

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัย
แห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมี
รายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 แผนการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
2. การเตรียมดินตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
3. การเตรียมน้ำใต้ดินสังเคราะห์
4. การดำเนินการวิจัย
5. การวิเคราะห์ผลการวิจัย ประมวลผลและสรุปผลการวิจัย

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลองเป็นแบบกะ (Batch Test) แบบคอลัมน์ (Column Test)
และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของเบนซีนที่
ทำการศึกษา คือ 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดิน
3. การทดสอบแบบกะ (Batch Test) เพื่อหาค่าไอโซเทอมของการดูดซับ
4. การทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและค่าอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา
ของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน
5. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient) ของตัวอย่าง
ดิน
6. การทดลองแบบคอลัมน์ (Column Test) เพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม
คอมพิวเตอร์

7. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเบนซีนในน้ำใต้ดิน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมี	คุณสมบัติ
1. เบนซีน (C ₆ H ₆)	Standard Solution
2. โซเดียมโบรไมด์ (NaBr)	Analytical Reagent Grade
3. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	Analytical Reagent Grade
4. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	Analytical Reagent Grade
5. เฮกเซน (C ₆ H ₆)	Analytical Reagent Grade
6. อะซีโตน((CH ₃) ₂ CO)	Gas Chromatograph Grade

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือ	หมายเหตุ
1. เครื่องแกสโครมาโตกราฟี (GC/FID)	Agilent รุ่น 6890N
2. เครื่องไอออนโครมาโตกราฟ (Ion Chromatograph)	Dionex รุ่น DX-120
3. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)	HACH sension3
4. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical Balance)	Sartorius BP 221S
5. เครื่องอ่างไอน้ำ (Water bath)	GFL 1086
6. เครื่องเขย่า (Shaker)	GFL 3017
7. ขวดไวอัล (vial) ขนาด 10 และ 120 มิลลิลิตร และฝา อลูมิเนียมพร้อมแผ่นรองขวดไวอัล (septum) ชนิดเทฟลอน	
8. ที่ฉีกและเปิดฝาอลูมิเนียม (Crimper and Decrimper)	
9. ตัวกรองก่อนเข้าหลอดฉีดยา (Syringe filter \varnothing 0.2 μ m)	
10. หลอดฉีดยา (syringe) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร	
11. แบบจำลองคอลัมน์ทำด้วยเทฟลอน (Teflon Column)	

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำดินตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ โดยเลือกดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 นำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดังนี้

1. ค่าความชื้น (Moisture content)
2. ปริมาณอินทรีย์สารคาร์บอน (Organic carbon content)
3. ความหนาแน่น (Bulk density)
4. ค่าความพรุน (Porosity)
5. พีเอช (pH)
6. เบนซีน (Benzene)

3.4.2 การเตรียมน้ำได้ดินสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเบนซีน 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

นำสารละลายเบนซีนมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเตรียมเป็นน้ำได้ดินสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเบนซีนเป็น 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.4.3 การทดลองเพื่อหาไอโซเทอมของการดูดซับของเบนซีนบนผิวดิน

1. เตรียมน้ำได้ดินสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเบนซีน 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เติมน้ำได้ดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Autoclave) 3 กรัมแห้งของดิน ลงในขวดไวอัลจำนวน 12 ขวด
3. เติมตัวอย่างน้ำได้ดินสังเคราะห์ที่มีเบนซีนผสมอยู่ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วรีบปิดทันทีเพื่อป้องกันการระเหย โดยมีหลอดควบคุมที่เติมเฉพาะตัวอย่างน้ำได้ดินสังเคราะห์ที่มีเบนซีนผสมเพียงอย่างเดียวรวมอยู่ด้วย เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมในการทดลอง
4. นำขวดไวอัลใส่ในเครื่องเขย่าโดยตั้งความเร็วรอบที่ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

5. เก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดไว้อัลขนาด 10 มิลลิลิตร โดยใส่โซเดียมคลอไรด์รักษาสภาพ และเก็บแช่ตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส
6. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณเบนซีนโดยวิธีการเทคนิคเฮดสเปซด้วยเครื่องแกสโครมาโตกราฟฟี
7. นำผลที่ได้มาคำนวณหาไอโซเทอมของการดูดซับของเบนซีนบนผิวดิน

3.4.4 การทดลองเพื่อหาความสามารถในการปรับสภาพ และอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในดิน

1. เตรียมสารอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารตามตารางที่ 3.3
2. ชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ใส่ขวดไว้อัลขนาด 120 มิลลิลิตร โดยมีชุดทดลองที่ใช้ตัวอย่างดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็นตัวควบคุมในการทดลอง
3. เติมหาอาหารเลี้ยงเชื้อลงในขวดเป็นปริมาณ 30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1 วัน
4. เติมน้ำมันที่มีความเข้มข้น 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด โดยเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดไว้อัล 10 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมคลอไรด์รักษาสภาพ และเก็บแช่ตู้เย็นที่ 4°C
6. นำตัวอย่างไปหาปริมาณเบนซีนโดยวิธีการเทคนิคเฮดสเปซด้วยเครื่องแกสโครมาโตกราฟฟี
7. นำผลที่ได้วิเคราะห์หาความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของสารอาหารเลี้ยงเชื้อ (Misra, 1993)

ชื่อสารเคมี	สูตรทางเคมี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แอมโมเนียมซัลเฟต	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2,380
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	KH_2PO_4	1,360
โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,420
โพแทสเซียมไนเตรด	KNO_3	500
แมกนีเซียมซัลเฟต	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	50
แคลเซียมคลอไรด์	CaCl_2	10
บอริกแอซิด	H_2BO_3	2.86
แมงกานีสซัลเฟต	MnSO_4	1.54
เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต	$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3.53
คอปเปอร์ซัลเฟต	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.039
ซิงค์คลอไรด์	ZnCl_2	0.021
โคบอลต์คลอไรด์	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.041
แอมโมเนียมโมลิบดินัมออกไซด์	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.025

3.4.5 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient) ของดิน

การทดลองเป็นแบบจำลองแบบคอลัมน์ (column test) โดยคอลัมน์ทำด้วยเทฟลอนบรรจุตัวอย่างดินดังรูปที่ 3.1 และทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1. น้ำจะถูกปั๊มผ่านคอลัมน์ดินแบบไหลขึ้น (up flow) โดยควบคุมอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จนดินในคอลัมน์อิ่มตัวด้วยน้ำ
2. ป้อนสารละลายโบรไมด์เข้าสู่คอลัมน์ดิน ตามการไหลของน้ำด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
3. เก็บน้ำที่ทางออกตามช่วงเวลาที่เหมาะสมไปวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายโบรไมด์ที่ผ่านคอลัมน์ออกมาที่เวลาต่าง ๆ จนค่าความเข้มข้นออกของสารละลายโบรไมด์มีค่าเท่ากับความเข้มข้นที่เข้า

4. ป้อนน้ำปราศจากแร่ธาตุ (DI water) ด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
5. นำข้อมูลมาพล็อต C/Co และ V/Vo และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient)

3.4.6 การทดลองแบบคอลัมน์ (Column Test)

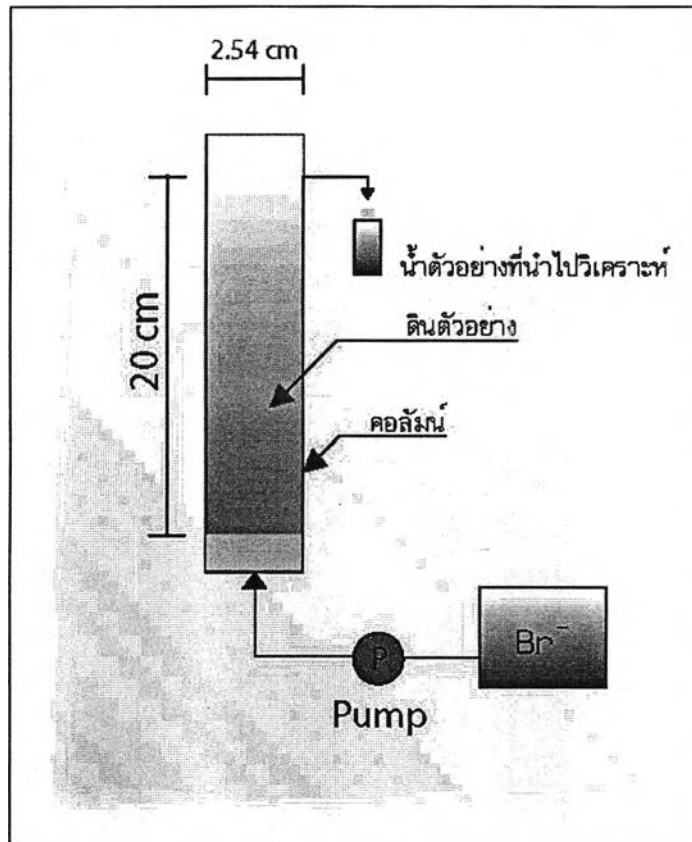
1. ใช้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำที่ปนเปื้อนด้วยเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผ่านคอลัมน์ดินด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3.2
2. เก็บน้ำที่ทางออกไปวิเคราะห์หาค่าเบนซีนที่เวลาต่างๆ
3. นำข้อมูลมาพล็อตค่า C/Co กับ เวลา เพื่อหา Breakthrough Curve
4. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากข้อ 3.4.7

3.4.7 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

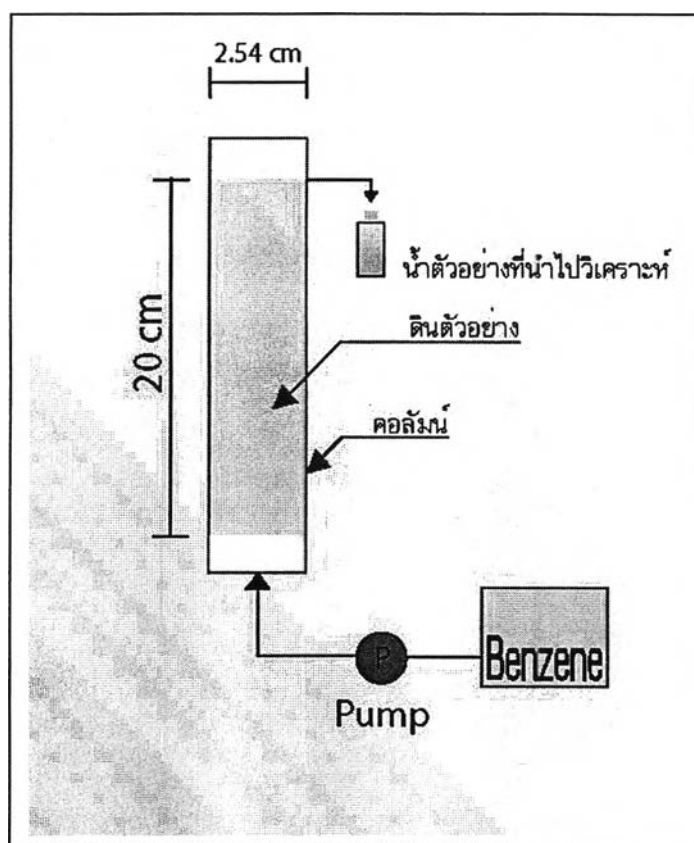
เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.4.5 โดยใช้โปรแกรม STANMOD\CFITIM และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดินในหัวข้อ 3.4.6 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ STANMOD\CXFIT\Direct problem

โปรแกรม CXFIT เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์และปรับปรุงโดย Parker และ van Genuchten ใช้ทำนายการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งสมมติฐานของโปรแกรม คือ

1. ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบสมดุล (Equilibrium transport)
2. ดินตัวกลางมีคุณสมบัติเหมือนกันและมีเนื้อเดียวกัน
3. พิจารณาเฉพาะการไหลผ่านตัวกลางอัดตัว
4. การไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state flow) และเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ
5. สมการที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็นแบบการพาและแพร่กระจายในหนึ่งมิติ (Convection-Dispersion Equation; CDE)



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์