TUMCIVIL.COM
engfanatic

คู่มือ เอกสารประกอบการสอน

Soil Mechanic Laboratory

วิชา EGCE 332

ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์

รวบรวมโดย ผศ.ปิยะ รัตนสุวรรณ

Workshop
First Edition Vol.1

สำหรับนิสิตนักศึกษา นายช่าง และวิศวกร

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering, Mahidol University

คำนำ

รหัสวิชา EGCE332 ชื่อวิชา การทดลองทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics Laboratory) วัตถุประสงค์ในการจัดทำหนังสือเล่มนี้ขึ้นมา เพื่อให้นักศึกษา วิศวกรโยธาหรือผู้ที่มีความสนใจในวิศวกรรมโยธา ได้ทำการศึกษาในการทดลองให้เข้าใจยิ่งขึ้น ทั้งนี้ต้องมีความรู้ในทางทฤษฎี ในวิชาวิศวกรรมปฐพี มาเป็นอย่างดี นอกจากนี้ ขอขอบคุณ Tumcivil.com ที่เป็นผู้ ออกแบบหน้าปกเอกสารประกอบการสอนเล่มนี้

สุดท้าย เอกสารประกอบการสอนวิชา EGCE332 เล่มนี้ ยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้างไม่มากก็น้อย ซึ่งเกิดขึ้นโดยมิได้ตั้งใจ ฉะนั้น หากพบข้อบกพร่องประการใด กรุณาแจ้งให้ผู้เขียนทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ปิยะ รัตนสุวรรณ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
พิมพ์ ครั้งที่ 2 มิถุนายน 2555

TUMCIVIL.COM

ราคา 150 บาท

สารบัญ

การทดลอง	หน้า
1. การเจาะและเก็บตัวอย่างดิน (Subsurface Exploration and Sampling of Soils)	1
2. การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity)	7
3. การทดลอง Atterberg 's Limit (Atterberg Limit)	14
4. การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Grain size analysis)	28
5. การทดลองความแน่นแบบมาตรฐาน (Compaction test)	38
6. การทดลองเพื่อหาค่า ซี. บี.อาร์. (C.B.R.Test)	47
7. การทดลองเพื่อหาค่าแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression test)	57
8. การทดลองเพื่อหาค่าแรงเฉือนตรง (Direct shear test)	63
9. การทดลองการซึมผ่านได้ของดิน (Permeability test)	70
10. การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field Density test)	76
11. การทดลองเพื่อหาค่าการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation test)	85
12. การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางเคมีของดิน (Soil Chemical Properties)	99
13. การทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน (Triaxial Test)	103
14. การทดลองความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density Test)	116
15. การทดลองหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (HYDROMETER ANALYSIS TEST)	119

TUNCIVIL.COM

การทดลองที่ 1
การเจาะและเก็บตัวอย่างดิน
(BORING AND SAMPLING OF SOILS)

1 วัตถุประสงค์

ในการเจาะและเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม มีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ความลึกในการเจาะและเก็บตัวอย่างดิน ในการทดลองนี้จะใช้วิธีการเจาะและเก็บตัวอย่างดินโดยวิธี สว่านเจาะดิน (Hand Auger) และมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.1 เพื่อต้องการให้นักศึกษาทราบถึงวิธีการหนึ่งของการเก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

1.2 เพื่อให้นักศึกษาแสดงค่าของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน (Water Content) ซึ่งแปรไปตามความลึกของชั้นดิน

1.3 เพื่อให้นักศึกษาเก็บรายละเอียดของดิน เพื่อนำมาเขียนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน (Soil Profile) อย่างง่ายๆ

1.4 เพื่อนำตัวอย่างที่เก็บมาได้ทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องทดลองในครั้งต่อๆไป

2 หลักการ

การเจาะและเก็บตัวอย่างดินเป็นขั้นตอนอันหนึ่งของการสำรวจชั้นดิน (Subsurface Exploration) มีวิธีการเจาะและอุปกรณ์การเจาะมากมายหลายชนิด เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงานและวัตถุประสงค์ของการเจาะ มีตั้งแต่การใช้อุปกรณ์ง่ายๆ และใช้แรงงานคนไปจนถึงอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องทุ่นแรง

การเก็บตัวอย่างดิน ดินที่ได้จากการสำรวจมี 2 ชนิด

2.1 ตัวอย่างดินคงสภาพ(Undisturbed Sample) หมายความว่า เป็นตัวอย่างดินที่เจาะขึ้นมาด้วยอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้เป็นพิเศษ ที่ป้องกันการเปลี่ยนสภาพของดิน คือ คุณสมบัติของดินใกล้เคียงกับสภาพที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติมากที่สุด คุณสมบัติ ที่ว่าได้แก่ ความหนาแน่น ความพรุน อัตราส่วนช่องว่างในดิน ปริมาณน้ำในดิน ฯลฯ

2.2 ตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) คือ ตัวอย่างที่ไม่พิถีพิถันในการเก็บ อาจใช้เครื่องมือและอุปกรณ์อย่างง่ายๆ เช่น ขุดขึ้นมา หรือ ใช้สว่านเจาะด้วยวัตถุประสงค์ต้องการทราบคุณสมบัติของดินอย่างสังเขป เช่น สี และลักษณะ ของดิน ฯลฯ

ส่วนการทดลองครั้งนี้ เป็นการเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ โดยการใช้สว่านมือ สว่านมือเป็นอุปกรณ์การเจาะดินอย่างง่าย และใช้กันมานานแล้ว สามารถใช้เก็บตัวอย่างดินในชั้นที่ความลึกไม่มากนัก และเป็นชั้นดินอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินชนิด Cohesive Soil ถ้าหากเป็นชั้นดินแข็งและเป็นทราย หรือดินประเภท Cohesion less Soil อาจต้องใช้น้ำช่วยในการเจาะ เพื่อให้ทำงานได้สะดวกและง่ายต่อการเก็บตัวอย่าง และถ้าพื้นที่บางแห่งดินขาดเสถียรภาพ (Unstable) ต้องใช้ท่อส่งลงไปเมื่อเจาะหลุม เพื่อกันดินพัง สว่านมือสามารถเจาะดินได้ถึง 6 เมตร

การเขียนรายละเอียดของดินที่เจาะขึ้นมาได้ เนื่องจากตัวอย่างที่ได้มาเป็นตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ ทำให้สามารถทราบคุณสมบัติของดินได้เฉพาะที่สังเกตด้วยตาเปล่า เช่น ลักษณะเนื้อดิน สี กลิ่น และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น สารแปลกปลอมที่ปนในดิน เป็นต้น

3 การคำนวณค่าปริมาณความชื้นในดิน (Water Content, w)

ปริมาณความชื้นในดิน (Water Content , w) หมายถึง อัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในมวลดินกับน้ำหนักของเม็ดดิน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$w = \frac{Ww}{Ws} \qquad \text{.....(1)}$$

w	=	ปริมาณความชื้นในดิน
Ww	=	น้ำหนักของน้ำในมวลดิน
	=	น้ำหนักของดินก่อนอบแห้ง – น้ำหนักของดินหลังอบแห้ง
Ws	=	น้ำหนักของดินหลังอบ
	=	น้ำหนักของดินแห้ง

บางครั้งปริมาณความชื้นแสดงในรูปของร้อยละ (Percent)

$$w = \frac{Ww}{Ws} \times 100\ \% \qquad \text{.....(2)}$$

4 อุปกรณ์

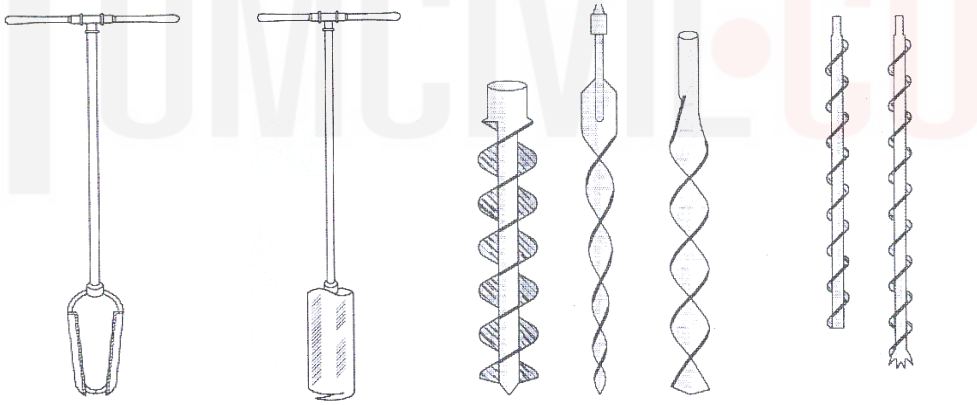
4.1 สว่านเจาะดินแบบใช้มือขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 - 6 นิ้ว จำนวน 1 หัว

4.2 ด้ามต่อ (Extension Rod) เพื่อให้เจาะลึกลงไปได้อีกยาว 1 เมตร จำนวน 6 ท่อน

4.3 กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน (Container) จำนวน 12 กระป๋อง

4.4 ประแจจับท่อใช้ในการต่อด้าม จำนวน 2 อัน

4.5 ตลับเมตร เพื่อใช้วัดความลึกของการเจาะ



อุปกรณ์เจาะสว่านด้วยมือแบบเปิด | อุปกรณ์เจาะสว่านด้วยมือแบบปิด | ใบสว่านต่อเนื่องแบบกว้างสำหรับเครื่องเจาะ (ใช้กับดินทั่วไป) | ใบสว่านต่อเนื่องแบบแคบสำหรับเครื่องเจาะ (ใช้กับดินแข็ง)

TUMCIVIL.COM

กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

กระป๋อง+ดินชื้น ก่อนเข้าเตาอบ

5 วิธีการทดลอง

ให้ นศ. ทำการเจาะสำรวจดิน โดยใช้วิธีการเจาะแบบสว่านดิน ลึก 4.00หรือ6.00 เมตร และเก็บตัวอย่างดินแบบ ตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) ทุกๆ 1 เมตร ช่วงละ 2 ตัวอย่าง มาทดสอบหาปริมาณความชื้น (Water Content) รายละเอียดของดิน เพื่อนำมาเขียนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน (Soil Profile) อย่างง่ายๆ

5.1 เบิกเครื่องมือที่จะใช้ในการทดลอง

5.2 เลือกตำแหน่งของหลุมเจาะ พร้อมทั้งเขียนแผนที่โดยสังเขปแสดงตำแหน่งของหลุมเจาะ

5.3 เมื่อเจาะลึกทุกๆ 1 เมตร แต่ละชั้นดินที่เปลี่ยนดินให้เก็บตัวอย่างดินใส่กระป๋องอบดินไว้ 2 กระป๋อง และบันทึกชนิดของดินและสีไว้ทุกๆครั้ง (จากการสังเกตด้วยตา) นำดินในกระป๋อง ไปอบและหาค่า Water Content

5.4 เจาะดินและเก็บตัวอย่างจนกระทั่งลึก 6.00 เมตร

5.5 วัดความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (ถ้ามี)

5.6 เขียนการรายงานผลการทดลองให้กระทำในวันถัดไป หลังจากทราบค่า Water Content โดยการนำมา Plot เพื่อหาลักษณะของชั้นดินและแสดงค่า Water Content ของแต่ละชั้น เขียนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน (Soil Profile) อย่างง่าย (แบบ soil 01-001 และ soil 01-002)

Example Log of Boring .

LOG OF BORING No. 1

PROJECT : อาคารที่พักอาศัย คสล. 4 ชั้น | **LOCATION : กม 348 ถ.เพชรเกษม อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์**

CLIENT : บริษัท ออร์คิด รีสอร์ท

DEPTH.m	SAMPLE No.	TYPE OF SAMPLE	SAMPLE DIST. (cm)	RECOVERY (cm)	DESCRIPTION OF MATERIAL
1					Top soil 1.50 m
2	01	SS	25		Medium brown fine to
		PA			
3					
	02	SS	20		Medium grey- brown fine
4		WO			to coarse sand - gravel
5	03	SS	30		
		WO			
6					
	04	SS	25		
7		WO			
8	05	SS	20		Very dense greyish brown
		WO			fine to coarse sand - gravel
9					
	06	SS	10		
10		WO			
11	07	SS	10		10.95 m
		WO			
12					End of Boring.
13					(10.95m)

GRAPHIC LOG

O Natural Water Content
× Plastic Limit
Δ Liquid Limit
(%)
20 40 60 80 100

7.317
17.549
20.562
21.702
17.573
17.903
17.034

O Su(UC) λ Su'(UC)
Δ Su(Fv) σ Su'(Fv)
× Qp/2
(t/m^2)
2.5 5 7.5

□ SPT , N (Blow/ft)
30 60 90

10
12
21
65
50/15 cm
80/15 cm
80/10 cm

FACULTY OF ENGINEERING	**BORING STARTED.** 25- 3 – 49	**GROUP no ……**
	BORING FINISHED. 25 – 3 – 49	**FOREMAN IB.**
		WL. – 2.30 24 HRS. AFTER BORING
		JOB No. พิเศษ / 2549

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Laboratory of Soil Mechanics. Soil 01-001

Boring and Soil Sample

Location ……. Date …….

Group No …….....

Water Content

Container no.												
Sample no.												
Depth m												
Wt. Container gm.												
Wt. Container + Wet Soil gm												
Wt. Container + Dry Soil gm												
Wt. of Water gm												
Wt. Dry Soil gm												
Water Content %												
Average Water Content %												

Container no.												
Sample no.												
Depth m												
Wt. Container gm.												
Wt. Container + Wet Soil gm												
Wt. Container + Dry Soil gm												
Wt. of Water gm												
Wt. Dry Soil gm												
Water Content %												
Average Water Content %												

UMCIVIL.COM

Faculty of Engineering Mahidol University.

Laboratory of Soil Mechanics. Soil 01-002

Boring and Soil Sample

Log of Boring .

LOG OF BORING No. 1

PROJECT :	**LOCATION :**
CLIENT :	

DEPTH.m	SAMPLE No.	TYPE OF SAMPLE	SAMPLE DIST. (cm)	RECOVERY (cm)	DESCRIPTION OF MATERIAL	GRAPHIC LOG	O Natural Water Content × Plastic Limit Δ Liquid Limit (%) 20 40 60 80 100	O Su(UC) λ Su'(UC) Δ Su(Fv) σ Su'(Fv) × Qp/2 (t/m^2) 2.5 5 7.5 □ SPT , N (Blow/ft) 30 60 90
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

FACULTY OF ENGINEERING	**BORING STARTED.**	**GROUP no .....**	**WL. ..... 24 HRS. AFTER BORING**
	BORING FINISHED.	**FOREMAN IB.**	**JOB No. ..... /.....**

TUMCIVIL.COM

การทดลองที่ 2
การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน
(SPECIFIC GRAVITY TEST)

1. ขอบข่ายและวัตถุประสงค์

ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D854 และ AASHTO T100 ซึ่งเป็นวิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Soils) ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) โดยใช้ขวด Pycnometer (Volumetric Flask) ถ้าดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้วิธีการทดลองตามมาตรฐาน ASTM C127

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาทราบถึงวิธีการและหลักการทั่วไปในการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุเม็ดละเอียดซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเกินกว่า 1.0

2. ทฤษฎี

TUMCIVIL.COM

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือ ค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ

$$Gs = \frac{\text{ความหนาแน่นของวัตถุ}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ } 4^{\circ}\text{C}} \quad \text{.....(2.1)}$$

จากหลักการของอาคีมีดีส ที่กล่าวว่า วัตถุเมื่อจมอยู่ในน้ำปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้นจะเท่ากับปริมาตรของวัตถุ และจากหลักข้อนี้ เราก็หาภาชนะที่สามารถทราบปริมาตรที่แน่นอนเพื่อทำการทดสอบซึ่งในที่นี้ก็คือ Volumetric Flask แต่ว่า Volumetric Flask มีคุณสมบัติคือ ปริมาตรของขวดจะแปรผันกับอุณหภูมิ ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องมีการเทียบมาตรฐานขวด (Calibration Flask) ก่อนเพื่อความสะดวกในการใช้งานคราวต่อไป โดยทำแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของน้ำบวกมวลของขวดกับอุณหภูมิ

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (G_s) คือ ค่าโดยประมาณของเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดดินเท่านั้น (Solid) ซึ่งค่าที่หาออกมาได้จะมีค่ามากกว่าค่า Bulk Specific Gravity (ค่าความถ่วงจำเพาะของดินทั้งก้อนส่วนที่เป็น Solid + Void) ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินมีประโยชน์หลายๆอย่าง เช่นสามารถนำไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่างในดินได้ ใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดเม็ดดินในเรื่อง Hydrometer Analysis และใช้เป็นค่าที่ประมาณความหนาแน่นของดิน และบางโอกาสค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินสามารถนำไปจำแนก Mineral ที่เป็นส่วนประกอบในดินได้เช่นดินที่มีส่วนของ Iron Mineral จะให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเดิมที่มี Silica เป็นส่วนประกอบ

สาเหตุที่จะทำให้การทดลองผิดพลาดมาก เกิดขึ้นจากส่วนผสมของดินกับน้ำไม่เป็นสัดส่วนเดียวกันเนื่องจากว่าน้ำในสภาวะปกติมีอากาศปนอยู่ และในมวลของดินก็มีอากาศอยู่ด้วย ถ้าหากว่าไม่ไล่อากาศออกจากวัตถุทั้งสองอย่างให้หมดปริมาณของอากาศที่ปนอยู่ก็จะทำให้น้ำหนักดินเบากว่าเมื่อเทียบกับปริมาตร ซึ่งจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่คำนวณได้น้อยกว่าที่ควรเป็น

การไล่ฟองอากาศออกจากของผสมดิน + น้ำ ทำได้โดยการให้ความร้อน และใช้ปั๊มสุญญากาศช่วยในการดูดอากาศออก การไล่อากาศออกจากของผสมมีความจำเป็นมากในการทดลองกับดินประเภททราย ทรายเม็ดป่น และดินเหนียว ส่วนใหญ่กรณีของดินที่มีอินทรียวัตถุปนมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเองของผสม (ดิน + น้ำ ในขวด Volumetric Flask) ต้มในน้ำเดือดประมาณ 30 นาที หรือ ต้มประมาณ 6-8 ชั่วโมงสำหรับดินที่มีความอ่อนตัวมาก (high plasticity) หรือ 4-6 ชั่วโมงสำหรับดินที่มีความอ่อนตัวน้อย (Low plasticity)

ค่าความถ่วงจำเพาะของดินชนิดต่างๆ เมื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ทดสอบ

ชนิดของดิน	**ค่าความถ่วงจำเพาะ**
Sand	2.65 - 2.67
Silty Sand	2.67 - 2.70
Inorganic Clay	2.70 - 2.80
Soil with Micas or Iron	2.75 - 2.80
Organic Soil	2.75 - 3.00

TUMCIVIL.COM

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

3.1.1 Volumetric Flask ขนาด 500 มิลลิลิตร
3.1.2 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
3.1.3 เทอร์โมมิเตอร์ชนิด 0-100 องศาเซลเซียส
3.1.4 เตาและภาชนะต้มน้ำ
3.1.5 ปิเปต (Pipet)
3.1.6 Vacuum Pump หรือ Aspirator สำหรับทำสุญญากาศ
3.1.7 เครื่องกวนดิน (Stirring Apparatus) หรือแท่งแก้วกวนดิน
3.1.8 ภาชนะใส่ดินระหว่างกวนดิน
3.1.9 ขวดพลาสติกฉีดน้ำกลั่นและน้ำกลั่น
3.1.10 ถาด (Tray) หรือ ถ้วยอบระเหย (Evaporating dishes)
3.1.11 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส
3.1.12 อ่างแก้วดูดความชื้น (Desiccators)

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์พื้นฐานใช้ในการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

TUMCIVIL.COM

3.2 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ Lab Soil 02-001 ในการบันทึกผลการทดสอบ

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

ดินที่จะนำมาทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ อาจเป็นดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติหรือเป็นดินที่อบแห้งแล้วอย่างใดอย่างหนึ่ง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติ เตรียมได้โดยการนำเอาดินมาประมาณ 150 กรัม แช่ลงในน้ำกลั่น ผสมดินให้เข้ากับน้ำกลั่น โดยใช้เครื่องกวนแล้วนำดินนี้ไปทดลอง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างดินที่อบแห้ง จะต้องอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรืออบจนกระทั่งมวลของตัวอย่างคงที่ นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใช้ตัวอย่างประมาณ 100 กรับ แช่ในน้ำกลั่นอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลอง

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การเทียบมาตรฐานขวด Volumetric Flask ต้องเทียบมาตรฐานขวด Volumetric Flask ก่อนเพื่อความสะดวกในการใช้คราวต่อๆ ไป ให้ทำแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของน้ำบวกมวลของขวดกับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) วิธีเทียบมาตรฐานทำได้ 2 วิธี

(1) โดยการทดลอง ขวดที่จะนำมาเทียบมาตรฐานจะต้องสะอาดและแห้ง เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายที่คอขวด เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหามวลของน้ำบวกมวลของขวด และวัดอุณหภูมิของน้ำกลั่นในขวด นำขวดไปอุ่นให้ร้อนในภาชนะต้มน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับน้ำในขวดจะสูงเกินขีดเครื่องหมาย เอาจุกปิดที่ปากขวดแล้วพลิกขวดไปมาเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำในขวดสม่ำเสมอทั่วกัน เอาน้ำส่วนที่เกินออกจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุด

ของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมาย เช็ดขวดให้แห้ง นำไปชั่งและวัดอุณหภูมิ การทดลองดังกล่าวนี้ ให้ทำที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ระหว่างอุณหภูมิ 35ºC และ 60 ºC เพื่อสะดวกในการทำแผนภูมิที่ต้องการ

(2) โดยการคำนวณหาค่ามวลของน้ำบวกมวลของขวดที่อุณหภูมิต่างๆ ได้จากสูตร

$$M = M_B + V_B (1+\Delta T.\ \varepsilon)\ (\rho_t - \rho_a)$$

ซึ่ง M = มวลของน้ำ + มวลของขวด มีหน่วยเป็นกรัม

M_B = มวลของขวดเปล่าที่สะอาดและแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

V_B = ปริมาตรของขวด (500 มิลลิลิตร)

ΔT = $T - T_C$

T = อุณหภูมิของน้ำเป็นองศาเซลเซียส ขณะที่ชั่งหามวล

T_C = อุณหภูมิที่ใช้เทียบมาตรฐานขวดที่ปริมาตร V_B (โดยปกติใช้ที่ 20 องศาเซลเซียส)

ε = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวโดยปริมาตรของแก้ว ใช้ค่า 0.100×10^{-4} ต่อองศาเซลเซียส

ρ_t = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (ดูตารางที่ 1)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ ใช้ค่า 0.0012 กรัมต่อมิลลิลิตร

ให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดลองมาทำแผนภูมิ ส่วนค่าที่ได้จากวิธีการคำนวณให้ใช้เป็นค่าตรวจสอบแผนภูมินั้น ถ้าแตกต่างกันมากให้ทำการทดลองตรวจสอบค่าที่ได้จากการทดลองใหม่

3.4.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน นำดินที่เตรียมไว้จากข้อ 3.2 ใส่ลงไปในขวดVolumetric Flask เทน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาณ 3 ใน 4 ของขวด Volumetric Flask แล้วนำไปแช่ในภาชนะต้มน้ำเพื่อไล่ฟองอากาศของให้หมด โดยต้มของผสมในขวด Volumetric Flask ให้เดือดอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำมาเขย่าให้ฟองอากาศขึ้นมาจากก้นขวดจนไม่เห็นฟองอากาศ เติมน้ำกลั่นลงไปอีกให้ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายแล้วเช็ดขวดภายนอกและภายในจนถึงระดับขีดเครื่องหมายให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหามวล M_1 วัดอุณหภูมิ (ต้องทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกันก่อนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) นำขวด Volumetric Flask มาแช่น้ำเย็นให้อุณหภูมิของผสมลดต่ำลง ซึ่งปริมาตรจะลดลง เติมน้ำกลั่นให้ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่เครื่องหมายและปฏิบัติตามดังข้างต้น ได้มวลใหม่ที่อุณหภูมิใหม่ ทำเช่นนี้ 4 ครั้ง เสร็จแล้วเทของผสมลงไปในภาชนะ (ถาด) ที่ทราบมวลแล้ว ถ้ายังมีเศษดินเหลืออยู่ให้เติมน้ำกลั่นลงไปล้างเศษดินเทลงในภาชนะให้หมด นำภาชนะไปอบให้แห้ง ชั่งหามวลของภาชนะกับดินแห้ง จะทราบมวลของดินที่แห้ง (M_S)

4. การคำนวณ

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ได้จากสูตร

$$G_S = \frac{G_t . M_s}{M_s - M_1 + M_2}$$

เมื่อ G_S = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

G_t = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส (ดูตารางที่ 1)

M_s = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

M_1 = มวลของขวด+มวลของน้ำ+มวลของดิน มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของขวด+มวลของน้ำ มีหน่วยเป็นกรัม

t = อุณหภูมิของของผสมในขวด Pycnometer ขณะชั่งหามวล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

หมายเหตุ: M_2 หาได้จากแผนภูมิที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

5. การรายงาน

ให้รายงานชนิด สี สถานที่เก็บตัวอย่างดิน วัน เดือน ปี และกลุ่มที่ทำการทดสอบ พร้อมทั้งค่าต่างๆ ลงในแบบฟอร์มที่ “Lab Soil – 02” และวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยตอบคำถามต่อไปนี้

- จงเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการทดสอบว่าอยู่ในช่วงที่ควรจะเป็นหรือไม่ เหตุใดบ้างที่อาจทำให้การทดสอบคลาดเคลื่อน
- จากสูตร $G_S = \frac{G_t . M_s}{M_s - M_1 + M_2}$ เหตุใดจึงต้องคูณค่า G_t ในสูตร

6. ข้อควรระวัง

6.1 ของผสมหรือน้ำในขวด Volumetric Flask จะต้องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอในขณะวัด

6.2 ต้องชั่งหามวลของภาชนะก่อนที่จะนำเอาของผสมในขวด Volumetric Flask เทลงใส่

6.3 ต้องระมัดระวังไม่ให้ดินในขวด Volumetric Flask สูญหายไปในระหว่างเทลงในภาชนะเพื่ออบ มิฉะนั้นมวลของดินที่ได้หลังจากการอบแห้งแล้วจะไม่ใช่มวลที่แท้จริงในการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

6.4 ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำในขวด Volumetric Flask จะต้องอยู่ที่ขีดเครื่องหมายทุกครั้งเมื่อเวลาชั่ง

TUMCIVIL.COM

ตารางที่ 1
ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (G_t)

°ซ.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ_t) ด้วย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

TUMCIVIL.COM

Document No.: Lab Soil-02

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

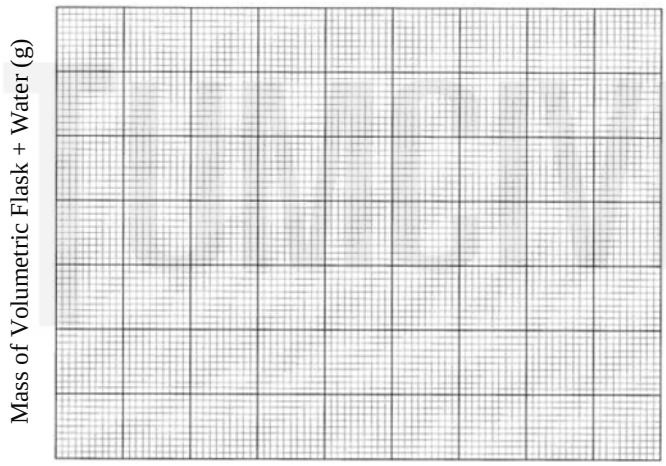
LAB 2
SPECIFIC GRAVITY TEST OF SOILS

Soil type and color: _____ Date: _____

Sampling Location: _____ Tester: _____

1. Calibration of Volumetric Flask

Test No.		1	2	3	4
Mass of Volumetric Flask + water	g.				
Temperature	^oC				



$$G_S = \frac{G_t . M_s}{M_s - M_1 + M_2}$$

2. Specific Gravity Test

Test No.			1	2	3	4
Mass of Volumetric Flask + water + soil	M_1	g.				
Temperature	t	^oC				
Mass of Tray		g.				
Mass of Tray + dry soil		g.				
Mass of dry soil	M_S					
Mass of Volumetric Flask + water	M_2	g.				
Specific gravity of water at t ^oC	G_t					
Specific gravity of soil	G_S					
Average of Specific gravity of Soil	G_S					

การทดลองที่ 3
การทดลองหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน
(ATTERBERG'S LIMIT TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้มุ่งเน้นให้ผู้ทดสอบสามารถทราบวิธีการหา Atterberg's limit และการใช้ Atterberg's limit ในการจำแนกชนิดของดิน

2. นิยาม

ขีดการไหลตัว (Liquid limit) และขีดความอ่อนตัวของดิน (Plastic limit) และขีดการหดตัวของดิน (Shrinkage limit) ตามที่นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนนามว่า A.Atterberg กำหนดไว้แต่ละขีดจำกัดได้แก่

1. ขีดการหดตัวของดิน (Shrinkage limit , SL) คือ ปริมาณน้ำในดินที่มากที่สุดที่ไม่ทำให้ดินเปลี่ยนปริมาตรเมื่อแห้ง
2. ขีดความอ่อนตัวของดิน (Plastic limit , PL) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Semi Solid ของดิน อธิบายได้ว่า ดินใดๆก็ตามถ้ามีปริมาณน้ำเท่ากับ Plastic limit ดินนั้นจะอยู่ระหว่างสถานะ Plastic และสถานะ Semi Solid ถ้ามีปริมาณมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินก็จะอยู่ในสถานะเป็น Plastic และถ้ามีถ้ามีปริมาณน้อยกว่าขีดจำกัดนี้ดินก็จะอยู่ในสถานะ Semi Solid
3. ขีดการไหลตัว (Liquid limit , LL) คือปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งสถานะระหว่าง Plastic และสถานะ Liquid ของดิน หรืออีกนัยหนึ่ง เป็นปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาวะการไหลตัว

ค่า Liquid limit และ Plastic limit นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในทางวิศวกรรม โดยทั่วไปใช้เป็นค่าในการกำหนดคุณสมบัติของการจำแนกดิน นำไปประมาณหาค่า optimum moisture content ของดินในการทดสอบการบดอัดดินได้ด้วย ส่วนค่า Shrinkage limit มีประโยชน์ในพื้นที่บางแห่งที่ดินมีการหดตัวและการขยายตัวตามฤดูกาล

3. วิธีการทดสอบ

<u>การทดสอบย่อยที่ 1: การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว (SHRINKAGE LIMIT , SL)</u>

1. ขอบข่าย

   วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ครอบคลุมถึงการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน ดังนี้

   1.1 ค่าขีดหดตัว (SHRINKAGE LIMIT)

   1.2 ค่าอัตราส่วนการหดตัว (SHRINKAGE RATIO)

   1.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (VOLUMETRIC CHANGE)

   1.4 ค่าการหดตัวเชิงเส้น (LINEAR SHRINKAGE)

2. นิยาม

   2.1 ค่าขีดหดตัว หมายถึง จำนวนความชื้น (WATER CONTENT) มากที่สุดที่ผสมในดิน ซึ่งเมื่อ ความชื้นดังกล่าวลดลงแล้ว ไม่ทำให้ปริมาตรรวมของมวลดินลดลงตามด้วย

   2.2 ค่าอัตราส่วนการหดตัว หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของดินที่เปลี่ยนแปลง และความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลง โดยค่าทั้งสองต้องสอดคล้องกันเหนือค่าขีดหดตัว

   2.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร หมายถึง ค่าปริมาตรของมวลดินที่ลดลง เมื่อความชื้นลดลงจากร้อยละ ของความชื้นที่หาได้ จนถึงขีดหดตัว

   2.4 ค่าการหดตัวเชิงเส้น หมายถึง ค่าการหดตัวของมิติใดมิติหนึ่งของมวลดิน เมื่อความชื้นในดินนั้นลดลง จากร้อยละของความชื้นที่หาได้ จนถึงค่าขีดหดตัว

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ

3.1.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบสำหรับผสมดินหรือถ้วยในลักษณะเดียวกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มม. (4 1/2นิ้ว)

3.1.1.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มม. (6 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (SPATULA) ใบพายกวนดินหรือใบมีดบาง มีใบพายหรือใบมีดยาว 75 มม.(3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)

3.1.3 ภาชนะกระเบื้องเคลือบหรือโลหะเคลือบ (MILK DISH) มีฐานราบและเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 45 มม.(1 3/4 นิ้ว) สูงประมาณ 12.7 มม.(1/2 นิ้ว)

3.1.4 เหล็กปาด (STRAIGHT EDGE) ทำด้วยเหล็กยาวประมาณ 100 มม. (4 นิ้ว)

3.1.5 ถ้วยแก้ว (GLASS CUP) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50.8 มม.(2 นิ้ว) สูง 25 มม. (1 นิ้ว) ขอบปากถ้วยแก้วราบเรียบและขนานกับฐาน

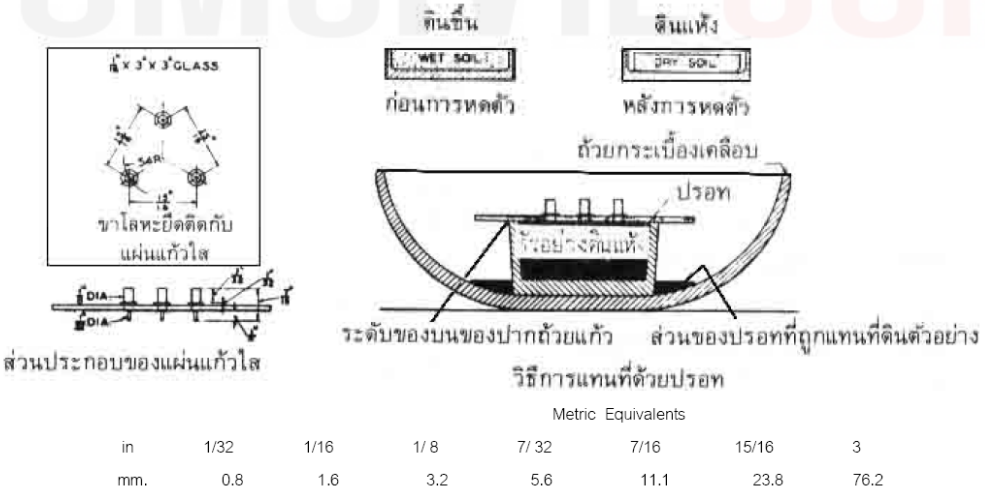
3.1.6 แผ่นแก้วใส (TRANSPARENT PLATE) มีขาโลหะ 3 ขา สำหรับกดตัวอย่างดินให้จมลงในปรอท

3.1.7 กระบอกตวง (GLASS GRADUATE) ขนาดความจุ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.8 เครื่องชั่ง (BALANCE) สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.9 ปรอท (MERCURY) จำนวนมากพอที่จะใส่ในถ้วยแก้ว (ข้อ 3.1.5) ได้เต็มจนล้น

3.1.10 ตู้อบ (OVEN) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่ออบดินให้แห้งได้



รูปที่ 1 เครื่องมือสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว

3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ เตรียมโดยนำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 0.425 มม.(เบอร์ 40) คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งดินประมาณ 30 กรัม มาใช้ทดสอบ

3.3 แบบฟอร์ม ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ กำหนด

3.4 การทดสอบ

3.4.1 ผสมตัวอย่างดินในถ้วยกระเบื้องเคลือบ สำหรับผสมดินด้วยน้ำให้ทั่วถึงด้วยปริมาณน้ำที่เพียงพอที่จะแทนที่ช่องว่าง (VOID) ระหว่างเม็ดดินทั้งหมดได้และเหลวพอที่จะบรรจุลงในภาชนะกระเบื้องเคลือบ โดยปราศจากฟองอากาศ จำนวนน้ำที่ต้องผสมดินร่วนเพื่อให้เหลวตามต้องการนั้น จะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT) และจำนวนน้ำที่ต้องใส่ผสมกับดินเหนียว เพื่อให้เหลวตามต้องการอาจมากกว่าค่าขีดเหลวถึงร้อยละ 10

3.4.2 ทาด้านในของภาชนะกระเบื้องเคลือบ ด้วยขี้ผึ้งหรือน้ำมันหล่อลื่นเพียงบาง ๆ เพื่อป้องกันมิให้ดินติดภาชนะ ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้วประมาณ 1/3 ของปริมาตรของภาชนะลงกลางภาชนะและค่อย ๆ เคาะภาชนะบนพื้นที่ราบเรียบรองด้วยกระดาษซับหลาย ๆ ชั้นหรือวัสดุที่คล้ายกันจนดินไหลไปชนด้านข้างของภาชนะใส่ดินจำนวนเท่า ๆ กับครั้งแรกลงในภาชนะอีก และเคาะจนดินแน่นและฟองอากาศลอยขึ้นมาบนผิวจนหมดแล้ว เติมดินจำนวนมากกว่าคราวก่อนเล็กน้อยลงใน

ภาชนะและเคาะจนดินเต็ม และล้นขอบภาชนะเล็กน้อยปาดดินที่ล้นออกด้วยเหล็กปาดและเช็ดดินที่ติดอยู่ข้าง ๆ ภาชนะออกให้หมด

3.4.3 ชั่งภาชนะที่มีดินบรรจุอยู่เต็มทันทีและบันทึกไว้ เป็นค่าน้ำหนักของภาชนะและดินชื้น ปล่อย ให้ตัวอย่างดินในภาชนะแห้งที่อุณหภูมิของห้องทดสอบ จนกระทั่งสีของตัวอย่างดินจางลงแล้วอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ110 ± 5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) จนแห้งแล้วชั่งและบันทึกไว้เป็นน้ำหนักของภาชนะและดินแห้ง หาน้ำหนักของภาชนะเปล่าและบันทึกไว้ สำหรับปริมาตรของภาชนะหาได้โดยใส่ปรอทลงในภาชนะจนล้น แล้วเอาปรอทส่วนที่เกินออกโดยกดแผ่นกระจก

เรียบบนปากภาชนะจนสนิท วัดปริมาตรปรอทที่อยู่ในภาชนะ โดยเทลงในกระบอกตวงบันทึก

ปริมาตรภาชนะไว้ ซึ่งเป็นปริมาตรของตัวอย่างดินชื้น (V)

3.4.4 หาปริมาตรของดินอบแห้งได้โดยให้ดินอบแห้งแทนที่ปรอทในถ้วยแก้วที่บรรจุปรอทอยู่เต็ม(ดูรูปที่ 1) ดังนี้ใส่ปรอทในถ้วยแก้วจนเต็มล้น และให้เอาปรอทส่วนเกินออกโดยการกดแผ่นแก้วใสที่มีขาโลหะ 3 ขา อยู่ด้านบนปากถ้วยแก้วให้สนิท และเช็ดปรอทที่ติดข้างถ้วยแล้วออกให้หมดวางถ้วยแก้วที่บรรจุปรอทเต็มนี้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้ววางตัวอย่างดินอบแห้งบนผิวปรอทและกดให้ตัวอย่างดินจมลงในปรอทด้วยความระมัดระวังด้วยแผ่นแก้วใสที่มีขาโลหะ 3 ขา

จนกระทั่งแผ่นแก้วใสกดสนิทขอบปากแก้วระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ใต้ตัวอย่างดิน หาปริมาตรของปรอทที่ถูกแทนที่ด้วยตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกตวงปรอทที่ล้นออกมาแล้วบันทึกปริมาตรไว้ ซึ่งเป็นปริมาตรของดินอบแห้ง (Vo)

4. การคำนวณ

4.1 คำนวณหาจำนวนความชื้น (WATER CONTENT) ขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เป็นร้อย ละของน้ำหนักดินอบแห้ง ได้จากสูตร

$$w = \frac{W - Wo}{Wo} X\ 100$$

เมื่อ w = จำนวนความชื้นเป็นร้อยละขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

W = น้ำหนักของดินชื้น หาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินที่บรรจุอยู่เต็มภาชนะ หน่วยเป็นกรัม

Wo = น้ำหนักของดินแห้ง หาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินชื้นอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

4.2 คำนวณหาค่าขีดหดตัว: (S) ได้จากสูตร

$$S = w\left\{\frac{(V - Vo)}{Wo}\ \gamma_{water}\ x\ 100\right\}$$

เมื่อ S = ขีดหดตัว

w = จำนวนความชื้นเป็นร้อยละ จากข้อ 4.1

V = ปริมาตรของดินชื้น หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

Vo = ปริมาตรของดินแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water}= น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

Wo = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

4.3 คำนวณหาค่า อัตราส่วนการหดตัว(R) ได้จากสูตร

$$R = \frac{Wo}{Vo\,\gamma_{water}}$$

เมื่อ R = อัตราส่วนการหดตัว

Wo = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

Vo = ปริมาตรดินอบแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water} = น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.4 คำนวณหาค่า การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร: (VC) ได้จากสูตร

$$VC = (w - S)\,R$$

เมื่อ VC = การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

w = จำนวนความแน่นชื้นเป็นร้อยละของดินในสภาพใดสภาพหนึ่ง

S = ค่าขีดจำกัดการหดตัว

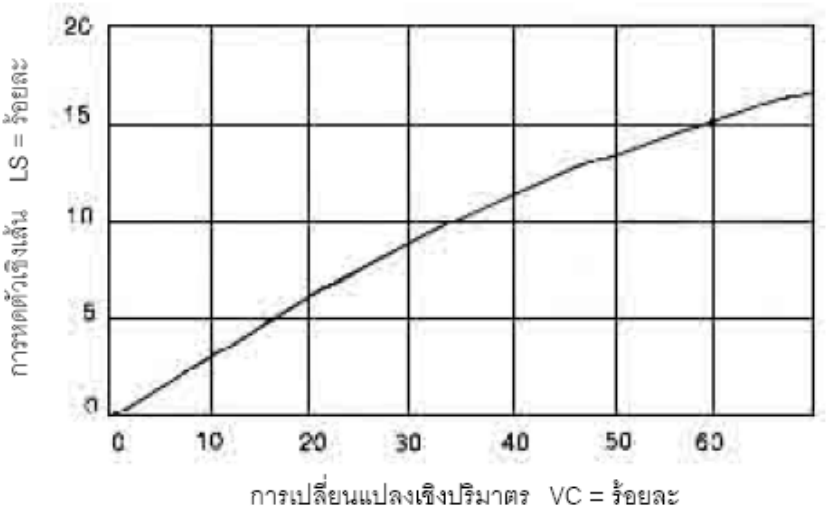
R = ค่าอัตราส่วนการหดตัว

TUMSIL.COM

4.5 คำนวณหาค่าการหดตัวเชิงเส้น (LS) ได้จากสูตร

$$LS = 100\left\{1 - \sqrt[3]{[100/(VC+100)]}\right\}$$

หรือหาได้จากเส้นกราฟ ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง VC และ LS

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 STANDARD METHOD FOR DETERMINING THE SHRINKAGE FACTORS OF SOIL; AASHTO DESIGNATION : T 92-68

5.2 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง การทดสอบที่ ทลขท. 104/2515

<u>การทดสอบย่อยที่ 2: การทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (PLASTIC LIMIT, P.L.)</u>

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดิน

2. นิยาม

2.1 ขีดพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่ง ยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็นร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้ง

2.2 ค่าดัชนี ความเป็นพลาสติก (PLASTICITY INDEX: P.I.) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดิน ช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดเหลว และขีดเหลว และขีด พลาสติกของดินนั้น

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สำหรับใส่ดินกวนผสมกับน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (SPATULA) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม.(3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4นิ้ว)

3.1.3 พื้นผิวเรียบสำหรับคลึงดิน อาจใช้แผ่นกระจกเรียบหรือแผ่นวัสดุพื้นผิวเรียบไม่ดูดซึมน้ำในขณะคลึงตัวอย่างดิน

3.1.4 ตลับบรรจุดินต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก

3.1.5 เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.6 ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียล (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน

3.1.7 ตะแกรงร่อนดินขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

3.2 การเตรียมตัวอย่าง ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว

3.3 แบบฟอร์ม ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ กำหนด

3.4 การทดสอบ

3.4.1 เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นลงแล้วกวนให้ทั่วจนเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียวพอที่จะปั้นเป็นก้อนได้ แบ่งดินนั้นมาประมาณ 8 กรัม คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว หรือเส้นยาว (ELLIPSOIDAL SHAPE)

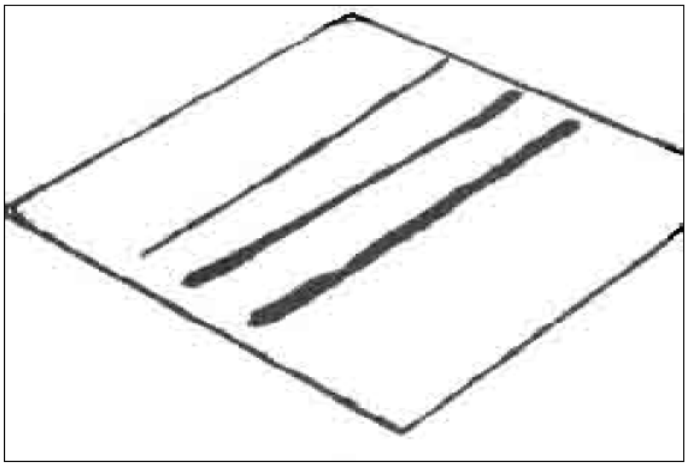
3.4.2 นวดและคลึงดินรูปลักษณะแท่งกลมยาวนั้นบนผิวพื้นเรียบสำหรับคลึงดินที่วางราบอยู่ด้วยนิ้วมือ ให้กดดินด้วยแรงพอสมควรจนดินมีลักษณะเป็นเส้นยาว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอกันตลอดเส้นด้วยอัตราการคลึงไปมาระหว่าง 80-90 เที่ยวต่อนาที โดยถือว่าการคลึงไปและกลับเป็นหนึ่งเที่ยว

3.4.3 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของดินที่คลึงมีขนาด 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วตัวอย่างดินยังไม่แตกให้ตัดดินนี้ออกเป็น6 ถึง 8 ส่วน บีบนวดเข้าด้วยกันด้วยนิ้วมือจนดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาวแล้วทำตามข้อ 3.4.2 ซ้ำใหม่ ดูรูปที่ 1 การคลึงดินเพื่อหาขีดพลาสติก

รูปที่ 1 การคลึงดินเพื่อหาขีดพลาสติก

3.4.4 เมื่อคลึงจนดินมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วดินแตกร้าวออก ไม่สามารถคลึงให้เป็นเส้นต่อเนื่องกันได้ให้รวบรวมตัวอย่างดินที่แตกทั้งหมดใส่ลงตลับบรรจุดินปิดฝาทันที แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักไว้แล้วเอาไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) จนแห้ง นำไปชั่งใหม่บันทึกน้ำหนักดินแห้งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน การชั่งน้ำหนักให้อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.4.5 การแตกของดินในข้อ 3.4.4 มีหลายลักษณะแล้วแต่ชนิดของดิน อาจแตกร่วนเป็นก้อนเล็ก ๆ อาจลอกออกเป็นชั้นๆ จากปลายทั้งสองข้างเข้าหาส่วนกลางจนแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นต้น ตามรูปที่ 2 ตัวอย่างดินแท่งกลมยาวรูปที่ 2 ตัวอย่างดินแท่งกลมยาว



รูปที่ 2 ตัวอย่างดินแท่งกลมยาว

3.4.6 สำหรับดินเหนียวมาก ๆ (HEAVY CLAY SOIL) ต้องใช้แรงกดในการคลึงมาก โดยเฉพาะเมื่อใกล้จะแตกแต่เมื่อคลึงจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) แล้วดินเหนียวยังไม่แตกให้ลดแรงกด หรืออัตราความเร็วของการคลึงลงหรือลด ทั้งสองอย่าง แล้วคลึง

ต่อไปโดยไม่ทำให้เส้นดินชิ้นเล็กลงจนในที่สุดดินเหนียวจะขาดออกเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 6.4 มม. ถึง 9.5 มม. (1/4 นิ้ว ถึง 3/8 นิ้ว)

3.4.7 สำหรับดินเหนียวที่อ่อนมาก (VERY SOFT CLAY) ให้คลึงเป็นรูปไข่ยาวในตอนเริ่มการทดสอบให้มีขนาดใกล้เคียงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) ได้ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน

3.4.8 ในกรณีที่คลึงดินจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าเล็กน้อยแล้วดินนั้นแตก ถ้าดินนั้นเคยคลึงให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) ได้มาก่อน ให้ถือว่าดินนั้นแตกที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว)

3.4.9 ในการคลึงให้ดินเป็นเส้น ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราความเร็วสม่ำเสมอคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตกเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.(1/8 นิ้ว)

3.4.10 ต้องทำการทดสอบอย่างน้อยตัวอย่างละ 2 ครั้ง และผลต่างของผลที่ได้จะต้องต่างกันไม่เกินร้อยละ 2

4. การคำนวณ

คำนวณค่าขีดพลาสติก เป็นร้อยละของน้ำที่ผสมอยู่ในดินที่อบแห้ง ดังนี้

ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็นผลต่างระหว่างขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น คำนวณ ดังนี้

ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (P.I.) = ค่าขีดเหลว (L.L.) – ขีดพลาสติก (P.L.)

5. การรายงาน

ให้รายงานเป็นค่าขีดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก นอกจากดินมีสภาพต่อไปนี้

5.1 ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก (NON-PLASTIC) เมื่อไม่สามารถวัดค่าขีดเหลว หรือขีดพลาสติก

5.2 เมื่อค่าขีดพลาสติกเท่ากับ หรือมากกว่าค่าขีดเหลว ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็นนอน-พลาสติก

6. ข้อควรระวัง

6.1 ในการคลึงให้ดินเป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราเร็วสม่ำเสมอและคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตก

6.2 เมื่อคลึงดินแตกแล้ว ให้รีบชั่งหาน้ำหนักทันที ก่อนที่น้ำจะระเหยหายไป

6.3 ดินที่มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติกต่ำ ให้แต่งดินเป็นแท่งยาวก่อนคลึงและน้ำหนักนิ้วที่กดขณะคลึงต้องเบา และให้คอยซับน้ำที่เยิ้มออกจากตัวอย่างดินมาติดแผ่นผิวเรียบ

6.4 ตัวอย่างดินที่มีทรายปนมากอาจเป็นพวก นอน-พลาสติก ให้ทดลองหาค่าขีดพลาสติกก่อนเพื่อประหยัดเวลา

7. หนังสืออ้างอิง

7.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 103/2515 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD FOR DETERMINING THE PLASTIC LIMIT AND PLASTICITY INDEX OF SOILS; AASHTO DESIGNATION : T 90-70

<u>การทดสอบย่อยที่ 3: การทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT, L.L.)</u>

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดเหลวของดิน

2. นิยาม

ขีดเหลวของดินคือ ปริมาณน้ำเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก (PLASTIC) มาเป็นภาวะเหลว (LIQUID) โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อดินนั้นเมื่ออบแห้ง

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (SPATULA) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม.(3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4นิ้ว)

3.1.3 เครื่องมือทดสอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด

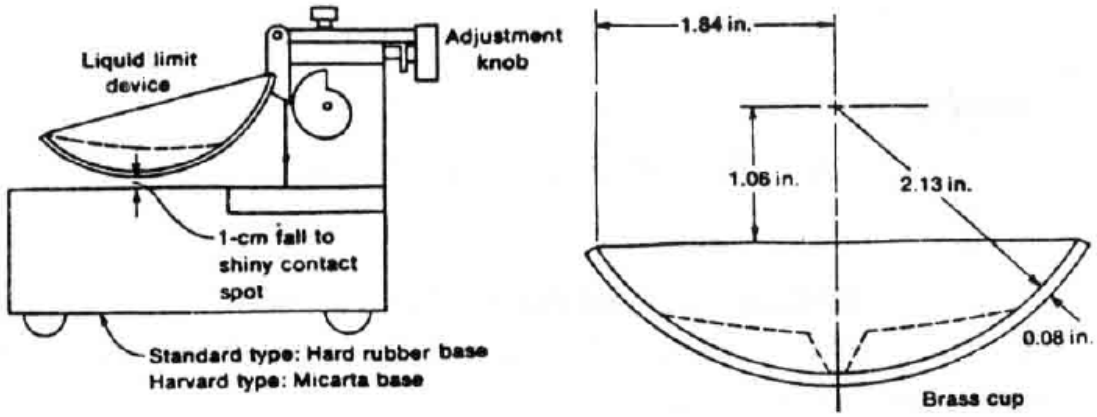
3.1.3.1 เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องมือ ประกอบด้วยถ้วยทองเหลืองและที่ยกถ้วย สร้างอย่างถูกต้องตามแบบและขนาดตามรูปที่ 1 (ก)

3.1.3.2 เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกล ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีความสูงในการยกถ้วยทองเหลือง และอัตราการตกกระทบพื้น ตามข้อกำหนดของการทดสอบนี้ ขนาดของถ้วยทองเหลืองและขนาดของส่วนที่สำคัญของเครื่อง ต้องสอดคล้องกับที่แสดงไว้ตามรูปที่ 1 (ก) และผลการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกลนี้ ต้องเหมือนกับผลทดสอบที่ได้โดยใช้เครื่องมือ 3.1.3.1

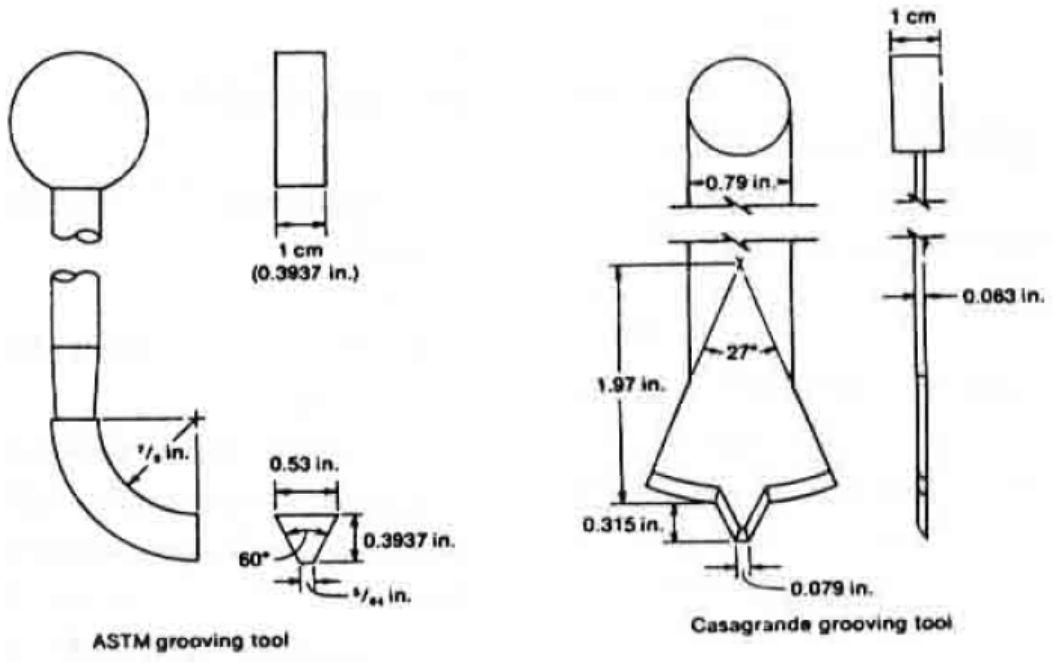
3.1.4 เครื่องมือปาดร่องดิน (GROOVING TOOL) ต้องมีขนาดในส่วนที่สำคัญตามรูปที่ 1 (ข) ส่วนที่ใช้วัดระยะไม่ถือว่าเป็นส่วนสำคัญ

3.1.5 เครื่องวัดระยะ (GAGE) ถ้าติดอยู่กับเครื่องมือปาดร่องดินต้องมีขนาดในส่วนที่สำคัญตามรูปที่ 1 (ข) ถ้าแยกส่วนกับเครื่องมือปาดร่องดินจะต้องมีลักษณะเป็นแท่งทำด้วยโลหะหนา 10.00±0.02 มม. (0.394±0.001 นิ้ว) และยาวประมาณ 50.8 มม. (2 นิ้ว)

3.1.6 ตลับบรรจุดิน (CONTAINER) ต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก



รูปที่ 1 (ก) เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว



รูปที่ 1 (ข) เครื่องมือปาดร่องดิน

3.1.7 เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.8 ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน

3.1.9 ถ้วยตวงน้ำ สำหรับตวงน้ำ เพื่อผสมลงในดิน

3.1.10 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (SAMPLE SPLITTER) ใช้สำหรับผสมและแบ่งตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบ

3.1.11 ตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มม.(เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 ผึ่งตัวอย่างดินให้แห้ง หรืออบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วน (QUARTERING) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแบ่งดินให้ได้ตัวอย่างซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ได้ประมาณ 300 กรัม

3.2.2 ถ้าตัวอย่างดินจับกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบเบา ๆ พอให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ให้เม็ดดินแตก

3.2.3 เอาดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไปและเอาดินส่วนที่ร่อนผ่านมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที

3.2.4 ดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ให้ทิ้งไป ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 คือ ดินที่จะนำไปใช้ทดสอบต่อไป

3.3 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ กำหนด

3.4 การทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบทุกครั้งให้ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้งหมดว่าอยู่ในสภาพที่ดี มีขนาดถูกต้องตรงตามข้อกำหนด ตามรูปที่ 1 เสียก่อน และตรวจดูถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบ

ขีดจำกัดเหลวว่ายกได้สูง 1 ซม. แล้วสามารถตกระทบพื้นได้อย่างอิสระหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ปรับให้ถูกต้อง

3.4.1 เอาดินที่เตรียมไว้ประมาณ 100 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากสารใดๆ เจือปนประมาณ 15 ถึง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงผสมและกวนให้เนื้อดินและน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ใบพายกวนดินนวดและเคล้าไปมา เติมน้ำอีกครั้งละ 1-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนจนดินและน้ำเป็น เนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ห้ามใช้ถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดเหลว เป็นที่ผสมดินกับน้ำ

3.4.2 เมื่อผสมน้ำกวนดินจนเหนียวพอประมาณเคาะได้ 40 ครั้ง ให้ใช้แผ่นกระจกปิดปากถ้วยไว้ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 50-60 นาที เพื่อให้ดินชุ่มน้ำตลอดทั่วถึงกัน

3.4.3 แบ่งดินส่วนหนึ่ง จำนวนพอควร ใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว บริเวณเหนือก้นถ้วยทองเหลืองที่อยู่บนฐาน ใช้พายกวนดินปาดแต่งให้ได้ระดับ และไม่ให้มีฟองอากาศในเนื้อดิน และให้เนื้อดินที่ก้นถ้วยทองเหลืองหนาประมาณ 1 ซม. พยายามปาดแต่งให้น้อยที่สุด ดินส่วนที่เหลือตักออกใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

3.4.4 จับถ้วยทองเหลืองให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือปาดร่องดิน ปาดดินให้เป็นร่องตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยทองเหลือง โดยลากตัดไปมาจนร่องที่ได้สะอาดและเหลี่ยมมุมคม ขนาดของร่องต้องถูกต้องตามรูปที่ 2 เพื่อไม่ให้ร่องดินฉีกขาด หรือดินในถ้วยทองเหลืองเลื่อนไถล ให้ค่อย ๆ ลากเครื่องมือปาดร่องดินไปมาโดยเพิ่มความลึกลงในเนื้อดินทีละน้อยแต่ต้องไม่ปาดไปมาเกิน 6 ครั้ง โดยครั้งสุดท้ายเครื่องมือปาดร่องดินจะขูดผิวของก้นถ้วยทองเหลืองพอดี

3.4.5 หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนดินสองข้างของร่องเลื่อนมาชนกันที่ก้นถ้วยทองเหลืองยาวประมาณ 12.7 มม. (0.5 นิ้ว) บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะไว้ การทดสอบในข้อ 3.4.3 ถึง 3.4.5 นี้ ต้องใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที

3.4.6 ให้เก็บตัวอย่างดินตรงที่เลื่อนมาชนกันตลอดแนวความกว้างของดินที่ตั้งฉากกับรองดิน ใส่ลงตลับบรรจุดินนำไปชั่งทันที บันทึกน้ำหนักไว้ อบดินในตลับจนแห้งด้วยอุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ น้ำหนักที่หายไป คือน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกไป การชั่งน้ำหนักดินในข้อนี้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.4.7 เอาดินที่เหลือในถ้วยทองเหลือใส่กลับลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วเติมน้ำผสมลงไปกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนถ้วยทองเหลืองและเครื่องมือปาดร่องดิน ให้ล้างและเช็ดให้แห้ง

3.4.8 ทำการทดสอบตามข้อ 3.4.3 ถึงข้อ 3.4.7 ทั้งสิ้น 4 ครั้ง ด้วยการเพิ่มน้ำลงในดิน เพื่อให้เหลวมากขึ้นในการทดสอบครั้งถัดไป โดยให้การหมุนเคาะถ้วยทองเหลืองในการทดสอบแต่ละครั้งในอัตรา 35-40, 25-35,20-30, 15-25 ครั้ง คือ ให้เคาะต่างกันประมาณ

5-7 ครั้ง ถ้าหมุนเคาะน้อยกว่า 15 ครั้ง หรือมากกว่า 40 ครั้ง ถือว่าการทดสอบนั้นใช้ไม่ได้

3.4.9 ในกรณีที่ผสมดินเหลวไป ให้เกลี่ยดินออกเป็นชั้นบาง ๆ แล้วผึ่งลมไว้ชั่วครู่จนดินแห้งตามต้องการ อย่าทิ้งไว้ให้แห้งจนแข็ง ห้ามใช้วิธีเอาดินแห้งผสมเพิ่มลงไปในดินเหลว

4. การคำนวณ

คำนวณปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละของน้ำหนักต่อน้ำหนักดินอบแห้ง ดังนี้

คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\text{ความชื้นเป็นร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}} \times 100$$

5. การรายงาน

5.1 เขียนโฟลว์เคิฟ (FLOW CURVE) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเนื้อดินและจำนวนครั้ง ของการหมุนเคาะในการทดสอบลงบนกระดาษกราฟ กึ่งลอการิทึม (SEMI-LOGARITHMIC GRAPH) โดยให้แกนตั้งแสดงค่าความชื้นในเนื้อดินเป็นร้อยละ และจำนวนครั้งที่เคาะอยู่บนแกนนอน ซึ่งเป็นมาตราลอการิทึม (LOGARITHMIC) โฟลว์เคิฟควรเป็นเส้นตรง ที่ลากผ่านหรือใกล้จุดที่ได้บน กระดาษกราฟ มากจุดที่สุด

5.2 ค่าขีดเหลว คือ ความชื้นเป็นร้อยละ (PERCENTAGE OF MOISTURE) ตรงจุดที่โฟลว์เคิฟ มี จำนวนครั้งที่หมุนเคาะเท่ากับ 25 ครั้ง

6. ข้อควรระวัง

6.1 ในดินบางชนิดที่มีค่า “ดัชนีความเป็นพลาสติก (PLASTICITY INDEX : P.I.)” ต่ำ การเลื่อน ตัวของดินมาชนกันในถ้วยทองเหลือง ขณะทดสอบอาจมีลักษณะชนกันเฉย ๆ ไม่เชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถใช้ใบพายกวนดินเขี่ยให้แยกออกจากกันได้ ต้องเพิ่มน้ำลงผสมในเนื้อดิน แล้วทำการทดสอบใหม่

6.2 การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ต้องบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกันให้หมด โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก และไม่อบตัวอย่างดินเกินอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

6.3 เมื่อสิ้นสุดการเคาะดินแต่ละการทดสอบ ให้รีบเก็บตัวอย่างดินแล้วชั่งเพื่อหาความชื้นทันที เพราะน้ำในดินจะระเหยทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้

6.4 ห้ามผสมดินในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว ให้ผสมในถ้วยกระเบื้องเคลือบเท่านั้น

6.5 ในขณะทำการทดสอบให้วางเครื่องทดสอบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง และจับยึดเครื่องมือทดสอบไม่ให้เคลื่อนที่ขณะหมุนเคาะถ้วยทองเหลือง

6.6 น้ำที่ใช้ผสมดินทดสอบ ต้องบริสุทธิ์ สะอาดปราศจากสารใด ๆ ที่สามารถทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อน

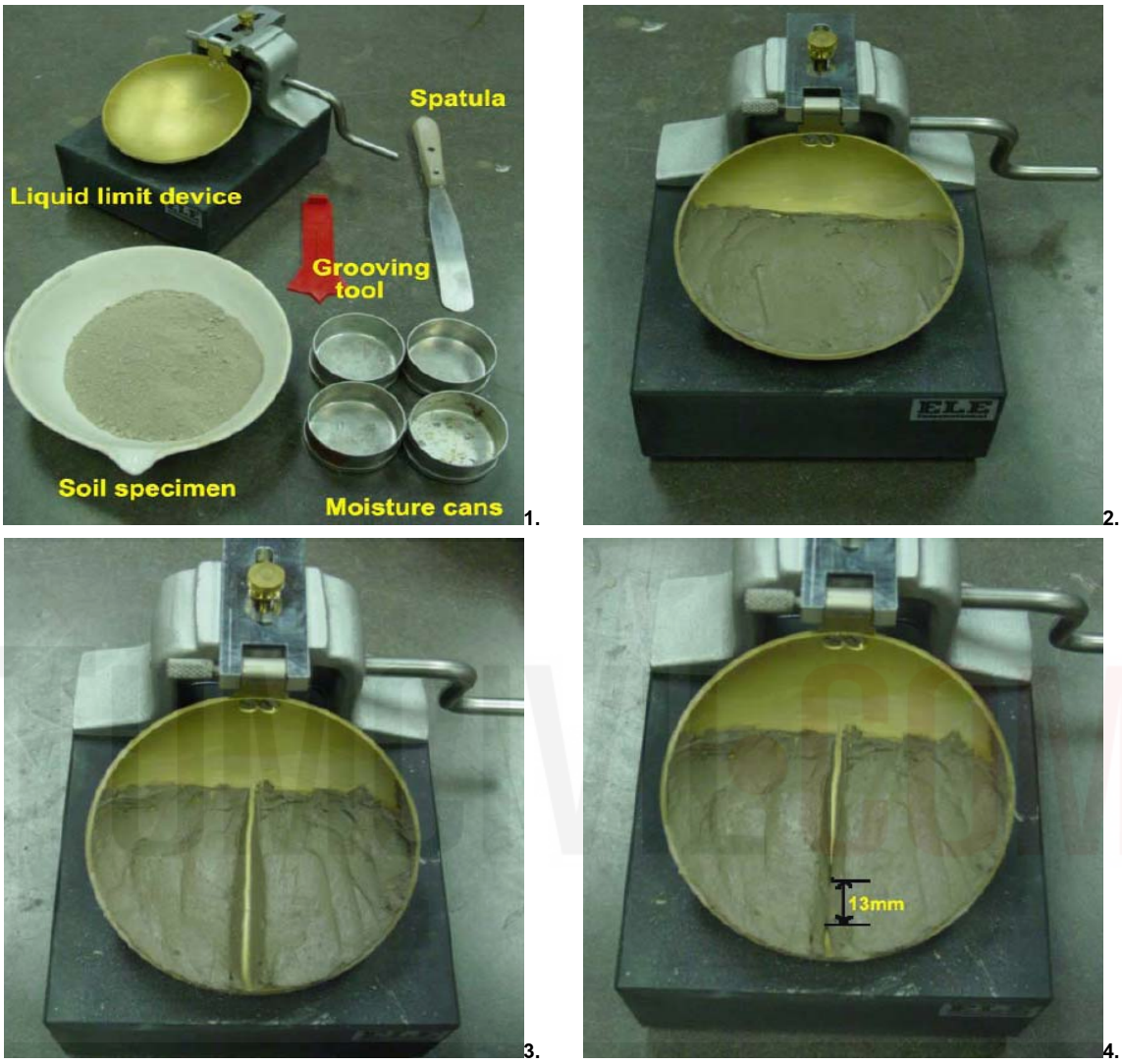
TUMCIVIL.COM

7. หนังสืออ้างอิง

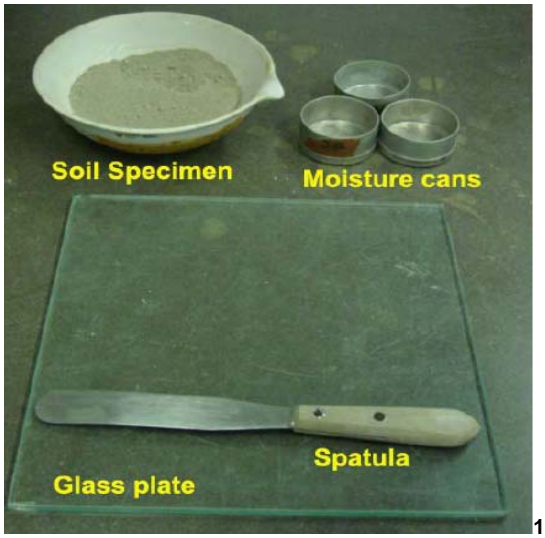
7.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 102/2515 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR DETERMINING THE LIQUID LIMIT OF SOILS; AASHTO DESIGNATION : T 89-76

วิธีการทดสอบโดยสรุป

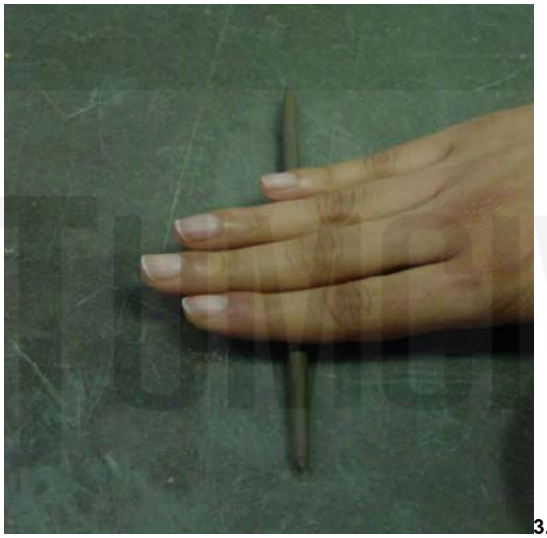


รูปที่ 3.1 ทบทวนขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าลิควิดลิมิต (Liquid limit)



1.

2.


3.

4.

รูปที่ 3.2 ทบทวนขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าพลาสติกลิมิต (Plastic limit)

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

ATTERBERG LIMITS

PROJECT **OWNER**
LOCATION. **BORING NO.** **JOB NO.**
DESCRIPTION OF SOIL. **SAMPLE NO.** **DEPTH.**
TEST BY. **DATE**

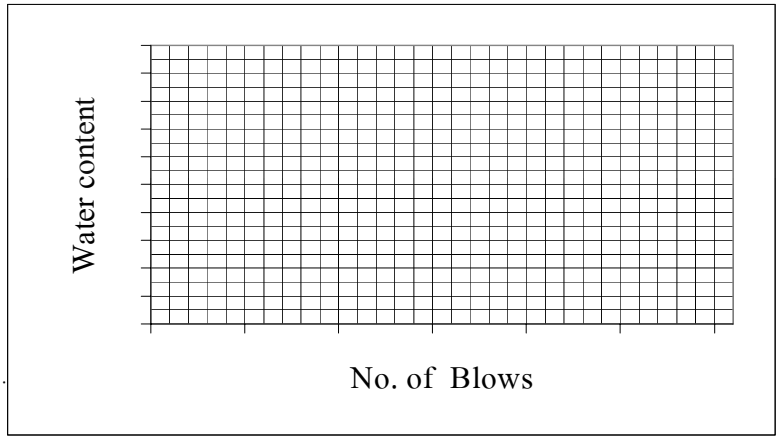
PLASTIC LIMIT

Determenatation No.						
Container No.						
wt. Container + Wet Soil g.						
wt. Container + Dry Soil g.						
wt. Water.Ww g.						
wt. Container g.						
wt. Dry Soil.Ws g.						
Water Content, w %						

LIQUID LIMIT

Determenatation No.						
No of Blows						
Container No.						
wt. Container + Wet Soil g.						
wt. Container + Dry Soil g.						
wt. Water.Ww g.						
wt. Container g.						
wt. Dry Soil.Ws g.						
Water Content, w %						

LL.	
PL.	
PI.	



ผู้รับรองผล .....

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้รับเท่านั้น

การทดลองที่ 4

การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ
(PARTICLE-SIZE ANALYSIS)

1. ขอบข่าย

1.1 วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Particle Size Distribution) ที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) โดยใช้การร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

1.2 การกระจายขนาดของดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) จะต้องใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 422

1.3 โดยทั่วไป ถ้าขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 4) จะสามารถทำการร่อนในครั้งเดียวได้ (Single-Set Sieving) ส่วนถ้าขนาดเม็ดดินใหญ่สุดอยู่ระหว่าง 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 4) และ 9.5 มิลลิเมตร (ตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว) อาจจะสามารถทำการร่อนครั้งเดียวได้ หรืออาจจะต้องทำการแบ่งตัวอย่างออกมาร่อนเป็นสองครั้ง (Composite Sieving) ขึ้นกับความละเอียดที่ต้องการ ส่วนถ้าขนาดเม็ดดินใหญ่สุดมีขนาดมากกว่า 9.5 มิลลิเมตร (ตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว) จะต้องทำการแบ่งตัวอย่างออกมาร่อนเป็นสองครั้งหรือมากกว่า

1.4 การทดสอบนี้จะอธิบายถึงเฉพาะการร่อนในครั้งเดียว (Single-Set Sieving) ส่วนการแบ่งตัวอย่างออกมาร่อนสองครั้งหรือมากกว่า (Composite Sieving) นั้นสามารถดูรายละเอียดได้ใน ASTM D 6913

1.5 การทดสอบนี้ เป็นไปตาม Method A ตามมาตรฐาน ASTM D 6913 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปหากไม่กำหนดเป็นอื่น

2. นิยาม

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่าง ๆกัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินและการกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึมอยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve)

3. ความสำคัญและการนำไปใช้

3.1 การกระจายขนาดของเม็ดดินใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจำแนกประเภทของดินในระบบ Unified Soil Classification ตามมาตรฐาน ASTM D 2487

3.2 การกระจายขนาดมีความสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ดินในงานทำชั้นถนน เขื่อนดิน ชั้นระบายน้ำ การระบายน้ำใต้ดิน ฯลฯ

3.3 คุณสมบัติทางวิศวกรรมหลายอย่างมีความสัมพันธ์กับการกระจายขนาดของดิน เช่น Hydraulic Conductivity, Compressibility, และ กำลังรับแรงเฉือน อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางวิศวกรรมเหล่านี้ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆอีกมาก ไม่ใช่แค่การกระจายขนาดเพียงอย่างเดียว

4. วิธีทำ

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

4.1.1 ตะแกรงร่อนดิน (Sieve) ช่องเปิดต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดช่องผ่านต่างๆตามตารางที่ 4.1 พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง ดังรูปที่ 4.1 ถ้าขนาดใหญ่สุดของตัวอย่างดินมีขนาดเล็ก อาจจะไม่ต้องใช้ตะแกรง

ขนาดใหญ่บางขนาด แต่ต้องมีตะแกรงอย่างน้อย 1 ขนาดที่ตัวอย่างดินทั้งหมดสามารถลอดผ่านได้ (100% Passing)

ตารางที่ 4.1 ชุดตะแกรงร่อนมาตรฐาน

หมายเลขตะแกรง	ขนาดช่องเปิด	เบอร์ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด
Lid		No. 10	2.00 mm
3 in.	75 mm	No. 20	850 μm
2 in.	50 mm	No. 40	425 μm
1- ½ in.	37.5 mm	No. 60	25 μm
1 in.	25.0 mm	No. 100	150 μm
¾ in.	19.0 mm	No. 140	106 μm
3/8 in.	9.5 mm	No. 200	75 μm
No. 4	4.75 mm	Pan	

4.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งน้ำหนักตัวอย่างได้ละเอียดถึงเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

4.1.3 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส

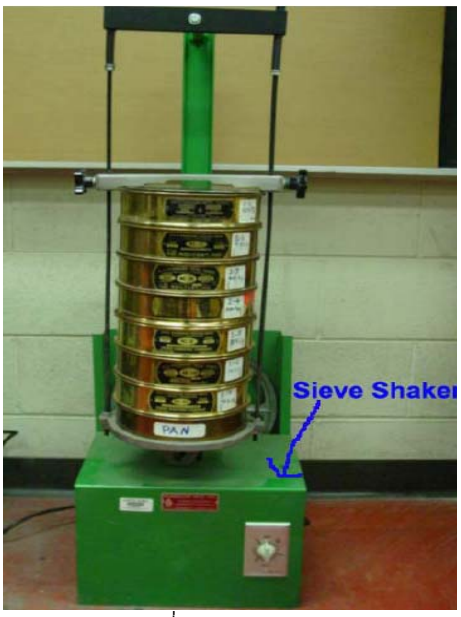
4.1.4 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

4.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง และแปรงขน หรือแปรงพลาสติก

4.1.6 ภาชนะสำหรับใช้แช่และล้างตัวอย่างดินด้วยมือหรือด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า

1.

2.

3. 

4.

รูปที่ 4.1 ตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ และขั้นตอนการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ

4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

4.2.1 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากัน และแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อนใหญ่ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่โดยให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยางแต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก

4.2.2 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

ก่อนทำการล้าง ต้องนำตัวอย่างไปทำให้กระจายตัวเสียก่อน โดยอาจจะแช่ในน้ำ โดยจะมีสารที่จะช่วยให้กระจายตัว (Dispersant) ด้วยหรือไม่ก็ได้ แล้วแต่ความจำเป็น หรืออาจแช่ในอ่างที่มีคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อช่วยในการกระจายตัว ไม่ว่ากรณีใดห้ามใช้เครื่องตีตัวอย่างที่มีใบพัดโลหะเพราะจะทำให้อนุภาคดินแตกตัว แต่สามารถใช้การเขย่าด้วยมือหรือใช้เครื่องที่มีลักษณะคล้ายกันได้ ทำการแช่ตัวอย่างอย่างน้อย 5 นาที

สารที่ช่วยให้กระจายตัว (Dispersant) คือโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต หรือบางทีเรียกว่า โซเดียมเมตาฟอสเฟต ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 4 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

หลังจากแช่ตัวอย่างแล้ว ให้นำตัวอย่างไปล้างบนตะแกรงเบอร์ 200 ภายใต้น้ำที่ไหลอย่างต่อเนื่องช้าๆ อาจใช้มือช่วยในการล้างแต่ต้องระวังไม่ให้มีตัวอย่างไหลออกมานอกตะแกรง หากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงเบอร์ 40 หรือใหญ่กว่าซ้อนไว้ข้างบน ล้างตัวอย่างจนกว่าน้ำล้างที่ผ่านตะแกรงจะใส (ไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีก) เทตัวอย่างลงในภาชนะ ใช้น้ำให้น้อยที่สุดในการล้างตัวอย่างลงในภาชนะ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีมวลคงที่

4.3 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์มที่กำหนด

4.4 การทดสอบ

4.4.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง 3.2.1 หรือ 3.2.2 แล้วแต่จะต้องการทดสอบแบบใดมาโดยประมาณให้ได้มวลของตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.2 แต่มวลของตัวอย่างไม่ควรเกินจากค่าที่กำหนดไว้นี้มากเกินไป (มากกว่าเกิน 50% โดยประมาณ) เนื่องจากจะทำให้มีตัวอย่างค้างบนตะแกรงมากเกินไปและทำให้ร่อนได้ไม่ทั่วถึง ในการชั่งมวลตัวอย่างนี้ ต้องไม่พยายามทำให้ได้มวลที่มีน้ำหนักเป็นจำนวนเต็มหรือมีค่าตามตารางที่ 4.2 โดยใช้วิธีการค่อยๆเพิ่มตัวอย่างดินทีละน้อย เนื่องจากจะทำให้ได้การกระจายของขนาดดินคลาดเคลื่อนไป

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักตัวอย่างสำหรับทำการทดสอบ

ขนาดใหญ่สุดของตัวอย่าง (99% หรือมากกว่าผ่านตะแกรงนี้)		**มวลแห้งต่ำสุดของตัวอย่าง**
หมายเลขตะแกรง	**ขนาดช่องเปิด (มิลลิเมตร)**	
No. 40	0.425	50 g
No. 10	2.00	50 g
No. 4	4.75	75 g
3/8 in.	9.5	165 g
¾ in.	19.0	1.3 kg
1 in.	25.4	3 kg
1- ½ in.	38.1	10 kg
2 in.	50.8	25 kg
3 in.	76.2	70 kg

4.4.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15-20 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้านำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดของตะแกรงไปชั่ง มวลที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาดจะต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.3 เพื่อให้อนุภาคทั้งหมดมีโอกาสที่จะผ่านช่องเปิดของตะแกรง หากพบว่ามวลที่ค้างตัวอย่างมีค่าเกินที่กำหนดไว้ จะต้องทำการร่อนใหม่ โดยอาจจะแบ่งตัวอย่างออกเป็นหลายๆส่วน ทำการร่อนแต่ละครั้งแล้วเอาน้ำหนักมารวมกัน หรือใช้ตะแกรงที่มีพื้นที่ใหญ่ขึ้น

ตารางที่ 4.3 ปริมาณมากที่สุดที่ค้างบนแต่ละตะแกรงสำหรับชุดตะแกรงมาตรฐาน

หมายเลขตะแกรง	**ขนาดช่องเปิด**	**จำนวนชั้นของตัวอย่างบนตะแกรง**	**น้ำหนักที่มากที่สุดที่ค้างบนตะแกรง (g) สำหรับตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง**	
			200 mm (8 in.)	**305 mm (10 in.)**
3 in.	75 mm	0.8	2700	6100
2 in.	50 mm	0.9	2000	4500
1- ½ in.	37.5 mm	0.9	1500	3400
1 in.	25.0 mm	1	1100	2500
¾ in.	19.0 mm	1	900	2000

3/8 in.	9.5 mm	1.25	550	1200
No. 4	4.75 mm	1.5	325	730
No. 10	2.00 mm	2	180	410
No. 20	850 μm	3	115	260
No. 40	425 μm	4	75	170
No. 60	25 μm	5	60	140
No. 100	150 μm	6	40	90
No. 140	106 μm	6	30	70
No. 200	75 μm	6	20	50

5. การคำนวณ

5.1 หาน้ำหนักที่ค้าง (Weight Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรง และร้อยละของดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงจาก

$$\text{ร้อยละค้างตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100$$

5.2 คำนวณหาร้อยละสะสมของดินที่ค้างบนตะแกรง (Cumulative Weight Retained) โดยการรวมร้อยละของดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงลงมา บรรทัดล่างสุดจะต้องได้ 100 เปอร์เซ็นต์

5.3 คำนวณหาร้อยละของดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะแกรงที่กำหนด (Percent Finer) ได้จาก

ร้อยละของดินที่มีขนาดเล็กกว่า = 100 – ร้อยละสะสมของดินที่ค้างบนตะแกรง

5.4 นำค่าร้อยละของดินที่มีขนาดเล็กกว่า ไปพล็อตกับขนาดของอนุภาค บนกราฟ Semilog เรียกว่ากราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

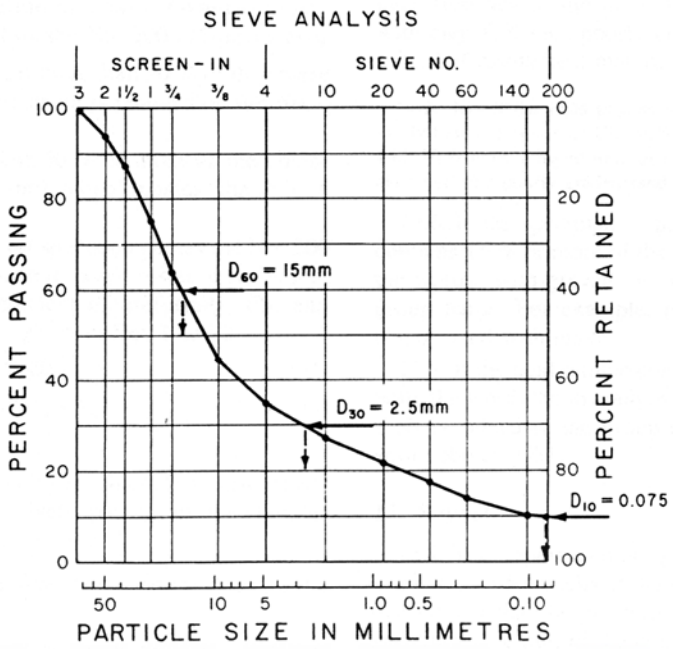
5.5 คำนวณหาสัมประสิทธ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, C_u) และสัมประสิทธ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature, C_c)ได้ดังนี้

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{\left(D_{30}\right)^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

เมื่อ D_{10} , D_{30} , และ D_{60} คือขนาดของอนุภาคที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าอยู่ 10%, 30%, และ 60% ตามลำดับ โดยตัวอย่างวิธีการหาค่า D_{10} , D_{30} , และ D_{60} และค่าสัมประสิทธ์ต่างๆ จากกราฟการกระจายขนาดของเม็ดดินได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2

TUMCIVIL.COM



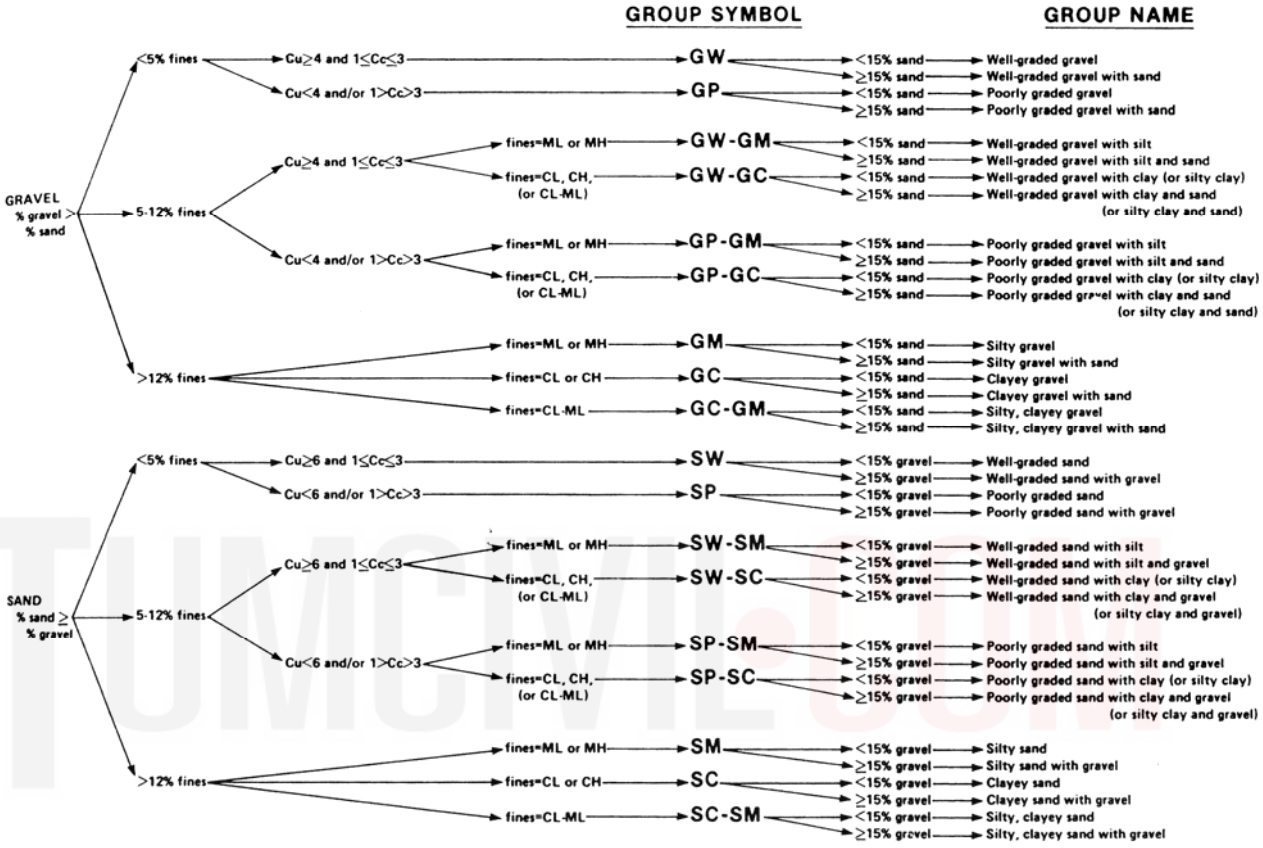
$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{15}{0.075} = 200 \qquad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(2.5)^2}{0.075 \times 15} = 5.6$$

รูปที่ 4.2 การหาค่าสัมประสิทธ์ความสม่ำเสมอ และสัมประสิทธ์ความโค้งจากกราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

TUMCIVIL.COM

6. การจำแนกชนิดดินเม็ดหยาบ

ดินเม็ดหยาบ (Coarse-Grained Soils) คือดินที่มีอนุภาคค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 200 (75 ไมโครเมตร) มากกว่า 50% การจำแนกดินชนิดนี้จะเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การจำแนกชนิดของดินเม็ดหยาบ

6.1 ถ้าดินมีอนุภาคที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เกินกว่า 50% ให้จำแนกว่าเป็น กรวด (Gravel)

6.2 ถ้าดินมีอนุภาคที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) น้อยกว่า 50% ให้จำแนกว่าเป็น ทราย (Sand)

6.3 พิจารณาอัตราส่วนของอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) ซึ่งจะเรียกอนุภาคส่วนนี้ว่าส่วนละเอียด (Fines)

6.3.1 ถ้ามีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) น้อยกว่า 5%

6.3.1.1 สำหรับกรวด ถ้า Cu มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 และ Cc อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ให้จำแนกเป็น Well-Graded Gravel ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ ให้จำแนกเป็น Poorly-Graded Gravel

6.3.1.2 สำหรับทราย ถ้า Cu มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 6 และ Cc อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ให้จำแนกเป็น Well-Graded Sand ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ ให้จำแนกเป็น Poorly-Graded Sand

6.3.2 ถ้ามีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) มากกว่า 12% จะจำแนกเป็นดินเม็ดหยาบที่มีส่วนละเอียด สำหรับส่วนละเอียดนี้จะจำแนกเป็น Clayey หรือ Silty ก็ขึ้นกับ Plasticity Index หรือ Liquid Limit ของส่วนละเอียดนี้

6.3.3 ถ้ามีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) อยู่ระหว่าง 5-12% จะจำแนกดินโดยใช้สัญลักษณ์ของสองกลุ่ม สัญลักษณ์กลุ่มแรกเป็นของส่วนหยาบ โดยการจำแนกดินส่วนหยาบให้เป็นไปตาม 6.3.1 ส่วนสัญลักษณ์กลุ่มที่สองเป็นของส่วนละเอียด ดัง 6.3.2

6.4 ถ้าดินเป็นกรวดแต่มีทรายมากกว่า 15% ให้เพิ่มคำว่า “With Sand” ไปที่ท้ายชื่อกลุ่ม หรือถ้าดินเป็นทรายแต่มีกรวดมากกว่า 15% ให้เพิ่มคำว่า “With Gravel” ไปที่ท้ายชื่อกลุ่ม

7. การรายงาน

ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนัก ละเอียดถึง 1% ตามแบบฟอร์มที่กำหนด

8. ข้อควรระวัง

8.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่าของก้อนโตที่สุด

8.2 ตรวจดูตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200

8.3 ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

8.4 การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดดินแตก

8.5 การเขย่าอย่าเขย่านานจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

9. หนังสืออ้างอิง

9.1 ASTM (2004). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, *ASTM D 6913-04*, West Conshohocken, PA.

9.2 ASTM (2000). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), *ASTM D 2487-00*, West Conshohocken, PA.

9.3 ASTM (1963). Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils, *ASTM D 422-63*, West Conshohocken, PA.

TUMCIVIL.COM

GRAIN SIZE ANALYSIS

กลุ่มที่ _____

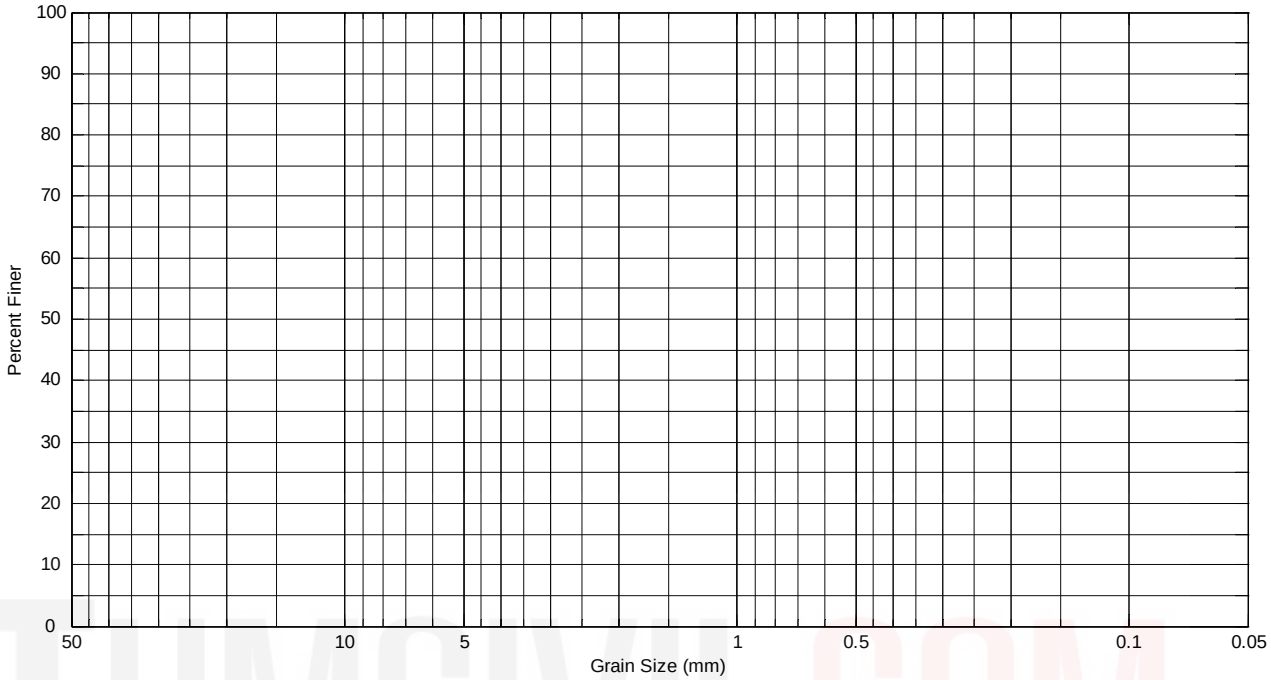
วันที่ทำการทดลอง _____

ดินที่นำมาทดสอบ _____

ตะแกรง หมายเลข	ช่องเปิด (มม.)	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ตะแกรง + ดิน (กรัม)	น้ำหนักดิน ที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	ร้อยละของ น้ำหนักดิน ที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละ สะสมของ น้ำหนักดิน ที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละของ น้ำหนักดิน ที่มีขนาด เล็กกว่า
1 in.	25.0 mm						
¾ in.	19.0 mm						
3/8 in.	9.5 mm						
No. 4	4.75 mm						
No. 10	2.00 mm						
No. 20	850 μm						
No. 40	425 μm						
No. 60	25 μm						
No. 100	150 μm						
No. 140	106 μm						
No. 200	75 μm						
Pan							
			รวม				

THAICIVIL.COM

กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน



การจำแนกชนิดของดินเม็ดหยาบ

D_{10} _____ ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดิน _____

D_{30} _____ C_c _____

D_{60} _____ C_u _____

% Gravel _____ % Fines _____

% Sand _____

ชนิดของดินที่เป็นไปได้ _____

TUMCIVIL.COM

การทดลองที่ 5

การทดลองการบดอัดดินแบบมาตรฐาน
(Standard Compaction Test)

1. ขอบข่าย

การทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นในการบดอัดดิน (Dry Density-Moisture Relation) ทั้งนี้เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ของการบดอัดดินตัวอย่าง

2. นิยาม

ในงานก่อสร้างที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้างเช่น งานถมถนน เขื่อน การถมบริเวณอาคาร จำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ใช้ให้ดีขึ้น วิธีที่ง่ายและประหยัดก็คือวิธีบดอัดดินให้แน่นระหว่างการก่อสร้าง การบดอัดดินเป็นการทำให้ดินแน่นโดยใช้แรงคนหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล เพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีขึ้นกล่าวคือ ทำให้เม็ดดินอัดตัวกันแน่นมากขึ้น เมื่อดินมีความแน่นเพิ่มขึ้นก็จะสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น การทรุดตัวน้อยลง เพิ่มกำลังต้านทางแรงเฉือนของดินและปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน (Slope Stability) และยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อยลงด้วย

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความเชื่อมแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R. Proctor ในปี 1930 โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (Proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test (Compaction Test) ซึ่งมีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

Proctor ได้กล่าวไว้ว่าในการบดอัดดินมักจะมีตัวแปรควบคุมอยู่ 4 ตัว คือ

1) ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)
2) ปริมาณความชื้น (Water Content)
3) พลังงานในการบดอัด (Compaction Energy)
4) ชนิดของดิน (Soil Type)

สำหรับพื้นที่จริงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่าน แต่สำหรับในห้องปฏิบัติการทดลองจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทุ้งตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของค้อนกระทุ้ง (Hammer) ความสูงของระยะปล่อยตก (Height) จำนวนชั้นของการบดอัด (Layers) จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น (Blows) และปริมาตรของโมล (Mold) หรือ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักค้อน x ระยะยก x จำนวนครั้ง x จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของโมล}} \quad \text{---------(5.1)}$$

รายละเอียดของวิธีการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 วิธีการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ลำดับ	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 นิ้ว (101.6 มม.)	4 นิ้ว (101.6 มม.)	6 นิ้ว (152.4 มม.)
2. ความสูงของโมล	4.584 นิ้ว (116.43 มม.)	4.584 นิ้ว (116.43 มม.)	4.584 นิ้ว (116.43 มม.)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม.)	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม.)	0.075 ลบ.ฟุต (2124 ลบ.ซม.)
4. น้ำหนักของค้อน	5.5 ปอนด์ (2.5 กก.)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก.)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก.)
5. ระยะยก	12.0 นิ้ว (304.8 มม.)	12.0 นิ้ว (304.8 มม.)	12.0 นิ้ว (304.8 มม.)
6. จำนวนชั้นของการบดอัด	3	3	3
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8. พลังงานในการบดอัด	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-ม./ลบ.ม.)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-ม./ลบ.ม.)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-ม./ลบ.ม.)
9. วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) อาจใช้ดินที่ค้ างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่ าหรือเท่ากั บ 20 เปอร์เซ็นต์ และดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว (9.5 มม.)	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ใช้ดินที่ค้างบนตะแกรงขนาด 3/8 นิ้วมากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์และดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้วน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

3. วิธีทำ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการบดอัดดินประกอบด้วย

❑ <u>อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ</u>

1) แบบหล่อทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Mold) มีสองขนาดให้เลือกใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว (101.6 มม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 มม.) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว (152.4 มม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 มม.) พร้อมด้วยปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเดียวกัน (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) สูง 50 มม. (มีปริมาตร 1000 ซม.^{3}) ดังแสดงในรูปที่ 5.1

5.1a) แบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว

5.1b) แบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว

รูปที่ 5.1 แบบหล่อการบดอัดดิน (Compaction Mold)

2) ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน (Compaction Hammer) หนัก 5.5 ปอนด์ ระยะยก 12 นิ้ว และแบบสูง กว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 18 นิ้ว ดังรูปที่ 5.2

3) เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม. ดังรูปที่ 5.3

4) ตะแกรงร่อนดินขนาดเบอร์ 4 (Sieve) ดังรูปที่ 5.4

5) แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold ดังรูปที่ 5.5

TUMCIVIL.COM

รูปที่ 5.2 ค้อนบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 5.3 เหล็กปาดดินสันตรง

รูปที่ 5.4 ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์4

รูปที่ 5.5 แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold

❑ <u>อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป</u>

1) เครื่องชั่งขนาด ตั้งแต่ 1.0 กรัม - 10 กิโลกรัม

2) ขวดฉีดน้ำ

3) ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

4) ที่ตักดิน (Scoop)

5) ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง

6) ตลับบรรจุดิน (Container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิด ป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่งน้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างดินแปลงสภาพร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หนักประมาณ 3 – 5 กิโลกรัม แล้วผึ่งให้แห้งโดยอากาศ หรือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนาม

1) นำตัวอย่างดินที่ได้จัดเตรียมไว้มาเทลงในถาดผสมดิน ใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะอยู่ออกจากกัน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเหนียว ผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ละเอียด หรืออาจใช้เครื่องบด

2) พิจารณาตัวอย่างของเม็ดดิน เพื่อเลือกใช้ Mold ให้เหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเม็ดเล็กให้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มม. ถ้าเม็ดดินมีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว (19.05 มม.) ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มม. โดยส่วนที่
ค้างตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว ให้แทนที่ด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾ นิ้วและค้างตะแกรงเบอร์ 4 ในปริมาณที่เท่ากัน

3) ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.6

รูปที่ 5.6 วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

3.3 ขั้นตอนการทดสอบการบดอัดดินมาตรฐาน

1) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base plate พร้อมชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องชั่ง Collar) ดังรูปที่ 5.7

รูปที่ 5.7 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง และชั่งน้ำหนัก

2) นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้อย่างน้อย 3 กิโลกรัมโดยเริ่มผสมน้ำให้มีความชื้นตามค่าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน ดังรูปที่ 5.8

รูปที่ 5.8 นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้มีความชื้นตามที่กำหนดและคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3) ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยกะให้ความสูงในแต่ละชั้นเท่าๆ กันโดยมี จำนวน 3 ชั้นเท่า ๆ กันเมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแล้วให้ดินพ้นขอบ Mold ขึ้นไปประมาณ 1-2 ซม.

4) ใช้ค้อนหนัก 5.5 ปอนด์ บดอัดดินใน Mold แต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold บดอัดชั้นละ 25 ครั้ง โดยให้ Mold วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเรียบ หรือทดสอบตามตารางที่ 5.1

5) ถอดปลอก (Collar) ออกแล้วใช้เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก และแต่งผิวดินให้เรียบ ใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษดินที่ค้างอยู่ออกให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

6) ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเพื่อเก็บตัวอย่างตามแนวผ่าประมาณ 100 กรัม ไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

7) ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน แล้วผสมน้ำเพิ่มอีก 2-3 % คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่ว แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 4)-6) จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลง แล้วทดลองเพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้ได้กราฟทางด้านเปียก จำนวนครั้งในการทดสอบไม่ควรเกิน 5–6 ครั้ง ดังรูปที่ 5.9-5.13

รูปที่ 5.9 ตักดินใส่ Mold

รูปที่ 5.10 ใช้ค้อนบดอัดดิน

รูปที่ 5.11 ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก

รูปที่ 5.12 ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold

รูปที่ 5.13 ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน

4. การบันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการทดลองโดยใช้แบบฟอร์มตามที่กำหนดดังนี้

การทดสอบการบดอัดดิน
Compaction Test

Project Name	:		Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:		Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:		Checked by	:	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blows per Layer	Number of Layer
Weight of Hammer kg	Height of Mold cm	Diameter of Mold cm

Water Content Determination

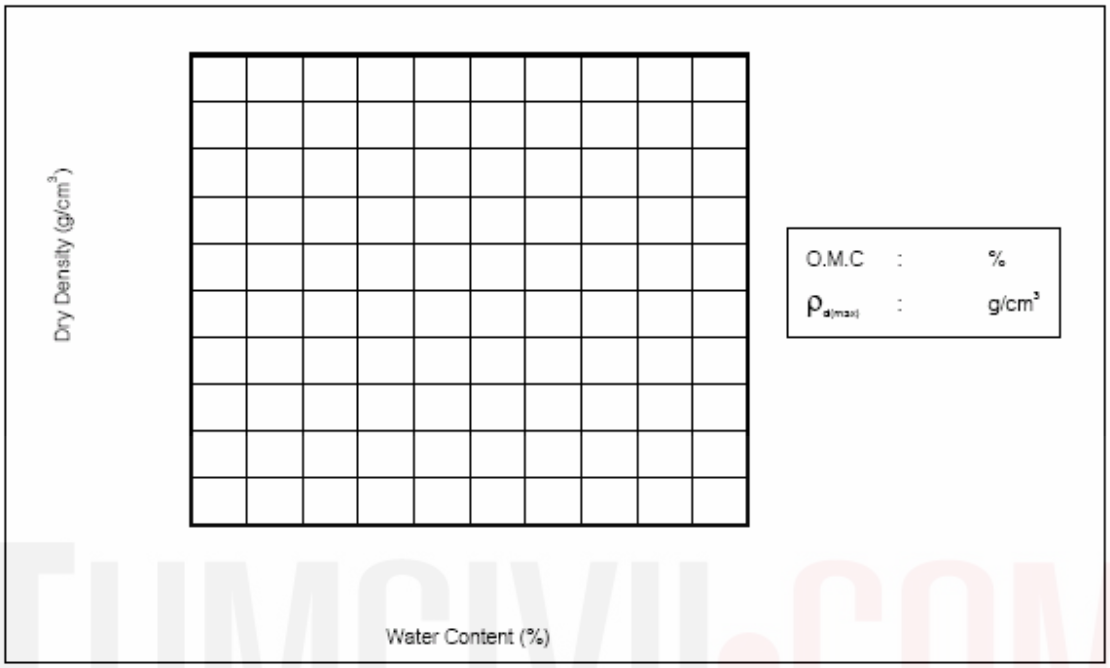
Sample No.	1		2		3		4		5		6	
Moisture Can No. (g)												
Wt. of Can + Wet Soil (g)												
Wt. of Can + Dry Soil (g)												
Wt. of Can (g)												
Wt. of Water (g)												
Wt. of Dry Soil (g)												
Water Content (%)												

Density Determination

Assume Water Content	(%)					
Wt. of Soil + Mold	(g)					
Wt. of Mold	(g)					
Water Content	(g)					
Wt. of Soil in Mold	(g)					
Wet Density	(g/cm^3)					
Dry Density	(g/cm^3)					

การทดสอบการบดอัดดิน

Compaction Test



5. การคำนวณ

5.1 ปริมาณความชื้นในดิน (Water Content, %)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} x100 \quad \% \qquad \text{----------(5.2)}$$

เมื่อ

W_c = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน (g)

W_1 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินเปียก (g)

W_2 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินแห้ง (g)

5.2 ความหนาแน่นเปียก (Wet Density, ρ_w)

$$\rho_w = \frac{M}{V} \qquad (g/cm^3) \qquad \text{----------(5.3)}$$

เมื่อ

M = น้ำหนักดินเปียกในแบบหล่อ (g)

V = ปริมาตรของแบบหล่อ (cm^3)

5.3 ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density, ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + \frac{W}{100}} \quad (g/cm^3) \qquad \text{----------(5.4)}$$

เมื่อ

W = ปริมาณความชื้นในดิน (%)

6. การรายงาน

1) แสดงผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและที่ได้จากการคำนวณ

2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (Water Content) กับความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของการบดอัดดินตัวอย่าง

3) หาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ของการบดอัดดินตัวอย่าง

7. ข้อควรระวัง

1) การทดสอบทั้งแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐานจะใช้ได้กับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ไม่เกิน 30% โดยน้ำหนักเท่ากัน

2) หากเป็นดินลูกรังหรือกรวดบดอย่าพยายามอย่าทุบดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียด

3) ในการใช้ค้อนทำการบดอัดให้ทำบนพื้นที่แข็งแรงมั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เพื่อไม่ให้หรือกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

4) ปริมาตรของแบบให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ

8. หนังสืออ้างอิง

- ASTM D 1140 - 54 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft- lb / ft3 (600 kN- m / m3)].
- ASTM D 1557 – 00 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56,000 ft- lb / ft3 (2,700 kN- m / m3)].
- คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์. 2549. โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา.

TUMCIVIL.COM

การทดลอง ที่ 6

การทดลองเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์.
(C.B.R. TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (BEARING VALUE) กับวัสดุหินมาตรฐาน เพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (SOIL AGGREGATE) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (MOLD) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) หรือ ปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

2. นิยาม

การทดสอบ ซี.บี.อาร์. อาจทำ าได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดสอบแบบแช่น้ำ (SOAKED)

วิธี ข. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (UNSOAKED)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้วิธี ก.

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

3.1.1 LOADING; DEVICE แบบ HYDRAULIC JACK หรือ SCREW JACK มีอุปกรณ์วัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์)

3.1.2 แบบสำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4±0.66 มม. (6.0±0.026 นิ้ว) สูง 177.8±0.66 มม. (7.0±0.016 นิ้ว) พร้อมปลอก (COLLAR) สูงโดยประมาณ 50.8 มม. (2.0 นิ้ว) และฐานแบบ (BASE PLATE) สำหรับยึดแบบและปลอก

3.1.3 แท่งโลหะรอง (SPACER DISC) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 134.9 (5 5/16 นิ้ว) มีความสูงขนาด

3.1.4 ตุ้มหนัก 4,537 กรัม (10 ปอนด์) และ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์)

3.1.5 เครื่องวัดการพองตัว ประกอบด้วย

- แผ่นวัดการพองตัว (SWELL PLATE)
- สามขา (TRIPOD) สำหรับติดมาตรวัด (DIAL GAUGE) วัดได้ 25 มม. ซึ่งวัดได้ละเอียด 0.01 มม. เพื่อวัดอัตราการพองตัวของดินเมื่อแช่น้ำ

3.1.6 โลหะถ่วงน้ำหนัก (SURCHARGE WEIGHT) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มม. (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวง เพื่อให้ท่อนกด (PISTON) ลอดไปได้หนักแผ่นละ 2,268 กรัม (5 ปอนด์)

3.1.7 ท่อนกด ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มม. (1.95 นิ้ว) มีเนื้อที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม.(3 ตร.นิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 102 มม. (4 นิ้ว)

3.1.8 เครื่องดันตัวอย่างเป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลัง เมื่อทดสอบเสร็จแล้ว

3.1.9 เครื่องชั่งแบบบาลานซ์ (BALANCE) มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 20 กก. ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม

TUMCIVIL.COM

3.1.10 เครื่องชั่งแบบสเกล (SCALE) หรือแบบบาลานซ์ มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.11 ตู้อบ (OVEN) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

3.1.12 เหล็กปาด มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มม. และไม่ยาวเกินไปหนาประมาณ 3.0 มม.(0.12 นิ้ว)

3.1.13 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง

3.1.14 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) 50.8 มม. (2 นิ้ว) มีขนาด ดังนี้

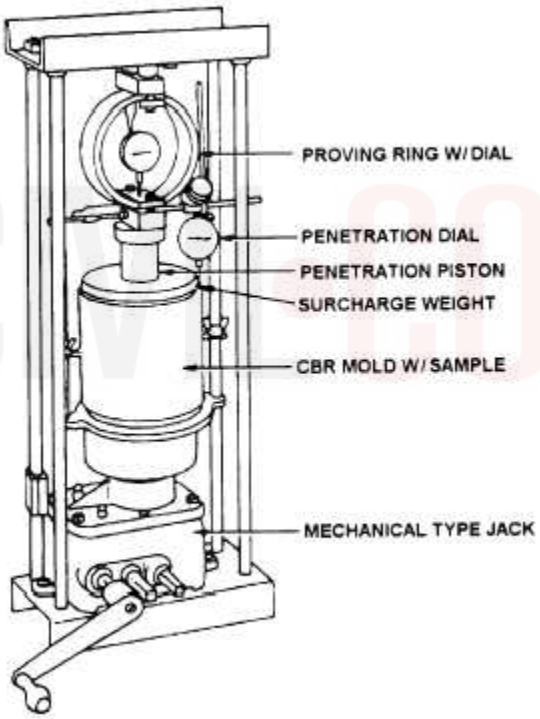
ก. ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

ข. ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

3.1.15 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง คอนยาง ถ้วย ตวงวัดปริมาตรน้ำ

3.1.16 ตลับบรรจุดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาจำนวนน้ำในดิน

3.1.17 นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบซี.บี.อาร์.

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ตัวอย่างสำหรับการทดสอบก็ได้แก่ ดิน หินคลุก หรือวัสดุมวลรวมดินหรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดสอบ วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) โดยวัสดุที่ต้องการทดสอบต้องจัดให้มีการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

3.2.1 วัสดุตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดสอบจะต้องปล่อยทิ้งให้แห้ง (AIR DRY) ในห้องปฏิบัติการทำการแบ่งสี่ (QUARTERING) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้วให้ทิ้งไปและชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 3/4 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน

3.2.2 หาปริมาณความชื้นที่ความแน่นสูงสุด โดยวิธีการทดสอบความแน่น

3.3 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่กำหนด

3.4 การทดสอบ

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (UNSOAKED C.B.R. TEST)

3.4.1 ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. (12 ปอนด์) และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นในดินตัวอย่าง (INITIAL WATER CONTENT)

3.4.2 เตรียมแบบไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนักแบบ (ไม่รวมฐานแบบ)

3.4.3 ประกอบแบบ เข้ากับฐานแบบและแท่งโลหะรอง ใช้กระดาษกรองปูทับบนแท่งโลหะรอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกาะติดกับแผ่นเหล็ก

3.4.4 กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบความแน่นที่ปริมาณความชื้น ที่ความแน่นแห้งสูงสุด (เตรียมตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยทำการบดอัดแต่ละชั้นด้วยตุ้ม จำนวน 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้งต่อชั้น)

3.4.5 หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออกใช้เหล็กปาดปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบแบบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปากแบบ

3.4.6 ถอดฐานแบบ และแท่งโลหะรองออก นำแบบและดินไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อจะนำไปหาความแน่นชื้น (WET DENSITY)

3.4.7 เอากระดาษกรองวางบนฐานแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะแบบติดแผ่นเหล็กประกอบแบบ ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับฐานแบบ โดยให้ปากแบบด้านที่มีดินเสมอปากวางบนฐานแบบ และส่วนที่มีช่องว่างอยู่ด้านบนสำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ให้ทดสอบตาม ข้อ 3.4.8 ถึง 3.4.11

3.4.8 วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (SURCHARGE)จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือกและจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางทับบนดินตัวอย่างในแบบ

3.4.9 นำแบบเข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีท่อนกดขนาดพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม.(3 ตร.นิ้ว) ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินในแบบ แตะสัมผัสกับท่อนกดดังกล่าว จัดเข็มของมาตรวัด ที่จะใช้วัดค่าการจมตัว (PENETRATION) ให้อยู่ที่จุดศูนย์

3.4.10 กดท่อนกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับค่าการจมตัว 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.450 และ 0.500 นิ้ว

3.4.11 เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัมสำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ ให้ทำการทดสอบตาม ข้อ 3.4.12 ถึง 3.4.18 เพิ่มเติม

3.4.12 วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง. วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือก และจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางลงบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการพองตัว สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีด้ามขัดเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่กลางแผ่น ก่อนวางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักลงบนดินตัวอย่าง จะต้องเอากระดาษรองวางคั่นใต้แผ่นนี้เสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว

3.4.13 แช่แบบที่เตรียมไว้ ในข้อ 3.4.12 ในภาชนะที่เตรียมไว้ ให้น้ำท่วมแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักประมาณ 1 นิ้ว ใช้มาตรวัดอ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับสามขา แล้ววางบนปากแบบ จัดให้ปลายของมาตรวัดแตะสัมผัสกับก้านของแผ่น วัดการพองตัว เพื่อวัดหาค่าการพองตัวของดินต่อไป

3.4.14 จดค่าการขยายตัวจากมาตรวัดทุกวัน จนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการพองตัวคงที่ อาจหยุดอ่านได้ หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

3.4.15 ยกแบบออกจากน้ำและตะแคงแบบ เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยทิ้งไว้ ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจากแบบ

3.4.16 นำแบบพร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก

3.4.17 ทำการทดสอบตามวิธี ข้อ 3.4.9 ถึง 3.4.10

3.4.18 เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัมสำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น

3.4.19 เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว (STRESS VS PENETRATION) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ต่อไปสำหรับในการเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. จำเป็นจะต้องทำการแก้เส้นกราฟ โดยเลื่อนจุดศูนย์ของค่าการจมตัว ในกรณีที่เส้นกราฟหงายเพื่อให้ได้ค่า ซี.บี.อาร์. ที่แท้จริง

3.4.20 เมื่อได้ค่า ซี.บี.อาร์. ของแต่ละตัวอย่างแล้วเขียนเส้นกราฟ ระหว่างค่า ซี.บี.อาร์. และค่าความหนาแน่นแห้ง (DRY DENSITY) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. เป็นร้อยละของการบดอัดที่ต้องการต่อไป

4. การคำนวณ

4.1 คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 =} X\ 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

4.2 คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γw = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม
V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (DRY DENSITY)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γd = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
γw = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

4.4 คำนวณหาค่าการพองตัว (SWELLING)

$$\text{ค่าการพองตัวร้อยละ} = \frac{\text{ค่าการพองตัว (มม.)}}{\text{ความสูงของแท่งตัวอย่าง}} \times 100$$

ค่าการพองตัว (มม.) = ผลต่างระหว่างการอ่านค่าที่มาตรวัด ครั้งแรกและครั้งสุดท้าย

4.5 คำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์.

ในการคำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์. ให้ถือน้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD LOAD) ดังนี้

ค่าการจมตัว (มม.)	น้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD LOAD) กิโลกรัม	ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD UNIT LOAD) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2.54 (0.1")	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in)
5.08 (0.2")	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in)
7.62 (0.3")	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in)
10.16 (0.4")	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in)
12.70 (0.5")	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in)

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด 1,935.5 ตร.มม.(3 ตร.นิ้ว) คำนวณค่า ซี.บี.อาร์.
จากสูตร

$$\text{ซี.บี.อาร์. ร้อยละ} = 100\frac{X}{Y}$$

เมื่อ X = ค่าน้ำหนักที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับค่าการจมตัวที่ 2.54 มม. หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 2.54 มม.)

Y = ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD UNIT LOAD) กก./ตร.ซม.(จากตารางข้างต้น)

5. การรายงาน

ในการทำการทดสอบ ซี.บี.อาร์. ให้รายงาน ดังนี้

5.1 ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ความแน่นร้อยละ ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5.2 ค่าความแน่นแห้ง ที่ให้ค่า ซี.บี.อาร์. ตามข้อ 5.1 โดยใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

5.3 ค่าการพองตัว ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5.4 ค่าอื่น ๆ

6. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ค่า ซี.บี.อาร์. เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักกับวัสดุหินมาตรฐาน ดังนั้น จึงไม่มีการกำหนดเกณฑ์ตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

7. ข้อควรระวัง

7.1 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (HEAVY CLAY) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยาง จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

7.2 ในการใช้ตุ้มทำการบดอัด ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีตไม่ให้แบบกระดก หรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดอัด

7.3 ในการทดสอบหาค่าการจมตัว โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบวงแหวน (PROVING RING) เป็นตัวอย่างอ่านน้ำหนัก และใช้มาตรวัดค่าการจมตัวติดที่โครง (FRAME) ของเครื่องกดทดสอบต้องทำการแก้ค่าการจมตัว เนื่องจากการหดตัวของวงแหวน (PROVING RING) โดยหักค่าการหดตัวของวงแหวนออกจากค่าการจมตัว กรณีที่ติดมาตรวัดค่าการจมตัว (PENETRATION DIAL) ที่ท่อนกดไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

7.4 ในการเขียนกราฟระหว่างค่าน้ำหนักมาตรฐานและค่าการจมตัว จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับเส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของส่วนโค้งของเส้นกราฟ ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของค่าการจมตัวไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงหาค่า ซี.บี.อาร์. ที่ปรับค่า (CORRECTED C.B.R. VALUE) ต่อไป

7.5 ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้จากการปรับค่า หรือที่ได้จริงจากการอ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน (TRUE LOAD VALUE) ซึ่งคำนวณจากค่าการจมตัวที่ 2.54 มม.(0.1 นิ้ว) และที่ค่าการจมตัว 5.08 มม.
(0.2นิ้ว) เป็นค่า ซี.บี.อาร์.ที่ใช้รายงานโดยปกติค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 5.08 มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้น คือค่า ซี.บี.อาร์. ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ให้ทำ าการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้ยังคงสูงกว่าอีก ให้ใช้ค่า ซี.บี.อาร์. 5.08 มม.

7.6 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดสอบ ในกรณีที่ต้องการบดอัดมากหรือน้อยกว่าที่ต้องการตามวิธีการทดสอบนี้ อาจจะเพิ่มการบดอัดเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดอัดเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียนเส้นกราฟ

7.7 ตุ้มที่ใช้ทำการบดอัดเพื่อเตรียมตัวอย่าง เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. มี 2 ขนาด (ตามข้อ 3.1.4) ในการเตรียมตัวอย่างซี.บี.อาร์. โดยวิธีการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดเล็ก ส่วนการเตรียมตัวอย่าง ซี.บี.อาร์. ตามวิธีการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดใหญ่

8. หนังสืออ้างอิง

8.1 เอกสารวิธีการทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

8.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR THE CALIFORNIA BEARING RATIO; AASHTO DESIGNATION: T 193-72

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CBR TEST

PROJECT. _____ **OWNER** _____
LOCATION _____ **BORING NO.** _____
DESCRIPTION OF SOIL _____ **JOB NO.** _____
TEST BY. _____
DEPTH _____ **DATE** _____

Penetraion mm.	Mold No. Surcharge, kg		blows / layer	Mold No. Surcharge, kg		blows / layer
	piston load dial reading	Load kg	STRESS kg/cm^2	piston load dial reading	Load kg	STRESS kg/cm^2
final water content w % (soak,unsoak) sample	top 1/3					
	middle 1/3					
	bottom 1/3					
	average					

1. wet unit wt _____ g/cm3 (unsoaked) dry unit wt _____ g/cm3 (unsoaked)
2. wet unit wt _____ g/cm3 (unsoaked) dry unit wt _____ g/cm3 (unsoaked)

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้รับเท่านั้น

ผู้รับรองผล _____

TUNCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CBR TEST

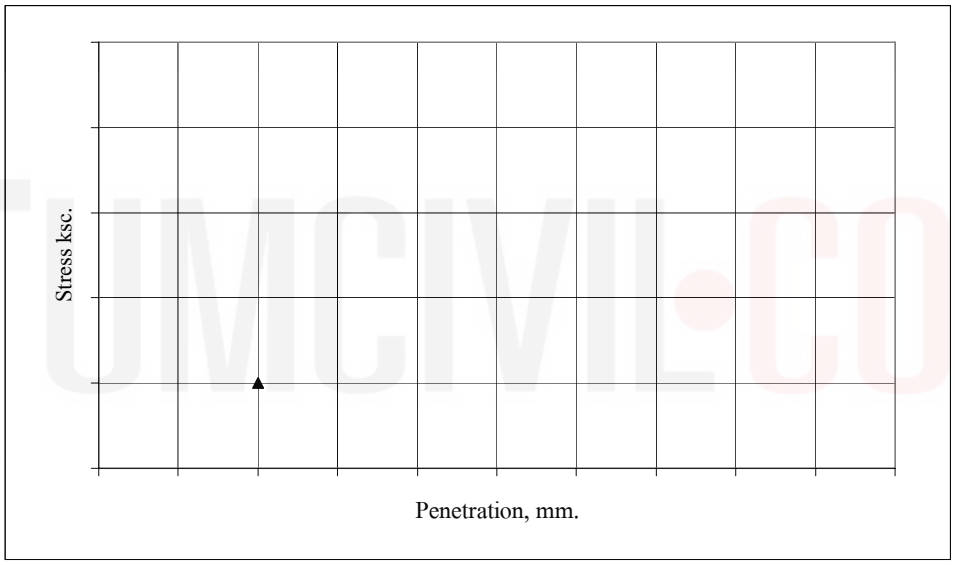
PROJECT. _____ **OWNER** _____

LOCATION _____ **BORING NO.** _____

DESCRIPTION OF SOIL _____ **JOB NO.** _____

TEST BY. _____

DEPTH _____ **DATE** _____



C.B.R at 2.5 mm for 12 blows /layer = 25 blows / layer = 56 blows / layer =

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้รับเท่านั้น

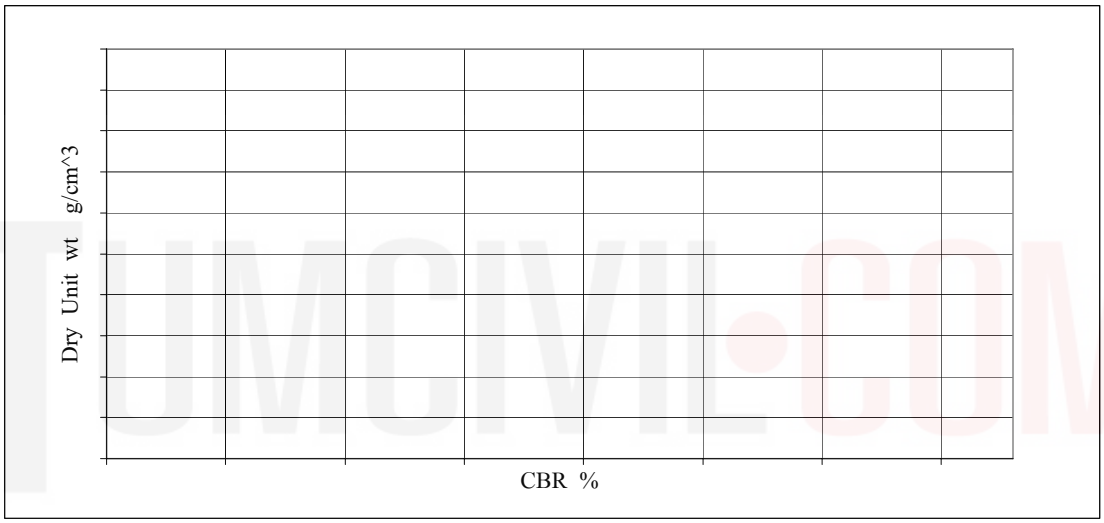
ผู้รับรองผล _____

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CBR TEST

PROJECT. _____ **OWNER** _____
LOCATION _____ **BORING NO.** _____
DESCRIPTION OF SOIL _____ **JOB NO.** _____
TEST BY. _____
DEPTH _____ **DATE** _____



C.B.R at 100 % Mondified Compaction Test =

C.B.R at 95 % Mondified Compaction Test =

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้รับเท่านั้น

ผู้รับรองผล _____

TUMCIVIL.COM

การทดลอง ที่ 7

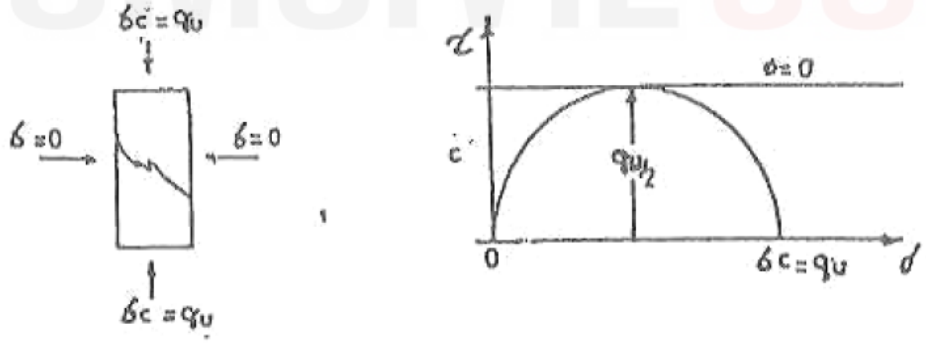
การทดลองเพื่อหาค่าแรงอัดแกนเดียว
(UNCONFINED COMPRESSION TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (UNDRAINED SHEAR STRENGTH) ของดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลาง ในสภาพถูกรบกวนน้อยที่สุดเป็นตัวอย่างคงสภาพ (UNDISTRURDED) และตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ (REMOLDED) ซึ่งแท่งตัวอย่างจะถูกแรงกดลงทางแนวดิ่งโดยไม่มีแรงดันด้านข้าง วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีหาค่าประมาณของแรงยึดเกาะ (COHESION) ของดินโดยวิธีง่าย ๆ ซึ่งทำได้อย่างรวดเร็ว

2. นิยาม

ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH) ของดิน คือ ค่าหน่วยแรงสูงสุด (MAXIMUM STRESS) ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกหรือรูปเหลี่ยม (PRISMATIC) จะรับได้โดยไม่มีแรงดันด้านข้างจากสมการของมอร์คูลอมบ์ (MOHR-COULOMB EQUATION)* ในกรณีที่เป็นดินเหนียวอ่อนอิ่มตัว tan = φ จะได้ $\tau = c$ ถ้าลองนำค่าหน่วยแรงที่กระทำต่อตัวอย่างดินมาเขียนลงในกราฟแสดงความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 2.1 โดย แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าแรงยึดเกาะของดินกับค่ากำลังอัดแกนเดียว (q_u) นั่นคือ $c = \sigma_c / 2 = q_u / 2$



หมายเหตุ * $\tau = c + \sigma \tan$

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดเกาะของดินกับค่ากำลังอัดแกนเดียว (q_u)

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องกด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกดแท่งตัวอย่างดิน โดยใช้มอเตอร์, น้ำมัน หรือมือหมุนเป็นตัวส่งกำลังซึ่งอาจใช้เครื่องมือกลอื่น ๆ ที่สามารถควบคุมอัตราการกดได้และมีกำลังเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่ากำลังอัดแกนเดียว น้อยกว่า 1 กิโลเมตร ต่อตารางเซนติเมตร ควรใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร และสำหรับดินที่มี

ค่ากำลังอัดแกนเดียว มากกว่า 1 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ควรใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

3.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน เป็นเครื่องมือที่ใช้ดันตัวอย่างดินคงสภาพ (UNDISTURBED) ออกจากกระบอกบาง (THIN WALL TUBE) โดยใช้ ไฮโดรลิค หรือเครื่องมือกลอื่น ๆ

3.1.3 มาตรวัด (DIAL GAUGE) ใช้ในการวัดระยะการเคลื่อนตัวของแท่งตัวอย่างในแนวดิ่ง โดยต้องสามารถวัดได้ ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) และต้องอ่านได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 20 ของความยาวแท่งตัวอย่าง

3.1.4 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110±5 องศาเซลเซียส

3.1.5 เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับตัวอย่างดินหนัก ไม่เกิน 100 กรัม สำหรับตัวอย่างดินที่หนักมากกว่า 100 กรัม ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.10 กรัม

3.1.6 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องตัดและตบแต่งแท่งตัวอย่าง, กระป๋องสำหรับใส่ดินหาความชื้นและสำหรับเตรียมตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ (MITER BOX)

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

3.2.1 จะต้องเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 3 ตัวอย่างเป็นอย่างน้อย ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างดินประเภทใดก็ตาม และการเก็บตัวอย่างดินให้เป็นไปตาม มยธ.(ท) 301-2535 : วิธีการทดสอบตามมาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

3.2.2 ตัวอย่างดินคงสภาพ (UNDISTURBED SAMPLE) นำตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้จากการเจาะดิน โดยใช้กระบอกบาง มาดันออกด้วยเครื่องดันตัวอย่างดิน แล้วนำมาตัดและตบแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดมาตรฐานดังนี้

ตารางที่ 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง,มม.(นิ้ว)	ความสูงของตัวอย่าง, มม.(นิ้ว)	ขนาดใหญ่สุดของวัสดุ
30.02 (1.3)	71.12 – 76.20 (2.8-3.0)	ไม่เกิน 1/10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่าง
71.12 (2.8)	142.24-152.40 (5.6-6.0)	ไม่เกิน 1/16 ของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่าง

ขนาดอื่น ๆ ก็อาจใช้ได้ โดยต้องมีอัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างจะต้องมีค่า 2-3 ทั้งนี้ เพื่อให้รอยเฉือนวิบัติ (FAILURE PLANE) ไม่อยู่ในส่วนของผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้มีความฝืดบนส่วนนั้นเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวมากกว่าที่ควรเป็น

ในระหว่างการเตรียมตัวอย่างต้องพยายามอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัด การตัดตัวอย่างดินจากกระบอกบาง ถ้าเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวของดิน หรือทำให้ดินถูกรบกวน ก็ให้ตัดแบ่งกระบอกบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ แล้วจึงดันตัวอย่างออกมาในกระบอกสำหรับเตรียมตัวอย่างแบบผ่าหุ้มตัวอย่างที่ตบแต่ง แล้วตัดความยาวให้ได้ตามความต้องการแล้วทำการวัดขนาดที่แน่นอน โดยใช้เวอร์เนียหรือเครื่องมืออื่นที่เหมาะสม โดยที่ความสูงวัดอย่างน้อย 3 ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางควรวัดตอนบน ตอนกลาง ตอนล่าง แล้วจึงนำมาเฉลี่ย

ถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ใหญ่เกินกำหนดทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ก็ให้เอาออกแล้วปิดผิวหน้าด้วยปูนปาสเตอร์โดยมีความหนาน้อยที่สุดหรือจะใช้ไฮโดรสโตน (HYDROSTONE) หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน นำแท่งตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหาความหนาแน่นและความชื้น ถ้าไม่สามารถชั่งแท่งตัวอย่างได้ ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวอย่างหาความชื้นแทน

3.2.3 ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (REMOLDED SAMPLE) การเตรียมตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ โดยนำเอาตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้ทดสอบแล้ว หรือตัวอย่างคงสภาพ นำมาห่อด้วยแผ่นยางบาง ๆ นำมาขยำหรือบดให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ในกระบอกแบบสำหรับเตรียมตัวอย่าง ต้องระวังมิให้มีฟองอากาศเข้าไปในระหว่างการขยำ ควรทาขี้ผึ้งหล่อลื่นบนผิวภายในด้วย เมื่ออัดดินเข้าไปในกระบอกแบบสำหรับเตรียมตัวอย่างซึ่งมีขนาดตามที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 1 จนเต็มแล้วให้ตัดปลายและตกแต่งจน

เรียบ โดยมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง นำตัวอย่างออกจากกระบอกแบบสำหรับเตรียมตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนัก โดยให้มีความหนาแน่นความชื้นใกล้เคียงกับตัวอย่างคงสภาพมากที่สุด

3.3 แบบฟอร์ม

ให้บันทึกผลการทดสอบในแบบฟอร์มที่กำหนด

3.4 การทดลอง

การทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดแกนเดียว สามารถที่จะกำหนดอัตราการเพิ่มแรงกดที่กระทำต่อแท่งตัวอย่างในระหว่างการทดสอบ ได้ 2 วิธี คือ

3.4.1 ควบคุมอัตราแรงกดด้วยอัตราความเครียด (STRAIN RATE) ก่อนเริ่มการทดสอบจะต้องตรวจสอบการติดตั้งตัวอย่างและเครื่องมือก่อน โดยวางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางของแป้นเครื่องกดอันล่างแล้ว เลื่อนแป้นกดอันบนให้สัมผัสตัวอย่าง พอดีปรับมาตรวัด สำหรับวัด การหดตัวและวัดแรง (ในวงแหวนวัดแรง) ให้ตั้งอยู่ที่ศูนย์

จากนั้นเริ่มทำการกดตัวอย่าง โดยให้อัตราการเคลื่อนที่ทางแนวดิ่งของเครื่องคิดเป็นอัตราความเครียด (STRAIN RATE) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 2 ต่อนาที ทำการบันทึกน้ำหนักกดและระยะทางเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งทุก ๆ 30 วินาที ประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มใช้น้ำหนักกดจนถึงน้ำหนักสูงสุดแล้วต้องใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที เพราะจะทำให้ความชื้นในตัวอย่างดินเปลี่ยนไป

เพิ่มน้ำหนักกดเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มจนสูงสุดแล้วสังเกตได้จากมาตรวัด ของวงแหวนวัดแรง ซึ่งอ่านค่าได้น้อยลงในขณะที่ความเครียด เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หรือความเครียด มีค่าร้อยละ 20 ของตัวอย่างดิน เขียนรูปตัวอย่างลักษณะการเกิดรอยเฉือนและวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบ ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเสร็จ แล้วนำไปชั่งและเอาเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้น

3.4.2 ควบคุมอัตราแรงกดด้วยอัตราหน่วยแรง (STRESS RATE) ก่อนเริ่มทำการทดสอบให้ประมาณค่าน้ำหนักกดสูงสุดของตัวอย่างดินเสียก่อน โดยสามารถประมาณโดยใช้เครื่องกดเพ็นนิโตรมิเตอร์ (PENETROMETER) กดลงบนบางส่วนของตัวอย่างดินที่ไม่ได้ใช้

ทำการจัดเครื่องมือและแท่งตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 เริ่มการกดตัวอย่างโดยใช้น้ำหนักกดเริ่มแรก 1/15 ถึง 1/10 ของน้ำหนักสูงสุดที่ได้ประมาณไว้ ทิ้งไว้ 30 วินาที แล้วทำการบันทึกการเคลื่อนตัวในทางดิ่ง

เพิ่มน้ำหนักกดเท่ากับครั้งแรก ทิ้งไว้ 30 วินาที จึงบันทึกค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งทำเช่นนี้จนถึงน้ำหนักกดสูงสุด (มาตรวัดแรงแบบวงแหวน อ่านค่าได้ลดลง) หรือการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งเท่ากับร้อยละ 20ของความเครียด (STRAIN) เขียนรูปตัวอย่างลักษณะการเกิดรอยเฉือนและวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบนำตัวอย่างดินที่ทดสอบเสร็จแล้วไปชั่งและเอาเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้น

4. การคำนวณ

4.1 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปในระหว่างการทดสอบ (A_c)

$$A_c = A \big/ (1 - \epsilon)$$

$$\epsilon = \Delta L \big/ L_0$$

เมื่อ L = การทรุดตัวในแนวดิ่งของแท่งตัวอย่างที่น้ำหนักกดใด ๆ อ่านได้จากมาตรวัด

= ความเครียด ตามแนวดิ่งที่น้ำหนักกดใด ๆ

L_o = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

4.2 คำนวณหาหน่วยแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (STRESS) สำหรับน้ำหนักกดใด ๆ

$$\sigma_c = P/A_c$$

เมื่อ P = น้ำหนักกด

A_c = พื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไป

5. รายงานผล

5.1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดบนตัวอย่างดินและความเครียด (STRESS STRAIN CURVE)ซึ่งสามารถหาค่าหน่วยแรงสูงสุด หรือค่าที่ความเครียดเท่ากับร้อยละ 20 ของตัวอย่างดิน เป็นค่ากำลังอัดแกนเดียว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงยึดเกาะ ดังนี้

$$c = \sigma_C \text{ max} / 2 = q_u / 2$$

5.2 ถ้ามีการทดสอบทั้งตัวอย่างดินคงสภาพ และตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ ของดินชนิดเดียวกันจะสามารถคำนวณหาความไวตัว (SENSITIVITY) ได้จาก

ความไวตัว = q_u (ตัวอย่างคงสภาพ) / q_u' (ตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ)

5.3 รายงานชนิดและรูปร่างของแท่งตัวอย่าง เช่น คงสภาพ, เปลี่ยนสภาพ, ทรงกระบอก, ทรงเหลี่ยม, ลักษณะดินโดยทั่วไป, ชื่อดิน, สัญลักษณ์

5.4 รายงานอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง

5.5 รายงานความหนาแน่นของตัวอย่างดิน ปริมาณความชื้น ถ้าตัวอย่างถูกทำให้อิ่มตัว (SATURATE) ให้หมายเหตุค่าของระดับความอิ่มตัว (DEGREE OF SATURATION)

5.6 บันทึกค่าความเครียด ที่หน่วยแรงสูงสุด

5.7 อัตราของความเครียด เป็นร้อยละต่อนาทีโดยนับตั้งแต่เริ่มน้ำหนัก จนถึงที่น้ำหนักสูงสุด

5.8 ให้หมายเหตุในกรณีที่การทดสอบมีลักษณะผิดปกติหรือแนบรายละเอียดอื่น ๆ ที่คิดว่ามีความจำเป็นต้องใช้ในการอธิบายผลการทดสอบ

6. ข้อควรระวัง

6.1 การเตรียมตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ ต้องมีความหนาแน่นและปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับตัวอย่างคงสภาพและไม่ให้มีฟองอากาศในตัวอย่างดินเปลี่ยนมีสภาพ

6.2 ระยะเวลาในการกดน้ำหนักไม่ควรเกิน 10 นาที เพราะจะทำให้ปริมาณความชื้นเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว ของดินเพิ่มขึ้น

6.3 ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดมาก จะต้องใช้อัตราความเครียดสูงประมาณร้อยละ 2 ต่อนาที ส่วนดินที่แข็งแตกง่ายจะมีความเครียดน้อย จะต้องใช้อัตราความเครียดต่ำ ประมาณร้อยละ 0.5 ต่อนาที

7. **หนังสืออ้างอิง**

THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, “STANDARD SPECIFICATION FOR HIGHWAY MATERIALS AND METHOD OF SAMPLING AND TESTING” AASHTO T. 207 AND T.– 208

รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน และการทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดแกนเดียว

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

UNCONFINED COMPRESSION TEST

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING PROJECT _____

SAMPLE NO _____ LOCATION _____ DEPTH _____ M

DESCRIPTION OF SOIL _____

TEST PERFORMED BY _____ DATE OF TEST _____

DIAMETER _____ **cm** **AREA Ao** _____ **Ht, Lo** _____ **cm.**

VOLUME _____ **cm^3** **Wt** _____ **WET UNIT Wt** _____ **gm/cm^3**

WATER CONTENT , *W* % **DRY UNIT Wt** _____ **gm/cm^3**

DEFORMATION DIAL READING	LOAD DIAL (UNITS)	SAMPLE DEFORMATION △ L, (cm)	UNITS STRIAN △ L/ Lo	AREA CF 1 - e	CORRECTED AREA , A	TOTAL LOAD SAMPLE	SAMPLE STRESS

TUMCIVIL.COM

การทดลองที่ 8

การทดลองเพื่อหาค่าแรงเฉือนตรง
(DIRECT SHEAR TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของมวลดิน (SHEARING STRENGTH) โดยจะแสดงค่าความต้านแรงเฉือนในมวลดิน ในรูปของ ค่า C และ ϕ ซึ่งวิธีการทดสอบนี้ เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว

2. นิยาม

ความสามารถในการรับแรงเฉือนของมวลดิน (SHEARING STRENGTH) หมายถึง ความสามารถในการหาแรงเฉือนเพื่อเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ หรือออกแบบฐานราก, ผนังกันดิน, เขื่อนดิน โดยทางด้านปฐพีกลศาสตร์ถือว่ากำลังของดินคือความสามารถของมวลดิน ในการรับแรงเฉือนจากสมการของมอร์คูลอมบ์ (MOHR COULOMB'S EQUATION) โดยที่ดินแต่ละชนิดมีค่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (COHESION, c) และ แรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดิน (INTERNAL FRICTION, ϕ) แตกต่างกันซึ่งค่าความแข็งแรง (STRENGTH PARAMETER) เหล่านี้จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของมวลดินนั้นที่จะสามารถรับแรงเฉือนได้ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของมวลดิน สามารถหาได้จากสมการมอร์คูลอมบ์ ซึ่งมีรูปสมการดังนี้

$$,\tau = c + \sigma \cdot tan\phi$$

โดยที่

τ = หน่วยแรงเฉือนที่จุดพังทลาย (ค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือน)

σ = หน่วยแรงกดหรือแรงตั้งฉากทั้งหมด/พื้นที่หน้าตัด

c = ค่า แรงยึดเหนี่ยวหรือแรงเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน

ϕ = มุมเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินหรือมุมต้านทานแรงเฉือน

หรือในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล

$$\tau = c' + \sigma' \cdot tan\phi'$$

โดยที่

$\sigma' = \sigma - u$ = หน่วยแรงกด - ความดันของน้ำ

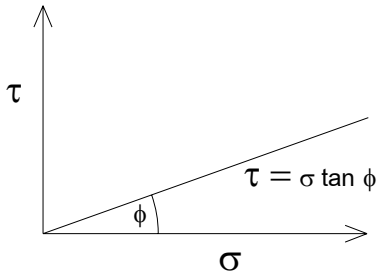
C' = ค่า แรงยึดเหนี่ยวหรือแรงเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน

ϕ' = มุมเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินหรือมุมต้านทานแรงเฉือน

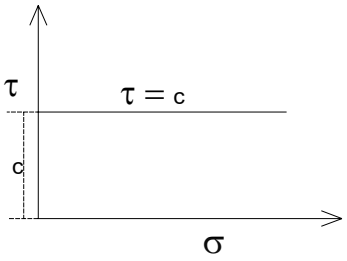
สำหรับดินที่ไม่มีความความเชื่อมแน่น เช่นกรวด ทรายค่ากำลัง ต้านทานแรงเฉือนของมวลดินขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งค่าดังกล่าวแปรผันไปตาม น้ำหนักที่กดทับตั้งฉากกับระนาบของแรงเฉือน

สำหรับดินที่มีวามความเชื่อมแน่น เช่นดินเหนียว ค่ากำลัง ต้านทานแรงเฉือนของมวลดินขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งค่าดังกล่าวแปรผันไปตาม ปริมาณน้ำในดิน ขนาดของเม็ดดิน และความหนาแน่นของดิน

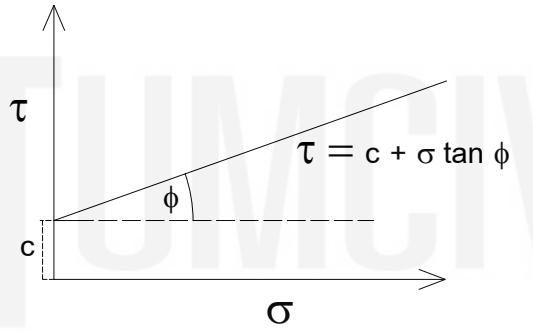
TUMGIVIL.COM



ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น
c เป็น 0, ϕ ไม่เป็น 0



ดินที่มีความเชื่อมแน่น
c ไม่เป็น 0, ϕ เป็น 0



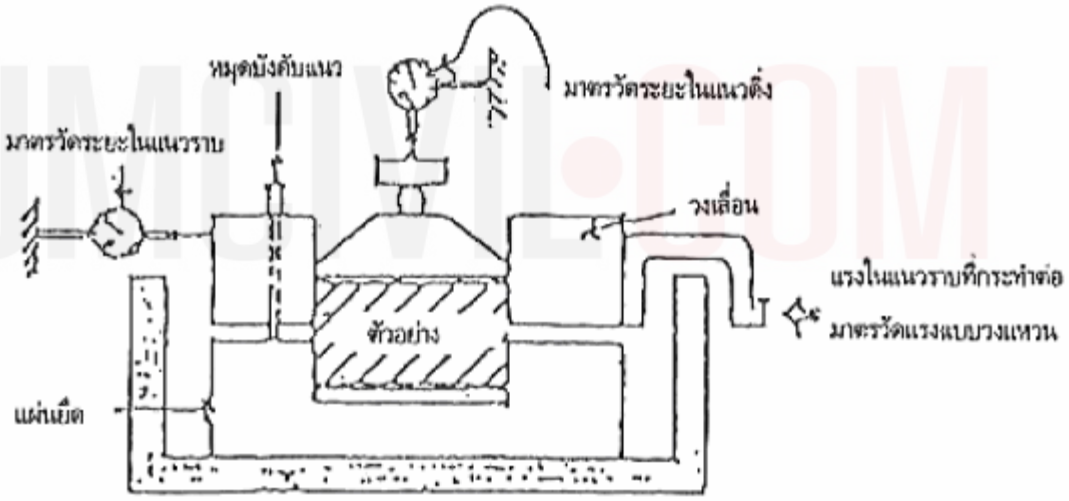
ดินที่มีความเชื่อมแน่น และมีความเสียดทานภายใน
c และ ϕ ไม่เป็น 0

รูปที่ 2.1 ทรายค่ากำลัง ต้านทานแรงเฉือนของดินที่ไม่มีความความเชื่อมแน่น, ดินที่มีความความเชื่อมแน่น และดินที่มีความความเชื่อมแน่นและแรงเสียดทานภายใน

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

TUMCIVIL.COM



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบแรงเฉือนตรง

3.1.1 เครื่องทดสอบแรงเฉือนตรง (DIRECT SHEAR MACHINE) ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 มาตรวัดแรงแบบวงแหวน (PROVING RING DIAL) เป็นเครื่องมืออ่านค่าแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าแรงกระทำด้านข้าง โดยหาจากระยะการเคลื่อนที่ที่อ่านได้จากมาตรวัด (DIAL GAUGE) ในวงแหวนวัดแรง (PROVING RING)

3.1.3 มาตรวัด (DIAL GAUGE) ใช้วัดละเอียดถึง 0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว

3.1.4 กล่องตัดตัวอย่างดิน (TRIMMER) ใช้ตัดตัวอย่างดินเหนียวซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 63.5x63.5 มม. สูง 25.4 มม. (2.5”x 2.5” สูง 1”) มีขอบบางและด้านหนึ่งคม สำหรับกดตัดลงบนตัวอย่างดิน

3.1.5 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เช่น เครื่องมือตกแต่งตัวอย่างดิน, กระป๋องสำหรับใส่ดินหาความชื้น

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

3.2.1 จะต้องเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 3 ตัวอย่างเป็นอย่างน้อย ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างดินประเภทใดก็ตามและการเก็บตัวอย่างดินให้เป็นไปตามวิธีการทดสอบตามมาตรฐานการเจาะสำรวจดิน

3.2.2 ตัวอย่างดินเหนียว (COHESIVE SOIL) ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือนตรงซึ่งเป็นตัวอย่างในสภาพถูกรบกวนน้อยที่สุด โดยดันออกมาจากกระบอกบางนำมาตัดตกแต่งโดยใช้กล่องตัดตัวอย่างดินกดลงไปบนตัวอย่างแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นนำตัวอย่างดินที่ตัดด้วยกล่องตัดตัวอย่างดินมาบรรจุลงในกล่องทดสอบแรงเฉือน (SHEAR BOX) โดยค่อยๆ ดันตัวอย่างออกโดยใช้เครื่องมือดันตัวอย่าง (TOP CAP) ช่วยดันตัวอย่างต้องระวังให้มีการรบกวนน้อยที่สุด ในขณะที่บรรจุตัวอย่างดินนั้นวงเลื่อน (SLIDING RING) กับแท่นยึด (STATIONARY BASE) จะถูกยึดอยู่ด้วยกันด้วยหมุดบังคับแนว(ALIGNMENT PIN) ทำการจัดที่แขวนน้ำหนัก (HANGER) ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่น้ำหนักบนที่แขวนน้ำหนัก จัดมาตรวัดระยะในแนวดิ่ง (VERTICAL DIAL GAUGE) มาตรวัดระยะในแนวราบ (HORIZONTAL DIAL GAUGE) และมาตรวัดแรงแบบวงแหวน (PROVING RING DIAL) ที่เลขศูนย์

3.2.3 ตัวอย่างดินทราย (COHESIONLESS SOIL) นำตัวอย่างดินทรายที่จะใช้ในการทดลองประมาณ 250 กรัมถึง 300 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักให้แน่นอน เตรียมกล่องทดสอบแรงเฉือนโดยการยึดส่วนวงเลื่อนและแท่นยึดเข้าด้วยกันโดยใช้หมุดบังคับแนว นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการบดอัดในกล่องทดสอบแรงเฉือนโดยการโรยแล้วบดอัดหรือเขย่าให้แน่น ชั่งน้ำหนักทรายตัวอย่างที่เหลือเพื่อจะนำไปคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งต้องพยายามเตรียมตัวอย่างให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับในสภาพเดิม (IN-SITU CONDITION) จัดที่แขวนน้ำหนักให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่น้ำหนัก เพื่อทำให้เกิดหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ (NORMAL STRESS) บนตัวอย่างดิน จัดมาตรวัดระยะในแนวดิ่ง มาตรวัดระยะในแนวราบและมาตรวัดแรงแบบวงแหวนที่เลขศูนย์

3.3 แบบฟอร์ม

ให้บันทึกผลการทดสอบในแบบฟอร์มที่กำหนด

3.4 การทดสอบ

3.4.1 ทำการใส่น้ำหนักลงบนที่แขวนน้ำหนัก เพื่อให้เกิดหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำในตัวอย่างดินตามต้องการและรอให้การทรุดตัวในแนวดิ่งหยุดเสียก่อน โดยสังเกตได้จากมาตรวัดระยะในแนวดิ่งมีค่าคงที่ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 10 นาที

3.4.2 เริ่มทำการเฉือนตัวอย่างดินโดยการใช้มอเตอร์, ไฮดรอลิค หรือเครื่องมือกลอื่นใด ที่สามารถควบคุมอัตราการกดได้ โดยทั่วไปจะใช้อัตราการเคลื่อนที่ตามแนวราบอ่านได้จากมาตรวัดในแนวราบประมาณ 1.27 มิลลิเมตร ต่อนาที ถึง 0.254 มิลลิเมตร ต่อนาที (0.05 นิ้วต่อนาที ถึง 0.01 นิ้วต่อนาที) อย่างสม่ำเสมอ

3.4.3 บันทึกค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงแบบวงแหวน และค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่จะอ่านได้จากมาตรวัดระยะในแนวดิ่งทุก ๆ การเคลื่อนที่ในแนวราบ 0.25 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว) จนกระทั่งตัวอย่างดินไม่สามารถรับแรงเฉือนได้อีก (SHEAR FAILURE) โดยสามารถสังเกตได้โดยค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงแบบวงแหวนซึ่งจะมีค่าลดลง

3.4.4 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับ 3.4.1 ถึง 3.4.3 อีกอย่างน้อยที่สุด 3 ตัวอย่าง โดยทำการเปลี่ยนน้ำหนักที่ใส่บนที่แขวนน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำบนตัวอย่างดินต่างๆ กันไป

4 การคำนวณ

4.1 การคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ (NORMAL STRESS, σ)

$$\sigma = P / A$$

โดยที่ P = น้ำหนักบนที่แขวนน้ำหนัก

A = พื้นที่หน้าตัดของกล่องทดสอบแรงเฉือน

4.2 การคำนวณหาหน่วยแรงเฉือน (SHEARING STRESS, τ)

$$\tau = P.R. \times K / A$$

โดยที่ P.R. = ค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงแบบวงแหวน
K = ค่าคงที่ของมาตรวัดแรงแบบวงแหวน
A = พื้นที่หน้าตัดของกล่องทดสอบแรงเฉือน

5 การรายงาน

ให้รายงานผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม ดังนี้

5.1 บันทึกผลและรายการคำนวณให้มีความละเอียดถึงทศนิยมที่ 2 ตำแหน่ง

5.2 เขียนกราฟถึงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเฉือน (SHEARING STRESS) และการเปลี่ยนรูปในแนวราบ(HORIZONTAL DEFORMATION)

5.3 เขียนมอร์ไดอะแกรมระหว่างหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ (NORMAL STRESS) และหน่วยแรงเฉือน (SHEARING STRESS) สูงสุด

6 หนังสืออ้างอิง

6.1 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, AASHTO T 236 – 72

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT. _____ **OWNER.** _____

LOCATION _____ **BORING NO.** _____ **SAMPLE NO.** _____

DESCRIPTION OF SOIL. _____ **JOB NO.** _____ **DATE.** _____

Shear Box Inside Diameter:
Area (A):
Shear Box Height:
Soil Volume:
Initial mass of soil and pan:
Final mass of soil and pan:
Mass of soil:
Density of soil (?) :

NORMAL STRESS _____

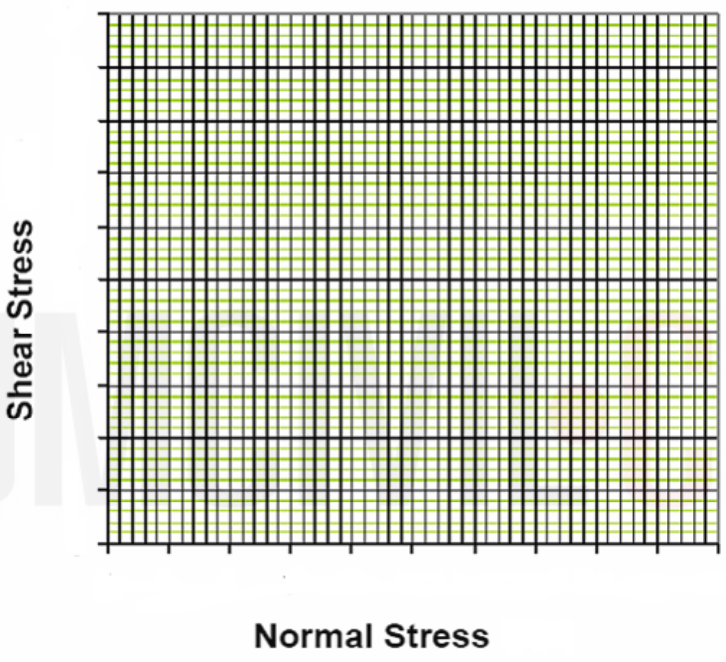
HORIZONTAL DISPLACEMENT	VERTICAL DISPLACEMENT	LOAD DIAL READING	HORIZONTAL SHEAR FORCE	SHEAR STRESS	REMARKS

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT.		**OWNER.**	
LOCATION		**BORING NO.**	**SAMPLE NO.**
DESCRIPTION OF SOIL.		**JOB NO.**	**DATE.**



C =

ϕ =

การทดลอง ที่ 9

การทดลองการซึมผ่านได้ในดิน
PERMEABILITY (HYDRAULIC CONDUCTIVITY) TEST
CONSTANT HEAD METHOD

1. ขอบข่าย

เพื่อให้นักศึกษาทราบถึงวิธีการและหลักการทั่วไปในการหาค่าการซึมผ่านโดยวิธีประเภทควบคุมระดับน้ำคงที่ Constant head method

2. นิยาม

จากกฎของ Darcy's ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (q) ผ่านพื้นที่หน้าตัด (A) ด้วยสมการ q = kiA โดย k คือ Coefficient of Permeability และ i คือ imposed gradient ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Permeability คือคุณสมบัติของดิน ในการที่ยอมให้น้ำไหลผ่านโดยการวัดมาในค่า Coefficient of Permeability ซึ่งขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดคละของดิน
2. คุณสมบัติของน้ำที่ไหลผ่าน
3. Void Ratio
4. Degree of Saturation

การทดสอบหาค่า Coefficient of Permeability สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ Variable head method, Constant head method, Capillary method และ Consolidation ในเอกสารนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Constant head method โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สำหรับวิธี Constant head เหมาะสำหรับดินที่มีขนาดคละที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ไม่เกิน 10%

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วยเครื่องมือที่แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1.1 กระบอกใส่ตัวอย่างดิน
3.1.2 กรวยกรองน้ำ
3.1.3 สายยาง
3.1.4 กระบอกตวง
3.1.5 ไม้เมตร
3.1.6 เทอร์โมมิเตอร์

TUMCIVIL.COM

รูปที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการซึมผ่านได้ในดินโดยวิธีประเภทควบคุมระดับน้ำคงที่

TUMCIVIL.COM

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

3.2.1 นำ porous stone รองใต้กระบอกใส่ตัวอย่างดิน แล้วใส่ตัวอย่างดินลงในกระบอก

3.2.2 นำ porous stoneวางทับด้านบน วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความสูงของกระบอก

1

2

3

4

รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการซึมผ่านได้ในดินโดยวิธีประเภทควบคุมระดับน้ำคงที่

3.3 แบบฟอร์ม

ให้บันทึกผลการทดสอบในแบบฟอร์มที่กำหนด

3.4 การทดสอบ

3.4.1 นำสปริงวางไว้บน porous stone แล้วนำฝาครอบมาสวมเข้ากระบอกใส่ตัวอย่างดิน ขันสกรูให้แน่น

3.4.2 ต่อสายยางจากกรวยด้านบนเชื่อมเข้ากับทางน้ำเข้าและเชื่อมสายยางจากทางน้ำออกด้วย

3.4.3 ทำการเปิดวาล์วทางน้ำออก ทิ้งไว้สักครู่รอจนให้ระดับน้ำในกรวยคงที่ วัดความสูงจากระดับน้ำในกรวยจนถึงระดับน้ำที่ไหลออกจากกระบอกใส่ตัวอย่างดิน จากนั้นนำกระบอกตวงมารองน้ำที่ไหลออก จับเวลา t และปริมาตร Q ทำการทดสอบ5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

1

2

3

4

รูปที่ 3.3 การทดสอบการซึมผ่านได้ในดินโดยวิธีประเภทควบคุมระดับน้ำคงที่

TUMCIVIL.COM

4 การคำนวณ

การคำนวณวิธีควบคุมระดับน้ำคงที่

$$k_T = \frac{QL}{thA}$$

k_T	=	Coefficient of permeability ของดินให้น้ำอุณหภูมิ T ไหลผ่าน
Q	=	ปริมาตรน้ำที่ไหลออกจากกระบอกใส่ตัวอย่างดินในเวลา t
L	=	ความสูงของตัวอย่างดิน
A	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน
h	=	ความสูงจากระดับน้ำในกรวยจนถึงระดับน้ำที่ไหลออกจากกระบอกใส่ตัวอย่างดิน

ในการเปรียบเทียบค่า Coefficient of Permeability จะใช้ค่าอุณหภูมิน้ำที่ 20 ºC เป็นค่ามาตรฐานโดยหาได้จากตารางที่ 1 ร่วมกับสูตรแสดงข้างล่าง

$$k_{20} = k_T \frac{\upsilon_T}{\upsilon_{20}}$$

υ_T	=	ความหนืด viscosity ของน้ำอุณหภูมิที่ T ºC
υ_{20}	=	ความหนืด viscosity ของน้ำอุณหภูมิ ที่ 20 ºC

ตารางที่ 1 ค่าความหนืด viscosity ของน้ำที่ อุณหภูมิต่างๆ (ºC)

VISCOSITY OF WATER										
(Value are in milipoises)										
ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	0.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.29	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

5 การรายงาน

5.1 ให้รายงานผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มที่กำหนด

5.2 สรุปความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบ โดยใช้ข้อมูลที่กำหนดดังตารางที่ 2

TUMCIVIL.COM

ตารางที่ 2 ความสามารถในการซึมผ่านได้ของดิน

ความสามารถในการซึมผ่าน	**k (cm/sec)**
สูง	$>10^{-1}$
ปานกลาง	10^{-1} ถึง 10^{-3}
ต่ำ	10^{-3} ถึง 10^{-5}
ต่ำมาก	10^{-5} ถึง 10^{-7}
ไม่ซึมผ่าน	$<10^{-7}$

6 หนังสืออ้างอิง

6.1 ASTM D 2434 - STANDARD TEST METHOD FOR PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD)

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

PERMEABILITY TEST CONSTANT HEAD

PROJECT OWNER

LOCATION BORING NO. SAMPLE NO.

DESCRIPTION OF SOIL TYPE OF TEST DATE

TEST BY

ลำดับ	Total Head Lost h(cm)	ความยาว L(cm)	พื้นที่หน้าตัด A (cm)	อุณหภูมิน้ำ T (c)	ปริมาตรน้ำ Q (cm3)	เวลา T (sec)	*KT* cm/sec	*VT* m.lp.	V 20c m.lp.	K 20c cm/sec

TUMCIVIL.COM

Certified by _____

REMARK. The testing results are good only for those specimens tested.

การทดลอง ที่ 10

การทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม
(FIELD DENSITY TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางที่บดอัดในสนาม (IN PLACE DENSITY) ของวัสดุที่มีเม็ดไม่โตกว่า 50.8 มม. (2 นิ้ว) โดยใช้ทรายแทนที่ เพื่อหาปริมาตร

2. นิยาม

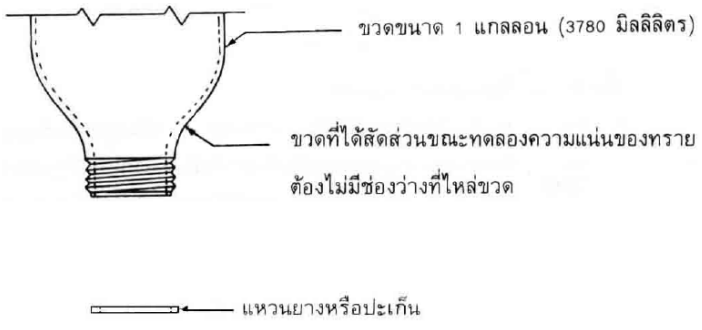
การหาความความแน่นของวัสดุงานทางที่บดอัดคือการหาน้ำหนักของดินที่บดอัดในสนามเรียบร้อยแล้วหารด้วยปริมาตรของดินจำนวนที่ขุดขึ้นมาชั่งน้ำหนักนั้น การหาปริมาตรของดินที่ขุดขึ้นมาเพื่อความสะดวกจะขุดดินให้เป็นหลุม เพราะฉะนั้นปริมาตรของดิน = ปริมาตรของหลุม การหาปริมาตรของหลุมจำเป็นต้องใช้วัสดุที่รู้ความหนาแน่น (DENSITY) และความถ่วงจำเพาะวัสดุนี้อาจใช้ทรายมาตรฐาน (SAND CONE METHOD) ทรายที่ใช้เป็นทราย OTTAWA ซึ่งมีเม็ดกลมและขนาดเท่ากัน เพื่อให้ผลของความหนาแน่นเท่ากันตลอดและไม่เกิดการแยกตัวระหว่างเม็ดหยาบและเม็ดละเอียดขนาดทำการทดสอบ หากไม่มีทราย OTTAWA ให้ใช้ทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 40 แทน

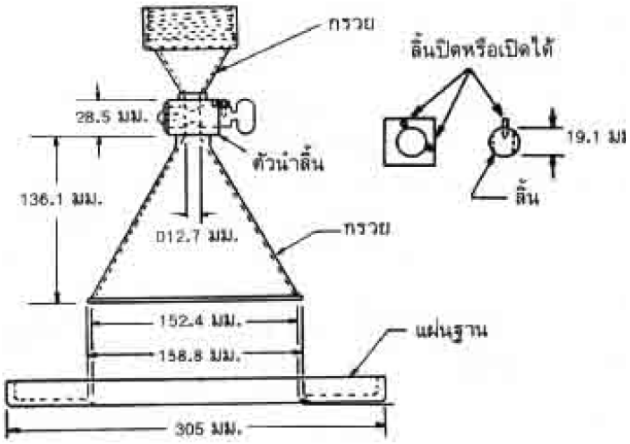
3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

3.1.1 ชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น (DENSITY APPARATUS) แสดงในรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 ชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น

ชุดเครื่องมือประกอบด้วย

3.1.1.1 ขวด (JAR) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกโปร่งใสปริมาตรจุ 4 ลิตร ตัวขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 160 มม. ปากขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. และมีเกลียวสำหรับต่อกับกรวย

3.1.1.2 กรวย (METAL FUNNEL) ทำ าด้วยโลหะสูงประมาณ 210 มม. ตรงกลางมีลิ้น (VALVE) สำหรับปิดเปิดรูทรงกระบอก (ORIFICE) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ยาว 28.6 มม.(1 1/8 นิ้ว) ปากกรวยบานออกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 165.1 มม. (6 1/2 นิ้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 171.5 มม.(6 3/4 นิ้ว) สูง 136.5 มม. (5 3/8 นิ้ว) ปลายอีกข้างหนึ่งมีเกลียว สำหรับต่อกับขวด ขณะทำการทดสอบ รอยต่อระหว่างขวด และกรวยต้องสนิท ในกรณีที่มีช่องว่างหรือเคลื่อนตัวได้ ต้องใส่แหวนยาง หรือ ปะเก็น (GASKET) รองลิ้นจะต้องมีที่บังคับให้หยุดเมื่อเปิด หรือ ปิดจนสุดรูทรงกระบอกแล้ว

3.1.1.3 แผ่นฐาน (BASE PLATE) ทำ าด้วยโลหะขนาด 305 มม. x 305 มม. (12 นิ้ว x 12 นิ้ว) ตรงกลางมีรูกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 165.1 มม. (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากกรวย) มีช่องกว้างประมาณ3.2 มม. (1/8 นิ้ว) สำ าหรับวางปากกรวยให้สนิทขอบของแผ่นฐานยกสูงขึ้น เพื่อความสะดวกในการเก็บดินตัวอย่าง

หมายเหตุ ชุดเครื่องทดสอบความแน่นนี้ ใช้กับดินตัวอย่างประมาณ 2,800 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.01 ลบ.ฟ.) อาจดัดแปลงชุดเครื่องมือให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นได้แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละชนิด

TUMCIVIL.COM

3.1.2 ทราย ใช้ทรายออตตาวา (OTTAWA SAND) หรือเตรียมจากทรายที่มีในท้องที่หรือวัสดุอื่นใด ที่คล้ายทรายต้องสะอาด แห้ง ไหลได้อย่างอิสระ (FREE FLOWING) ปราศจากเชื้อประสาน แข็ง กลม ไม่มีรอยแตก ไม่มีเหลี่ยมมุม ขนาดผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มม. (เบอร์ 10) และค้างบนตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) เล็กน้อยและมีความแน่นแบบบัลค์ (BULK DENSITY) เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละ 1

3.1.3 เครื่องชั่ง ที่สามารถชั่งได้หนักถึง 10 กก. อ่านได้ละเอียดถึง 1.0 กรัม

3.1.4 เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้หนักถึง 500 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

3.1.5 อุปกรณ์ทำให้ดินแห้ง ได้แก่ เตาน้ำมันก๊าด เตาแก๊ส กะทะคั่วดิน เป็นต้น หรืออาจใช้ตู้อบไฟฟ้า ตู้อบน้ำมันก๊าด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ดินตัวอย่างแห้งสำหรับความชื้นได้

3.1.6 อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ช้อนตักดิน ตลับบรรจุดินพร้อมฝาปิด ภาชนะสำหรับใส่ดิน เกรียง สิ่ว ค้อน อีเตอร์ จอบ พลั่ว แปรงขน แปรงลวด เหล็กปาด ตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) 2.00 มม.(เบอร์ 10) และ0.075 มม.(เบอร์ 200) และเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น

3.2 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่กำหนด

3.3 การทดสอบ

3.3.1 วิธีหาปริมาตรขวด พร้อมกรวย จนถึงรูลิ้นที่ปิด ดำเนินการ ดังนี้

3.3.1.1 ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย

3.3.1.2 ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่มั่นคง เมื่อได้ระดับแล้วเปิดลิ้นไว้

3.3.1.3 ใส่น้ำกลั่นลงในกรวย จนกระทั่งระดับน้ำขึ้นท่วมกรวย และไม่มีฟองอากาศค้างอยู่ในขวด แล้วจึงปิดลิ้นให้สนิท และเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมด

3.3.1.4 ถ้าน้ำซึมออกตามบริเวณเกลียวปากขวด ให้ใช้ขี้ผึ้งหรือเทปป้องกันน้ำซึม

3.3.1.5 เช็ดน้ำที่ติดกรวย หรือข้างขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักเมื่อน้ำเต็มขวด เมื่อนำน้ำหนักในข้อ3.3.1.1 มาหักออกจะได้น้ำหนักน้ำเมื่อเต็มขวดในกรณีที่ทำข้อ 3.3.1.4 ด้วย ให้นำน้ำหนักวัสดุในข้อ 3.3.1.4 มาหักออกด้วย

3.3.1.6 วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด

3.3.1.7 ให้ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของน้ำเต็มขวด โดยแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 กรัม และอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปหาค่าความแน่นของน้ำ ตามตารางที่ 1

3.3.1.8 คำนวณหาปริมาตรของขวด

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ		ปริมาตรของน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก
องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	ลบ.ซม./กรัม (T)
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

หมายเหตุ ให้ทำเครื่องหมายไว้ด้วยว่าเกลียวของขวดและกรวยเคลื่อนตัวหรือไม่ เกลียวต้องไม่ขยับในขณะทดสอบ เพื่อให้ปริมาตรของขวดมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทดสอบ

3.3.2 วิธีตรวจสอบความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย (BULK DENSITY OF SAND) ดำเนินการดังนี้

3.3.2.1 วางขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวยซึ่งได้ทำความสะอาดและชั่งเรียบร้อยแล้วหงายลงบนพื้นที่ราบมั่นคงและได้ระดับ ปิดลิ้นให้สนิทแล้วเททรายใส่ในกรวยจนเต็ม

3.3.2.2 เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงในขวด คอยเติมทรายในกรวยไม่ให้น้อยกว่าครึ่งของกรวยอยู่ตลอดเวลา ต้องระวังไม่ให้ขวดและกรวยกระเทือน ซึ่งจะทำให้ค่าความแน่นของทรายผิดได้ เมื่อทรายเต็มขวดโดยหยุดไหลแล้ว ให้ปิดลิ้นเททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง

3.3.2.3 ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทราย ที่บรรจุอยู่เต็มขวด หักออกด้วยน้ำหนักในข้อ 3.3.1.1 จะได้น้ำหนักของทรายเต็มขวด

3.3.2.4 ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายเต็มขวด

3.3.3 วิธีหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย ดำเนินการ ดังนี้

3.3.3.1 ดำเนินการตามข้อ 3.3.2.1 และข้อ 3.3.2.2 แล้วชั่งน้ำหนักขวด พร้อมกรวยและทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด

3.3.3.2 คว่ำกรวยลงบนแผ่นฐาน ให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน โดยแผ่นฐานต้องวางอยู่บนพื้นที่ราบเรียบสะอาดและตรึงสนิทกับพื้น

3.3.3.3 เปิดลิ้นให้ทรายไหลจนเต็มกรวยโดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือนเมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น

3.3.3.4 นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก นำมาหักออกจากน้ำหนักที่หาได้ในข้อ 3.3.3.1 จะได้น้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

3.3.3.5 ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

3.3.4 วิธีหาค่าความแน่นของดินในสนาม ดำเนินการดังนี้

3.3.4.1 ปรับแต่งพื้นผิวบริเวณที่จะทดสอบให้ราบเรียบ สะอาด

3.3.4.2 วางแผ่นฐานลงบนพื้นที่จะทดสอบแล้วตรึงแผ่นฐานให้แน่น

3.3.4.3 เจาะดินตรงรูกลางแผ่นฐานเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ารูกลางของแผ่นฐาน โดยเจาะเป็นแนวดิ่ง ตลอดชั้นวัสดุที่ทดสอบ หรือลึกประมาณ 10-15 ซม. แล้วแต่ชนิดของงาน แต่งหลุมให้เรียบร้อยเพื่อให้ทรายไหลลงแทนที่ได้สะดวก

3.3.4.4 นำดินที่เจาะขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของดินชื้น และภาชนะใส่ดิน เมื่อหักน้ำหนักภาชนะที่ใส่ดินออกแล้ว จะเหลือน้ำหนักรวมของดินชื้น

3.3.4.5 คลุกดินที่เก็บจากหลุมในภาชนะใส่ดินให้ทั่วแล้วเก็บใส่ตลับบรรจุดินอย่างน้อย 100 กรัม ปิดฝาตลับแล้วนำไปชั่งและอบให้แห้งคำนวณหาปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละ ของน้ำหนักดินที่อบแห้ง

3.3.4.6 คว่ำขวดที่บรรจุทรายอยู่เต็มพร้อมกรวยตามวิธีข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 ซึ่งชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงบนร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม โดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก เก็บทรายสะอาดเพื่อใช้งานต่อไป ส่วนทรายที่ชื้นหรือสกปรก ให้นำไปทำความสะอาดนำน้ำหนักในตอนหลังหักออกจากน้ำหนักที่ชั่งได้ก่อนคว่ำกรวย จะได้น้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด

3.3.4.7 นำน้ำหนักที่ได้ในข้อ 3.3.3 ไปหักออกจากน้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด ในข้อ 3.3.4.6 แล้วจะได้น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม

4. การคำนวณ

4.1 ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

4.1.1 หาปริมาตรของขวด

$$L = MT$$

เมื่อ L = ปริมาตรของขวด (ลบ.ซม.)
M = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม)
T = ปริมาตรของน้ำซึ่งหนัก 1 กรัม ที่อุณหภูมิทดลอง (ตารางที่ 1) (ลบ.ซม./กรัม)

4.1.2 ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

$$\gamma_s = \frac{M_1}{L}$$

เมื่อ γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม /ลูกบาศก์เซนติเมตร)
M1 = น้ำหนักของทรายเต็มขวด (กรัม)
L = ปริมาตรของขวด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

4.2 ความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง
W_1 = น้ำหนักของดินชื้น (กรัม)
W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง (กรัม)

4.3 หาปริมาตรของหลุม

$$V = \frac{M_2}{\gamma_s}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
M_2 = น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม (กรัม)
γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

4.4 ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_w = \frac{P}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

P = น้ำหนักรวมของดินชื้นที่ขุดออกจากหลุม (กรัม)
V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

4.5 ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

4.6 ร้อยละของการบดอัด

$$Pc = \frac{\gamma_d}{\gamma_m}$$

เมื่อ Pc = ร้อยละของการบดอัด
γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่จุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
γ_m = ความแน่นแห้งสูงสุดของดินตัวอย่างชนิดเดียวกับดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5. การรายงาน

5.1 ให้รายงานชื่อโครงการ ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ รายนามเจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ วันเวลาที่ทดสอบ ความแน่นของทรายที่หาได้ ตำแหน่งที่ทดสอบ และรายละเอียดอื่น ๆ

5.2 ค่าความแน่นของดินให้ใส่ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และร้อยละของการบดอัดให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. ข้อควรระวัง

6.1 แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดสอบต้องตรึงให้แน่น

6.2 พื้นผิวที่ทดสอบควรราบเรียบได้ระดับ สะอาด

6.3 ขณะทดสอบต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน

6.4 หาค่าความแน่นแบบบัลค์ ของทราย อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

6.5 ทรายที่ใช้ทดสอบต้องสะอาดและแห้ง

6.6 ต้องปิดลิ้นก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้ง

6.7 ในขณะขนย้ายเครื่องมือให้อุ้มตัวขวดโดยตรง ห้ามหิ้วที่กรวยเพราะตรงบริเวณลิ้นไม่แข็งแรงอาจขาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีทรายบรรจุอยู่เต็มขวด

TUMCIVIL.COM

7. หนังสืออ้างอิง

7.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 603/251 วิธีทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุในสนาม โดยใช้ทราย กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR DENSITY OF SOIL IN-PLACE BY THE SAND-CONE METHOD; AASHTO DESINGATION: T 191-61 (1974)

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FIELD DENSITY TEST

PROJECT. _____ **OWNER** _____

LOCATION _____ **BORING NO.** _____ **SAMPLE NO.** _____

DESCRIPTION OF SOIL _____ **JOB NO.** _____ **DATE.** _____

TEST BY. _____

Density of Sand.

sample						
no.of hole						
wt. Of sand in funnel set No.						
Initial wt.	gm					
Final wt.	gm					
wt. Of sand used	gm					
Wt. Of sand in hole and funnel						
Initial wt.	gm					
Final wt.	gm					
wt. Of sand used Ws	gm					
wt. Of sand in hole	gm					
volume of hole	cm^3					
Water content Determenation						
can no.						
Wet soil + can	gm					
Dry soil + can	gm					
wt of water	gm					
wt of can	gm					
wt of dry soil	gm					
water content	%					

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้รับเท่านั้น

ผู้รับรองผล _____

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FIELD DENSITY TEST

PROJECT. _____ **OWNER** _____

LOCATION _____ **BORING NO.** _____ **SAMPLE NO.** _____

DESCRIPTION OF SOIL _____ **JOB NO.** _____ **DATE.** _____

TEST BY. _____

no of hole					
wt of Density - sample					
wet soil + container	gm				
wt of container	gm				
wt of wet soil	gm				
wet density	gm/cm^3				
dry density	gm/cm^3				
PERCENT COMPACTION DETERMINA					
Max density (proctor test)	gm/cm^3				
% compaction	%				
Depth of compacted materials					
Design depth	cm				
Actual depth	cm				

หมายเหตุ ผลการทดลองนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้รับเท่านั้น

ผู้รับรองผล _____

การทดลอง ที่ 11

การทดลองเพื่อหาค่าการอัดตัวคายน้ำ
(CONSOLIDATION TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดิน (COMPRESSIBILITY) อันเนื่องมาจากการกดทับของมวลดินเองหรือน้ำหนักบรรทุกของสิ่งก่อสร้างบนผิวดิน ซึ่งอาจ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 การยุบตัวเนื่องจากคุณสมบัติยืดหยุ่นของดิน (ELASTIC DEFORMATION) ซึ่งจะเกิดจากความสามารถยืดหยุ่นของดิน ปกติมักเกิดทันทีที่มีน้ำหนักกระทำโดยมีปริมาณไม่มากนัก

1.2 การยุบอัดตัวเนื่องจากอัดตัวคายน้ำ (PRIMARY CONSOLIDATION) ซึ่งจะเกิดจากการอัดตัวคายน้ำของมวลดินเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำ

1.3 การยุบอัดตัวเนื่องจากคุณสมบัติพลาสติกของดิน (SECONDARY CONSOLLDATION) ซึ่งจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน ภายหลังการเกิดการยุบอัดตัวของดินแล้วในการทดสอบนี้จะมุ่งที่จะหาคุณสมบัติการยุบอัดตัวของดินช่วงการยุบอัดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำเป็นส่วนใหญ่และเป็นการยุบตัวแบบ 1 มิติ (ONE DIMENSION)

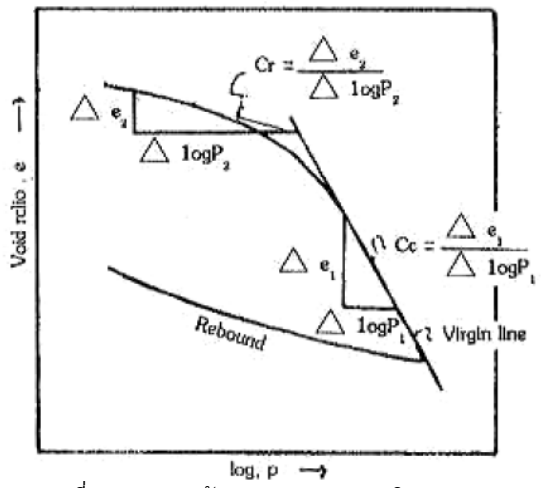
2. นิยาม

คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ โดยทั่วไปที่นิยมใช้มักแสดงในรูปของ

2.1 ดัชนีการยุบอัดตัว (COMPRESSION INDEX, Cc) และดัชนีการคืนตัว (RECOMPRESSION INDEX, Cr) โดย

Cc คือค่าความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างของดิน (VOID RATIO, e) ต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในแนวดิ่งในเส้นตรง (VIRGIN LINE) ในกราฟลอการิทึม

Cr คือค่าความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างของดินต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงทางดิ่งในช่วงก่อนถึงเส้นตรง (VIRGIN LINE) หรือช่วงลดน้ำหนักบรรทุก (REBOUND) ในกราฟลอการิทึม ค่า Cc และ Cr ได้จากผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ ดังรูปที่ 2.1



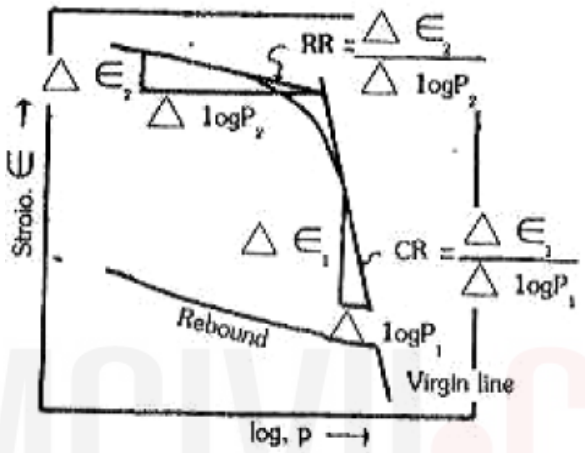
รูปที่ 2.1 ค่าความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างของดินต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงทางดิ่ง

2.2 อัตราส่วนการยุบอัดตัว (COMPRESSION RATIO, CR) และอัตราส่วนการคืนตัว (RECOMPRESSION RATIO, RR)

CR คือค่าความเปลี่ยนแปลงของความเครียด (STRAIN, □) ต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงทางดิ่งในดิน ในเส้นตรง (VIRGIN LINE) ในกราฟลอการิทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $Cr / (1+e_o)$

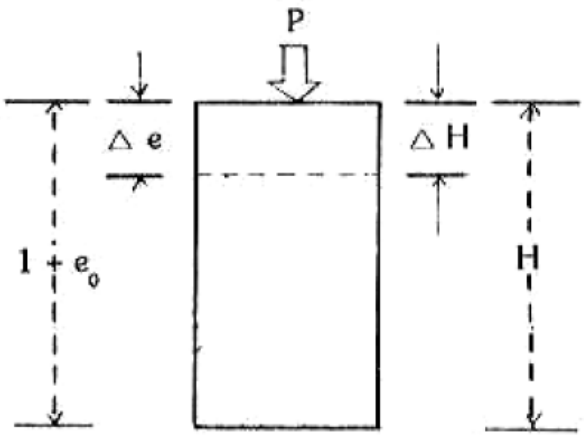
RR คือค่าความเปลี่ยนแปลงของความเครียดต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงทางดิ่งในดิน ในช่วงก่อนถึงเส้นตรง (VIRGIN LINE) ในกราฟลอการิทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $Cr / (1+e_o)$

ค่า CR และ RR ได้จากผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แสดงดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเครียด ต่อค่าความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงทางดิ่งในดิน

2.3 การทรุดตัว (SETTLEMENT) ในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำนี้เป็นลักษณะการทรุดตัวชนิด 1 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้สมมติฐานการทรุดตัวชนิด 1 มิติ

จากรูปจะได้ว่า

$$\Delta H/H = \Delta e/(1+e_0)$$

แต่ $\Delta H/H$ = ความเครียดตามแนวแกน = $\in$ ..... สมการที่ 1

การทรุดตัวของดินทำได้โดยใช้สมการ

$$\int = \in .H$$ ..... สมการที่ 2

เมื่อ $\in$ = ความเครียดตามแนวแกน

H = ความสูงของชั้นดินที่ยุบตัว

$\int$ = ระยะการทรุดตัว

จากสมการที่ 1 และ 2 จะได้ $\int = [\Delta e/(1-e_0)] * H$ ..... สมการที่ 3

จากรูปที่ 1 จะได้ $Cc = \Delta e/(\Delta \log P)$

แทนในสมการที่ 3 จะได้ $\int = Cc/(1+e_0)(\Delta \log P) * H$

$$= CR(\Delta \log P) * H$$

จะเห็นได้ว่าการแสดงคุณสมบัติในการยุบตัวของชั้นดินในรูปของ CR และ RR จะสะดวกกว่าใน รูปของ Cr และ Cc เพราะไม่จำเป็นต้องทราบค่า e_o ของดิน

3 วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

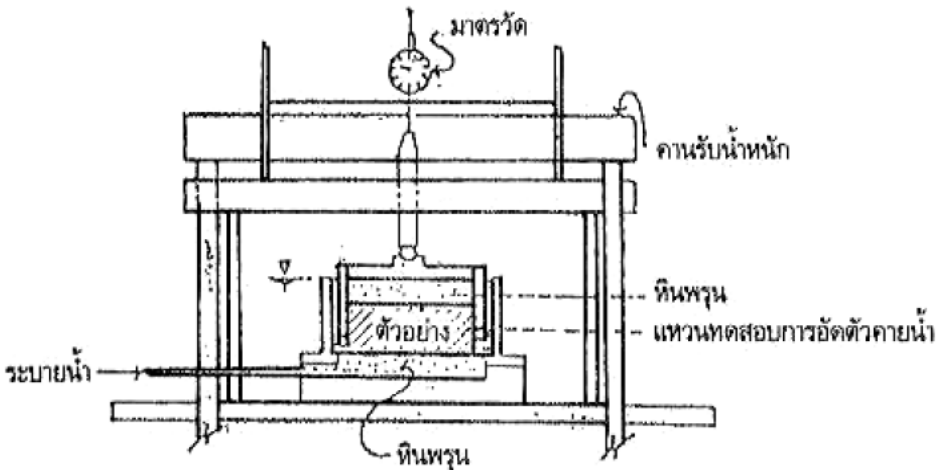
3.1.1 เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (CONSOLIDOMETER) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 มาตรวัด (DIAL GAUGE) สามารถใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว

3.1.3 แหวนตัดตัวอย่างดิน (TRIMMER) เป็นเครื่องมือในการตัดแต่งอย่างดิน เพื่อเตรียมตัวอย่างไปประกอบกับวงแหวนทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (CONSOLIDATION RING) มีลักษณะเป็นวงแหวนสูงประมาณ 1 นิ้ว มีขอบบางด้านหนึ่งจะคมสำหรับกดบนตัวอย่างดิน

3.1.4 นาฬิกาจับเวลา สามารถจับเวลาได้เป็นวินาที

3.1.5 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด กระป๋องใส่ตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้น, เครื่องมือตกแต่งตัวอย่างดิน, เครื่องมือดันตัวอย่างดินจากกระบอกบาง



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

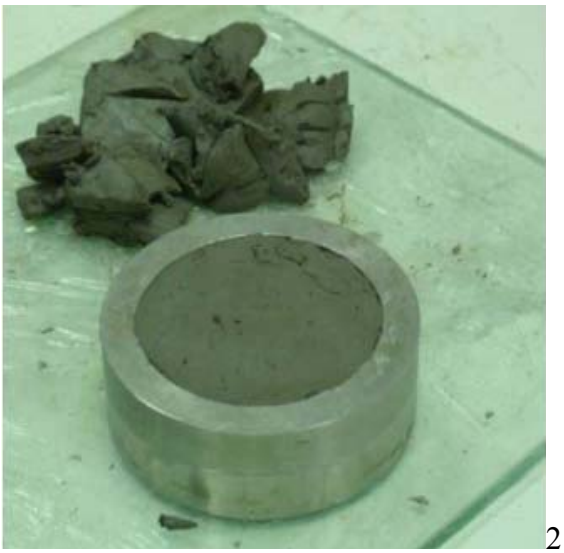
จะต้องเตรียมตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง เป็นอย่างน้อย ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบการอัดตัวคายน้ำนี้เป็นตัวอย่างคงสภาพ (UNDISTURBED) ที่ได้มาจากการเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกบาง (THINWALL TUBE) นำมาดันตัวอย่างดินออก โดยใช้เครื่องมือดัน โดยใช้มอเตอร์, น้ำมัน

นำแหวนตัดตัวอย่างดิน (SPECIMEN TRIMMER) ที่ได้วัดสัดส่วนและน้ำหนักเรียบร้อยแล้วนำมากดบนตัวอย่างดิน โดยใช้แรงกดสม่ำเสมอ ทำการตัดและตกแต่งให้ผิวเรียบทั้ง 2 ด้าน นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น

จากนั้นนำแหวนตัดตัวอย่างดิน ไปประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ ใส่ในวงแหวนทดสอบการอัดตัวคายน้ำ ซึ่งมีหินพรุน (POROUS STONE) ประกอบทั้งข้างบนและล่าง ส่วนดินที่เหลือจากการตัดแต่งให้นำไปหาปริมาณความชื้น ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นก่อนการทดสอบ

จัดคานรับน้ำหนัก (LOADING BAR) ให้พร้อมที่จะใส่น้ำหนัก จัดมาตรวัดสำหรับวัดการทรุดตัวในแนวดิ่งในตำแหน่งศูนย์ เติมน้ำหล่อในเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับดินตัวอย่างตลอดเวลา

1


2

3

4

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.3 แบบฟอร์ม

ให้บันทึกผลการทดสอบในแบบฟอร์มที่กำหนด

3.4 การทดสอบ

ทำการประมาณค่าแรงดันของดิน ซึ่งเกิดจากดินที่อยู่เหนือจุดที่ต้องการพิจารณา (OVERBURDEN PRESSURE) โดยสามารถหาได้จากข้อมูลของชั้นดิน และน้ำ ประมาณช่วงหน่วยแรงที่จะใช้ เช่น ค่าแรงดันของดิน 1.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ช่วงหน่วยแรงในการทดสอบ 0.25 ถึง 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยจะเริ่มใส่หน่วยแรง

ที่ต่ำกว่าค่าแรงดันของดิน เมื่อเริ่มใส่น้ำหนักครั้งแรก, พร้อมทั้งจับเวลา โดยทำการบันทึกผล การทรุดตัวจากมาตรวัด ที่ 0.25, 1, 2, 4, 8, 15, 30 นาที และ 1, 2, 4, 24 ชั่วโมง นับจากเริ่มต้น เมื่อทำการบันทึก
ถึง 24 ชั่วโมงแล้ว จึงทำการเพิ่มน้ำหนักเพื่อให้หน่วยแรงเพิ่มขึ้นโดยค่าหน่วยแรงใหม่เป็นหนึ่งเท่าของหน่วยแรงเดิม เช่นเพิ่มหน่วยแรงจาก 0.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็น 0.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นต้น ทำเช่นนี้จนครบช่วงน้ำหนักที่ต้องการ แต่ละครั้งที่ขึ้นน้ำหนักใหม่ก็เริ่มจับเวลาใหม่จนครบ 24 ชั่วโมง

เมื่อครบช่วงน้ำหนักที่ต้องการแล้ว เพื่อต้องการหาค่า Cr หรือ RR จากการลดน้ำหนักบรรทุก (REBOUND LOAD) โดยการบันทึกค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดครั้งสุดท้ายเอาไว้ นำน้ำหนักออกบางส่วน แล้วจึงทิ้งแช่ไว้ 24 ชั่วโมง จึงบันทึกค่าการคืนตัวจากมาตรวัดระยะในแนวดิ่ง
นำตัวอย่างหรือส่วนของตัวอย่างที่ทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักหาปริมาณความชื้นสุดท้าย

4 การคำนวณ

4.1 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง (VOID RATIO)

4.1.1 อัตราส่วนช่องว่างเดิม (INITIAL VOID RATIO, e_0) เมื่อเริ่มทำการทดสอบหาได้จาก

$$e_0 = (HT - HS)/HS$$

เมื่อ HT = ความสูงของตัวอย่างดิน

HS = ความสูงของเนื้อดินจริง

= $Wi/[(1+wi).G.\gamma_w.A]$

Wi = น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อตอนเริ่มต้น

wi = ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเริ่มแรก

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

4.1.2 อัตราส่วนช่องว่าง (VOID RATIO, e) ภายหลังจากเพิ่มน้ำหนักใด ๆ

$$e_1 = e_0 - [\Sigma(\Delta V)/HS]$$

เมื่อ $\Sigma(\Delta V)$ = ผลรวมของการทรุดตัวจากเริ่มต้นการทดสอบ

4.2 การคำนวณ Cc, Cr, CR และ RR

4.2.1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_1 และ P ลงบนกราฟลอการิทึม

Cc = ความเอียงลาด ในช่วงเส้นตรง

จากรูปที่ 1 $Cc = \Delta e_1 / \Delta \log P_1$

Cr = ความเอียงลาด ในช่วงก่อนถึงเส้นตรง หรือความเอียงลาดในช่วงการลดน้ำหนักกระทำ (REBOUND LOAD)

จากรูปที่ 1 $Cr = \Delta e_2 / \Delta \log P_2$

4.2.2 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (STRAIN) กับหน่วยแรง (STRESS) บนกราฟลอการิทึม

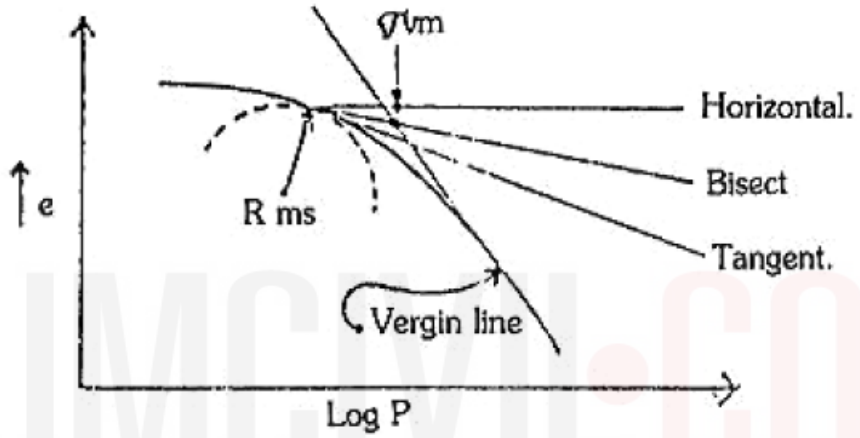
CR = ความเอียงลาด ในช่วงเส้นตรง

จากรูปที่ 2 CR = Δ□1 / ΔlogP1

RR = ความเอียงลาด ในช่วงก่อนถึงเส้นตรง หรือความเอียงลาดใน
ช่วงการลดน้ำหนักกระทำ (REBOUND LOAD)

จากรูปที่ 2 RR = Δ□$_2$ / ΔlogP_2

4.3 การคำนวณแรงดันสูงสุดที่ตัวอย่างดินเคยได้รับมาในอดีต (MAXIMUM PAST PRESSURE, σvm) ซึ่งจะหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างและน้ำหนักกระทำจากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แรงดันสูงสุดที่ตัวอย่างดินเคยได้รับมาในอดีตคำนวณจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างและน้ำหนักกระทำ

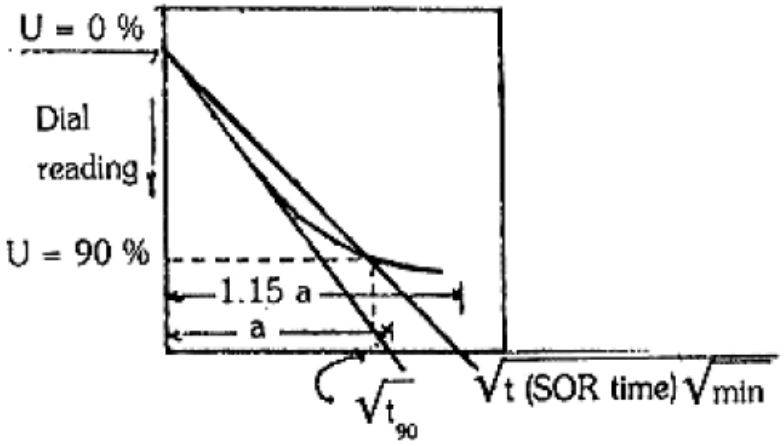
4.3.1 หาจุดเปลี่ยนโค้งที่มีรัศมีน้อยที่สุดลากเส้นสัมผัส (TANGENT) กับจุดรัศมีน้อยที่สุดลากเส้นแนวราบจากจุดรัศมีน้อยที่สุด

4.3.2 แบ่งครึ่งมุมที่เกิดจากเส้นแนวราบและเส้นสัมผัส

4.3.3 ลากเส้นตรง (VIRGIN LINE) ตัดกับเส้นแบ่งครึ่งมุม

4.3.4 จุดตัดนั้นจะเป็นความดันสูงสุดที่ตัวอย่างดินเคยได้รับมาในอดีต (MAXIMUM PAST PRESSURE)

4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคายน้ำ (COEFFICIENT OF CONSOLIDATION, Cv) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากมาตรวัด (DIAL READING) และ $\sqrt{t}$ ช่วงแรกของการทรุดตัวจะเป็นเส้นตรง แล้วค่อยเอียงลาดลง ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคายน้ำประมาณจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดและ $\sqrt{t}$

4.4.1 ลากเส้นตรงตัดกับแกน $\sqrt{t}$ อ่านค่าได้ a และตัดแกนของค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดเป็นจุดที่ร้อยละ O ของการอัดตัวคายน้ำ

4.4.2 จากจุดตัดบนแกน $\sqrt{t}$ ค่า a ให้ขยายออกอีก 1.15 a ลากเส้นเชื่อมกับจุดร้อยละ O ของการอัดตัวคายน้ำ

4.4.3 ตัดเส้นของการทดสอบที่โค้งเข้ามาจุดตัดคือจุดที่ร้อยละ 90 ของการอัดตัวคายน้ำ

4.4.4 สามารถหาค่า $\sqrt{t_{90}}$ ได้

จากทฤษฎีของเทอร์ซากิ $Cv = T_{90} – H2 / t\ 90$

เมื่อ T = ค่าแฟคเตอร์ในการปรับแก้เวลา (TIME FACTOR) ซึ่งขึ้นอยู่กับร้อยละของการเกิดการอัดตัวคายน้ำ และลักษณะของแรงดันน้ำที่มีอยู่เดิม (INITIAL EXCESS PORE PRESSURE)

T_{90} % = 0.848

t = เวลาในการเกิดร้อยละของการอัดตัวคายน้ำในช่วงต่าง ๆ หามาจากวิธีของเทย์เลอร์ (TAYLOR)

H = ระยะการไหลของน้ำในตัวอย่างดิน

+ในกรณีระบายน้ำด้านเดียว (ONE DRAINAGE PATH).

H = ความสูงของตัวอย่าง

++ ในกรณีระบายน้ำ 2 ด้าน (TWO DRAINAGE PATH).

H = ความสูงของตัวอย่าง / 2

5 รายงานผลการทดสอบ

5.1 ปริมาณความชื้นก่อนและหลังการทดสอบ, ความหนาแน่นของตัวอย่างดิน

5.2 กราฟสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของว่าง (VOID RATIO) กับหน่วยแรง P ในกราฟลอการิทึม หรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับหน่วยแรง P ในกราฟลอการิทึมค่าดัชนีการยุบอัดตัว (COMPRESSION INDEX, Cc) และดัชนีการคืนตัว (RECOMPRESSION INDEX, Cr) หรือค่าอัตราส่วนการยุบอัดตัว (COMPRESSION RATIO, CR) และอัตราส่วนการคืนตัว (RECOMPRESSION RATIO, RR)

5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคายน้ำ (COEFFICIENT OF CONSOLIDATION, Cv) กับหน่วยแรง P ในกราฟลอการิทึม

5.4 ให้หมายเหตุในกรณีที่การทดสอบมีลักษณะผิดปกติ หรือแนบรายละเอียดอื่น ๆ ที่คิดว่ามีความจำเป็นต้องใช้ในการอธิบายผลการทดสอบ

6 ข้อควรระวัง

6.1 การเตรียมตัวอย่างดินโดยใช้วงแหวนตัดตัวอย่างดิน (TRIMMER) กดต้องระมัดระวังให้เกิดการรบกวนน้อยที่สุดและต้องไม่มีช่องว่างระหว่างตัวอย่างดินและวงแหวนตัดตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินที่เตรียมเสร็จแล้ว ต้องปาดหน้าให้เรียบ ทั้ง 2 ด้าน

6.2 ก่อนวางตัวอย่างดินบนหินพรุน (POROUS STONE) ต้องมีกระดาษกรองปิดก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินอุดรูของหินพรุน

6.3 ต้องระวังมิให้น้ำในเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แห้งโดยคอยดูและเติมให้ท่วมตัวอย่างดินอยู่ตลอดเวลา

7 หนังสืออ้างอิง

7.1 THE AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS: ASTM D 2435-90

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CONSOLIDATION TEST

Project: _____ Test No. _____
Location: _____ Boring No. _____
Tested by: _____ Date _____ Depth: _____

Load				kg	Load				kg
Pressure				kg/cm2	Pressure				kg/cm2
Date	Time	Elapsed Time, t min	$\sqrt{t}$ $\sqrt{\text{min}}$	Dial Reading	Date	Time	Elapsed Time, t min	$\sqrt{t}$ $\sqrt{\text{min}}$	Dial Reading
Total Settlement					Total Settlement				

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CONSOLIDATION TEST

Project: _____ Test No. _____
Location: _____ Boring No. _____
Tested by: _____ Date _____ Depth: _____

Water Content Determination	Initial	Final
Wet Soil + Container,g		
Dry Soil + Container,g		
Water		
Container		
Dry Soil, Ws		
Water Content		

Vertical Pressure	Total Settlement	Void Ratio	Coefficient of Volume	Compression Index	Compression Ratio	Coefficient of Consolidation				Sample Height, H		
						Cv 50%		Cv 90%				
ksc	mm	<e>	cm^2/kg	<Cc>	<r>	Time,t_{50} min	$C_v x10^{-4}$ cm^2/sec	Time,t_{90} min	$C_v x10^{-4}$ cm^2/sec	Sample Volume, V		
										Wet Unit Weight, γT		
										Dry Unit Weight, γd		
										Void Ratio, e		
										Degree of Saturation, S		
										Sample Diameter, D		
										Sample Area, A		
										Specific Gravity, G		
										Soil Height, Hs = Ws/(GA γw)		
										Compression Index, Cc		
										Initial Void Ratio, e0		
										Void Ratio, e		
										Coefficient of Consolidation Cv 50%		
r =	for square root method				r =	for log method				Coefficient of Consolidation Cv 90%		

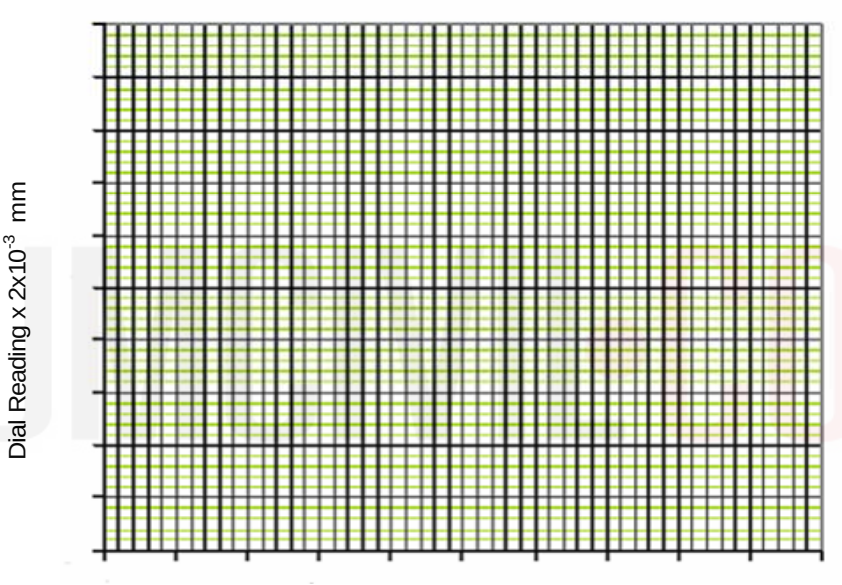
TUCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CONSOLIDATION TEST

Project: _____ Test No. _____
Location: _____ Boring No. _____
Tested by: _____ Date _____ Depth: _____

Square Root Time Consolidation Curve



Square Root Time, min

Cv =

D0-D90 =

D50 =

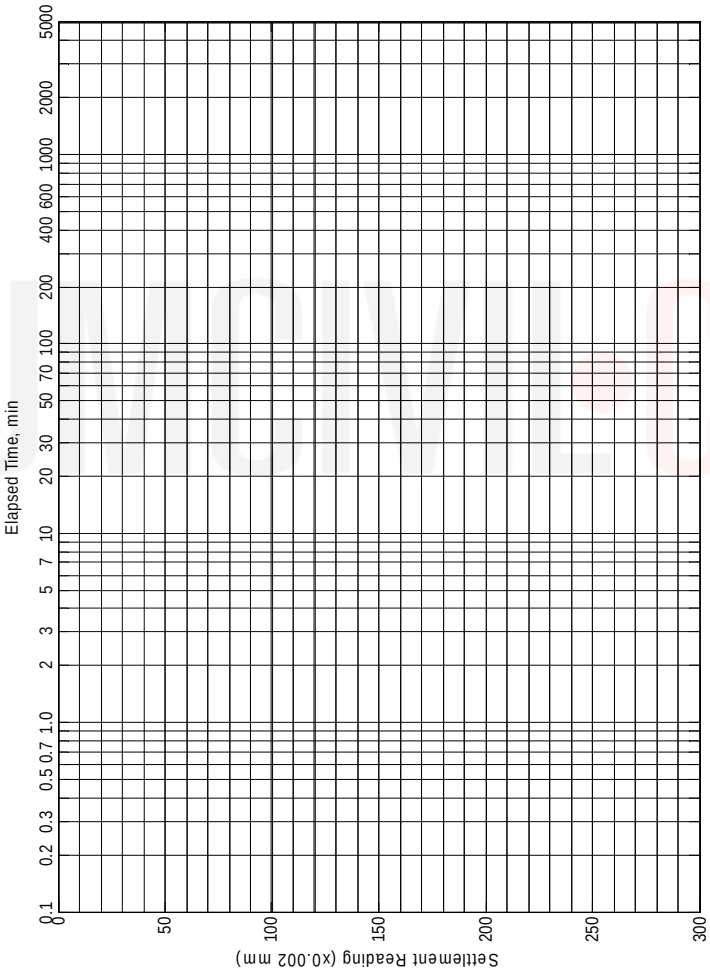
D100 =

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CONSOLIDATION TEST

Project: _____ Test No. _____
Location: _____ Boring No. _____
Tested by: _____ Date _____ Depth: _____

Axial Pressure: _____
Time at 50% of Consolidation _____



TUANCIVIL.COM

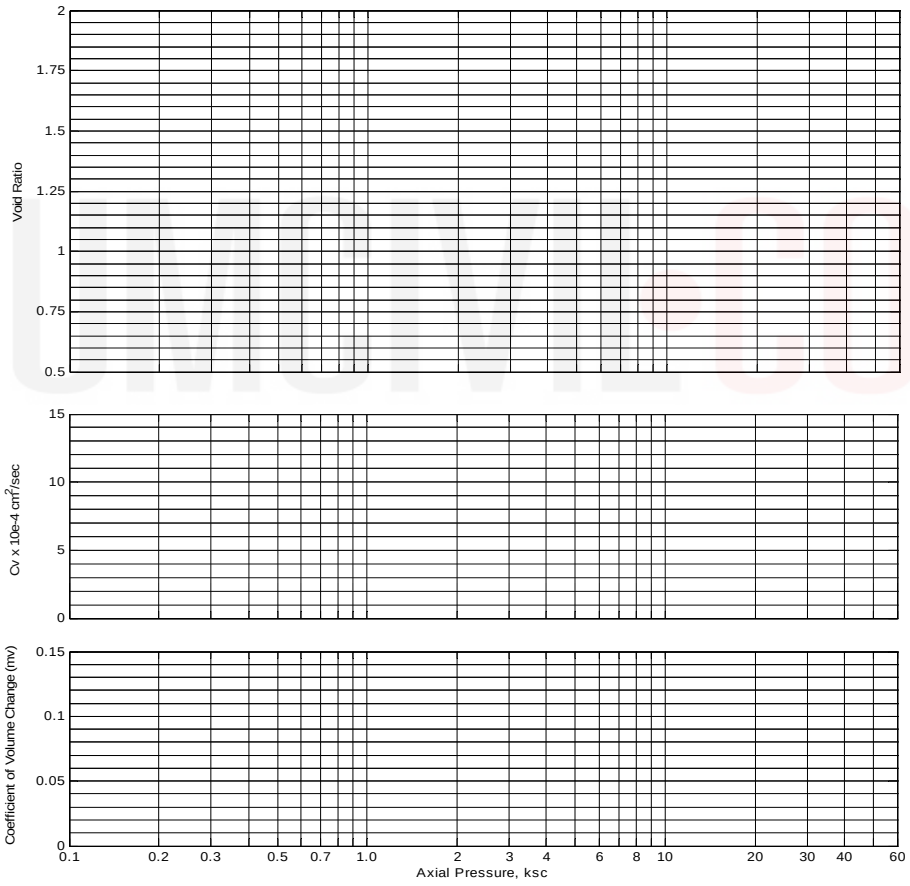
MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

CONSOLIDATION TEST

Project: _____ Test No. _____
Location: _____ Boring No. _____
Tested by: _____ Date _____ Depth: _____
Soil Type _____ Liquid Limit _____ %
Diameter _____ cm Plastic Index _____ %
Specific Gravity _____

	Initial	Final	
Sample Height			
Water Content			%
Dry Unit Weight			t/m^3
Void Ratio			%
Saturation			

Precons. Pressure _____ t/m^2
Effect Overb. Pressure _____ t/m^2



การทดลอง ที่ 12

การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางเคมีของดิน
SOIL CHEMICAL PROPERTIES

1. บทนำ

คุณสมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) เป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางด้านกลศาสตร์ของดินประเภทนั้น ๆ นอกจากนั้นค่า pH ของดินยังสามารถช่วยในการระบุวัสดุต้นกำเนิดของดินในเบื้องต้นได้อีกด้วย เนื่องจาก ค่า pH ในดินจะช่วยสะท้อนให้เห็นถึงแร่ธาตุ อายุของดิน หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในดิน

ในทางด้านวิศวกรรมโยธานั้นค่า pH ของดิน เป็นแฟคเตอร์หนึ่งที่จำเป็นจะต้องนำมาพิจารณา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำดินมาใช้ผสมเป็นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งถ้าไม่มีการตรวจสอบค่า pH และนำดินก่อนนำมาใช้งานก็อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ ยกตัวอย่างเช่น การนำดินที่มีค่าความเป็นกรด (pH ต่ำ) สูงเกินมาตรฐานมาใช้ผสมคอนกรีต อาจส่งผลให้คอนกรีตรับกำลังได้น้อยลงหรือเสียหายได้ ทั้งนี้เนื่องจาก โดย ปกติคอนกรีตจะมีสภาพเป็นด่าง หรือ ค่า pH ประมาณ 12.5 แต่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดหรือ pH ต่ำกว่า 6.5 คอนกรีตจะเริ่มเกิดความเสียหายขึ้น

โดยทั่วไปถ้าดินที่เหมาะสมและสามารถนำมาใช้งานได้ ควรมีค่า pH ที่เป็นกลาง หรืออย่างน้อยควรมีค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4.0-8.5 ซึ่งถ้าดินมีค่ามากกว่า 8.5 จะถือว่าดินมีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งโดยทั่วไปมักพบว่าดินประเภทนี้จะมีโซเดียมผสมอยู่ในปริมาณมาก ในทางกลับกัน ดินที่มีค่า pH น้อยกว่า 4.0 จะถือว่าดินมีค่าความเป็นกรดสูง และพบว่ามักดินประเภทนี้มักจะมีกำมะถันผสมอยู่ในปริมาณมากเช่นกัน

2. วัตถุประสงค์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน ในการนำมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมโยธา โดยมุ่งเน้นในการทดสอบค่า ความเป็นกรด-ด่าง ในดิน

3. ความความทางเคมีของค่าความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-เบสของดิน หมายถึง ปริมาณของไฮโดรเจนที่มีอยู่ในดิน ความเป็นกรด-เบส กำหนดค่าเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1-14

$$pH = -\log (H+)$$

สารละลายใดที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 สารละลายนั้นมีสมบัติเป็นกรด
สารละลายใดที่มีค่า pH มากกว่า 7 สารละลายนั้นมีสมบัติเป็นเบส
สารละลายใดที่มีค่า pH เท่ากับ 7 สารละลายนั้นมีสมบัติเป็นกลาง

4. อุปกรณ์การทดลอง

4.1 เครื่อง pH Meter

4.2 ตัวอย่างดิน

4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด อย่างน้อย 0.01 กรัม

4.4 แท่งคน

4.5 น้ำกลั่น

4.6 กระบอกตวง และ บีกเกอร์

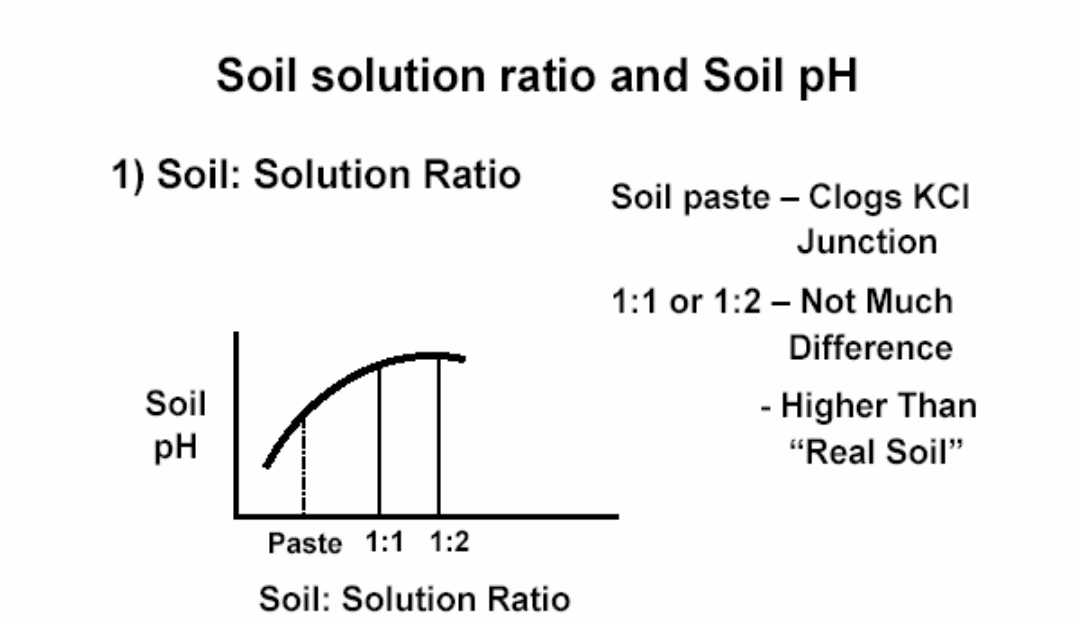
4.7 นาฬิกาจับเวลา

5. วิธีการทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างดินให้ได้น้ำหนัก 40 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
2) เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างดิน จากนั้นใช้แท่งแก้วคน ผสมน้ำกับดินให้อยู่ในรูปของสารละลาย (สัดส่วน 1:1)
3) จุ่ม probe ของ pH meter ลงไปในตั้วอย่างดิน รอจนกระทั่ง ตัวเลขในมิเตอร์คงที่ จากนั้นทำการจดบันทึกค่า pH ที่วัดได้
4) พักตัวอย่างไว้ 3 นาที จากนั้นทำการกวนผสมตัวอย่างสารละลายดินอีก 30 วินาที แล้วจึงอ่านค่า pH ที่ได้ และทำการจดบันทึกเช่นเดิม และดำเนินการเช่นนี้เป็นจำนวน 5 ครั้ง หรือใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 15 นาที
5) หลังจากเสร็จสิ้นการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 4 ให้ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นจะเกิดการแยกตัวระหว่างชั้นน้ำกับชั้นดิน
6) ใช้ pH meter วัดค่า ความเป็นกรดด่าง ของชั้นน้ำ หรือเรียกว่า supernatant โดยจะต้องระวังไม่ให้ดินที่ก้นภาชนะฟุ้งกระจายตัวขึ้นมาปะปน
7) ดำเนินการตั้งแต่ข้อ 1-6 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนสัดส่วนของสารละลาย เป็น ดิน 40 กรัม และ น้ำ 80 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:2)

.

6. การวิเคราะห์



7. Standard Reference

Web URL - http://Courses.nres.uiuc.edu/nres201/Labs/L...

UMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

SOIL CHEMICAL PROPERTIES

Table 1 Soil: Water = 1:1

Soil Sample	Soil Solution pH	Soil Solution Supernatant pH
A		
B		
C		
D		

Table 2 Soil: Water = 1:2

Soil Sample	Soil Solution pH	Soil Solution Supernatant pH
A		
B		
C		
D		

Table 3 Variation in pH of soil solution with mixing time

Soil/Ratio	Mix 30 sec	Wait 3 minutes	Mix 30 sec	Wait 3 minutes	Mix 30 sec	Wait 3 minutes	Mix 30 sec	Wait 3 minutes	Mix 30 sec	Wait 3 minutes	Mix 30 sec
Sample A/ 1:1											
Sample A / 1:2											

การทดลอง ที่ 13

การทดลองเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน
(TRIAXIAL TEST)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานนี้ ครอบคลุมถึง วิธีการหาค่าความแข็งแรง (STRENGTH PARAMETER) ของดิน โดยวิธีทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน

1.2 การทดสอบนี้สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1.2.1 การทดสอบแรงอัดสามแกน โดยมีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (CU-TEST) ซึ่งทำได้ทั้งแบบมีการวัดค่า และไม่มีการวัดค่าความดันน้ำ (PORE PRESSURE)

1.2.2 การทดสอบแรงอัดสามแกน โดยมีการอัดตัวและมีการระบายน้ำออก (CD-TEST)

1.2.3 การทดสอบแรงอัดสามแกน โดยไม่มีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (UU - TEST) ซึ่งทำได้ทั้งแบบมีการวัดค่าและไม่มีการวัดค่าความดันน้ำ

1.3 ค่าความแข็งแรง (STRENGTH PARAMETER) ของมวลดินที่สามารถหาได้จากการทดสอบ นี้คือ

1.3.1 ค่ามุมเสียดทานภายใน (ANGLE OF INTERNAL FRICTION,, ϕ) และค่าความเชื่อมแน่นของดิน (COHESION, c)

1.3.2 ในกรณีที่มีการวัดค่าความดันน้ำ (PORE PRESSURE) จะสามารถหาค่าประสิทธิผล (EFFECTIVE VALUE) คือ ϕ' และ c' ได้

1.4 ค่าความแข็งแรงที่หาได้จากการทดสอบนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินในกรณีต่าง ๆ ได้

1.5 ในการทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกนนี้ จะต้องทำการทดสอบตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง เป็นอย่างน้อย ไม่ว่า จะทำการทดสอบโดยวิธีใดก็ตาม

2. นิยาม

2.1 การทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน หมายถึง การทดสอบกดตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกที่บรรจุอยู่ ในห้องบรรจุตัวอย่าง (CHAMBER) ซึ่งบรรจุน้ำเต็ม ตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกได้รับแรงดันรอบทิศ จากน้ำ (ISOTROPIC PRESSURE) เรียกว่า “CHAMBER PRESSURE” หรือ “CONFINING PRESSURE” แรงกดตามแนวแกนที่กระทำต่อตัวอย่างดินในทิศทางแนวดิ่ง เรียกว่าแรงกระทำตามแนวแกน (AXIAL LOAD)

2.2 หน่วยแรงกระทำตามแนวแกน (UNIT AXIAL LOAD) หมายถึง ค่าผลต่างของแรงตามแนวแกนและแรงดันรอบทิศจากน้ำ

2.3 หน่วยแรงระนาบหลัก (MAJOR PRINCIPAL STRESS, $\sigma 1$) หมายถึง ค่าผลรวมของหน่วย แรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดันรอบทิศจากน้ำ

2.4 หน่วยแรงระนาบรอง (MINOR PRINCIAL STRESS, $\sigma 3$) หมายถึง หน่วยแรงดันรอบทิศจากน้ำ

2.5 หน่วยแรงตามแนวแกน (UNIT AXIAL LOAD) หมายถึง ค่าผลต่างของหน่วยแรงระนาบหลัก และหน่วยแรงระนาบรอง

2.6 การวิบัติ (FAILURE) ให้ถือว่าเกิดขึ้นเมื่อค่าความเครียดตามแนวแกน (AXIAL STRAIN) เท่ากับร้อยละ 20

2.7 หน่วยแรงวิบัติ (FAILURE STRESS) หมายถึง หน่วยแรงที่กระทำตามแนวแกนสูงสุดที่ร้อยละ 20 ของความเครียดตามแนวแกน

2.8 “CU-TEST” หมายถึง การทดสอบที่มีขั้นตอนการอัดตัวของตัวอย่าง (CONSOLIDATION) ก่อนแล้วจึงเพิ่มน้ำหนักกระทำตามแนวแกน โดยไม่ยอมให้การระบายน้ำ (DRAIN) ออกจากตัวอย่างดิน ในระหว่างขั้นตอนกดตามแนวแกน

2.9 “CD – TEST” หมายถึง การทดสอบที่มีขั้นตอนการอัดตัวของตัวอย่างดิน(CONSOLIDATION) ก่อนแล้วจึงเพิ่มน้ำหนักกระทำตามแนวแกน โดยยอมให้มีการระบายน้ำ(DRAIN) ออกจากตัวอย่างดินในระหว่างขั้นตอนกดตามแนวแกน

2.10 “UU – TEST” หมายถึง การทดสอบที่ไม่มีขั้นตอนการอัดตัวของตัวอย่างดิน (CONSOLIDATION) และไม่ยอมให้มีการระบายน้ำ (DRAIN) ออกจากตัวอย่างดินในระหว่างขั้นตอนการกดตามแนวแกน

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ให้แรงกดตามแนวแกน (AXIAL LOADING DEVICE) มีดังนี้ คือ

3.1.1.1 ชุดเพิ่มน้ำหนัก (SCREW JACK) ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ หรือเฟือง ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วในการกดได้

3.1.1.2 อุปกรณ์ให้น้ำหนัก (PLATFORM WEIGHING SCALE)

3.1.1.3 อุปกรณ์ให้น้ำหนัก คงที่ (DEAD WEIGHT LOAD APPARATUS)

3.1.1.4 อุปกรณ์ให้น้ำหนักระบบน้ำมัน (HYDRAULICS LOADING DEVICE)

3.1.1.5 อุปกรณ์ระบบอื่น ที่สามารถควบคุมได้ทั้งแบบควบคุมหน่วยแรง (STRESS - CONTROL) และควบคุมความเครียด (STRAIN – CONTROL) โดยมีประสิทธิภาพ และความเที่ยงตรงในการทำงานตามที่ต้องการ (ได้อัตราการให้น้ำหนัก ตามที่ต้องการ)

3.1.2 อุปกรณ์อัดแรงกดตามแนวแกน (AXIAL LOAD MEASURING DEVICE) มีดังนี้ คือ

3.1.2.1 วงแหวนวัดแรง (PROVING RING) ซึ่งสามารถวัดค่าได้ละเอียดถึงร้อยละ 1 ของแรงกดวิบัติ (LOAD OF FAILURE) หรือประมาณ 1.1 นิวตัน (0.25 ปอนด์)

3.1.2.2 อุปกรณ์ให้น้ำหนักระบบไฟฟ้า (ELECTRONIC LOAD CELL)

3.1.2.3 อุปกรณ์การให้น้ำหนักระบบน้ำมัน (HYDRAULIC LOAD CELL)

3.1.2.4 อุปกรณ์การให้น้ำหนักระบบมาตรวัด (STRAIN GAUGE LOAD CELL)

3.1.3 มาตรวัดการเปลี่ยนรูป (DEFORMATION INDICATOR) ซึ่งสามารถวัดได้ถึงร้อยละ 20 ของความสูงของตัวอย่างดิน

3.1.4 ความดันห้องบรรจุตัวอย่าง (CHAMBER PRESSURE) จะเป็น

3.1.4.1 รีเซิร์ฟเวอร์ (RESERVOIR) ต่อเข้ากับห้องบรรจุตัวอย่าง ส่วนบนของรีเซิร์ฟเวอร์ ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายความดันอากาศ (COMPRESS GAS SUPPLY) โดยแรงดันอากาศจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน ซึ่งมีมาตรวัดแรงดันติดอยู่

3.1.4.2 ระบบน้ำมัน (HYDRAULIC SYSTEM) หรือระบบอื่น ๆ ทั้งนี้ต้องสามารถควบคุมแรงดันได้ โดยผิดพลาดไม่เกินร้อยละ ± 1

3.1.5 ห้องแรงดันบรรจุตัวอย่าง (PRESSURE CHAMBER) ดูรายละเอียดในรูปที่ 3.1

3.1.6 อุปกรณ์ปัดด้านบนและด้านล่างของตัวอย่าง (SPECIMEN CAP & BASE) เป็นวัสดุที่คงทน การกัดกร่อนโดยมีหน้าตัดรูปกลม ผิวเรียบ เพื่อลดแรงเสียดทานที่ปลายตัวอย่างดิน

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก (WEIGHING DEVICE)

กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักไม่เกิน 100 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักไม่เกิน 1,000 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 0.10 กรัม
กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักไม่เกิน 5,000 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 1.00 กรัม
กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักไม่เกิน 10,000 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 5.00 กรัม
กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักไม่เกิน 50,000 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 50.00 กรัม
กรณีที่ตัวอย่างดิน หนักกว่า 50,000 กรัม ต้องชั่งได้ละเอียดถึง 100.00 กรัม

3.1.8 เครื่องมือดันตัวอย่างดิน (SAMPLE EJECTOR)

3.1.9 อุปกรณ์ตกแต่งตัวอย่างดิน (SPECIMEN TRIMMING EQUIPMENT)

3.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ

3.2.1 หินพรุน (POROUS STONE)

3.2.2 วงแหวนยาง (O – RING)

3.2.3 ปลอกยาง (RUBBER MEMBRANE)

3.2.4 กระดาษกรอง (FILTER PAPER)

3.3 การเตรียมตัวอย่างดินรูปทรงกระบอก

3.3.1 ขนาดตัวอย่างดินรูปทรงกระบอก

3.3.1.1 ตัวอย่างดินควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) และกรณีนี้ขนาดของมวลที่ใหญ่ที่สุดในตัวอย่างดินต้องไม่เกิน 1/10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางรูปทรงกระบอก

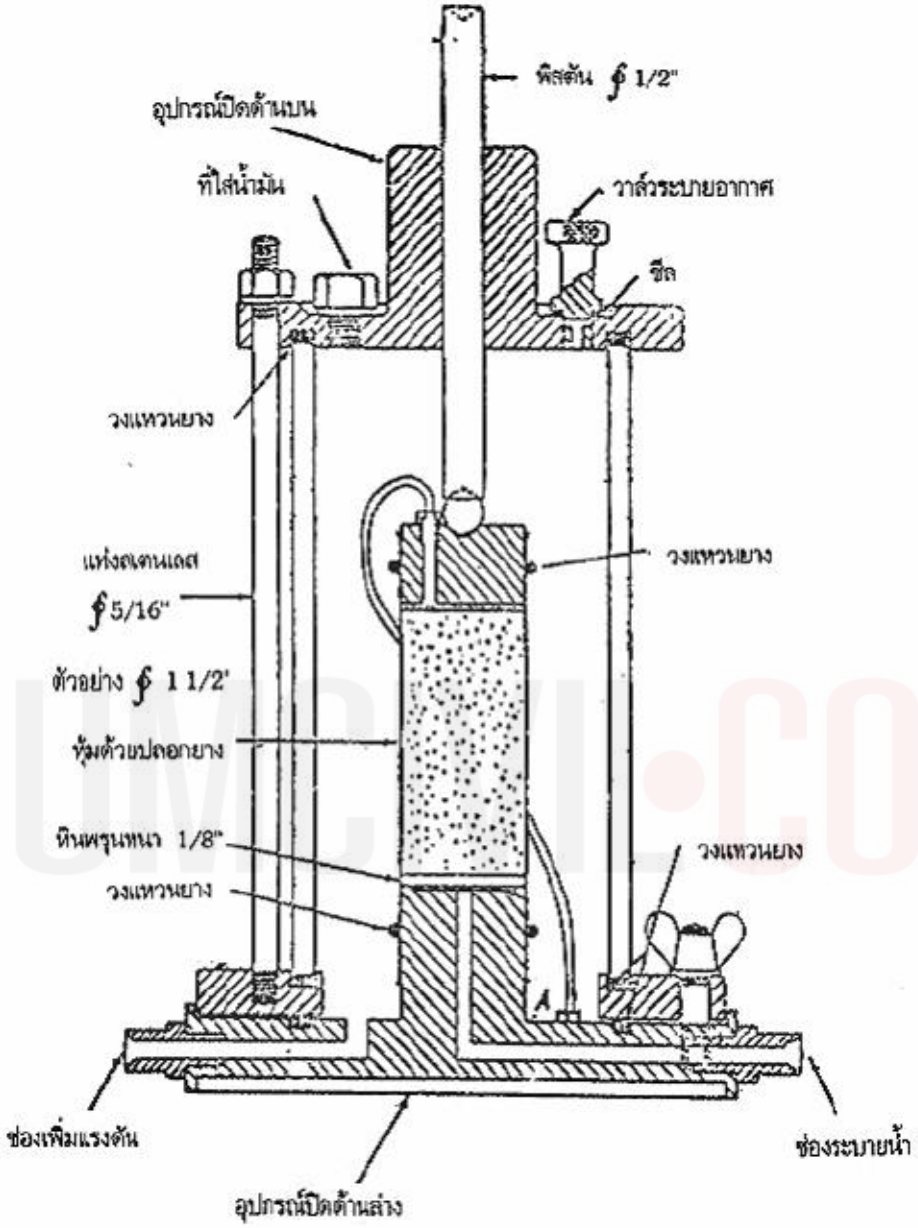
3.3.1.2 กรณีที่ตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) หรือใหญ่กว่ามวลที่ใหญ่ที่สุดในตัวอย่างดินต้องมีขนาดไม่เกิน 1/6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางรูปทรงกระบอก

3.3.1.3 ถ้าหากพบว่า มวลที่ใหญ่ที่สุดในตัวอย่างดินมีขนาดเกินกว่าที่กำหนดไว้ภายหลังจากทำการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ให้เขียนหมายเหตุไว้ในรายงานผลการทดสอบ

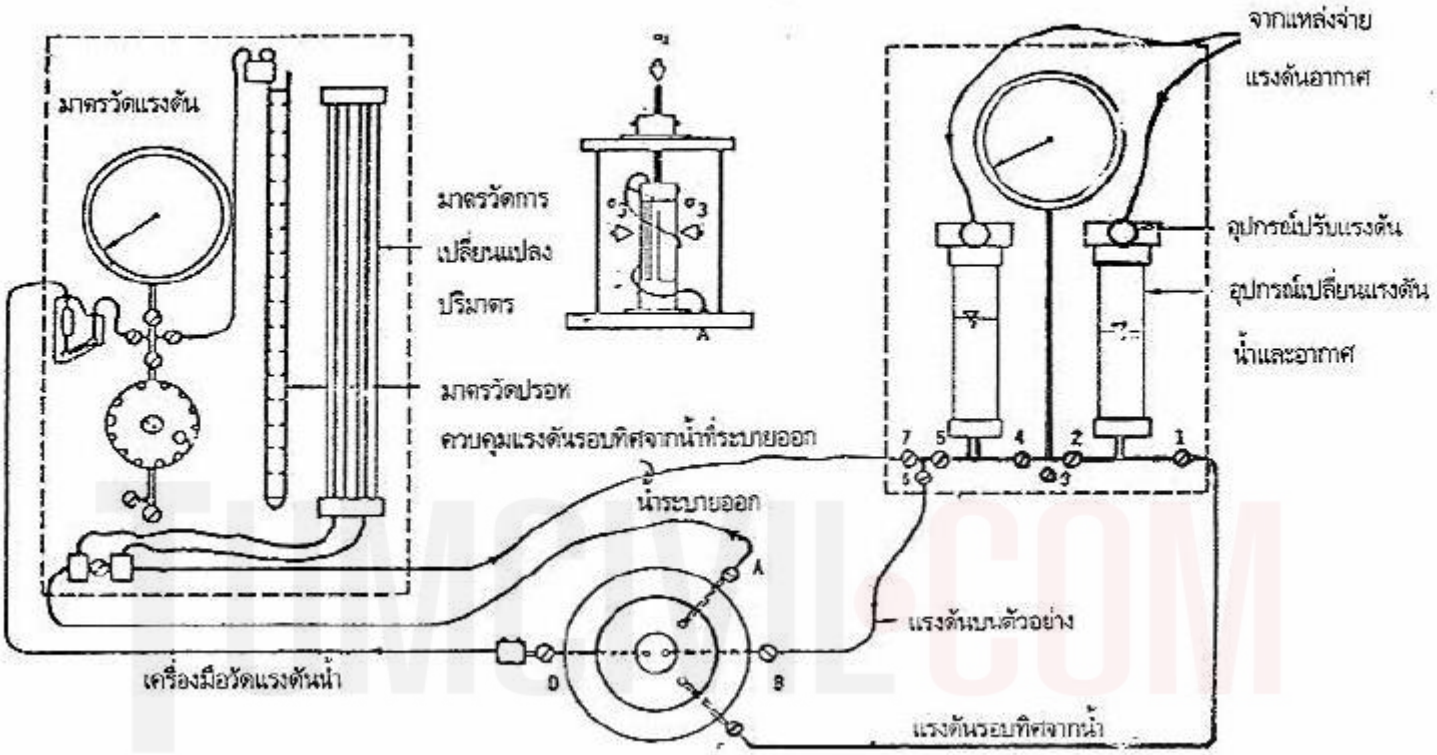
3.3.1.4 อัตราส่วน ความสูงของรูปทรงกระบอกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางรูปทรงกระบอก (H/D) ควรอยู่ระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 (ค่าที่แนะนำให้ใช้ คือ 2.0) ยกเว้นกรณีที่มีการลดแรงเสียดทาน ที่ปลายตัวอย่างดิน (RESTRAINT OF LATERAL EXPANSION)สามารถลดอัตราส่วนดังกล่าวนี้ คงเหลือ 1.2 ถึง 2.0 ได้ (ค่าที่แนะนำให้ใช้ คือ 1.25)

3.3.1.5 การวัดความสูงต้องทำด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (VERNIER CALIPER)

UMCIVIL.COM



รูปที่ 3.1 ห้องแรงดันบรรจุตัวอย่าง (PRESSURE CHAMBER)



รูปที่ 3.2 เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าแรงอัดสามแกน

3.3.2 ตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (UNDISTURBED SPECIMEN) ตัวอย่างดินแบบคงสภาพต้อง เตรียมจากตัวอย่างดินที่เก็บมาตามกรรมวิธีการเก็บตัวอย่างดิน

3.3.2.1 ตัวอย่างดินแบบคงสภาพ ต้องเตรียมจากตัวอย่างดินที่เก็บมาตามกรรมวิธีการเก็บตัวอย่างดิน ASTM METHOD D1578, AASSHTO T207

3.3.2.2 ตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกบาง ถ้ามีขนาดตามต้องการแล้วไม่จำเป็นต้องทำการตกแต่ง (TRIMMING) เว้นแต่การแต่งปลายให้เรียบ (SQUARING OF END)

3.3.2.3 ในกรณีที่จำเป็นต้องทำการตกแต่ง ต้องระมัดระวังไม่ให้ตัวอย่างดินถูกกระทบกระเทือน เช่น การปลี่ยนแปลงของหน้าตัด หรือคามชื้น

3.3.2.4 การตกแต่ง ถ้าเป็นไปได้ควรทำในห้องที่มีการควบคุมความชื้น ถ้าไม่ได้ทำในห้องที่ควบคุมความชื้น ต้องเขียนหมายเหตุไว้ในรายงานการทดสอบ

3.3.2.5 เพื่อทำการตกแต่ง ต้องตกแต่งให้ตัวอย่างดินมีขนาดหน้าตัดเท่ากันตลอดความสูงอย่างสม่ำเสมอ และปลายทั้งสองของตัวอย่างดินต้องเป็นหน้าเรียบ ซึ่งตั้งฉากกับแนวดิ่งของรูปทรงกระบอก

3.3.2.6 ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรูปทรงกระบอกไม่น้อยกว่า 3 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ยวัดความสูงและทำการชั่งน้ำหนัก

3.3.2.7 เมื่อตกแต่งเสร็จแล้วควรรีบหุ้มตัวอย่างดินด้วยปลอกยาง (RUBBER MEMRANE) และครอบหัวท้ายของตัวอย่างดินด้วยอุปกรณ์เปิดด้านบน (SPECIMEN CAP) และอุปกรณ์ปิดด้านล่าง (SPECIMEN BASE) ทันที และนำไปเก็บในกล่องที่สามารถควบคุมความชื้นได้

3.3.3 ตัวอย่างดิน และเปลี่ยนสภาพ (REMOLDED SPECIMEN)

3.3.3.1 ตัวอย่างดินแบบเปลี่ยนสภาพ อาจเตรียมได้ทั้งจากตัวอย่างแบบคงสภาพ ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วนำมาเปลี่ยนสภาพ หรือจากตัวอย่างเปลี่ยนสภาพที่ได้จากกระบอกยางก็ได้

3.3.3.2 ตัวอย่างดินแบบนี้สามารถใช้แบบ (MOLD) ทุกขนาดที่ต้องการได้

3.3.3.3 วิธีการขึ้นรูป (MOLDING) และการบดอัดนั้น แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (DENSITY) และปริมาณความชื้น (MOISTURE CONTENT)

3.3.3.4 ถ้าตัวอย่างดินที่ทำการเปลี่ยนสภาพและนำออกจากแบบ แล้วยังไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ ก็สามารถทำการตกแต่ง ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการได้เช่นเดียวกับตัวอย่างดินคงสภาพ

3.3.4 การลดแรงเสียดทานที่ปลายตัวอย่างดิน (END RESTRAINT) การลดแรงที่เกิดจากแรงเสียด ทาน (FRICTION) และแรงยึดเกาะ (ADHESION) ระหว่างปลายของตัวอย่างดินกับอุปกรณ์เปิดด้านบนหรือด้านล่าง ทำได้โดยการใช้แผ่นยางรอง (RUBBER MEMBRANE DISK) 2 แผ่น ทา น้ำมันซิลิโคน สอดไว้ระหว่างหน้าสัมผัสของตัวอย่างดินกับอุปกรณ์ปิดด้านบนหรือด้านล่าง ขนาดของแผ่นยางรองนี้ เส้นผ่านศูนย์กลาง ต้องเท่ากับอุปกรณ์ปิดด้านบนหรือด้านล่าง ส่วนความหนาต้องไม่น้อยกว่า 0.13 มิลลิเมตร (0.005 นิ้ว) และ ไม่มากกว่า 0.8 มิลลิเมตร (0.03 นิ้ว)

3.4 แบบฟอร์ม

ให้บันทึกผลการทดสอบในแบบฟอร์มที่กำหนด

3.5 การทดสอบ

3.5.1 การทดสอบแบบมีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (CONSOLIDATED- UNDRAINED TEST, CUTEST)

3.5.1.1 เตรียมแท่นวางตัวอย่างดิน (PEDESTAL)

3.5.1.1.1 วางหินพรุน (POROUS STONE) บนแท่น

3.5.1.1.2 วางแผ่นกรอง ที่ชุ่มน้ำบนหินพรุน (แผ่นกรองตัดเป็นแถบยาว)

3.5.1.1.3 วางแผ่นยางรอง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างดินเล็กน้อยบนหินพรุนเคลือบแผ่นยางนี้ด้วยน้ำมันซิลิโคน เพื่อลดแรงเสียดทานที่ปลายตัวอย่างดิน เสร็จแล้ว วางตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกแผ่นยางและพับกระดาษรองให้ติดกับด้านข้างของตัวอย่าง ดิน เพื่อใช้เป็นทางให้น้ำระบายออก ในกรณีที่อัตราส่วน H/D มากกว่า 2.0 ไม่ จำเป็นต้องใช้แผ่นยางนี้

3.5.1.2 ใช้แวกคัมเมมเบรนเอ็กซ์เพนเดอร์ (VACUUM MEMBRANE EXPANDER) ในการสวมปลอกยางครอบตัวอย่างดินรูปทรงกระบอก ใช้วงแหวนยางรัดโดยรอบ เพื่อยึดปลอกยาง ติดกับแท่นวางตัวอย่างเดิม (PEDESTAL)

3.5.1.3 วางแผ่นยาง ซึ่งเคลือบน้ำมันซิลิโคน บนส่วนบนของตัวอย่างดิน และวางแถบกระดาษกรอง และหินพรุนและอุปกรณ์ปิดด้านบนทับไปตามลำดับ ใช้วงแหวนยางรัดยึดปลอกยาง กับอุปกรณ์ปิดด้านบน

3.5.1.4 วางโฮลโลวไซเลนเดอร์ (HOLLOW CYLINDER) ครอบตัวอย่างดินเพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างดินได้รับความเสียหายติดพิสตัน (PISTON) ให้เข้าที่ในห้องบรรจุตัวอย่างอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ตัวอย่างดิน

3.5.1.5 ติดตั้งห้องบรรจุตัวอย่าง ซึ่งบรรจุตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้ว ให้เข้าที่บนโครงรับน้ำหนัก และเติมน้ำให้เต็มห้องบรรจุตัวอย่าง

3.5.1.6 เติมน้ำให้เต็มสายยาง โดยแรงดูด (VACUUM) ที่ปลายข้างหนึ่ง ในขณะที่ปลายอีกข้างจมอยู่ ในน้ำเพื่อไล่ฟองอากาศออก ทำให้อุปกรณ์ปิดด้านบนชุ่มน้ำ

- ให้แรงดันบนตัวอย่าง (BACK PRESSURE) และแรงดันรอบทิศจากน้ำ(CHAMBER PRESSURE) โดยควรให้แรงดันรอบทิศจากน้ำ สูงกว่าแรงดันบนตัวอย่างประมาณ 7-14 กิโลปาสกาล (1-2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เพื่อให้แรงดันน้ำไหลช้า ๆ ตามสายยาง
- ต่อสายยางเข้ากับเครื่องวัดแรงดันน้ำ (PORE PRESSURE MERSURING DEVICE)
- ค่อย ๆ เพิ่มแรงดันบนตัวอย่าง และแรงดันรอบทิศจากน้ำ จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดความดันจะชี้ให้เห็นว่าแรงดันน้ำในตัวอย่างดินเท่ากันทุกจุด
- รักษาแรงดันรอบทิศจากน้ำ ให้สูงกว่าแรงดันบนตัวอย่าง ประมาณ 34.5 กิโลปาสกาล (5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เพื่อป้องกันการไหลของน้ำจากตัวอย่างดินไปทางปลอกยาง
- เพิ่มแรงดันบนตัวอย่าง และแรงดันรอบทิศจากน้ำ จนกระทั่งตัวอย่างดินอิ่มตัว(SATURATED)

3.5.1.7 เพิ่มแรงดันรอบทิศจากน้ำ จนกระทั่งความแตกต่างของแรงดันระหว่างแรงดันรอบทิศจากน้ำ กับแรงดันบนตัวอย่าง เท่ากับแรงอัดตัวคายน้ำที่ต้องการ ในการเขียนกราฟเส้นโค้งวิบัติ (FAILURE ENVELOPE) จำเป็นต้องใช้ผลการทดสอบที่มีค่าแรงดันอัดตัว ที่แตกต่างกัน 3 ค่า เป็นอย่างน้อย

- รักษาแรงดันอัดตัวไว้ตลอดเวลา จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดความดันจะบ่งชี้ว่า ขั้นตอนการอัดตัว (CONSOLIDATION PHASE) ได้จบลงแล้ว (อาจจะใช้เวลาหลายสิบชั่วโมง)
- จากนั้นจึงปิดและเพิ่มแรงดันรอบทิศจากน้ำ ประมาณ 34.5กิโลกรัม (5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)หรือมากกว่านั้น เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวก่อนทำการเพิ่มแรงตามแนวแกน ในการตัดสินว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวหรือไม่ให้ใช้อัตราส่วนระหว่างส่วนเพิ่มของแรงดันน้ำ (PORE PRESSURE) กันแรงดันรอบทิศจากน้ำ

$$\Delta P / \Delta \sigma_3 = 1.0$$

3.5.1.8 ก่อนเพิ่มแรงกดตามแนวแกน ต้องปิดประตูน้ำ (VALVE) ที่อยู่ระหว่างห้องบรรจุ ตัวอย่าง (CHAMBER) กับเบอร์เรต (BURETTE) เพื่อให้ขั้นตอนการเฉือน (SHEAR PHASE) เกิดในสภาพไม่ระบายน้ำ และทำการวัดปริมาตร ที่เปลี่ยนไป (VOLUME CHANGE) ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการอัดตัว

3.5.1.9 เปิดสวิทช์เครื่องเพิ่มแรงกดตามแนวแกน (AXIAL LOADING DEVICE) ให้พิสตันเคลื่อนที่ลงมาช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงแรงเสียดทานของพิสตัน (PISTON FRICTION) และแรงต้านทานจากแรงดัน ทำการจดบันทึกค่าศูนย์ของมาตรวัดการเปลี่ยนรูปและแรงกระทำตามแนวแกน เมื่อพิสตันเคลื่อนลงมาสัมผัสกับอุปกรณ์ปิดด้านบนพอดี

3.5.1.10 การเพิ่มแรงกดตามแนวแกน ในขั้นตอนการเฉือนต้องทำให้เกิดอัตราของความเครียด (RATE OF STRAIN) ซึ่งอยู่ในข่ายที่สามารถทำให้ความดันน้ำเท่ากันทุกจุดในตัวอย่างดิน ทั้งนี้ให้ดู ตารางที่ 1 ประกอบ

- ในขั้นตอนการเฉือน ต้องอ่านค่าแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปอย่างละเอียดและบันทึกไว้ เพื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด
- กรณีที่มีการวัดค่าแรงดันน้ำ ให้อ่านค่าแรงดันน้ำในขณะที่อ่านค่าแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปด้วย

3.5.1.11 จุดวิบัติ (CRITERION OF FAILURE) ของตัวอย่างดิน คือ จุดที่หน่วยแรง (ผลต่างระหว่างหน่วยแรงระนาบหลัก กับ

หน่วยแรงระนาบรอง) สูงที่สุด

- ในกรณีที่หน่วยแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเครียดโดยไม่มีจุดสูงสุด ให้ถือว่าจุดวิบัติเกิดขึ้นที่จุดความเครียดร้อยละ 20

- ถ้าในกรณีที่มีการวัดค่าแรงดันน้ำ ให้ใช้ค่าอัตราส่วนสูงสุดของหน่วยแรงระนาบหลักประสิทธิผล (MAXIMUM EFFECTIVE PRINCIPAL STRESS RATIO)

$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ เป็นจุดวิบัติ

3.5.1.12 หลังจากการทดสอบในขั้นการเฉือนถึงจุดวิบัติแล้ว ให้คลายแรงที่กดอยู่ทั้งหมดและปล่อยน้ำให้ระบายออกห้องบรรจุตัวอย่าง ให้หมดและถอดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบออกทั้งหมดพร้อมกับสเก็ตภาพตัวอย่างดิน (MODE OF FAILURE) จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักตัวอย่างดิน และนำไปใส่ตู้อบแห้ง เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

3.5.2 การทดสอบแบบไม่มีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (หน่วยแรงรวม) (UU-TEST)

3.5.2.1 เตรียมแท่นวางตัวอย่างดิน (PEDESTAL)

- วางแผ่นหินพรุนบนแท่น

- วางแผ่นยางซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างเล็กน้อยบนหินพรุนเคลือบแผ่นยางนี้ด้วยน้ำมันซิลิโคนเพื่อลดแรงเสียดทานที่ปลายตัวอย่าง

- วางตัวอย่างดินบนแผ่นยาง

- ในกรณีที่ค่าอัตราส่วน H/D มากกว่า 2.0 ไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นยางนี้

3.5.2.2 ใช้แวกคัมแมมเบรนเอ็กซ์เพนเดอร์ (VACUUM MEMBRANE EXPANDER) ในการสวมปลอกยาง ครอบตัวอย่างดินรูปทรงกระบอก ใช้วงแหวนยางรัดโดยรอบเพื่อยึดแผ่นยางกับแท่นวางตัวอย่างดิน

3.5.2.3 วางแผ่นยาง ซึ่งเคลือบน้ำมันซิลิโคนบนส่วนบนของตัวอย่างดิน และวางหินพรุนและอุปกรณ์ปิดด้านบนตามลำดับ ใช้วงแหวนรัดยึดปลอกยาง กับอุปกรณ์ปิดด้านบน

3.5.2.4 วางฮอลโลว ไซเลนเดอร์ (HOLLOW CYLINDER) ครอบตัวอย่างดิน เพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างดินได้รับความเสียหาย และติดพิสตันให้เข้าที่ในห้องบรรจุตัวอย่าง อย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ตัวอย่างดิน

3.5.2.5 ติดตั้งห้องบรรจุตัวอย่าง ซึ่งบรรจุตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้วให้เข้าที่บนโครงรับน้ำหนักและเติมน้ำให้เต็มห้องบรรจุตัวอย่าง และปิดประตูระบายน้ำ

3.5.2.6 เพิ่มแรงดันด้านข้าง (LATERAL PRESSURE) ให้เท่ากับแรงดันของดินซึ่งเกิดจากส่วนของดินที่อยู่เหนือจุดที่ต้องการพิจารณา (OVER-BURDEN PRESSURE) ที่ตัวอย่างดินนั้นเคยได้รับ (ที่ความลึกนั้นๆ)

3.5.2.7 เปิดสวิทซ์เครื่องเพิ่มแรงกดตามแนวแกน (AXIAL LOADING DEVICE)ให้พิสตันเคลื่อนลงมาช้าๆ เพื่อหลีกเลี่ยงแรงเสียดทานของพิสตัน และแรงต้านทานจากแรงดันรอบทิศจากน้ำและทำการจดบันทึกค่าศูนย์ของมาตรวัดการเปลี่ยนรูป และแรงตามแนวแกน เมื่อพิสตันสัมผัสอุปกรณ์ ปิดด้านบนพอดี

3.5.2.8 เพิ่มแรงกดตามแนวแกนโดยให้อัตราความเครียดอยู่ในระหว่างร้อยละ 0.3 ถึงร้อยละ 1.0 ต่อนาที (ค่าที่แนะนำให้ใช้ คือ ร้อยละ 0.5 ต่อนาที) อ่านค่าแรงกระทำ การเปลี่ยนรูป และ แรงดันน้ำ (ในกรณีที่มีการวัด) อย่างละเอียดเพื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง และความเครียด

3.5.2.9 จุดวิบัติ (FAILURE CRITERION) ให้ถือว่าเกิดที่หน่วยแรงสูงสุด(MAXIMUM DEVIATOR STRESS)

- ในกรณีที่หน่วยแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเครียดโดยไม่มีจุดสูงสุดให้ถือว่าจุดวิบัติ เกิดขึ้นที่ความเครียดร้อยละ 20

- ถ้าในกรณีที่มีการวัดค่าแรงดันน้ำ ให้ถือค่าอัตราส่วนสูงสุดของหน่วยแรงระนาบหลักประสิทธิผล (MAXIMUM EFFECTIVE PRINCIPAL STRESS RATIO)

$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$ เป็นจุดวิบัติ

3.5.2.10 หลังจากการทดสอบถึงจุดวิบัติแล้ว ให้คลายแรงที่กดอยู่ทั้งหมดและปล่อยน้ำให้ระบายออกนอกห้องบรรจุตัวอย่างให้หมด และถอดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบออกทั้งหมดพร้อมกับสเก็ตภาพตัวอย่างดิน (MODE OF FAILURE) จากนั้นจึง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินและนำไปใส่ตู้อบแห้ง เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

3.5.3 การทดสอบแบบไม่มีการอัดตัวและไม่มีการ ระบายน้ำออก (หน่วยแรงประสิทธิผล)

(UU-TEST) ทำการทดสอบตามขั้นตอนแบบเดียวกันกับแบบมีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก

(CU-TEST) ยกเว้นไม่ต้องมีขั้นตอนการอัดตัว

3.5.4 การทดสอบแบบมีการอัดตัวและมีการระบายน้ำออก (CD-TEST)

3.5.4.1 การเตรียมการติดตั้งตัวอย่างดินให้ทำตามเดียวกันกับ ข้อ 3.5.1.1 ถึง 3.5.1.5

3.5.4.2 ขั้นตอนการอัดตัว ให้ทำตามขั้นตอนเดียวกับ ข้อ 3.5.1.6 ถึง 3.5.1.7 ยกเว้นแต่ให้ต่อสายยางเข้ากับเบอร์เรต (BURETTE) เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ระบายออก

3.5.4.3 ก่อนเพิ่มแรงกดตามแนวแกน ต้องเปิดประตูน้ำ ระหว่างบรรจุตัวอย่างกับเบอร์เรต เพื่อให้อยู่ในสภาพของการระบาย (DRAINED CONDITION)

3.5.4.4 การทดสอบ ในขั้นตอนการเฉือนนี้ต้องทดสอบช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดแรงดันน้ำในตัวอย่างดิน ซึ่งดินบางชนิดต้องใช้เวลาในการทดสอบนานมาก ในกรณีเช่นนั้นนิยมใช้ทดสอบโดยวิธีควบคุมหน่วยแรง

3.5.4.5 เปิดสวิทช์เครื่องเพิ่มแรงกดตามแนวแกน (AXIAL LOADING DEVICE) ในพิสตันเคลื่อนลงมาช้าๆ เพื่อหลีกเลี่ยงแรงเสียดทานของพิสตันและแรงต้านของแรงดันรอบทิศ จากน้ำ และทำการจดบันทึกค่าศูนย์ของมาตรวัด การเปลี่ยนรูปและแรงตามแนวแกน เมื่อพิสตัน เคลื่อนลงมาสัมผัสกับอุปกรณ์ปิดด้านบนพอดี

3.5.4.6 ขั้นตอนการเฉือน ให้เพิ่มแรงกดตามแนวแกนช้า ๆ และอ่านค่าน้ำหนักกระทำการ เปลี่ยนรูป อย่างละเอียดและจดบันทึกไว้ เพื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

3.5.4.7 จุดวิบัติ (FAILURE CRITERION) ให้ถือตาม ข้อ 3.5.1.11

3.5.4.8 หลังจากทดสอบถึงจุดวิบัติแล้ว ให้ถือตาม ข้อ 3.5.1.12

4. การคำนวณ

4.1 กรณีของการทดสอบแบบมีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (CU-TEST)

4.1.1 สมมุติ ให้ค่าความเครียด ในตัวอย่างดินเท่ากันทุกทิศทางดังนั้น ค่าความสูงของตัวอย่าง ดินเมื่อจบระยะการอัดตัวคายน้ำ สามารถหาได้จาก

$$\in = 1 / 3 \times (\in V)$$

เมื่อ $\in 1$ = ความเครียด ตามแนวแกน = $\Delta L / L$

$\in V$ = ปริมาตรความเครียด = $\Delta V / V$

L = ความสูงของตัวอย่างดินก่อนทำการอัดตัวคายน้ำ

ΔL = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงไป ระหว่างการอัดตัวคายน้ำ

V = ปริมาตรเดิมของตัวอย่างดิน

ΔV = ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างดิน

4.1.2 ความเครียดตามแนวแกนที่เกิดจากการเพิ่มแรงกดตามแนวแกน สามารถหาได้จาก

$$\in = \Delta L / Lo$$

เมื่อ ΔL = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงที่วัดได้จากมาตรวัด

Lo = ค่าความสูงของตัวอย่างดินเมื่อสิ้นสุด ระยะการอัดตัวคายน้ำ

4.1.3 ค่าพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปในขณะที่เพิ่มแรงกด สามารถหาได้จาก

$$A = A_o / (1-\in)$$

เมื่อ A_o = พื้นที่หน้าตัดก่อนเริ่มการทดสอบ (ค่าเฉลี่ย)

$\in$ = ค่าความเครียดตามแนวแกนในขณะที่กดด้วยแรงในขณะนั้น

4.1.4 หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (DEVIATORIC STRESS) สามารถหาได้จาก

$$\sigma_d = (P.R. \times K) / A$$

เมื่อ P.R. = ค่าที่อ่านได้จากวงแหวนวัดแรง

K = ค่าคงที่ของวงแหวนวัดแรง

A = พื้นที่หน้าตัดในขณะนั้น

4.2 กรณีของการทดสอบแบบไม่มีการอัดตัวและไม่มีการระบายน้ำออก (UU-TEST) ค่าต่าง ๆ สามารถหาได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 ถึง 4.1.4

4.3 กรณีของการทดสอบแบบมีการอัดตัวและมีการระบายน้ำออก (CD-TEST) ค่าต่าง ๆ สามารถหา ได้เช่นเดียวกันกับ ข้อ 4.1.2 ถึง 4.1.4

5. การรายงานผล

สิ่งที่ต้องเขียนในการรายงาน

5.1 ขนาดของตัวอย่างดิน วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

5.2 ค่าอัตราส่วน H/D, ลักษณะเดิม, ความหนาแน่น, ปริมาณความชื้น และระดับของความอิ่มตัวของตัวอย่างดิน

5.3 วิธีการทดสอบ

5.4 การวัดค่าแรงดันน้ำ

5.5 ค่าร้อยละของอัตราเฉลี่ยของความเครียด จนกระทั่งวิบัติ

5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับความเครียด (กรณีที่วัดแรงดันน้ำ) และหน่วยแรงตามแนวแกนกับวามเครียด

5.7 เขียนกราฟแสดงวงกลมของมอร์ (MOHR'S CIRCLES) และลากเส้นสัมผัสวงกลม (FAILURE ENVELOPE) เพื่อหาค่า c และ φ

5.8 ภาพสเก็ตตัวอย่างดินหลังจุดวิบัติ

5.9 หมายเหตุ

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: ASTM D 2850-70

6.2 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS "STANDARD METHOD OF TEST FOR STRENGTH PARAMETERS OF SOILS BY TRIAXIAL COMPRESSION" AASHTO T. 234-74

TRIAXIAL COMPRESSION TEST

GROUP ..... Date .....

Member of Group 1 .....

2 .....

3 .....

4 .....

DATA

Size of Sample

No. of Sample	Top dia. (cm)	Bottom dia. (cm)	Average dia. (cm)	Area (A_0 ,cm^2)	Heigth (L_0 , cm)	Volume (V_0 ,cm^3)	Weigth (gm)	γ_{wet} (gm/cm^3)
1								
2								
3								

Water Content

No of sample	1		2		3	
No of can						
Wt of can (gm)						
Wt of can + wet soil (gm)						
Wt of can + dry soil (gm)						
Wt. of Water (gm)						
Wt. of dry soil (gm)						
Water content (%)						
Average water content (%)						
γ_{wet} (gm/cm^3)						
γ_{dry} (gm/cm^3)						

TUMCIVIL.COM

TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Sample no……. σ_3 = ……kpa = …….. Kg/cm^2

L_0 = ……cm. A_0 =……..cm^2

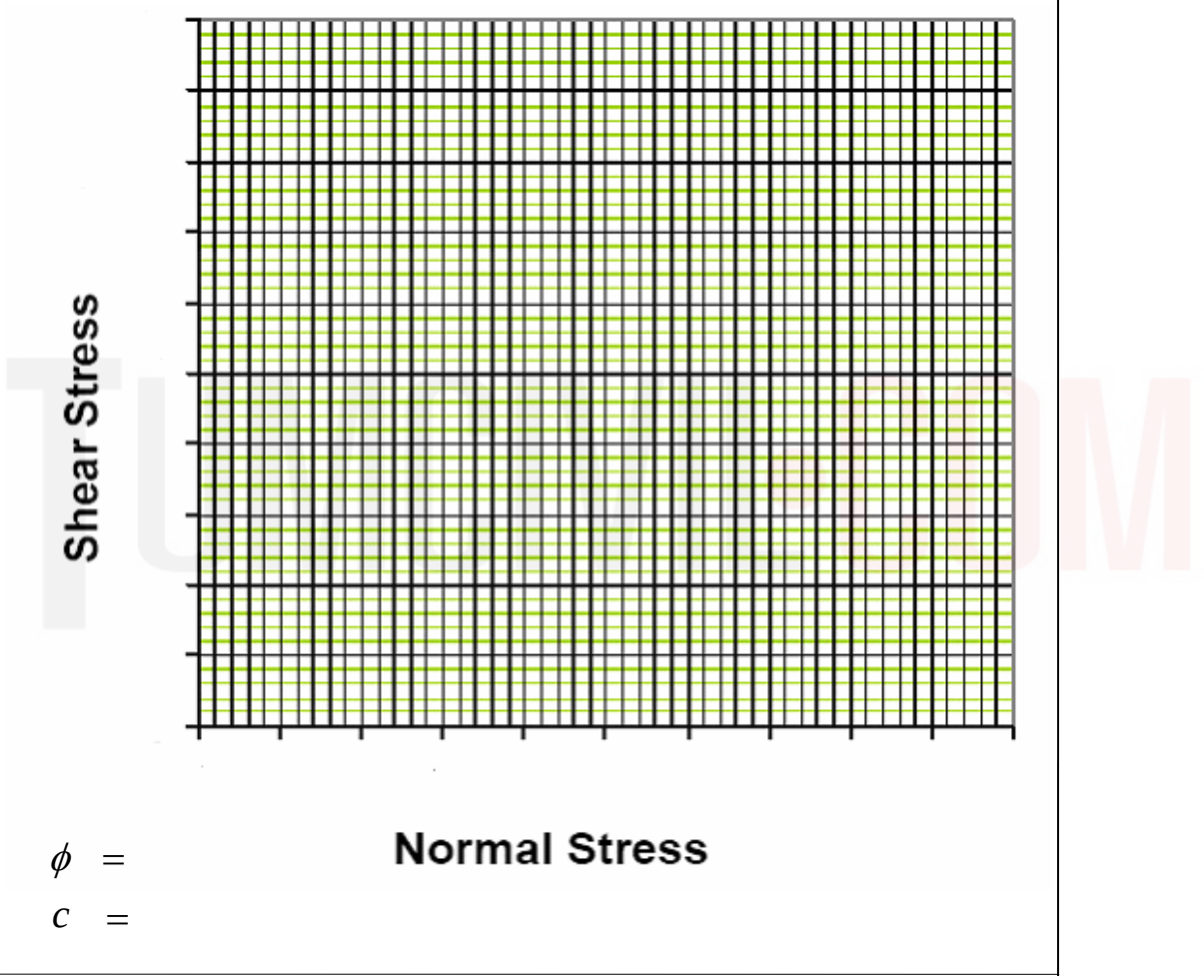
Vertical dis Div x 0.01 mm	Vertical displacement ΔL(cm)	L Vertical Load (Div)	L Vertical Load (kg)	Strain $\varepsilon(\Delta L/L_0)$	Area $A = A_0 / (1-\varepsilon)$	Deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	σ_1 (kg/cm^2)
0							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
120							
140							
160							
180							
200							
220							
240							
260							
280							
300							
320							
340							
360							
380							
400							
420							
440							
460							
480							
500							
520							
540							
560							
580							
600							

TUMCIVIL.COM

MAHIDOL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

TRIAXIAL COMPRESSION TEST

PROJECT.		**OWNER**	
LOCATION		**BORING NO.**	**SAMPLE NO.**
DESCRIPTION OF SOIL.		**JOB NO.**	**DATE.**



ϕ =

c =

การทดลองที่ 14

การทดลองความหนาแน่นสัมพัทธ์
(RELATIVE DENSITY TEST)

1 วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)

2 นิยาม

"**ความหนาแน่น (Density**)" หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

"**ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)**" หมายถึง อัตราส่วนความหนาแน่นของมวลรวม ต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน

3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง (Balance) เป็นเครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม อ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม และมีความถูกต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.1 ของมวลตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ
2) ขวดทดสอบ (Flask) ขนาดความจุประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ได้ทำการสอบเทียบ (Calibration) แล้วที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำในการวัดผิดพลาดไม่เกิน 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3) แบบรูปกรวย (Conical Mold) ทำด้วยโลหะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบนเท่ากับ 40±3 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านล่างเท่ากับ 90±3 มิลลิเมตร (3.5 นิ้ว) และมีความสูงเท่ากับ 75±3 มิลลิเมตร (2.875 นิ้ว)
4) เหล็กกระทุ้ง (Tamping Rod) ทำด้วยโลหะมีน้ำหนัก 340 กรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และปลายที่ใช้กระทุ้งมีลักษณะมน
5) ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

4 การเตรียมตัวอย่าง

1) เตรียมตัวอย่างมวลรวมละเอียดโดยการสุ่มตัวอย่างที่เก็บมาจากสนาม ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ให้ได้มวลตัวอย่างประมาณ 1 กิโลกรัม
2) ทำการทดสอบหาสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ของตัวอย่างมวลรวมละเอียดโดยการนำตัวอย่างที่เริ่มผิวแห้งใส่ในรูปกรวยพอหลวมๆ และใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้ง 25 ครั้งตรงๆ แล้วจึงค่อยๆ ดึงกรวยขึ้น ถ้ามวลรวมละเอียดยังคงรูปอยู่ก็ให้ทำการทดสอบซ้ำใหม่ โดยผึ่งตัวอย่างหรือเป่าลมร้อนให้น้ำระเหยออกอีก จนกระทั่งเมื่อดึงกรวยออกตรงๆ ถ้าวัสดุมวลรวมละเอียดเริ่มละลาย ให้ถือเป็นสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของตัวอย่างมวลรวมละเอียด

5 วิธีการทดลอง

1) ชั่งมวลรวมละเอียดที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งให้ได้น้ำหนักประมาณ 500±10 กรัม แล้วบันทึกเป็นค่า S ในแบบฟอร์ม บฟ. มยผ. 1205
2) เทตัวอย่างมวลรวมละเอียดลงในขวดทดสอบ (Flask) แล้วเติมน้ำจนถึงระดับประมาณร้อยละ 90 ของปริมาตรขวดทดสอบ
3) ไล่ฟองอากาศภายในออกให้หมด โดยการหมุนคว่ำ เขย่า หรือกลิ้งขวดทดสอบไปมาบนพื้นราบประมาณ 15 ถึง 20 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 23±2 องศาเซลเซียส หากจำเป็นก็สามารถนำขวดทดสอบมาแช่ในน้ำเพื่อช่วยลดอุณหภูมิก็ได้
4) เติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วนำไปชั่งมวลที่ได้ให้บันทึกเป็นค่า C ในแบบฟอร์ม บฟ.มยผ.1205

5) เทตัวอย่างจากขวดทดสอบลงในภาชนะแล้วนำเข้าตู้อบ อบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส จนมีมวลคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1±0.5 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่ง มวลที่ได้ให้บันทึกเป็นค่า A ในแบบฟอร์ม บฟ. มยผ.1205
6) เติมน้ำใส่ขวดทดสอบเปล่าจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วนำไปชั่ง มวลที่ได้ให้บันทึกเป็นค่า B ในแบบฟอร์ม บฟ.มยผ.1205

6 การคำนวณ

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (สภาพอบแห้ง) = $\frac{A}{(B+S-C)}$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) = $\frac{S}{(B+S-C)}$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ปรากฏ = $\frac{A}{(B+A-C)}$

การดูดซึมน้ำ = $\frac{(S-A)}{(A)} x100$

เมื่อ A คือ มวลตัวอย่างมวลรวมละเอียดในสภาพอบแห้ง เป็นกรัม
B คือ มวลขวดทดสอบและน้ำที่ระดับทำเครื่องหมายไว้เป็นกรัม
C คือ มวลขวดทดสอบและตัวอย่างมวลรวมและน้ำที่ระดับทำเครื่องหมายไว้ เป็นกรัม
S คือ มวลตัวอย่างมวลรวมละเอียดในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง เป็นกรัม

การคำนวณค่าของความถ่วงจำเพาะให้ใช้ถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง และสำหรับการคำนวณค่าการดูดซึมน้ำให้ใช้ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง การชั่งมวลอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม หรือ ร้อยละ 0.1 ของมวลตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

TUMCIVIL.COM

โครงการ.....		ทะเบียนทดสอบ.....
สถานที่ก่อสร้าง		ผู้ทดสอบ
ชนิดตัวอย่าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)	ผู้ตรวจสอบ
ทดสอบครั้งที่	การทดสอบหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์	
ทดสอบวันที่.....	และการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด	อนุมัติ
แผ่นที่.....		

วัสดุ.....

แหล่งวัสดุ.....

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง		
	1	2	3
น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง A (กรัม)			
น้ำหนักของวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง S (กรัม)			
น้ำหนักของขวดทดลอง + น้ำ (กรัม)			
น้ำหนักของขวดทดลอง + น้ำ + วัสดุ C (กรัม)			
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (สภาพอบแห้ง) = A/(B+S-C)			
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) = S/(B+S-C)			
ความหนาแน่นสัมพัทธ์แบบปรากฏ = A/(B+A-C)			
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) = (S-A) x 100 / A			

TUMCIVIL.COM

การทดลอง ที่ 15

การทดลองหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์
(HYDROMETER ANALYSIS TEST)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Particle Size Distribution) ที่มีขนาดเล็กว่าตระ-แกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) โดยใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 422

2. นิยาม

การหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ คือ การหาขนาดของเม็ดดินสำหรับดินเม็ดละเอียด ซึ่งก็คือดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือดินที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร โดยอาศัยหลักการตกตะกอนของเม็ดดินในของเหลวตามกฎของ Stokes

3. ความสำคัญและการนำไปใช้

3.1 การกระจายขนาดของเม็ดดินใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจำแนกประเภทของดินในระบบ Unified Soil Classification ตามมาตรฐาน ASTM D 2487

3.2 การกระจายขนาดมีความสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ดินในงานทำชั้นถนน เขื่อนดิน ชั้นระบายน้ำ การระบายน้ำใต้ดิน ฯลฯ

3.3 คุณสมบัติทางวิศวกรรมหลายอย่างมีความสัมพันธ์กับการกระจายขนาดของดิน เช่น Hydraulic Conductivity, Compressibility, และ กำลังรับแรงเฉือน อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางวิศวกรรมเหล่านี้ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆอีกด้วย

4. วิธีทำ

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

4.1.1 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) (รูปที่ 1)

4.1.2 เครื่องกวน (Stirring Apparatus) (รูปที่ 2)

4.1.3 กระบอกตวงทำด้วยแก้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร (2½ นิ้ว) สูงประมาณ 460 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 2 กระบอก

4.1.4 ถังน้ำสำหรับแช่กระบอกตวงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่สม่ำเสมอ

4.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 0.5 องศาเซลเซียส

4.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 กรัม

4.1.7 นาฬิกาจับเวลา

4.1.8 ผงเคมี Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate

4.1.9 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110±5 องศาเซลเซียสได้

4.1.10 กระบอกฉีดน้ำ

4.1.11 น้ำกลั่น

รูปที่ 1 ไฮโดรมิเตอร์

รูปที่ 2 เครื่องกวนดิน

4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

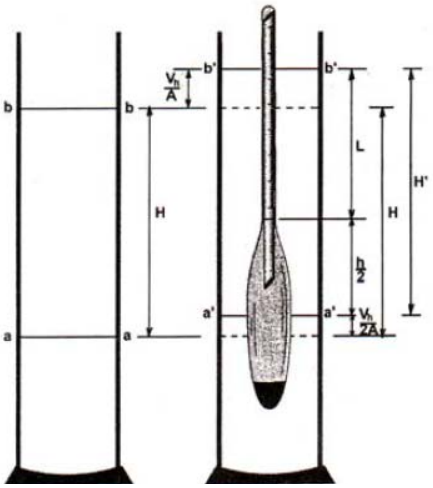
นำตัวอย่างดินอบแห้งที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากการทดสอบหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรง (การทดสอบที่ 4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 50 กรัม ใส่ถ้วยแก้ว เติมสารละลาย Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate ความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 125 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่วแช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

4.2 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์มที่กำหนด

4.3 การวัดค่าสอบเทียบและค่าปรับแก้ (Calibration and Corrections)

4.3.1 ค่าสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Calibration) ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านจากก้านไฮโดรมิเตอร์และระยะความยาวจากค่าที่อ่านถึงจุดกึ่งกลางกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (รูปที่3) ค่าสอบเทียบจะใช้เพื่อความสะดวกในการหาระยะดังกล่าว และใช้เพื่อแก้ผลกระทบจากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ เนื่องจากไฮโดรมิเตอร์ที่จุ่มลงไปในขณะอ่าน ทำให้ตำแหน่งเม็ดดินเคลื่อนตัวขึ้น โดยการวัดค่าสอบเทียบจะเตรียมใน 2 กรณีคือ (1) ค่าสอบเทียบสำหรับการอ่านช่วง 2 นาทีแรก และ (2) ค่าสอบเทียบหลังจาก 2 นาทีแรก



รูปที่ 3 การวัดค่าสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์

วิธีการวัดค่าสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์

1. วัดความยาวของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (h)

2. วัดระยะจากปลายกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ไปยังค่าอ่านสเกลที่ก้านของไฮโดรมิเตอร์ (L+h) เช่น 0, 10, 20, 30 และ 40

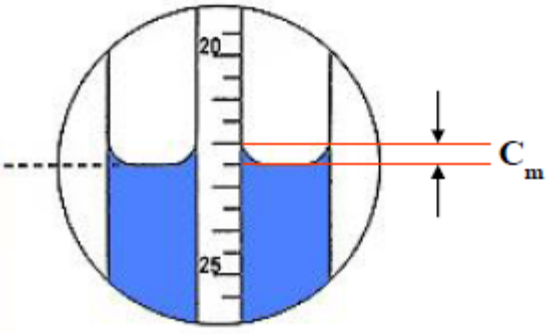
3. นำระยะที่วัดและค่าที่อ่านจากสเกลไฮโดรมิเตอร์ มาพล็อตกราฟ A ในแบบฟอร์มที่เตรียมไว้ กราฟ A นี้จะใช้สำหรับการอ่านค่าสอบเทียบในช่วง 2 นาทีแรก ของการทดสอบ

4. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) ของกระบอกตวง เพื่อหาพื้นที่หน้าตัด (A) ของกระบอกตวง

5. วัดปริมาตร (V) ของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ โดยวิธีการแทนที่น้ำ โดยทำการอ่านค่าปริมาตรที่กระบอกแก้วก่อนใส่ไฮโดรมิเตอร์ (V_1) และหลังใส่ไฮโดรมิเตอร์ (V_2) ค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้จากทั้ง 2 ค่า คือปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์ ($V=V_1-V_2$)

6. เตรียมกราฟ B สำหรับการอ่านค่าหลังจาก 2 นาทีแรก โดยการลบค่าของกราฟ A ออกด้วยค่า V/2A (การอ่านค่าสำหรับหลังจาก 2 นาทีแรกเป็นต้นไป จะทำการใส่ไฮโดรมิเตอร์ และจะยกไฮโดรมิเตอร์ออกทุกครั้งหลังจากอ่านเสร็จ การใส่ไฮโดรมิเตอร์นี้จะทำให้เม็ดดินในกระบอกตวงเกิดการเคลื่อนตัวขึ้น จึงต้องทำการปรับแก้ค่าที่อ่านได้โดยใช้ กราฟ B)

4.3.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction, Cm) ผิวน้ำที่ก้านของไฮโดรมิเตอร์จะเกิดโค้งผิวน้ำในลักษณะโค้งขึ้น ในขณะที่น้ำขุ่นจะไม่สามารถอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ที่ผิวน้ำได้ จึงทำการอ่านที่ผิวโค้งบนแทน การหาค่าปรับแก้สามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากก้านของไฮโดรมิเตอร์ที่โค้งผิวน้ำมาสัมผัสก้านและค่าที่ระดับผิวน้ำ (รูปที่4)

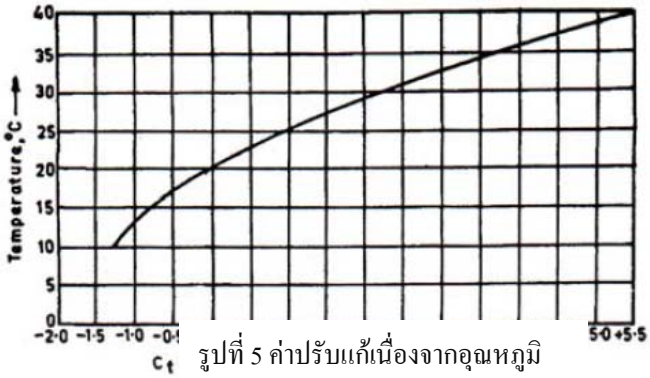


รูปที่ 4 ค่าปรับแก้เนื่องจากโค้งผิวน้ำ

4.3.3 ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction) ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิสามารถหาได้จากการบันทึกอุณหภูมิของน้ำในกระบอกตวงระหว่างการทดลองและหาค่าปรับแก้จากตารางที่ 1 หรือ จากกราฟในรูปที่ 5

ตารางที่ 1 ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ, C_t
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
28	+2.50
29	+3.05
30	+3.80



รูปที่ 5 ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

4.3.4. ค่าปรับแก้เนื่องจากการเติมสารช่วยกระจายเม็ดดิน (Dispersion Agent Correction, C_d) การผสมสารละลาย Sodium Hexametaphosphate ลงไปในน้ำเพื่อทำให้เม็ดดินกระจายตัวไม่จับเป็นก้อน แต่การใส่สารละลายเป็นผลให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ผสมสารละลายมีค่าสูงขึ้น ไฮโดรมิเตอร์ก็จะลอยสูงกว่าในน้ำที่ไม่ผสมสารละลาย ดังนั้นค่าปรับแก้เนื่องจากการเติมสารช่วยกระจายเม็ดดินนี้คือ ค่าความแตกต่างที่ได้จากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ในน้ำกลั่นและน้ำที่ผสมสารละลาย

4.4. การทดสอบ

4.4.1เตรียมกระบอกตวง 1 ใบ ใส่น้ำกลั่นถึงขีด 1,000 มิลลิลิตร นำไปแช่ในถังน้ำที่มีน้ำบรรจุอยู่เพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำในกระบอกตวงให้คงที่

4.4.2 นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระบอกตวงอีกอันหนึ่ง กวนโดยใช้น้ำฉีดล้างออกจากถ้วยจนหมด แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้สูงประมาณ 3 ส่วนใน 4 ส่วนของกระบอกกวน นำเข้าเครื่องกวนและกวนดินเป็นระยะเวลาประมาณ 1 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัวออกจากกัน

4.4.3 นำดินในกระบอกกวนเทใส่ลงในกระบอกตวงเปล่าที่เตรียมไว้อีกอันหนึ่ง ใช้กระบอกฉีดน้ำล้างดินในกระบอกกวนออกจนหมด เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร พอดีต่อจากนั้นใช้ฝ่ามือหรือฝาจุกยางปิดปากกระบอกตวง พลิกกลับไปกลับมาจนผสมกันทั่วเป็นเวลา 1 นาที นำกระบอกตวงแช่ในถังน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

4.4.4เมื่อวางตั้งกระบอกให้เริ่มจับเวลา ใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวงและอ่านค่าที่เวลา 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที และ 2 นาที การอ่านให้อ่านที่ขอบบนของโค้งน้ำที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ เมื่ออ่านเสร็จ (หลังค่าอ่าน 2 นาที) ยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกตวงที่ใส่น้ำเปล่าที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 4.4.1

4.4.5 ใช้ฝ่ามือหรือฝาจุกยางปิดปากกระบอกตวง พลิกกลับไปกลับมาจนผสมกันทั่วเป็นเวลา 1 นาที อีกรอบหนึ่งทำการอ่านที่เวลา 2 นาที และ เพิ่มระยะเวลาอ่านครั้งต่อไปประมาณ 2 เท่า การอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ต้องใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวงก่อนที่จะอ่านค่าประมาณ 10 ถึง 15 วินาที เพื่อให้ไฮโดรมิเตอร์หยุดนิ่งก่อนโดยอ่านค่าจากขีดตรงส่วนบนสุดของโค้งน้ำที่สัมผัสข้างหลอดไฮโดรมิเตอร์ เมื่ออ่านค่าแล้วให้นำไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกตวงและใส่ไว้ในกระบอกตวงอีกอันหนึ่งที่บรรจุน้ำกลั่นที่อยู่ในถังน้ำเดียวกัน ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านอุณหภูมิของน้ำในกระบอกตวงที่ใส่น้ำกลั่นทันทีทุกครั้งที่ทำ การอ่านไฮโดรมิเตอร์โดยถือว่าอุณหภูมิของน้ำกลั่นและน้ำผสมดินมีค่าเท่ากันเนื่องจากถูกควบคุมอุณหภูมิโดยถังน้ำเดียวกัน

4.4.6 ทำการอ่านค่าครั้งต่อๆไปวันละ 2 ครั้งจนกระทั่งค่าอ่านประมาณคงที่ จึงหยุดการทดลอง (สำหรับดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดดินละเอียดมากอาจต้องใช้เวลาในการอ่าน 3-5 วัน) ระหว่างนั้นควรหาฝามาปิดกระบอกไว้เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

4.4.7 เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง เขย่ากระบอก เทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะ ต้องล้างเศษดินที่ก้นกระบอกให้หมด นำดินพร้อมภาชนะเข้าอบจนแห้งเพื่อหาน้ำหนักดินแห้ง (W_s)

(a) การใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าเพื่อหาขนาดเม็ดดิน (b) การเก็บไฮโดรมิเตอร์ในขณะรอเวลาทดสอบ

รูปที่ 6 การทดสอบโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

5. การคำนวณ

5.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer, %F) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%F = \frac{R_c \cdot a}{W_s} \times 100$$

โดย $R_c = R + C_m \pm C_t - C_d$

R = ค่าที่อ่านจากก้านสเกลไฮโดรมิเตอร์

C_m = ค่าปรับแก้เนื่องจากโค้งผิวน้ำ

C_t = ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

C_d = ค่าปรับแก้เนื่องจากการเติมสารช่วยกระจายเม็ดดิน

$$a = \frac{1.65G_s}{2.65(G_s - 1)}$$

G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่กำลังทดสอบ

W_s = น้ำหนักดินแห้ง

ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer, %F) นี้เป็นเพียงค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านเฉพาะการทดสอบโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์เท่านั้นซึ่งสำหรับขนาดเม็ดดินใหญ่สุดจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ แต่สำหรับวิเคราะห์แบบรวมที่นำผลการทดสอบของการทดลองที่ 4 มาร่วมพิจารณา จะต้องหาเปอร์เซ็นต์ผ่านที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 200 ต่อส่วนของตัวอย่างดินทั้งหมดมาด้วย เปอร์เซนต์ผ่านสำหรับการวิเคราะห์แบบรวมสามารถหาได้จากสมการ

%F' = %F x N

เมื่อ %F' = เปอร์เซนต์ผ่านต่อส่วนของตัวอย่างดินทั้งหมด

%F = เปอร์เซนต์ผ่านเฉพาะในส่วนของการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์

N = เปอร์เซนต์ผ่านของอนุภาคที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 200 (จากการทดสอบที่ 4)

5.2 ขนาดอนุภาคเม็ดดิน (Grain size, D)

ขนาดอนุภาคเม็ดดินสามารถคำนวณได้โดยอาศัยทฤษฎีการตกตะกอนของสโตค (Strokes's theory) ซึ่งพอจะสรุปได้คือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอนก่อนดินเม็ดเล็กและดินเม็ดที่เล็กลงตามลำดับ ขนาดของอนุภาคเม็ดดินหาได้จากสมการ

$$D = \sqrt{\frac{18\mu}{\rho s - \rho w} \cdot \frac{H'}{t}}$$

เมื่อ D = ขนาดอนุภาคเม็ดดิน (mm)

ρs = ความหนาแน่นของเม็ดดิน (g/cm^3)

ρw = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

μ = ความหนืดของน้ำ (ดูตารางที่ 2)

H' = ระยะทางที่ตกตะกอนของเม็ดดิน (cm)

t = ระยะเวลา (วินาที)

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (Viscosity, μ) ของน้ำ มีหน่วยเป็น millipoises

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.07	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.29	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	3.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

6. การรายงาน

6.1 ขนาดเม็ดดิน เป็นมิลลิเมตร มีความละเอียดเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่ง ตามแบบฟอร์มที่กำหนด

6.2 ค่าร้อยละของขนาดเม็ดดิน มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง ตามแบบฟอร์มที่กำหนด

6.3 แผนภูมิการกระจายตัวของเม็ดดินตามแบบฟอร์มที่กำหนด

7. ข้อควรระวัง

7.1 การอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ต้องอ่านที่ปลายบนสุดของ Meniscus รอบๆ แกน

7.2 การจุ่มไฮโดมิเตอร์ลงในของผสมต้องระวังอย่าให้ไฮโดมิเตอร์หมุนหรือส่ายไปมา

7.3 การเอาไฮโดมิเตอร์ออกจากของผสมหลังจากอ่านค่าเสร็จแล้วต้องพยายามให้มีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

7.4 ในระหว่างการทดลองต้องไม่ให้ของผสมในกระบอกตวงได้รับความสั่นสะเทือน

8. หนังสืออ้างอิง

8.1 ASTM (1963). Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils, *ASTM D 422-63*, West Conshohocken, PA. (Reapproved 2002).

TUMCIVIL.COM

HYDROMETER ANALYSIS

กลุ่มที่ _____

วันที่ทำการทดลอง _____

ดินที่นำมาทดสอบ _____

ตารางหาค่าสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์

ความยาวกระเปาะไฮโดรมิเตอร์, h	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกตวง, d (cm)	
พื้นที่หน้าตัดของกระบอกตวง, $A=\pi d^2/4$ (cm^2)	
ปริมาตรของน้ำในกระบอกไฮโดรมิเตอร์ก่อนใส่ไฮโดรมิเตอร์, V_1 (cm^3)	
ปริมาตรของน้ำในกระบอกไฮโดรมิเตอร์หลังใส่ไฮโดรมิเตอร์, V_2 (cm^3)	
ปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์, $V=V_2-V_1$ (cm^3)	

ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์, R	**ระยะจากปลายไฮโดรมิเตอร์ถึงค่าที่อ่าน (L+h), cm**	**Curve A (สำหรับ 2 นาทีแรก) H'=(L+h)-h/2 (cm)**	**Curve B (สำหรับหลังจาก 2 นาทีแรก) H'= Curve A-V/2A (cm)**
0			
10			
20			
30			

ตารางหาค่าปรับแก้เนื่องจากโค้งผิวน้ำ

ค่าที่อ่านจากสเกลที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ที่ด้านบนของโค้งผิวน้ำ, R_1	
ค่าที่อ่านจากสเกลที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ที่ระดับผิวน้ำ, R_2	
ค่าปรับแก้โค้งผิวน้ำ, R_1-R_2	

ตารางหาค่าปรับแก้เนื่องจากการเติมสารช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว

ค่าที่อ่านจากสเกลที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ในน้ำกลั่น, R_1	
ค่าที่อ่านจากสเกลที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ในสารละลายกระจายเม็ดดิน, R_2	
ค่าปรับแก้เนื่องจากการเติมสารช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว, R_2-R_1	

ตารางบันทึกค่าการทดสอบขนาดเม็ดดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน _____

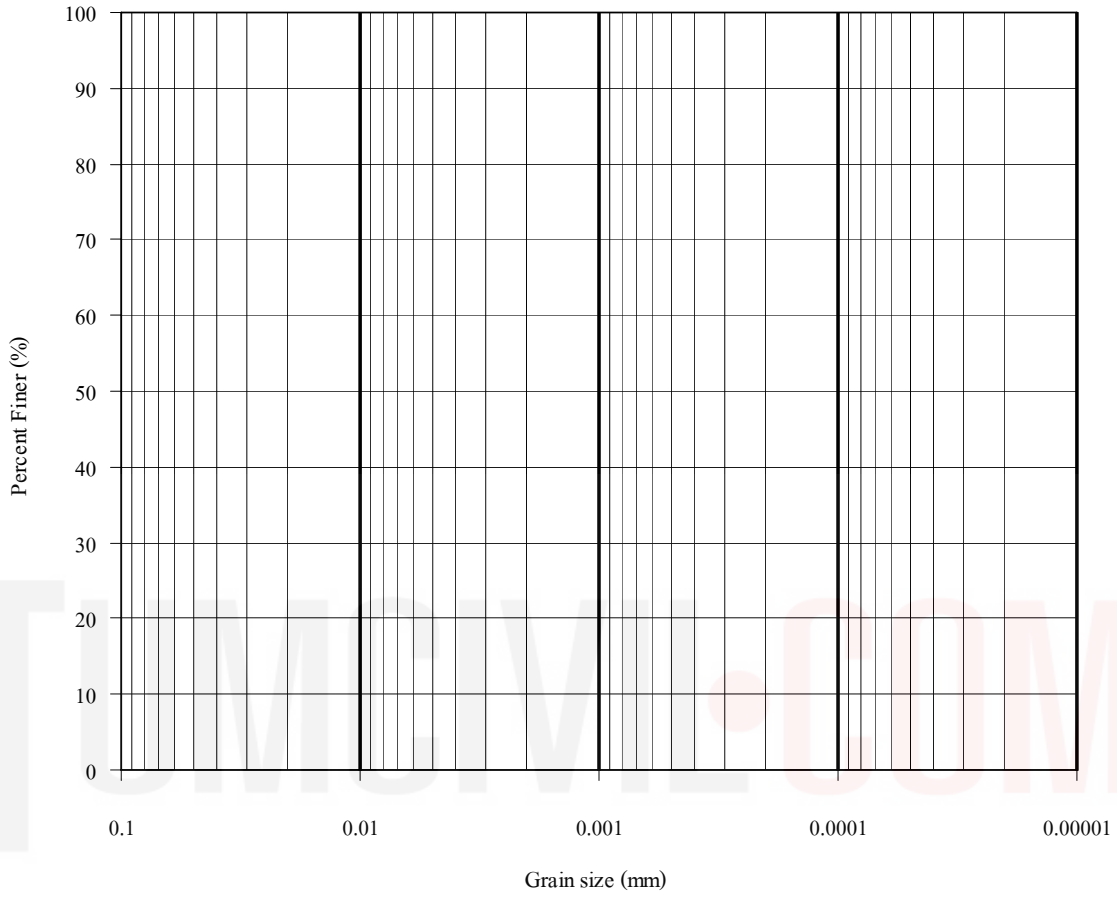
น้ำหนักแห้งของดิน, W_s _____ กรัม

เปอร์เซ็นต์ของขนาดเม็ดดินที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 200, N _____ (%)

เวลา	ระยะเวลา	ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์, R	อุณหภูมิ (^{o}C)	ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์ที่ปรับแก้แล้ว, Rc	Percent Finer, %F (เฉพาะวิธีไฮโดรมิเตอร์)	ขนาดของเม็ดดิน, D (mm)	Percent Finer, %F' (แบบรวม)
	0 s						
	15 s						
	30 s						
	1 min						
	2 min						
	2 min						
	5 min						
	10 min						
	20 min						
	40 min						
	80 min						
	180 min						
	240 min						
	480 min						
	1000 min						
	10,000 min						

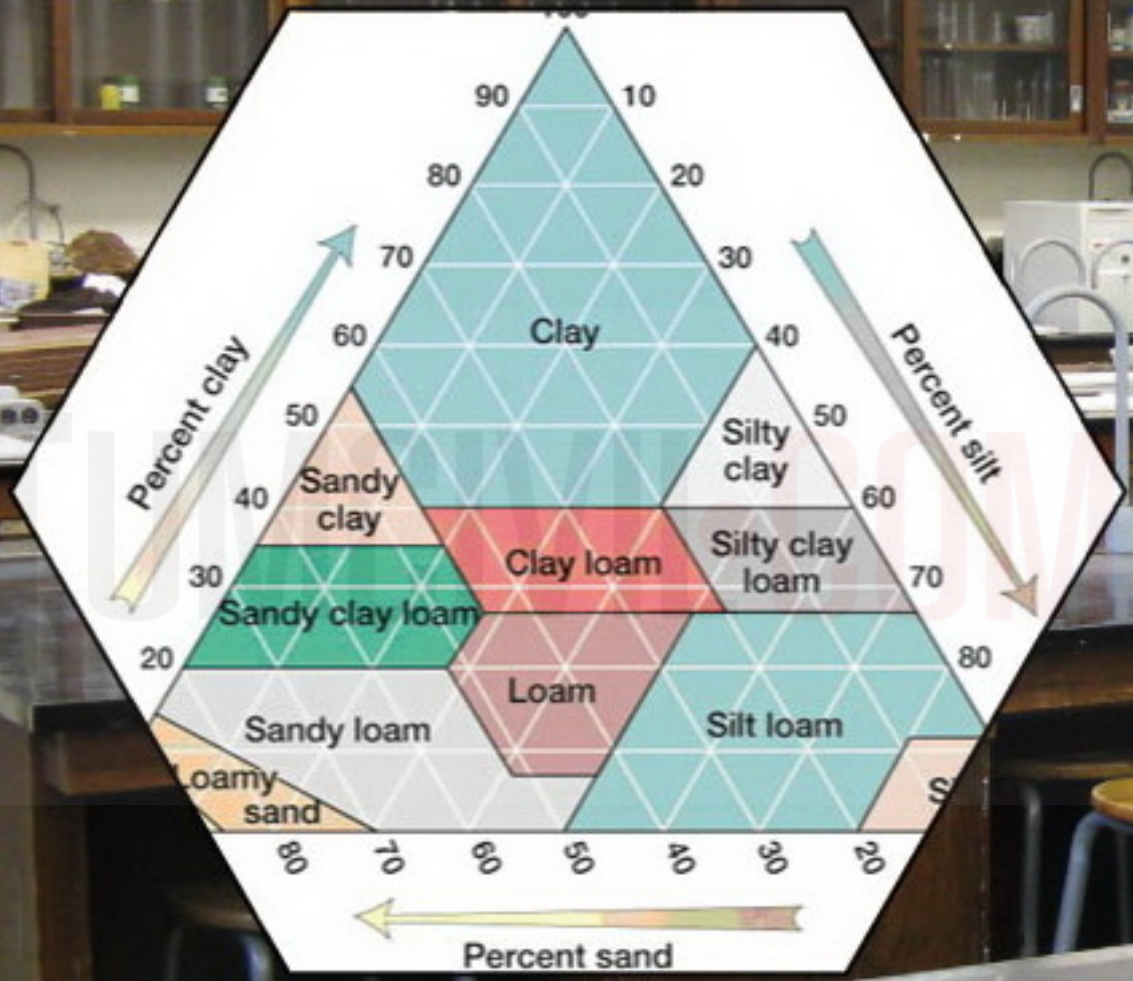
TUMCIVIL.COM

กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน



จัดโดย TumCivilSmart

หนังสือเล่มนี้สำหรับ
ผู้เริ่มต้น ระดับกลาง
เรียนรู้การใช้งาน คู่มืออ้างอิง
ฝึก วิศวกร นักศึกษา
Civil Engineering Book



TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB
www.tumcivil.com : สำหรับวงการวิศวกรรม และการก่อสร้างไทย