

บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลองและวิจัย

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยดำเนินการทดลองแบบ แบทช์ (Batch tests) ที่อุณหภูมิห้อง ระดับความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 100, 200, 300, 500, 1,000 และ 2,000 มก/ลบ.ตม. การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

3.1.1 การทดลองระยะที่ 1

ทำการทดลองการกำจัดพาราควอทที่ละลายอยู่ในน้ำที่มีปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำดิบเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุม โดยศึกษาตัวแปรอิสระ 3 ตัว ดังนี้

- ชนิดของสารเคมีดับพาราควอทที่ใช้มี 3 ชนิด คือนเหนียว Bentonite (ICI), Bentonite (JAPAN) และ Galleon Earth % ดังแสดงในรายละเอียดในหัวข้อ 3.1.1.1
- ระดับ พีเอช ของน้ำหลังจากผ่านการกำจัดพาราควอทแล้ว ระดับพีเอชจะขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ ในที่นี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรซัลฟูริกเป็นตัวปรับพีเอช (ดังตารางที่ 3.1)
- ความเข้มข้นของสารเคมีดับพาราควอทแต่ละชนิดจะใช้ที่ระดับความเข้มข้น 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบ.ตม. การทดลองในระยะที่ 1 มีตัวแปรอิสระที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 พีเอช ที่ใช้สารเคมีแต่ละชนิด

สารเคมี	ระดับพีเอช					
	5	6	7	8	8.5	9
Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิจัย

	ความเข้มข้นสารเคมี (มก/ลบ.ตม.)	พีเอช						
		5	6	7	8	8.5	9	
ความเข้มข้นของพลาควอก ที่ใช้ในการศึกษา 100, 200, 300, 500, 1000 และ 2000 มก/ลบตม.	250	Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
		Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
		Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X
	500	Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
		Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
		Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X
	1,000	Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
		Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
		Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X
	2,000	Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
		Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
		Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X
	3,000	Bentonite (ICI)	X	X	X	X	X	X
		Galleon Earth	X	X	X	X	X	X
		Bentonite (JAPAN)	X	X	X	X	X	X

3.1.1.1 คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการกำจัดพาราควอต

ก. ดินเบนโทไนท์จากไอฮิว

รูปที่ 3.1 จากการตรวจสอบองค์ประกอบของดินที่เป็นออกไซด์ของโลหะโดยวิธี x-ray diffraction (ภาคผนวก ง) พบว่าดินเบนโทไนท์จากไอฮิวประกอบด้วยแร่ควอทไบรโทไนท์ (Bytonite $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Si})_4 \text{O}_8$) และมอนท์โมริลโลไนท์ ซึ่งมอนท์โมริลโลไนท์ที่พบเป็นโซเดียมมอนท์โมริลโลไนท์ทุกตัว และจากการที่ปรากฏความเข้มของแสงที่เป็นช่วงของแร่มอนท์โมริลโลไนท์ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพบมอนท์โมริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง แต่จากการตรวจสอบโดยวิธีนี้ไม่สามารถบอกปริมาณขององค์ประกอบแต่ละชนิดที่ตรวจสอบได้

ข. ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น

รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่นประกอบด้วยแร่ควอทไบรโทไนท์ มอนท์โมริลโลไนท์ และเมตะฮาโลไซด์ (Meta Hallosite dehydrated $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$) ซึ่งก็เป็นมอนท์โมริลโลไนท์ชนิดหนึ่ง ทำให้สมบัติของดินชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกับดินเบนโทไนท์

ค. ดินแกลส็อน เวิร์ท

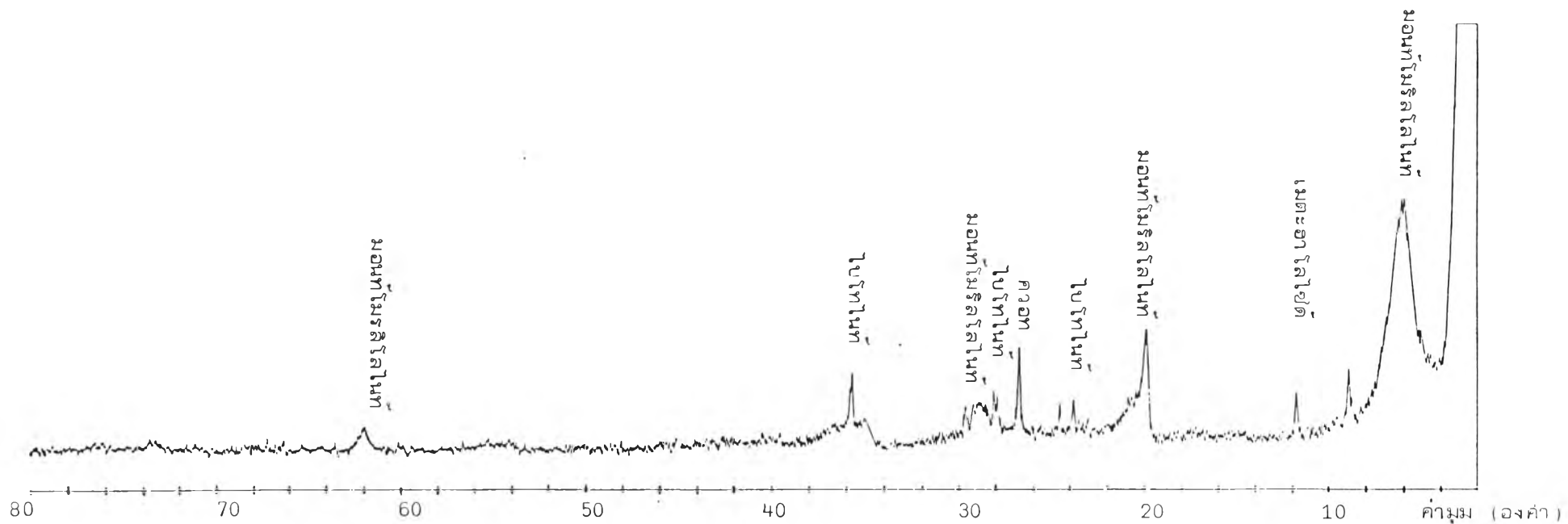
รูปที่ 3.3 จากการหาองค์ประกอบของดินโดยวิธี x-ray diffraction พบว่าดินแกลส็อนมีแร่องค์ประกอบคือ ควอท ไบโทไนท์ และโซเดียม มอนท์โมริลโลไนท์ และที่พบแตกต่างจากดินทั้งสองชนิดข้างต้นคือ มีองค์ประกอบของดิน Mixed layer clay ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดซับของดินในเกณฑ์ต่ำ

จากผลการวิเคราะห์ดินทั้ง 3 ชนิด องค์ประกอบของดินดังกล่าวประกอบด้วย แร่ควอทไบโทไนท์ เมตะฮาโลไซด์ และมอนท์โมริลโลไนท์ แต่ละองค์ประกอบทำให้ดินทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติ (ในด้านการดูดซับ) ที่แตกต่างกัน นอกเหนือจากปริมาณซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ได้จากการตรวจวัดด้วยวิธีนี้แล้ว กล่าวคือองค์ประกอบของดินเบนโทไนท์จากไอฮิว และเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น ซึ่งมีแร่เมตะฮาโลไซด์และมอนท์โมริลโลไนท์เป็นหลักทำให้ดินทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับคล้ายคลึงกันและมากกว่าดินแกลส็อนที่เป็น Mixed layer clay ซึ่งมีความสามารถ

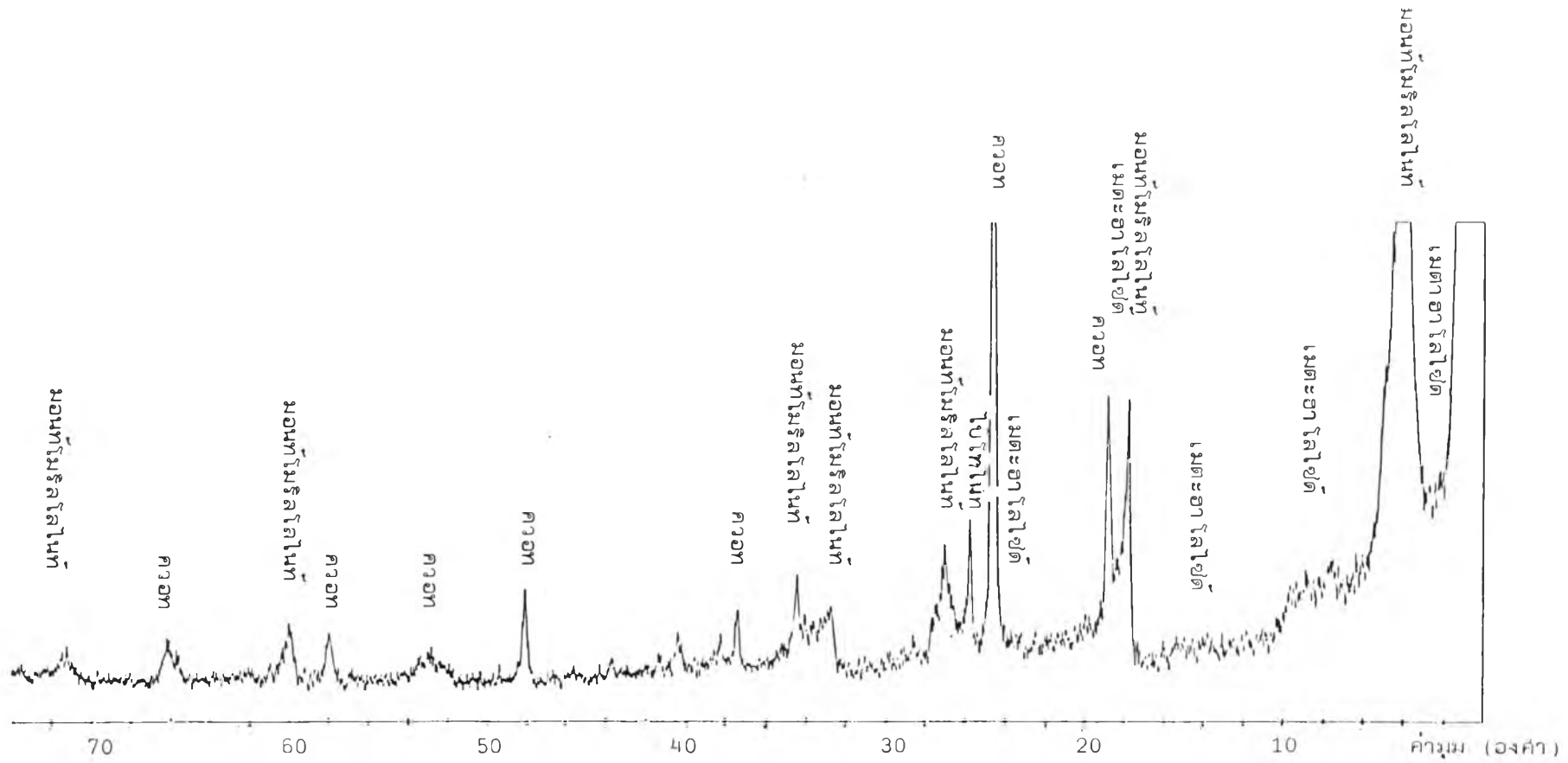
ในการดูดติดผิวต่ำกว่า อย่างไรก็ตามแม้แรมอนท์โมริลโลไนท์ และเมตะฮาโลไซด์จะเป็นแร่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่แร่ทั้งสองจะมีกลไกในการดูดติดผิวแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแรมอนท์โมริลโลไนท์จะมีประจุของออกซิเจนกระจายตัวอยู่ตลอดแนวแผ่นชั้นซึ่งมีสภาพเหมือนเป็นแผ่นประจุลบที่พร้อมจะรับชั้นของโมเลกุลที่มีประจุบวกไว้ระหว่างชั้นของแผ่น ซึ่งทำให้ดินชนิดนี้สามารถดูดติดผิวสารที่มีประจุในลักษณะของ double layer (ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ก) ส่วนในกรณีของแร่ฮาโลไซด์จะดูดติดผิวโมเลกุลที่มีประจุเท่านั้นและจะดูดยึดโมเลกุลให้อยู่ระหว่างชั้นของดิน ในลักษณะของ single layer เนื่องจากในแร่ฮาโลไซด์มีทั้งประจุบวกและประจุลบกระจายอยู่ในแผ่นของผลึกดิน (ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ข) ดังนั้นจึงทำให้ดินที่มีแรมอนท์โมริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบจะมีความสามารถในการดูดติดผิวได้ดีกว่าดินที่มีแรมอนท์ฮาโลไซด์เป็นองค์ประกอบ

ง. ถ่านกัมมันต์

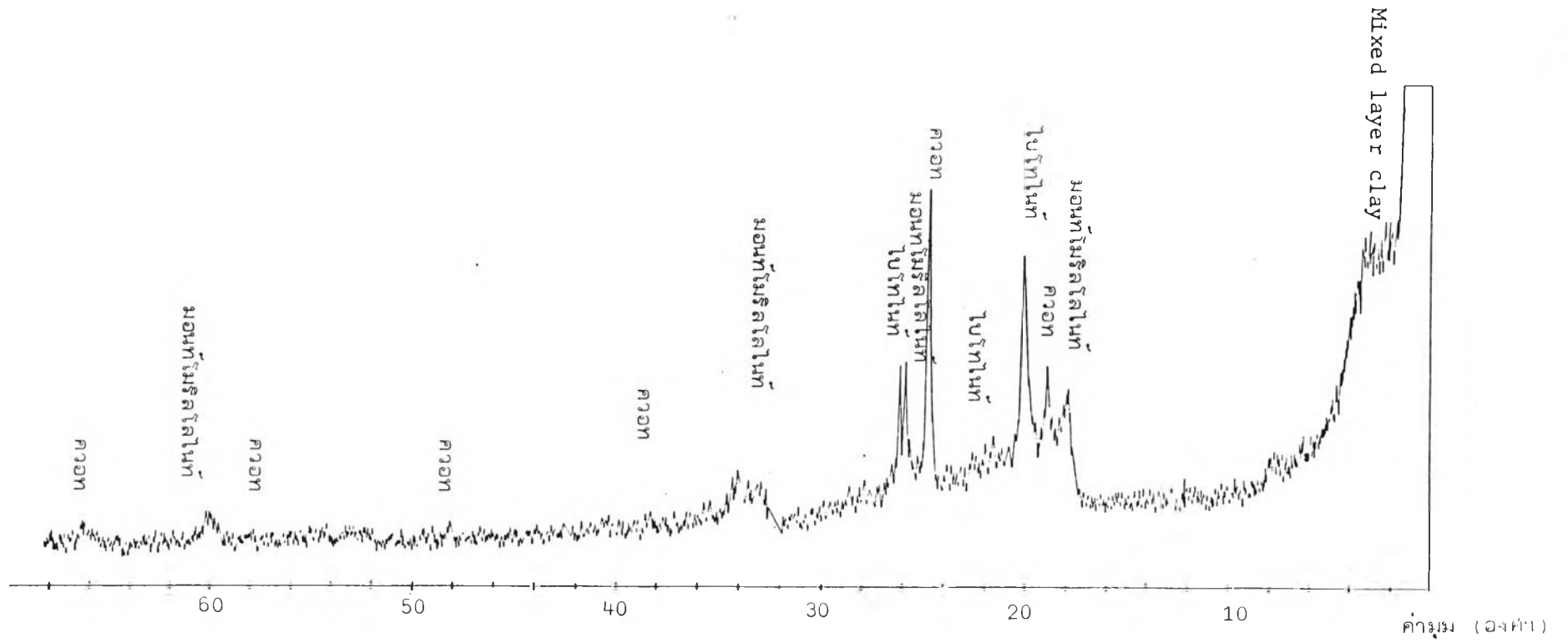
ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.3



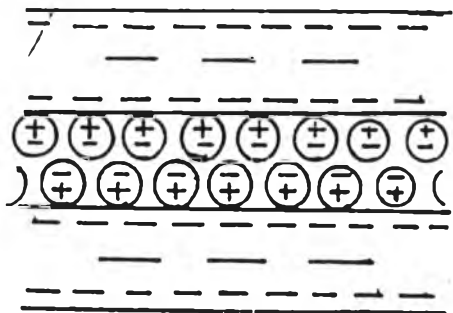
รูปที่ 3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเบนโทไนท์จากไอซีไอโดยวิธี x-ray diffraction



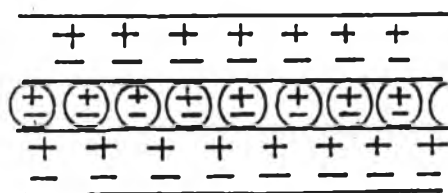
รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่นโดยวิธี x-ray diffraction



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบดินแกลลีโอไนท์โดยวิธี X-ray diffraction



ก. แร่มอนทโมริลโลไนท์



ข. แร่เมตะฮาโลไซด์

รูปที่ 3.4 การดูคีตโมเลกุลที่เป็นโพลาของดินมอนทโมริลโลไนท์และเมตะฮาโลไซด์

ตารางที่ 3.3 ลักษณะสมบัติของถ่านเอซีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อ	:	NORIT ROW 0.8 SUPRA granular activated carbon	
ลักษณะ	:	เป็นแบบ peat-based และ extruded สามารถ reactivated ได้ด้วยการบวนการทางความร้อน มีปริมาตรรูพรุนสูง ประกอบด้วย การกระจายขนาดรูพรุนได้ทั่วถึง ทำให้การไ้ใช้งานทำได้กว้างขวาง กำจัดสี กลิ่น, คลอรีน, รส, โอโโซน, สารมลพิษขนาดเล็กและสารอินทรีย์ ที่ละลายอยู่ในน้ำได้	
คุณสมบัติ			วิธีทดสอบ
	-	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ล.)	380 ASTM 285 4-70
	-	ความหนาแน่นที่ล้างกลับและระบาย ออกแล้ว	335
	-	ความชื้น (ตามที่บรรจุ) (%)	2 ASTM 286 7-70
	-	ปริมาณเถ้า (%)	6 ASTM 286 6-70
	-	การดูดติดฟีนอล (%)	6 DIN 19603
	-	ตัวเลขไอโอดีน (มก./ก.)	1100 AWWA B 604-74
	-	ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (มก./ก.) ¹	1.1 NORIT
	-	ค่าลดคลอรีนลงกึ่งหนึ่ง (ชม.)	5 DIN 19603
	-	ความแข็งแบบ Ball Pan (%)	90 ASTM proposal

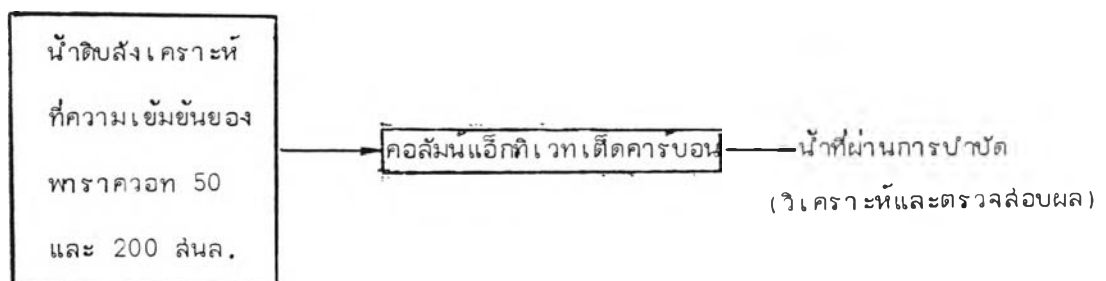
¹ ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด = $\frac{\text{ส่วนกลับของความหนาแน่นในปรอท} - \text{ส่วนกลับของความหนาแน่นในน้ำ}}$

ตัวแปรตามที่ต้องทำการวิเคราะห์ในการทดลองระยะที่ 1 มีดังนี้

1. ความเข้มข้นของพลาควอทที่เหลือน้ำ
2. พีเอชของสารละลาย
3. ความขุ่น
4. ความเป็นด่าง
5. ปริมาณของตะกอน
6. ความเร็วในการจมตัวของตะกอน

3.1.2 การทดลองระยะที่ 2

ทดลองกำจัดพลาควอทที่มีความเข้มข้นต่ำโดยการผ่านคอลัมน์ถ่านแอกทีเวทติดคาร์บอนอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นที่สองหลังจากได้บำบัดน้ำทิ้งด้วยการใช้ดินเหนียวแล้ว การศึกษาใช้น้ำดิบสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 และ 200 ส่นล. บ่อน้ำคอลัมน์ที่บรรจุถ่านแอกทีเวทอัตราการกรอง $6 \text{ ม}^3/\text{ม}^2/\text{ชม}$. สำหรับน้ำดิบที่มีความเข้มข้นพลาควอท 50 ส่นล. และ $3.5 \text{ ม}^3/\text{ม}^2/\text{ชม}$ สำหรับน้ำดิบที่มีความเข้มข้นพลาควอท 200 ส่นล. ตรวจวัดปริมาณพลาควอทในน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง แผนการทดลองระยะที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนการทดลองระยะที่ 2

อณึ่งตัวแปรที่ต้องทำการวิเคราะห์ในการทดลองระยะที่ 2 มีดังนี้

- ก) ความเข้มข้นของพาราควอทที่เหลือในน้ำที่ผ่านระบบบำบัด
- ข) ปริมาณน้ำที่กรองผ่านคอลัมน์ถ่าน

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมสารกำจัดพาราควอทและน้ำสังเคราะห์สำหรับการวิจัย

1. สารละลายเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง
 - 1.1 สารละลายโซเดียมไดโรไอโอดาท 1% ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
 - 1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N
 - 1.3 สารละลายสกัดพาราควอท
 - 1.4 ปรับความเป็นกรดต่าง (pH) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟริก (H_2SO_4) 0.1 N
2. ดินเหนียวที่ใช้ในการดูดซับ
 - 2.1 ดินเบนโทไนท์ จากบริษัทไอซีไอ (ICI) (BENTONITE ICI))
 - 2.2 ดินเบนโทไนท์ จากประเทศญี่ปุ่น (BENTONITE (JAPAN))
 - 2.3 ดินแกลลีสออนเอิร์ท (GALLEON EARTH)
3. แอ็กทิเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้ในการทดลอง

ถ่านแอ็กทิเวตเต็ดคาร์บอนชนิดเกล็ด NORIT ROW 0.8 SUPRA
ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 3.3

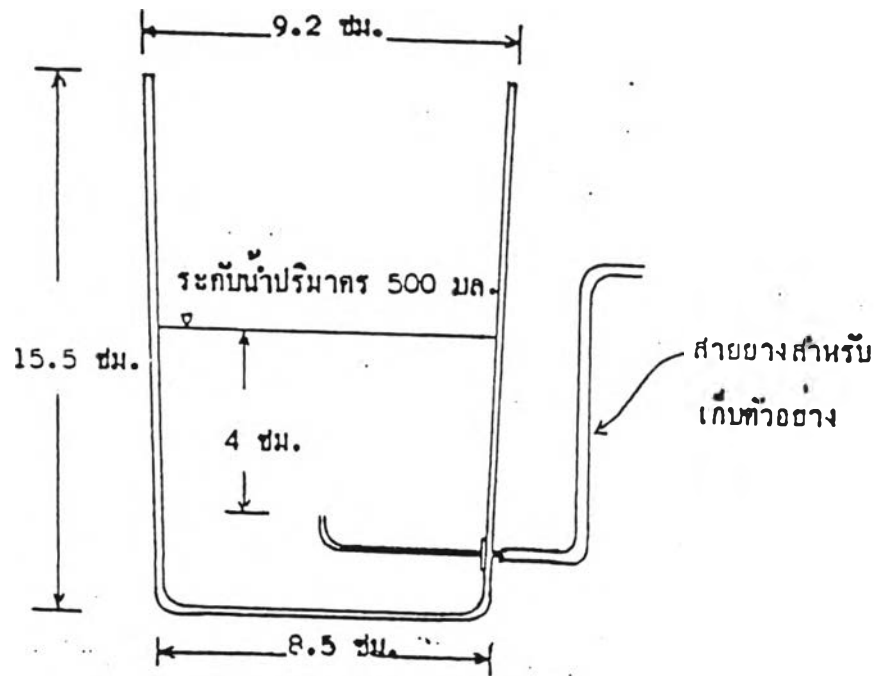
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องจาร์เทสต์

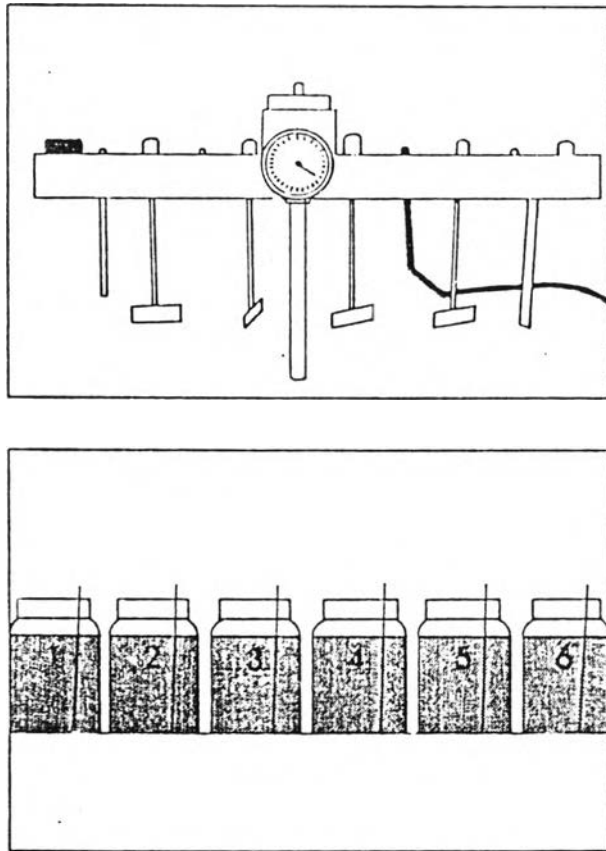
ประกอบด้วยถ้วยทดลอง 6 ชุด ซึ่งมีขนาดและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง
ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7

3. คอลัมน์ถ่านเอซี ขนาด 2" ความสูง 1.50 เมตร

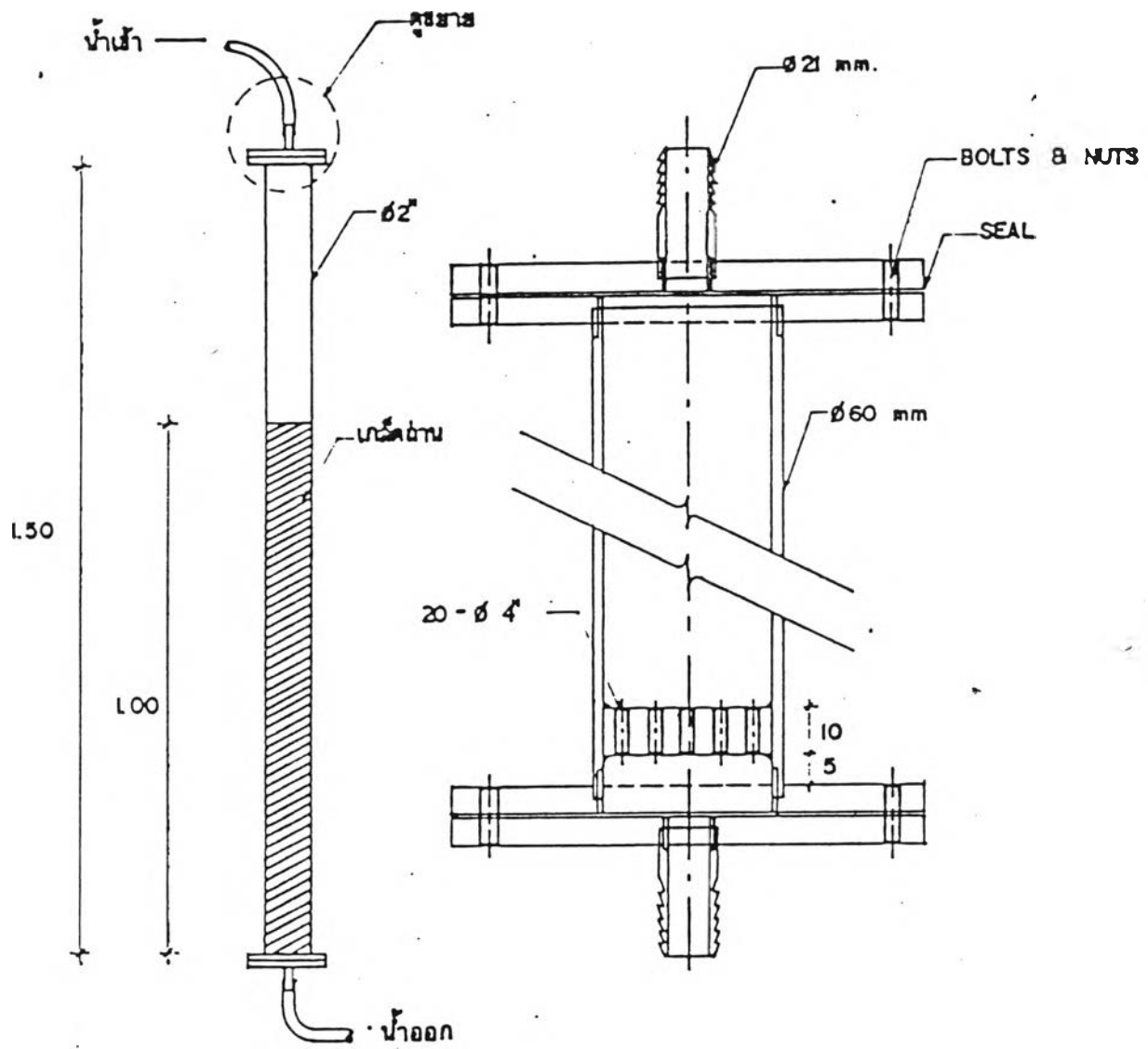
ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



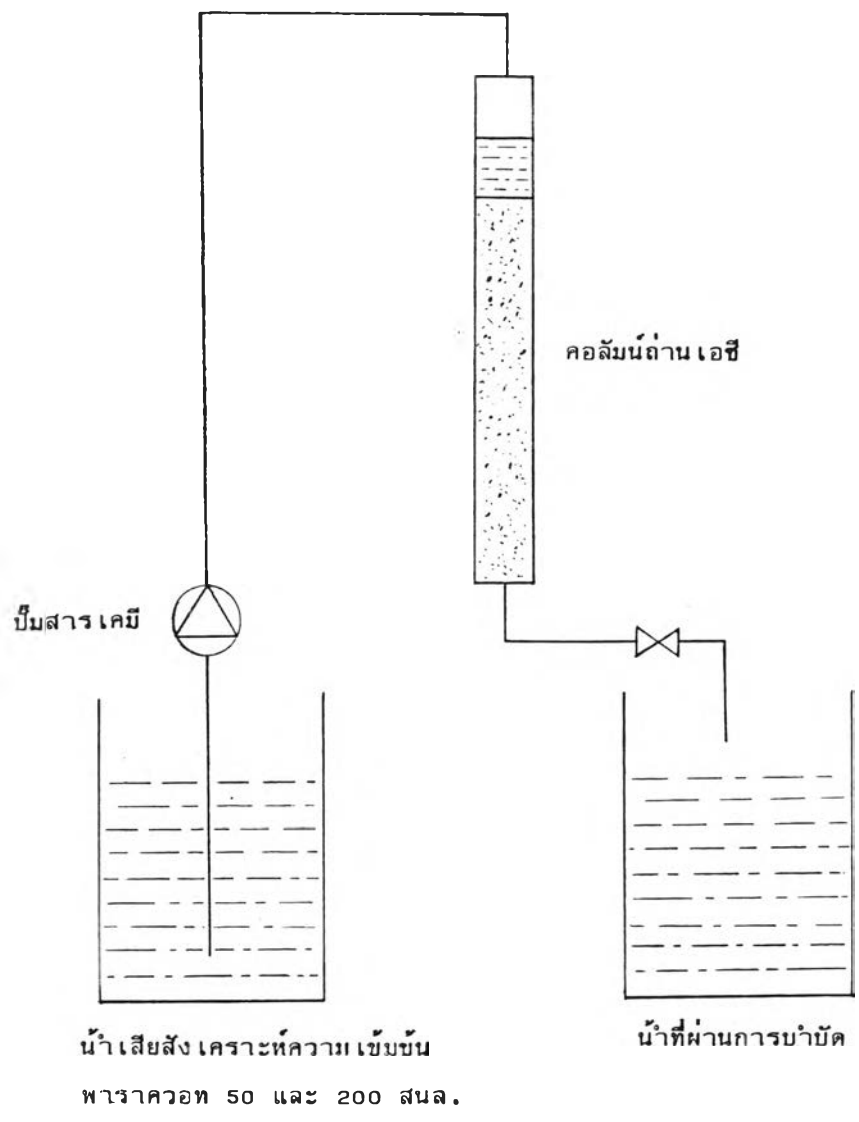
รูปที่ 3.6 ถ้วยทดลองและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์



รูปที่ 3.7 เครื่องมือทดลองจาระเทสต์



รูปที่ 3.8 คอสมันตีงกรองถ่านสำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.9 แผนผังการป้อนน้ำเสียส่ง เครื่องที่ความ เข้มข้น เข้าสู่คอลัมน์ถ่าน

3.2.3 วิธีการทดลอง

3.2.3.1 การเตรียม Titration Curve

การทำ titration curve เพื่อหาปริมาณกรดหรือด่างที่
ต้องใช้ในการปรับพีเอช โดยการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ด้วยการเติมกรดหรือด่างปริมาณหนึ่ง
ลงในน้ำดิบที่เดิมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ด้วยปริมาณคงที่จำนวนหนึ่งตามต้องการแล้ว ทำเช่นนี้
เรื่อยไปจนกระทั่งผ่านค่าพีเอชที่ต้องการ นำผลที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อคำนวณหาปริมาณกรดหรือ
ด่างที่จะใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2.3.2 การทดลองระยะที่ 1 ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. เติมน้ำสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นของทราควอท
ตามที่กำหนดปริมาณ 500 มล. ลงในถ้วยทดลอง 6 ใบ
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5N
ให้ได้ค่าพีเอช ซึ่งทดลองไว้แล้วจากการทำ titration curve ว่าเมื่อเติมน้ำแล้ว พีเอช
จะเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับที่ต้องการ
3. เปิดเครื่องกวนโดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที
เติมน้ำสังเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ใช้เวลาในการกวนเร็ว 5 นาที
4. ปรับเครื่องกวนให้มีความเร็ว 40 รอบต่อนาที ใช้เวลา
15 นาที
5. หยุดเครื่องกวนและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา
30 นาที
6. ปล่อยให้กากทางสายยางเก็บตัวอย่าง เพื่อชำระสายยาง
ประมาณ 5 ลบ.ซม. แล้วล้างเก็บตัวอย่างประมาณ 200 ลบ.ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า
ต่าง ๆ ในกรณีที่สารละลายมีความขุ่น ทำการกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 μm ก่อนทำ
การวิเคราะห์ปริมาณทราควอท

3.2.3.3 การทดลองระยะที่ 2 ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทในปริมาณที่เพียงพอจะป้อนคอลัมน์ถ่านเอซีอย่างต่อเนื่อง
2. นำน้ำดิบสังเคราะห์ลึบเข้าคอลัมน์ถ่านเอซีด้วยอัตราการกรองที่กำหนด
3. ปล่อน้ำที่ผ่านแควตเวเตตคาร์บอน ทั้งประมาณ 5 นาที สังเกตตัวอย่างนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณพาราควอทที่เหลือในน้ำ

3.2.3.4 การเตรียมน้ำสังเคราะห์สำหรับการวิจัย

เตรียมน้ำดิบสังเคราะห์จากสารละลายพาราควอทเข้มข้นที่ยังไม่เจือจางบริษัทไอซีไอฯ ก่อนเตรียมตัวอย่างวัดปริมาณพาราควอทในสารละลายเข้มข้นทุกครั้ง แล้วจึงเตรียมตามอัตราส่วนที่ต้องการ ปรับพีเอชให้เป็นกลาง (7-8)