

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

การศึกษาความเหมาะสมของดิน 3 ชนิด ประกอบด้วย ทรายผสมเบนโทไนต์ ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะยอ เพื่อใช้เป็นชั้นกันซึมของสถานที่ฝังกลบมูลฝอย สามารถแบ่งวิธีการดำเนินการศึกษาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน (ภาพประกอบที่ 3.1) โดยขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบสควมภ์และอุปกรณ์ทดสอบหาค่า K ขั้นตอนที่สองคือ การหาคุณสมบัติของดินทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของดิน การแลกเปลี่ยนประจุในดิน และแร่ธาตุในดิน ขั้นตอนที่สามเป็นการหาค่า K ทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียว ขั้นตอนที่ดีเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน (ภาพประกอบที่ 3.2) คือ การทดสอบแบบแบทช์ การทดสอบแบบสควมภ์เพื่อหาค่า K, R และ D และการทดสอบความต้านทานสารเคมีของค่า K ของดิน เมื่อทดสอบดินทั้ง 3 ชนิดกับโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยวิธี Falling head test และ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการออกแบบชั้นกันซึม โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการศึกษาทั้งหมดดังนี้

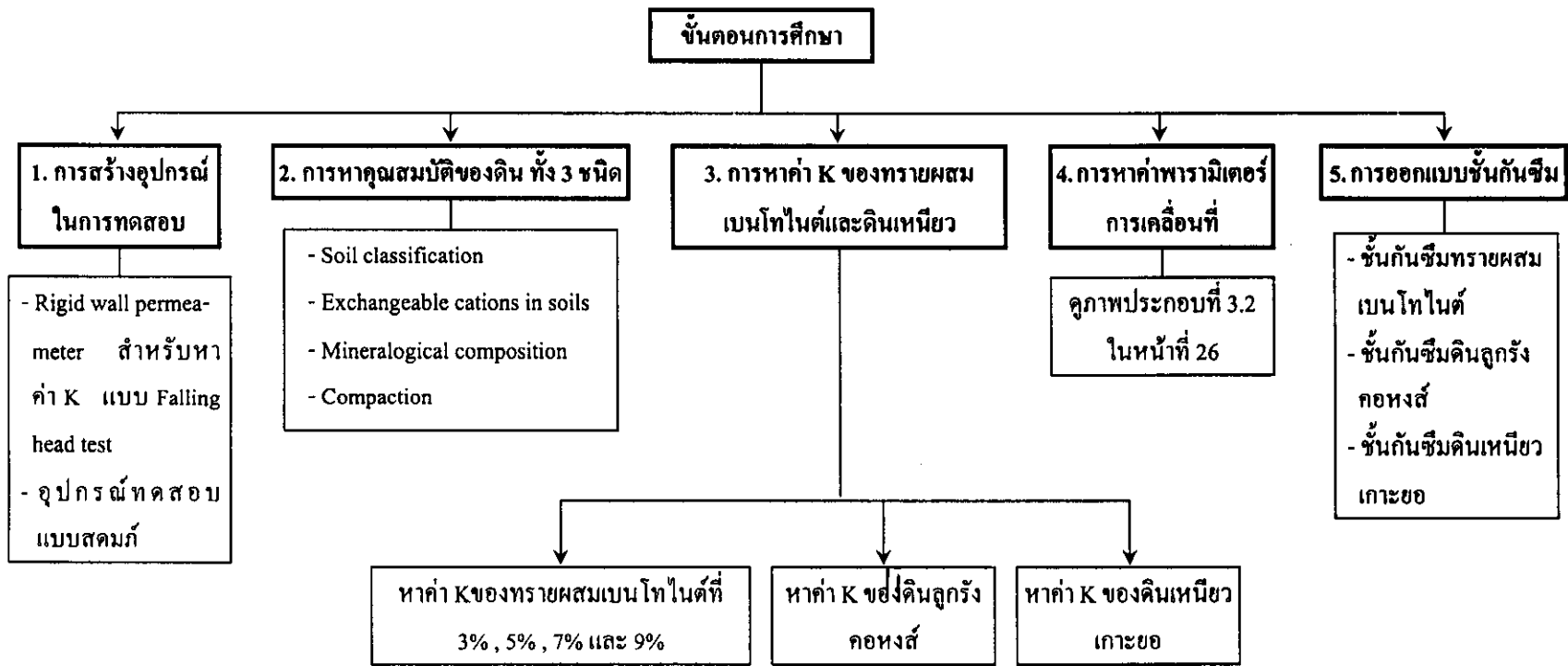
### 3.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

การสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ มี 2 ชุดอุปกรณ์ คือ Rigid wall permeameter สำหรับการทดลองหาค่า K และ อุปกรณ์ทดสอบสควมภ์สำหรับการทดสอบการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

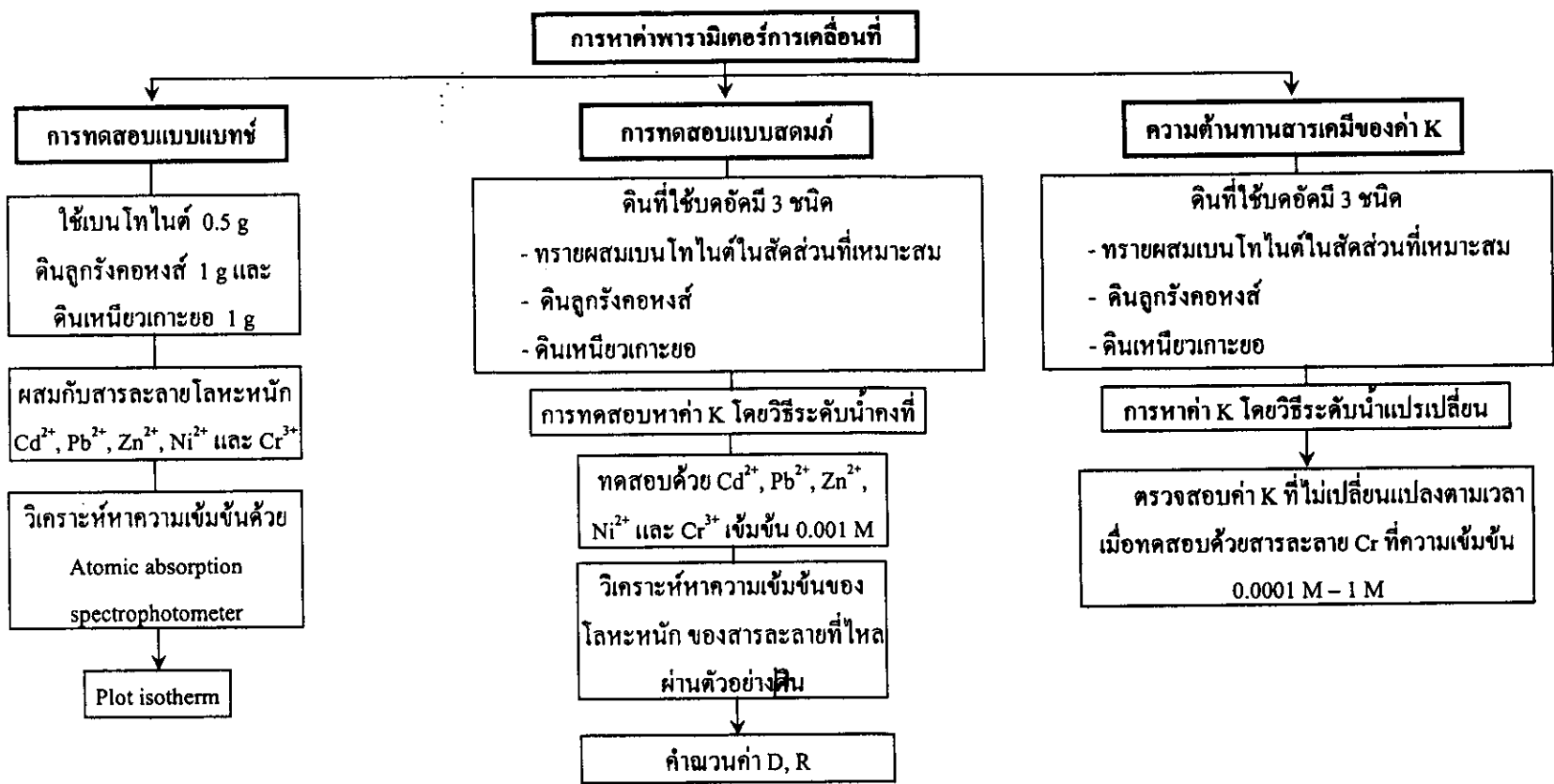
#### 3.1.1 การสร้าง Rigid wall permeameter

##### (a) ส่วนประกอบของ Rigid wall permeameter

Rigid wall permeameter ประกอบด้วย Mold สแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.25 cm จำนวน 2 ชั้น โดย ชั้นแรก มีความสูงประมาณ 11.5 cm สำหรับใส่ดินที่บดอัดและ ชั้นที่สองมีความสูงประมาณ 5.5-5.7 cm สำหรับใส่สารละลาย, O - ring จำนวน 2 อัน, วัสดุกรอง (Geotextile) 1 แผ่น, ฐานด้านล่างและบนของ Mold ทำจากแผ่นสแตนเลสที่เจาะรูทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นที่อยู่ด้านล่างเจาะตรงกลางเพื่อใส่หางปลาทองเหลือง 1 ตัว เพื่อให้ให้น้ำเข้าหรือออก และแผ่นที่เป็นฐานด้านบนเจาะรู 2 รู สำหรับใส่หัววาล์วทองเหลืองและหางปลาทองเหลือง, แท่งเหล็กสำหรับยึด 4 อัน พร้อมน็อตยึด 8 ตัว, สายยางและท่อแก้ว Standpipe ขนาด 0.28 cm<sup>2</sup> ยาวประมาณ 220 cm



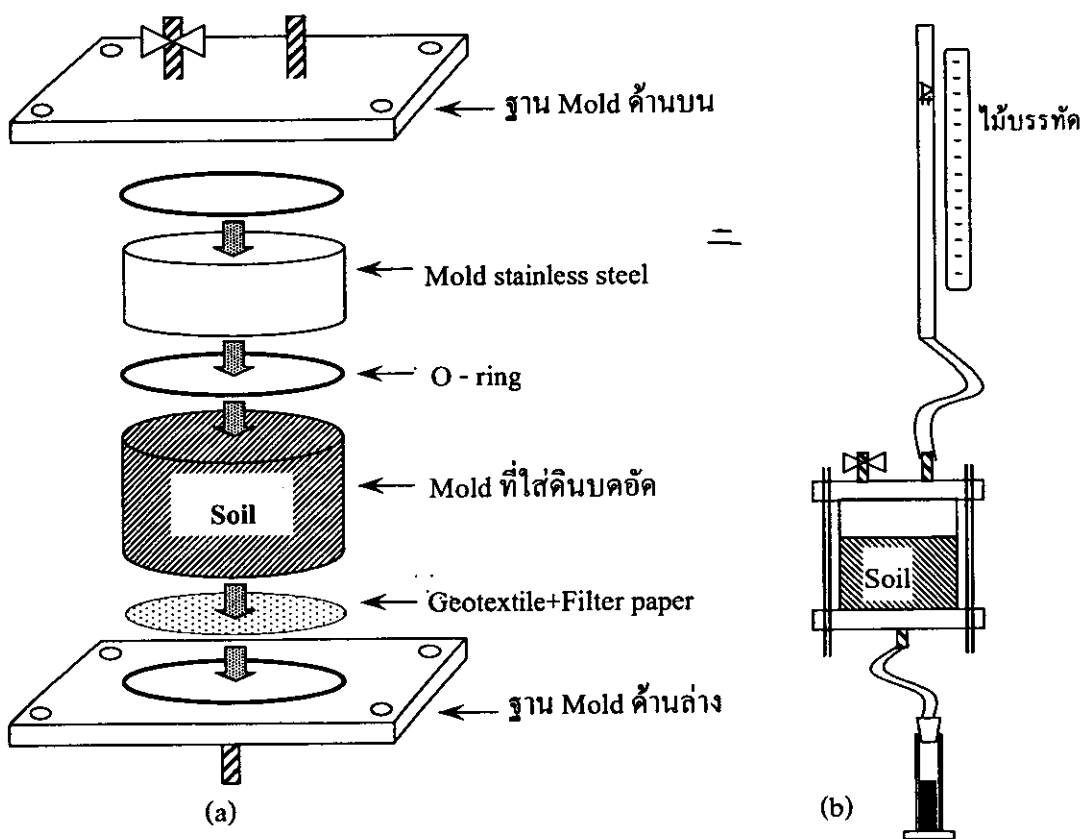
ภาพประกอบที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)

## (b) การประกอบ Rigid wall permeameter

การประกอบ (ภาพประกอบที่ 3.3) จะเริ่มประกอบจากด้านล่างโดยยึดฐานสแตนเลสกับเสาเหล็ก ทั้ง 4 มุม ด้วยน็อตยึด วาง O - ring 1 อัน บนฐานสแตนเลสที่กลึงแล้ว จากนั้นวาง Geotextile 1 แผ่น วาง Mold ขึ้นสำหรับใส่ดิน และวาง Mold เปล่าสำหรับใส่สารละลายไว้ด้านบน แล้วจึงวาง O - ring อีก 1 ชิ้นบนปาก Mold ด้านบน และวางฐานปิดด้านบนยึดด้วยน็อต 4 ตัว (ภาพประกอบที่ 3.3 a) ต่อปลายสายยาง Latex ด้านหนึ่งเข้ากับหางปลาทองเหลืองที่ฐานด้านบน และปลายสายยางอีกด้านเข้ากับท่อ Standpipe ด้านล่าง ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.3 b) จากนั้นต่อสายยาง Latex อีกเส้นหนึ่งจากฐาน Mold ด้านล่างสำหรับรองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน เข้าสู่ภาชนะรองรับ (กระบอกตวงหรือบีกเกอร์)



ภาพประกอบที่ 3.3 ลำดับการประกอบอุปกรณ์ Rigid wall permeameter สำหรับ Falling head test

### 3.1.2 การสร้างอุปกรณ์การทดสอบแบบสคมภ์พร้อมระบบเพิ่มความดันแบบความดันคงที่

#### (a) ส่วนประกอบของอุปกรณ์

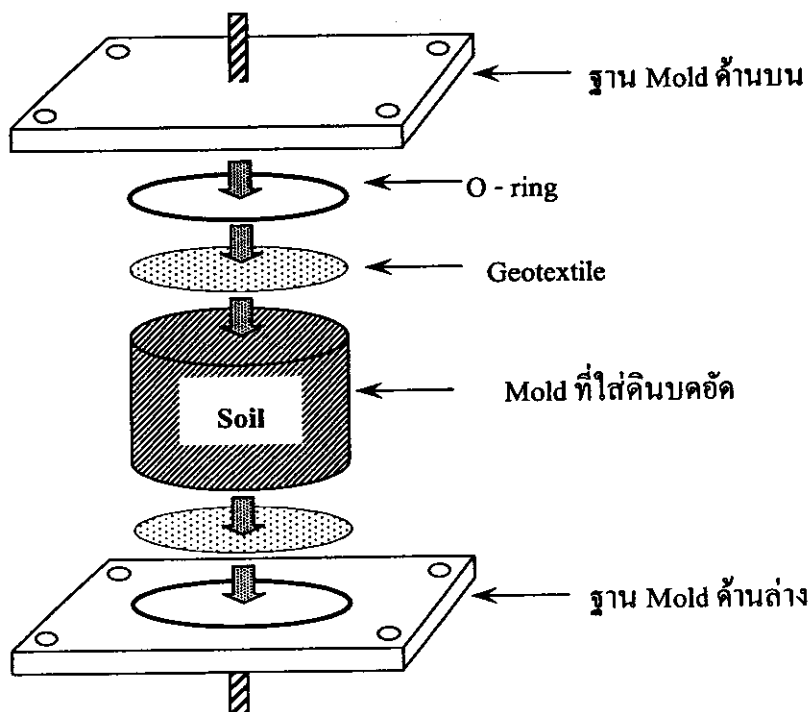
อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบสคมภ์ ประกอบด้วย ชุด Mold สแตนเลส สำหรับใส่ดินบดอัด และชุด Mold สำหรับใส่สารละลาย Mold ใส่ดินบดอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.25 cm ความสูง 5.5-5.7 cm ส่วนฐานใส่ Mold เป็นแผ่นอะคลิลิกหนา 2 cm ขนาด 6 x 6 นิ้ว ทำการเจาะรูฐานทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น แต่ละแผ่นเจาะรูตรงกลางเพื่อใส่หัวต่อสายยางแผ่นละ 1 ตัว, ชุด Mold สำหรับใส่สารละลาย ประกอบด้วย Mold และฐานที่ทำจากอะคลิลิก โดย Mold มีความหนา 0.5 cm มีความสูงประมาณ 13.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 cm ส่วนฐานใส่ Mold ใช้แผ่นอะคลิลิกหนา 2 cm ขนาด 6 x 6 นิ้ว ทำการเจาะรูฐานทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นที่อยู่ด้านล่าง จะเจาะรูตรงกลางเพื่อใส่หัวต่อสายยาง 1 รู ส่วนแผ่นที่อยู่ด้านบนเจาะรูตรงกลาง 2 รู เพื่อใส่หัวต่อสายยางจากปั๊มลม และวาล์วสำหรับเติมสารละลาย, O - ring 2 อัน, Geotextile 5 แผ่น, แท่งเหล็กสำหรับยึดฐานและ Mold เข้าไปด้วยกัน 4 อัน พร้อมน็อตยึด 8 ตัว

#### (b) การประกอบอุปกรณ์การทดสอบแบบสคมภ์ มีรายละเอียดดังนี้

การประกอบชุด Mold สแตนเลส สำหรับใส่ดินที่ถูกบดอัด จะเริ่มประกอบจากด้านล่างโดยยึดฐานสแตนเลสกับเสาเหล็ก ทั้ง 4 มุม ด้วยน็อตยึด วาง O - ring 1 อัน บนฐานสแตนเลสที่กลิ้งแล้ว จากนั้นวาง Geotextile 1 แผ่น วาง Mold สำหรับใส่ดิน วางเยื่อกรองปิดทับอีก 4 แผ่น ใส่ O - ring แล้ววางฐานปิดด้านบนยึดด้วยน็อต 4 ตัว (ภาพประกอบที่ 3.4)

การประกอบชุด Mold อะคลิลิก สำหรับใส่สารละลาย จะเริ่มจากการยึดฐานด้านล่างกับแท่งเหล็ก จากนั้นวาง O - ring และ Mold อะคลิลิก ปิดทับด้วยฐานด้านบนที่มี O - ring อีกครั้ง แล้วยึดด้วยน็อต 4 ตัวให้แน่น

ชุด Mold ที่ถูกประกอบแล้วทั้ง 2 จะถูกเชื่อมต่อระหว่างกันที่ด้านล่างด้วยสายยาง 1 เส้น ทำการต่อปลายสายยางอีกเส้นหนึ่งที่ฐานด้านบนของ Mold สแตนเลส ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับกระบอกตวงเพื่อรองรับสารละลายที่ออกมาจากตัวอย่างดิน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.4 สำหรับการต่อประกอบอุปกรณ์แบบสคมภ์กับปั๊มลม จะทำโดยต่อปลายสายยางด้านหนึ่งที่ปั๊มลม และต่อปลายสายยางอีกด้านที่ฐานด้านบนของชุด Mold อะคลิลิกที่ใส่สารละลาย โดยเมื่อทำการเปิดปั๊ม แรงดันลมจะไหลผ่านสายยางเข้าไปดันสารละลายที่อยู่ใน Mold อะคลิลิกให้ไหลเข้าสู่ตัวอย่างดินที่ถูกบดอัดอยู่ใน Mold สแตนเลส



ภาพประกอบที่ 3.4 ลำดับการประกอบอุปกรณ์เพื่อทดสอบแบบสดมภ์

### 3.2 การทดสอบหาคคุณสมบัติของเบนโทไนต์และดินเหนียว

ดินเหนียว ซึ่งประกอบด้วย ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะขย ถูกเก็บที่ความลึกจากผิวดินประมาณ 1.0 เมตร โดยดินลูกรังคอหงส์เป็นดินในบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ส่วนดินเหนียวเกาะขยเป็นดินจากชายฝั่งทะเลบริเวณ ต.เกาะขย อ.เมือง จ.สงขลา ดินทั้ง 2 ชนิดนี้ จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ  $105^{\circ}\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง ให้ดินแห้งแล้วเก็บไว้ทำการทดสอบในโถดูดความชื้น นำดินมาทำการหาค่าขีดความชื้นเหลวของดิน Atterberg limit ตามมาตรฐาน ASTM (D4318) ซึ่งได้แก่ ค่า LL และ PI และ Sieve analysis ตามมาตรฐาน ASTM (D422-63) เพื่อนำไปจำแนกประเภทของดิน (Soil classification), การหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด โดยใช้การบดอัด Standard Proctor Compaction, ASTM (D698), การทดสอบหา Exchangeable cation โดยวิธี AOAC Official Method 990.08 , การหา pH ,  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$  ซึ่งนอกจากนี้ยังวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในดินด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) และ X-ray diffraction (XRD) เบนโทไนต์ ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะขยที่ใช้ในการทดสอบได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3.5



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบที่ 3.5 ดินที่ใช้ในการทดสอบ (ก) เบนโทไนต์ (ข) ดินลูกรังคอหงส์ และ (ค) ดินเหนียวเกาะยอ

### 3.3 การหาค่า K ของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียว

#### 3.3.1 การหาค่า K ของทรายผสมเบนโทไนต์ มีรายละเอียดดังนี้

(a) คุณสมบัติของทรายที่ใช้ผสมเบนโทไนต์นั้น จะใช้ทรายก่อสร้างที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งเป็นทรายในท้องถิ่นจังหวัดสงขลา โดยทรายนี้นี้มีเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 6.5 มีค่า Coefficient of uniformity และ Coefficient of curvature เท่ากับ 11.7 และ 1.0 ตามลำดับ และส่วนที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 200 ไม่มีความเป็นพลาสติก ซึ่งสามารถจำแนกชนิดทรายโดยใช้ระบบ USCS ได้เป็น SW-SM

(b) การเตรียมตัวอย่าง ทำโดยนำทรายมาผสมกับเบนโทไนต์ โดยใช้เบนโทไนต์ในอัตราส่วน 3%, 5%, 7% และ 9% โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ 2% ทางด้านเปียกของปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด ซึ่งได้จากการทดสอบในข้อ 3.2 (ตารางที่ 3.1, ภาพประกอบที่ 3.6 a) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วมวลดิน นำไปบดอัดใน Mold สแตนเลสสำหรับใส่ดินในข้อ 3.1.1 โดยใช้เครื่องบดอัดอัตโนมัติ (ELE automatic compactor) (ภาพประกอบที่ 3.6b) ตามวิธีมาตรฐาน Standard Proctor Compaction, ASTM (D698)

(c) นำ Mold สแตนด์เลสที่ใส่ดินที่บดอัดแล้ว (ภาพประกอบที่ 3.6 c) มาประกอบเป็นชุดการทดสอบแบบสกรรม์ ตามวิธีข้อ 3.1.1 (ภาพประกอบที่ 3.6 d) แล้วทดสอบกับน้ำกลั่น เพื่อหาค่า K ของทรายผสมเบนโทไนต์นี้ด้วยวิธี Falling head test method ASTM (D2434)

(d) อ่านค่าระดับความสูงของน้ำบน Standpipe (ภาพประกอบที่ 3.6 (e)) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน (ภาพประกอบที่ 3.6 (f)) แล้วนำข้อมูลไปคำนวณหาค่า K ด้วยวิธี Falling head test โดยใช้สมการที่ 3.1

$$K = \frac{aL}{A\Delta t} \ln\left(\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}\right) \quad (3.1)$$

เมื่อ a = พื้นที่หน้าตัดของ Standpipe (cm<sup>2</sup>)  
 L = ความสูงของตัวอย่างดิน (cm)  
 A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน (cm<sup>2</sup>)  
 $\Delta t$  = ผลต่างของเวลาเมื่อ  $t_2 = t_1$   
 $\Delta H_1, \Delta H_2$  = ผลต่างของระดับน้ำที่ต้นน้ำและท้ายน้ำ ณ เวลา  $t_1$  และ  $t_2$  ตามลำดับ (cm)

(e) การบันทึกข้อมูลเพื่อหาค่า K กระทำทุกๆ 1 – 3 วัน โดยทำการทดสอบจนกระทั่งผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในตัวอย่างดินและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างมีค่าประมาณ  $\pm 5\%$  และค่า K คงที่ จึงหยุดการทดสอบ

ตาราง 3.1 รายละเอียดความแตกต่างของอัตราส่วนทรายผสมเบนโทไนต์เพื่อหาค่า K

Bentonite content (%)	Maximum dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Optimum water content (%)	Water content at 2% wet of optimum (%)
3	19.35	10.0	12.0
5	19.10	10.5	12.5
7	18.68	11.2	13.2
9	18.56	12.0	14.0



### 3.3.2 การหาค่า K ของดินเหนียว มีรายละเอียดดังนี้

(a) ดินลูกรังคอกหงส์และดินเหนียวเกาะขยอ ถูกเตรียมโดยผสมกับน้ำให้มีปริมาณความชื้นที่มากกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม 2 % หรือที่ 20 % และ 19% สำหรับดินลูกรังคอกหงส์และดินเหนียวเกาะขยอ ตามลำดับ ปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบดอัดใน Mold สแตนเลส สำหรับใส่ดินคั่งรายละเอียดในข้อ 3.1.1 โดยใช้เครื่องบดอัดอัตโนมัติ (ELE automatic compactor) ตามวิธีมาตรฐาน Standard Proctor Compaction, ASTM (D698)

(b) การประกอบ Mold จะกระทำตามวิธีข้อ 3.1.1 แล้วทำการทดสอบกับน้ำกลั่น และหาค่า K ด้วยวิธี Falling head test method

(c) การอ่านค่าระดับความสูงของน้ำบน Standpipe และค่าปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน รวมถึงเวลาที่หยุดทำการทดสอบจะกระทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1

### 3.4 การทดสอบความต้านทานสารเคมีของค่า K

การทดสอบความต้านทานสารเคมีของค่า K เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานสารละลายโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของดิน ซึ่งทำได้โดยตรวจสอบค่า K ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อมีสารละลายโลหะหนักไหลผ่าน โดยใช้  $\text{Cr}^{3+}$  เป็นโลหะหนักทดสอบ การเลือก  $\text{Cr}^{3+}$  เป็นสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ ก็เนื่องมาจาก  $\text{Cr}^{3+}$  มีประจุ 3+ ซึ่งจะ使得ค่า K ของดินลดลงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายโลหะหนักที่มีประจุ 1+ หรือ 2+ ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยจะถือว่าค่า K สามารถต้านทานสารละลายโลหะหนักได้ถ้าค่า K ไม่มีการเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  ตลอดการทดสอบ ขั้นตอนการทำการทดสอบ มีดังต่อไปนี้

(a) นำทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียว มาบดอัด ใน Mold ทำการประกอบ Mold สำหรับชุดทดสอบ Falling head test ดังข้อ 3.1.1 แล้วทำการทดสอบหาค่า K ด้วยวิธี Falling head test โดยใช้ น้ำกลั่น (Deionized water) เป็นสารทดสอบ พร้อมทั้งอ่านค่าระดับน้ำบน Standpipe และวัดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่าง 1 – 3 วัน ต่อครั้ง จนกระทั่งผลต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างจะต้องอยู่ในช่วง  $\pm 5\%$  และค่า K คงที่

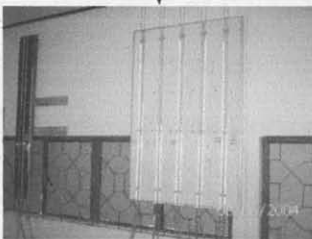
(b) เปลี่ยนน้ำกลั่นบน Standpipe มาใช้สารละลายโลหะหนัก  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  โดยทำการละลาย  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ด้วยน้ำกลั่น ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{Cr}^{3+}$  ในระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2



(a) ดินผสมกับน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

(b) เครื่องบดอัดอัตโนมัติ  
(ELE automatic compactor)

(c) ดินที่บดอัดแล้ว

(d) Rigid wall permeameter  
ที่ประกอบเสร็จแล้ว

(e) Standpipe สำหรับอ่านค่าระดับน้ำ



(f) น้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน

ภาพประกอบที่ 3.6 การหาค่า K ด้วยวิธี Falling head test method ตามมาตรฐาน ASTM (D2434)

ตารางที่ 3.2 ระดับความเข้มข้นของ  $Cr^{3+}$  ที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานสารเคมีของดินทั้ง 3 ชนิด

ความเข้มข้นของ $Cr^{3+}$ (M)	ความเข้มข้นของ $Cr^{3+}$ (mg/L)
0.0001	5.22
0.001	52.19
0.01	521.90
0.1	5,219.00
1	52,190.00

(c) อ่านค่าระดับความสูงของน้ำบน Standpipe, วัดปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน และคำนวณหาค่า K เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 (d) และ 3.3.1 (e) โดยระยะเวลาการทดสอบจะดำเนินไปเรื่อยๆ ประมาณ 1 – 3 ปี จึงหยุดการทดสอบ หรือจนกระทั่งค่า K ของชุดการทดสอบใดๆ จะมีค่ามากกว่า  $1 \times 10^{-7}$  cm/s จึงจะหยุดทำการทดสอบในชุดการทดสอบนั้นๆ

—

### 3.5 การหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวเมื่อทดสอบกับโลหะหนัก

การหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวโดยทำการทดสอบกับโลหะหนัก ทำได้โดยนำทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวที่ได้จากข้อ 3.3 มาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบสควมภ์ โดยมีหลักการว่า การเคลื่อนที่ของสารละลายในดินจะขึ้นอยู่กับ การพา การแพร่ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ ได้แก่ ค่า K ค่า D และค่า R โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

(a) นำทรายผสมเบนโทไนต์ ดินลูกรังคองหงส์และดินเหนียวเกาะขอ ไปบดอัดใน Mold ด้วยวิธี Standard Proctor Compaction, ASTM (D698) (ภาพประกอบที่ 3.7 a) โดยใช้ความชื้นที่ได้จากข้อ 3.2 จากนั้นทำการทดสอบตามข้อ 3.1.2 (ภาพประกอบที่ 3.7 b) โดยเริ่มต้นการทดสอบด้วยการใช้น้ำกลั่นไหลผ่านดินตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 3.7 c)

(b) การปรับความดันของวิธีการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ ทำได้โดยเพิ่มความดันครั้งแรกที่ 0.1 ksc ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง เพื่อให้ไอน้ำและให้น้ำไหลเข้าไปในดินเพื่อให้ดินอิ่มตัว จากนั้นเพิ่มความดันครั้งละ 0.1 ksc ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง จนกระทั่งถึงความดันที่ต้องการ ทำการหาค่า K ของดินทุกครั้งที่ใช้ปรับความดันโดยใช้สมการที่ 3.2 สำหรับทรายผสมเบนโทไนต์และ

ดินเหนียวเกาะขอใช้ความดันสูงสุดที่ 0.8 ksc โดยมีค่า  $i$  ประมาณ 140 ดินลูกรังคองหงส์ใช้ความดันสูงสุดที่ 0.5 ksc ถึง 0.6 ksc โดยมีค่า  $i$  ประมาณ 89 ถึง 104

(c) เมื่อค่า  $K$  ของดินตัวอย่างมีค่าคงที่แล้ว จึงเปลี่ยน Influent จากน้ำกลั่นเป็นสารละลายโลหะหนัก โดยความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ทำการเก็บ Effluent และวัดปริมาตรของ Effluent เพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักและค่า  $K$

### 3.5.1 การหาค่า $K$ โดยวิธีระดับน้ำคงที่

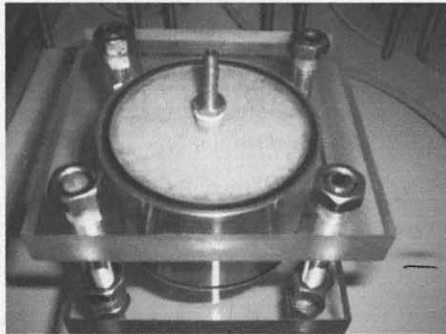
การคำนวณค่า  $K$  โดยใช้วิธีระดับน้ำคงที่, ASTM (D5084) จากการทดสอบแบบสถมภ์ มีสูตรคำนวณดังนี้

$$K = \frac{Q}{\left(\frac{\Delta H}{L}\right)^A} \quad (3.2)$$

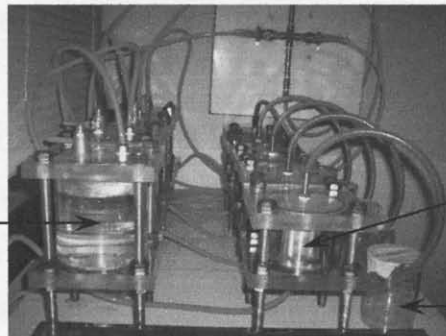
เมื่อ	$Q$	=	อัตราการไหล	=	$\frac{V_w}{\Delta t}$ (cm <sup>3</sup> /sec)
	$V_w$	=	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านดินในเวลา $\Delta t$		
	$\Delta H$	=	ความแตกต่างของความดันของน้ำที่ดันน้ำและท้ายน้ำ		(cm)
	$\Delta t$	=	เวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำปริมาตร $V_w$		(sec)



(a) ดินที่บดอัดแล้ว



(b) การประกอบ Mold



Mold ใส่น้ำหรือ  
สารละลายโลหะหนัก  
(Influent)

Mold ใสตัวอย่างดิน

บีกเกอร์รับสารละลาย  
ที่ไหลออกมา (Effluent)

(c) ชุดการทดสอบแบบสดมภ์

ภาพประกอบที่ 3.7 การทดสอบแบบสดมภ์

### ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

ชนิดของโลหะหนัก	สารตั้งต้น	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้น (M)
Chromium ( $\text{Cr}^{3+}$ )	$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	52.19	0.001
Mixed Solution			
- Cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ )	$\text{CdCl}_2$	112.42	0.001
- Lead ( $\text{Pb}^{2+}$ )	$\text{PbCl}_2$	207.26	0.001
- Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ )	$\text{ZnCl}_2$	65.39	0.001
- Nickel ( $\text{Ni}^{2+}$ )	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	58.87	0.001

#### 3.5.2 การหาความเข้มข้นของสารละลายเพื่อคำนวณพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

การทดสอบแบบสดมภ์ มีวิธีการในการหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของดิน 2 แบบ คือ จากค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจาก Effluent ที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน เมื่อเทียบกับเวลาหรือ Breakthrough curve และ จากค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจากการสกัด โลหะหนักที่ถูกดูดซับผิวออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ หรือ Concentration profile โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

##### 3.5.2.1 การหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักใน Effluent เทียบกับเวลา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(a) หาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของ Effluent เทียบกับเวลา ทำได้โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง โดยมีปริมาณตัวอย่างน้ำที่เก็บเกิน 40 mL ต่อการเก็บแต่ละครั้ง ทำการเก็บน้ำโดยเทจากภาชนะที่รองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดินลงในขวดพลาสติกขนาดบรรจุ 60 mL ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) 10 % เพื่อกำจัดประจุที่อาจปนเปื้อนในขวดพลาสติก แล้วทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำด้วยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.  $\text{HNO}_3$ ) ประมาณ 0.1 - 0.2 mL ให้มีระดับ pH < 2 และ > 1 เพื่อรักษาสภาพของสารละลายที่เก็บได้ จากนั้นนำไปแช่เย็นที่ 4 °C เพื่อรอนำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักและวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์ (Cl) ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำต่อไป การทดสอบจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ไหลออกจากตัวอย่างจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของ Influent จึงหยุดการทดสอบ

(b) ความเข้มข้นของ Influent ที่ใช้ในการทดสอบหา Breakthrough curve ของดินทั้ง 3 ชนิด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของ Influent ที่ใช้ในการทดสอบหา Breakthrough curve

ชนิดของดิน	โลหะหนัก ที่ใช้ทดสอบ	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (M)
ทรายผสมเบนโทไนต์	- Cr <sup>3+</sup>	0.001
	- Mixed solution	0.001*
ดินลูกรังคองหอสต์	- Cr <sup>3+</sup>	0.001
	- Mixed solution	0.001*
ดินเหนียวเกาะยอ	- Cr <sup>3+</sup>	0.001
	- Mixed solution	0.001*

\* Mixed solution มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวเท่ากับ 0.001 M ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3

3.5.2.2 การหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

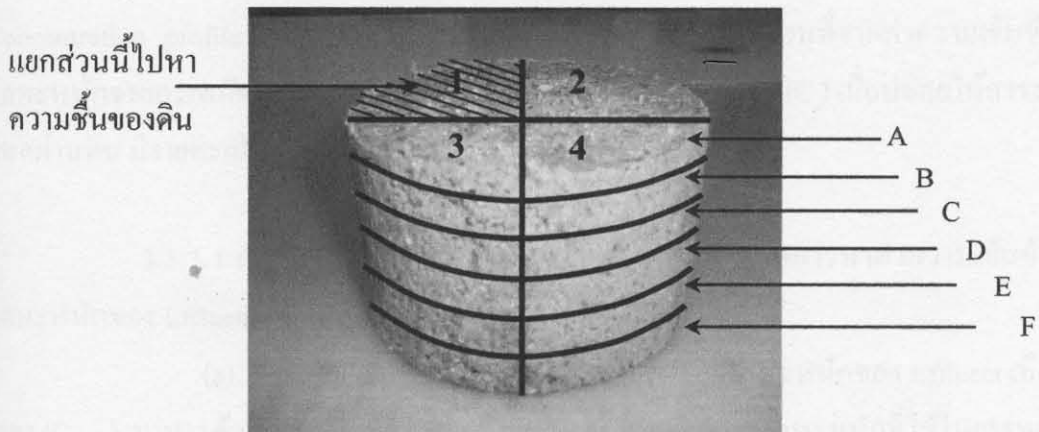
(a) การหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูดติดกับดินจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ (C<sub>i</sub>) ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด เมื่อปล่อยให้สารละลายโลหะหนัก เคลื่อนที่ผ่านดินเป็นเวลาพอควร โดยระยะเวลาที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับค่า K ของดินแต่ละชนิดซึ่งจะกล่าวต่อไป รายละเอียดความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการทดสอบนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

(b) เมื่อปล่อยให้ Influent ไหลผ่านไปดินนานพอควร ทำการถอดตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วแบ่งดินออกเป็น 6 ชั้น (ภาพประกอบที่ 3.8) ตั้งแต่ชั้น A จนถึงชั้น F โดยแต่ละชั้น มีความหนาประมาณ 1 cm ดินแต่ละชั้นถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (ส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 4) ดินส่วนที่ 1 จะถูกนำไปหาความชื้น สำหรับ 3 ส่วนที่เหลือ จะถูกนำไปหาปริมาณโลหะหนักที่ถูกดินดูดติดผิว

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้เป็น Influent

ชนิดของดิน	โลหะหนัก ที่ใช้ทดสอบ	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (M)
ทรายผสมเบนโทไนด์	- Mixed solution	0.001*
ดินลูกรังคอหงส์	- Cr <sup>3+</sup>	0.001
	- Mixed solution	0.001*
ดินเหนียวเกาะยอ	- Cr <sup>3+</sup>	0.001
	- Mixed solution	0.001*

\* Mixed solution มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวเท่ากับ 0.001 M มีรายละเอียดในตารางที่ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.8 การแบ่งดินที่ถอดออกจาก Mold เพื่อแบ่งดินไปหาความชื้นและแบ่งชั้นดินออกเป็น A - F

(c) การหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกดูดติดผิว ทำได้โดยนำดินที่อบให้แห้งแล้วที่ 60°C นาน 24 ชั่วโมง ไปบดให้ละเอียด ในส่วนของทรายผสมเบนโทไนด์จะนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 75 ไมครอน) เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นเบนโทไนด์ออกจากทราย แล้วนำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงได้ ไปทำการสกัดเพื่อหาโลหะหนัก ส่วนดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะยอ นำไปบดด้วย Agate mortar ให้เม็ดดินเป็นแป้ง แล้วนำไปสกัดหาโลหะหนักเช่นกัน



(d) การสกัดโลหะหนักออกจากดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด (ภาพประกอบที่ 3.9)

ทำโดยนำดินที่บดแล้ว 0.5 g ใส่ในบีกเกอร์ เดิมกรด  $\text{HNO}_3$  2 mL และกรด  $\text{HCl}$  4 mL (ภาพประกอบที่ 3.9 a) เพื่อสกัดโลหะหนักออกจากดิน แล้วปิดด้วยกระเบื้องนาฬิกา เพื่อป้องกันกวนระเหยแล้วนำไปวางไว้บน Hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ  $100^\circ\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง (ภาพประกอบที่ 3.9 b) จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 (ภาพประกอบที่ 3.9 c) เจือจางด้วยกรด  $\text{HNO}_3$  1 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 mL (ภาพประกอบที่ 3.9 d) เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องทำชุดทดสอบควบคุมโดยใช้ดินที่ไม่ผ่านการทดสอบกับสารละลายโลหะหนัก (Tanchuling et al., 2003) เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติก (ภาพประกอบที่ 3.9 e) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักต่อไป

### 3.5.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ D และ R แบ่งการคำนวณได้เป็น 2 แบบ คือ (1) จำนวนจาก Breakthrough curve ซึ่งก็คือการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากการหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา ( $C_t$ ) และ (2) จำนวนจาก Concentration profile ซึ่งก็คือการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ ( $C_z$ ) เมื่อปล่อยให้สารละลายไหลผ่านดิน มีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

3.5.3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากการหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา ( $C_t$ ) มีรายละเอียดดังนี้

(a) นำผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา ( $C_{t-Lab}$ ) มาหารด้วยค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) ของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการทดสอบ จะได้  $C_{t-Lab}/C_0$  แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อต Breakthrough curve

(b) พล็อต Breakthrough curve อีกรูป โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากสมการ 2.11 ( $C_{t-eq}$ ) หารด้วยค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) หรือ  $C_{t-eq}/C_0$  โดยค่า  $C_{t-eq}$  จะได้จากการสุ่มค่า D และ R

(c) ความถูกต้องของค่า D และ R จากการสุ่ม สามารถแสดงได้โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของ Breakthrough Curve ทั้งสองในรูปของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Mean squared error, MSE) ดังสมการที่ 3.3

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_{t-eq}}{C_0} - \frac{C_{t-Lab}}{C_0} \right)^2 \quad (3.3)$$



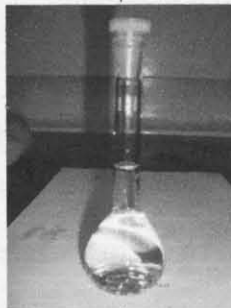
(a) ชั่งดิน 0.5 g เติมกรดแล้ว  
ปิดด้วยกระดาษฟิวส์



(b) ตั้งบน Hot plate ที่  
อุณหภูมิประมาณ 100 °c  
นาน 2 ชั่วโมง



(c) กรองด้วยกระดาษกรอง  
Whatman เบอร์ 42



(d) ปรับปริมาตรด้วย  $\text{HNO}_3$  1%



(e) เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติก  
เพื่อการวิเคราะห์โลหะหนัก

ภาพประกอบที่ 3.9 การสกัดโลหะหนักออกจากดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

(d) ค่า  $D$  และ  $R$  ที่ให้ค่า MSE ที่น้อยที่สุด จะถือว่าเป็นค่า  $D$  และ  $R$  ที่สอดคล้องกับค่าจริงมากที่สุด

3.5.3.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ ( $C_s$ ) ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด มีรายละเอียดดังนี้

(a) นำผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้น ( $C_{s-Lab}$ ) มาหารด้วยค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก ( $C_{sm}$ ) ในดินชั้นบนสุดที่ถือว่ามี การดูดติดผิวจนถึงสมดุลแล้ว ในรูปของ  $C_{s-Lab}/C_{sm}$  แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อต Concentration profile

(b) การสร้าง Concentration profile อีกรูป โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากสมการที่ 2.11 ( $C_{s,eq}$ ) หารด้วยค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) หรือ  $C_{s,eq}/C_0$  โดยค่า  $C_{s,eq}$  จะได้จากการสุ่มค่า  $D$  และ  $R$

(c) ความถูกต้องของค่า  $D$  และ  $R$  จากการสุ่ม สามารถแสดงได้โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของ Breakthrough curve ทั้งสองในรูปของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Mean squared error, MSE) ดังสมการที่ 3.3

(d) ค่า  $D$  และ  $R$  ที่ให้ค่า MSE ที่น้อยที่สุด จะถือว่าเป็นค่า  $D$  และ  $R$  ที่สอดคล้องกับค่าจริงมากที่สุด

### 3.6 การทดสอบแบบแบทช์ (Batch adsorption test)

การหาค่าสัมประสิทธิ์พาร์ทิชัน ( $K_p$ ) และความสามารถในดูดติดผิว (Adsorption capacity) ของเบนโทไนต์และดินเหนียว สามารถทำได้โดยวิธีการทดสอบแบบแบทช์ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบ โดยใช้ดินที่มีน้ำหนักคงที่ ไปดูดสารละลายโลหะหนักที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันหลายค่า สารละลายโลหะหนัก เมื่อถูกดูดติดผิวจนสมดุลแล้ว จะมีค่าความเข้มข้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและความสามารถในการดูดติดผิวของดิน โดย การทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

(a) เตรียมดิน โดยใช้เบนโทไนต์ ดินลูกรังคอกหงส์และดินเหนียวเกาะยอที่ผ่าน ตระแกรงเบอร์ 200 จำนวน 0.5 g, 1 g และ 1 g ตามลำดับ

(b) เตรียมสารละลายโลหะหนัก โดยละลายโลหะหนักแบบผงในน้ำกลั่น (Deionized water) จนมีปริมาตร 25 mL ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ประมาณ 12-18 ค่าความเข้มข้น และทำการทดสอบซ้ำในแต่ละความเข้มข้น 2 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดความเข้มข้นและชนิดของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดสอบแบบแบทช์

ชนิดของโลหะหนัก	สารตั้งต้น	ช่วงค่าความเข้มข้น (mg/L)	ระดับ pH ของสารละลาย
Cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ )	$\text{CdCl}_2$	1-2,400	2.5 - 5.5
Lead ( $\text{Pb}^{2+}$ )	$\text{PbCl}_2$	1-4,000	0.5 - 2.0
Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ )	$\text{ZnCl}_2$	1-1,200	2.0 - 4.0
Chromium ( $\text{Cr}^{3+}$ )	$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1-800	2.5 - 4.0
Nickel ( $\text{Ni}^{2+}$ )	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1-1,200	1.8 - 5.1

(c) ผสมดินกับสารละลายโลหะหนัก โดยนำดินมาใส่ในขวด Centrifuge ขนาด 30 mL (ภาพประกอบที่ 3.10 (a)) หลังจากนั้นนำสารละลายโลหะหนักที่ทราบความเข้มข้นเริ่มต้นมาผสมกับดิน นำไปเขย่าทันทีด้วยเครื่อง Heidolph promax 2020 ที่ความเร็วรอบ 300 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพประกอบที่ 3.10 (b)) จากนั้นแยกชั้นของสารละลายโลหะหนักกับดินด้วยเครื่อง Centrifuge sorwall super T21, USA ที่ความเร็วรอบประมาณ 4,000-8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที (ภาพประกอบที่ 3.10 (c)) ที่อุณหภูมิ 20°C แล้วนำสารละลายโลหะหนักที่แยกออกจากชั้นดินไปหาความเข้มข้นสุดท้าย ดังภาพประกอบที่ 3.10

ในการทดสอบแบบแบทช์นี้ จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายประมาณ 12 ค่า ต่อหนึ่งชนิดของดินและต่อหนึ่งชนิดของโลหะหนัก รวมทั้งชุดทดสอบควบคุม (Blank) ดังนั้นการทดสอบแบทช์ ทั้งหมดรวมเป็นจำนวน 180 ครั้ง จากนั้นนำผลความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ไปฟิตกับสมการแบบ Freundlich , Linear และ Langmuir (สมการที่ 2.16, 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ)



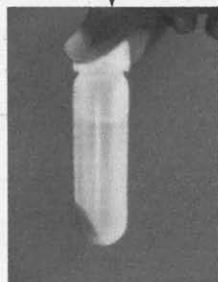
(a) นำดินผสมกับสารละลายโลหะหนัก  
ที่ความเข้มข้นต่างๆ



(b) เหย้า 300 rpm ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง



(c) นำไปแยกชั้นของดินกับสารละลาย  
โลหะหนักด้วยเครื่อง Centrifuge



(d) นำสารละลายโลหะหนักที่แยกชั้น  
อยู่ด้านบนไปตรวจวิเคราะห์หา  
ความเข้มข้นสุดท้าย

ภาพประกอบที่ 3.10 การทดสอบแบบเบทซ์

### 3.7 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายที่ศึกษา

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย สารละลายโลหะหนักและสารละลายคลอไรด์ มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.7.1 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก มีรายละเอียดดังนี้

(a) นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ไปกรองตะกอนออก ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ไม่มีตะกอนปน ไปฉีดเข้าเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer พร้อมกับ Standard ของโลหะหนักชนิดที่ต้องการวิเคราะห์

(b) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก ด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectrophotometer ยี่ห้อ Varian รุ่น 220 A Australia โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นในการวัดโลหะหนัก ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดโลหะหนักด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectrophotometer

ชนิดของโลหะหนัก	Wave length (nm)	Slit (nm)	Optimum working range ( $\mu\text{g/mL}$ )
Cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ )	228.8	0.5	0.02 - 3
Lead ( $\text{Pb}^{2+}$ )	217.0	1.0	0.1 - 30
Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ )	213.9	1.0	0.01 - 2
Chromium ( $\text{Cr}^{3+}$ )	357.9	0.2	0.06 - 15
Nickel ( $\text{Ni}^{2+}$ )	232.0	0.2	0.1 - 20

3.7.2 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) ด้วยวิธี Argentometric method หรือ Mohr method (APHA, AWWA and WEF, 1995) มีรายละเอียด ดังนี้

#### 3.7.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีรายละเอียดและวิธีการเตรียม ดังนี้

(a) เตรียม  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  Indicator โดยชั่ง  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  50 g ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่เกล็ด  $\text{AgNO}_3$  ลงไปเล็กน้อย จนเป็นตะกอนสีแดงเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L

(b) สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N เตรียมโดยชั่ง  $\text{AgNO}_3$  2.395 g ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L โดยก่อนการทำกรทดสอบทุกครั้งต้อง Standardize ด้วย

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N (1 mL ของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรดจะสมมูลกับ 500  $\mu\text{g}$  ของ  $\text{Cl}^-$ )

(c) สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N เตรียมโดยชั่ง  $\text{NaCl}$  ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ  $140^\circ\text{C}$  จำนวน 824.1 mg ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1 L

### 3.7.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

(a) ปิเปตปริมาตรน้ำตัวอย่าง 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 100 mL เทใส่ขวดรูปชมพู่ 250 mL โดยปรับ pH ของน้ำตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้ว ให้อยู่ระหว่าง 7.0 – 10.0 ด้วย  $\text{NaOH}$  0.1 N จากนั้นเติม  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  Indicator ลงไปจำนวน 1 mL น้ำตัวอย่างจะกลายเป็นสีเหลือง ทำการไตเตรตน้ำตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ เมื่อน้ำตัวอย่างเปลี่ยนสีจากสีเหลืองของ  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  Indicator เป็นสีเหลืองอมส้ม สำหรับในชุดการทดสอบควบคุม (Blank) จะใช้น้ำกลั่นจำนวน 100 mL แทนเป็นน้ำตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{Cl}^-$  ได้ดังนี้

$$\text{Cl}^- \text{ (mg/L)} = \left[ \frac{35,450 \text{ N (A - B)}}{\text{mL of Sample}} \right] \times 100 \quad (3.4)$$

โดยที่ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำกลั่น (mL)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N

(b) การทำ Standardize จะต้องทำทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ  $\text{Cl}^-$  โดยนำสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N จำนวน 20 mL มาใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วเติม  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  Indicator ลงไปจำนวน 1 mL จากนั้นนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N จนได้ตะกอนสีน้ำตาล โดยมีวิธีการคำนวณหา Normality ดังต่อไปนี้

$$N = \frac{20 \times 0.0141}{\text{mL of AgNO}_3} \quad (3.5)$$