บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินที่จะนำมาใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของสารหนูจากดินสู่อากาศในรูปของฝุ่นละอองโดยอาศัยหลักกลวรดูดซับและการตกตะกอนเป็นหลัก จึงทำการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนการผสมระหว่างวัสดุคลุมดินกับดินที่มีการปนเปื้อนสารหนูที่เหมาะสม โดยการทดลองแบบกะ และการทดลองแบบต่อเนื่องเพื่อหาความสามารถในการดูดซับ โดยมีวัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย วัสดุที่นำมาใช้คลุมดินเหมืองแร่ ตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนของสารหนูและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 วัสดุที่นำมาใช้คลุมดินที่ปนเปื้อนสารหนู

1) ดินลูกรัง จากบ่อกำนันขวด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

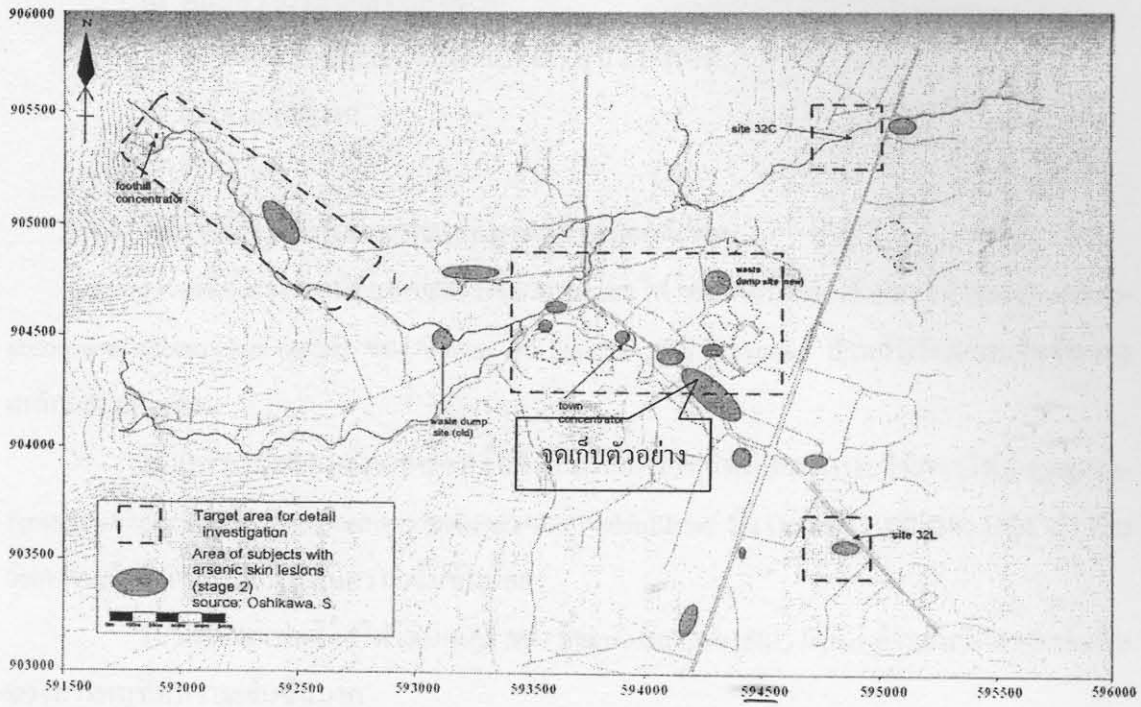
2) หินปูนฝุ่น จากเหมืองหินผาทองของห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

3) ปูนขาว จากอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

4) เถ้าลอย จากเตาเผาขยะจังหวัดภูเก็ต

2.1.2 ตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู นำมาจากบริเวณโรงแต่งแร่เก่าตรงข้ามศาลเจ้า 108 อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังภาพประกอบที่ 2-1

2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง อยู่ในระดับคุณภาพวิเคราะห์ (AR-grade)



ภาพประกอบที่ 2-1 พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนู

ที่มา: JICA, 1999

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบดตัวอย่างดิน ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูและวัสดุคลุมดินมีดังนี้คือ

1) โกร่งบดดิน
2) ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร
3) ภาชนะสำหรับเก็บตัวอย่างดิน

2.2.2 อุปกรณ์สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมี

1) เครื่องมือวัดความเป็นกรดเป็นด่าง(pH meter WTW รุ่น pH 526)
2) เครื่องเขย่า (Heidolph Promax 2020)
3) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sorvoll Super T21)
4) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo)

5) เตาไฟฟ้า

6) ตู้อบความร้อน(drying oven)

7) เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า(WTW รุ่น LF 323)

8) เครื่องแก้วต่างๆ

2.2.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารหนู เหล็ก และแคลเซียม

1) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบใช้เปลวไฟ (flame atomic-absorption spectrophotometer) ของ Varian รุ่น Spectra 220, Australia สำหรับวัดความเข้มข้นของเหล็กและแคลเซียม

2) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบใช้กราไฟต์ (graphite-furnace atomic absorption spectrophotometer) ของ PerkinElmer รุ่น Optima 2000 DV, USA สำหรับวัดความเข้มข้นของสารหนูที่มีความเข้มข้นน้อย

3) เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ของ Shimudzu UV-1601, Japan สำหรับวัดความเข้มข้นของสารหนูที่มีความเข้มข้นมาก

2.2.4 อุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์

1) คอลัมน์พีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความยาว 11.5 เซนติเมตร

2) สายลม

3) ปั๊มลม

4) กระบอกตวง

5) โอริง

6) แผ่น Geo-textile

2.3 ขอบเขตและวิธีการวิจัย

2.3.1 ขอบเขตการวิจัย

2.3.1.1 เก็บตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนสารหนูและวัสดุที่จะนำมาใช้คลุมดินจากพื้นที่บริเวณอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ยกเว้นเถ้าลอยที่นำมาจาก เตาเผาขยะภูเก็ต

2.3.1.2 ศึกษาสมบัติของดินที่มีการปนเปื้อนของสารหนู และวัสดุที่จะนำมาใช้คลุมดินดังนี้

1) ปริมาณสารหนู

2) ปริมาณเหล็ก

3) ปริมาณแคลเซียม

4) ค่าการนำไฟฟ้า

5) ค่าพีเอช

6) ปริมาณอินทรียวัตถุ

2.3.1.3 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุดลุมดิน เพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุดลุมดินทั้ง 4 ชนิดในการดูดซับสารหนู ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกวัสดุดลุมดินที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสองชนิดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2.3.1.4 ศึกษาระยะเวลาสัมผัสเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับสารหนู ของวัสดุดลุมดินสองชนิดที่คัดเลือกได้ในสารละลายพีเอช 4, 7 และ 12

2.3.1.5 ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารหนูบนวัสดุดลุมดิน ในสารละลายพีเอช 4, 7 และ12 โดยพิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับ (adsorption isotherm) และค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

2.3.1.6 ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุดลุมดินจากคอลัมน์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู โดยพิจารณาความเข้มข้นของสารหนูที่เหลืออยู่ เพื่อคัดเลือกวัสดุดลุมดินที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับสารหนู

2.3.2 วิธีการวิจัย

สำหรับการทดลองจะแบ่งเป็น 1) การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน 2) การทดลองแบบกะ (batch adsorption test) เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูของวัสดุดลุมดินทั้ง 4 ชนิด และหาเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุล ตลอดจนไอโซเทอมของการดูดซับและ 3) การทดลองแบบต่อเนื่อง (column leaching test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่ละลายในน้ำผ่านชั้นดินที่ต้องการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุดลุมดินในการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน โดยการศึกษามีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.3.2.1 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินที่มีสารหนูปนเปื้อนมาจากบริเวณโรงแต่งแร่เก่าตรงข้ามศาลเจ้า 108 อำเภอร่อนพิบูลย์ และดินลูกรังจากบ่อกำนันขวด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบ composite samples จากผิวดินจนถึงที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรและเก็บเถ้าลอยมาจากเตาเผาขยะจังหวัดภูเก็ต นำตัวอย่างดินเหมืองแร่และดินลูกรังมาผึ่งลมจนแห้ง ส่วนหินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอยนำไปอบที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำตัวอย่างมาบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บส่วนที่ผ่าน

ฝ่ายหอสมุด

ตะแกรง ไว้ในภาชนะ polyethylene เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและนำไปวิเคราะห์พีเอช (ดิน : น้ำ = 1:5), ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน : น้ำ = 1:5), ปริมารสารอินทรีย์ (Walkley & Black Method), ปริมาณสารหนูทั้งหมด สกัดโดยใช้ (1+1) HNO_3 : (1+4) HCl เท่ากับ 4 : 10 แล้วนำไป reflux ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วย graphite furnace atomic absorption spectrophotometer (GFASS) ของ PerkinElmer รุ่น Optima 2000 DV, USA (Creed *et al.*, 1994) ปริมาณเหล็กทั้งหมดและปริมาณแคลเซียมทั้งหมดวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ method of soil analysis โดยใช้ flame atomic absorption spectrophotometer (FAAS) ของ Varian รุ่น Spectra 220, Australia (Klute, 1986 and Page *et al.*, 1982)

2.3.2.2 การทดลองแบบกะ (batch adsorption test)

เป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูของวัสดุคลุมดินทั้ง 4 ชนิด และหาเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุล ตลอดจนไอโซเทอมของการดูดซับ

1) การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุคลุมดิน

การวางแผนการทดลองจะใช้ ดังตารางที่ 2-1 และกำหนดให้อัตราส่วนการผสมระหว่างวัสดุคลุมดินแต่ละชนิด และดินเหมืองแร่เป็นดังนี้คือ 2, 4, 6, 8 และ10 (% w/w) แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water) 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 48 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C นำน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณเหล็ก ปริมาณแคลเซียม และ ปริมาณสารหนู เพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินทั้ง 4 ชนิดในการดูดซับสารหนู ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกวัสดุคลุมดินที่มีประสิทธิภาพสองชนิดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 2-1 การวางแผนการทดลอง

ชุดทดลองที่	วิธีทดลอง
1	ดินเหมืองแร่ 25 กรัม + น้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล.
2	(ดินลูกรัง+ ดินเหมืองแร่)* 25 กรัม + น้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล.
3	(หินปูนฝุ่น + ดินเหมืองแร่)* 25 กรัม + น้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล.
4	(ปูนขาว + ดินเหมืองแร่)* 25 กรัม + น้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล.
5	(เถ้าลอย+ ดินเหมืองแร่)* 25 กรัม + น้ำกลั่นปราศจากไอออน 100 มล.

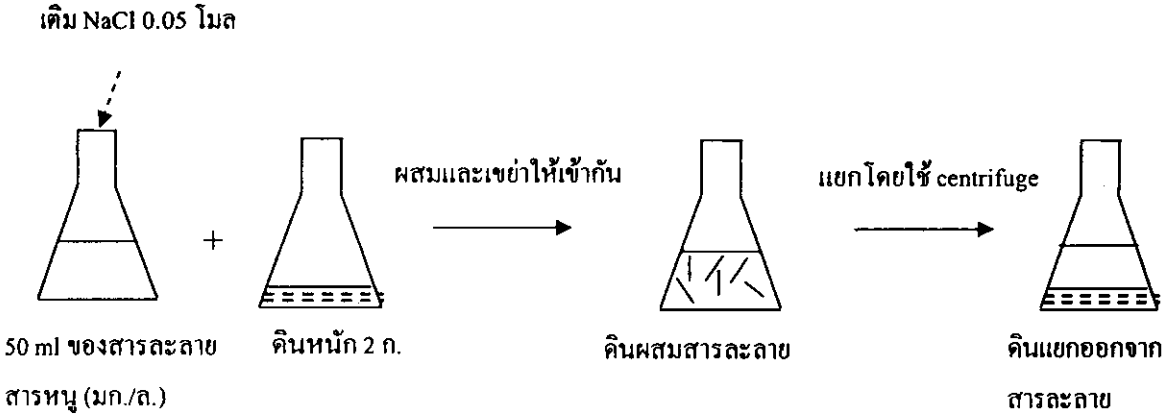
หมายเหตุ * คือ อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุคลุมดินแต่ละชนิดและดินเหมืองแร่แต่ละชุดการทดลอง มีดังนี้ 2, 4, 6, 8 และ 10 (% w/w)

2) การศึกษาระยะเวลาสัมผัสเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับสารหนู

จากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนูบนวัสดุดุลมดินชนิดต่าง ๆ ทำให้ทราบประสิทธิภาพของวัสดุดุลมดิน 2 ชนิด ที่สามารถดูดซับสารหนูได้สูง ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงใช้วัสดุดุลมดินเพียง 2 ชนิดที่สามารถดูดซับสารหนูได้สูงมาทำการศึกษา โดยจะใช้ปริมาณวัสดุดุลมดิน 2 กรัมต่อสารละลายสารหนู 50 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นของสารละลายสารหนู ($Na_2HAsO_4.7H_2O$) เท่ากับ 100 มิลลิกรัมสารหนูต่อลิตร) และเติม NaCl 0.05 โมล เพิ่ม ionic strength เพื่อทำให้สารละลายที่ใช้ทดลองมีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำที่อยู่ในช่องว่างของเม็ดดินตามธรรมชาติ (Mopoung and Thavornyutikarn, 2004) และทำการทดลองที่ พีเอช 4, 7 และ 12 ($\pm$0.05) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปเขย่าภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดไว้ เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 - 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่เขย่าแล้วไปทำการเหวี่ยงที่ความเร็ว 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที (Pierce and Moore, 1980) ดังภาพประกอบที่ 2-2 และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูโดยวิธี colourimetry molybdenum blue (Johnson and Pilson, 1972)

3) การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนูบนวัสดุดุลมดิน

ใช้ปริมาณวัสดุดุลมดิน 2 กรัมต่อสารละลายสารหนู 50 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายสารหนู ($Na_2HAsO_4.7H_2O$) เริ่มต้นเท่ากับ 25, 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมสารหนูต่อลิตร ทำการทดลองที่ พีเอช 4, 7 และ 12 ($\pm$0.05) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปเขย่าภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่เขย่าแล้วไปทำการเหวี่ยงที่ความเร็ว 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูโดยวิธี colourimetry molybdenum blue (Johnson and Pilson, 1972)



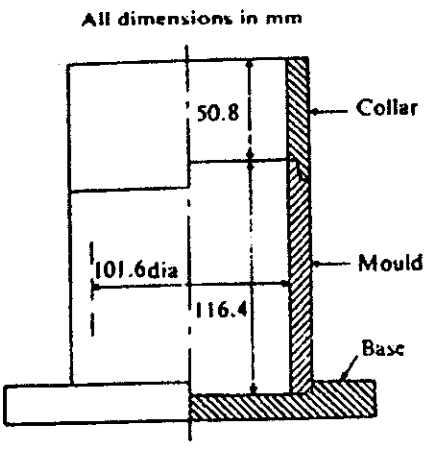
ภาพประกอบที่ 2-2 การทดลองแบบกะ (batch adsorption test)

2.3.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุดลุมดินโดยการทดลองแบบต่อเนื่อง (column leaching test)

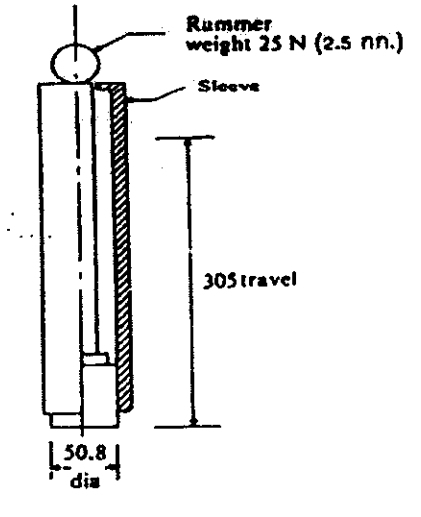
column leaching test เป็นการทดลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่ละลายในน้ำผ่านชั้นดินที่มีขนาดเม็ดดินเล็ก โดยหลักการจะใช้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนมาไหลซึมผ่านลงไปในดินที่ผ่านการบดอัดแล้วที่อยู่ใน permeameter จากนั้นนำน้ำที่ไหลออกมาที่ท้ายน้ำไปหาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เคลื่อนที่ผ่านมา ณ เวลาต่าง ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการบดอัดดินตามการทดสอบแบบมาตรฐาน (standard proctor compaction test) ก่อนการทดลองเพื่อให้ดินในแต่ละซ้ำและในแต่ละชุดการทดลอง (treatment) มีความหนาแน่นและการให้น้ำซึมผ่านได้ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน

1) การบดอัดดิน

จะใช้ mold โลหะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร สูง 116.4 มิลลิเมตร ปริมาตรเท่ากับ 944 เซนติเมตร ซึ่งสามารถยึดติดกับฐานได้และมีปลอกสูง 50.8 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบที่ 2.3 สำหรับ rammer ซึ่งเป็นโลหะหนัก 2.5 กิโลกรัม มีเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด 50.8 มิลลิเมตร ระยะตกกระแทก 305 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบที่ 2-4



ภาพประกอบที่ 2-3 Proctor mold



ภาพประกอบที่ 2-4 Rammer

วิธีการทดสอบ จะนำดินที่ผ่านการผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วมาผสมน้ำจำนวนหนึ่ง แล้วกระทุ้งใน mold ด้วย rammer โดยแบ่งดินเป็น 3 ชั้น

เท่าๆ กันโดยประมาณ แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง แล้วปาดผิวดินให้เรียบเสมอขอบ mold จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนัก และคำนวณหาความหนาแน่นเปียก (wet density) ได้จากสูตร $p_{wet} = \frac{M}{V}$ และนำดินส่วนหนึ่งไปหาปริมาณความชื้น (w) ก็จะคำนวณหาความหนาแน่นแห้ง (dry density) ได้จากสูตร $p_d = \frac{p_{wet}}{1+w}$

โดยกำหนดให้ p_{wet} = ความหนาแน่นเปียก

p_d = ความหนาแน่นแห้ง

M = มวลของดินทั้งหมด

V = ปริมาตรของดินทั้งหมด

w = น้ำหนักของน้ำ / น้ำหนักของดิน

ทำเช่นเดียวกันนี้ประมาณ 6 ครั้ง โดยแต่ละครั้งเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อยๆ ก็จะได้ค่าความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินชุดหนึ่ง นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดิน เรียกว่า compaction curve ที่จุดยอดของ curve จะเรียกว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (max dry density) ณ จุดนี้ความหนาแน่นแห้งของดินสูงสุด จะทำให้น้ำซึมผ่านช้าที่สุด และความชื้นที่จุดความหนาแน่นแห้งสูงสุดนี้ เรียกว่า ความชื้นที่เหมาะสม (optimum moisture content) ซึ่งค่าความชื้น ณ จุดนี้จะนำไปใช้บดอัดดินในชุดการทดลองด้วย column leaching test ต่อไป

2) การทดลองหาอัตราไหลของการซึมผ่านของน้ำและการชะละลาย

หลังจากทำการบดอัดดินทั้ง 3 ชุดตัวอย่าง (treatment)ซึ่งประกอบไปด้วย T1 คือดินปนเปื้อนสารหนู T2 คือดินปนเปื้อนสารหนูผสมกับดินลูกรัง 20% w/w และT3 คือดินปนเปื้อนสารหนูผสมเถ้าลอย 10% w/w แล้วนำมาประกอบเป็นชุด column leaching test ดังภาพประกอบที่ 2-5 สำหรับหาอัตราไหลของการซึมผ่านของน้ำในคอลัมน์ เพื่อหาค่าคงที่ด้วยวิธี constant head test method ASTM (D2434) และการชะละลายด้วยการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยใช้ดินที่ปนเปื้อนสารหนูที่ผสมกับวัสดุคลุมดินและผ่านการบดอัดแล้วมา บรรจุลงในท่อพีวีซีแต่ละท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 เซนติเมตร ยาว 11.5 เซนติเมตร ดังภาพประกอบที่ 2-6 หลังจากนั้นทำการให้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนโดยในการทดลองนี้จะใช้ deionized water และ K_2SO_4 0.05 โมล เพื่อเปรียบเทียบการชะละลายของสารหนูในดินที่มีการปนเปื้อนของสารหนู การใช้ K_2SO_4 มาชะละลายเนื่องจาก เมื่อแร่อาร์เซโนไพไรต์หรือแร่อื่นๆ ที่มีซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ หากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้มีไอออนของ SO_4^{-2} ออกมา และSO_4^{-2} นี้เองเป็นไอออนที่ส่งเสริมให้สารหนูเกิดการปนเปื้อนไปสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้มากขึ้นเนื่องจากจะไป

แข่งขันกับ AsO_4^{-3} ในการทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเพื่อตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ (Ana and Virginia, 2004) จากนั้นให้สารละลาย ไหลผ่านแต่ละ คอลัมน์โดยใช้ปั๊มกำหนดอัตราการไหลซึมผ่านของน้ำให้เท่ากันทุกคอลัมน์ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำ (leachate) ที่ปลายของคอลัมน์ ตามเวลาที่กำหนดไว้คือ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 และ66 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีดังนี้คือ พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณเหล็ก ปริมาณแคลเซียม และ ปริมาณสารหนู เพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุดลุมดินในการดูดซับสารหนู

2.3.3 เปรียบเทียบข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุดลุมดินในแต่ละสิ่งทดลองและประเมินความสามารถของชั้นวัสดุดลุมดินชนิดต่างๆ ในการป้องกันการแพร่กระจายของสารหนูตามแนวดิ่ง

2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

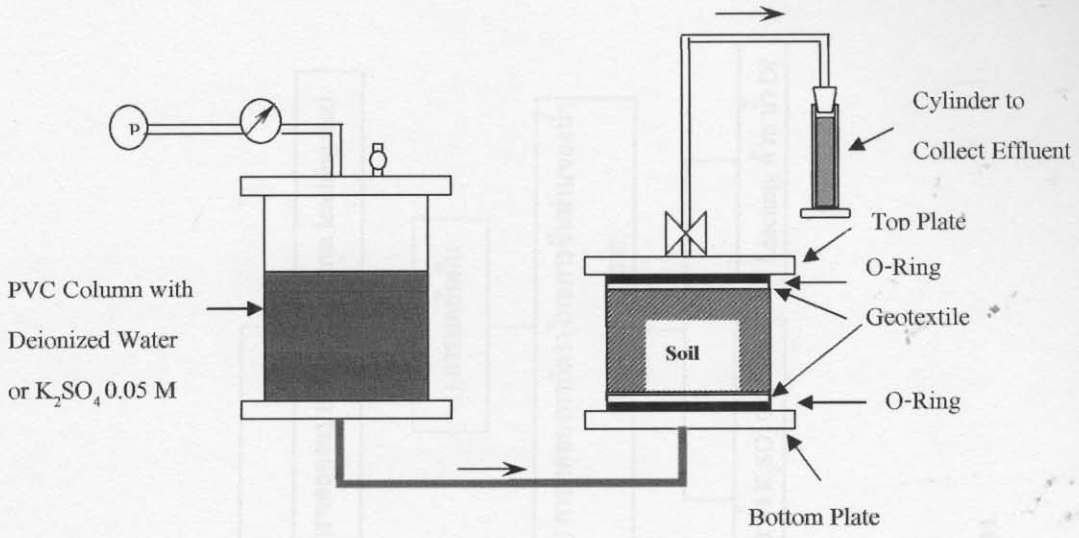
สำหรับสถิติที่นำมาใช้ในการแปลผลข้อมูลในครั้งนี้จะใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient:r) จากนั้นทำการแปลผลข้อมูลหาความสัมพันธ์ของข้อมูล วิจารณ์ผลและสรุปผลการทดลอง แล้วจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient:r) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งสหสัมพันธ์จะมี2 แบบ คือสหสัมพันธ์ทางบวก (positive correlation) หมายถึง เมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อีกตัวแปรมีค่าเพิ่มขึ้นตามและสหสัมพันธ์ทางลบ (nagative correlation) หมายถึง เมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อีกตัวแปรจะมีค่าลดลง

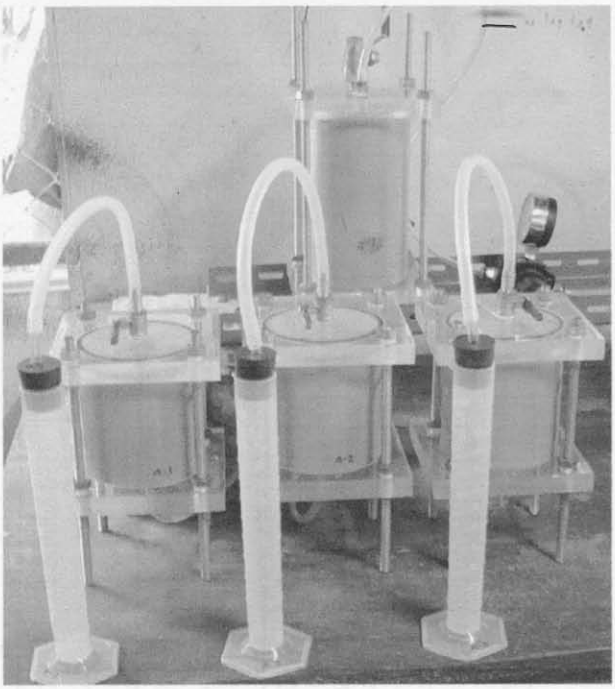
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัววัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในเชิงเส้นตรง ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงระดับความสัมพันธ์ว่ามากหรือน้อย ซึ่งคือการเกาะกลุ่มของจุดรอบๆ แนวเส้นตรงว่าใกล้ชิด หรือกระจายห่างจากเส้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าระหว่าง 1 ถึง - 1สัญลักษณ์แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ r เมื่อรวบรวมข้อมูลของตัวแปร x และ y มาจำนวน n คู่คือ (x1, y1), (x2, y2), ..., (xn, yn) ก็จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากข้อมูลตามสูตร ดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

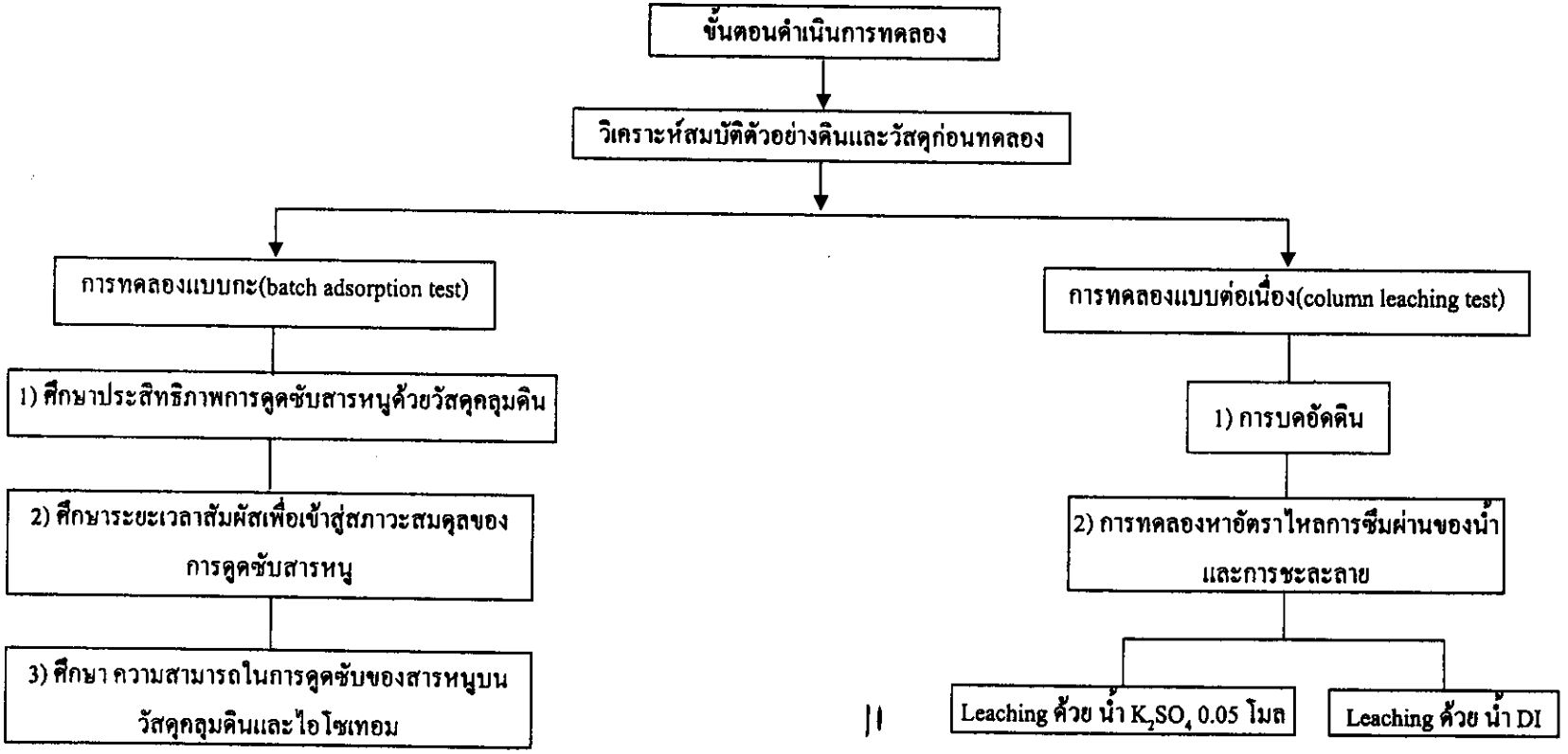
ค่า r จะเป็นดัชนีแสดงระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง หรือการเกาะกลุ่มของจุดรอบแนวเส้นตรงเท่านั้น กรณีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงไม่เหมาะสมที่จะใช้ r นั่นคือ ค่า r จะน่าเชื่อถือและแสดงระดับความสัมพันธ์ได้ ก็ต่อเมื่อลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง



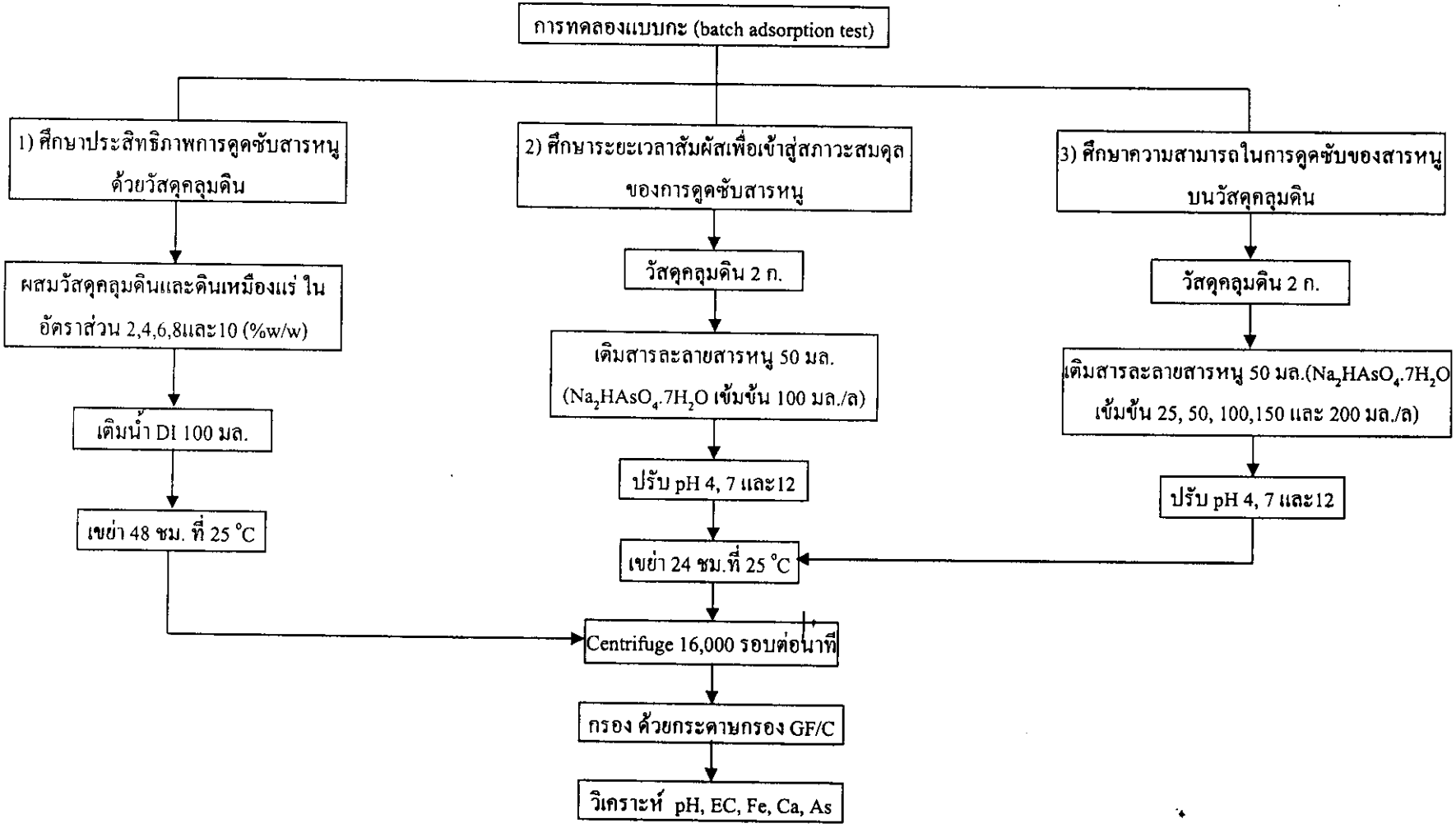
ภาพประกอบที่ 2-5 Column Leaching Test (Constant Head Test)



ภาพประกอบที่ 2-6 แสดงชุดการทดลอง Column Leaching Test



ภาพประกอบที่ 2-7 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง



ภาพประกอบที่ 2-8 ขั้นตอนดำเนินการทดลองแบบกะ