

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การศึกษาคงเหมาะสมของดิน 3 ชนิด ประกอบด้วย ทรายผสมเบนโทไนต์ ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะยอ เพื่อใช้เป็นชั้นกันซึมของสถานที่ฝังกลบมูลฝอย สามารถแบ่งวิธีดำเนินการศึกษาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน (ภาพประกอบที่ 3.1) โดยขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอุปกรณ์ทดลอง Column Test ขั้นตอนที่สองคือ การหาคุณสมบัติของดินทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของดิน การแลกเปลี่ยนประจุในดินและแร่ธาตุในดิน ขั้นตอนที่สามเป็นการหาค่า K ทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลา ขั้นตอนทีสี่เป็นการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน (ภาพประกอบที่ 3.2) คือ การทดลองแบบแบทช์ การทดลองแบบสดมภ์ เพื่อหาค่า K, R, D และ n และ ความต้านทานสารเคมีของค่า K ของดิน เมื่อทดสอบดินทั้ง 3 ชนิดกับ โลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆกันกับเวลา โดยวิธี Falling Head Test และ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการออกแบบชั้นกันซึม โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการศึกษาทั้งหมดดังนี้

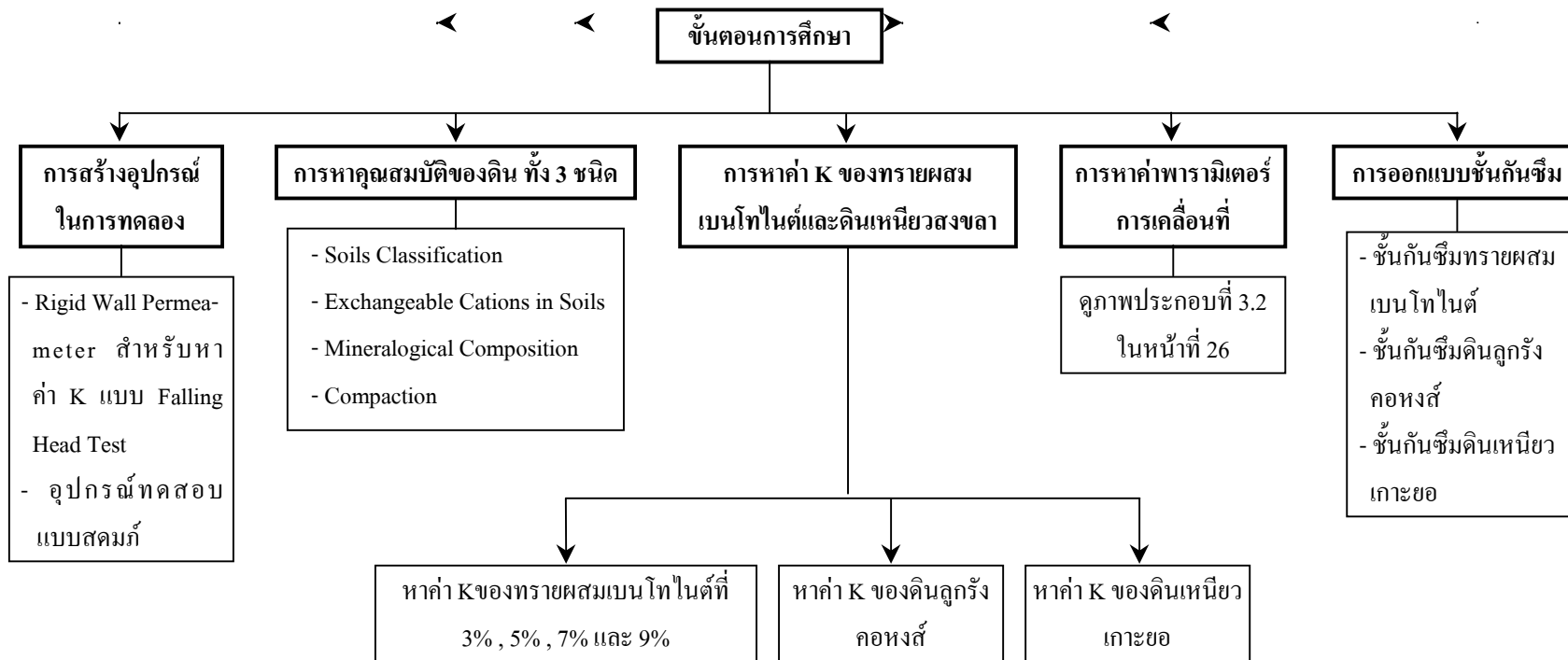
3.1 การสร้างอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

การสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ มี 2 ชุดอุปกรณ์ คือ Rigid Wall Permeameter สำหรับการทดลองหาค่า K และ อุปกรณ์ทดสอบสดมภ์สำหรับการทดลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

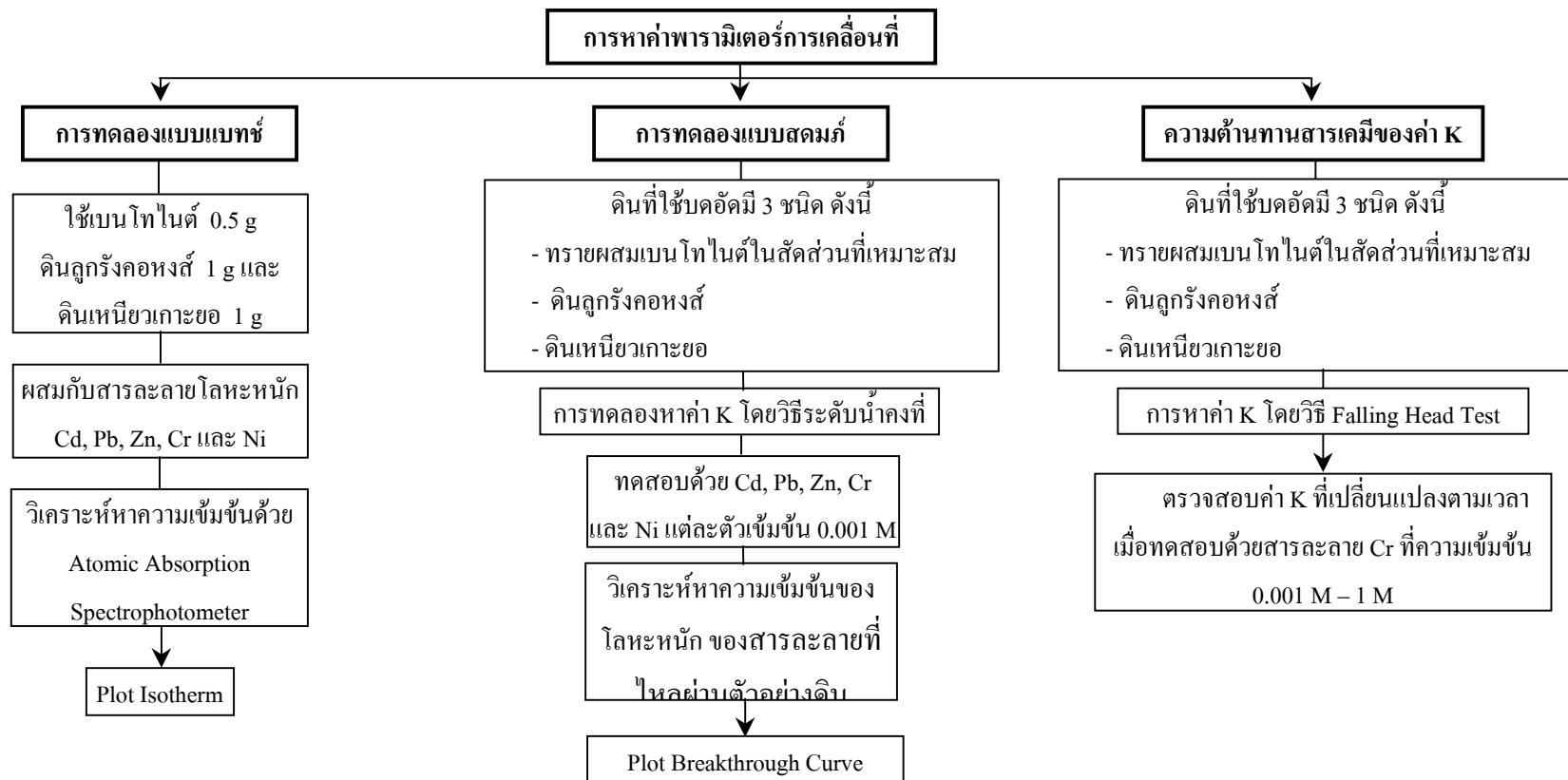
3.1.1 การสร้าง Rigid Wall Permeameter

(a) ส่วนประกอบของ Rigid Wall Permeameter

Rigid Wall Permeameter ประกอบด้วย Mold สแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.25 cm จำนวน 2 ชิ้น โดย ชิ้นแรก มีความสูงประมาณ 11.5 cm สำหรับใส่ดินที่บดอัด และ ชิ้นที่สอง มีความสูงประมาณ 5.5-5.7 cm สำหรับใส่สารละลาย, O-ring 2 อัน, เชือกกรอง (Geotextile) 1 แผ่น, ฐานด้านล่างและบนของ Mold ทำจากแผ่นสแตนเลสที่เจาะรูทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นที่อยู่ด้านล่างเจาะตรงกลางเพื่อใส่หางปลาทองเหลือง 1 ตัว เพื่อให้ น้ำเข้าหรือออก และแผ่นที่เป็นฐานด้านบนเจาะรู 2 รู สำหรับใส่หัววาล์วทองเหลืองและหางปลาทองเหลือง, แฉกเหล็กสำหรับยึด 4 อัน พร้อมน็อตยึด 8 ตัว, สายยางและท่อแก้ว Standpipe ขนาด 0.28 cm² ยาวประมาณ 220 cm



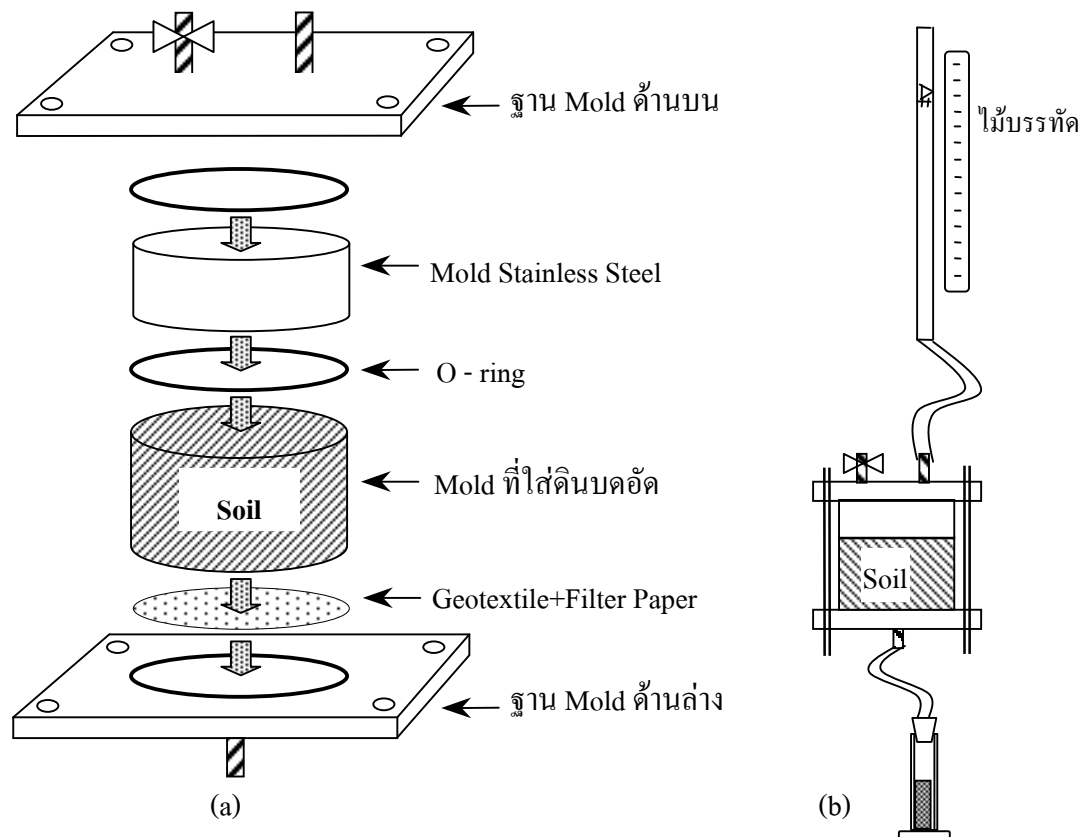
ภาพประกอบที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา



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 ชั้นบนปาก Mold ด้านบน และวางฐานปิดด้านบนยึดด้วยน็อต 4 ตัว (ภาพประกอบที่ 3.3 a) ต่อปลายสายยาง Latex ด้านหนึ่งเข้ากับหางปลาทองเหลืองที่ฐานด้านบน และปลายสายยางอีกด้านเข้ากับท่อ Standpipe ด้านล่าง ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.3 b) จากนั้นต่อสายยาง Latex อีกเส้นหนึ่งจากฐาน Mold ด้านล่างสำหรับรองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดินเข้าสู่ภาชนะรองรับ (กระบอกตวงหรือปิ๊กเกอร์)



ภาพประกอบที่ 3.3 ลำดับการประกอบอุปกรณ์ Rigid Wall Permeameter สำหรับ Falling Head Test

3.1.2 การสร้างอุปกรณ์การทดลองแบบสดมภ์พร้อมระบบเพิ่มความดันแบบความดันคงที่

(a) ส่วนประกอบของอุปกรณ์

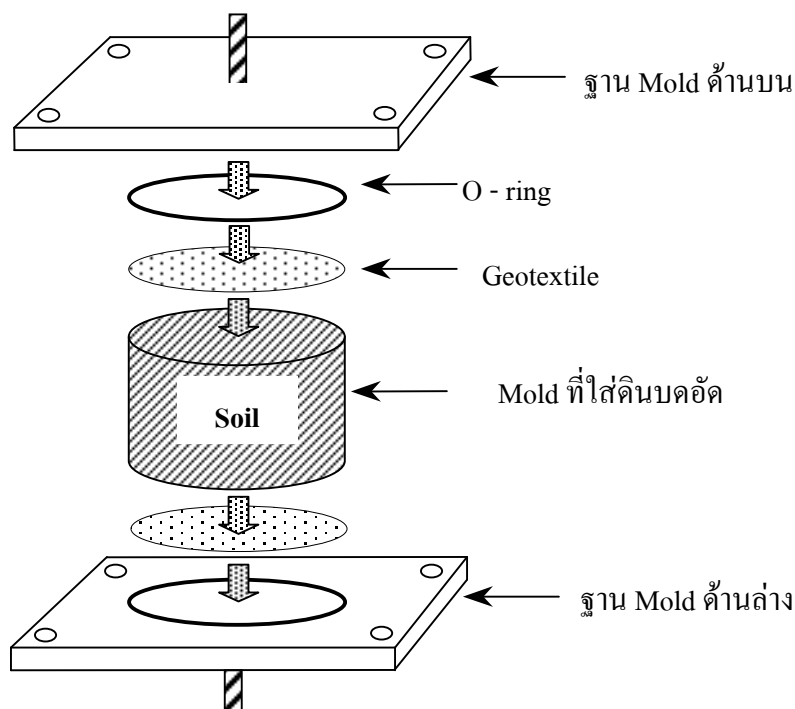
อุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบสดมภ์ ประกอบด้วย ชุด Mold สแตนเลส สำหรับใส่ดินที่ถูกบดอัด และชุด Mold สำหรับใส่สารละลาย โดย Mold มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.25 cm ความสูง 5.5-5.7 cm ส่วนฐานใส่ Mold เป็นแผ่นอะคริลิกหนา 2 cm ขนาด 6 x 6 นิ้ว ทำการเจาะรูฐานทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น แต่ละแผ่นเจาะรูตรงกลางเพื่อใส่หัวต่อสายยางแผ่นละ 1 ตัว, ชุด Mold อะคริลิก สำหรับใส่สารละลาย ประกอบด้วย Mold และฐานที่ทำจากอะคริลิก โดย Mold ทำจากท่ออะคริลิก มีความหนาของท่อ 0.5 cm มีความสูงประมาณ 13.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 cm ส่วนฐานใส่ Mold ใช้แผ่นอะคริลิกหนา 2 cm ขนาด 6 x 6 นิ้ว ทำการเจาะรูฐานทั้ง 4 มุม จำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นที่อยู่ด้านล่าง จะเจาะรูตรงกลางเพื่อใส่หัวต่อสายยาง 1 รู ส่วนแผ่นที่อยู่ด้านบนเจาะรูตรงกลาง 2 รู เพื่อใส่หัวต่อสายยางจากปั๊มลม และหัววาล์วสำหรับเติมสารละลาย, O - ring 2 อัน, Geotextile 5 แผ่น, แท่งเหล็กสำหรับยึดฐานและ Mold เข้าไปด้วยกัน 4 อัน พร้อมน็อตยึด 8 ตัว, สายยางและปั๊มลม

(b) การประกอบอุปกรณ์การทดลองแบบสดมภ์ มีรายละเอียดดังนี้

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

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

ชุด Mold ที่ถูกประกอบแล้วทั้ง 2 จะถูกเชื่อมต่อระหว่างกันที่ด้านล่างด้วยสายยาง 1 เส้น ทำการต่อปลายสายยางอีกเส้นหนึ่งที่ฐานด้านบนของ Mold สแตนเลส ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับกระบอกตวงเพื่อรองรับสารละลายที่ออกมาจากตัวอย่างดิน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.4 สำหรับการต่อประกอบอุปกรณ์ Column Test กับปั๊มลม จะทำโดยต่อปลายสายยางด้านหนึ่งที่ปั๊มลม และต่อปลายสายยางอีกด้านที่ฐานด้านบนของชุด Mold อะคริลิกที่ใส่สารละลาย โดยเมื่อทำการเปิดปั๊ม แรงดันลมจะไหลผ่านสายยางเข้าไปดันสารละลายที่อยู่ใน Mold อะคริลิกให้ไหลเข้าสู่ตัวอย่างดินที่ถูกบดอัดอยู่ใน Mold สแตนเลส



ภาพประกอบที่ 3.4 ลำดับการประกอบอุปกรณ์เพื่อทดลอง Column Test

3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลา

ดินเหนียวสงขลา ซึ่งประกอบด้วย ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะยอ ถูกเก็บที่ความลึกจากผิวดินประมาณ 1.0 เมตร โดยดินลูกรังคอหงส์เป็นดินในบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ส่วนดินเหนียวเกาะยอเป็นดินจากชายฝั่งทะเลบริเวณ ต.เกาะยอ อ.เมือง จ.สงขลา ดินทั้ง 2 ชนิดนี้ จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105°C นาน 24 ชั่วโมง ให้ดินแห้งแล้วเก็บไว้ทำการทดลองในโถดูดความชื้น 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), การทดลองหา Exchangeable Cation โดยวิธี AOAC Official Method 990.08 , การหา pH, Cl^- และ SO_4^{2-} ซึ่งนอกจากนี้ยังวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในดินด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) ภาพแสดงเบนโทไนต์ ดินลูกรังคอหงส์และดินเหนียวเกาะยอ ที่ใช้ในการทดลอง ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3.5



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบที่ 3.5 ดินที่ใช้ในการทดลอง (ก) เบนโทไนด์ (ข) ดินลูกรังคอหงส์ และ (ค) ดินเหนียวเกาะขอม

3.3 การหาค่า K ของทรายผสมเบนโทไนด์และดินเหนียวสงขลา

3.3.1 การหาค่า K ของทรายผสมเบนโทไนด์ มีรายละเอียดดังนี้

(a) คุณสมบัติของทรายที่ใช้ผสมเบนโทไนด์นั้น จะใช้ทรายก่อสร้างที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งเป็นทรายสะอาด ในท้องถิ่นจังหวัดสงขลา โดยทรายนี้จะมีขนาดของเม็ดทรายเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ ซึ่งสามารถจำแนกชนิดทรายโดยใช้ระบบ USCS ได้ เป็น SW (Well-graded Sand)

(b) การเตรียมตัวอย่าง ทำโดยนำทรายผสมกับเบนโทไนด์ โดยใช้เบนโทไนด์ในอัตราส่วน 3%, 5%, 7% และ 9% โดยน้ำหนัก แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วมวลดิน จากนั้นเติมน้ำ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ 2% ทางด้านเปียกของปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการบดอัด ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 3.2 (ตารางที่ 3.1) (ภาพประกอบที่ 3.6 a) แล้วนำไปบดอัดใน Mold สแตนเลสสำหรับใส่ดินในข้อ 3.1.1 โดยใช้เครื่องบดอัดอัตโนมัติ (ELE Automatic Compactor) (ภาพประกอบที่ 3.6b) ตามวิธีมาตรฐาน Standard Proctor Compaction, ASTM (D698)

(c) นำ Mold สแตนเลสที่ใส่ดินที่บดอัดแล้ว (ภาพประกอบที่ 3.6 c) มาประกอบเป็นชุดการทดลองแบบสดมภ์ 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 เมื่อทดสอบด้วยวิธี Falling Head Test ดังสมการที่ 3.1

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

เมื่อ

- a = พื้นที่หน้าตัดของ Standpipe (cm²)
- L = ความสูงของตัวอย่างดิน (cm)
- A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน (cm²)
- Δt = 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 โดยทำการทดลองจนกระทั่งผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในตัวอย่างดินและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างมีค่าเท่ากับ $\pm 5\%$ ค่า K คงที่ จึงหยุดการทดลอง

ตาราง 3.1 แสดงรายละเอียดความแตกต่างของอัตราส่วนทรายผสมเบนโทไนต์เพื่อหาค่า K

% เบนโทไนต์ (%)	Maximum Dry Unit Weight (kN/m ³)	Optimum Water Content (%)	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 ของดินเหนียวสงขลา มีรายละเอียดดังนี้

(a) เตรียมดินลูกรังคองหงส์และดินเหนียวเกาะยอ โดยผสมกับน้ำให้มีปริมาณความชื้นที่มากกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม 2 % หรือที่ 20 % และ 19% สำหรับดินลูกรังคองหงส์และดินเหนียวเกาะยอ ตามลำดับ ปล่อยให้แห้ง 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบดอัดใน Mold สแตนเลสสำหรับใส่ดิน ดังรายละเอียดในข้อ 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 รวมถึงเวลาที่หยุดทำการทดลองจะกระทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1

3.4 การทดลองความต้านทานสารเคมีของค่า K

การทดลองความต้านทานสารเคมีของค่า K เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานสารละลายโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของดิน ซึ่งทำได้โดยตรวจสอบค่า K ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อมีสารละลายโลหะหนักไหลผ่าน โดยใช้ Cr เป็นโลหะหนักทดลอง การเลือก Cr เป็นสารละลายที่ใช้ในการทดลอง ก็เนื่องมาจาก Cr มีประจุ 3+ ซึ่งจะหาค่า K ของดินลดลงได้มากกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายโลหะหนักที่มีประจุ 1+ หรือ 2+ ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ขั้นตอนการทำการทดลอง มีดังต่อไปนี้

(a) นำทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลาที่ได้จากข้อ 3.3 มาบดอัด ใน Mold ทำการประกอบ Mold สำหรับชุดทดลอง Falling Head Test ดังข้อ 3.1.1 แล้วทำการทดลองหาค่า K ด้วยวิธี Falling Head Test Method โดยใช้ น้ำกลั่น (Deionized Water) เป็นสารทดสอบ พร้อมทั้งอ่านค่าระดับน้ำบน standpipe และวัดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่าง 1 – 3 วัน ต่อครั้ง จนกระทั่งผลต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างจะต้องอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

(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 Cr ในระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2



(a) ดินผสมกับน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง



(b) บดอัดดินด้วยเครื่องบดอัดอัตโนมัติ (ELE Automatic Compactor)



(c) ดินที่บดอัดแล้ว



(d) ประกอบ Mold ตามวิธีข้อ 3.1.1



(e) อ่านค่าระดับน้ำบน standpipe



(f) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง

ภาพประกอบที่ 3.6 ขั้นตอนการหาค่า K ด้วยวิธี Falling Head Test Method ตามมาตรฐาน ASTM (D2434)

ตารางที่ 3.2 ระดับความเข้มข้นของ Cr ที่ใช้ในการทดลองความต้านทานสารเคมีของดินทั้ง 3 ชนิด

ความเข้มข้นของ Cr (M)	ความเข้มข้นของ Cr (mg/L)
0.0001	5.22
0.001	52.19
0.01	521.90
0.1	5,219.00
1	52,190.00

(c) การอ่านค่าระดับความสูงของน้ำบน Standpipe และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน และหาค่า K เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 (d) และ 3.3.1 (e) โดยระยะเวลาการทดลองจะดำเนินไปเรื่อยๆ ประมาณ 1 – 3 ปี จึงหยุดการทดลอง หรือจนกระทั่งค่า K ของชุดการทดลองใดๆ จะมีค่ามากกว่า 1×10^{-7} cm/s จึงจะหยุดทำการทดลองในชุดการทดลองนั้นๆ

3.5 การหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลาเมื่อทดสอบกับโลหะหนัก

การหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลา กับโลหะหนัก ทำได้โดยนำทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลาที่ได้จากข้อ 3.3 มาทดสอบด้วยวิธี Column Test โดยมีหลักการว่า การเคลื่อนที่ของสารละลายในดินจะขึ้นอยู่กับ การพา การแพร่ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ ได้แก่ ค่า D, ค่า R และ ค่า n ของดินเหนียว โดยมีรายละเอียดดังนี้

(a) นำทรายผสมเบนโทไนต์ ดินลูกรังคองหงส์และดินเหนียวเกาะยอ ไปบดอัดใน Mold ด้วยวิธี Standard Proctor Compaction, ASTM (D698) (ภาพประกอบที่ 3.7 a) โดยใช้ความชื้นที่หาได้จากข้อ 3.2 จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 3.1.2 (ภาพประกอบที่ 3.7 b) โดยเริ่มต้นการทดลองด้วยการใช้น้ำกลั่นไหลผ่านดินตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 3.7 c)

(b) การปรับความดันของวิธีการทดลองแบบระดับน้ำคงที่ ทำได้โดยเพิ่มความดันครั้งแรกที่ 0.1 ksc ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง เพื่อไล่อากาศและให้น้ำไหลเข้าไปในดินเพื่อให้ดินอิ่มตัว จากนั้นเพิ่มความดันครั้งละ 0.1 ksc ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง จนกระทั่งถึงความดันที่ต้องการ ทำการหาค่า K ของดินทุกครั้งที่ปรับความดันโดยใช้สมการที่ 3.2 สำหรับทรายผสมเบนโทไนต์และดินเหนียว

เกาะยอใช้ความดันสูงสุดที่ 0.8 ksc โดยมีค่า i ประมาณ 140 ดินลูกรังคอหงส์ใช้ความดันสูงสุดที่ 0.5 ksc ถึง 0.6 ksc โดยมีค่า i ประมาณ 89 - 104

(c) เมื่อค่า K ของดินตัวอย่างมีค่าคงที่แล้ว จึงเปลี่ยน Influent จากน้ำกลั่นเป็นสารละลายโลหะหนัก โดยความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ทำการเก็บ Effluent และวัดปริมาตรของ Effluent เพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักและค่า K

3.5.1 การหาค่า K โดยวิธีระดับน้ำคงที่

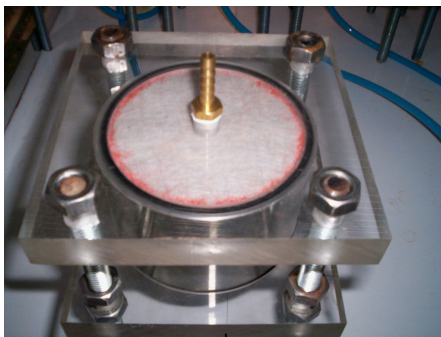
การทดลองแบบสดมภ์ โดยใช้วิธีระดับน้ำคงที่, ASTM (D5084) สามารถใช้ผลการทดลองมาคำนวณค่า K ได้เช่นกัน โดยมีวิธีการคำนวณค่า K ดังนี้

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

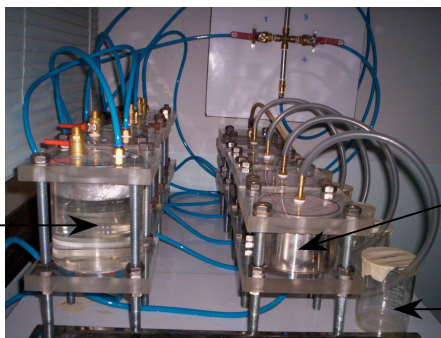
เมื่อ	Q	=	อัตราการไหล = $\frac{V_w}{\Delta t}$ (cm^3/sec)
	V_w	=	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านดินในเวลา Δt
	ΔH	=	ความแตกต่างของความดันของน้ำที่ต้นน้ำและท้ายน้ำ (cm)
	Δt	=	เวลาที่ใช้ในการเก็บน้ำปริมาตร V_w



(a) การบรรจุดินใน Mold ตาม
วิธีมาตรฐาน Standard



(b) การประกอบ Mold
สำหรับใส่ดิน



Mold ใส่น้ำหรือ
สารละลายโลหะหนัก

Mold ใสตัวอย่างดิน

บีกเกอร์รับสารละลาย
ที่ไหลออกมา

(c) ชุดการทดลอง Column Test

ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลอง Column Test เพื่อหาค่า K ด้วยวิธีระดับน้ำคงที่
ตามมาตรฐาน ASTM (D5084)

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

ชนิดของโลหะหนัก	สารตั้งต้น	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้น (M)
Chromium (Cr)	$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	52.19	0.001
Mix Solution			
- Cadmium (Cd)	CdCl_2	112.42	0.001
- Lead (Pb)	PbCl_2	207.26	0.001
- Zinc (Zn)	ZnCl_2	65.39	0.001
- Nickel (Ni)	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	58.87	0.001

3.5.2 การหาความเข้มข้นของสารละลายเพื่อคำนวณพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

การทดลองแบบสดมภ์ มีวิธีการในการหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายที่ไหลผ่านดิน 2 แบบ คือ วิธีหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจากน้ำที่ออกจากตัวอย่างดินเมื่อเวลาผ่านไป (C_t) และวิธีหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ (C_s) โดยมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

3.5.2.1 การหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักใน Effluent เทียบกับเวลา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(a) หาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของ Effluent เทียบกับเวลา ทำได้โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง โดยมีปริมาณตัวอย่างน้ำที่เก็บเกิน 40 mL ต่อการเก็บแต่ละครั้ง ทำการเก็บน้ำโดยเทจากภาชนะที่รองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดินลงในขวดพลาสติกขนาดบรรจุ 60 mL ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) 10% เพื่อกำจัดประจุที่อาจปนเปื้อนในขวดพลาสติกได้ แล้วทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำด้วยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) ประมาณ 0.1 - 0.2 mL ให้มีระดับ pH < 2 และ > 1 เพื่อรักษาสภาพของสารละลายที่เก็บได้ จากนั้นนำไปแช่เย็นที่ 4 °C เพื่อรอนำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักและวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์ (Cl^-) ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำต่อไป การทดลองจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ไหลออกจากตัวอย่างจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของ Influent จึงหยุดการทดลอง

(b) ความเข้มข้นของ Influent ที่ใช้ในการทดลองความต้านทานสารเคมีของดินทั้ง 3 ชนิด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของ Influent ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของดิน	โลหะหนัก ที่ใช้ทดสอบ	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (M)
ทรายผสมเบนโทไนต์	- Cr	0.001
	- Mixed Solution	0.001*
ดินลูกรังคอหงส์	- Cr	0.001
	- Mixed Solution	0.001*
ดินเหนียวเกาะยอ	- Cr	0.001
	- Mixed Solution	0.001*

* Mixed Solution มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวเท่ากับ 0.001 M ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3

3.5.2.2 การหาค่าความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

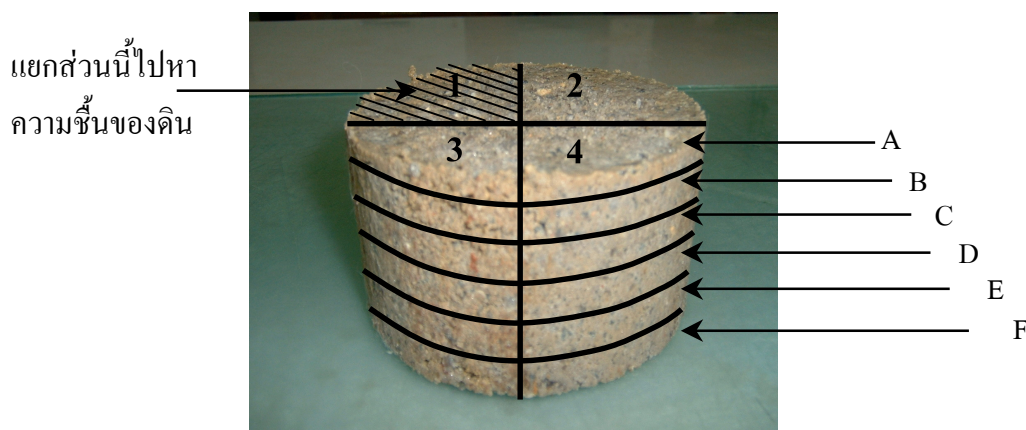
(a) การหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูดติดกับดินจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ (C_s) ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด เมื่อปล่อยให้สารละลายโลหะหนัก เคลื่อนที่ผ่านดินเป็นเวลานานพอสมควร ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและสารละลาย โดยแสดงรายละเอียดความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการทดลอง ไว้ในตารางที่ 3.5

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

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้เป็น Influent

ชนิดของดิน	โลหะหนักที่ใช้ทดสอบ	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (M)
ทรายผสมเบนโทไนต์	- Mix Solution	0.001*
ดินลูกรังคองหงส์	- Cr	0.001
	- Mix Solution	0.001*
ดินเหนียวเกาะยอ	- Cr	0.001
	- Mix Solution	0.001*

* Mix 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 ในส่วนของทรายผสมเบนโทไนต์จะนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 75 ไมครอน) เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นเบนโทไนต์ออกมาจากทราย แล้วนำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงได้ ไปทำการสกัดเพื่อหาโลหะหนัก ส่วนดินลูกรังคองหงส์และดินเหนียวเกาะยอ นำไปบดด้วย Agate Mortar ให้เม็ดดินเป็นแป้ง แล้วนำไปสกัดหาโลหะหนักเช่นกัน

(d) การสกัดโลหะหนักออกจากดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด (ภาพประกอบที่ 3.9) ทำโดยนำดินที่บดแล้ว 0.5 g ใส่ในบีกเกอร์ เติมกรด HNO_3 2 mL และกรด HCl 4 mL (ภาพประกอบที่ 3.9 a) เพื่อสกัดโลหะหนักออกจากดิน แล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกา เพื่อป้องกันการระเหยแล้วนำไปวางไว้บน Hot Plate ที่อุณหภูมิประมาณ 100°C นาน 2 ชั่วโมง (ภาพประกอบที่ 3.9 b) จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 (ภาพประกอบที่ 3.9 c) เจือจางด้วยกรด HNO_3 1 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 mL (ภาพประกอบที่ 3.9 d) เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง ทำชุดทดลองควบคุมโดยใช้ดินที่ไม่ผ่านการทดลองกับสารละลายโลหะหนัก (Tanchuling et al. , 2003) เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติก (ภาพประกอบที่ 3.9e) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ โลหะหนักต่อไป

3.5.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ D , R และ n แบ่งการคำนวณได้เป็น 2 แบบ คือ (1) คำนวณจาก Breakthrough Curve ซึ่งก็คือการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากการหาความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา (C_t) และ (2) คำนวณจาก Concentration Profile ซึ่งก็คือการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ (C_s) เมื่อปล่อยให้สารละลายไหลผ่านดิน มีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

3.5.3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากการหาความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา (C_t) มีรายละเอียดดังนี้

(a) นำผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักของ Effluent เทียบกับเวลา ($C_{t-\text{Lab}}$) มาหารด้วยค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) ของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ในการทดลอง จะได้ $C_{t-\text{Lab}}/C_0$ แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อต Breakthrough Curve

(b) การสร้าง Breakthrough Curve อีกรูป โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากสมการ 2.11 ($C_{t-\text{eq}}$) หารด้วยความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) หรือ $C_{t-\text{eq}}/C_0$ โดยค่า $C_{t-\text{eq}}$ จะได้จากการสุ่มค่า D และ R

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

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



(a) ชั่งดิน 0.5 g เดิมกรดแล้ว
ปิดด้วยกระดาษฟิวส์



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



(c) การกรองด้วยกระดาษ
กรอง Whatman เบอร์ 42



(d) ปรับปริมาตรด้วย HNO₃ 1%



(e) เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติก
เพื่อการวิเคราะห์โลหะหนัก

ภาพประกอบที่ 3.9 ขั้นตอนการสกัดโลหะหนักออกจากดินด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

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

3.5.3.2 การคำนวณค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่จากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการสกัดโลหะหนักออกจากตัวอย่างดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ (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 โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากสมการ 2.11 (C_{s-eq}) หารด้วยความเข้มข้นเริ่มต้น (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 การทดลองแบบแบทช์

การหาค่าสัมประสิทธิ์พาร์ทิชัน (K_p) และความสามารถในการดูดติดผิว (Sorption Capacity) ของเบนโทไนต์และดินเหนียวสงขลา สามารถทำได้โดยวิธี Batch Adsorption Test ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบโดยใช้ดินที่มีน้ำหนักคงที่ ไปดูดสารละลายโลหะหนักที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันหลายค่า สารละลายโลหะหนัก เมื่อถูกดูดติดผิวจนสมดุลแล้ว จะมีค่าความเข้มข้นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและความสามารถในการดูดติดผิวของดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

(b) เตรียมสารละลายโลหะหนัก โดยละลายโลหะหนักในน้ำกลั่น (Deionized Water) จนมีปริมาตร 25 mL ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ประมาณ 12 -18 ค่าความเข้มข้น

และทำการทดลองซ้ำในแต่ละความเข้มข้น 2 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดความเข้มข้นและชนิดของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดความเข้มข้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองแบบแบทช์

ชนิดของโลหะหนัก	สารตั้งต้น	ช่วงค่าความเข้มข้น (mg/L)	ระดับ pH ของสารละลาย
Cadmium (Cd)	CdCl ₂	1-2,400	2.5 – 5.5
Lead (Pb)	PbCl ₂	1-4,000	0.5 – 2.0
Zinc (Zn)	ZnCl ₂	1-1,200	2.0 – 4.0
Chromium (Cr)	CrCl ₃ ·6H ₂ O	1-800	2.5 – 4.0
Nickel (Ni)	NiCl ₂ ·6H ₂ 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

ในการทดลองแบบแบทช์นี้ จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายประมาณ 12 ค่า ต่อหนึ่งชนิดของดินและต่อหนึ่งชนิดของโลหะหนัก รวมทั้งชุดทดลองควบคุม (Blank) ดังนั้นการทดลองแบทช์ ทั้งหมดรวมเป็นจำนวน 180 ครั้ง จากนั้นนำผลความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ไปฟิตกับสมการแบบ Freundlich , Linear และ Langmuir (สมการที่ 2.16, 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ)



(a) นำดินผสมกับสารละลายโลหะหนัก
ที่ความเข้มข้นต่างๆ



(b) เหย้า 300 rpm ที่ไว้ 24 ชั่วโมง



(c) นำไปแยกชั้นของดินกับสารละลาย
โลหะหนักด้วยเครื่อง Centrifuge



(d) นำสารละลายโลหะหนักที่แยกชั้น
อยู่ด้านบนไปตรวจวิเคราะห์หา
ความเข้มข้นสุดท้าย

ภาพประกอบที่ 3.10 ขั้นตอนการทดลองแบบเบทซ์

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 (Cd)	228.8	0.5	0.02 – 3
Lead (Pb)	217.0	1.0	0.1 – 30
Zinc (Zn)	213.9	1.0	0.01 – 2
Chromium (Cr)	357.9	0.2	0.06 – 15
Nickel (Ni)	232.0	0.2	0.1 - 20

3.7.2 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์ (Cl) ด้วยวิธี Argentometric Method หรือ Mohr Method (APHA, AWWA and WEF, 1995) มีรายละเอียด ดังนี้

3.7.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีรายละเอียดและวิธีการเตรียม ดังนี้

(a) K_2CrO_4 Indicator เตรียมโดยชั่ง K_2CrO_4 50 g ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่เกล็ด AgNO_3 ลงไปเล็กน้อย จนเป็นตะกอนสีแดงเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L

(b) สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรต 0.0141 N เตรียมโดยชั่ง AgNO_3 2.395 g ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L โดยก่อนการทำการทดลองทุกครั้งต้อง Standardize ด้วยสาร

ละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N (1 mL ของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรดจะสมมูลกับ 500 μg ของ Cl^-)

(c) สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N เตรียมโดยชั่ง NaCl ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 140°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 NaOH 0.1 N จากนั้นเติม K_2CrO_4 Indicator ลงไปจำนวน 1 mL น้ำตัวอย่างจะกลายเป็นสีเหลือง ทำการไตเตรตน้ำตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ เมื่อน้ำตัวอย่างเปลี่ยนสีจากสีเหลืองของ K_2CrO_4 Indicator เป็นสีเหลืองอมส้ม สำหรับในชุดการทดลองควบคุม (Blank) จะใช้น้ำกลั่นจำนวน 100 mL มาเป็นน้ำตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของ Cl^- ได้ดังนี้

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

โดยที่ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำกลั่น (mL)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N

(b) การทำ Standardize จะต้องทำทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Cl^- โดยนำสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.0141 N จำนวน 20 mL มาใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วเติม K_2CrO_4 Indicator ลงไปจำนวน 1 mL จากนั้นนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรด 0.0141 N จนได้ตะกอนสีน้ำตาล โดยมีวิธีการคำนวณหา Normality ดังต่อไปนี้

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