องกันความชื้น (Desicator) ซึ่งถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดนี้จะนำไปใช้ในการทดลองของถังดูดติดผิวแบบแท่ง ส่วนในการทดลองแบบแบตช์ (Batch System) ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดจะต้องนำมาบดแล้วร่อนคัดขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ก่อนที่จะนำไปใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดลอง

Carbon characteristics	Carbon A	Carbon B	Carbon C
Material	Bituminous coal	Bituminous coal	Lignite
Surface area (m^2/g)	950-1,050	900	650
Density (g/cc)	1.43	-	-
Pore volume (cc/g)	0.85	-	-
Moisture as packed (%)	max . 2	max. 4	max. 5
Iodine number (mg/g)	900	800	950
Ash content (%)	8	15	1.8

3.2.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักปนอยู่ และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุช

ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียมและปรอทปนอยู่ เตรียมจากการนำสาร $K_2Cr_2O_7$ และ $HgCl_2$ มาละลายในน้ำกลั่น ซึ่งสาร $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้นี้จะนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจากนั้นนำไปใส่ในโถกันความชื้น (Desicator) เวลาใช้จึงนำออกมา ปริมาณโลหะหนักที่ใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีต่อการดูดติดผิวคือ 1.0 2.0 5.0 และ 10.0 มก./ล. โดยมีอัตราส่วนของปรอทต่อโครเมียมเท่ากับ 1:1

ข. น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุช เก็บน้ำตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองจากน้ำที่ผ่านบ่อเฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) ซึ่งจะเก็บไว้ในถังพลาสติก และจะเก็บน้ำตัวอย่างจากจุดเดียวกันทุกครั้งเพื่อที่จะให้น้ำชะมูลฝอยมีลักษณะคงที่ และเพื่อที่จะให้เกิดการย่อยสลายของน้ำชะมูลฝอยขึ้นน้อยที่สุด จะเก็บน้ำชะมูลฝอยไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C ซึ่ง Ho, Boyle และ Ham (1974) แนะนำว่า ในการเก็บน้ำชะมูลฝอยไว้ในถังที่แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าคุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับลักษณะของน้ำชะมูลฝอยนั้นๆ ปริมาณโลหะหนักคือ ปรอท และ โครเมียม จะถูกเติมเข้าจนมีความเข้มข้น 5 มก./ล. เนื่องจากมีปริมาณต่ำและข้อจำกัดของขีดความสามารถในการวัดปริมาณปรอทและโครเมียมของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แบบเปลวเพลิง และปริมาณซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการ

ทดลองจะถูกควบคุมไว้ที่ 500 มก./ล. ตลอดการทดลอง เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เก็บมามีปริมาณซีโอดีต่ำเพราะเป็นช่วงฤดูฝน และซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่เก็บได้ในแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง (เก็บหลังจากผ่านบ่อเฟคัลเททีฟ เดือนตุลาคม 2539)

Characteristics	Range	Mean
pH	7.72-8.24	7.98
Color (Hazen)	595-1021	853
COD	533-886	746
S.S.	79-126	95
Hg	0.006-0.025	0.014
Cr	0.98-1.32	1.14

All units in mg/l except pH and color

3.3 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาถึงความสามารถของการดูดติดผิวโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์ โลหะหนักที่จะทำการศึกษา คือ ปรอท (Hg) และ โครเมียม (Cr) ซึ่งการทดลองมี 2 ส่วนคือ

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด โดยการทดลองที่ใช้เป็นแบบแบตช์ (Batch System) เพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดติดผิว และหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิว พร้อมทั้งหาไอโซเทอมของการดูดติดผิวเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการทดลองนี้จะทำการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ก่อน จากนั้นจึงนำน้ำชะมูลฝอยมาทำการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) ซึ่งมีการป้อนน้ำเสียเข้าถังอย่างต่อเนื่อง โดยสารดูดติดผิวที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์ที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองแบบแบตช์

3.3.1 การกำหนดค่าและประเภทตัวแปร

ก. การกำหนดค่าและประเภทตัวแปรสำหรับการทดลองแบบแบตช์

ตัวแปรคงที่

1. ปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 100 ลบ.ซม.
2. รอบการเขย่าเท่ากับ 250 รอบต่อนาที
3. อุณหภูมิห้อง

ตัวแปรตาม

1. พีเอช
2. เวลาสัมผัส
3. ชนิดของน้ำเสีย
4. ความเข้มข้นของโลหะหนัก

ตัวแปรอิสระ

1. ปริมาณถ่านกัมมันต์

ข. การกำหนดค่าและประเภทตัวแปรสำหรับการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ตัวแปรคงที่

1. ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์
2. ความเร็วการไหลเท่ากับ 0.6 เมตรต่อชั่วโมง
3. เวลาสัมผัส
4. อุณหภูมิห้อง
5. พีเอช
6. ชนิดของน้ำเสีย

ตัวแปรอิสระ

1. ปริมาตรน้ำเสีย

3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่1 <u>การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวโลหะหนักสำหรับการทดสอบแบบแบตช์ (Batch System)</u>

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. การศึกษาถึงผลกระทบของพีเอชและความเข้มข้นของโลหะหนัก

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอท เท่ากับ 1.0 2.0 5.0 10.0 มก./ล. และน้ำชะมูลฝอย มีขั้นตอนและวิธีทำสรุปดังรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดดังนี้

1. นำน้ำเสียที่จะทำการทดลอง ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดขนาด 250 ลบ.ซม. จำนวน 9 ใบ

2. นำขวดแต่ละใบไปปรับพีเอชให้มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 10 ด้วย 1 N. HNO_3 หรือ 1.0 N. NaOH

3. เติมถ่านกัมมันต์ผงปริมาณ 0.5 กรัมลงในขวดทุกใบ

4. นำขวดทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า ที่รอบการทำงาน 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

5. แยกถ่านกัมมันต์ผงออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm

6. นำน้ำเสียไปวัดค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 โดยเปลี่ยนถ่านกัมมันต์จนครบทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบผลการทดลองแล้วเลือกพีเอชที่เหมาะสม

8. เปลี่ยนชนิดของน้ำเสียแล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 จนกระทั่งครบ ในการทดลองนี้จะต้องทำแบลงก์ (Blank) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง

ข. การศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดติดผิวโลหะหนัก

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียมและ ปรอท เท่ากับ 5 มก./ล. และน้ำชะมูลฝอย มีขั้นตอนและวิธีทำสรุปดังรูปที่ 3.2 และมีรายละเอียดดังนี้

1. นำน้ำเสียที่จะทำการทดลอง ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดขนาด 250 ลบ.ซม. จำนวน 7 ใบ

2. ปรับพีเอชตามผลที่ได้จากการหาพีเอชที่เหมาะสม

3. เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.5 กรัมลงในขวด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. นำขวดแต่ละใบไปเขย่าบนเครื่องเขย่า ที่รอบการทำงาน 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีสำหรับใบแรก และเป็นเวลา 10, 15, 30, 60, 120 และ 150 นาที สำหรับขวดใบที่เหลือตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง

5. แยกถ่านกัมมันต์ผงออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 μm

6. นำน้ำเสียไปวัดค่าปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 โดยเปลี่ยนถ่านกัมมันต์จนครบทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบผลแล้วเลือกเวลาสัมผัสที่ดีที่สุด

8. เปลี่ยนชนิดของน้ำเสีย แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 จนกระทั่งครบ ในการทดลองนี้จะต้องทำแบลงก์ (Blank) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง

ตอนที่2 <u>การทดสอบหาไอโซเทอมการดูดติดผิวโลหะหนัก</u>

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอท เท่ากับ 5.0 มก./ล. และน้ำชะมูลฝอย มีขั้นตอนและวิธีทำสรุปดังรูปที่ 3.3 มีรายละเอียดวิธีดังนี้

1. นำน้ำเสียที่จะทำการทดลองปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดขนาด 250 ลบ.ซม. จำนวน 8 ใบ

2. ปรับพีเอชตามผลที่ได้จากการทดลองแรก

3. เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ

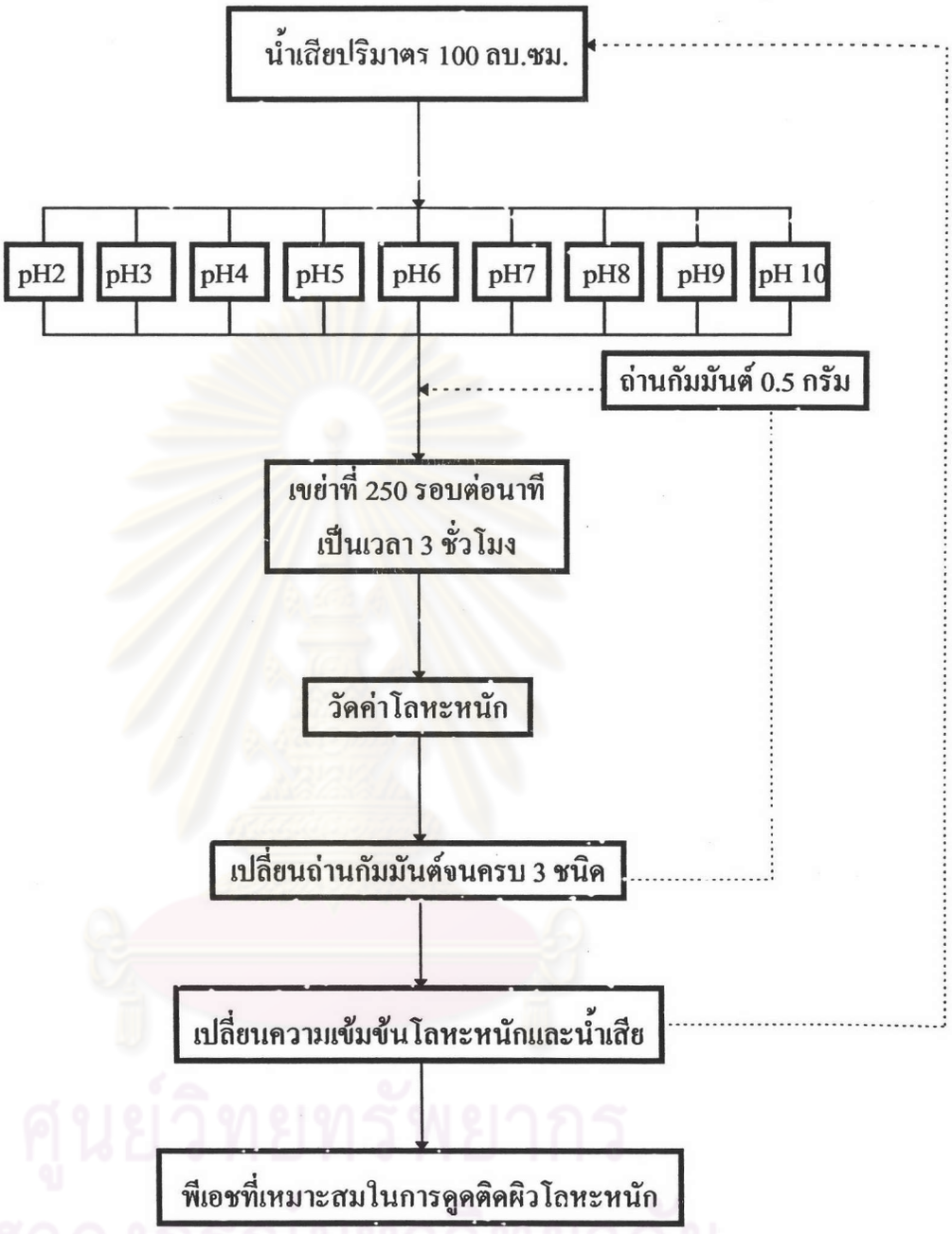
4. นำขวดทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า ที่รอบการทำงาน 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

5. แยกถ่านกัมมันต์ผงออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm

6. นำน้ำเสียไปวัดค่าปริมาณโลหะหนัก และนำไปเขียนกราฟสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

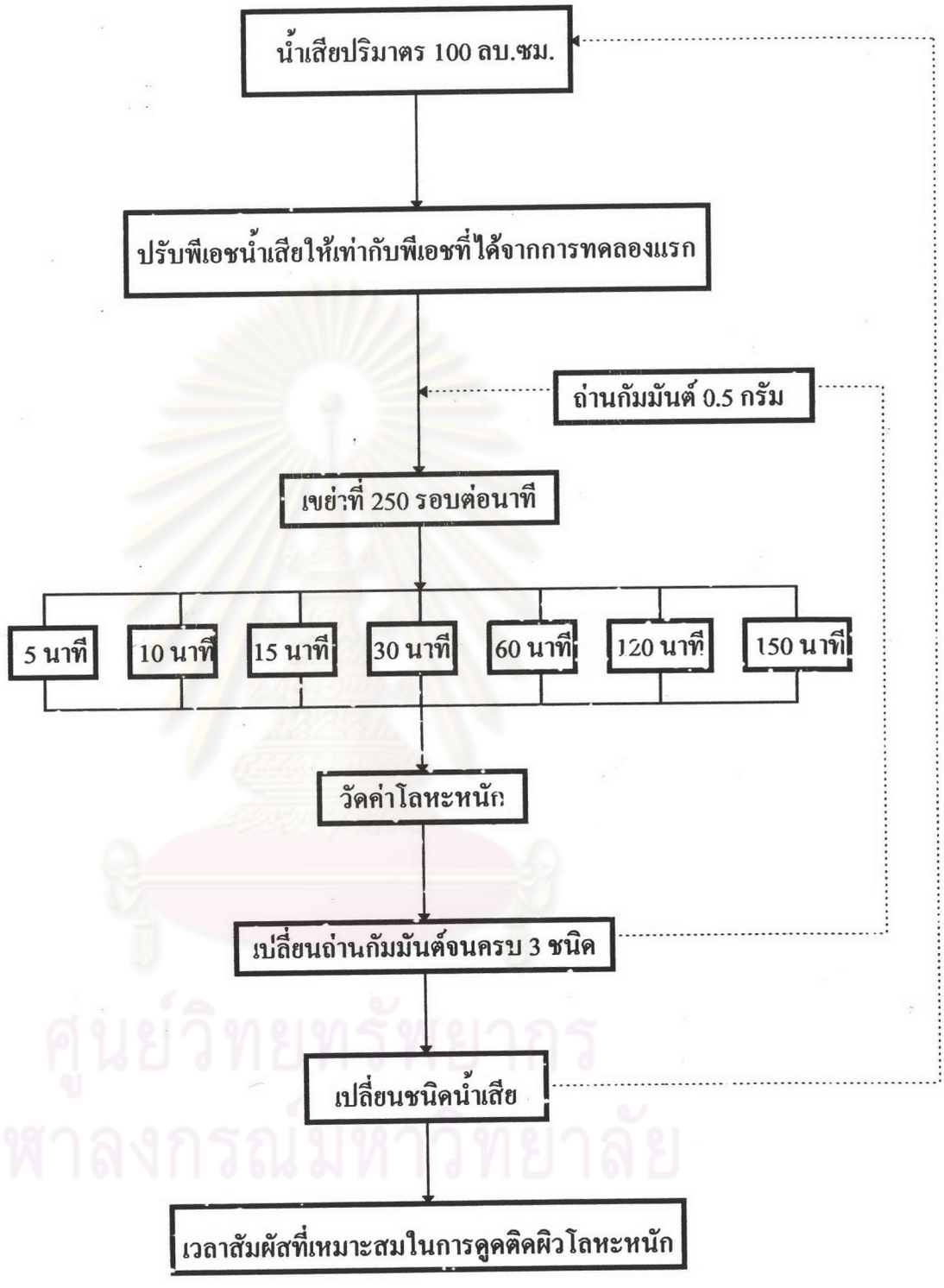
7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 โดยเปลี่ยนถ่านกัมมันต์จนครบทั้ง 3 ชนิด

8. เปลี่ยนชนิดของน้ำเสีย แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 จนกระทั่งครบ ในการทดลองนี้จะต้องทำแบลงก์ (Blank) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง



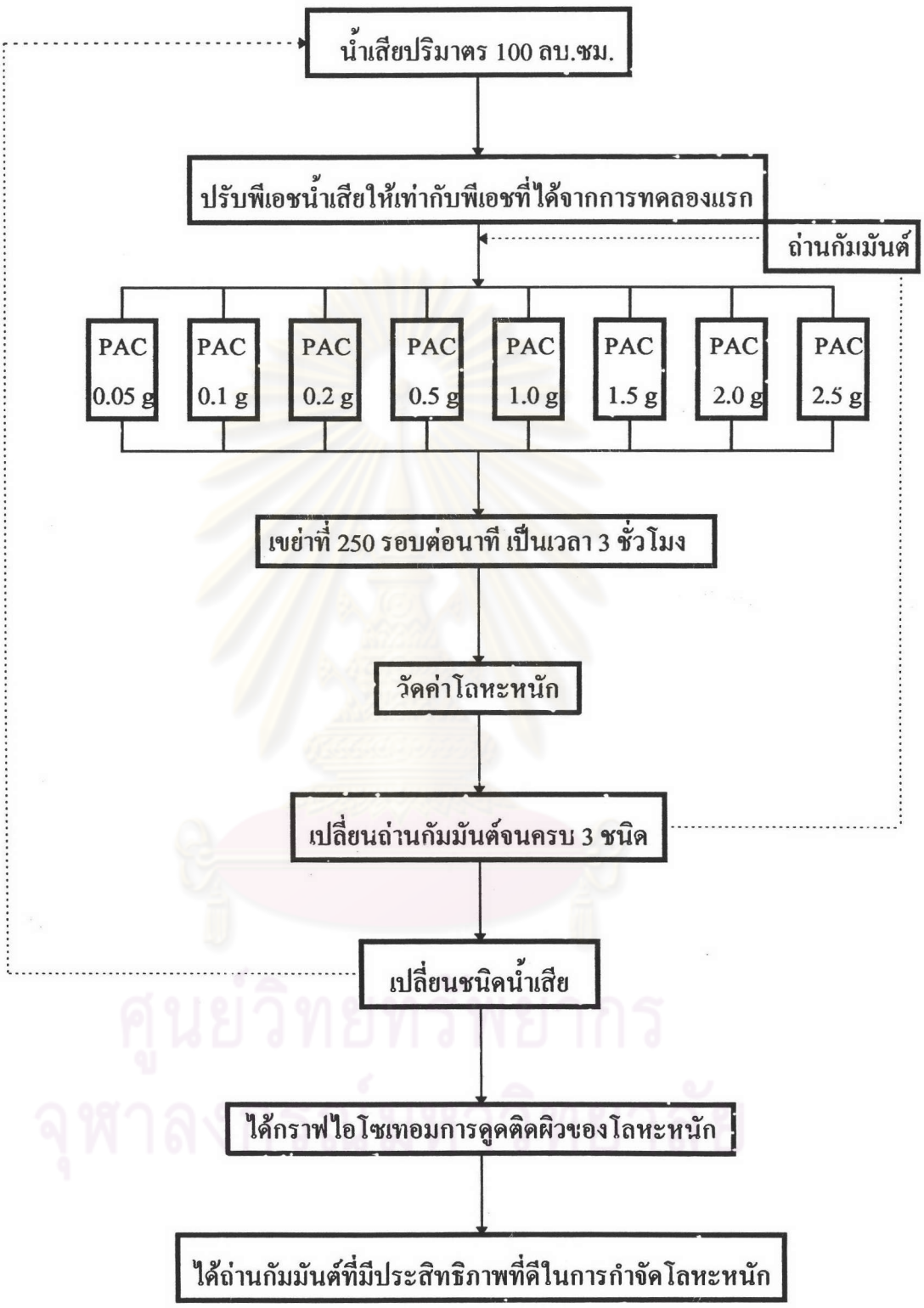
รูปที่ 3.1 แผนภาพการศึกษาผลกระทบของพีเอชและการหาพีเอชที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนภาพการศึกษาผลของเวลาสัมผัสและการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แผนภาพการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

ตอนที่3 <u>การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบแท่ง</u>

ใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.54 ซม. สูง 1 เมตร มีถ่านกัมมันต์เม็ดอยู่สูง 30 ซม. กำหนดให้มีความเร็วการไหล 0.6 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะมีเวลาสัมผัสในถังดูดติดผิวเท่ากับ 30 นาที Bernardin (1976)แนะนำว่า อัตราเร็วการไหลสูงจะมีผลทำให้เขตการถ่ายเทมวล (Mass Transfer Zone) กว้าง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการหลุดรอดของสารปนเปื้อนเร็วมาก ส่วนการใช้อัตราการไหลต่ำจะทำให้เกิดการหลุดรอดของสารปนเปื้อนช้าและมีการใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์สูงสุด ถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะเลือกจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และพีเอชของระบบจะใช้ค่าพีเอชจากการหาพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากกองขยะมูลฝอย มีขั้นตอนและวิธีทำสรุปดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบแท่ง

Column	Waste Type	Hg conc. (mg/l)	Cr conc. (mg/l)	Hydraulic loading (m/h)
1	Synthetic	1.0	1.0	0.6
2	Synthetic	5.0	5.0	0.6
3	Leachate	5.0	5.0	0.6

3.4 <u>เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องและแบบแบตช์</u>

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1) ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) ใช้ท่อพีวีซีแบบใสจำนวน 3 ท่อ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.54 เซนติเมตร สูง 1 เมตร เพื่อให้มีความสูงเพียงพอสำหรับชั้นรองรับสารดูดติดผิวและเฮดของน้ำ

2) ถังเก็บน้ำเสีย เป็นถังพักน้ำเสียซึ่งจะส่งน้ำไปยังถังเฮดคงที่ (Constant Head Tank) เครื่องสูบน้ำมีอัตราการไหลที่คงที่ตลอดการทดลอง

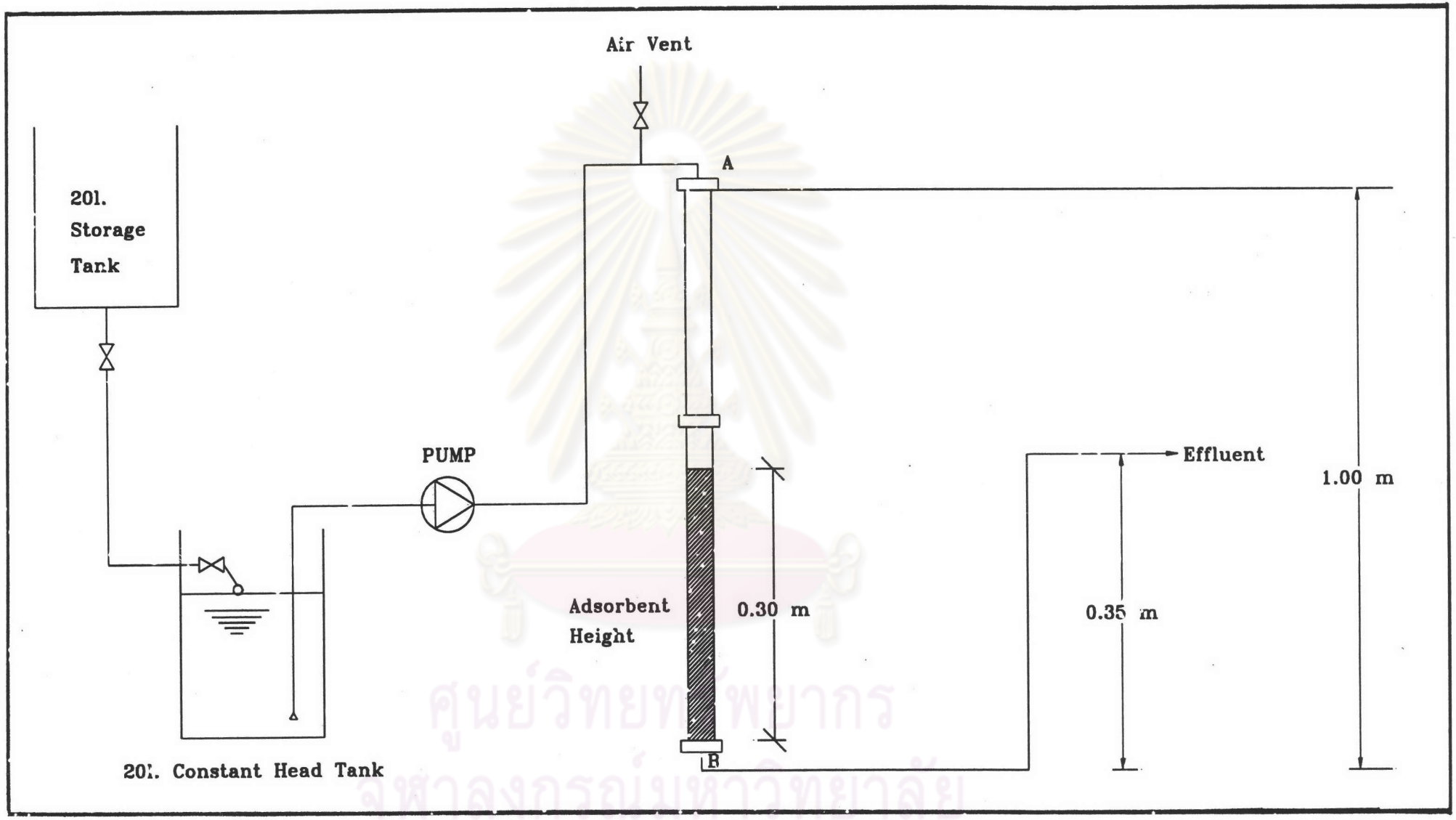
3) ถังเฮดคงที่ ใช้สำหรับควบคุมเฮดด้านสูบ (Suction Head) ของเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้เครื่องสูบน้ำมีอัตราการไหลที่คงที่ตลอดการทดลอง

4) เครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphram) ใช้จำนวน 3 เครื่อง อัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม คือ 15 ลิตรต่อวัน ใช้สำหรับสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

5) ท่อน้ำ ใช้ท่อที่เป็นสายยางพลาสติก และสายซิลิโคนในบางจุด

6) เครื่องเขย่า (IKA HS 501 digital) 0-300 รอบต่อนาที ช่วงชัก 5 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ถังดูดติดผิวแบบแท่งที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ สำหรับการทดลองอย่างต่อเนื่องการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ จะมีการเก็บตามตำแหน่งต่างๆ (ดูรูปที่ 3.4) ดังนี้

1. น้ำเสียที่เก็บจากทางน้ำเข้าที่จุด A
2. น้ำออกจากถังดูดติดผิวที่ 0.3 เมตร จากผิวหน้าตัวกลางที่จุด B

ตัวอย่างน้ำที่จัดเก็บในแต่ละจุดมีประมาณ 100 ลบ.ซม. โดยจะนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ ตำแหน่ง และความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

Parameter	Sampling point		Frequency
	A	D	
COD	X	X	1 ครั้งต่อวัน*
pH	X	X	1 ครั้งต่อวัน
Heavy metal	X	X	1 ครั้งต่อวัน*

* การวิเคราะห์ COD และ โลหะหนัก

- วันแรก และวันที่ 2 วิเคราะห์ทุกๆ 12 ชั่วโมง
- หลังจากวันที่2 ถึงวันที่ 7 วิเคราะห์ 1 ครั้งต่อวัน
- หลังจากวันที่7 วิเคราะห์ 2 วันต่อ 1 ครั้ง
- เมื่อเริ่มมีการหลุดรอดของ COD และโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น ให้วิเคราะห์ 1 ครั้งต่อวัน
- COD วัดเฉพาะน้ำชะมูลฝอยเท่านั้น

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำแสดงดังตารางที่ 3.5 และเครื่องมือที่ใช้มีดังนี้ คือ

1. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) เป็นเครื่องวัดพีเอชของ Horiba รุ่น F-13
2. ตู้อบ ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี เป็นของ Memmert รุ่น UE 500
3. เครื่องชั่งละเอียด ของ Satorius รุ่น HR 200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แบบเปลวเพลิง ของ Varian รุ่น Spectr AA-10 Plus

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์โครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์ โดยการใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. X-ray diffraction ใช้เครื่อง JEOL รุ่น JDX 8030 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน ใช้เครื่อง Scanning Microscope ของ JEOL รุ่น JSM-35 CF ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 วิธีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

Parameter	Method
COD	Dichromate closed reflux
pH	pH meter
Hg	Cold vapor generation technique
Cr	Atomic Absorption Spectrophcmeter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย