

บทที่ 10 ส่วนคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Test 1 Water Content Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

จิรัฐ ลักษณ์ละม้าย. คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง. 2544.
หน้า 16-20.

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

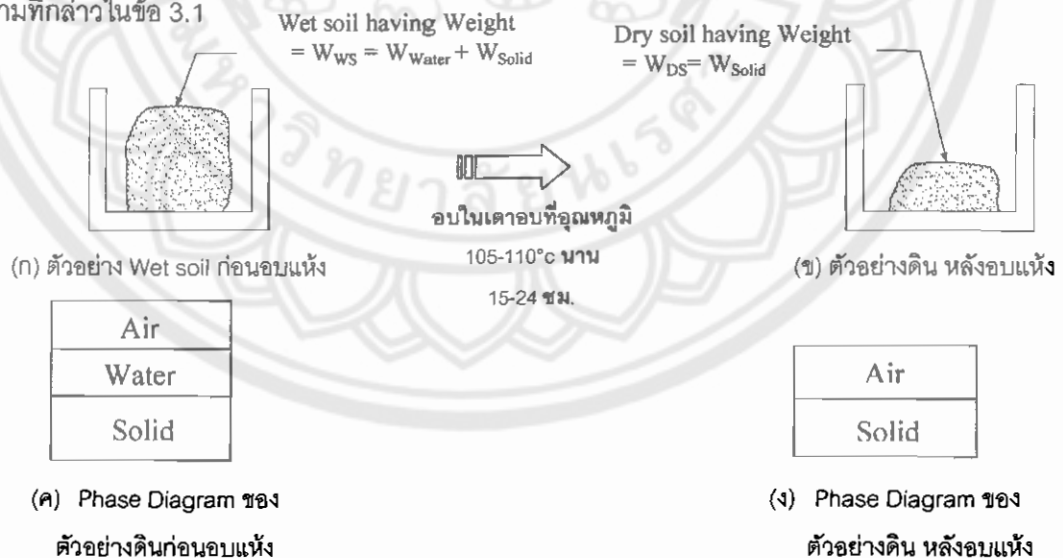
เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (water content, w) ในตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ

3. หลักการ (Principals)

หลักการทดสอบหา water content ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 10.1.1 คือ

3.1 การหาน้ำหนักน้ำ (W_w) ที่มีอยู่ในตัวอย่างดินทดสอบ โดยการนำตัวอย่างดินทดสอบ (ที่มีความชื้น ที่ต้องการหาค่า water content) ไปอบในเตาอบ ที่ตั้งอุณหภูมิคงที่ $\sim 105^\circ\text{C}$ นาน ~ 24 ชั่วโมง

3.2 การหาน้ำหนักดินแห้ง (W_{DS}) หลังจากน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่างดินทดสอบ ได้ถูกอบจนแห้ง ตามที่กล่าวในข้อ 3.1



รูปที่ 10.1.1 หลักการทดสอบหา water content ในตัวอย่างดิน

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

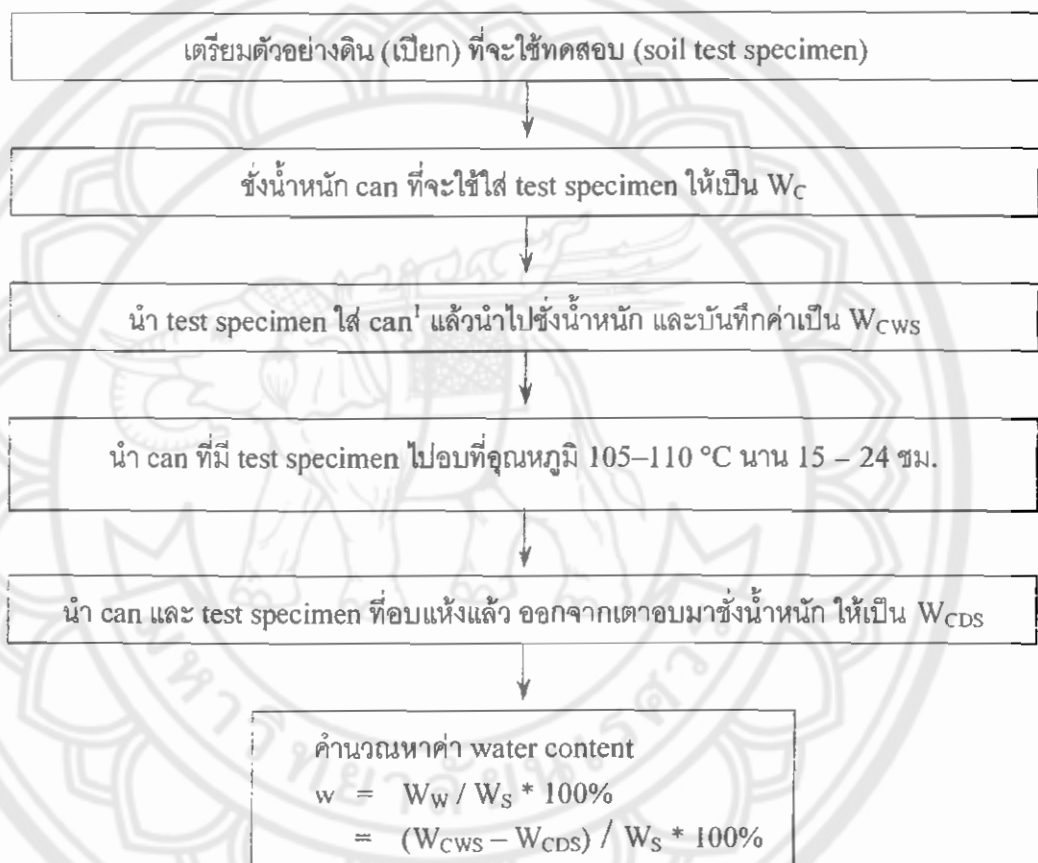
4.1 กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (can)

4.2 เตาอบ (oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงถึง 105 °C ได้อย่างสม่ำเสมอ

4.3 ตาชั่ง (balance) ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

5. วิธีการทดลอง (Method)

วิธีการทดสอบโดยละเอียด สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง ทั้งนี้ วิธีการโดยสรุป เป็นดังนี้



รูปที่ 10.1.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหา water content

หมายเหตุ

1. ตัวอย่างดินที่ใช้อบหาความชื้น ควรมีน้ำหนักอย่างน้อย 30 กรัมขึ้นไปสำหรับตาชั่งที่อ่านได้ถึง 0.1 กรัม และ 5 กรัมขึ้นไป สำหรับตาชั่งที่อ่านได้ถึง 0.01 กรัม

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

ข้อมูลที่จะต้องวัด สำหรับแต่ละตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย

6.1 น้ำหนัก Can (W_C)

6.2 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})

6.3 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

Water Content Determination							
Test No.			1	2	3	4	5
Weight of can	W_C	(gm)					
Weight of can + wet soil	W_{CWS}	(gm)					
Weight of can + dry soil	W_{CDS}	(gm)					
Weight of water	W_W	(gm)					
Weight of dry soil	W_{DS}	(gm)					
Water content	w	(%)					

Note: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$

2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$

3. $w = (W_W / W_{DS}) * 100$

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test Results)

Water Content Determination							
Test No.			1	2	3	4	5
Weight of can	W_c	(gm)	17.33	17.41	17.45	17.36	17.30
Weight of can + wet soil	W_{cws}	(gm)	48.61	55.53	51.71	50.51	57.36
Weight of can + dry soil	W_{cDs}	(gm)	41.19	46.05	42.78	41.54	47.30
Weight of water ¹	W_w	(gm)	7.42	9.48	8.93	8.97	10.06
Weight of dry soil ²	W_{Ds}	(gm)	23.86	28.64	25.33	24.18	30.00
Water content ³	w	(%)	31.10	33.10	35.25	37.10	33.53

Note: 1. $W_w = W_{cws} - W_{cDs}$

2. $W_{Ds} = W_{cDs} - W_c$

3. $w = (W_w / W_{Ds}) * 100$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Sample of Calculation For Test No. 1

Weight of can = W_c = 17.33 gm

Weight of can + wet soil = W_{cws} = 48.61 gm

Weight of can + dry soil = W_{cDs} = 41.19 gm

Weight of water = W_w = 48.61 - 41.19 gm = 7.42 gm

Weight of dry soil = W_{Ds} = 41.19 - 17.33 gm = 23.86 gm

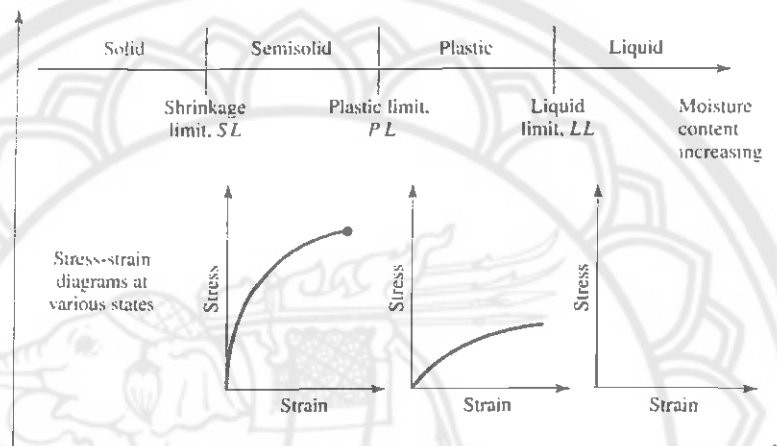
Water content, w = w = (7.42 gm/23.86 gm)* 100 %

= 31.10%

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

Water content เป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของดิน สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

9.1 เป็นตัวบ่งชี้ (index) ถึง strength และ deformation ของดิน โดยเฉพาะหากได้มีการรายงาน water content ไว้พร้อมกับ Liquid Limit, Plastic Limit และ Shrinkage Limit (ดังรูปที่ 10.1.3)



รูปที่ 10.1.3 Atterberg Limit (Das, 2001)

9.2 ใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวกับ Weight-Volume Relationship ในความสัมพันธ์ของสมการ $\gamma = (W/V) = (W_s + W_w)/V = W_s [1 + (W_w / W_s)] / V = W_s(1 + w) / V$

9.3 ใช้หาค่า Optimum Water Content ในการทดลองการบดอัด (Compaction) โดยวิธีการวิเคราะห์จากกราฟซึ่งมีค่า Dry Density เป็นแกนตั้ง และ Water Content (%) เป็นแกนนอน

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 สาครในฐานะของวิศวกรของบริษัท พัฒนา Civil Engineering Consultants จำกัด ที่ปรึกษาโครงการออกแบบก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดความจุ 1,200,000 ของ อบจ. สุโขทัย เพื่อใช้รองรับการขยายตัวของความต้องการปริมาณน้ำ ตามจำนวนนักท่องเที่ยว กำลังบรรยายสรุปและตอบข้อซักถามแก่ที่ประชุมระหว่างเจ้าของงาน ผู้รับเหมา และบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา

ในฐานะสาคร กรุณาตอบข้อซักถามอย่างสั้น (พร้อมแสดงเหตุผล, sketch ภาพ, หรือแสดงรายการคำนวณ เป็นหลักฐานประกอบ หากคิดว่าจะช่วยให้ท่านสามารถอธิบายให้ผู้อ่าน / ผู้ฟังเข้าใจได้ดีขึ้น) ต่อประเด็นที่ ปิยะณัฐ วิศวกรของ อบจ. สุโขทัย และวัลลภ วิศวกรของผู้รับเหมา ได้ตั้งคำถามดังนี้

10.1.1 หลังจากนำตัวอย่างทดสอบ (test specimen) ที่ใช้หา water content ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °c นานประมาณ 24 ชม.แล้ว จะไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในเนื้อดินตัวอย่างทดสอบดังกล่าวอีกต่อไป ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ ใช่ เพราะดื้ออบจะให้อุณหภูมิที่สูงจนสามารถทำให้น้ำที่อยู่ในดินระเหยออกไปหมดจนไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่

10.1.2 หลังจากนำตัวอย่างทดสอบ (test specimen) ที่ใช้หา water content ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °c นานประมาณ 15-24 ชม.แล้ว ปริมาณความชื้น ในเนื้อดินตัวอย่างทดสอบเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

ตอบ ปริมาณความชื้นในตัวอย่างทดสอบเป็นศูนย์ เพราะอุณหภูมิที่สูงถึง 105-110 ° ที่เวลานาน 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณความชื้นในตัวอย่างทดสอบระเหยออกไปหมด

10.1.3 ในตำแหน่งพื้นที่ก่อสร้าง ตามสถานภาพในธรรมชาติ (in-situ condition)ดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (groundwater table) คือ ดินที่อยู่ในสถานภาพ dry soil และมี water content เท่ากับ 0% ใช่หรือไม่

ตอบ ไม่ใช่ เพราะถึงแม้ดินจะอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า จะเป็นเพราะในอากาศหรือในสภาพแวดล้อมทุกๆ ที่มีความชื้นอยู่บ้าง ไม่มีทางที่ดินจะมี water content = 0 นอกจากในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

10.2 บุญเทและทิพรสได้นำตัวอย่างแบบคงสภาพ (undisturbed sample) จาก อ. ตรอน จ. อุตรดิตถ์ และ อ.สอง จ.แพร่ ไปทำการทดสอบหา water content (w) พบว่า ดินจากแหล่งอุตรดิตถ์ มี water content = 12% และดินจากแหล่งแพร่ มี water content = 13.5% สานิตยซึ่งเป็นผู้ร่วมทดลองได้ตั้งคำถามว่า “ดินจากแหล่งอุตรดิตถ์ ควรจะมีความแข็งแรงมากกว่าดินจากแหล่งแพร่ ใช่หรือไม่”

ในฐานะของชัยรัตน์ วิศวกรผู้รับผิดชอบการให้คำแนะนำ ในการทดสอบดังกล่าว ได้โปรดกรุณาให้ข้อคิดเห็นอย่างสั้นๆ ต่อดังกล่าวของสานิตย ว่าใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ ไม่ใช่ เพราะดินมีคุณสมบัติหลายอย่างที่จะต้องใช้ประกอบการพิจารณา เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ (γ), อัตราส่วนช่องว่าง (e), ความพรุน (n), ความหนาแน่น (ρ) และอื่น ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งชี้ว่า ดินจะมีลักษณะอย่างไร ดังนั้นจึงต้องทราบข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่กล่าวมาก่อน จึงจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าดินจากแหล่งใดแข็งแรงมากกว่ากัน



Test 2 Atterberg Limits Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

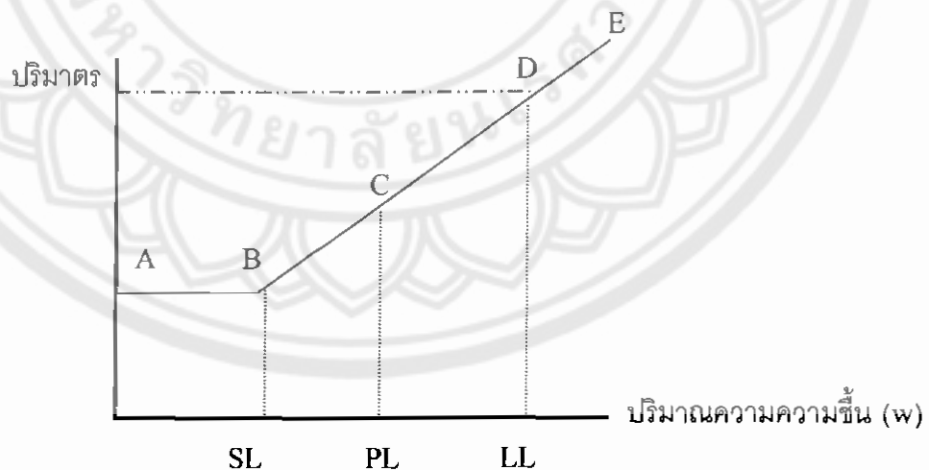
จิรัฐ ลักษณ์ละม้าย. คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง. 2544.
หน้า 21-35.

2. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อหาค่า Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL) และ Shrinkage Limit (SL) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Property) ของดิน เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (Water Content) กับการเปลี่ยนแปลงสถานะของดิน

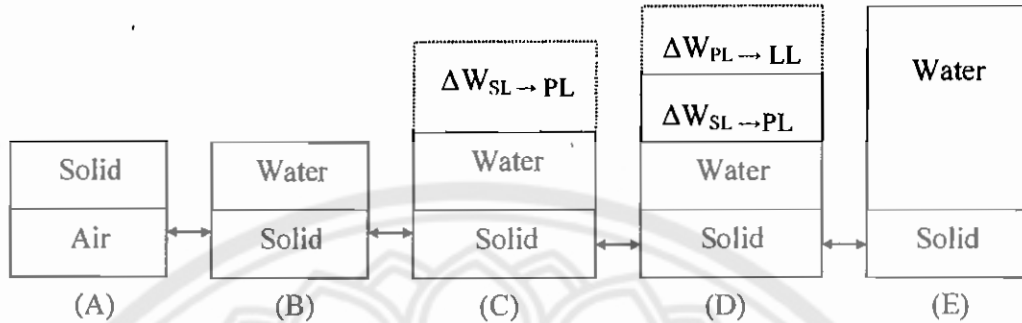
3. หลักการ (Principals)

พฤติกรรมของดินจะมีความสัมพันธ์ของปริมาณกับความชื้น (Water Content) ในดินด้วยรูปแบบที่ความชื้นจะค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้ดินมีปริมาณที่ลดลงอย่างเป็นปฏิภาคต่อกัน ซึ่งดินจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid State) เป็นพลาสติก (Plastic State) และกึ่งของแข็ง (Semi-Solid State) ตามลำดับ ดังรูป



รูปที่ 10.2.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณกับความชื้นในดิน

จากรูปที่ 10.1.1 จะแสดงในรูป Phase Diagram ณ ตำแหน่งต่างๆของดิน ดังนี้



รูปที่ 10.2.2 Atterberg Limits

- 3.1 ตัวอย่าง A ดินเหนียวผสมน้ำมีความชื้น (Water Content) สูง ดินมีลักษณะคล้ายของเหลว(Liquid State)
- 3.2 ตำแหน่ง B จุด Liquid Limit (LL) เป็นตำแหน่งที่ความชื้น (Water Content) ของดินขณะเปลี่ยนสภาพจากของเหลว (Liquid State) เป็นสารเหนียวตัวในสถานภาพพลาสติก (Plastic State)
- 3.3 ตำแหน่ง C จุด Plastic Limit (PL) เป็นตำแหน่งที่ความชื้น (Water Content) ของดินขณะเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติก (Plastic State) เป็นกึ่งของแข็ง (Semi-Solid State)
- 3.4 ตำแหน่ง D จุด Shrinkage Limit (SL) เป็นตำแหน่งที่ความชื้น (Water Content) ของดินเปลี่ยนสถานภาพจากกึ่งของแข็ง (Semi-Solid State) เป็นของแข็ง (Solid State) และจะไม่มีการหดตัวหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินอีก นั่นคือจะมีอากาศเข้ามาแทรกในดินแทนที่ปริมาณน้ำที่หายไป
- 3.5 ตำแหน่ง E เป็นสภาวะจากที่ดินไม่อุ้มตัวจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นไม่มีความชื้น (Water Content) เหลืออยู่ในดินเลย

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1. อุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit (LL) และ เครื่องมือบาก (Grooving Tool)

4.2. อุปกรณ์ทดสอบ Shrinkage Limit (SL) มีดังต่อไปนี้

4.2.1. ถ้วยเหล็ก (Dish)

4.2.2. แผ่นกระจกพร้อมขาเหล็ก (Prongs)

4.2.3. ปรอท (Mercury)

4.2.4. หลอดหยด

4.3. แผ่นแก้วขนาดใหญ่ใช้ทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL)

4.4. น้ำกลั่น

4.5. ตาชั่ง (Balance) ความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.1 กรัม

4.6. ตู้อบแห้ง (Oven)

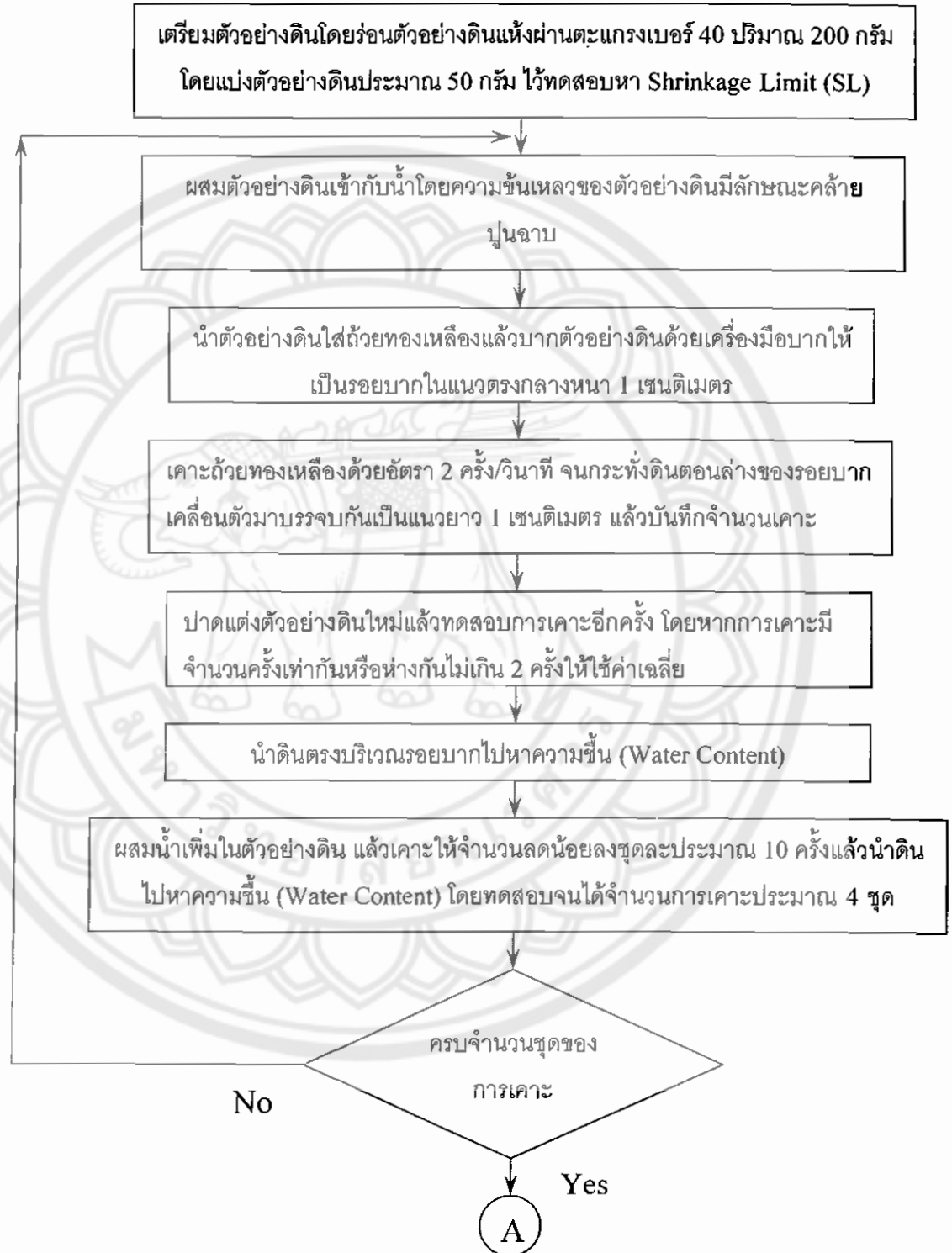
4.7. ถ้วยแก้ว หรือ กระป๋องใส่ดินตัวอย่าง (Can)

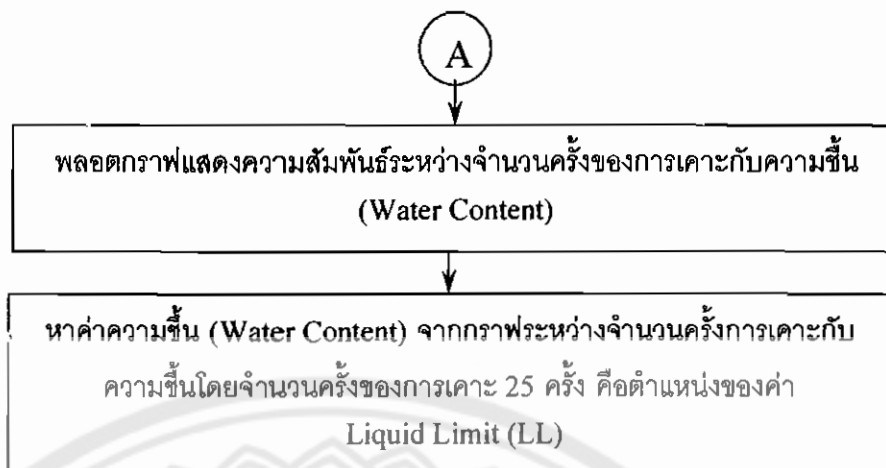
4.8. มีดไคดิน



5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 Liquid Limit





รูปที่ 10.2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่า Liquid Limit

หมายเหตุ

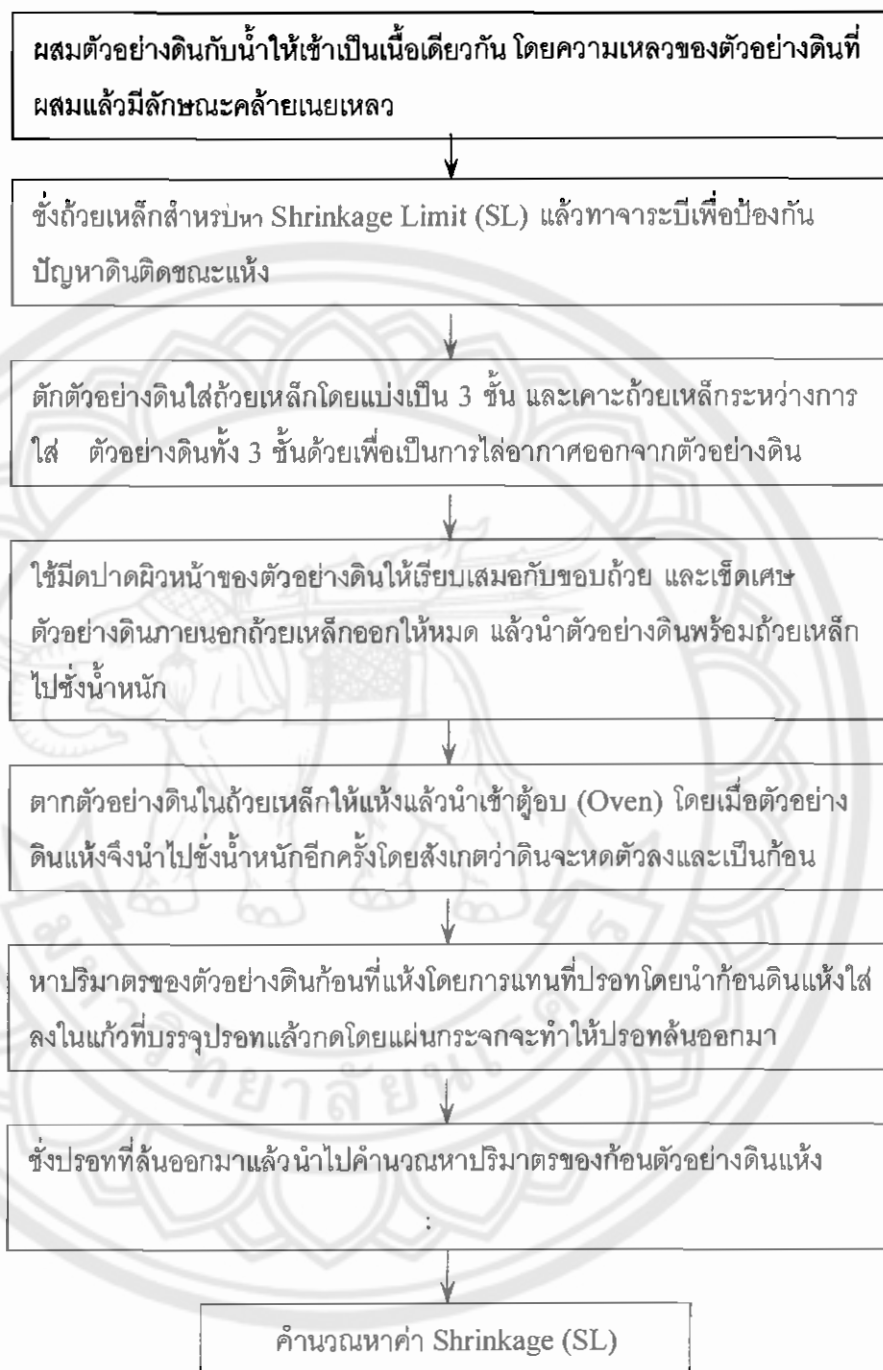
1. การเคาะชุดแรก ควรจะมีจำนวนครั้งของการเคาะประมาณ 40 – 50 ครั้ง เพื่อสะดวกต่อการทดสอบโดยเมื่อผสมน้ำเพิ่มเข้าไปในดินจะได้จำนวนครั้งของการเคาะที่ลดลง
2. ในการเคลื่อนตัวของดินมาบรรจบกัน ควรพิจารณาว่าตึกไม้ใช้การเคลื่อนตัวระหว่างดินกันด้วยเพราะลักษณะของการเคลื่อนตัวของดินเช่นนี้ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงภายในของดิน ดังนั้นในการทดสอบดินที่อยู่รอบๆจะต้องยึดอยู่กับผิวด้วยเช่นเดิม
3. จำนวนครั้งของการเคาะครั้งสุดท้ายควรประมาณ 5 – 10 ครั้งเพื่อสะดวกต่อการพลอตกราฟโดยกราฟจะครอบคลุมช่วงของจำนวนการเคาะที่ต้องการหาได้ (จำนวนครั้งของการเคาะ 25 ครั้ง)

5.2. Plastic Limit



รูปที่ 10.2.4 แสดงขั้นตอนการหาค่า Plastic Limit

5.3. Shrinkage Limit



รูปที่ 10.2.5 แสดงขั้นตอนการหาค่า Shrinkage Limit

หมายเหตุ

ในการหาปริมาณของก้อนดินแห้งด้วยการแทนที่ปรอทต้องใช้แผ่นกระจกกดไล่ปรอทให้ระดับผิวหน้าเสมอกับขอบถ้วยเสียก่อน แล้วจึงใส่ก้อนดินแห้งลงไปถ้วยเหล็กกับปรอทนั้น

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 ข้อมูลที่จะต้องวัดสำหรับการทดลอง Liquid Limit

6.1.1 จำนวนการเคาะถ้วยทองเหลือง (No. of blows)

6.1.2 น้ำหนัก Can (W_C)

6.1.3 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})

6.1.4 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

6.2 ข้อมูลที่จะต้องวัดสำหรับการทดลอง Plastic Limit

6.2.1 น้ำหนัก Can (W_C)

6.2.2 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})

6.2.3 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

6.3 ข้อมูลที่จะต้องวัดสำหรับการทดลอง Shrinkage Limit

6.3.1 น้ำหนัก Dish (W_D)

6.3.2 น้ำหนัก Dish และ Mercury (W_{DM})

6.3.3 น้ำหนัก Dish และ (ดินเปียก) test specimen (W_{DWS})

6.3.4 น้ำหนัก Dish และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{DDS})

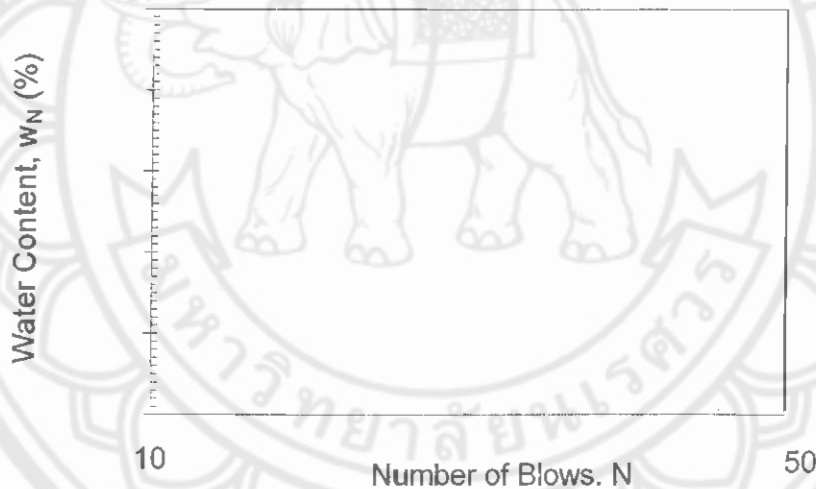
6.3.5 น้ำหนัก Dish และ Remaining Hg (W_{DRM})

Soil Description	_____	Project	_____
	_____	JOB NO	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____

Liquid Limit Determination

Test No		1	2	3	4	5
Container No.						
No. of blows	N					
Mass of can,	W_C (gm)					
Mass of can + wet soil,	W_{CWS} (gm)					
Mass of can + dry soil,	W_{CDS} (gm)					
Mass of water	W_W^1 (gm)					
Mass of dry soil	W_{DS}^2 (gm)					
Water content,	w^3 (%)					

Note: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$ 2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$ 3. $w_N = (W_W/W_{DS}) * 100$



Plastic Limit Determination

Test No		1	2	Average
Container No.				
Mass of can,	W_C (gm)			
Mass of can + wet soil,	W_{CWS} (gm)			
Mass of can + dry soil,	W_{CDS} (gm)			
Mass of water,	W_W^1 (gm)			
Mass of dry soil,	W_{DS}^2 (gm)			
PL = $\%w_p = M_W/M_{DS} * 10$	(%)			

LL = _____ %
 PL = _____ %
 PI = _____ %

Shrinkage Limit

Soil Description	_____	Project	_____
	_____	Job No	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Shrinkage Limit Determination

Test No.	1	2	3	4
<i>Find Initial Water Content, w_o</i>				
Dish No				
Mass of dish, W_D (gm)				
Mass of dish + mercury (Hg), W_{DM} (gm)				
Mercury mass in dish = $M_{DM} - M_D$, W_M (gm)				
Vol. of dish = M_M / ρ_M , V_D (cc)				
Mass of dish + wet soil, W_{DWS} (gm)				
Mass of wet soil = $M_{DWS} - M_D$, W_{WS} (gm)				
Mass of dish + dry soil, W_{DDS} (gm)				
Mass of water = $M_{DWS} - M_{DDS}$, W_W (gm)				
Mass of dry soil = $M_{DDS} - M_D$, W_{DS} (gm)				
Initial water content, w_o (%)				
<i>Find Water Content Lost to Shrinkage Limit, w_{LS}</i>				
<i>Determine the Volume of Dry Soil Cake</i>				
Mass of dish + mercury (Hg), W_{DM} (gm)				
Mass of dish + remaining Hg, W_{DRM} (gm)				
Hg mass displaced by dry soil, W_{MDS} (gm)				
Vol. of dry soil cake, V_{DS} (cc)				
<i>Compute the Volume of Soil Decreased to Shrinkage Limit and lost %w</i>				
Vol. Soil Decreased to SL, V_{SDS} (cc)				
%w lost to SL, w_{LS} (%)				
Shrinkage Limit = $w_o - w_{LS}$, SL (%)				
Average Shrinkage Limit				

Note: 1. $V_D = W_M / \rho_M = W_M / 13.53 \text{ gm/cc}$

2. $w_o = W_W / W_{DS} * 100$

3. $W_{MDS} = W_{DM} - W_{DRM}$

5. $V_{SDS} = V_D - V_{DS}$

6. $w_{LS} = V_{SDS} * \rho_W / W_{DS} * 100$

7. $SL = w_o - w_{LS}$

Shrinkage Limit

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		Checked By	_____

Shrinkage Limit Determination

Test No.		1	2	3	4
<i>Find Initial Water Content, w_o</i>					
Dish No		700	800		
Mass of dish, W_D (gm)		10.43	10.50		
Mass of dish + mercury (Hg), W_{DM} (gm)		25.38	24.76		
Mercury mass in dish = $M_{DM} - M_D$, W_M (gm)		14.95	14.26		
Vol. of dish = M_M / ρ_M , V_D (cc)		1.10	1.05		
Mass of dish + wet soil, W_{DWS} (gm)		37.91	36.80		
Mass of wet soil = $M_{DWS} - M_D$, W_{WS} (gm)		27.48	26.30		
Mass of dish + dry soil, W_{DDS} (gm)		31.85	31.56		
Mass of water = $M_{DWS} - M_{DDS}$, W_W (gm)		6.06	5.24		
Mass of dry soil = $M_{DDS} - M_D$, W_{DS} (gm)		21.42	21.06		
Initial water content, w_o (%)		28.29	24.88		
<i>Find Water Content Lost to Shrinkage Limit, w_{LS}</i>					
<i>Determine the Volume of Dry Soil Cake</i>					
Mass of dish + mercury (Hg), W_{DM} (gm)		25.38	24.43		
Mass of dish + remaining Hg, W_{DRM} (gm)		20.12	21.12		
Hg mass displaced by dry soil, W_{MDS} (gm)		5.26	3.31		
Vol. of dry soil cake, V_{DS} (cc)		0.39	0.24		
<i>Compute the Volume of Soil Decreased to Shrinkage Limit and lost %w</i>					
Vol. Soil Decreased to SL, V_{SDS} (cc)		0.72	0.81		
%w lost to SL, w_{LS} (%)		3.34	3.84		
<i>Shrinkage Limit = $w_o - w_{LS}$, SL (%)</i>					
		24.95	21.04		
Average Shrinkage Limit					
		22.99			

- Note: 1. $V_D = W_M / \rho_M = W_M / 13.53 \text{ gm}$ 6. $w_{LS} = V_{SDS} * \rho_w / W_{DS} * 100$
 2. $w_o = W_w / W_{DS} * 100$ 7. $SL = w_o - w_{LS}$
 3. $W_{MDS} = W_{DM} - W_{DRM}$
 4. $V_{DS} = W_{MDS} / \rho_M = W_{MDS} / 13.53 \text{ gm/cc}$
 5. $V_{SDS} = V_D - V_{DS}$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Liquid Limit Determination (use data of Test No. 1)

8.1.1 Compute water content (% w)

$$\begin{aligned} \% w &= \frac{\text{Weight of water}}{\text{Weight of dry soil}} * 100 \\ &= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_w &= (\text{Weight of can + wet soil}) - (\text{Weight of can + dry soil}) \\ &= W_{CWS} - W_{CDS} \\ &= 48.61 - 41.19 \quad \text{gm} \\ &= 7.42 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DS} &= (\text{Weight of can + dry soil}) - (\text{Weight of can}) \\ &= W_{CDS} - W_c \\ &= 41.19 - 17.33 \quad \text{gm} \\ &= 23.86 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% w &= \frac{7.42}{23.86} * 100 \\ &= 31.10 \end{aligned}$$

8.1.2 Plot flow curve as shown in Fig. Of Liquid Limit Determination, using %

8.1.3 Graphically, find liquid limit (LL) from %w @ N = 25 blows

$$LL = \quad \% \quad (\text{see Fig.})$$

8.2 Plastic Limit Determination (use data of Test No. 1)

8.2.1 Computer water content(%w)

$$\%w = \frac{\text{Weight of water}}{\text{Weight of dry soil}} * 100$$

$$= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100$$

$$W_w = (\text{Weight of can + wet soil}) - (\text{Weight of can + dry$$

$$= W_{CWS} - W_{CDS}$$

$$= 29.26 - 27.90 \quad \text{gm}$$

$$= 1.36 \quad \text{gm}$$

$$W_{DS} = (\text{Weight of can + wet soil}) - (\text{Weight of can})$$

$$= W_{CWS} - W_C$$

$$= 27.90 - 20.63 \quad \text{gm}$$

$$= 7.27 \quad \text{gm}$$

$$\%w = \frac{1.36}{7.27} * 100$$

$$= 18.71$$

8.2.2 Plastic Limit = Avg %w

$$= (18.71 + 19.06) \% / 2$$

$$= 18.89 \quad \%$$

8.2.3 Plastic Index , PI

$$PI = (\text{Liquid Limit}) - (\text{Plastic Limit})$$

$$= 33.4 - 18.89 \quad \%$$

$$= 14.51 \quad \%$$

8.3 Shrinkage Limit Determination (use data of Test No. 1)

8.3.1 Mercury weight in dish, W_M

$$\begin{aligned}
 W_M &= (\text{weight coat dish} + \text{Hg}) - (\text{weight of coat dish}) \\
 &= W_{DM} - W_D \\
 &= 25.38 - 10.43 \quad \text{gm} \\
 &= 14.95 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3.2 Vol. Of dish, V_D

$$\begin{aligned}
 V_D &= (\text{mercury weight in dish}) / (\text{density of Mercury}) \\
 &= \frac{W_M}{\rho_M} \\
 &= \frac{14.94 \quad \text{gm.cc}}{13.53 \quad \text{gm}} \\
 &= 1.10 \quad \text{cc}
 \end{aligned}$$

8.3.3 Weight of wet soil, W_{ws}

$$\begin{aligned}
 W_{ws} &= (\text{weight of coated dish} + \text{wet soil}) - (\text{weight of coated dish}) \\
 &= W_{DWS} - W_D \\
 &= 37.91 - 10.43 \quad \text{gm} \\
 &= 27.48 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3.4 Weight of water, W_w

$$\begin{aligned}
 W_w &= (\text{Weight of coated dish} + \text{wet soil}) - (\text{Weight of coated dish} + \text{dry soil}) \\
 &= W_{DWS} - W_{DNS} \\
 &= 37.91 - 31.85 \quad \text{gm} \\
 &= 6.06 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3.5 Weight of dry soil, W_{ds}

$$\begin{aligned}
 W_{ds} &= (\text{Weight of coated dish} + \text{dry soil}) - (\text{Weight of coated dish}) \\
 &= W_{DNS} - W_D \\
 &= 31.85 - 10.43 \quad \text{gm} \\
 &= 21.42 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3.6 Initial water content, w_o

$$\begin{aligned}
 \%w_o &= \frac{\text{Weight of water}}{\text{Weight of dry soil}} * 100 \\
 &= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100 \\
 &= \frac{6.06}{21.42} * 100 \quad \frac{\text{gm}}{\text{gm}} \\
 &= 28.29
 \end{aligned}$$

8.3.7 Hg Weight displaced by dry soil, W_{MDS}

$$\begin{aligned}
 W_{MDS} &= (\text{Weight coated dish + Hg}) - (\text{Weight coated dish + remaining Hg}) \\
 &= W_{DM} - W_{DRM} \\
 &= 25.38 - 20.12 \quad \text{gm} \\
 &= 5.26 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3.8 Vol. Of dry soil cake, V_{DS}

$$\begin{aligned}
 V_{DS} &= \frac{\text{Hg Weight displaced by dry soil}}{\text{density of Hg}} \\
 &= \frac{W_{MDS}}{\rho_M} \\
 &= \frac{5.26}{13.53} \quad \frac{\text{gm}}{\text{gm/cc}} \\
 &= 0.39 \quad \text{cc}
 \end{aligned}$$

8.3.9 Vol. Soil decrease to SL, V_{SDS}

$$\begin{aligned}
 V_{SDS} &= \text{vol. Of dish} - \text{vol. Of dry soil cake} \\
 &= V_D - V_{DS} \\
 &= 1.10 - 0.39 \quad \text{cc} \\
 &= 0.71 \quad \text{cc}
 \end{aligned}$$

8.3.10 %W lost to SL, W_{IS}

$$\begin{aligned}
 W_{IS} &= \frac{V_{SDS} * \rho_w}{W_{DS}} * 100 \\
 &= \frac{0.71 * 1}{21.42} * 100 \quad \frac{\text{cc.gm}}{\text{gm.cc}} \\
 &= 3.31 \quad \%
 \end{aligned}$$

8.3.11 Shrinkage Limit, SL

$$\begin{aligned}
 SL &= \text{Initial water content} - \%w \text{ lost to SL} \\
 &= W_0 - W_{Ls} \\
 &= 28.29 - 3.34 \\
 &= 24.95
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Use)

9.1 ใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าทรุดตัวของดิน

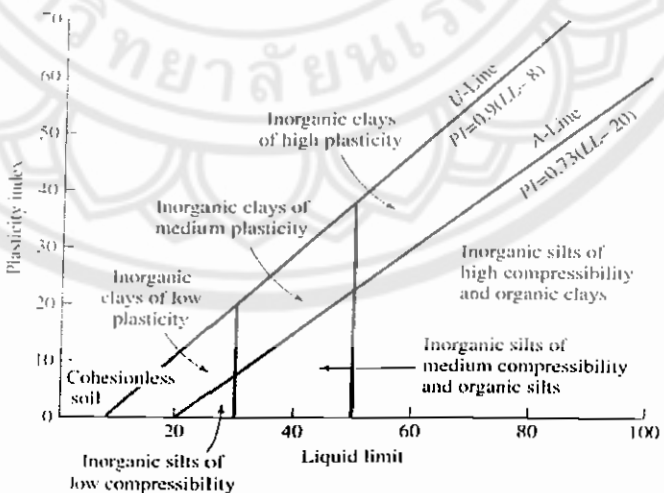
จากความสัมพันธ์ของ Terzaghi and Peck (1948) สำหรับดินเหนียว Normally Consolidated Clay, NCC จะได้ดัชนีอัดตัว (Compression Index), $C_c = 0.009(LL - 10)$ และสำหรับ Overconsolidation สามารถประมาณความเป็นดินอัดตัวเกิน (Overconsolidation) ของดินเหนียวจากค่าดัชนีเหลว (Liquidity Index), $LI = (W_o - PL) / PI$

9.2 ใช้ค่า Plastic Index, PI กำหนดคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง

การใช้ค่า PI เป็นข้อกำหนดในการคัดเลือกวัสดุสำหรับใช้บดอัดชั้นต่างๆของถนนอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถประมาณคุณสมบัติต่างๆ ของดินได้จากค่า PI

9.3 การจำแนกชนิดของดินด้วยค่าพิกัดจาก Atterberg Limit

ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นคุณสมบัติพิเศษที่สามารถใช้จำแนกชนิดของดินเม็ดละเอียด ดังรูป



รูปที่ 10.2.6 แผนภูมิความเหนียว(Plasticity chart) (DAS, 2001)

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 กรุณาอธิบายอย่างสั้นๆ ว่า วัตถุประสงค์ของการทดสอบ hydrometer analysis เหมือนกับ และ/หรือแตกต่างกับวัตถุประสงค์ของการทดสอบ Atterberg's limit อย่างไร?

ตอบ แตกต่าง เพราะวัตถุประสงค์ของการทดสอบ hydrometer analysis นั้น เพื่อต้องการหาขนาดของดินพวกเม็ดละเอียด ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป ซึ่งเป็นเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แต่วัตถุประสงค์ของการทดสอบ Atterberg's limit นั้นเพื่อต้องการหาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนน้ำหรือปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งสองวิธีต่างก็นำไปใช้ในการจำแนกประเภทของดิน

10.2 กรุณาอธิบายโดยสรุปว่าประโยชน์ของ liquid limit และ plastic limit test คืออะไร

ตอบ Liquid limit และ Plastic Limit เป็นคุณสมบัติพิเศษที่สามารถใช้จำแนกชนิดของดินเม็ดละเอียด โดยในการจำแนกประเภทของดินจะต้องหาค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index ; PI) และพิกัดความเหลว (Liquid Limit ; LI) ของดินจากนั้นนำไป ลงจุดในแผนภูมิความเหนียว (Plasticity Chart) จึงจะทราบชนิดของดิน

จากรูปที่ 10.2.6 สามารถอธิบายการใช้งานของ chart ได้อย่างกว้างๆ ดังนี้

- 1) เส้นกราฟ A-Line มีสมการ $PI = 0.73(LL - 20)$ เป็นเส้นที่ใช้ในการแบ่งแยก Inorganic clay ออกจาก Inorganic silts โดย Inorganic clay จะอยู่เหนือเส้น A-Line และ Inorganic silts จะอยู่ใต้เส้น A-Line
- 2) เส้นแนวตั้งที่ Liquid Limit = 50 % สามารถบ่งบอกความเป็น Low Plasticity หรือ High Pasticity ของดินซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งสำหรับการจัดแบ่งชนิดของดินได้ โดย
 - Low Plasticity มีค่า Liquid Limit น้อยกว่า 50 %
 - High Pasticity มีค่า Liquid Limit มากกว่า 50 %

10.3 ผลการทดสอบ liquid limit และ plastic limit พบว่าดินตัวอย่างทดสอบมีค่า $LL = 100\%$ และ $PL = 80\%$ หากผลการเจาะสำรวจดินในสนามพบว่าความชื้นในเนื้อดินตามธรรมชาติมีค่า = 110% หมายความว่าดินในสนามอยู่ในสภาพของเหลว (liquid) ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ จากการคำนวณหาค่า

$$\begin{aligned} \text{Liquidty Index (L.I.)} &= (W_n - P.L.) / P.I. \\ &= (W_n - P.L.) / (L.L. - P.L.) \\ &= (110 - 80) / (100 - 80) \\ &= 1.5 \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ค่า Liquidty Index (L.I.) คือ 1.5 จึงสรุปได้ว่า ถ้าดินนี้อยู่ในสภาพ Undisturbed ดินนี้จะสามารถอยู่ได้มั่นคง แต่ถ้าถูกรบกวนหรือถูกกระทบทันทีทันใดนั้น ดินนี้จะกลายเป็นของเหลว ไหลไปได้เหมือนโคลน เรียกว่า Quick clay หรือ Sensitive

Test 3 Specific Gravity Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

จิรัฐ ลักษณะละม้าย. คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง. 2544.
หน้า 36-46.

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

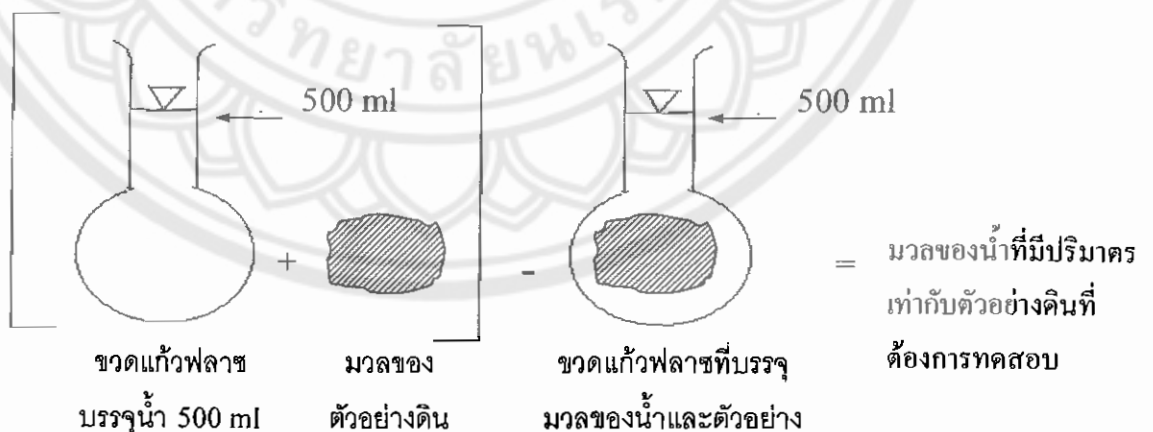
เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid) ในตัวอย่างดินซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวประเภทหนึ่งของดิน

3. หลักการ (Principals)

ความถ่วงจำเพาะของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid) ในตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของตัวอย่างดินนั้นต่อน้ำหนักของน้ำที่ระดับอุณหภูมิ 4 °c โดยที่ทั้งตัวอย่างดินและน้ำมีปริมาตรเท่าๆกัน

$$\text{ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้มาจาก } G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{W_s / V_s}{W_w / V_w} = \frac{W_s}{W_w}$$

โดย W_w หาได้จากมวลของน้ำที่ล้นออกมาจากขวดแก้วฟลาคซ์ (Volumetric Flask) เมื่อถูกแทนที่ด้วยมวลดินที่ใส่ลงไป แต่ในความเป็นจริงการทดสอบเพื่อหามวลของน้ำส่วนนี้ทำได้ลำบาก ดังนั้นจึงหา M_w ได้โดย



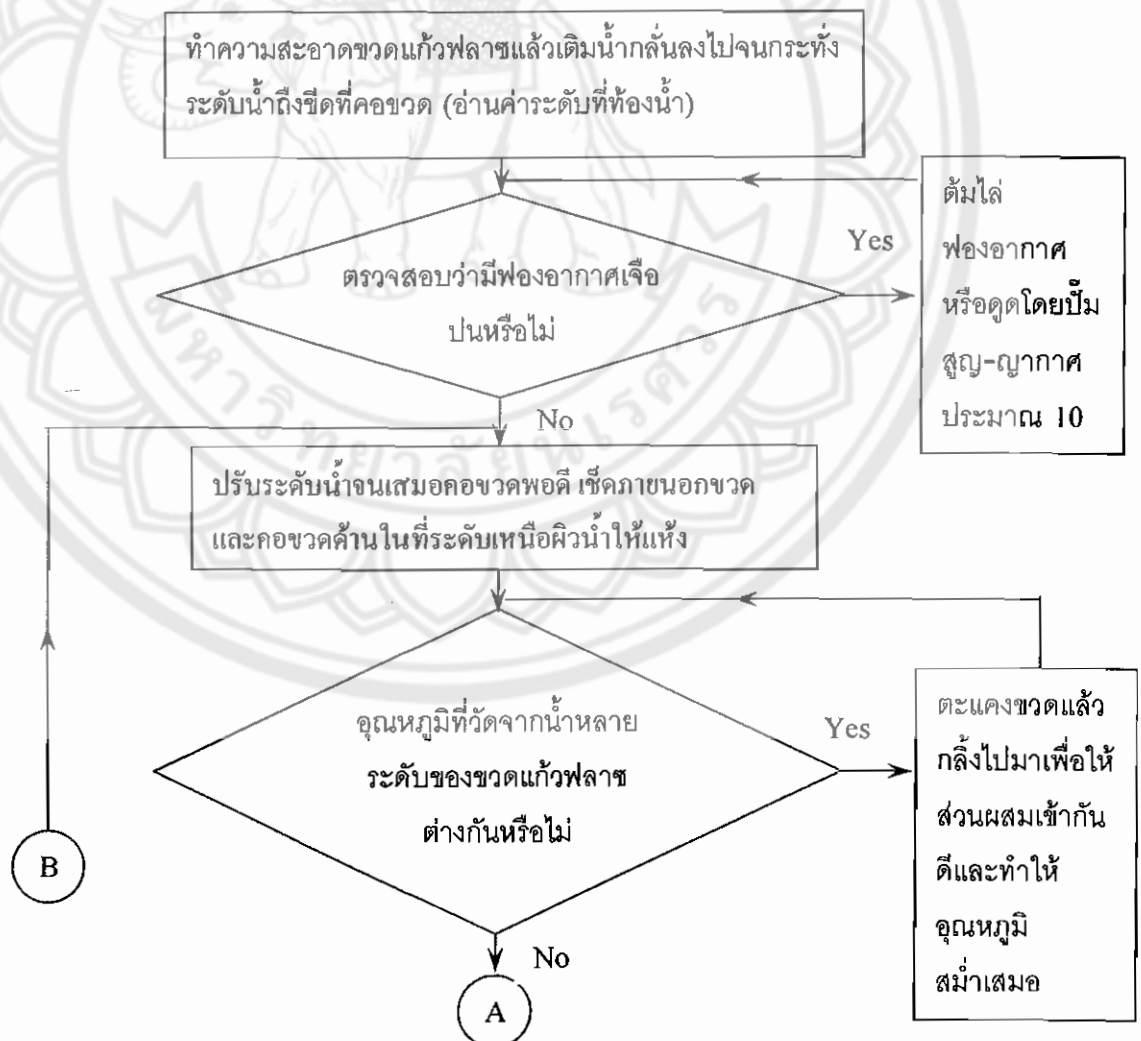
รูปที่ 10.3.1 แสดงหลักการทดสอบหา Specific Gravity

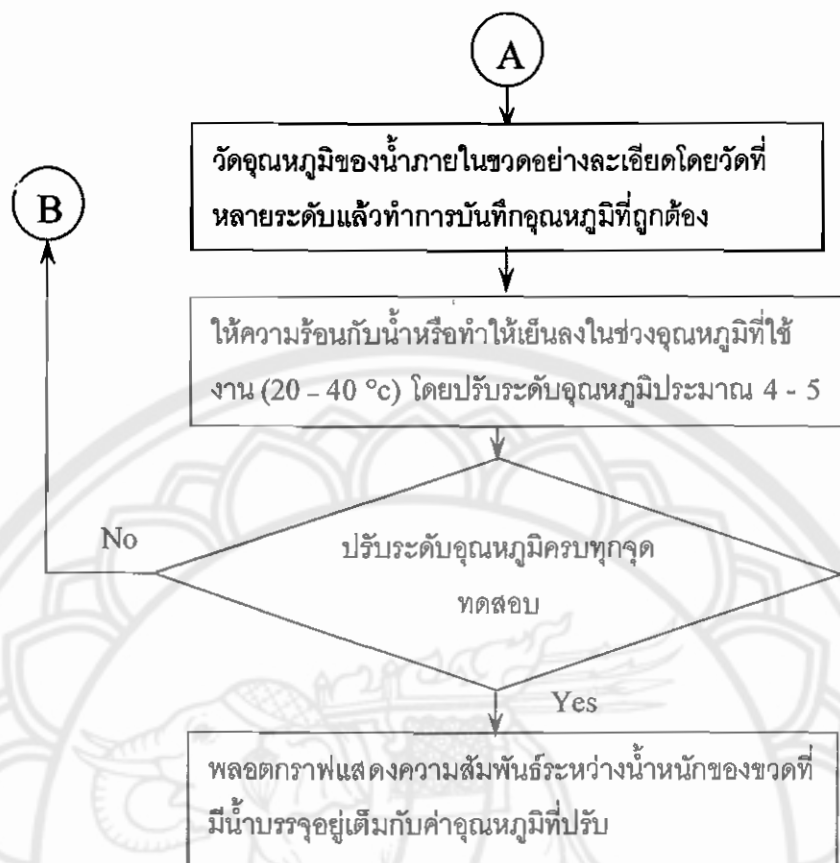
4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1 ขวดแก้วฟลาชก้นแบน ขนาดความจุ 500 ซม³
- 4.2 น้ำกลั่น
- 4.3 เตาบนเส้นหรือเตาแผ่นร้อน (Hot Plate)
- 4.4 ตาชั่ง (Balance) ความละเอียด 0.01 กรัม
- 4.5 ตู้อบ
- 4.6 เครื่องมือดูดความชื้น
- 4.7ปรอท (Mercury) ละเอียดถึง 0.1°C
- 4.8 ภาชนะเหย
- 4.9 หลอดหยด (Dropper) หรือปิเปต

5. วิธีการทดลอง (Method)

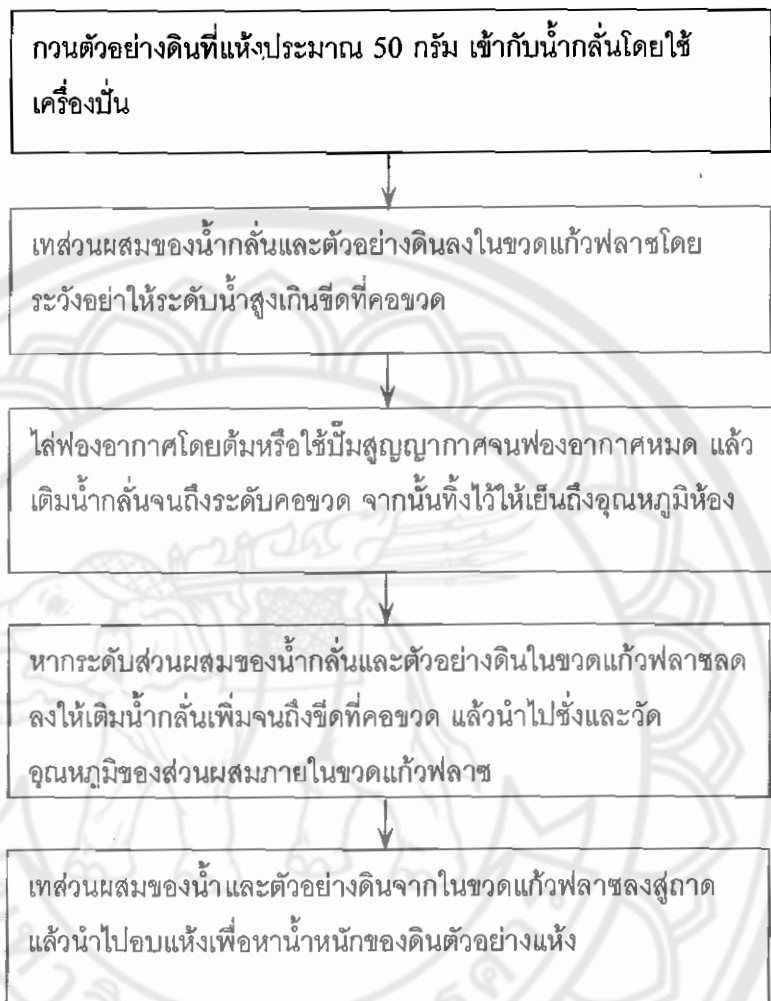
- 5.1 การทำกราฟเทียบหาน้ำหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ (Calibraion)





รูปที่ 10.3.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหากกราฟเทียบหาน้ำหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

5.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.3.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน

หมายเหตุ

การเทส่วนผสมของน้ำและตัวอย่างดินจะต้องเทให้หมด โดยวิธีการใช้น้ำกลั่นล้างตัวอย่างดินที่ ติดอยู่ในภาชนะออกให้หมดเพราะมวลดินที่อยู่ในส่วนผสมของน้ำกลั่นและตัวอย่างดินจะสูญหายไป ในระหว่างการเทจากภาชนะหนึ่งไปสู่อีกภาชนะหนึ่งหากไม่ระมัดระวังในขั้นตอนการเทตัวอย่าง

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

ข้อมูลที่จะต้องวัด สำหรับแต่ละตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย

6.1 อุณหภูมิ Temperature (T)

6.2 น้ำหนักของขวดแก้วฟลาค, น้ำ และ ตัวอย่างดิน (W_{FWS})

6.3 น้ำหนักของขวดแก้วฟลาค และน้ำ (W_{FW})

6.4 น้ำหนัก Dish และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{DDS})

6.5 น้ำหนัก Dish (W_D)

6.6 Observed temperature for Volumetric Flask Calibration (T)



Soil Description	_____	Project	_____
	_____	Job No	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Test No	01	02	03	04
Flask No	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007
Temperature, T (°C)				
Mass of flask+water+soil @ T, W _{FWS} (gm)				
Mass of flask + water @ T, ¹ W _{FW} (gm)				
Evaporating dish no				
Mass of dish + dry soil, W _{DDS} (gm)				
Mass of dish, W _D (gm)				
Mass of dry soil, W _{DS} (gm)				
Specific gravity of soil @ T, ² G _T				
Average G _T				

Compute G @ T = 20°C

Temp. correc. fac. to G ₂₀ 0c, ³ K				
Specific gravity of soil @ 20°C, ⁴ G ₂₀				
Average G _T				

Compute G @ T = 4°C

Specific gravity of water @ T, ⁵ G _{WT}				
Specific gravity of soil @ 4°C, ⁶ G _S				
Average G _T				

Note: 1. Obtained via flask calibration curve at temperature = T (Data Sheet No: SG 2/2)

$$2. G_T = W_{DS} / (W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS})$$

where $(W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS}) = \text{mass of water having same volume as soil used in test}$

$$3. K = r_{WT} / r_{W20}, \text{ obtained via Tab 1 in ASTM D-854}$$

$$4. G_{20} = G_T * K$$

$$5. G_{WT} = r_{WT} \text{ because } r_{W40C} = 1 \text{ gm/cc, obtained via Tab 1 in ASTM D-854 or}$$

Tab 6-1 Properties of Distilled Water in Bowles (1992)

$$6. G_S = G_{WT} * G_T, G_{WT} = r_{WT} / r_{W4}, \text{ obtained via Tab 1 in ASTM D-854}$$

Soil Sample	_____	Project	_____
	_____	Job No	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Flask Calibration No	01	02	03	04	05
Flask No	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007
Observed temperature, T (°c)					
Weight of flask+water @T _{FW} (gm)					

Mass of Flask+Water@T, W_{FW} (gm)



Temperature, T (°c)

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test Results)

Soil Description	_____	Project	_____
	_____	Job No	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Test No	01	02	03	04
Flask No	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007
Temperature, T (°C)	32.00	34.00		
Weight of flask+water+soil @ T, W _{FWS} (gm)	686.50	684.30		
Weight of flask + water @ T, ¹ W _{FW} (gm)	656.03	655.60		
Evaporating dish no	5	6		
Weight of dish + dry soil, W _{DDS} (gm)	408.70	397.50		
Weight of dish, W _D (gm)	358.80	355.43		
Weight of dry soil, W _{DS} (gm)	49.90	42.07		
Specific gravity of soil @ T, ² G _T	2.57	3.15		
Average G _T	2.86			

Compute G @ T = 20°C

Temp. correc. fac. to G ₂₀ @ 20°C, ³ K	0.99687	0.99687		
Specific gravity of soil @ 20°C, ⁴ G ₂₀	2.560	3.137		
Average G _T	2.848			

Compute G @ T = 4°C

Specific gravity of water @ T, ⁵ G _{WT}	0.99511	0.99511		
Specific gravity of soil @ 4°C, ⁶ G _S	2.556	3.131		
Average G _T	2.843			

Note: 1. Obtained via flask calibration curve at temperature = T (Data Sheet No: SG 2/2)

2. $G_T = W_{DS} / (W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS})$

where $(W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS}) =$ Weight of water having same volume as soil used in test

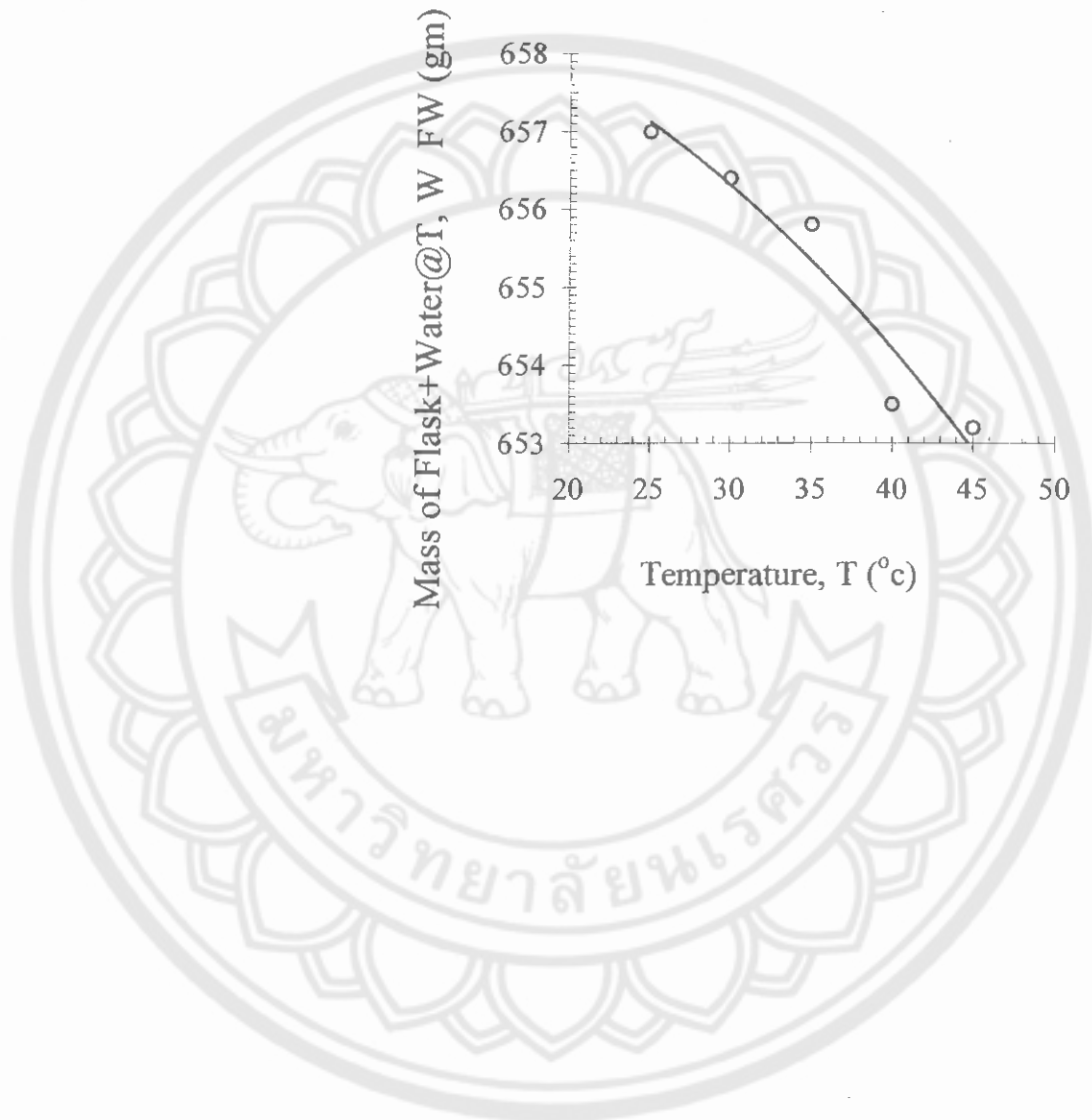
3. $K = r_{WT} / r_{W20}$, obtained via Tab 1 in ASTM D-854

4. $G_{20} = G_T * K$

5. $G_{WT} = r_{WT}$ because $r_{W40C} = 1$ gm/cc, obtained via Tab 1 in ASTM D-854 or Tab 6-1 Properties of Distilled Water in Bowles (1992)

6. $G_S = G_{WT} * G_T$, $G_{WT} = r_{WT} / r_{W4}$, obtained via Tab 1 in ASTM D-854

Flask Calibration No	01	02	03	04	05
Flask No	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007	fl-007
Observed temperature T (°C)	45.0	40.0	35.0	30.0	25.0
Weight of flask+water W_{F+T} (gm)	653.2	653.5	655.8	656.4	657.0



8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Sample of Calculation

Specific Gravity Test (use data of test No. 1)

8.1 Weight of dry soil , W_{DS}

$$\begin{aligned}
 W_{DS} &= (\text{Weight of dish + dry soil}) - (\text{Weight of dish}) \\
 &= W_{DNS} - W_D \\
 &= 408.7 - 358.8 \quad \text{gm} \\
 &= 49.90 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.2 Specific gravity of soil @T , G_T

$$\begin{aligned}
 G_T &= \frac{\text{Weight of dry soil}}{[(\text{W. of dry soil})+(\text{M. of flask+water})-(\text{W. of flask+water+soil})]} \\
 &= \frac{W_{DS}}{(W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS})} \\
 &= \frac{49.90}{(49.90 + 655.94 - 686.5)} \quad \frac{\text{gm}}{\text{gm}} \\
 &= 2.58
 \end{aligned}$$

8.3 Temp. correc. Fac. To $G_{20} 0_c$, K

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\text{density of water at } T^{\circ} \text{c}}{\text{density of water at } 20^{\circ} \text{c}} \\
 &= \frac{\gamma_{WT}}{\gamma_{W20}} \\
 &= \frac{0.99511}{0.99823} \quad \frac{\text{gm mL}}{\text{mL gm}} \\
 &= 0.99687
 \end{aligned}$$

8.4 Specific gravity of soil @ 20°c , G_{20}

$$\begin{aligned}
 G_{20} &= \text{specific gravity of soil @T} * (\text{temp. correc. Fac. To } G_{20c}) \\
 &= G_T * K \\
 &= 2.58 * 0.99687 \\
 &= 2.572
 \end{aligned}$$

8.5 Specific gravity of water @ T, G_{WT}

$$\begin{aligned}
 G_{WT} &= \frac{\text{density of water at } T^{\circ} \text{ c}}{\text{density of water at } T^{\circ} 4 \text{ c}} \\
 &= \frac{\rho_{WT}}{\rho_{W4}} \quad \text{โดย } \rho_{W4} = 1 \text{ gm/cc} \\
 &= \frac{0.99511}{1} \quad \frac{\text{gm cc}}{\text{cc gm}} \\
 &= 0.99511
 \end{aligned}$$

8.6 Specific gravity of soil @ 4° C , G_s

$$\begin{aligned}
 G_s &= G_{WT} * G_T \\
 &= 0.9951 * 2.581 \\
 &= 2.567
 \end{aligned}$$



9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

นับเป็นความเป็นไปได้ที่น้อยมากที่จะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เพื่อเป็นประโยชน์ในการจำแนกชนิดของดินทางวิศวกรรม แต่ข้อมูลของค่าความถ่วงจำเพาะ (G_s) นี้มีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติทางด้านอื่นๆ ของดิน อันได้แก่

9.1 การใช้ประกอบการคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) และค่า

เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ของการหา Zero-air-void unit weight (γ_{ZAV}) ในการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction) ดังนี้

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} = \frac{\gamma_w}{\frac{w + 1}{G_s}}$$

ตัวอย่างเช่น ดินบดอัดมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้. $G_s = 2.72$, $w = 18\%$ จงหา Zero-air-void unit weight (γ_{ZAV})

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \gamma_{ZAV} &= \frac{\gamma_w}{\frac{w + 1}{G_s}} \\ &= \frac{62.4 \text{ lb/ft}^3}{\frac{18 + 1}{100} \cdot 2.72} \\ &= 113.9 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

9.2 ใช้ในการคำนวณหาขนาดเม็ดดิน (Particle size analysis) โดยการทดสอบการตกตะกอน (Hydrometer Test) ของตัวอย่าง

9.3 การใช้ประกอบการคำนวณหาค่าความพรุน (Porosity) และค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) ยกตัวอย่างความสัมพันธ์เช่น $e = (G_s \gamma_w) / \gamma_d - 1$

9.4 มีความสำคัญสำหรับการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction) โดยการมีส่วนร่วมในการคำนวณ เช่นการคำนวณหา Density (γ) ต่างๆของตัวอย่าง

9.5 ใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของการยุบตัวของดิน (Consolidation)

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 บุญเทและพิเชิร เจ้าของบริษัท สองแควทดสอบวัสดุ จำกัด ได้รับเหมางานทดสอบ เพื่อหาค่า specific gravity ของดินตัวอย่าง จำนวน 630 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากพื้นที่ ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิประเทศ (topography) และแผนที่ทางธรณีวิทยา (geologic map) บ่งชี้ว่า มีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งสำรองทราย (sand reservoir) และรายงานผลให้กับ โครงการสำรวจและพัฒนาแหล่งทรายสำรองในเขตพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง สำนักนโยบายและแผน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เพื่อให้บริษัททำการทดสอบและรายงานผลให้แล้วเสร็จภายใน 3 เดือน ตามสัญญาที่ได้รับจ้าง บุญเทและพิเชิร ได้มอบหมายให้ ทิพรส วิศวกรผู้รับผิดชอบโครงการทดสอบของทางบริษัท จัดประชุมเพื่อระดมความคิดเห็น และหาแนวทางดำเนินงาน เพื่อให้ได้ผลการทดสอบ specific gravity test ที่ถูกต้อง ได้วิธีและขั้นตอนการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ และป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น ในการทดสอบ

ในฐานะทิพรส วิศวกร โครงการของบริษัท ท่าน ได้ถูกขอให้แสดงความคิดเห็น พร้อมทั้งให้เหตุผลหรือแสดงรายการคำนวณประกอบการให้ข้อคิดเห็น ต่อแต่ละคำถาม/ข้อเสนอ ที่รวบรวมได้จากการประชุม ดังนี้

10.1.1 เป็นไปได้หรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะลดขั้นตอนการทดสอบ specific gravity test โดยปรับขั้นตอนการ calibrate เพื่อหาค่า weight of flask and water ให้เป็นการเริ่ม calibrate ที่อุณหภูมิ ต่ำ แล้วค่อยๆ อุณหภูมิที่บรรจุน้ำไว้ ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จนได้ค่า weight of flask and water ครบทุกอุณหภูมิที่ต้องการ เพื่อจะได้ไม่ต้องเสียเวลาซ้ำซ้อน ในการต้ม flask พร้อมน้ำก่อน แล้วค่อยใช้น้ำแข็งลดอุณหภูมิ ให้ลดลงมาภายหลัง

ตอบ ได้ เพราะการ calibrate นั้นเพื่อต้องการหาค่า weight of flask and water ที่ช่วงอุณหภูมิ ต่างๆ กัน ซึ่งจะทำโดยการค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิหรือลดอุณหภูมิก็ได้เช่นกัน

10.1.2 เป็นไปได้หรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ ให้สามารถทำการทดสอบได้เร็วขึ้น โดยเร่งทำในขั้นตอนของการบรรจุ soil-water mixture ลงใน flask ให้รวดเร็วกว่า โดยไม่ต้องเป็นห้วง soil-water mixture ที่ตกหล่นหรือสูญหาย ขณะบรรจุลง flask

ตอบ ไม่ได้ เพราะตัวอย่างดินเพียงน้อยนิดก็มีผลต่อค่า mass of soil-water mixture ที่ได้ ดังนั้น จะต้องใช้ความระมัดระวังในขั้นตอนการเทเป็นอย่างยิ่ง

10.1.3 เป็นการเหมาะสมหรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบ โดยการระมัดระวัง และใช้เวลาเพื่อพยายามล้างให้ soil-water mixture ทั้งหมด ที่ค้างอยู่ในกระบอกที่ใช้ปั่นผสม (mixing) ตัวอย่างดินและน้ำ ลงไปบรรจุอยู่ใน flask เพื่อดินตัวอย่างทดสอบ (test specimen) ที่ใช้ทั้งหมด จะได้ไม่ตกหล่น/สูญหาย แล้วทำให้เกิดความผิดพลาดในการชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างทดสอบ

ตอบ เหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าไม่ล้างตัวอย่างดินที่ติดอยู่ในภาชนะออกให้หมด จะทำให้มวลดินที่อยู่ในส่วนผสมของน้ำกลั่นและตัวอย่างดินสูญหายไปได้

10.1.4 เป็นการเหมาะสมหรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะลดเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยหลังจากได้ไล่ฟองอากาศออกจาก soil-water mixture ใน flask และนำไปชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว ให้เร่งทำการทดสอบ ในช่วงการถ่ายเท soil-water mixture ออกจาก flask ลงสู่ pan ที่จะนำไปอบแห้ง โดยที่ไม่ต้องเป็นห่วงถึงการตกหล่น/สูญหายของ soil-water mixture ที่เทออกมาจาก flask ลงสู่ pan เพราะน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบที่ใช้ ได้ถูกชั่งไว้เรียบร้อยแล้ว

ตอบ ไม่เหมาะสม เพราะตัวอย่างดินที่สูญหายไปจะมีผลต่อค่า mass of dry soil คือ จะได้ค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริง

10.1.5 เป็นการจำเป็นหรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะเพิ่มความถูกต้องในการทดสอบ โดยให้ทำการ calibrate หาค่า weight of flask and water โดยให้มีอย่างน้อย 1 ค่า ที่อุณหภูมิของ water in flask เท่ากับอุณหภูมิห้อง เพื่อจะได้ weight of flask and water ที่เหมาะสมในการนำไปใช้หา specific gravity ร่วมกับ weight of flask and water and soil ที่วัดได้ ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิ ห้อง

ตอบ จำเป็น เพราะหลังจากการต้มไล่ฟองอากาศของ flask of water and soil จะต้องทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงจะทำการชั่งหาค่า weight of flask and water and soil ดังนั้นถ้ามีค่า weight of flask and water ที่ช่วงอุณหภูมิเดียวกัน จะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความถูกต้อง เนื่องจากทำการทดลองที่ตัวแปรและสภาวะเดียวกัน

10.2 บริษัท วชิรবারมี Material Testing จำกัด ได้จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ (workshop) เพื่อให้วิศวกรและช่างเทคนิค ของบริษัท ร่วมพิจารณาหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบวัสดุ เพื่อบริษัทจะได้ปรับคำแนะนำและขั้นตอนการทดสอบให้สั้นลง ใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายน้อยลง ในขณะที่ผลการทดสอบที่ได้ ยังคงจะต้องมีความถูกต้องตามมาตรฐานการทดสอบ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ที่ประชุมได้ขอให้ท่าน ในฐานะวิศวกรผู้รับผิดชอบการทดสอบ specific gravity test ได้กรุณาให้คำอธิบายโดยสรุป ตามประเด็น ดังนี้

10.2.1 วัตถุประสงค์ของการชั่งตัวอย่างดินก่อนนำไปปั่นผสมกับน้ำเพื่อบรรจุลงในขวดหาค.พ. คืออะไร? (10 คะแนน) และหากค่าที่วัดได้ในช่วงดังกล่าวผิดพลาดจะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อการทดสอบ? เพราะเหตุใด?

ตอบ เพื่อเป็นการทราบน้ำหนักโดยประมาณของตัวอย่างดินเท่านั้น และถ้าหากค่าที่วัดได้ในช่วงดังกล่าวผิดพลาด จะส่งผลให้ค่า mass of dry soil ที่ได้สูงขึ้นหรือต่ำลงเท่านั้น

10.2.2 เป็นไปได้หรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ ให้สามารถทำการทดสอบได้เร็วขึ้น โดยเร่งทำในขั้นตอนการชั่งดินตัวอย่าง (soil sample) ให้เป็นเพียงการหาน้ำหนักโดยประมาณ ให้ใกล้เคียงกับน้ำหนัก 50 กรัมที่ต้องการ โดยไม่ต้องหวังว่าจะต้องให้ได้เท่ากับ 50 กรัมพอดี

ตอบ ได้ เพราะการทดลองนี้จะพิจารณาเฉพาะค่า mass of dry soil ที่ได้หลังจากนำตัวอย่างไปอบแห้ง ซึ่งถ้าตัวอย่างมากหรือน้อยกว่า 50 กรัม ก็จะทำให้ค่า mass of dry soil ที่ได้มากขึ้นหรือน้อยลงเท่านั้นเอง

10.2.3 วัตถุประสงค์ของการต้มไล่ฟองอากาศออกจากน้ำ ที่อยู่ในขวดหาค.พ. (flask) ก่อนนำ flask ที่บรรจุน้ำอยู่ ไป calibrate เพื่อหาค่า weight of water and flask ที่อุณหภูมิต่างๆ คืออะไร?

ตอบ เพื่อให้ค่า weight of water and flask ที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด เพราะถ้ามีฟองอากาศอยู่ในน้ำ จะทำให้ค่า weight of water and flask ที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริงที่ปริมาตรเท่ากัน เนื่องจากมีฟองอากาศเข้าไปแทรกในน้ำ

10.2.4 หากทำการทดสอบหา specific gravity ของตัวอย่างทดสอบ โดยไม่ทำการค้ำไล่ ฟองอากาศออกจากน้ำ ที่อยู่ในขวดหา ถ.พ. (flask) ก่อนนำ flask ไป calibrate เพื่อหาค่า weight of water and flask ที่อุณหภูมิต่างๆ จะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อการทดสอบ? ผลกระทบดังกล่าว จะทำให้การทดสอบให้ค่า specific gravity ที่สูงกว่า เท่ากับ หรือน้อยกว่า ค่าที่เป็นจริง? เพราะเหตุใด?

ตอบ หากไม่ทำการค้ำไล่ฟองอากาศออกจากน้ำ จะทำให้ในน้ำมีฟองอากาศแทรกอยู่ ส่งผลให้ได้ค่า weight of water and flask ลดลงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากในปริมาตรของน้ำมีปริมาตรของอากาศแทนที่อยู่ ซึ่งไม่ใช่ปริมาตรของน้ำแท้จริงที่ต้องการ และจะส่งผลให้ได้ค่า specific gravity ที่เพิ่มขึ้น ดังสังเกตได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักในอากาศของวัสดุ}}{\text{น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าวัสดุ}}$$

ดังนั้น ถ้าน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าวัสดุมีค่าลดลง จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากความเป็นจริง

Test 4 Grain Size Analysis

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

จิรัฐ ลักษณะละม้าย. คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง. 2544.
หน้า 47-65.

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาขนาดของเม็ดดินขนาดต่างๆโดยแสดงในรูปของความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนของเม็ดดินที่มีอยู่ในมวลดิน

3. หลักการ (Principals)

ความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนกันของเม็ดดินขนาดต่างๆในมวลดินสามารถหาได้จากการกระจายขนาดของเม็ดดินออกเป็นส่วนๆ โดยวิธีการทดสอบจะพิจารณาจากขนาดของเม็ดดิน ดังนี้

3.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เป็นวิธีที่ใช้กับดินประเภทที่มีปริมาณเม็ดดินเกือบทั้งหมดไม่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้ และไม่สามารถบอกได้ว่าเม็ดดินมีลักษณะเป็นสีเหลี่ยมหรือกลม แต่บอกได้เพียงมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ที่เท่าไรเท่านั้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการหาขนาดของเม็ดดินนี้สามารถนำมาแสดงในรูปของเส้นกราฟเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและพิจารณาการกระจายขนาดของเม็ดดิน โดยการนำขนาดของเม็ดดินและค่าของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง (Percent Passing) หรือ (Percent Finer) ไปเขียนบนกราฟ Semi – Log ก็จะได้เส้นโค้งของการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Gradation Curve) ดังรูป 10.4.2 และสามารถนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, C_u) ได้ดังนี้

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity, C_c) จะได้ดังนี้

$$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60})$$

เมื่อ D_i = ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินที่มี i เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักที่มีขนาดเล็ก

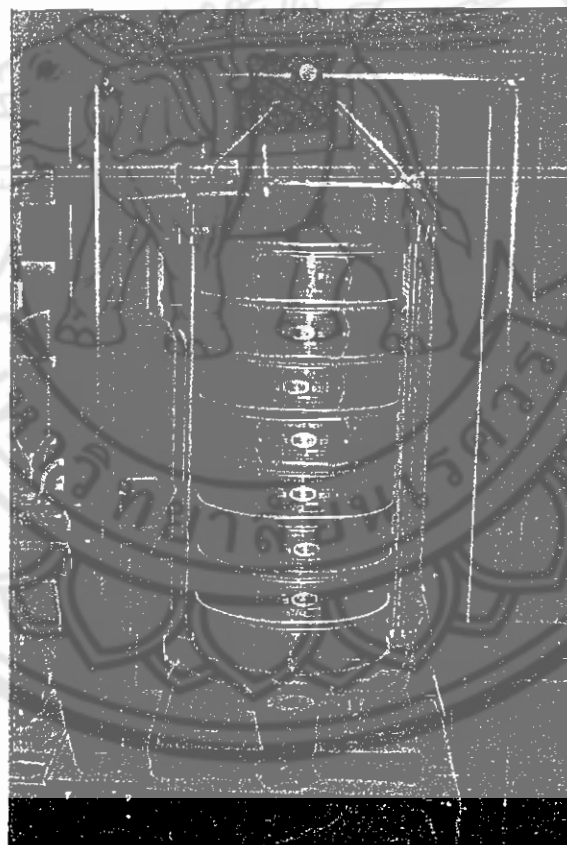
กว่า

โดยดินที่มีขนาดคละกัันดี (Well Graded) นั้น จะมีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) และค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity) ดังรูปที่ 10.4.2

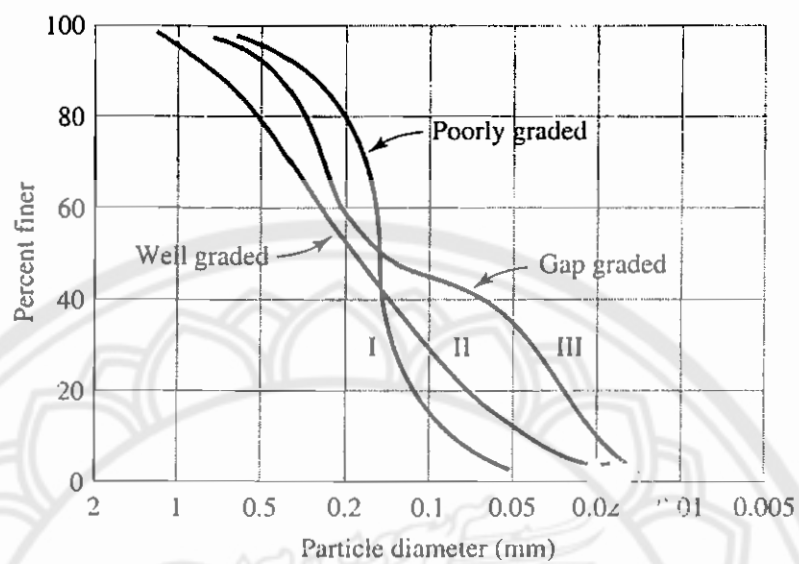
ชนิด	C_u	C_c
หิน	มากกว่า 4	1-3
ทราย	มากกว่า 6	1-3

ตารางที่ 10.4.1 คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดี

สำหรับดินที่ไม่มีขนาดคละกัน (Poorly Graded) จะไม่เป็นดังตารางที่ 10.4.1 ซึ่งจะเป็นประเภทดินที่มีขนาดเม็ดเดี่ยว (Uniform Graded) และดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จะมีความชันมากและเป็นเส้นระนาบตามลำดับ ดังรูปที่ 10.4.2



รูปที่ 10.4.1 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการหาขนาดของเม็ดดิน
โดยวิธีการร่อนด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) ในห้องปฏิบัติการ (DAS, 2001)



รูปที่ 10.4.2 กราฟการกระจายตัวที่แตกต่างกันของขนาดเม็ดดิน (DAS, 2001)

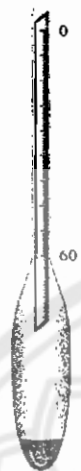
3.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test) เป็นวิธีที่ใช้กับดินที่มีปริมาณเม็ดดินเกือบทั้งหมดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 โดยวิธีนี้ตั้งอยู่ในสมมติฐานว่าเม็ดดินมีลักษณะทรงกลม ความเร็วในการตกตะกอนแบบอิสระเป็นไปตามสมการของ G.G. Stokes (1850) และเรียกว่า Stokes' s Law

ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์จะเป็นค่าของน้ำหนักเม็ดดินที่แขวนตัวอยู่มีหน่วยเป็นกรัม ซึ่งในการอ่านตำแหน่งของไฮโดรมิเตอร์ในวิธีการนี้ต้องมีการปรับแก้เพราะค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เนื่องจากค่าของตัวประกอบ (Factor) ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ซึ่งค่าที่ปรับแก้นี้เรียกว่า "Corrected Hydrometer Reading" หรือ R_c ซึ่งมีดังต่อไปนี้

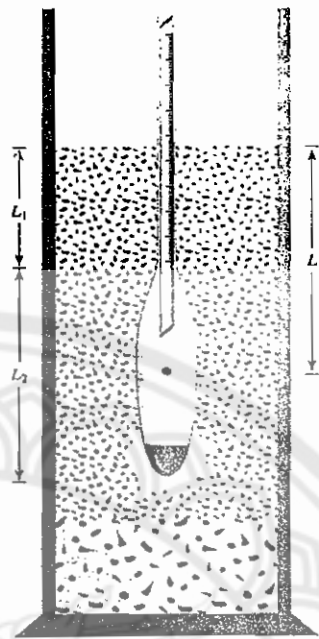
3.2.1. ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction) คือ ค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านจริงกับค่าที่ควรอ่านที่ระดับท้องน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 10.4.2 ด้วยสาเหตุที่ส่วนผสมมีลักษณะขุ่น การอ่านค่าที่ระดับท้องน้ำเป็นไปได้ยากจึงต้องอ่านค่าที่ผิวโค้งบนของของเหลวแทน ซึ่งการอ่านค่าปรับแก้เนื่องจากความโค้งผิวน้ำนี้ทำได้โดยอ่านค่าในน้ำเปล่า

3.2.2. ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction, C_1) คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ในน้ำเปล่ากับค่า 1.000 จริง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ โดยมีค่าดังตาราง 10.4.5

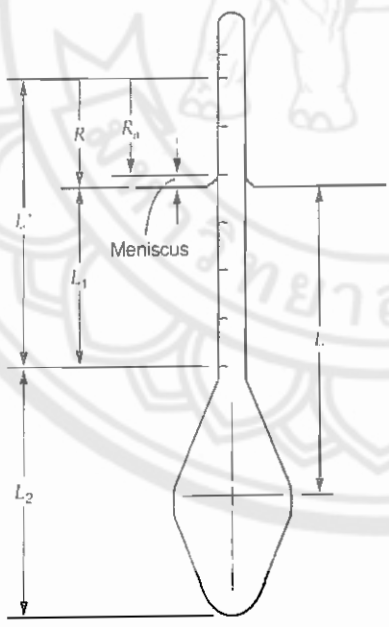
3.2.3. ค่าปรับแก้เนื่องจากสารเจือปน (Zero Correction, C_2) เนื่องจากการทดลองมีการเติมสารละลายที่ทำให้ดินแยกตัว (Dispersing Agent) จึงต้องหาค่าปรับแก้เนื่องด้วยผลกระทบของเหลวที่นำมาใช้ไม่บริสุทธิ์ โดยมีขั้นตอนการหาค่าปรับแก้ดัง หัวข้อ 5.2.1



ASTM 152H hydrometer
(courtesy of Soiltest, Inc.,
Lake Bluff, Illinois)



รูปที่ 10.4.3 แสดง Hydrometer ที่ใช้ในการทดลอง



$$v = L/l \text{ cm/s}$$

$$L = L_1 + 1/2(L_2 - V_b/A_{grad})$$

$$L_1 \cong 10.5 \text{ cm for } R = 0$$

$$l_1 \cong 2.30 \text{ cm for } R = 50$$

$$L_2 \cong 14 \text{ cm (ASTM)}$$

$$V_b \cong 67.0 \text{ cm}^3$$

$$A_{grad} \cong 27.8 \text{ cm}^2 \text{ for } 1000 \text{ mL}$$

graduated cylinder (not a hydrometer jar)

$$R_n = \text{actual reading}$$

$$R = R_n \text{ corrected for meniscus}$$

รูปที่ 10.4.4 ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction) (Bowles, 1992)

Temp, °C	Unit weight of water, g/cm ³	Viscosity of water, poise*
4	1	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.9988	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.0103
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.9978	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.99568	0.00801

$$* \text{Poise} = \frac{\text{dyne} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}$$

ตารางที่ 10.4.2 Properties of distilled water (η = absolute)(Bowles, 1992)

ϵ_s of soil solids	Correction factor a
2.85	0.96
2.8	0.97
2.75	0.98
2.7	0.99
2.65	1
2.6	1.01
2.55	1.02
2.5	1.04

ตารางที่ 10.4.3 Correction factors a for unit weight of solids(Bowles,1992)

Temp, °C	C_T
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
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

ตารางที่ 10.4.4 Temperature correction factors C_T (Bowles, 1992)

Temp °C	ϵ_s of Soil Solids							
	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0317	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

* Units for K : $\text{mm}(\text{min}/\text{cm})^{0.5}$

ตารางที่ 10.4.5 Values of K for several unit weights of soil solids and temperature combinations (Bowles, 1992)

Original hydrometer reading (corrected for meniscus only)	Effective depth L, cm	Original hydrometer reading (corrected for meniscus only)	Effective depth L, cm	Original hydrometer reading (corrected for meniscus only)	Effective depth L, cm
0	16.3	21	12.8	42	9.4
1	16.1	22	12.7	43	9.2
2	16.0	23	12.5	44	9.1
3	15.8	24	12.4	45	8.9
4	15.6	25	12.2	46	8.7
5	15.5	26	12.0	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.1	28	11.7	49	8.3
8	15.0	29	11.5	50	8.1
9	14.8	30	11.4	51	7.9
10	14.7	31	11.2	52	7.8
11	14.5	32	11.0	53	7.6
12	14.3	33	10.9	54	7.4
13	14.2	34	10.7	55	7.3
14	14.0	35	10.6	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	6.9
16	13.7	37	10.2	58	6.8
17	13.5	38	10.1	59	6.6
18	13.3	39	9.9	60	6.5
19	13.2	40	9.7		
20	13.0	41	9.6		

ตารางที่ 10.4.6 Values of L (effective depth) for use in Stokes' formular (Bowles, 1992)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

4.1.1 ตะแกรงทองเหลือง 1 ชุด (เบอร์ 8, 10, 20, 40, 100 และเบอร์ 200 พร้อมถาดรอง)

4.1.2 ตาชั่ง (Balance) ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

4.1.3 แปรง (สำหรับทำความสะอาดตะแกรง)

4.1.4 เตาอบแห้ง (Oven)

4.1.5 ค้อนยางสำหรับทุบดิน

4.1.6 เครื่องเขย่า (Sieve Shaker)

4.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

4.2.1 ไฮโดรมิเตอร์

4.2.2 กระจกตวง 1000 cc

4.2.3 เครื่องปั่นดิน (Mixer)

4.2.4 น้ำกลั่น

4.2.5 น้ำยา Dispersing Agent

4.2.6 ตาชั่ง (Balance) ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

4.2.7 เตาอบแห้ง (Oven)

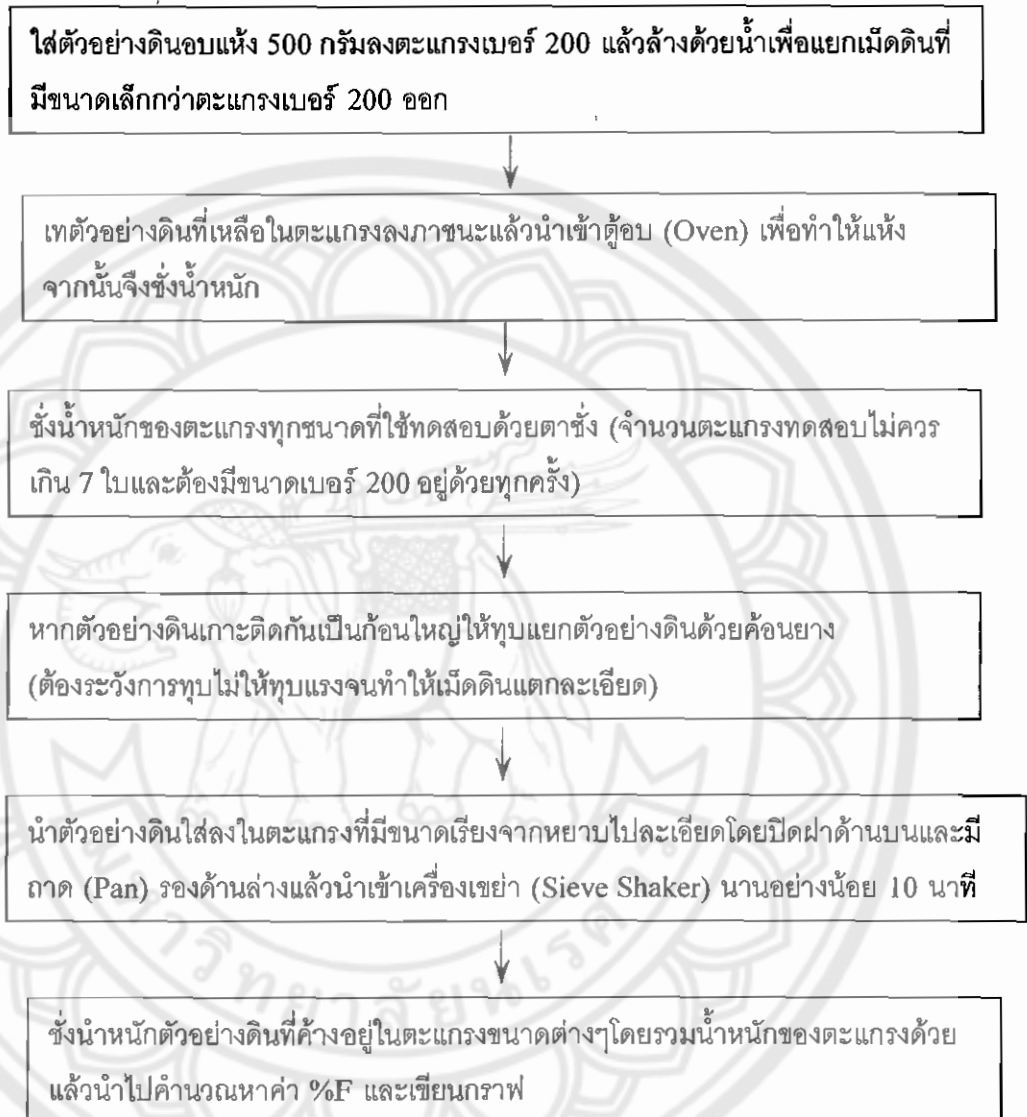
4.2.8 เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียด 0.1 °C

4.2.9 ถาดอบแห้ง

4.2.10 นาฬิกาจับเวลา

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)



รูปที่ 10.4.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบวิธีร่อนผ่านตะแกรง

หมายเหตุ

เกณฑ์ของการเลือกน้ำหนักตัวอย่างดินที่จะใช้ในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินที่ใหญ่ที่สุด ดังรูปนี้

ขนาดเมล็ดดินที่ใหญ่ที่สุด, นิ้ว	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3
น้ำหนักของตัวอย่างดิน, กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

ตารางที่ 10.4.7 น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้งในการทดสอบโดยร่อนผ่านตะแกรง

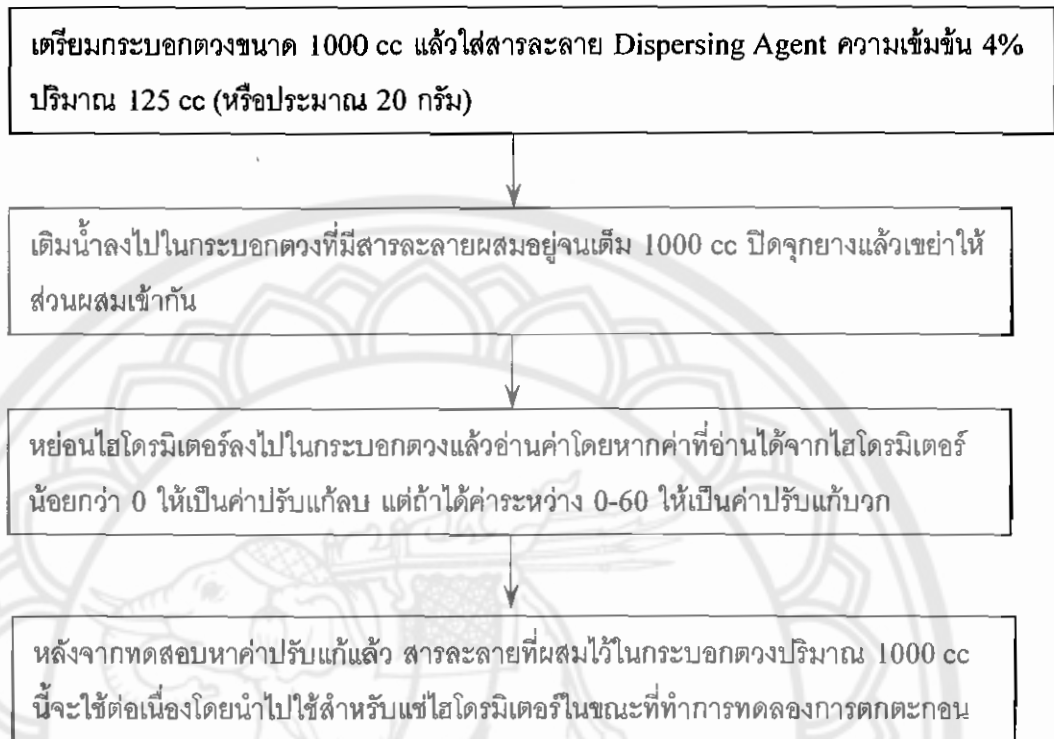


5.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)



รูปที่ 10.4.6 แสดงขั้นตอนทดสอบการตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

5.2.1 การหาค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวไม่บริสุทธิ์ (Zero Correction)



รูปที่ 10.4.7 แสดงขั้นตอนการหาค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวไม่บริสุทธิ์ (Zero Correction)

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

ข้อมูลที่จะต้องวัด สำหรับแต่ละตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย

6.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

6.1.1 Mass of sieve, W_s

6.1.2 Mass of sieve + retained soil, W_{SRS}

6.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

6.2.1 Temp. of Soil-Wat. Suspen., T

6.2.2 Hydro. Reading, R_A

วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

Soil Description _____ Location _____ Boring No _____ Sample No _____ Sample Depth _____ Dry Soil Mass (gm) _____ Control Sieve No. _____ % Finer than controlled sieve no, %F _{CS#} _____ Dispersing Agent _____	Project _____ Job No _____ Test No _____ Date _____ Tested By _____ Checked By _____ Zero Cor., C _Z _____ Meniscus _____ G _S of Solids _____ G _S Correction Factor, a _____
--	---

Date	Time of Reading	Elapsed Time t (min)	Temp. of		Temp. Correct. Factors C _T ² (gm)	Correct. Hydro. Reading R _C ³ (gm)	Percent Finer F ⁴ (%)	Adjusted Percent Finer F _{AD} ⁵ (%)	Meniscus Correct. Hyd. Re. R ⁶ (gm)	Distance of Fall of Particles L ⁷ (cm)	Velocity of Fall of Sphere v = L/t (cm/min)	Const. K = fn(T, G _S) from Tab 4.4	Diameter of Sphere D ⁸ (mm)
			Soil-Wat. Suspen. T (°C)	Hydro. Reading R _A ¹ (gm)									

- Note**
1. Read at top of meniscus
 5. %F_{AD} = %F * %F_{CS#} / 100
 2. From Table 4.2.
 6. R = R_A + Meniscus
 3. R_C = R_A - C_Z + C_T
 7. L = fn (R), from Table 10.4.6
 4. %F = a * R_C / (Dry Soil Mass) * 100
 8. D = K (L / t) ^ 0.5

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

7.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

Sieve Analysis Test

Soil Description	_____	Project	_____
	_____	Job No	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Sieve no	Sieve opening (mm)	Mass of sieve W_s (gm)	Mass of sieve + retained soil W_{SRS} (gm)	Mass of retained soil W_{RS}^1 (gm)	Percent retained PR^2 (%)	Cumulative percent retained R^3 (%)	Cumulative percent finer F^4 (%)
4	4.76	521.5	521.5	0.0	0.0	0.0	100.0
10	1.65	390.0	390.0	0.0	0.0	0.0	100.0
20	0.84	367.7	456.2	88.5	20.8	20.8	79.2
40	0.42	367.0	444.9	77.9	18.3	39.2	60.8
100	0.15	428.0	589.6	161.6	38.1	77.2	22.8
200	0.075	300.4	329.4	29.0	6.8	84.1	15.9
pan	-	335.9	403.5	67.6	15.9	100.0	0.0
				424.6	100.0	-	-

NOTE : 1. $W_{RS} = W_{SRS} - M_s$
 2. $\%PR = (MRS / \text{Mass of dry soil used in test}) * 100$

7.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____
Dry Soil Mass (gm.)	50	Zero Cor., C_z	3
Control Sieve No.	_____	Meniscus	1
% Finer than controlled sieve no., % $F_{CS#}$	78	G_s of Solids	2.7
Dispersing Agent	_____	G_s Correction Factor, a	0.99

Date	Time of Reading	Elapsed Time t (min)	Temp. of Soil-Wat. T ($^{\circ}$ C)	Hydro. Reading R_A^1 (gm)	Temp. Correct. Factors C_T^2 (gm)	Correct. Hydro. Reading R_C^3 (gm)	Percent Finer F^4 (%)	Adjusted Percent Finer F_{AD}^b (%)	Meniscus Correct. Hyd. Re. R^6 (gm)	Distance Particles Fall L^7 (cm)	Velocity of Fall of Sphere $v = L/t$ (cm/min)	Const. $K = fn(T, G_s)$ from Tab 4.4.	Diameter of Sphere D^8 (mm)
		0	Reading not shown										
		2	22	47	0.4	44.4	87.9	68.6	48	8.4	4.2	0.0131	0.02685
		4	22	42	0.4	39.4	78.0	60.8	43	9.2	2.3	0.0131	0.01987
		8	22	37	0.4	34.4	68.1	53.1	38	10.1	1.2625	0.0131	0.01472
		16	22	31	0.4	28.4	56.2	43.9	32	11.1	0.6938	0.0131	0.01091
		30	22	26	0.4	23.4	46.3	36.1	27	11.9	0.3967	0.0131	0.00825
		60	22	24	0.4	21.4	42.4	33.1	25	12.2	0.2033	0.0131	0.00591
		125	22	21	0.4	18.4	36.4	28.4	22	12.7	0.1016	0.0131	0.00418
		330	23	18	0.7	15.7	31.1	24.2	19	13.2	0.04	0.0129	0.00258
		990	23	16	0.7	13.7	27.1	21.2	17	13.5	0.0136	0.0129	0.00151
		1410	24	14	1.0	12.0	23.8	18.5	15	13.8	0.0098	0.0127	0.00126
		2850	24	10	1.0	8.0	15.8	12.4	11	14.5	0.0051	0.0127	0.00091

Note 1. Read at top of meniscus

2. From Table 4.2.

3. $R_C = R_A - C_z + C_T$

4. $\%F = a * R_C / (\text{Dry Soil Mass}) * 100$

5. $\%F_{AD} = \%F * \%F_{CS\#} / 100$

6. $R = R_A + \text{Meniscus}$

7. $L = fn(R)$, from Table 10.4.6

8. $D = K (L / t) ^{0.5}$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Sieve Analysis Test (Use data of Sieve No. 4)

Sample of calculation

Sieve Analysis Test (Use data of Sieve No. 4)

8.1.1 Mass of retained soil, W_{RS}

$$\begin{aligned}
 W_{RS} &= (\text{mass of Seive + soil}) - (\text{mass of Seive}) \\
 &= W_{SRS} - W_s \\
 &= 521.5 - 521.5 \quad \text{gm} \\
 &= 0 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.1.2 Percent retained , PR

$$\begin{aligned}
 \%PR &= \frac{\text{mass of retained soil}}{\text{mass of dry soil}} * 100 \\
 &= \frac{W_{RS}}{W_{DS}} * 100 \\
 &= \frac{0}{424.6} * 100 \quad \frac{\text{gm}}{\text{gm}} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

8.1.3 Cumulative percent retained , R

$$\begin{aligned}
 \%R &= \text{summation \% PR of coarser seive} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

8.1.4 Cumulative percent finer , F

$$\begin{aligned}
 \%F &= 100 - \text{cumulative percent retained} \\
 &= 100 - \%R \\
 &= 100 - 0 \\
 &= 100 \quad \%
 \end{aligned}$$

8.2 Hydrometer Test (Use data of Elapsed Time = 2 min)

8.2.2 Percent Finer, %F

$$\begin{aligned}
 \%F &= \text{Correction Factor} * R_C / (\text{Dry Soil Mass}) * 100 \\
 &= a * R_C / (\text{Dry Soil Mass}) * 100 \\
 &= \frac{0.99 * 44.4 * 100}{50} \frac{\text{gm}}{\text{gm}} \\
 &= 87.91
 \end{aligned}$$

8.2.3 Adjusted Percent Finer, %F_{AD}

$$\begin{aligned}
 \%F_{AD} &= \%F * (\% \text{Finer than controlled sieve no}) / 100 \\
 &= \%F * \%F_{CS\#} / 100 \\
 &= \frac{87.912 * 78}{100} \% \\
 &= 68.57
 \end{aligned}$$

8.2.4 Meniscus Corrected Hydrometer Reading, R

$$\begin{aligned}
 R &= R_A + \text{Meniscus} \\
 &= 47 + 1 \quad \text{gm} \\
 &= 48.00 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.2.5 Diameter of Sphere, D

$$\begin{aligned}
 D &= (\text{Constant of } f_n(T, G_s)) * (\text{Distance Particles Fall} / \text{Elapsed Time}) \\
 &= K(L / t)^{0.5} \\
 &= 0.0131 * (8.4 / 2)^{0.5} \\
 &= 0.0268 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 Grain Size Analysis เป็นมาตรฐานหนึ่งที่ได้รับการยอมรับสำหรับใช้ในการก่อสร้างงานถนน, พื้นสนามบิน, งานคันดิน และเขื่อน และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Grain Size Analysis นี้ยังใช้ในการทำนายการเคลื่อนไหวของน้ำในดิน (แม้ว่าโดยปกติจะทำการทดสอบด้วยวิธี Permeability Test ก็ตาม) และยังมีความเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการเกิด Frost action ในดินอีกด้วย

9.2 ใช้กับ Classification ของดินโดยทั้งนี้จะแบ่งเป็น 2 ชนิดของการ Classification ได้แก่

1. AASHTO Classification System
2. Unified Soil Classification

ทั้งนี้ในการใช้ Sieve Analysis สำหรับทั้ง 2 ชนิดของ Classification จะสามารถจำแนกชนิดของดินซึ่งแบ่งตามขนาดได้ 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

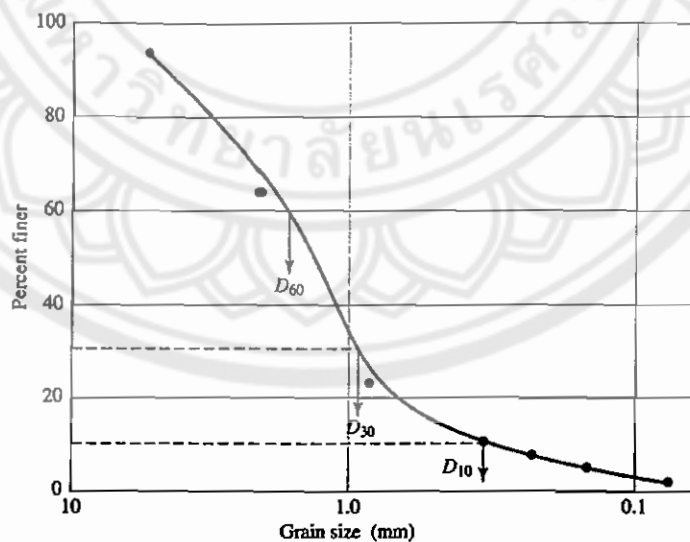
1. Gravel
2. Sand
3. Clay
4. Silt

โดยกลุ่มของดินย่อยได้แก่ peat, muck และ organic soil ชนิดอื่นๆ

9.3 จาก Grain Size Distribution Curve จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, C_u) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity, C_c) ดังนี้

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$$



รูปที่ 10.4.8 Grain-size distribution curve (Das 1999)

ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์ C_u , C_c : จาก Grain Size Distribution Curve จากรูป 10.4.8

จงหา

1. D_{10} , D_{30} และ D_{60}
2. Coefficient of Uniformity, C_u
3. Coefficient of Concavity, C_c

วิธีทำ

1. พิจารณาจากกราฟ,

$$D_{10} = 0.15 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.27 \text{ mm}$$

$$2. C_u = D_{60} / D_{10} = 1.41 / 0.41 = 3.44$$

$$3. C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}) = (0.96^2) / (1.41 \times 0.41) = 1.59$$

9.4 จากกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน ขนาดที่ระบุในกราฟนั้นแท้ที่จริงแล้วเป็นเพียงขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

9.4.1 ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ขนาดเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น ยาวรี, แผ่น, กลม หรืออื่นๆ ได้

9.4.2 ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของ เม็ดดินเอง และผนังภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้อง ทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง

9.4.3 รูปร่างของดินเหนียวมักเป็นแผ่น มิใช่ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจริงจึงคล้ายไปไม่หล่นจากต้น จึงทำให้การคำนวณความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง

9.4.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการคำนวณการตกตะกอน ถือเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งความจริงดินแต่ละเม็ดอาจจะมีธาตุสารไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน มากก็ได้

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 กรุณาอธิบายโดยสรุปว่า ประโยชน์ของ hydrometer analysis คืออะไร?

ตอบ เพื่อหาขนาดของดินพวกเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป ซึ่งเป็นเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

10.2 กรุณาอธิบายอย่างสั้นๆ ว่า ประโยชน์หลักของการทดสอบ hydrometer analysis คือเพื่อแยก clay ออกจาก sand ใช่หรือไม่? เพราะเหตุใด?

ตอบ ไม่ใช่ เพราะประโยชน์หลักของการทดสอบ hydrometer analysis นั้นคือเพื่อหาขนาดของดินพวกเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป ซึ่งอาจเป็น clay หรือ sand ก็ได้

10.3 กรุณาอธิบายอย่างสั้นๆ ว่า วัตถุประสงค์ของการทดสอบ hydrometer analysis เหมือนกับและ/หรือแตกต่างกับวัตถุประสงค์ของการทดสอบ sieve analysis อย่างไร?

ตอบ เหมือนกันตรงที่เป็นการหาขนาดของเม็ดดิน แต่แตกต่างตรงที่วัตถุประสงค์ของการทดสอบ hydrometer analysis นั้น เพื่อต้องการหาขนาดของดินพวกเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป ซึ่งเป็นเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แต่วัตถุประสงค์ของการทดสอบ sieve analysis นั้น เพื่อต้องการหาขนาดของดินพวกเม็ดหยาบ เช่น กรวด หวาย เป็นต้น

10.4 sieve analysis ใช้แยก clay size ออกจาก sand ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ ได้ เพราะ ถ้า clay size ที่มีขนาดเล็กจะสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ใหญ่และค้างอยู่บนตะแกรงในชั้นล่าง ในขณะที่ sand ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไม่ผ่านตะแกรงเบอร์เล็กและค้างอยู่บนตะแกรงในชั้นบน จึงสามารถแยก clay size ออกจาก sand ได้ แต่กรณีนี้จะใช้ไม่ได้ถ้า clay และ sand มีขนาดใกล้เคียงกัน

10.5 sieve No. 200 ใช้สำหรับแยกดินเม็ดละเอียดคือ clay ออกจากดินเม็ดหยาบ เช่น silt ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ ใช่ เพราะ sieve No. 200 เป็นตะแกรงที่มีขนาดรูเล็กมาก จึงสามารถแยกดินเม็ดละเอียดคือ clay ออกจากดินเม็ดหยาบ เช่น silt

10.6 จากผลการทดลอง ได้ผลตารางดังต่อไปนี้

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักของดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ (g)
4	0
10	18.5
20	53.2
40	90.5
60	81.8
100	92.2
200	58.5
Pan	26.5

ตาราง 10.4.8 ผลการทดลองที่ใช้ในหัวข้อ 10.6

10.6.1 หาร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรง (Percent Finer) ของแต่ละตะแกรงพร้อมทั้งเขียนกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain-size distribution curve)

10.6.2 หาค่า D_{60} , D_{30} และ D_{10} จากกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain-size distribution curve)

10.6.3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient ; C_u)

10.6.4 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ขนาดคละ (Coefficient of gradation ; C_z)

วิธีทำ

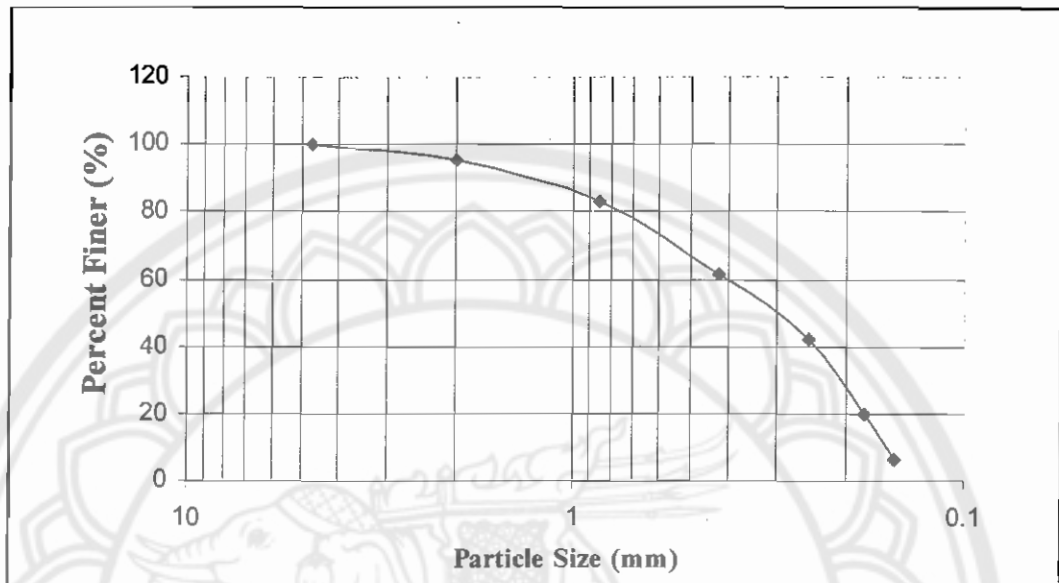
10.6.1 สามารถหาค่าร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรง ดังตารางที่ 10.4.8 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 10.4.9 ผลการคำนวณหา Percent Finer

ตะแกรงเบอร์	ช่องเปิด (mm)	น้ำหนักของดินที่ ค้างอยู่บนตะแกรง แต่ละเบอร์ (g)	น้ำหนักของดินสะสมที่ ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละ เบอร์ (g)	ร้อยละของดินที่ ผ่านตะแกรง (Percent Finer) (%)
4	4.750	0	0	100
10	2.000	18.5	0+18.5=18.5	95.61
20	0.850	53.2	18.5+53.2=71.7	82.98
40	0.425	90.5	71.7+90.5=162.2	61.49
60	0.250	81.8	162.2+81.8=244.0	42.07
100	0.180	92.2	244.0+92.2=336.2	20.18
200	0.150	58.5	336.2+58.8=394.7	6.29
Pan	-	26.5	394.7+26.5 =421.2=Σ M	0

$$\frac{\Sigma M - \text{Column 4}}{\Sigma M} \times 100 = \frac{421.2 - \text{Col. 4}}{421.2} \times 100$$

ดังนั้นสามารถเขียนกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดินได้ดังต่อไปนี้คือ



รูปภาพ 10.4.9 แสดงกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

10.6.2 จากกราฟการกระจายตัวของเม็ดดินจะได้

$$D_{10} = 0.18 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.21 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.40 \text{ mm}$$

10.6.3 ดังนั้นจะได้สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient ; C_u)

$$\begin{aligned} C_u &= \frac{D_{60}}{D_{10}} \\ &= 2.22 \end{aligned}$$

10.6.4 ดังนั้นจะได้สัมประสิทธิ์ขนาดคละ (Coefficient of gradation ; C_z)

$$\begin{aligned} C_z &= \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \\ &= 0.6125 \end{aligned}$$

Test 5 Compaction Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. P. 104-158

1.2 Head, K.H.(1980). Manual of Soil Laboratory Testing. P. 268-310

1.3 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 118-125

1.4 วรากร ไหมเรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525.หน้า 59-68

1.5 วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา. ปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยรังสิต, 2545.

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

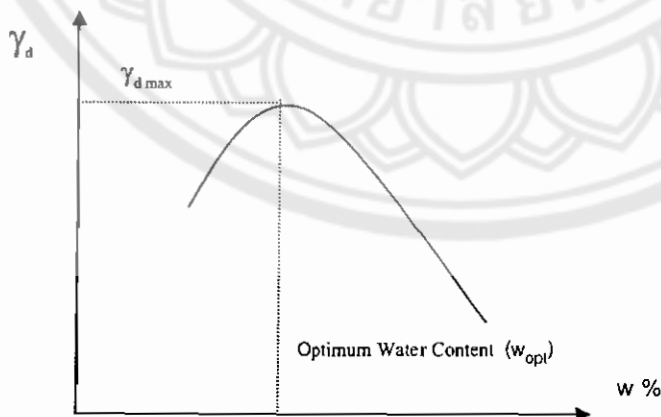
2.1 เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content) กับความหนาแน่น (Density) ของดินตัวอย่างที่ได้จากการบดอัด

2.2 เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้บดอัด (Optimum Water Content)

2.3 เพื่อทดสอบหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density)

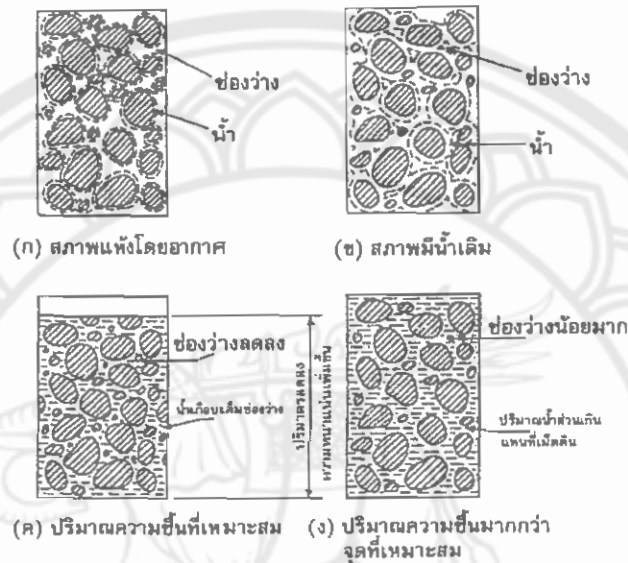
3. หลักการ (Principals)

การบดอัดดินเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมดีขึ้น จะสัมพันธ์โดยตรงกับ γ_d ของดิน ดินที่มี γ_d ที่สูงขึ้นก็จะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีขึ้น โดยปกติการบดอัดดินจะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน พลังงานในการบดอัด และลักษณะของดิน การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินหรือพลังงานในการบดอัดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อ γ_d ของดินบดอัด



รูปที่ 10.5.1 เส้นกราฟการบดอัด

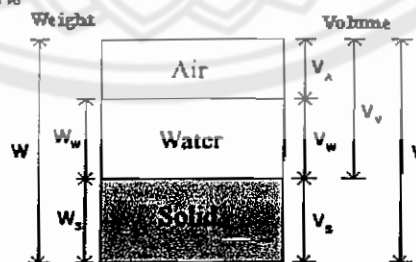
พรอคเตอร์ (Procter, 1933) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินที่ใช้บดอัด และ γ_d ที่ได้หากใช้พลังงานในการบดอัดค่าหนึ่ง เส้นกราฟของรูปที่ 5.5.1 เรียกว่าเส้นกราฟการบดอัด (Compaction Curve) โดยจะมีลักษณะโค้งเป็นรูปประสมังคว่ำ (Hyperbolic curve) จุดสูงสุดของกราฟเรียกว่า γ_d สูงสุด (Maximum Dry Density) ปริมาณน้ำในการบดอัดที่ให้ γ_d สูงสุดเรียกว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมหรือปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content หรือ Optimum Moisture Content)



รูปที่ 10.5.2 แสดงลักษณะของเม็ดดินที่ถูกบดอัด

จากรูป ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินต่ำ (Low water content) เม็ดดินจะถูกล้อมรอบไปด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ำ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้เม็ดดินสามารถที่จะถูกบดอัดได้ง่ายขึ้น และอากาศภายในดิน (Void) จะถูกแทนที่ด้วยน้ำเหล่านั้น ส่งผลให้ค่า Dry density เพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจะถูกเพิ่มไปเรื่อยๆ กระทั่งถึงจุดที่เม็ดดินจะถูกบดอัดจนถึงสภาวะที่แน่นที่สุด เมื่อเพิ่มน้ำเข้าไปอีก มันจะกลับทำให้เกิดการผลักกันของเม็ดดิน ทำให้ดินหลวม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นลดลง จึงทำให้ค่า γ_d ลดลงตามไปด้วย

จากลักษณะความสัมพันธ์ของดินที่บดอัดกับปริมาณน้ำที่ถูกเพิ่มเข้าไปดังที่กล่าวข้างต้นสามารถเขียนเป็น Phase Diagram ของดินได้ดังนี้



รูปที่ 10.5.3 Phase Diagram ของดิน

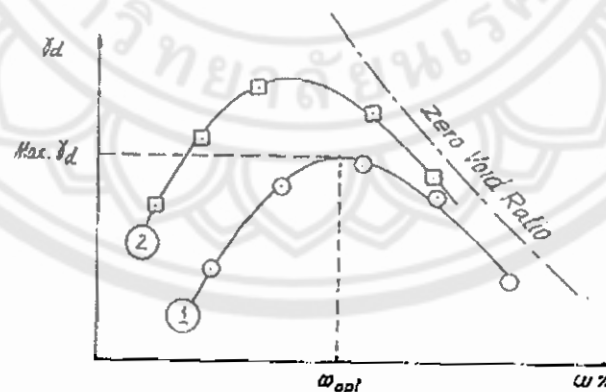
การทดสอบการบดอัดมี 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างทั่วไป โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน (Runway) เขื่อน ดิน พื้นโรงงาน เป็นต้น

2) วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test) เป็นวิธีการทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับวิวัฒนาการของยานพาหนะต่างๆที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าพลังงาน (Energy) ที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นวิธีทดสอบการบดอัดดินจึงต้องเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นเพื่อจะได้ฐานดินที่มีความหนาแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก

Test	Mold size	Wt. of hammer (lb)	No. of layer	Height of drop (in)	No. of blow per layer	Energy/Vol. ft-lb/ft ³
Standard	φ4.0"×4.6"	5.5	3	12	25	12,400
Proctor	φ6.0"×5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified	φ6.0"×5.0"	10	5	18	56	56,000
Proctor	φ4.0"×4.6"	10	5	18	25	56,300

ตารางที่ 10.5.1 Specifications for the Standard and Modified Proctor Tests (DAS, 1995)



รูปที่ 10.5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ (1) Standard Proctor และ (2) Modified Proctor

จากรูปที่ 10.5.4 จะเห็นความแตกต่างของลักษณะกราฟที่แสดงวิธีการทดสอบบดอัดดินของ Standard กับ Modified Proctor Test ซึ่งลักษณะความแตกต่างนี้ถือเป็นคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด โดยเมื่อพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นในดินชนิดเดียวกันเส้นกราฟการบดอัดจะขยับสูงขึ้น ค่า Dry Unit Weight ของดิน (γ_d) ของ Modified Proctor Test จะสูงกว่าของ Standard Proctor Test และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด γ_d สูงสุด (Optimum Water Content) ก็จะลดลงด้วยขณะที่ γ_d เพิ่มขึ้น โดยความแตกต่างของทั้งสองวิธีทดสอบอาจวัดได้จากค่าพลังงานในการบดอัดดิน (Compaction Effort) ซึ่งก็คือค่าพลังงานการบดอัดต่อค่าหนึ่งหน่วยปริมาตร

นอกจากความแตกต่างของเส้นกราฟจากการทดสอบการบดอัดทั้งวิธีของ Standard และ Modified Proctor Test แล้ว จะสังเกตเห็นเส้นโค้งงายที่อยู่เหนือเส้นกราฟทั้งสองเส้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเส้นกราฟนั้นคือค่า Zero Air Void ถือเป็นค่าความหนาแน่นของดินสูงสุดในทางทฤษฎี ไม่สามารถเป็นจริงในทางปฏิบัติได้ เนื่องจากเป็นสภาวะที่ไม่มีอากาศหลงเหลืออยู่ในดินบดอัดเลย โดยค่า Zero Air Void นี้จะใช้เป็นค่าขอบเขตในการตรวจสอบความผิดพลาดของค่าการบดอัดที่ได้จากการทดสอบ ทั้งนี้เส้นกราฟของ Zero Air Void จะมีค่าสูงมากกว่ากราฟจากการทดสอบการบดอัดดินเสมอ

Degree of Saturation = 100% ดังนั้นจะหาค่า γ_d ที่สภาวะความชื้นที่กำหนดโดยการแทน $S = 1$ ในสมการดังนี้

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{(1 + wG_s)} = \frac{\gamma_w}{(w + 1/G_s)}$$

โดย γ_{zav} = Zero-air-void Unit Weight
 γ_w = Unit Weight of Water
 e = Void Ratio
 G_s = Specific Gravity of Soil Solids

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการบดอัด นอกจากค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก 2 ประการ นั่นคือ ชนิดของดิน และ Compaction Effort (Energy per Unit Volume)

1. ชนิดของดิน

ลักษณะของเม็ดดิน ขนาดการกระจายของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน และจำนวนแรงแผ่นเหนียวในดิน ล้วนแต่มีอิทธิพลต่อ γ_d สูงสุดของดิน และปริมาณน้ำที่เหมาะสม รูปที่ 10.5.4 แสดงชนิดของดินเหนียวที่มีผลต่อการบดอัด จะเห็นได้ว่าลักษณะเส้นกราฟการบดอัดในลักษณะระฆังคว่ำ มักจะพบในกรณีของดินเหนียว ส่วนดินทราย γ_d จะลดลงในช่วงแรกที่ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น และจะค่อยๆ

10.1.2 Compaction curve คืออะไร? และนำมาใช้ประโยชน์ในการทดสอบ Compaction test ได้อย่างไร?

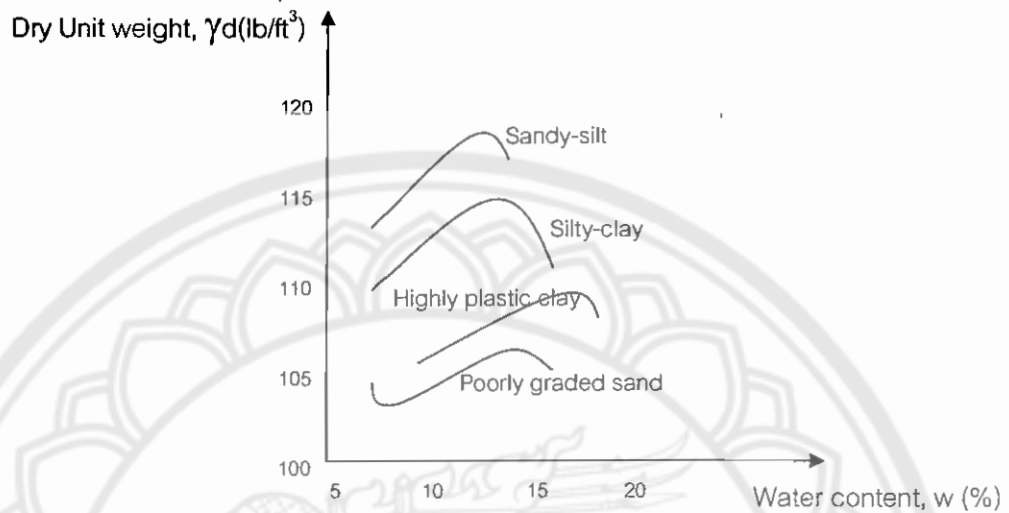
ตอบ Compaction curve คือ เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของเม็ดดินที่จะได้ เมื่อไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินเลย นั่นคือหลังจากที่บดอัดดินแล้ว จะได้ดินที่มีความ เปอร์เซ็นต์

10.1.3 Optimum moisture content คืออะไร? เป็น moisture content ที่ควรเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกับ maximum wet density, หรือ saturated condition, หรือ dried condition? เพราะเหตุใด? และจะสามารถนำ optimum moisture content มาใช้ประโยชน์ในการทดสอบ compaction test ได้อย่างไร?

ตอบ คือปริมาณน้ำในมวลดินที่ให้ค่าความหนาแน่นของเม็ดดินสูงที่สุด ควรจะเกิดที่ตำแหน่งเดียวกับ dried condition เพราะจะทำให้ดินมีความแข็งแรงสูงสุด



เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณในดินมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดสูงสุด สาเหตุที่ทำให้เส้นกราฟมีลักษณะดังกล่าว ที่ความหนาแน่นลดลงในช่วงแรกที่มีปริมาณน้ำน้อยๆ ก็เนื่องจากว่าผลของแรงดึงผิวที่เกิดขึ้นในระหว่างช่องว่างของเม็ดดินทราย ซึ่งทำให้เม็ดดินไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ และจะไม่แน่นขึ้นเมื่อบดอัด



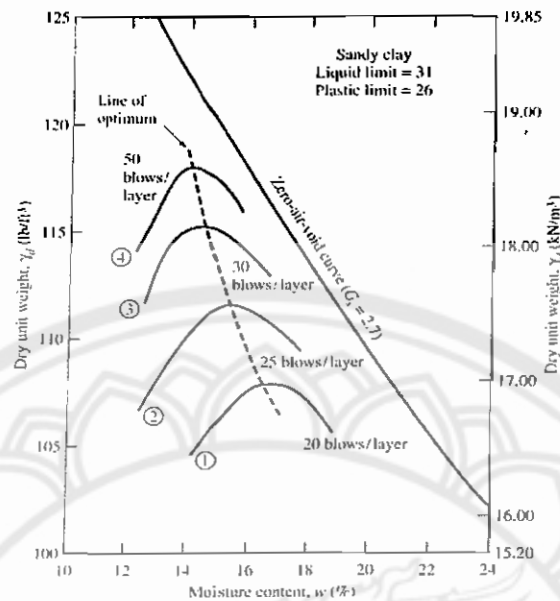
รูปที่ 10.5.5 เส้นกราฟการบดอัดสำหรับดินชนิดต่างๆ

2. พลังงานในการบดอัด

พลังงานในการบดอัดดินจะมีผลทำให้ดิน (1) มี γ_d สูงขึ้น (2) ปริมาณน้ำที่เหมาะสมลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.5.6 โดยพลังงานในการบดอัด (Compaction Effort) ของมาตรฐานการบดอัดแบบมาตรฐานและการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน คำนวณได้จากสมการ

$$E = \frac{(\text{จำนวนชั้น})(\text{จำนวนครั้งต่อชั้น})(\text{น้ำหนักของก้อน})(\text{ระยะตกของก้อน})}{\text{ปริมาตรของดินในแบบ}}$$

เมื่อ E = พลังงานในการบดอัด (Compaction Effort)



รูปที่ 10.5.6 พลังงานในการบดอัดดินของ Sandy clay

จากรูปที่ 10.5.6 ข้างบน จะเห็นได้ว่า

- 1) เมื่อค่า Compaction Effort เพิ่มขึ้น ค่า Maximum Dry Unit Weight ของดินบดอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- 2) เมื่อค่า Compaction Effort เพิ่มขึ้น ค่า Optimum Water Content จะมีค่าลดลง

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 แบบหล่อดิน (Compaction Mold) $\phi 4" \times 4.6"$ หรือ $\phi 6" \times 5.0"$ พร้อมด้วยปลอก (Collar) ขนาดเดียวกัน และแผ่นฐาน

4.2 ค้อนบดอัด (Hammer) ขนาด 5.5 ปอนด์ หรือขนาด 10 ปอนด์

4.3 ตะแกรงร่อน เบอร์ 4 (Standard Proctor Test) ตะแกรงร่อน เบอร์ $\frac{3}{8}$ นิ้ว (Modified Proctor Test)

4.4 ค้อนยาง, แปรงอ่อนใช้บดดิน

4.5 ช้อนตักดิน

4.6 บรรทัดเหล็กปาดดิน

4.7 ภาดผสมดิน

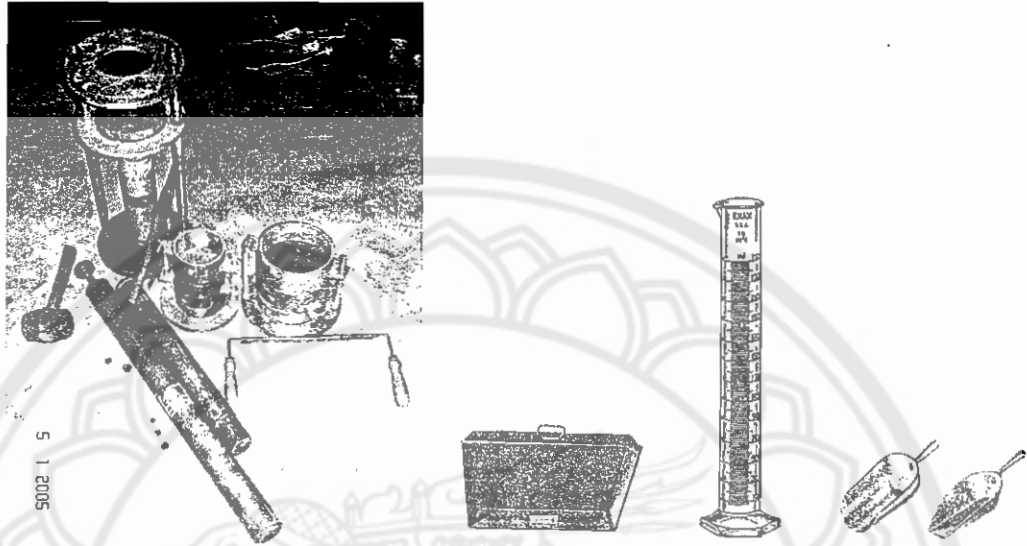
4.8 ตาชั่ง (Balance) ซึ่งได้ละเอียด 0.1 กรัม และ 0.01 กรัม

4.9 เตาอบ(Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงถึง 105°C ได้อย่างสม่ำเสมอ

4.10 กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (Can)

4.11 เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Ejector)

4.12 กระบอกตวง



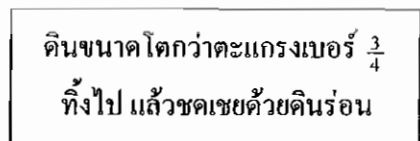
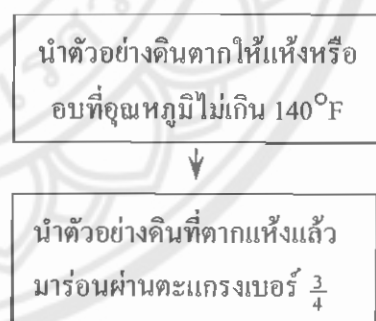
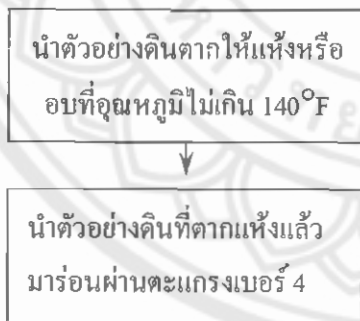
รูปที่ 10.5.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการบดอัด

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1 Standard Proctor Test

5.1.2 Modified Proctor Test



รูปที่ 10.5.8 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Standard Proctor Test

รูปที่ 10.5.9 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Modified Proctor Test

5.2 วิธีทดสอบการบดอัดดิน

5.2.1 Standard Proctor Test



รูปที่ 10.5.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Standard Proctor Test

5.2.2 Modified Proctor Test



รูปที่ 10.5.11 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Modified Proctor Test

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 น้ำหนัก Can (W_C)

6.2 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})

6.3 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

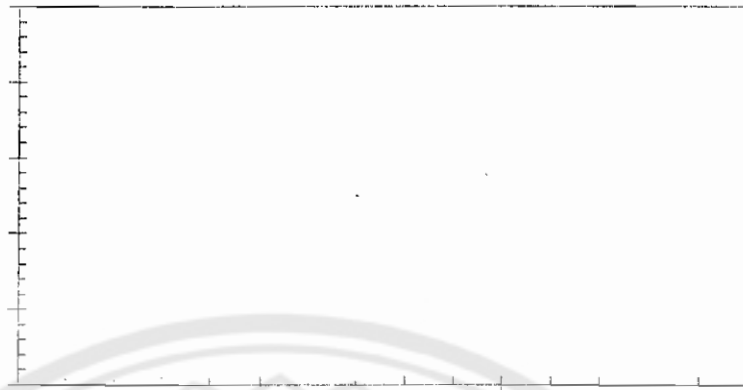
6.4 มวลของแบบบดอัดดิน (W_M)

6.5 มวลของตัวอย่างดินเปียกที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{MWS})

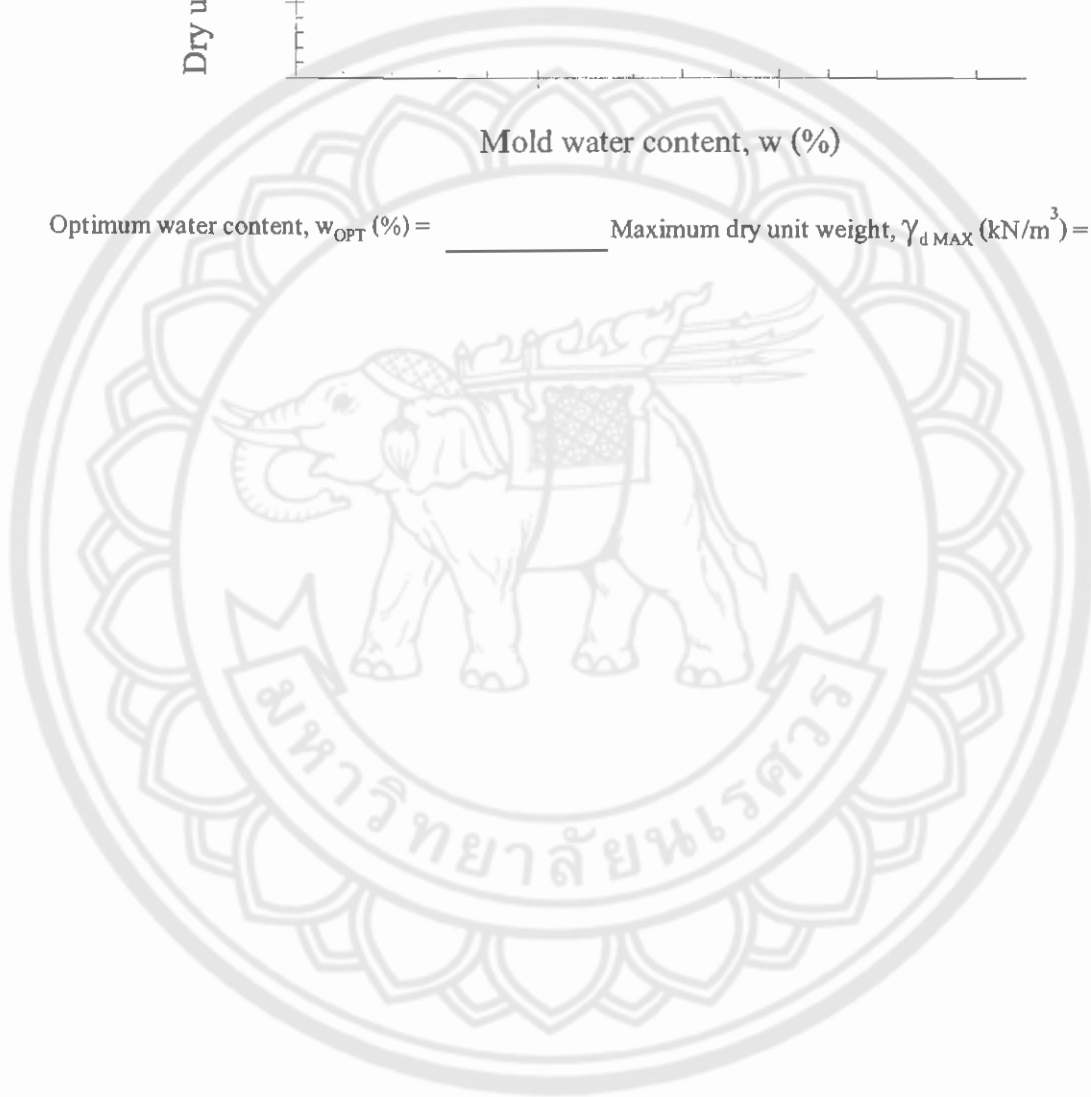
Soil Description _____	Project _____
Location _____	Test No _____
Boring No _____	Date _____
Sample No _____	Tested By _____
Sample Depth _____	Checked By _____
Type of compaction test _____	No of Layers _____
Mold Dia (cm) _____	No of Blows / Layer _____
Mold Ht. (cm) _____	Drop height (inch) _____
Mold Vol (cc) _____	Ram. Weight (kg) _____

Compaction Test No	1	2	3	4	5
<i>Water Content Determination:</i>					
Can No.					
Weight of Can, W_C (gm)					
Weight of Can + Wet soil, W_{CWS} (gm)					
Weight of Can + Dry soil, W_{CDS} (gm)					
Weight of water, W_W^1 (gm)					
Weight of dry soil in can, W_{DS}^2 (gm)					
Water Content, w^3 (%)					
Average w					
<i>Unit Weight Determination:</i>					
Weight of Mold, W_M (gm)					
Weight of Mold + Wet soil, W_{MWS} (gm)					
Weight of Wet Soil in Mold, W_{WS} (gm)					
Wet Unit Weight, g_T^4 (kN/m^3)					
Dry Unit Weight, g_d^5 (kN/m^3)					

Note: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$ 2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$ 3. $w = (W_W/W_{DS}) * 100$
 4. $g_T = r_T * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$, whereas r_T in gm/cc = $W_{WS} / \text{Vol of M}$ 5. $g_d = g_T / (1 + w/100)$

Dry unit weight, γ_d (kN/m³)

Mold water content, w (%)

Optimum water content, w_{OPT} (%) = _____ Maximum dry unit weight, γ_{dMAX} (kN/m³) = _____

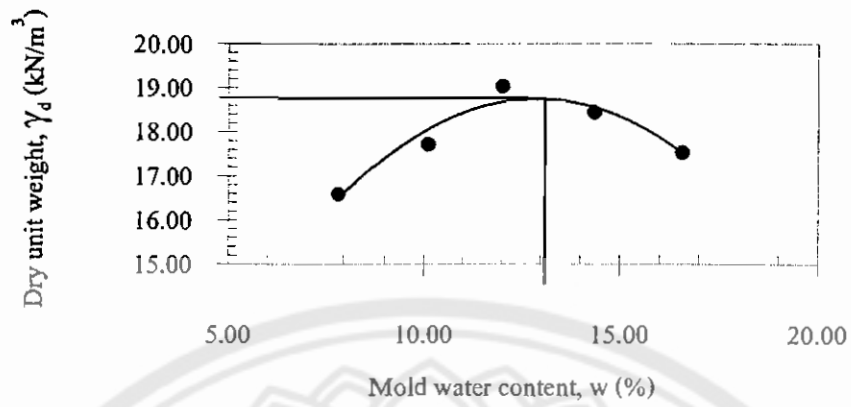
7. ตัวอย่างการทดสอบ

Soil Description _____ Project _____
 Location _____ Test No _____
 Boring No _____ Date _____
 Sample No _____ Tested By _____
 Sample Depth _____ Checked By _____

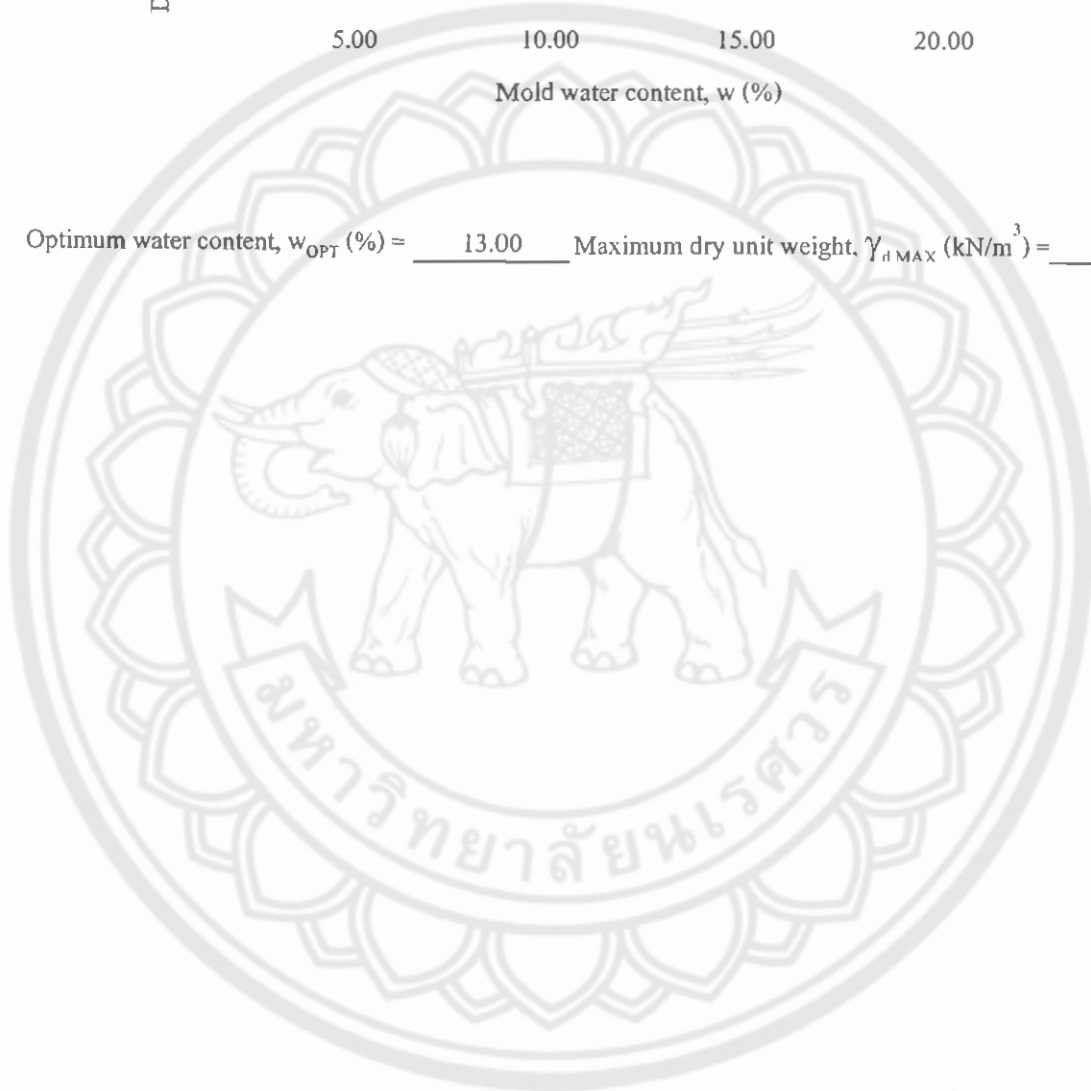
Type of compaction test _____ No of Layers _____
 Mold Dia (cm) _____ No of Blows / Layer _____
 Mold Ht. (cm) _____ Drop height (inch) _____
 Mold Vol (cc) _____ 1000 cm³ (SI mold) Ram. Weight (kg) _____

Compaction Test No		1	2	3	4	5					
<i>Water Content Determination:</i>											
Can No.		75	77	81	86	87	88	93	104	109	110
Weight of Can,	W_C (gm)	22.57	22.02	22.00	22.32	17.85	17.80	17.32	17.46	17.21	17.25
Weight of Can + Wet soil,	W_{CWS} (gm)	93.80	98.24	93.96	101.8	97.62	88.47	95.22	102.5	100.7	97.07
Weight of Can + Dry soil,	W_{CDS} (gm)	88.64	92.66	87.37	94.46	89.00	80.94	85.47	91.83	88.83	85.68
Weight of water,	W_w^1 (gm)	5.16	5.58	6.59	7.30	8.62	7.53	9.75	10.70	11.82	11.39
Weight of dry soil in can,	W_{DS}^2 (gm)	66.07	70.64	65.37	72.14	71.15	63.14	68.15	74.37	71.62	68.43
Water Content,	w^3 (%)	7.81	7.90	10.08	10.12	12.12	11.93	14.31	14.39	16.50	16.64
	Average w	7.85	10.10	12.02	14.35	16.57					
<i>Unit Weight Determination:</i>											
Weight of Mold,	W_M (gm)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Weight of Mold + Wet soil,	W_{MWS} (gm)	3757.20	3921.40	4109.00	4082.50	4082.50	4082.50	4082.50	4082.50	4082.50	4082.50
Weight of Wet Soil in Mold,	W_{WS} (gm)	1824.20	1988.40	2176.00	2149.50	2149.50	2149.50	2149.50	2149.50	2149.50	2149.50
Wet Unit Weight,	γ_T^4 (kN/m ³)	17.89	19.50	21.34	21.08	21.08	21.08	21.08	21.08	21.08	21.08
Dry Unit Weight,	γ_d^5 (kN/m ³)	16.59	17.71	19.03	18.44	18.44	18.44	18.44	18.44	18.44	18.44

Note: 1. $W_w = W_{CWS} - W_{CDS}$ 2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$ 3. $w = (W_w/W_{DS}) * 100$
 4. $\gamma_T = \rho_T * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$, whereas ρ_T in gm/cc = $W_{WS} / \text{Vol of Mold}$ 5. $\gamma_d = \gamma_T / (1 + w/100)$



Optimum water content, w_{OPT} (%) = 13.00 Maximum dry unit weight, γ_{dMAX} (kN/m³) = 18.80



8. การคำนวณ (Calculation)

8.1 Compute water content (% w)

$$\begin{aligned} \% w &= \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry soil}} * 100 \\ &= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_w &= (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can + dry soil}) \\ &= W_{CWS} - W_{CDS} \\ &= 93.80 - 88.64 \quad \text{gm} \\ &= 5.16 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DS} &= (\text{mass of can + dry soil}) - (\text{mass of can}) \\ &= W_{CDS} - W_C \\ &= 88.64 - 22.57 \quad \text{gm} \\ &= 66.07 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% w &= \frac{5.16}{66.07} * 100 \quad \frac{\text{gm}}{\text{gm}} \\ &= 7.81 \end{aligned}$$

8.2 Mass of wet soil in Mold, W_{WS}

$$\begin{aligned} W_{WS} &= (\text{mass of wet soil + mold}) - (\text{mass of mold}) \\ &= 3757.2 - 1933.0 \quad \text{gm} \\ &= 1824.2 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

8.3 Wet Unit Weight, g_T

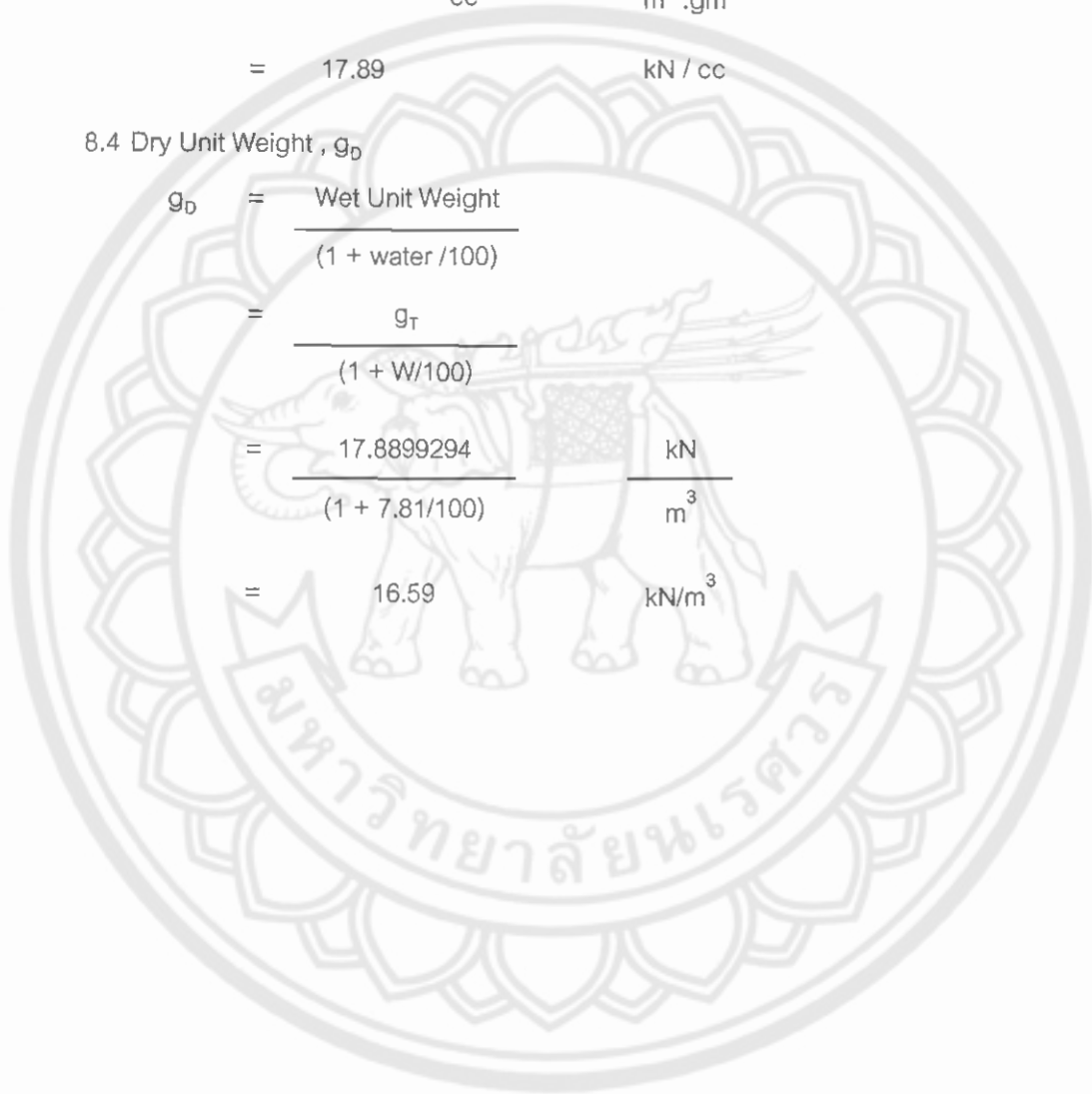
$$\begin{aligned} g_T &= (\text{density of soil}) * 9.807 \\ &= r_T * 9.807 \end{aligned}$$

$$r_T = \frac{(\text{mass of wet soil in mold})}{\text{Vol. Of mold}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1824.20}{1000} \frac{\text{gm}}{\text{cc}} \\
 &= 1.8242 \text{ gm/cc} \\
 g_T &= 1.8242 \frac{\text{gm}}{\text{cc}} * 9.807 \frac{\text{kN}\cdot\text{cc}}{\text{m}^3 \cdot \text{gm}} \\
 &= 17.89 \text{ kN/cc}
 \end{aligned}$$

8.4 Dry Unit Weight, g_D

$$\begin{aligned}
 g_D &= \frac{\text{Wet Unit Weight}}{(1 + \text{water}/100)} \\
 &= \frac{g_T}{(1 + W/100)} \\
 &= \frac{17.8899294}{(1 + 7.81/100)} \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\
 &= 16.59 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$



9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 ในงานก่อสร้างที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น งานถมชั้นทางถนน, เขื่อน, หรืองานฐานราก จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ใช้ให้ดีขึ้นจนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ เช่น กำลังของดิน (Shear Strength) การหดตัว (Shrinkage) หรือ การซึมผ่านของน้ำได้ (Permeability) และยังรวมไปถึงการทรุดตัวของดิน โดยการทดสอบการบดอัดจะเป็นค่าที่ใช้ในการควบคุมการบดอัดในสนามสำหรับแหล่งวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อสร้าง ด้วยการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การบดอัด (Percent Compaction) และค่าความชื้น (Water Content) เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของดินว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

9.2 ในระหว่างการออกแบบสำหรับงานดินถม, งานทดสอบกำลังของดิน, การทรุดตัวของดิน, การซึมผ่านของน้ำ หรือการทดสอบอื่นๆ จำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมวัสดุตัวอย่างด้วยการบดอัด (Compaction) ที่ตำแหน่งของค่าความชื้น (Water Content) ที่จุดๆหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่า Unit Weight ที่ต้องการ นับเป็นหลักทั่วไปของการทดสอบที่จะต้องพิจารณาค่า Optimum Water Content และค่า Maximum Dry Unit Weight เป็นลำดับแรกด้วยการทำการทดสอบบดอัด และค่าทั้งสองก็จะถูกนำมาใช้ประกอบในการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการบดอัด (Percent of Compaction)

10. วัตถุประสงค์สอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 ในที่ประชุมร่วมระหว่างเจ้าของโครงการโครงการออกแบบก่อสร้างทางวิ่ง (taxi way) สำหรับการขยายท่าอากาศยานนานาชาติพิบูลย์โลก, NAGOYAMA Engineering Evaluation Company ซึ่งทำหน้าที่ประเมินผลการใช้งบประมาณเงินกู้จากประเทศญี่ปุ่น, บริษัท บัณฑิต Quality Construction จำกัด ซึ่งเป็นผู้รับเหมา, และ บริษัท เกษมสันต์ Consultants จำกัด ซึ่งเป็นที่ปรึกษา ให้กับเจ้าของโครงการ เพื่อร่วมตกลงแผนงาน ชี้แจงรายละเอียดและตอบคำถามเกี่ยวกับแบบก่อสร้าง และข้อกำหนดประกอบแบบก่อสร้าง (specification) นายช่างปโยธร วิศวกรโยธาของ NAGOYAMA Engineering Evaluation Company ได้ขอให้นายช่างสุเมธ Site Engineer ของบริษัท บัณฑิต Quality Construction จำกัด ได้โปรดกรุณานำเสนอ (present) อย่างสั้นๆ [พร้อมกับแสดงเหตุผล, sketch ภาพ, หรือแสดงรายการคำนวณประกอบการให้ข้อคิดเห็น หากคิดว่าจะช่วยให้อ่าน/ผู้ฟัง เข้าใจได้ง่ายขึ้น] ตามประเด็น ดังนี้

10.1.1 Compaction คืออะไร? คล้ายกับ และ/หรือ แตกต่างกับ consolidation อย่างไร?

ตอบ Compaction คือ วิธีการบดอัดดินให้แน่นขึ้นโดยใช้เครื่องมือกล หรือใช้แรงกระแทกเพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินเรียงตัวอัดกันแน่นขึ้น ส่วน consolidation นั้นเป็นการยุบตัวหรืออัดตัวของดินเช่นเดียวกัน แต่โดยอาศัยธรรมชาติภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่กระทำเป็นเวลานาน เช่น ใช้ดินถมทับ เพื่อให้ น้ำในดินหนีออกไป

10.1.2 Compaction curve คืออะไร? และนำมาใช้ประโยชน์ในการทดสอบ Compaction test ได้อย่างไร?

ตอบ Compaction curve คือ เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของเม็ดดินที่จะได้ เมื่อไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินเลย นั่นคือหลังจากที่บีบอัดดินแล้ว จะได้ดินที่มีความ เปอร์เซ็นต์

10.1.3 Optimum moisture content คืออะไร? เป็น moisture content ที่ควรเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกับ maximum wet density, หรือ saturated condition, หรือ dried condition? เพราะเหตุใด? และจะสามารถนำ optimum moisture content มาใช้ประโยชน์ในการทดสอบ compaction test ได้อย่างไร?

ตอบ คือปริมาณน้ำในมวลดินที่ให้ค่าความหนาแน่นของเม็ดดินสูงสุด ควรจะเกิดที่ตำแหน่งเดียวกับ dried condition เพราะจะทำให้ดินมีความแข็งแรงสูงสุด



Test 6 California Bearing Ratio Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 149-155

1.2 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1992 p. 217-226

1.3 วรากร ไม่เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 69-80

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อทดสอบหาค่ากำลังของดินที่ถูกบดอัดในรูปของค่า %CBR

3. หลักการ (Principals)

CBR Test เป็นการหาค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดิน ในสภาวะที่ดินถูกควบคุมปริมาณความชื้นและบดอัดจนแน่นดี (จะทดสอบที่ Optimum Water Content เป็นส่วนใหญ่) โดยจะใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อวินาที จะบันทึกผลเป็นค่า Test Unit Load แล้วทำเป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Standard Unit Load ที่ได้จากการทดสอบแบบเดียวกันกับหินคลุกมาตรฐานที่บดอัดแน่นในระดับความลึกของการกด (Penetration) ที่เท่ากัน ค่าอัตราส่วนที่ได้เรียกว่า "เปอร์เซ็นต์ CBR" เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

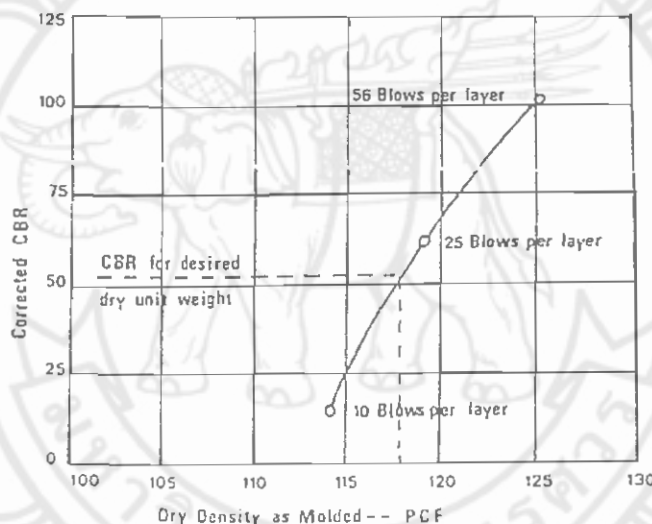
$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100$$

ค่า Standard Unit Load ของหินคลุกมาตรฐานบดอัดแน่น จากการกดท่อนเหล็กกลมตันหน้าตัด 3 ตารางนิ้ว มีดังตารางที่ 10.6.1

PENETRATION		STANDARD UNIT STRESS	
mm	in	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	15000
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

ตารางที่ 10.6.1 หน่วยแรงมาตรฐาน (California Division of Highway) (Bowles, 1992)

การทดสอบ CBR ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยการทำงานจริงการทดสอบ CBR จะทดสอบตัวอย่างดินจากบ่อยืม (Borrow Pit) ในชั้นออกแบบถนนและจะตรวจสอบอีกครั้งในช่วงการก่อสร้าง โดยจะทำการทดสอบควบคู่กับการทดสอบบดอัด (Compaction Test) และการทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม (Field Density Test) ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบบดอัดดินในห้องทดลองก่อน เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) หลังจากนั้นจึงทดสอบ CBR ที่ค่าความชื้นเดียวกัน ซึ่งในการทดสอบต้องการผลค่า CBR ที่ความหนาแน่นเดียวกันกับค่าความหนาแน่นจากการบดอัดในสนามซึ่งเป็นไปได้ยาก จึงต้องทำการบดอัดตัวอย่างดินชุดละ 3 ตัวอย่างเพื่อให้ได้ความหนาแน่นในช่วง 95-100 % เพื่อครอบคลุมผลที่ต้องการ เมื่อทำการทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างแล้วนำผลที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่า CBR กับความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ค่าความหนาแน่นที่ต้องการจากการบดอัดดินจากในสนามก็จะสามารถอ่านค่า (Interpolate) ค่า CBR จากกราฟนี้ได้ (รูปที่ 10.6.1)

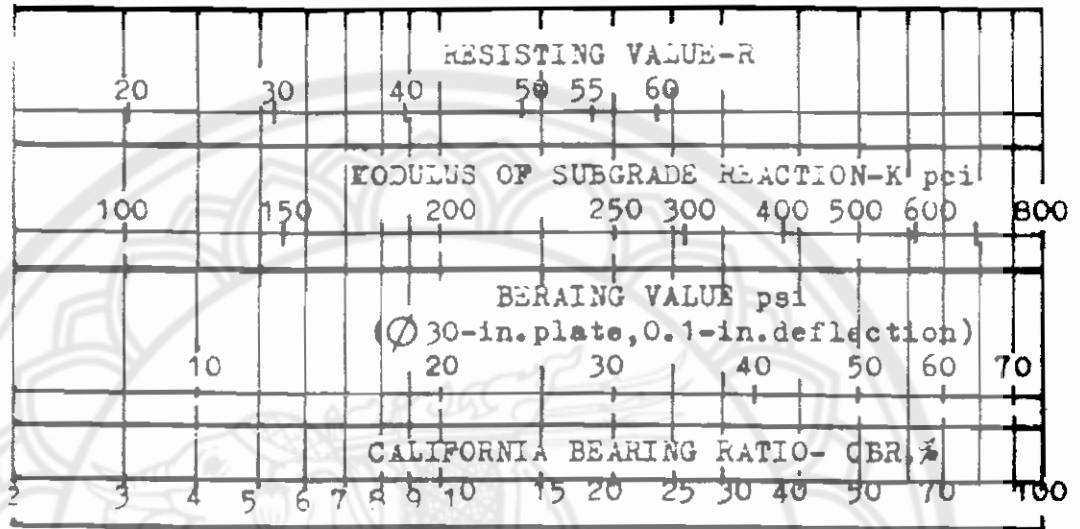


รูปที่ 10.6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ CBR (ASTM, 1995)

การทดสอบ CBR เมื่อนำผลมาพล็อตกราฟระหว่าง Test Unit Load ในแกนตั้งกับ Penetration ในแกนนอน โดยปกติจะได้รูปโค้งคว่ำผ่านจุดกำเนิด แต่บางครั้งจะปรากฏว่าเส้นโค้งที่ได้มีลักษณะโค้งหงายในช่วงแรก จึงต้องแก้ไขให้ถูกต้องด้วยการลากเส้นตรงสัมผัสกับ Curve ตรงส่วนที่มีความชันมากที่สุดไปตัดกับแกนนอนโดยจะได้จุดที่ตัดกันนั้นเป็นจุดกำเนิดใหม่ เรียกว่า "Initial Correction" ดังแสดงในรูปที่ 10.6.2

โดยทั่วไปแล้วค่า %CBR จะใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลของ %CBR ของแรงกดที่ความลึก 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ความลึก 0.1 นิ้ว ก็ควรจะทำการศึกษาซ้ำ ซึ่งถ้าค่า %CBR ที่ได้ยังมีค่าเช่นแบบเดิมก็ให้ใช้ %CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่า CBR นำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design Charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตได้อีกด้วย

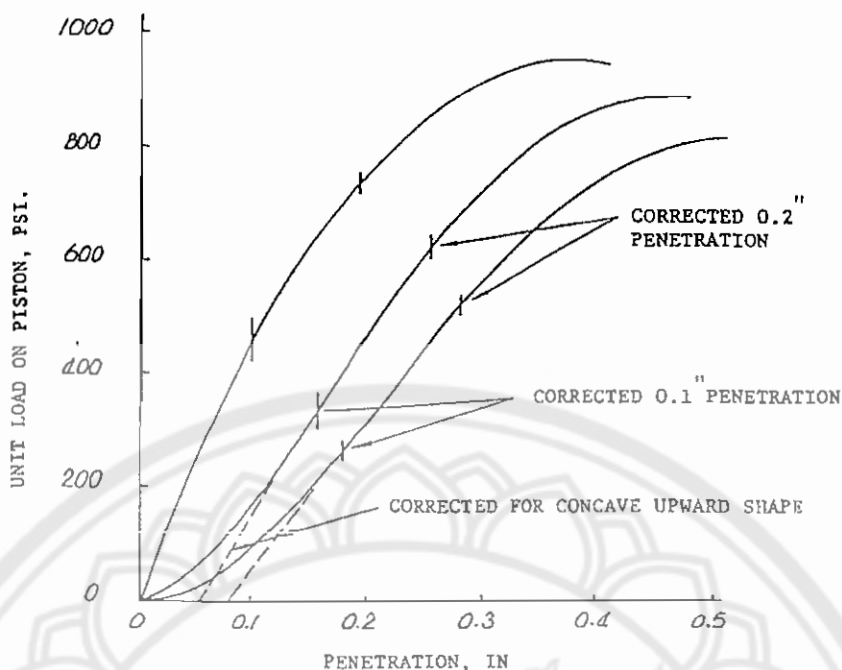


รูปที่ 10.6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value

จากค่า CBR ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นดินถม ชั้นรองพื้นทาง (subbase) หรือชั้นพื้นทาง (base) ดังตารางข้างล่างนี้

CLASSIFICATION SYSTEM				
CBR No.	General rating	Uses	United	AASHTO
0-3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Poor to fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Good	Base or Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excellent	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

ตารางที่ 10.6.2 แสดงความสัมพันธ์ของ %CBR และการใช้งาน



รูปที่ 10.6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load กับ Penetration
(วรากร, จีรพัฒน์ และประทีป, 2525)

สำหรับวิธีการทดสอบ CBR นั้นสามารถทำได้ 2 สถานะ คือ ทดสอบแห้ง (Unsoaked Test) จะกดทดลองทันทีหลังเตรียมตัวอย่างเสร็จและทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Test) จะต้องแช่ไว้ 96 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอมน้ำจนอิ่มตัว โดยสาเหตุที่มีการทดสอบแบบแช่น้ำ ก็เพื่อหาค่า CBR ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งสำหรับฤดูฝนนั้นระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นทำให้คันถนนบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ใต้น้ำ และในการทดสอบจะทำให้ทราบถึงอัตราการบวมตัวของดิน ซึ่งจะเป็นค่าหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติและความเหมาะสมสำหรับในการใช้งานของวัสดุนั้นๆ

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 การบดอัด (Compaction)

4.1.1 แบบหล่อดิน (Mold) เส้นผ่านศูนย์กลาง 6" x 7" พร้อมด้วยปลอก (Collar) สูง 2.5" และแผ่นฐาน (Base plate)

4.1.2 แผ่นเหล็กทรง (Spacer Disc) สูง 2.5 นิ้ว

4.1.3 ค้อนบดอัด (Hammer) ขนาด 5.5 ปอนด์ หรือ ขนาด 10 ปอนด์

4.1.4 กระบอกตวง ขนาด 250 – 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.1.5 ถาดผสมดิน

4.1.6 บรรทัดเหล็กปาดดิน

4.1.7 เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Ejector)

4.1.8 ช้อนตักดิน

4.1.9 กระดาษรอง (Filter Paper)

4.2 การวัดการบวมตัว (Swell)

4.2.1 แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) พร้อมขาตั้งมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

4.2.2 สามขา (Tripod) เพื่อวัดอัตราการบวมตัวของดินเมื่อแช่น้ำ

4.2.3 มาตรฐานน้ำปิด (Dial Gauge) อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว

4.2.4 แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)

4.2.5 ถังน้ำแช่ดินพร้อมแบบหล่อดิน (Mold)

4.3 การกดทดสอบ (Penetration)

4.3.1 เครื่องกดแบบกลหรือแบบไฟฟ้า

4.3.2 แท่งเหล็กกด (Penetration Piston)

4.3.3 มาตรฐานน้ำปิด (Dial Gauge) วัดค่ายุบตัว (Penetration) ของตัวอย่างดิน

4.3.4 ที่ยึดมาตรฐานน้ำปิด

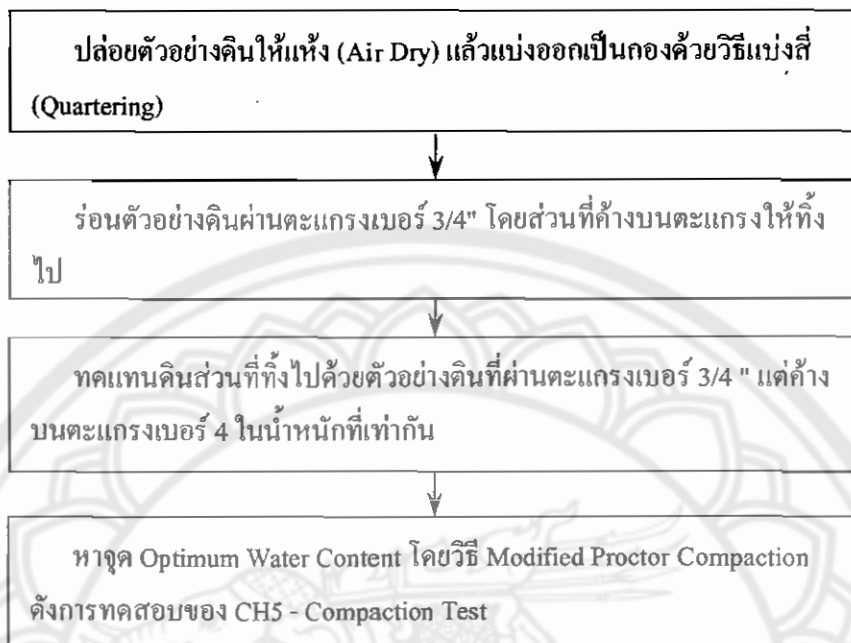
4.3.5 วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)



รูปที่ 10.6.4 แสดง เครื่องกดทดสอบ CBR

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

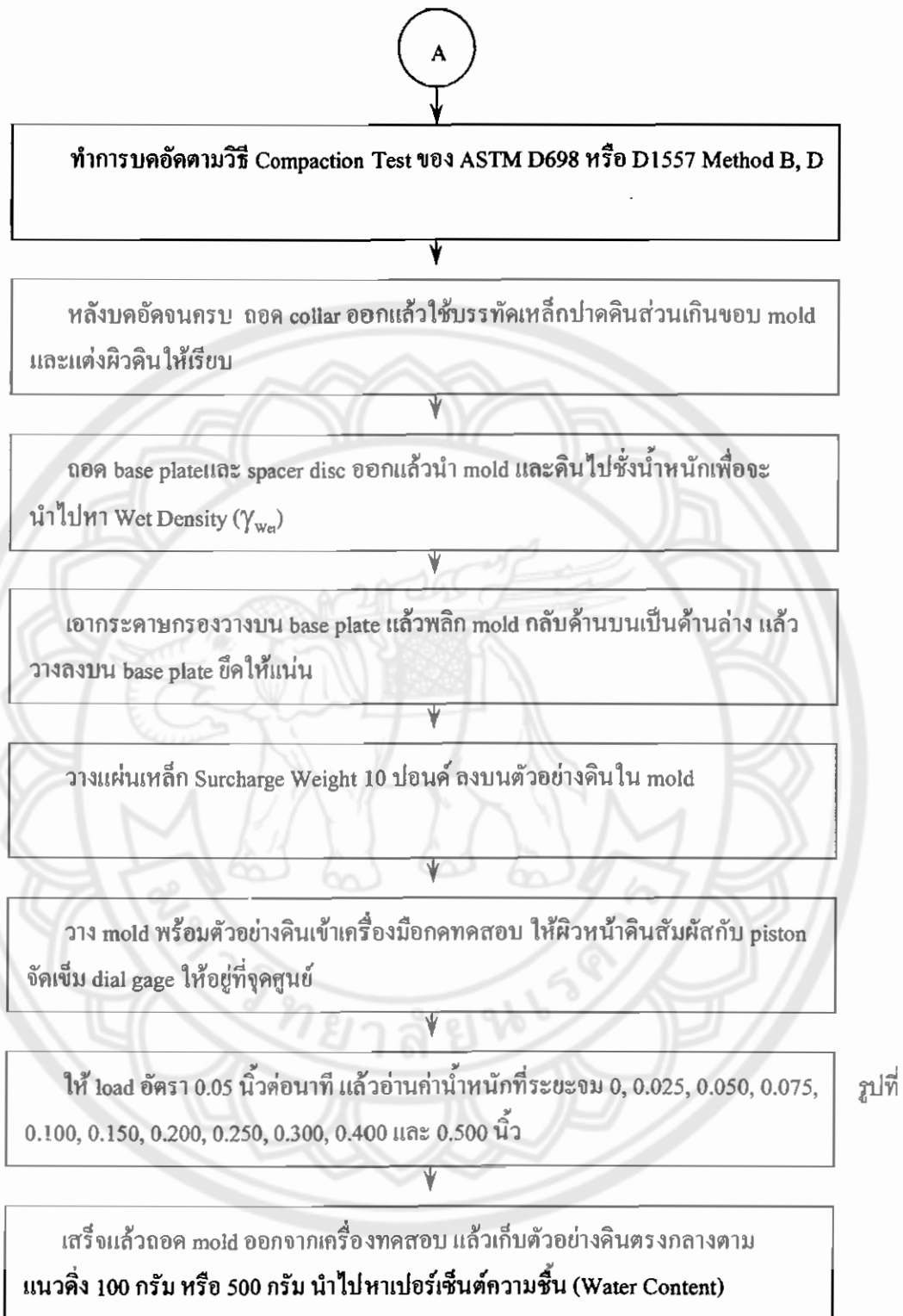


รูปที่ 10.6.5 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

5.2 วิธีการทดสอบ CBR

5.2.1 วิธีการทดสอบแบบแห้ง (Unsoaked Test)



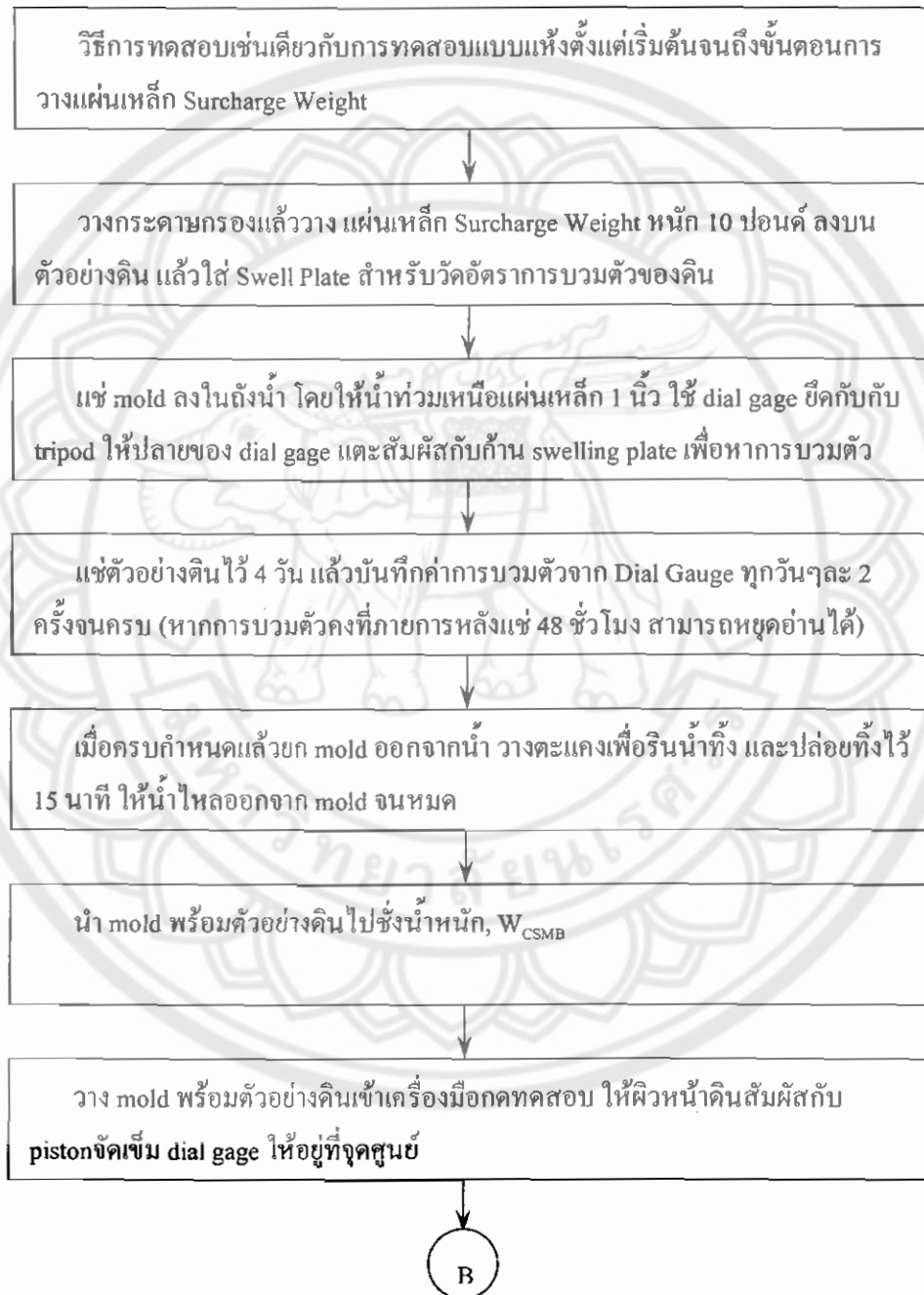


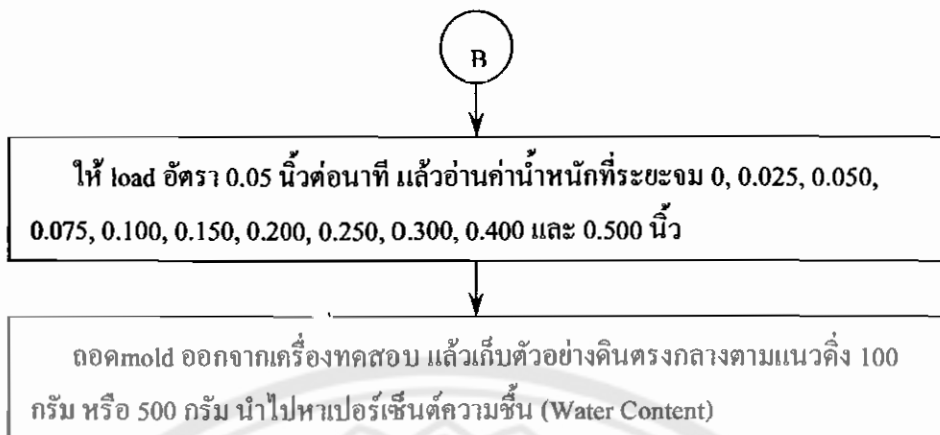
10.6.6 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแห้ง (Unsoaked Test)

หมายเหตุ

ขั้นตอนสุดท้ายในการเก็บตัวอย่างดินไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั้นจะเก็บปริมาณดินโดยขึ้นกับชนิดของขนาดดิน โดยมีข้อกำหนดดังนี้ Fine Grained Soil – 100 กรัม, Coarse Grained Soil – 500 กรัม

5.2.2 วิธีทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Test)





รูปที่ 10.6.7 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ (Soaked Test)

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

- 6.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบหล่อดิน
- 6.2 Height of (wet) compacted specimen (H_0)
- 6.3 น้ำหนัก Can (W_C)
- 6.4 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})
- 6.5 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CBS})
- 6.6 น้ำหนักของตัวอย่างดินที่ถูกบดอัด + แบบหล่อดิน + แผ่นรองพื้น (W_{CSMB})
- 6.7 น้ำหนักของแบบหล่อดินรวมกับแผ่นรองพื้น (W_{MB})
- 6.8 Loading Ring Constant (LRC)
- 6.9 Weight of Surcharge for Bearing Test (N_{S-B})
- 6.10 Seating Load before Bearing Test (L_{SEAT})
- 6.11 Rate of Penetration
- 6.12 Piston Load Dial Reading (PLDR)

California Bearing Ratio - CBR Test

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____
Spacer Disc	_____	No of Layers	_____
Mold Dia (cm)	_____	No of Blows/Layer	_____
Hammer Weight (lbf)	_____	Drop Height (ft)	_____

Compaction Data of CBR Test Specimen

Determination of Compactive Effort (E)			
CBR MOLD no.			
Height of (wet) compacted specimen,	H_O (cm)		
Volume of (wet) compacted specimen,	V_O (cc)		
Compactive Effort	E^1 (ft-lbf/ft ³)		

Obtain Water Content of Compacted Specimen

For CBR MOLD no.			
Can No.			
Weight of Can,	W_C (gm)		
Weight of Can + Wet soil,	W_{CWS} (gm)		
Weight of Can + Dry soil,	W_{CDS} (gm)		
Weight of water = WCWS - WCDS,	W_W (gm)		
Weight of dry soil (in can) = WCDS - WC,	W_{DS} (gm)		
Water content (each can) = $W_W / W_{DS} * 100$	w_C (%)		
Mold (average) water content = average W_C ,	w (%)		

Determination of Density of Compacted Specimen

For CBR MOLD no.			
Weight of compacted spec. + mold + base plat	W_{CSMB} (gm)		
Weight of mold + base plate,	W_{MB} (gm)		
Weight of (wet) compacted specimen	W_{W-CS}^2 (gm)		
Density of (wet) compacted specimen	γ_{W-CS}^3 (gm/cc)		
Dry density of compacted specimen	γ_{D-CS}^4 (gm/cc)		
Weight of (dry) compacted specimen	W_{W-CS}^5 (gm)		

Note: 1. $E = (\text{blows/layer}) * (\text{layers}) * (\text{hammer weight}) * (\text{drop height}) / (\text{volume of compacted specimen} * 1 \text{ ft}^3 / 30.48^3 \text{ cc})$

2. $W_{W-CS} = W_{CSMB} - W_{MB}$

3. $\gamma_{W-CS} = W_{W-CS} / V_O$

4. $\gamma_{D-CS} = \gamma_{W-CS} / (1 + w/100)$

5. $W_{D-CS} = \rho_{D-CS} * V_O$

CBR - BEARING TEST

Compaction and Swelling Data					
For Compacted Test Specimen in CBR Mold no.					
Mold (average) water content = average w_c ,	w_M (%)				
Compactive Effort	E^{10} (ft-lbf/ft ³)				
Density of (wet) compacted specimen	ρ_{w-CS} (gm/cc)				
Dry density of compacted specimen	ρ_{D-CS} (gm/cc)				
Specimen Soaking		Soaked / Unsoaked		Soaked / Unsoaked	
Weight of Surcharge for Specimen Soaking,	N_{S-S}^{11} (N)				
Wet density of soaked-compacted specimen,	ρ_{S-CS}^{11} (gm/cc)				
Set-up of Bearing Test					
Loading Ring Constant,	LRC (N/div)				
Weight of Surcharge for Bearing Test	N_{S-B}^{12} (N)				
Seating Load before Bearing Test	L_{SFAT}^{13} (N, div)				
Rate of Penetration	(mm/min, div/min)				
Stress - Penetration Data					
Remarks	Penetration P^{14} (mm)	Piston Load Dial Reading PLDR (N/div)	Stress on Piston σ_p^{15} (kN/m ²)	Piston Load Dial Reading PLDR (N/div)	Stress on Piston σ_p^{15} (kN/m ²)
10. Obtained as shown in DATA SHEET NO: CBR 1/4	0				
	0.25				
	0.5				
11. Obtained as shown in DATA SHEET NO: CBR 2/4	0.75				
	1				
	1.5				
	2				
	2.5				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12.5				
Determination of Water Content of Specimen after Bearing Test					
Water content of Specimen @ Top 1/3,	$w_{T1/3}$ (%)				
Water content of Specimen @ Middle 1/3,	$w_{M1/3}$ (%)				
Water content of Specimen @ Bottom 1/3,	$w_{B1/3}$ (%)				
Average water content of Loaded Specimen,	w_{LS}^{16} (%)				

CBR - BEARING TEST

Soil Description _____	Project _____
Location _____	Test No _____
Boring No _____	Date _____
Sample No _____	Tested By _____
Sample Depth _____	Checked By _____

Stress on Piston, σ (kN/m²)

Penetration, P (mm)

Determination of California Bearing Ratio (CBR)			
Corrected stress for 0.1 inch penetration,	$\sigma_{C-0.1}$ (kN/m ²)		
Corrected stress for 0.2 inch penetration,	$\sigma_{C-0.2}$ (kN/m ²)		
Corrected stress for the maximum stress,	σ_{C-MAX} ¹⁷ (kN/m ²)		
Bearing ratio for 0.1 inch penetration,	$CBR_{0.1}$ ¹⁸ (%)		
Bearing ratio for 0.2 inch penetration,	$CBR_{0.2}$ ¹⁹ (%)		
Bearing ratio for the maximum stress,	CBR_{MAX} ²⁰ (%)		
California Bearing Ratio,	CBR ²¹ (%)		

Note: 17. Reported when the penetration is less than 0.2 inch (5.08 mm)

$$18. CBR_{0.1} = (\sigma_{C-0.1} \text{ kN/m}^2) / (6900 \text{ kN/m}^2) * 100\% \quad 19. CBR_{0.2} = (\sigma_{C-0.2} \text{ kN/m}^2) / (10300 \text{ kN/m}^2) * 100\%$$

$$20. CBR_{MAX} = (\sigma_{C-MAX} \text{ kN/m}^2) / (\text{interpolating standard stress of 6900 and 10300 kN/m}^2) * 100\%$$

21. When $CBR_{0.1} \geq CBR_{0.2}$, the CBR reported for the soil is $CBR_{0.1}$ when $CBR_{0.2}$ is greater, rerun the test.

If the check test gives a similar, use $CBR = CBR_{0.2}$

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

California Bearing Ratio - CBR Test

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____
Spacer Disc	_____	No of Layers	5
Mold Dia (cm)	15.03 (สูง 11.655 cm)	No of Blows/Layer	56
Hammer Weight (lbf)	10	Drop Height (ft)	1.5

Compaction Data of CBR Test Specimen

Determination of Compactive Effort (E)			
CBR MOLD no.			
Height of (wet) compacted specimen,	H_0 (cm)	11.66	
Volume of (wet) compacted specimen,	V_0 (cc)	2067.86	
Compactive Effort	E^1 (ft-lbf/ft ³)	57513.93	

Obtain Water Content of Compacted Specimen

For CBR MOLD no.			
Can No.			
Weight of Can,	W_C (gm)	24.40	-
Weight of Can + Wet soil,	W_{CWS} (gm)	86.40	-
Weight of Can + Dry soil,	W_{CDS} (gm)	80.00	-
Weight of water = WCWS - WCDS,	W_w (gm)	6.40	-
Weight of dry soil (in can) = WCDS - WC,	W_{DS} (gm)	55.60	-
Water content (each can) = $W_w / W_{DS} * 100$	w_C (%)	11.51	-
Mold (average) water content = average w_C ,	w (%)	11.51	

Determination of Density of Compacted Specimen

For CBR MOLD no.			
Weight of compacted spec. + mold + base plat	W_{CSMB} (gm)	11440.00	
Weight of mold + base plate,	W_{MB} (gm)	7140.00	
Weight of (wet) compacted specimen	W_{w-CS}^2 (gm)	4300.00	
Density of (wet) compacted specimen	γ_{w-CS}^3 (gm/cc)	2.08	
Dry density of compacted specimen	γ_{D-CS}^4 (gm/cc)	1.86	
Weight of (dry) compacted specimen	W_{w-CS}^5 (gm)	3856.13	

Note: 1. $E = (\text{blows/layer}) * (\text{layers}) * (\text{hammer weight}) * (\text{drop height}) / (\text{volume of compacted specimen} * 1 \text{ ft}^3 / 30.48^3 \text{ cc})$

$$2. W_{w-CS} = W_{CSMB} - W_{MB}$$

$$4. \gamma_{D-CS} = \gamma_{w-CS} / (1 + w/100)$$

$$3. \gamma_{w-CS} = W_{w-CS} / V_0$$

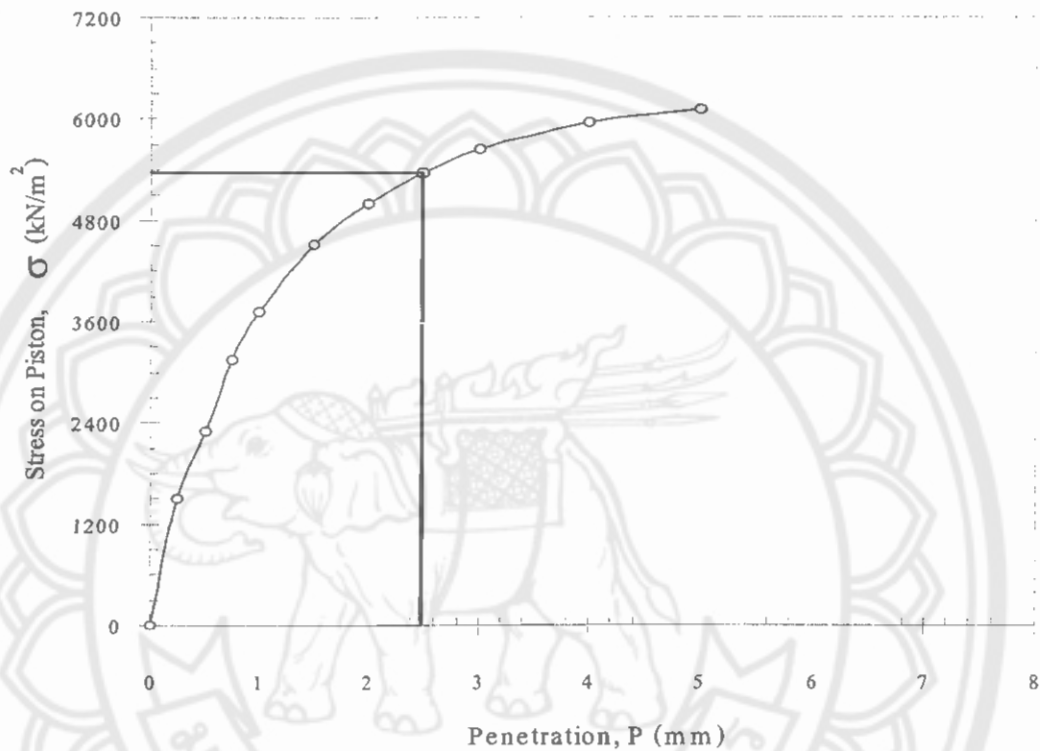
$$5. W_{D-CS} = \gamma_{D-CS} * V_0$$

CBR - BEARING TEST

Compaction and Swelling Data					
For Compacted Test Specimen in CBR Mold no.					
Mold (average) water content = average w_c ,	w_M (%)				
Compactive Effort	E^{10} (ft-lbf/ft ³)				
Density of (wet) compacted specimen	ρ_{W-CS} (gm/cc)				
Dry density of compacted specimen	ρ_{D-CS} (gm/cc)				
Specimen Soaking		Soaked / Unsoaked	Soaked / Unsoaked		
Weight of Surcharge for Specimen Soaking,	N_{S-S}^{11} (N)				
Wet density of soaked-compacted specimen,	ρ_{S-CS}^{11} (gm/cc)				
Set-up of Bearing Test					
Loading Ring Constant,	LRC (N/div)	25.366			
Weight of Surcharge for Bearing Test	N_{C-R}^{12} (N)	66.81			
Seating Load before Bearing Test	L_{SEAT}^{13} (N, div)	-			
Rate of Penetration	(mm/min, div/min)	-			
Stress - Penetration Data					
Remarks	Penetration P^{14} (mm)	Piston Load Dial Reading PLDR (N/div)	Stress on Piston σ_p^{15} (kN/m ²)	Piston Load Dial Reading PLDR (N/div)	Stress on Piston σ_p^{15} (kN/m ²)
10. Obtained as shown in DATA SHEET NO: CBR 1/4	0	0	0		
	0.25	115	1506.76		
11. Obtained as shown in DATA SHEET NO: CBR 2/4	0.5	176	2306.00		
	0.75	240	3144.55		
	1	284	3721.05		
	1.5	345	4520.28		
	2	382	5005.07		
	2.5	410	5371.93		
	3	430	5633.98		
	4	455	5961.53		
	5	466	6105.66		
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12.5				
Determination of Water Content of Specimen after Bearing Test					
Water content of Specimen @ Top 1/3,	$w_{T1/3}$ (%)	-			
Water content of Specimen @ Middle 1/3,	$w_{m1/3}$ (%)	11.51			
Water content of Specimen @ Bottom 1/3,	$w_{B1/3}$ (%)	-			
Average water content of Loaded Specimen,	w_{LS}^{16} (%)	11.51			

CBR - BEARING TEST

Soil Description _____ Location _____ Boring No _____ Sample No _____ Sample Depth _____	Project _____ Test No _____ Date _____ Tested By _____ Checked By _____
---	--



Determination of California Bearing Ratio (CBR)				
Corrected stress for 0.1 inch penetration,	$\sigma_{C-0.1}$	(kN/m ²)		
Corrected stress for 0.2 inch penetration,	$\sigma_{C-0.2}$	(kN/m ²)		
Corrected stress for the maximum stress,	σ_{C-MAX}	(kN/m ²)		
Bearing ratio for 0.1 inch penetration,	$CBR_{0.1}$	(%)	76.81	
Bearing ratio for 0.2 inch penetration,	$CBR_{0.2}$	(%)		
Bearing ratio for the maximum stress,	CBR_{MAX}	(%)		
California Bearing Ratio,	CBR	(%)		

Note: 17. Reported when the penetration is less than 0.2 inch (5.08 mm)

$$18. CBR_{0.1} = (\sigma_{C-0.1} \text{ kN/m}^2) / (6900 \text{ kN/m}^2) * 100\% \quad 19. CBR_{0.2} = (\sigma_{C-0.2} \text{ kN/m}^2) / (10300 \text{ kN/m}^2) * 100\%$$

$$20. CBR_{MAX} = (\sigma_{C-MAX} \text{ kN/m}^2) / (\text{interpolating standard stress of 6900 and 10300 kN/m}^2) * 100\%$$

21. When $CBR_{0.1} \geq CBR_{0.2}$, the CBR reported for the soil is $CBR_{0.1}$ when $CBR_{0.2}$ is greater, rerun the test.

If the check test gives a similar, use $CBR = CBR_{0.2}$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Determination of Compactive Effort (E)

8.1.1 Volume of (wet) compacted specimen, V_o

$$\begin{aligned} V_o &= (\pi/4) * (15.03 \text{ cm})^2 * (11.655 \text{ cm}) \\ &= 2067.86 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

8.1.2 Compactive Effort, E

$$\begin{aligned} E &= \frac{56 * 5 * 10 \text{ lbf} * 1.5 \text{ ft}}{2067.86 * (1 \text{ ft})^3 / 30.48^3 \text{ cm}^3} \\ &= 57513.93 \text{ ft-lbf/ft}^3 \end{aligned}$$

8.2 Obtain Water Content of Compacted Specimen

8.2.1 Weight of water, W_w

$$\begin{aligned} W_w &= (\text{Weight of can + wet soil}) - (\text{Weight of can + dry soil}) \\ &= W_{CWS} - W_{CDS} \\ &= 86.4 \text{ gm} - 80.0 \text{ gm} \\ &= 6.40 \text{ gm} \end{aligned}$$

8.2.2 Weight of dry soil (in can), W_{DS}

$$\begin{aligned} W_{DS} &= (\text{Weight of can + dry soil}) - (\text{Weight of can}) \\ &= W_{CDS} - W_C \\ &= 80.0 \text{ gm} - 24.4 \text{ gm} \\ &= 55.60 \text{ gm} \end{aligned}$$

8.2.3 Water content (each can), w_C

$$\begin{aligned} w_C &= \frac{6.4 \text{ gm}}{55.6 \text{ gm}} * 100 \\ &= 11.51 \% \end{aligned}$$

8.2.4 Mold (average) water content, w

$$\begin{aligned} w &= \text{average } w_C \\ &= 11.51 \% \end{aligned}$$

8.3 Determination of Density of Compacted Specimen

8.3.1 Weight of (wet) compacted specimen, W_{w-cs}

$$\begin{aligned} W_{w-cs} &= W_{CSMB} - W_{MB} \\ &= 11440 \text{ gm} - 7140 \text{ gm} \\ &= 4300 \text{ gm} \end{aligned}$$

8.3.2 Density of (wet) compacted specimen, γ_{w-cs}

$$\begin{aligned} \gamma_{w-cs} &= \frac{W_{w-cs}}{V_o} \\ &= \frac{4300 \text{ gm}}{2067.86 \text{ cc}} \\ &= 2.08 \text{ gm/cc} \end{aligned}$$

8.3.3 Dry density of compacted specimen, γ_{D-cs}

$$\begin{aligned} \gamma_{D-cs} &= \frac{\gamma_{w-cs}}{(1 + w/100)} \\ &= \frac{2.08 \text{ gm}}{(1 + 11.51/100) \text{ cc}} \\ &= \frac{2.08 \text{ gm}}{1.1151 \text{ cc}} \\ &= 1.86 \text{ gm/cc} \end{aligned}$$

8.3.4 Weight of (dry) compacted specimen, W_{D-cs}

$$\begin{aligned} W_{D-cs} &= \gamma_{D-cs} * V_o \\ &= 1.86 \text{ gm/cc} * 2067.86 \text{ cc} \\ &= 3846.21 \text{ gm} \end{aligned}$$

8.4 Stress - Penetration Data

8.4.1 Stress on Piston, σ_p (Test for Penetration = 0.25 mm)

$$\begin{aligned}
 \sigma_p &= \frac{\text{Piston Load Dial Reading} * \text{Load Ring Constant}}{\text{Area of Piston}} \\
 &= \frac{\text{PLDR} * \text{LRC}}{A_{\text{PISTON}}} \\
 &= \frac{(115 \text{ div}) * (25.366 \text{ N/div})}{(1.936 * 10^{-3} \text{ m}^2) * (1000 \text{ N/kN})} \\
 &= \frac{2917.09 \text{ kN}}{1.936 \text{ m}^2} \\
 &= 1506.76 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

8.5 Determination of California Bearing Ratio (CBR)

8.5.1 Bearing ratio for 0.1 inch penetration, $\text{CBR}_{0.1}$

$$\begin{aligned}
 \text{CBR}_{0.1} &= \frac{(\sigma_{c-0.1} \text{ kN/m}^2) * 100\%}{6900 \text{ kN/m}^2} \\
 &= \frac{5300 \text{ kN/m}^2 * 100\%}{6900 \text{ kN/m}^2} \\
 &= 76.81 \%
 \end{aligned}$$

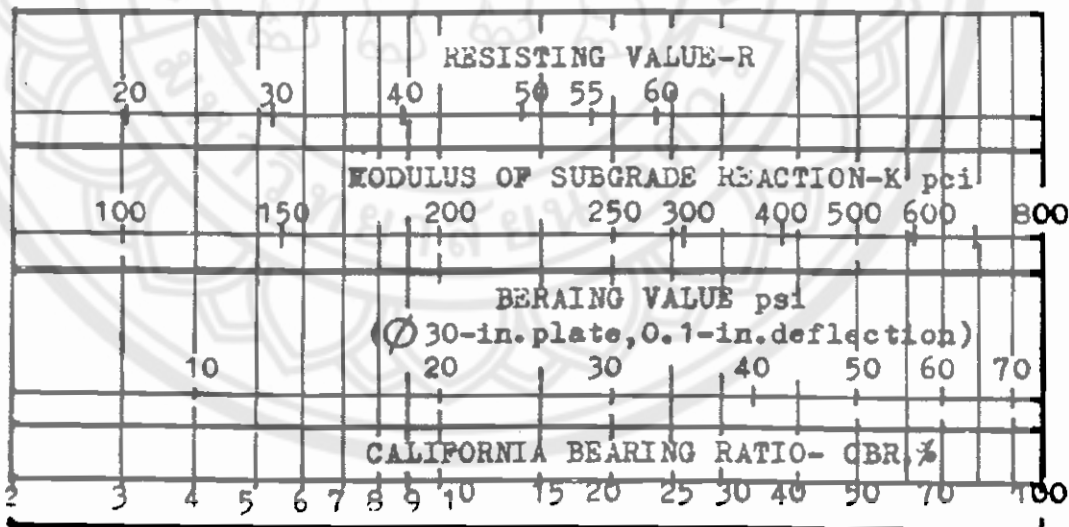
9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 ค่า CBR ของดินแต่ละชนิดสามารถใช้ในการหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้าง ถนนในชั้นดินถม, ชั้นรองพื้นทาง(Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) รวมถึงชนิดของดินที่เหมาะสมกับการออกแบบ ดังตารางที่ 10.6.2

CBR No.	General rating	Uses	CLASSIFICATION SYSTEM	
			Unified	AASHTO
0-3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Poor to fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Good	Base or Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excellent	Base	GW, GM	A1a, A2-1, A3

ตารางที่ 10.6.2 ความสัมพันธ์ของค่า CBR กับการใช้งาน (Bowles, 1992)

9.2 ค่า CBR สามารถใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design Chart หรืออาจกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการออกแบบถนนคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 10.6.2



รูปที่ 10.6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value

(วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

10. วัตถุประสงค์สอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 บริษัท สุเมธ-บัณฑิต Civil Engineering Consultants จำกัด บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา โครงการ ออกแบบก่อสร้าง โครงข่ายถนนรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตเพชรบูรณ์ ได้ว่าจ้าง บริษัท สราวุธ Highway Engineering Testing Services จำกัด ซึ่งมีความชำนาญในการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) Test ให้จัดทำเอกสารคำแนะนำประกอบการออกแบบโครงข่ายถนนฯ

ที่ประชุมบริษัท สราวุธฯ จำกัด ได้มอบหมายให้นายช่างปฏิบัติการ วิศวกรโยธาของบริษัท กรุณา เขียนคำแนะนำโดยสรุป [พร้อมกับแสดงเหตุผล, sketch ภาพ, หรือแสดงรายการคำนวณประกอบการ ให้ข้อคิดเห็น หากท่านคิดว่า จะช่วยให้ผู้อ่าน/ผู้ฟัง เข้าใจได้ง่ายขึ้น] สำหรับการทดสอบ CBR test เพื่อ จะได้นำเสนอ (present) ให้ตรงตามประเด็นที่บริษัท สุเมธ-บัณฑิตฯ จำกัด มีความสนใจ ดังต่อไปนี้

10.1.1 ค่า CBR คืออะไร? และมีประโยชน์ในงานจริง (practical work) อย่างไร?

ตอบ คือ ค่าแรงเฉือนของดิน ในสถานะที่ดินถูกควบคุมปริมาณความชื้นและบดอัดจนแน่นดี (จะ ทดสอบที่ Optimum Water Content เป็นส่วนใหญ่) สามารถใช้กำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนน ในชั้นดินถม, ชั้นรองพื้นทาง(Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) และสามารถใช้ออกแบบความหนาของถนนลาดยาง

10.1.2 ค่า soaked และ unsoaked CBR คืออะไร? (10 คะแนน) และนำไปใช้ประโยชน์ ได้เหมือนกัน และ/หรือ แตกต่างกันอย่างใด? (20 คะแนน) เพื่อการออกแบบความหนาโครงสร้างคันทาง (embankment) ของโครงข่ายถนนรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตเพชรบูรณ์ ควรใช้ค่า CBR หรือ soaked CBR หรือ unsoaked CBR หรือ stress on piston หรือ compactive effort หรือ sensitivity หรือ capillary fringe? (10 คะแนน) เพราะเหตุใด? (20 คะแนน)

ตอบ ค่า soaked คือ วิธีการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ เพื่อหาค่า CBR ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เพราะในฤดูฝนนั้นระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นทำให้คันถนนบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ใต้น้ำ ส่วน unsoaked คือการทดสอบแห้ง

Test 7 Rubber Balloon Method

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 167-172

1.2 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1970 p. 103-112

1.3 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ ไรติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 81-93

1.4 สถาพร คูวิจิตรจารุ. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (13-1) – (13-17)

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม (ดินบดอัดหรือดินเดิมตามธรรมชาติ) โดยวิธี Rubber - Balloon Method

3. หลักการ (Principals)

Rubber Balloon Method เป็นวิธีการหาค่าความหนาแน่นของดินบดอัดในสนามเช่นเดียวกับ Sand Cone Method โดยอาศัยหลักในการทดสอบคล้ายกันคือ ความหนาแน่นของดิน, ρ จะหาจากน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัด, M หารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดิน, V_H ขึ้นมา ความแตกต่างระหว่าง Rubber Balloon Method กับ Sand Cone Method คือวิธีนี้ช่วยในการหาปริมาตรของหลุมซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีใช้ทราย ในการทดลองอาศัยใช้ลมจากลูกยางบีบอัดลมไปตรงส่วนบนของผิวหน้าในหลอดแก้วของเครื่องมือทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกอัดดันลงไปในลูกโป่งยางและไหลลงไปในหลุมทดลองที่ขุดไว้ใต้พื้นดิน ลมที่อัดลงไปนี้มีส่วนช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอัดแนบสนิทกับหลุม จากการอ่านขีดปริมาตรของเครื่องมือทดสอบจะคำนวณค่าปริมาตรของหลุมได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

ปริมาตรของหลุม = ระดับน้ำอ่านขีดปริมาตรครั้งหลัง - ระดับน้ำอ่านขีดปริมาตรครั้งแรก

$$\rho_r = \frac{(W_{cws} - W_c)}{V_H}$$

โดย	ρ_r	=	ความหนาแน่นเปียก
	W_{cws}	=	มวลของดินเปียกพร้อมกระป๋อง
	W_c	=	มวลของกระป๋อง
	V_H	=	ปริมาตรของหลุมขุด

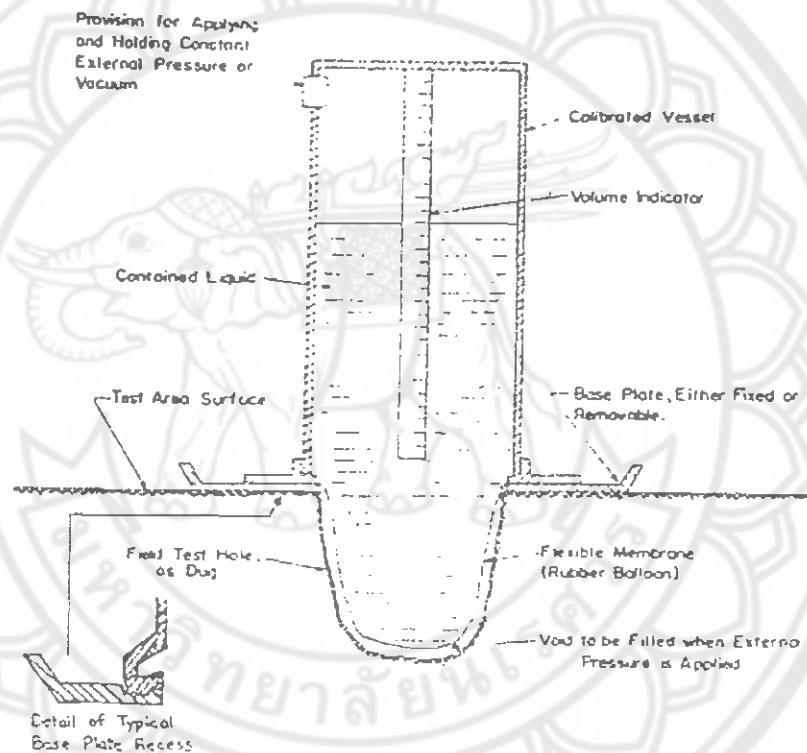
ก่อนการทดสอบจะต้องการค่าปรับแก้ค่าปริมาตรที่อ่านได้จาก rubber balloon apparatus เสียก่อน โดยการทดลองหาค่าปริมาตรของแบบหล่อดิน (mold) ที่ทราบค่าปริมาตรอยู่ก่อนหน้าแล้ว

$$CF = \frac{V}{V_{FVM}}$$

โดย CF = ค่าปรับแก้ (correction factor)

V = ปริมาตรแบบหล่อดิน

V_{FVM} = ค่าปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่องมือลูกโป่งยาง



รูปที่ 10.7.1 การทดสอบ Rubber Balloon Method (ASTM D2167-94)

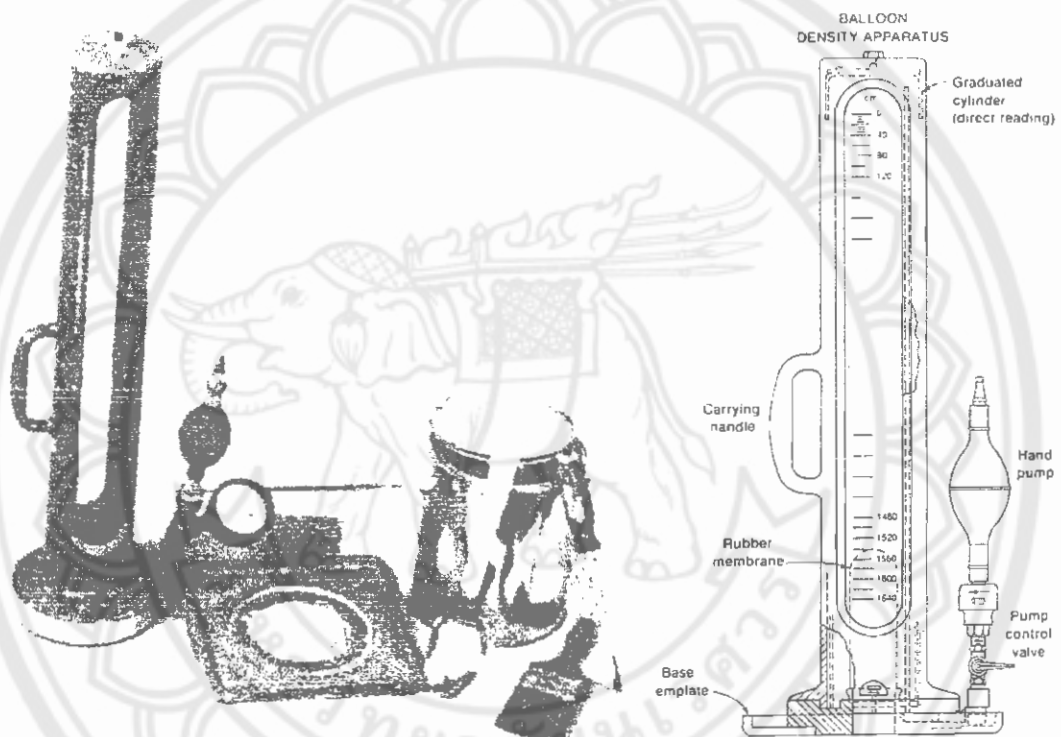
4. อุปกรณ์ (Apparatus)

5.1 balloon density apparatus

5.2 เครื่องชั่งชนิดชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม

5.3 สิวเจาะดิน ค้อน ช้อนตักดิน แปรงปิดดิน ครอบป้องใส่ดิน

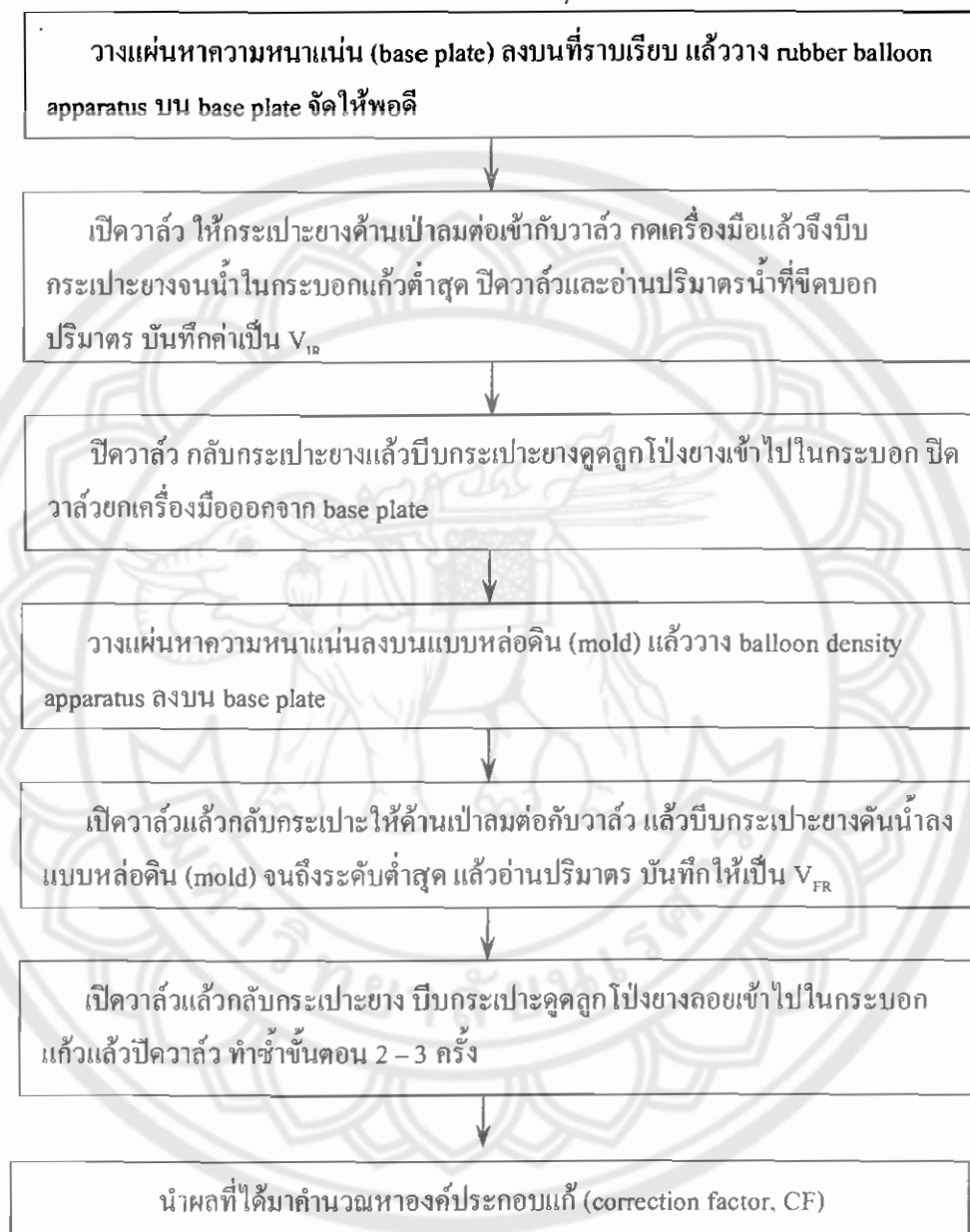
5.4 เตาอบ (oven)



รูปที่ 10.7.2 อุปกรณ์การทดสอบ Rubber Balloon Method (Head, 1992)

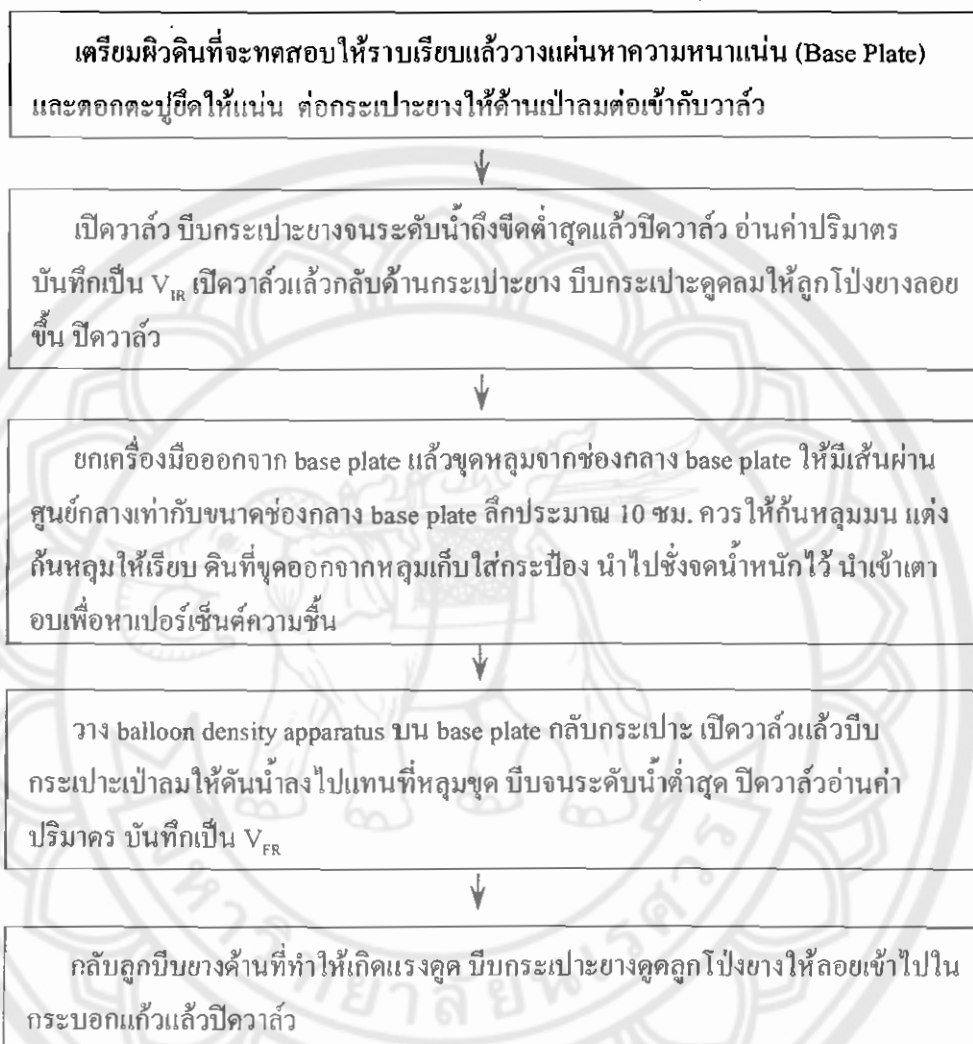
5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การสอบเทียบเครื่องมือทดสอบ (calibration)



รูปที่ 10.7.3 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration)

5.2 การทดสอบ



รูปที่ 10.7.4 ขั้นตอนการทดสอบ

หมายเหตุ

ก่อนเคลื่อนย้าย balloon density apparatus และ base plate ต้องตรวจสอบให้ลูกโป่งยางถูกดูดเข้าไปในกระบอกแก้วเสียก่อน มิฉะนั้นการเคลื่อนย้ายจะทำให้ลูกโป่งยางฉีกขาด

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Recorded Data)

6.1 Calibration to determine rubber balloon correction factor, CF

6.1.1 Initial water volume reading (V_{IR})

6.1.2 Reading of water volume after fill balloon in volume measure ($V_{R,I}$)

6.1.3 Volume of volume measure (V)

6.2 Water Content Determination

6.2.1 น้ำหนัก Can (W_c)

6.2.2 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{CWS})

6.2.3 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

6.3 Determination of Field Unit Weight Test

6.3.1 Initial Scale Reading (V_{IR})

6.3.2 Final Scale Reading (V_{FR})



Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		Checked By	_____

Calibration to determine rubber balloon correction factor, CF for volume measurement

Initial water volume reading,	V_{IR} (cc)			
Reading of water volume after fill balloon in volume measure,	V_{R-1} (cc)	Water volume filling volume measure,	V_{FVM-1} (cc)	
	V_{R-2} (cc)		V_{FVM-2} (cc)	
	V_{R-3} (cc)		V_{FVM-3} (cc)	
Average volume of $V_{FVM-1,2,3}$		V_{FVM} (cc)		
Type of volume measure		Volume of volume measure,	V (cc)	
		Correction factor	$CF = V / V_{FVM}$	

Field Unit Weight Test No	1	2	3	4	5
<i>Water Content Determination</i>					
Pan No.					
Mass of can,	W_C (gm)				
Mass of can+wet soil (from hole)	W_{CWS} (gm)				
Mass of can+dry soil (from hole)	W_{CDS} (gm)				
Mass of water (in soil from hole),	W_w^1 (gm)				
Mass of dry soil (from hole),	W_{DS}^2 (gm)				
Water content (of soil from hole),	w^3 (%)				
<i>Determination of Field Unit Weight</i>					
Initial Scale Reading,	V_{IR} (cc)				
Final Scale Reading,	V_{FR} (cc)				
Volume of Hole before corrected,	V_{HB}^4 (cc)				
Volume of Hole after corrected,	V_H^5 (cc)				
Wet Density,	ρ_T^6 (gm/cc)				
Wet Unit Weight of Soil (in hole),	γ_T^7 (kN/m ³)				
Dry Unit Weight of Soil (in hole),	γ_D^8 (kN/m ³)				

- Note:
- $W_w = W_{CWS} - W_{CDS}$
 - $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$
 - $w = (W_w / W_{DS}) * 100$
 - $V_{HB} = V_{IR} - V_{FR}$
 - $V_H = V_{HB} * CF$
 - $\rho = (W_{CWS} - W_C) / V_H$
 - $\gamma_T \text{ in kN/m}^3 = (W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$
 - $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test Results)

Soil Description	Project
Location	Job No
Boring No	Test No
Sample No	Date
Sample Depth	Tested By
	Checked By

Calibration to determine rubber balloon correction factor, CF for volume measurement					
Initial water volume reading,	V_{IR} (cc)	335			
Reading of water volume after fill balloon in volume measure,	V_{R-1} (cc)	1290	Water volume filling	V_{FVM-1} (cc)	955.00
	V_{R-2} (cc)	1290	volume measure,	V_{FVM-2} (cc)	955.00
	V_{R-3} (cc)	1290		V_{FVM-3} (cc)	955.00
Type of volume measure			Average volume of $V_{FVM-1,2}$	V_{FVM} (cc)	955.0
			Volume of volume measure,	V (cc)	943.6
			Correction factor	$CF = V / V_{FVM}$	0.99

Field Unit Weight Test No	1	2	3	4	5
Water Content Determination					
Pan No.					
Mass of can,	W_C (gm)	123.8	121.8	115.2	
Mass of can+wet soil (from hole)	W_{CWS} (gm)	2025.4	2027.3	1907.4	
Mass of can+dry soil (from hole)	W_{CDS} (gm)	1963.1	1942.7	1796.3	
Mass of water (in soil from hole)	W_W (gm)	62.3	84.6	111.1	
Mass of dry soil (from hole)	W_{DS} (gm)	1839.3	1820.9	1681.1	
Water content (of soil from hole)	w (%)	3.39	4.65	6.61	
Determination of Field Unit Weight					
Initial Scale Reading,	V_{IR} (cc)	340.00	335.00	330.00	
Final Scale Reading,	V_{FR} (cc)	1235.00	1315.00	1200.00	
Volume of Hole before corrected,	V_{HB} (cc)	895.00	980.00	870.00	
Volume of Hole after corrected,	V_H (cc)	884.33	968.31	859.62	
Wet Density,	ρ_T (gm/cc)	2.15	1.97	2.08	
Wet Unit Weight of Soil (in hole)	g_T (kN/m ³)	21.09	19.30	20.45	
Dry Unit Weight of Soil (in hole)	g_D (kN/m ³)	20.40	18.44	19.18	

Note: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$

2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$

3. $w = (W_W / W_{DS}) * 100$

4. $V_{HB} = V_{IR} - V_{FR}$

5. $V_H = V_{HB} * CF$

6. $\rho_T = (W_{CWS} - W_C) / V_H$

7. g_T in kN/m³ = $(W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807$ kN/m³ / gm/cc

8. $g_D = g_T / (1 + w/100)$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Compute water content (%W)

$$\begin{aligned} \%W &= \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry soil}} * 100 \\ &= \frac{W_W}{W_{DS}} * 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_W &= (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can + dry soil}) \\ &= W_{CWS} - W_{CDS} \\ &= 2025.4 - 1963.1 \quad \text{gm} \\ &= 62.3 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DS} &= (\text{mass of can + dry soil}) - (\text{mass of can}) \\ &= W_{CDS} - W_C \\ &= 1963.1 - 123.8 \quad \text{gm} \\ &= 1839.3 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%W &= \frac{62.3}{1839.3} * 100 \\ &= 3.39 \quad \% \end{aligned}$$

8.2 Volume of Hole before corrected, V_{HB}

$$\begin{aligned} V_{HB} &= (\text{Final scale reading}) - (\text{Initial scale reading}) \\ &= V_{IR} - V_{FR} \\ &= 1235.00 - 340.00 \quad \text{cc} \\ &= 895.00 \quad \text{cc} \end{aligned}$$

8.3 Volume of Hole after corrected, V_H

$$\begin{aligned} V_H &= (\text{volume of hole before corrected}) * (\text{correction factor}) \\ &= V_{HB} * CF \\ &= 895.00 * 0.99 \quad \text{cc} \end{aligned}$$

8.4 Volume of Hole, V_H

$$\begin{aligned} \rho_T &= \frac{(W_{CWS} - W_C)}{V_H} \\ &= \frac{2025.4 - 123.8}{886.05} \quad \frac{\text{gm}}{\text{cc}} \\ &= 2.15 \quad \text{gm/cc} \end{aligned}$$

8.5 Wet Unit Weight of soil (in hole), γ_T

$$\begin{aligned} \gamma_T &= (W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807 \\ &= \frac{(2025.40 - 123.80)}{886.05} \quad \frac{\text{gm}}{\text{cc}} * 9.807 \quad \frac{\text{KN} \cdot \text{Cc}}{\text{m}^3 \cdot \text{Gm}} \\ &= 21.05 \quad \text{KN/m}^3 \end{aligned}$$

8.6 Dry Unit Weight of Soil (in hole), γ_D

$$\begin{aligned} \gamma_D &= \frac{\gamma_T}{(1 + W/100)} \\ &= \frac{21.05}{(1 + 3.39/100)} \quad \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \\ &= 20.36 \quad \text{KN/m}^3 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 การทดสอบนี้สามารถใช้พิจารณาหาค่าความหนาแน่นในสนาม และความถ่วงจำเพาะของดินตามธรรมชาติ หรือดินชนิดอื่นๆที่มีมีการเกาะตัวที่มั่นคง

9.2 การทดสอบนี้อาจจะใช้พิจารณาค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของดินภายหลังการบดอัดในสนาม เช่น เชื้อน ดินถม หรือดินตัด โดยมักจะถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานของการทดสอบความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะตามที่กำหนด

9.3 การใช้งานของ Rubber Balloon Method นี้มีข้อจำกัดโดยทั่วไป คือสามารถทดสอบได้เฉพาะในสถานะ Unsaturated และไม่เหมาะกับดินทดสอบที่ไม่เกาะตัวกันแน่น หรือเกิดการพังทลายได้ง่าย เพราะดินอาจเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ในขณะที่เกิดแรงดันในการทดสอบ และการทดสอบนี้ยังไม่เหมาะกับดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ เช่น ชั้นหินคลุก และชั้นดินที่มีก้อนกรวดแหลมคม เพราะลูกโป่งอาจถูกเม็ดกรวดแทงทะลุฉีกขาดได้

การทดสอบนี้มีเนื้อหาครอบคลุมถึงการพิจารณาค่า in-place density และ unit weight ของ compacted หรือ firmly bonded soil โดยใช้ balloon density apparatus ประกอบ

3.1 การทดสอบนี้ได้รับการยอมรับสำหรับการพิจารณา compacted fill หรือ embankment constructed ของ fine-grained soil หรือ granular soil ที่ซึ่งปราศจากส่วนประกอบของ rock หรือ coarse material

3.2 การทดสอบนี้สามารถใช้พิจารณา in-place density และ unit weight ของ undisturbed หรือ in situ soil ที่ซึ่งสามารถคงสภาพอยู่ได้ภายใต้แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

3.3 การทดสอบนี้ไม่เหมาะสำหรับดินที่เป็น organic, saturated หรือ highly plastic soil ที่ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวเมื่อเกิดแรงดันในระหว่างการทดสอบ และการทดสอบนี้จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษสำหรับการทดสอบกับตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.3.1 ดินที่ประกอบไปด้วย unbonded granular material ที่ซึ่งไม่สามารถคงสภาพสมดุลเมื่อถูกขูดเป็นหลุม

3.3.2 ดินที่ประกอบไปด้วยส่วนของ coarse material ที่ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินกว่า $1\frac{1}{2}$ in. (37.5 mm)

3.3.3 granular soil ที่มีค่า void ratio สูง

3.3.4 ดินที่มีส่วนประกอบของเม็ดดินที่มีลักษณะแหลมคม

โดยสำหรับดินที่มีส่วนประกอบของเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า $1\frac{1}{2}$ in. (37.5 mm) นั้น ASTM ให้คำแนะนำว่าควรจะใช้กับการทดสอบของ ASTM D4914 หรือ D5030

Test 7 Sand Cone Method

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p.

112-117

1.2 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ ไชติกโกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 81-93

1.3 สถาพร คูวิจิตรจากรุ. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (13-1) – (13-17)

1.4 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1992

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดในสนามโดย Sand Cone Method

3. หลักการ (Principals)

การหาค่าความหนาแน่นของดินบดอัดในสนาม คือการหาน้ำหนักของดินที่ชุดจากหลุมในบริเวณที่บดอัดเรียบร้อยแล้ว นำมาหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ชุดดินขึ้นมา

$$\gamma_T = \frac{(W_{cws} - W_c)}{V_H} \times 9.807$$

โดย γ_T = ความหนาแน่นเปียก

W_{cws} = มวลของกระป๋องใส่ดินกับตัวอย่างดิน

W_c = มวลของกระป๋องใส่ดิน

V_H = ปริมาตรของดินที่ชุดหลุมขึ้นมา

โดยการหาปริมาตรของหลุมที่ชุดขึ้นมาทดสอบจะใช้วิธีแทนที่ดินที่ชุดด้วยทรายที่รู้ความหนาแน่นที่แน่นอนจากการสอบเทียบหาความหนาแน่นของทราย ดังนี้

$$\rho_{SAND} = \frac{W_{SVM}}{V}$$

โดย ρ_{SAND} = ความหนาแน่นของทราย

W_{SVM} = มวลของทรายที่เติมลงในแบบบดอัดดิน

V = ปริมาตรของแบบบดอัดดิน

เมื่อทราบค่าความหนาแน่นของทรายจะสามารถหาปริมาตรของหลุมที่ชุดขึ้นมาโดย

$$V_H = \frac{W_{SFH}}{\rho_{SAND}}$$

เพื่อที่จะให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการปริมาณของหลุมที่จะทดสอบ และตัวอย่างดินที่เก็บไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินดังนี้

ตาราง 10.7.1 ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินที่เหมาะสมตามปริมาณของหลุม

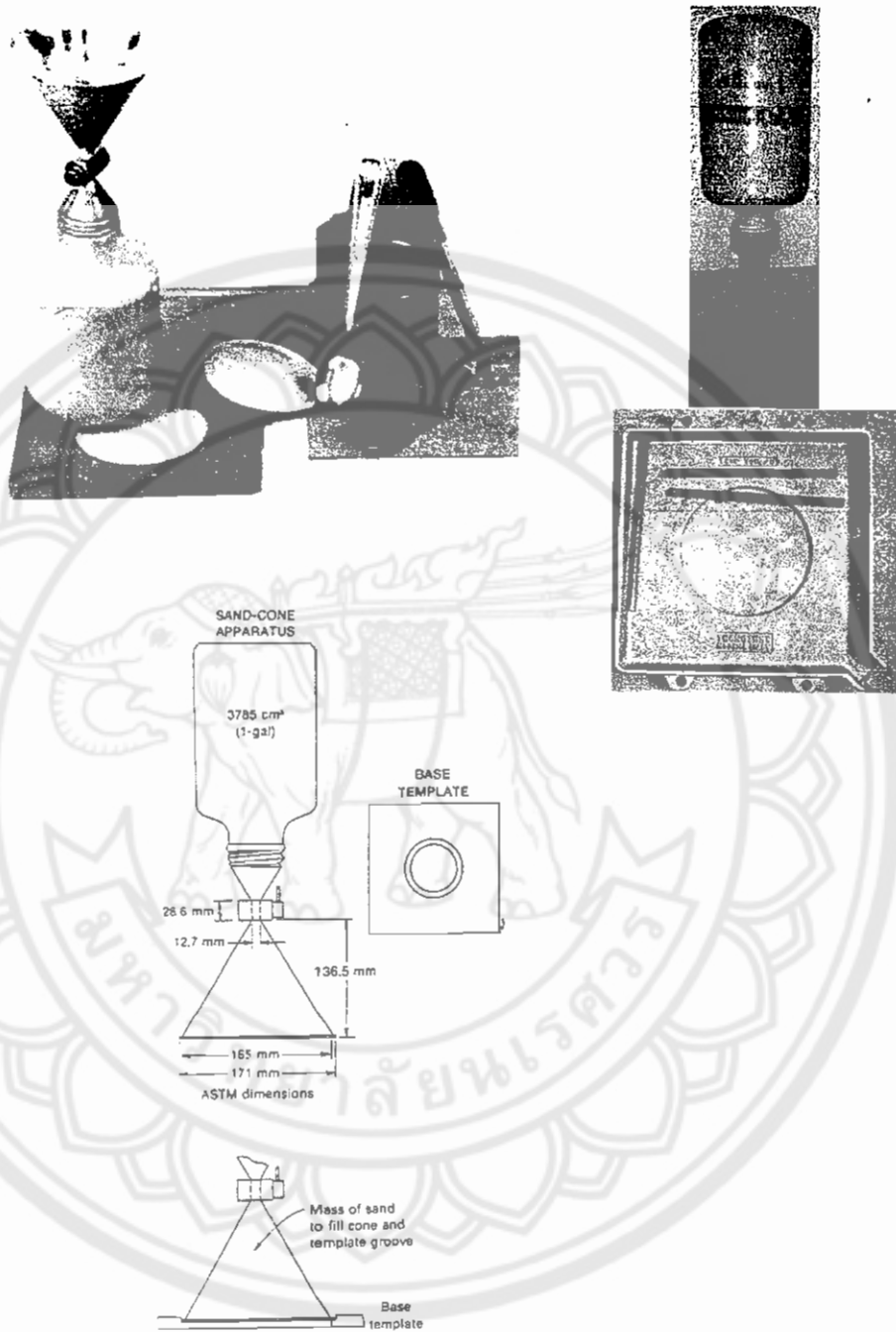
ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดิน	ปริมาณของหลุมอย่างน้อย (ฟุต ³)	น้ำหนักของดินอย่างน้อย (กรัม)
No.4	0.025	100
½ นิ้ว	0.050	250
1 นิ้ว	0.075	500
2 นิ้ว	0.100	1000

สำหรับชั้นดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ขึ้นไปเพื่อที่จะได้ขนาดหลุมชุดได้ปริมาณตามมาตรฐานจะต้องขุดหลุมลึกมาก ซึ่งไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ โดย ASTM แนะนำว่าควรเปลี่ยนไปใช้การทดสอบของ ASTM D4914 หรือ D5030

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

เครื่องมือทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)

- 4.1 Density Apparatus ประกอบด้วยขวดแก้วและกรวย
- 4.2 แผ่นหาความหนาแน่น (Base Plate) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดปากกรวย
- 4.3 Ottawa Sand หรือทรายที่ผ่านตะแกรง No. 20 และค้างตะแกรง No. 30
- 4.4 เครื่องชั่งชนิดซึ่งได้ละเอียด 0.01 ปอนด์ หรือ 0.1 กรัม
- 4.5 สิวเจาะดิน ค้อน ช้อนตักดิน บรรทัดปาดดิน กระบองใส่ดิน
- 4.6 เตาอบ (Oven)
- 4.7 แบบบดอัดดิน (Mold)



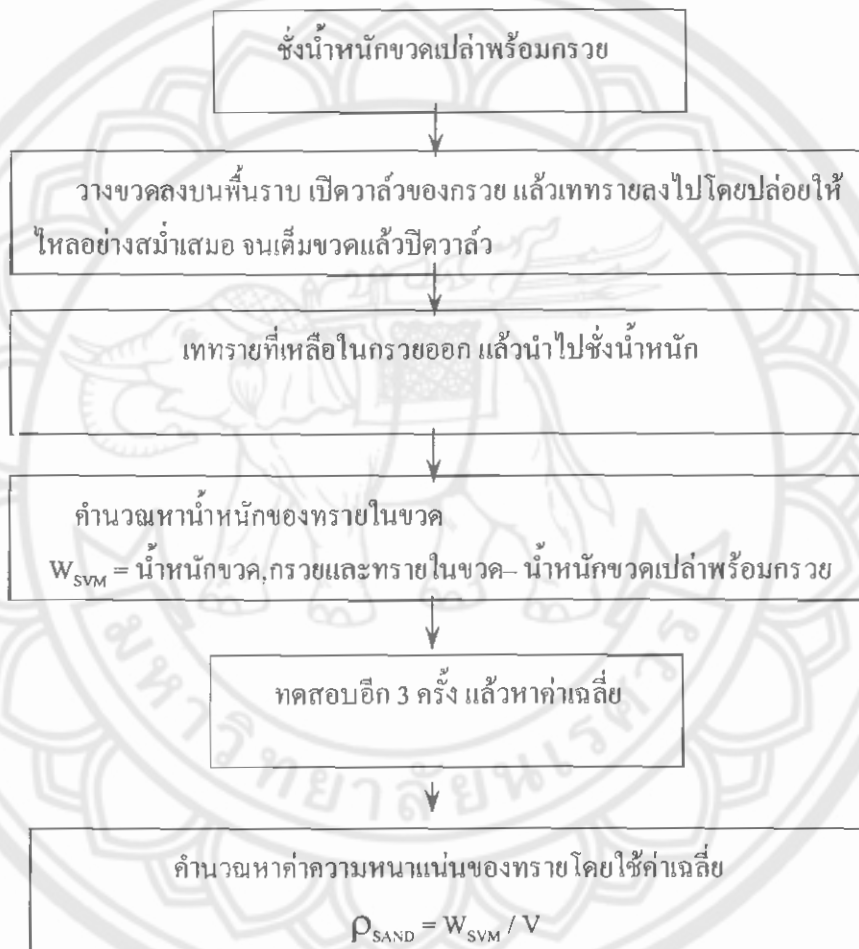
รูปที่ 10.7.1 อุปกรณ์ทดสอบ Sand Cone Method (Bowles, 1992)

5. วิธีการทดลอง (Method)

วิธีทดสอบหาความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย

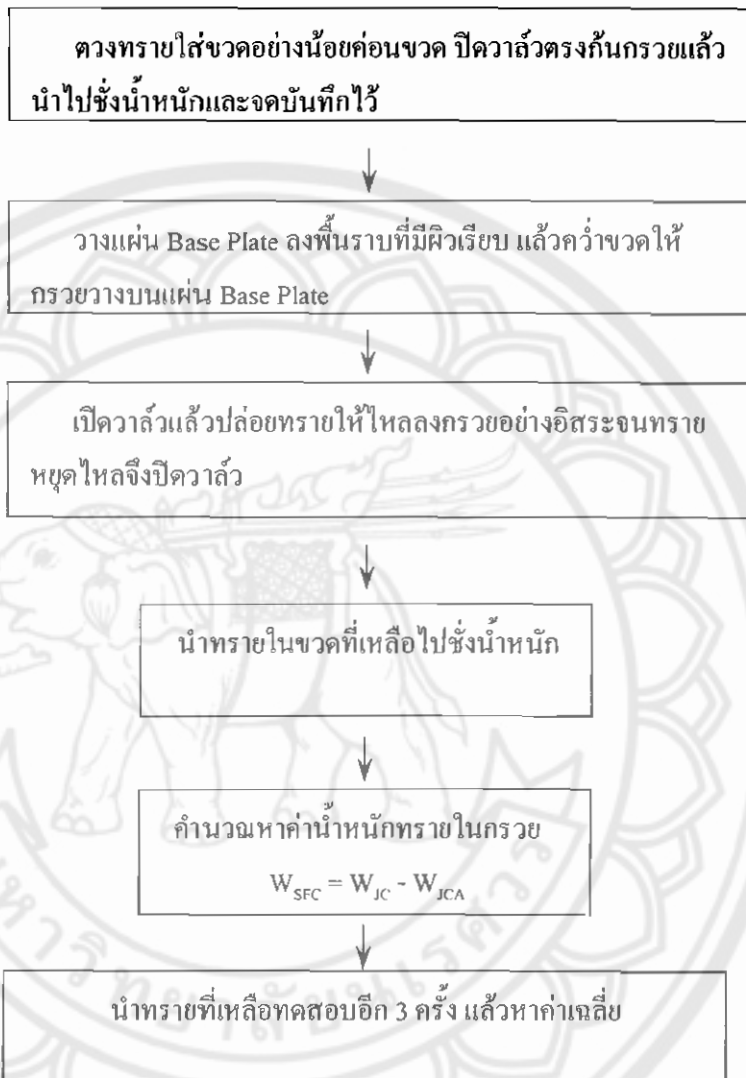
ก่อนทำการทดลองต้องมีการตรวจสอบหาค่าคงที่ (Calibrate) ของเครื่องมือ อุปกรณ์และทรายที่ใช้ในการทดสอบก่อน

5.1 การตรวจสอบหาความหนาแน่นของทราย



รูปที่ 10.7.2 ขั้นตอนการหาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ

5.2 การตรวจสอบหาน้ำหนักทรายในกรวย



รูปที่ 10.7.3 ขั้นตอนการสอบเทียบหาน้ำหนักทรายในกรวย

5.3 การตรวจสอบหาปริมาตรของขวด

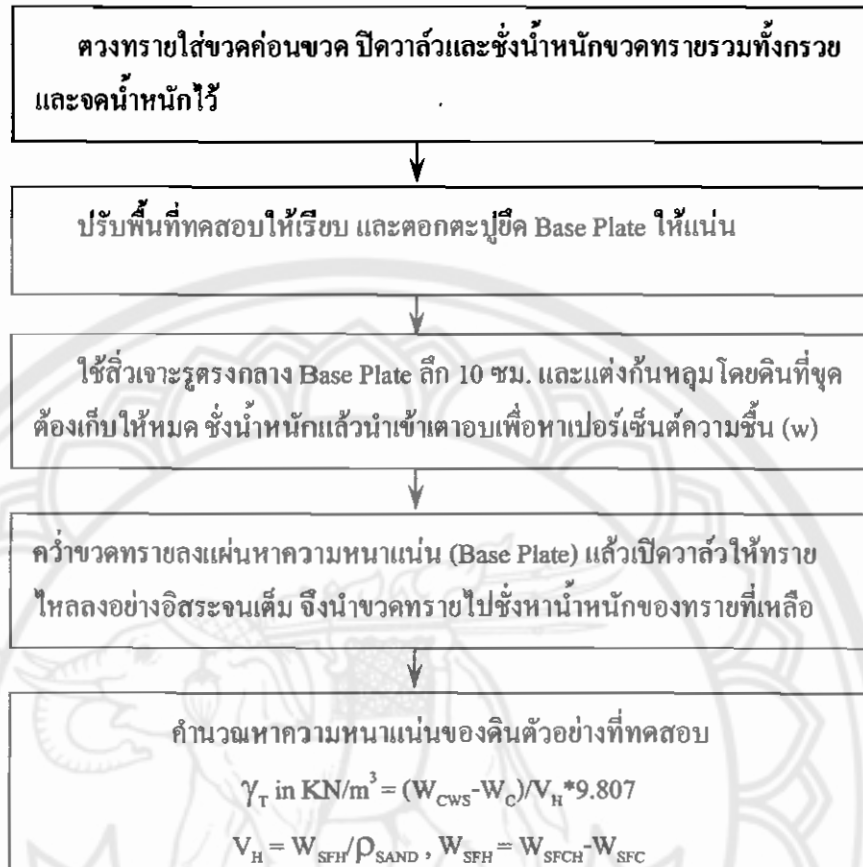


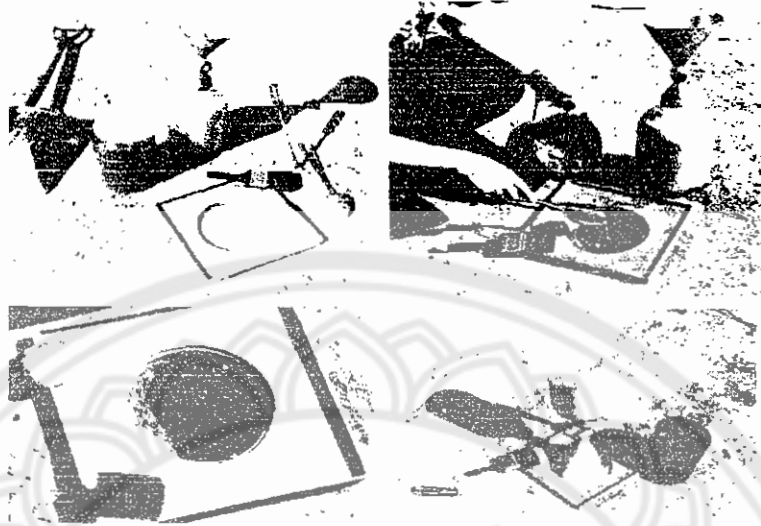
รูปที่ 10.7.4 ขั้นตอนการหาปริมาตรของขวด

ตาราง 10.7.2 ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนัก1กรัมที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิองศาเซลเซียส	ปริมาตรของน้ำ ซม. ³ /กรัม
12	1.00038
14	1.00073
16	1.00103
18	1.00138
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435
32	1.00497

5.4 การทดสอบ





รูปที่ 10.7.5 ขั้นตอนการทดสอบ Sand Cone Method

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

- 6.1 มวลทรายที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{svm})
- 6.2 ปริมาตรของแบบบดอัดดิน (V)
- 6.3 มวลทรายที่บรรจุในขวดแก้วและกรวย (W_{jc})
- 6.4 น้ำหนัก Can (W_c)
- 6.5 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{cws})
- 6.6 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{cds})
- 6.7 มวลทรายที่บรรจุในขวดแก้วก่อนใช้งาน (W_{jsb})
- 6.8 มวลทรายที่บรรจุในขวดแก้วหลังใช้งาน (W_{jsa})

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

Soil Description	Project
Location	Job No
Boring No	Test No
Sample No	Date
Sample Depth	Tested By
	Checked By

Calibration to determine density of sand, ρ_{SAND} (gm/cc) = average M_{SVM} / V

Sand mass fill vol. measure, W_{SVM-1} (gm)	1531.00	Type of Sand Used	Ottawa
W_{SVM-2} (gm)	1528.00	Type of volume measure	
W_{SVM-3} (gm)	1530.00	Volume of volume measure, V (cc)	944.00
Average W_{SVM} (gm)	1529.67	Density of Sand Calibrate ρ_{SAND} (gm/cc)	1.62

Calibration to determine mass of sand filling cone, W_{SFC} (gm)

Mass of filled jug + cone W_{JC} (gm)	7391.00		
Mass of jug + cone, after trial W_{JCA-1} (gm)	5491.00	Mass of sand filling cone W_{SFC-1} (gm)	1900.00
W_{JCA-2} (gm)	3589.00	W_{SFC-2} (gm)	1902.00
W_{JCA-3} (gm)	1697.00	W_{SFC-3} (gm)	1892.00
		Average mass of $W_{SFC-1,2,3}$ W_{SFC} (gm)	1898.00

Field Unit Weight Test No	1	2	3	4	5
Water Content Determination					
Pan No.					
Mass of can, W_C (gm)	387.00	365.00			
Mass of can+wet soil (from hole) W_{CWS} (gm)	3282.00	3321.00			
Mass of can+dry soil (from hole) W_{CDS} (gm)	2951.00	2874.00			
Mass of water (in soil from hole) W_W^1 (gm)	331.00	447.00			
Mass of dry soil (from hole), W_{DS}^2 (gm)	2564.00	2509.00			
Water content (of soil from hole) w^3 (%)	12.91	17.82			
Determination of Field Unit Weight					
Mass of jug + sand, before use W_{JSB} (gm)	7394.00	7423.00			
Mass of jug + sand after use, W_{JSA} (gm)	2850.00	2798.00			
Mass of sand filling cone + hole W_{SFCH}^4 (gm)	4544.00	4625.00			
Mass of sand filling hole, W_{SFH}^5 (gm)	2646.00	2727.00			
Volume of Hole, V_H^6 (cc)	1633.33	1683.33			
Wet Unit Weight of Soil (in hole) γ_T^7 (kN/m ³)	17.382	17.221			
Dry Unit Weight of Soil (in hole) γ_D^8 (kN/m ³)	15.395	14.617			

- Note:
- $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$
 - $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$
 - $w = (W_W / W_{DS}) * 100$
 - $W_{SFCH} = W_{JSB} - W_{JSA}$
 - $W_{SFH} = W_{SFCH} - W_{SFC}$
 - $V_H = W_{SFH} / \rho_{SAND}$
 - γ_T in kN/m³ = $(W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807$ kN/m³ / gm/cc
 - $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Sample of Calculation (use data of Test No. 1)

8.1 Compute water content (%w)

$$\%w = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry soil}} * 100$$

$$= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100$$

$$W_w = (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can + dry soil})$$

$$= W_{CWS} - W_{CDS}$$

$$= 3282 - 2951 \quad \text{gm}$$

$$= 331 \quad \text{gm}$$

$$W_{DS} = (\text{mass of can + dry soil}) - (\text{mass of can})$$

$$= W_{CDS} - W_c$$

$$= 2951 - 387 \quad \text{gm}$$

$$= 2564 \quad \text{gm}$$

$$\%w = \frac{331}{2564} * 100$$

$$= 12.91 \quad \%$$

8.2 Mass of sand filling cone + hole, W_{SFCH}

$$M_{SFCH} = (\text{mass of jug + sand before use}) - (\text{mass of jug + sand after use})$$

$$= W_{JSB} - W_{JSA}$$

$$= 7394 - 2850 \quad \text{gm}$$

$$= 4544 \quad \text{gm}$$

8.3 Mass of sand filling hole, W_{SFH}

$$W_{SFH} = (\text{mass of sand filling cone + hole}) - (\text{mass of sand filling cone})$$

$$= W_{SFCH} - W_{SFC}$$

$$= 4544 - 1898 \quad \text{gm}$$

$$= 2646 \quad \text{gm}$$

8.4 Volume of hole, V_H

$$\begin{aligned}
 V_H &= (\text{mass of sand filling hole}) / (\text{density of sand calibrated}) \\
 &= \frac{W_{\text{SFH}}}{\gamma_{\text{SAND}}} \\
 &= \frac{2646}{1.62} \frac{(\text{gm})(\text{cc})}{\text{gm}} \\
 &= 1633.33 \text{ cc}
 \end{aligned}$$

8.5 Wet Unit Weight of Soil (in hole), γ_T

$$\begin{aligned}
 \gamma_T &= [(\text{mass of can} + \text{wet soil}) - (\text{mass of can})] / \text{volume of hole} * 9.807 \\
 &= \frac{(3282-387)}{1633.33} * 9.807 \frac{(\text{gm})(\text{KN}, \text{cc})}{(\text{cc})(\text{m}^3 \cdot \text{gm})} \\
 &= 17.38 \text{ KN/m}^3
 \end{aligned}$$

8.6 Dry Unit Weight of soil (in hole), γ_D

$$\begin{aligned}
 \gamma_D &= \gamma_T / (1 + W / 100) \\
 &= \frac{17.38240714}{(1 + 12.91/100)} \text{ KN/m}^3 \\
 &= 15.39 \text{ KN/m}^3
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 การทดลองนี้จะใช้ทดสอบดินที่ได้รับการบดอัดว่ามีความหนาแน่นสามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบคำนวณไว้หรือไม่

9.2 การทดสอบนี้สามารถใช้พิจารณาความหนาแน่นของดินที่ทับถมกันทางธรรมชาติ, ดินที่เป็นส่วนผสมระหว่างกัน หรือดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

9.3 การทดสอบมีข้อจำกัดโดยสามารถทดสอบได้ในสถานะของดินที่เป็น Unsaturated และไม่แนะนำให้ทำการทดสอบกับดินที่เปราะบางแตกหักง่าย เพราะจะมีผลต่อค่าความถูกต้องโดยค่าปริมาตรของดินที่อยู่ในหลุมมีโอกาสที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสั่นตัว, การเดินหรือยืนบริเวณใกล้ๆหลุมทดสอบ

10. วัตถุประสงค์สอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 ในระหว่างการทดสอบ field density test โดยใช้ sand cone method ขณะที่ บัณฑิตและเกษมสันต์ กำลังช่วยกันขุดและตักตัวอย่างดินออกจากหลุม ที่จะทำการทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม ครูช่างอภิชาติได้แนะนำบัณฑิตและเกษมสันต์ว่า “ควรระวังระวัง ป้องกันไม่ให้ตัวอย่างดินที่ขุดและตัก ออกจากหลุมทดสอบ กระจายหรือตกออกไปนอกฐานโลหะ (metal base) ที่ใช้รองปาก cone ของชุด ทดสอบ เพื่อที่จะได้เก็บรวบรวมตัวอย่างทั้งหมด มาชั่งหาน้ำหนักดินที่ขุดออกจากหลุมทดสอบ ได้ อย่างถูกต้องต่อไป”

ในฐานะเพื่อนร่วมกลุ่มปฏิบัติการ กรุณาช่วยบัณฑิตและเกษมสันต์คิดว่า คำแนะนำของครูช่าง อภิชาติมีผลกระทบต่อผลการทดสอบที่ได้ หรือไม่? เพราะเหตุใด?

ตอบ ถูกต้อง เพราะจะทำให้ได้ค่าน้ำหนักดินที่ถูกต้อง เพราะค่าน้ำหนักดินที่ขุดจากหลุมมีผลกระทบกับ ค่าความหนาแน่นของดิน ดังนี้

$$\text{ค่าความหนาแน่นของดินบดอัดในสนาม} = \frac{\text{น้ำหนักของดินที่ขุดจากหลุม}}{\text{ปริมาตรของหลุมที่ขุดดินขึ้นมา}}$$

10.1.1 หลังจากบัณฑิตและเกษมสันต์ได้ขุดตัวอย่างดินขึ้นจากหลุมเสร็จแล้ว ครูช่างอภิชาติได้แนะนำป โยธรและสุเมธว่า “ควรนำตัวอย่างดินที่ขุดขึ้นมาจากหลุมทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม ไป ชั่งน้ำหนักในทันที และถ้าหากไม่สามารถทำการชั่งหาน้ำหนักได้ในทันที ควรจะต้องเก็บดินที่ขุดขึ้นมา จากหลุมทดสอบ ใส่ไว้ในภาชนะที่ป้องกันการสูญเสียความชื้นได้เป็นอย่างดี เช่น ใส่ในถุงพลาสติกแบบ ถูขยະสีดำ 2 ชั้น แล้วมัดปากถุงให้แน่น หรือใส่ในกระป๋องที่มีฝาปิดอย่างมิดชิด”

ในฐานะเพื่อนร่วมกลุ่มปฏิบัติการ กรุณาช่วยปโยธรและสุเมธคิดว่า คำแนะนำของครูช่างอภิชาติ มีผลกระทบต่อผลการทดสอบที่ได้ หรือไม่? เพราะเหตุใด?

ตอบ มีผล เพราะถ้าไม่ป้องกันจะทำให้ดินสูญเสียความชื้น มีผลทำให้ค่าน้ำหนักของดินลดลง ส่งผลให้ได้ ค่าความหนาแน่นของดินที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

10.2 กรุณาอธิบายโดยสรุปว่า วัตถุประสงค์ของการทดสอบ field density test คืออะไร?

ตอบ 1. เพื่อใช้ทดสอบดินที่ได้รับการบดอัดว่ามีความหนาแน่นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตาม ข้อกำหนดที่ได้ออกแบบคำนวณไว้หรือไม่

2. เพื่อใช้พิจารณาความหนาแน่นของดินที่ทับถมกันทางธรรมชาติ หรือดินที่เป็นส่วนผสม ระหว่างกัน หรือดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

Test 8 Constant Head Test

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 192-196

1.2 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1970 p. 113-120

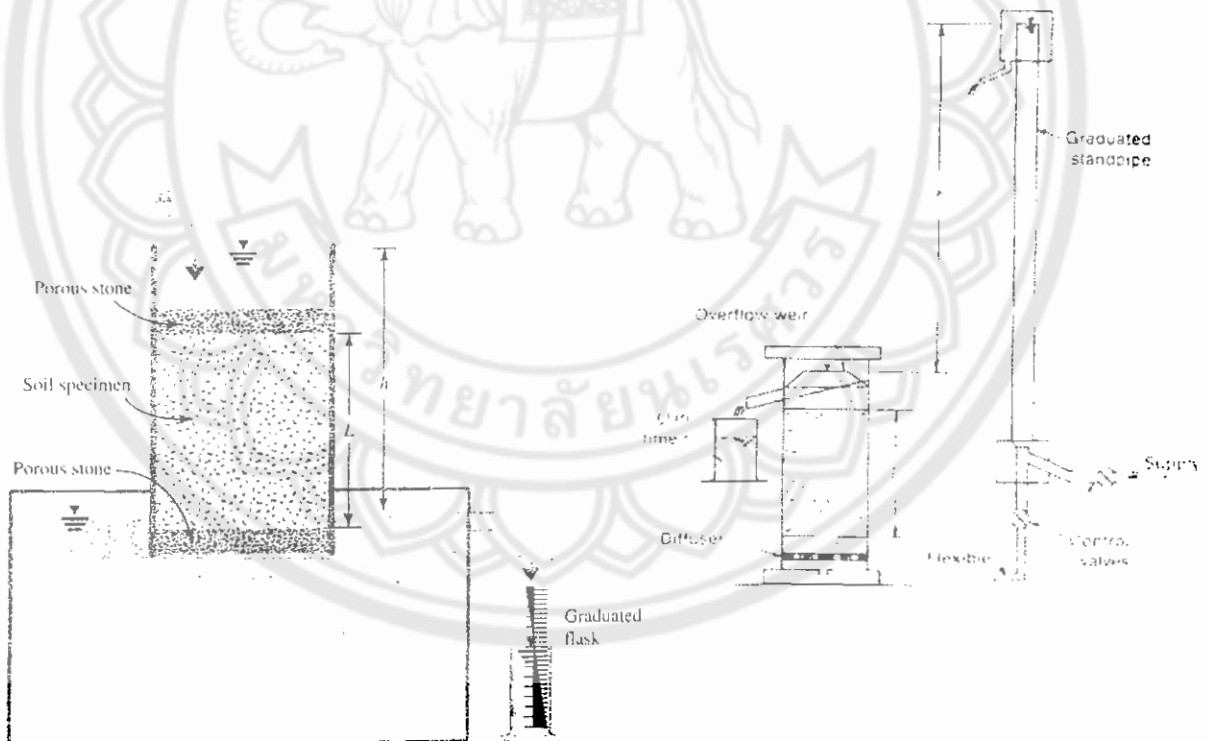
1.3 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. p. 159-226

1.4 วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติกโกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 94-102

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ของตัวอย่างดิน Cohesionless (granular) ด้วยวิธี Constant Head Test

3. หลักการ (Principals)



รูปที่ 10.8.1 Constant head permeability test

ในการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการศึกษาหาความซึมผ่านโดยใช้ความดันจากความสูงของระดับน้ำในหลอดแก้ว จะจัดให้ระดับน้ำของทางเข้าและทางออกมีระดับแตกต่างกันอย่างคงที่ และหลังจากปล่อยให้ให้น้ำไหลซึมผ่านด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งมีปริมาณน้ำที่ไหลลงไปนกระบอกตวงตามจำนวนที่กำหนด

จะสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านมวลดินลงสู่กระบอกตวง ดังแสดงได้ต่อไปนี้

$$Q = Avt$$

จากความสัมพันธ์ Darcy's law : $v = ki$

จะได้ $Q = A(ki)t$

โดย $Q =$ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมวลตัวอย่างดินในช่วงเวลา t ($\text{cm}^3, \text{m}^3, \text{ft}^3$)

$k =$ ค่าความซึมผ่านของตัวอย่างดิน ($\text{cm/s}, \text{m/s}, \text{ft/day}, \text{m/yr}, \text{etc.}$)

$i =$ hydraulic gradient $= h/L$

$h =$ ความต่างของระดับน้ำ (Head Difference) ในช่วงความยาวการซึม L

$L =$ ความยาวของตัวอย่างดิน

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลซึมผ่าน

$t =$ ระยะเวลาที่น้ำไหลลงกระบอกตวงครบตามปริมาณที่กำหนด

จะได้ $Q = Akht/L$

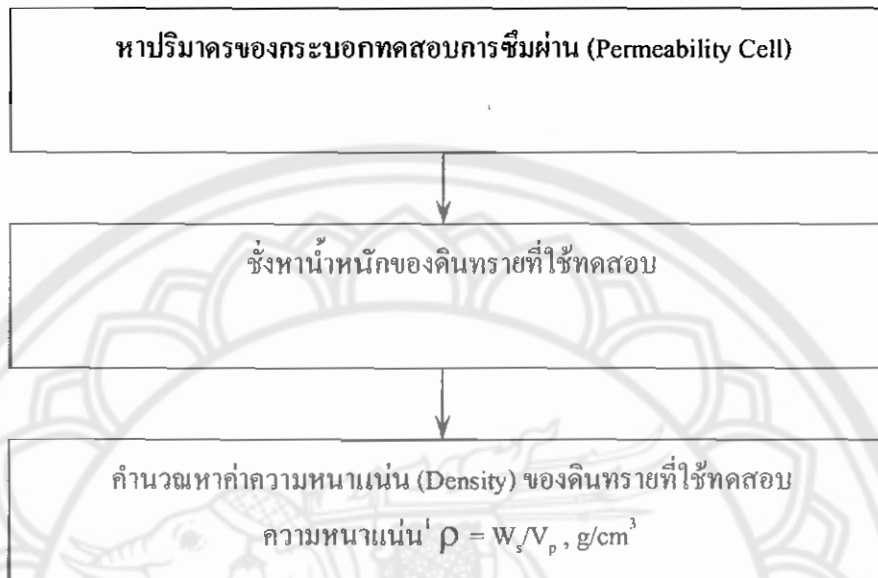
$$\therefore k = (QL/Aht)$$

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1 แผงเครื่องมือทดสอบการซึมผ่าน
- 4.2 กระบอกทดสอบการซึมผ่าน (Permeability Cell)
- 4.3 กระบอกตวง 1000 cm^3
- 4.4 นาฬิกาจับเวลา
- 4.5 ปรัชต์อุดหนุนภูมิ
- 4.6 กรวย
- 4.7 ตาชั่ง (balance)
- 4.8 สายวัด
- 4.9 กระจบองใส่ตัวอย่างดิน

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน Cohesionless (granular) soil



รูปที่ 10.8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

หมายเหตุ¹

γ = ความหนาแน่นของตัวอย่างดิน

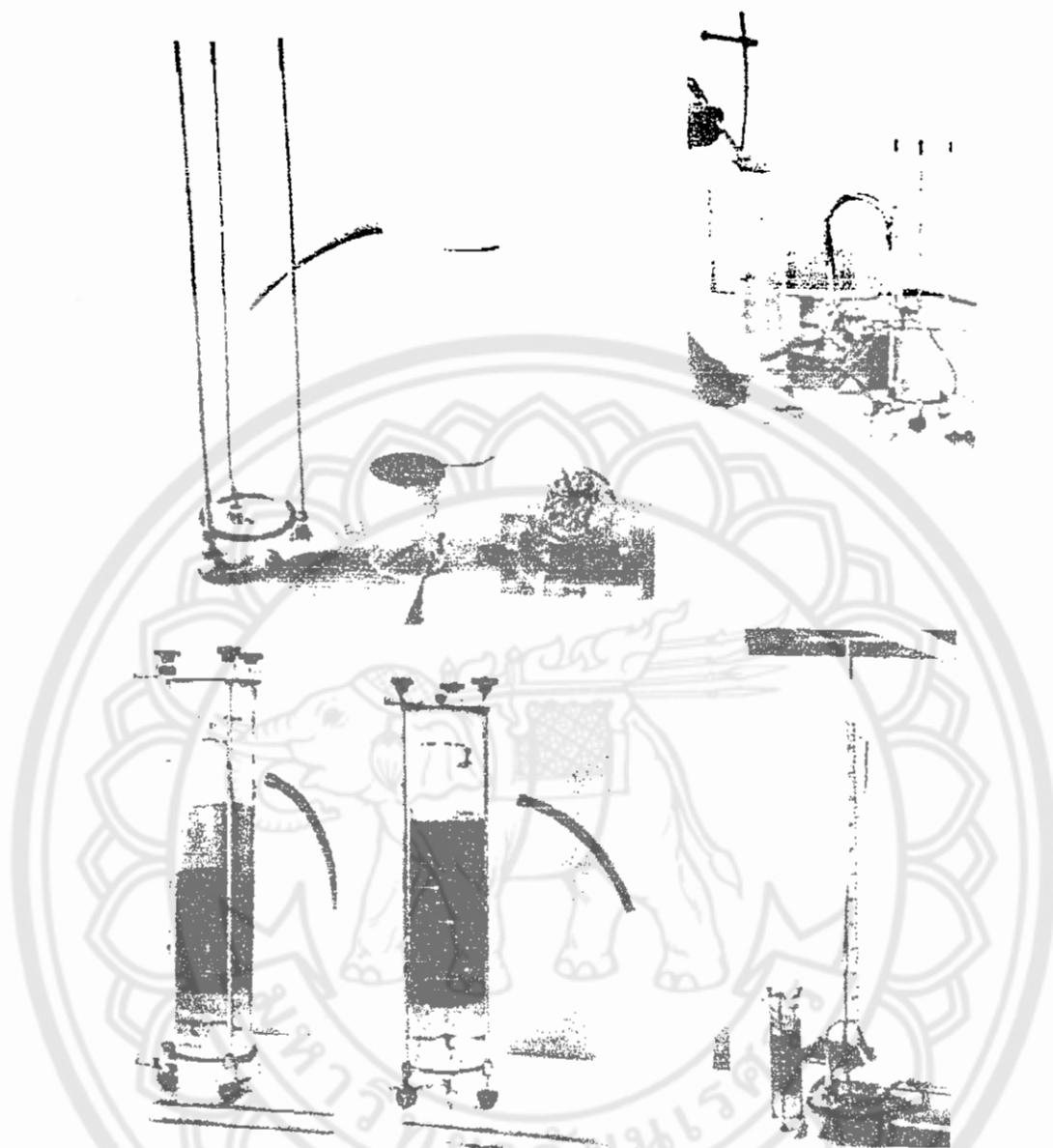
W_s = มวลของตัวอย่างดิน

V_p = permeameter volume (cm³)

5.2 การทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test)



รูปที่ 10.8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test)



รูปที่ 10.8.4 อุปกรณ์ทดสอบ Constant head permeability test

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Specimen Data

Sample height	L (cm)	20.3	Mass of mold + soil	W_{MS} (gm)	2984.2
Sample diameter	D (cm)	7.6	Mass of mold	W_M (gm)	1427.3
Sample area	A (cm^2)	45.6	Mass of soil	WS (gm)	1556.9
Type of sample			Density of soil	ρ (t/m^3)	1.682

Constant Head Permeability Test :				Constant Head			
				h (cm)	87		
Trial NO.	Time (sec)	Q (cc)	T($^{\circ}$ C)	Trial NO.	Time (sec)	Q (cc)	T($^{\circ}$ C)
1	180	775	23		180	775	
2	180	772	22		180	772	
3	180	761	22		180	761	
4							
5							
Average values					180	769	22
Hydraulic Conductivity, K^1 (cm/se)				0.022			

Note : 1. $K = Q \cdot L / (A \cdot h \cdot \text{Time})$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Sample area, A

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi * (\text{Sample diameter})^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * (D)^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * 7.62^2}{4} \quad \text{cm}^2 \\
 &= 45.6 \quad \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

8.2 Mass of Soil, W_s

$$\begin{aligned}
 \text{Mass of soil} &= (\text{Mass of mold + soil}) - (\text{Mass of mold}) \\
 W_s &= W_{MS} - W_M \\
 &= 2984.2 - 1427.3 \quad \text{gm} \\
 &= 1556.9 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3 Density of soil, ρ

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{\text{Mass of soil}}{\text{Volume of soil}} \\
 &= \frac{W_s}{V_s} \\
 &= \frac{1556.9}{(45.6 * 20.3)} \quad \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} \\
 &= 1.682 \quad \text{gm/cm}^3
 \end{aligned}$$

8.4 Hydraulic Conductivity, K

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{(\text{Volume of water collected}) * (\text{Length of specimen})}{(\text{Area of soil specimen}) * (\text{Constant head}) * (\text{Time})} \\
 &= \frac{(Q * L)}{(A * h * T)} \\
 &= \frac{(769 * 20.3)}{(45.6 * 87 * 180)} \quad \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \\
 &= 0.022 \quad \text{cm/sec}
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

ค่าความซึมน้ำจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆของดินดังต่อไปนี้

9.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน (Grain Size and Shape) โดย Allen Hazen ได้เสนอว่าในทรายและกรวด ค่าความซึมน้ำสามารถสัมพันธ์กับขนาดเม็ดดังนี้

$$k = 100 D_{10}^2 \text{ cm/sec}$$

เมื่อ D_{10} = ขนาดเม็ดเมื่อมี 10 % โดยน้ำหนักเป็นเม็ดที่เล็กกว่าที่ระบุ (cm)

9.2 ความหนืดของของเหลวที่ซึมผ่าน (Viscosity of Pore Fluid) ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับน้ำเท่านั้น ทั้งนี้ความหนืดของน้ำอาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากอุณหภูมิ โดยมักจะยึดเอาความหนืดที่อุณหภูมิ 20 °c เป็นเกณฑ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะลดลงจึงทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย ความสัมพันธ์ของค่าความซึมน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆกับที่ 20 °c มีดังนี้

$$k_T = \frac{k_{20} \cdot \eta_{20}}{\eta_T}$$

เมื่อ η_{20}, η_T เป็นความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °c และ T °c ตามลำดับ

9.3 อัตราส่วนของช่องว่าง (Void Ratio) เช่น ในทรายหลวม น้ำจะสามารถไหลได้สะดวกกว่าทรายอัดแน่น

ความสัมพันธ์ของค่าความซึมน้ำ กับ อัตราส่วนของช่องว่าง

$$k = \frac{c \cdot e^3}{1 + e}$$

9.4 ความอิ่มตัวของมวลดิน (Degree Of Saturation) สาเหตุที่การทดลองมักจะใช้กับดินที่อิ่มตัว (Saturated) ก็เนื่องมาจากมวลดินไม่อิ่มตัว จะมีฟองอากาศกั้นช่องว่าง ทำให้น้ำไหลซึมไม่สะดวก ดังนั้นในการทดลองจึงหลีกเลี่ยงสำหรับกรณีนี้

9.5 ค่าความซึมน้ำมีความเกี่ยวข้องกับการพิจารณาพฤติกรรมของดินหลายอย่าง เช่น การรั่วซึมของน้ำที่เก็บกักโดยเขื่อนดิน, ความมั่นคงของลาดเขื่อน ที่เกี่ยวข้องกับแรงดันของน้ำภายในตัวเขื่อน, อัตราการทรุดตัวของชั้นดินที่เกิดจากน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างอาคาร รวมถึงความมั่นคงและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อที่ขุดเพื่อก่อสร้างฐานราก ฯลฯ

Test 8 Falling Head Test

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

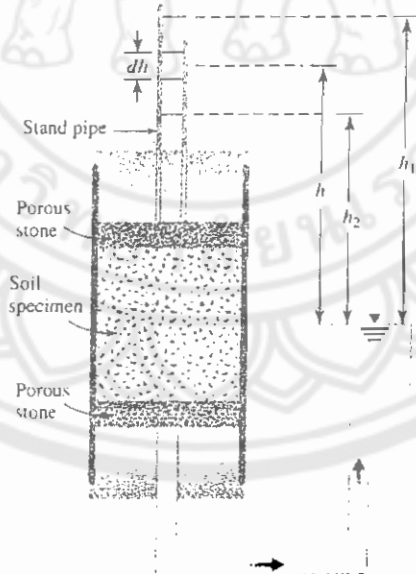
- 1.1 Braja M. Das. Principles of Geotechnical Engineering. 1998. p. 159-226
- 1.2 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1970 p. 121-127
- 1.3 วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 94-102
- 1.4 สถาพร คูวิจิตรจรรุ. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (10-1) – (10-17)

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ของตัวอย่างดินด้วยวิธี Falling Head Test

3. หลักการ (Principals)

ในการทดสอบจะใช้ระดับน้ำในท่อตั้ง (Stand pipe) โดยปล่อยให้ไหลผ่านตัวอย่างดิน ระดับน้ำที่ลดลงจะเป็นตัวชี้บอกการวัดปริมาณและความดันน้ำที่กระทำต่อตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.8.1 หลักการของ Falling Head Test (DAS, 1998)

จากรูป 10.8.1 เมื่อปล่อยให้ น้ำในท่อตั้ง (Standpipe) ไหลผ่านตัวอย่างดินจนได้ค่าระดับของน้ำสูง h_1 ให้บันทึกเวลาเป็น $t = 0$ และปล่อยให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินในระยะเวลา $t = t_2$ จนได้ระดับความสูงของน้ำเป็น h_2

อัตราการไหลซึมของน้ำผ่านตัวอย่างดินที่ระยะเวลา t สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt}$$

โดย q = อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

a = พื้นที่หน้าตัดขวางของท่อตั้ง (Standpipe)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลซึมผ่าน

t = เวลาที่จับระหว่างทดลอง

h = ระดับน้ำที่วัดระหว่างทดลอง

k = ค่าความซึมของตัวอย่างดิน (cm/s, m/s, ft/day, m/yr, etc.)

L = ความยาวของตัวอย่างดิน

จะได้
$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

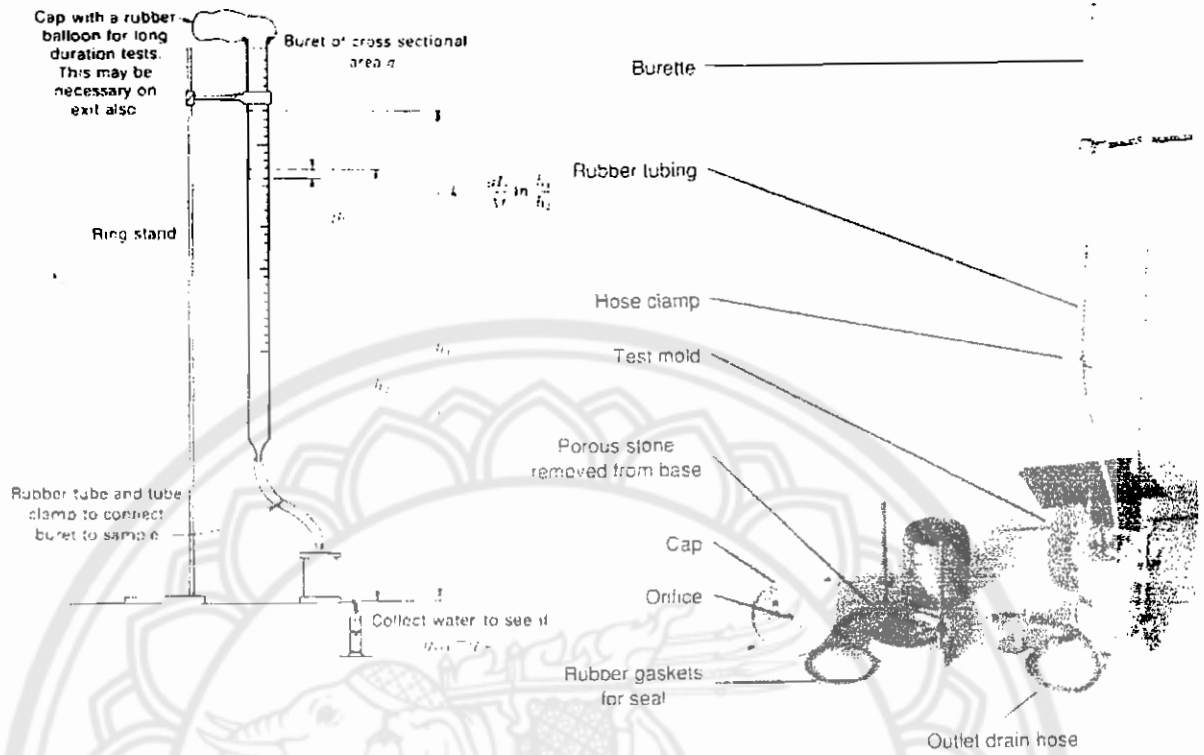
จากสมการ อินทิเกรตสมการทางด้านซ้ายด้วยขอบเขตของเวลาจาก $t = 0$ ถึง t และทางด้านขวาด้วยขอบเขตของค่าความแตกต่างของระดับน้ำจาก h_1 ถึง h_2 ดังนี้

$$t = \frac{aL}{Ak} \log_e \frac{h_1}{h_2}$$

$$\therefore k = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

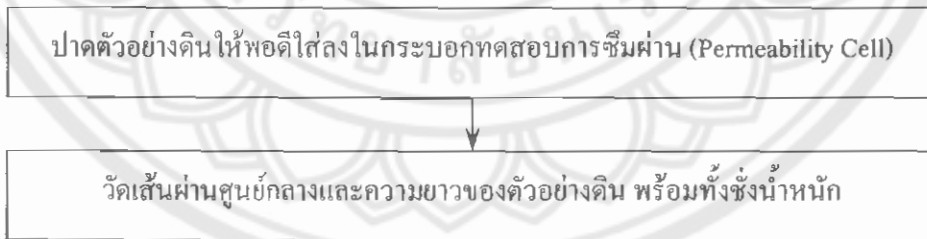
- 4.1 แผงเครื่องมือทดสอบการซึมผ่าน
- 4.2 ครอบทดสอบการซึมผ่าน (Permeability Cell)
- 4.3 นาฬิกาจับเวลา
- 4.4 ปอร์ทวัดอุณหภูมิ
- 4.5 กรวย
- 4.6 ตาชั่ง (Balance)
- 4.7 สายวัด
- 4.8 ครอบป้องกันตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.8.2 อุปกรณ์ทดสอบ Falling Head Test

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 ตัวอย่างทดสอบเป็นดินเหนียว



รูปที่ 10.8.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของดินเหนียว

5.2 การทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test)



รูปที่ 10.8.4 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test)

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Test No	_____
Boring No	_____	Date	_____
Sample No	_____	Tested By	_____
Sample Depth	_____	Checked By	_____

Specimen Data

Sample height	L	(cm)	11.6	Mass of mold+soil	W_{MS} (gm)	3074.9
Sample diameter	D	(cm)	10.2	Mass of mold	W_M (gm)	1525.1
Sample area	A	(cm^2)	81.7	Mass of soil	W_S (gm)	1549.8
Type of sample			Compacted soil	Density of soil	ρ (t/m^3)	1.635

Falling Head Permeability Test :

Falling Head Permeability Test :						Area of standpipe	a	(cm^2)	1.7
Trial NO.	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Time (sec)	Q_{out} (cm^3)	T($^{\circ}C$)	Trial NO.	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Time (sec)
1	51.1	24.3	54.1	45.8	21	1			54.1
2	51.1	24.3	54.7	45.8	21	2			54.7
3	51.1	24.3	55.3	45.8	21	3			55.3
4									
5									
$a = (45.8) / (51.1 - 24.3) = 1.71 \text{ cm}^2$						Average value	51.1	24.3	54.7
Hydraulic Conductivity, k^1 (cm/sec)				0.0033					

Note : 1. $k = (2.303 * a * L * \log(h_1/h_2)) / (A * T)$ 2. $a = Q_{out} / (h_1 - h_2)$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Sample area, A

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \frac{(\text{Sample diameter})^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * (D)^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * 10.2^2}{4} \text{ cm}^2 \\
 &= 81.7 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

8.2 Mass of Soil, W_s

$$\begin{aligned}
 \text{Mass of soil} &= (\text{Mass of mold + soil}) - (\text{Mass of mold}) \\
 W_s &= W_{MS} - W_M \\
 &= 3074.9 - 1525.1 \text{ gm} \\
 &= 1549.8 \text{ gm}
 \end{aligned}$$

8.3 Density of soil,

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mass of soil}}{\text{Volume of soil}} \\
 &= \frac{W_s}{V_s} \\
 &= \frac{1549.8 \text{ gm}}{(81.7 * 11.6) \text{ cm}^3} \\
 &= 1.635 \text{ t/m}^3
 \end{aligned}$$

8.4 Area standpipe, a

$$a = \frac{Q_{out}}{h_1 - h_2}$$

$$a = \frac{45.8}{(51.1 - 24.3)} \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}}$$

$$= 1.71 \text{ cm}^2$$

8.5 Hydraulic Conductivity, k

$$k = \frac{2.303 aL \log_{10} \frac{h_1}{h_2}}{At}$$

$$k = \frac{2.303 * 1.71 \text{ cm}^2 * 11.6 \text{ cm} * \log(51.1/24.3)}{(81.7 \text{ cm}^2) * 54.7 \text{ sec}}$$

$$= 0.0033 \text{ cm/sec}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical uses)

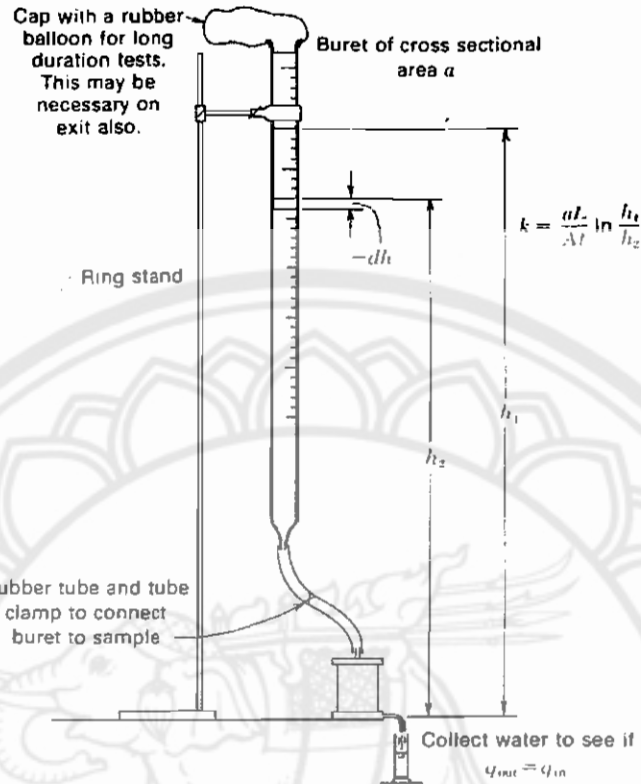
9.1 เป็นวิธีสำหรับทดสอบตัวอย่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากปานกลางถึงต่ำซึ่งเป็นตัวอย่างดินจำพวกทรายละเอียด หรือ ดินตะกอน

9.2 ในการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test) ถ้าทดสอบกับตัวอย่างดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำมากๆ เช่นตัวอย่างดินบดอัด, ดินเหนียว ทำให้ปริมาณที่ซึมผ่านตัวอย่างดินมีค่าน้อยมาก ระดับน้ำในท่อตั้งวัดระดับน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย เพื่อให้ได้ค่าอ่านเพียงพออาจต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน ปริมาณน้ำที่จะระเหยออกจากหลอดจะมีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงจริงๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

หนทางการแก้ไขปัญหานี้มีอยู่ 2 ประการดังนี้

9.1.1 ควบคุมความชื้นในห้องที่ทำการทดสอบนี้ เพื่อไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำ

9.1.2 คลุมปลายที่เปิดของท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon) เล็กๆ ดังรูปที่ 8.4 แต่ห้ามอุดท่อตั้งด้วยสิ่งใดๆที่จะเป็นการขัดขวางการไหลของน้ำ



รูปที่ 10.8.5 ลักษณะการควบคุมปลายท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon) (Bowles, 1970)

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 ในฐานะที่ท่านเป็นวิศวกรสนามประจำไซต์งานจงบอกวิธีการทดสอบค่าความซึมน้ำที่เหมาะสมสำหรับลักษณะดินดังต่อไปนี้

10.1.1 ดินเหนียวคงสภาพ

ตอบ Variable head หรือ Consolidometer

10.1.2 ดินทราย

ตอบ Constant head

10.1.3 ดินลูกรังบดอัด

ตอบ Constant head โดยใช้ความดันเข้าช่วย

10.1.4 ดินเหนียวบดอัด

ตอบ Constant head หรือ Consolidometer

Test 9 Unconfined Compression Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 วรากร ไหมเรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 113-122

1.2 สถาพร คูวิจิตรจรรยา. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (11-1) – (11-14)

1.3 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 162-166

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อทดสอบหาค่าแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินเหนียว (Cohesive Soil) แบบไม่มีหน่วยแรงด้านข้างมากกระทำ

3. หลักการ (Principals)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงและกำลังของดินตัวอย่างในกรณีที่เป็นดินเหนียว (Cohesive Soil) สามารถทดสอบได้ด้วยวิธี Unconfined Compression Test คือจะมีเพียงแรงกดเฉพาะในแนวตั้ง แต่จะไม่มีควมดันหรือแรงอัดช่วยทางด้านข้างของตัวอย่างดิน โดยการทดลอง Unconfined Compression นี้เป็นวิธีการหาค่าประมาณกำลังของดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลาง (Soft และ Medium Clay) โดยกำลังของดินส่วนใหญ่จะเกิดจาก 2 ปัจจัย คือ 1. Cohesion, 2. Friction โดยค่ากำลังความแข็งแรงของดิน สามารถแทนด้วยสมการ Mohr-Coulomb ดังนี้

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

เมื่อ τ = ค่าแรงเฉือนของตัวอย่างดิน

C = แรง Cohesion

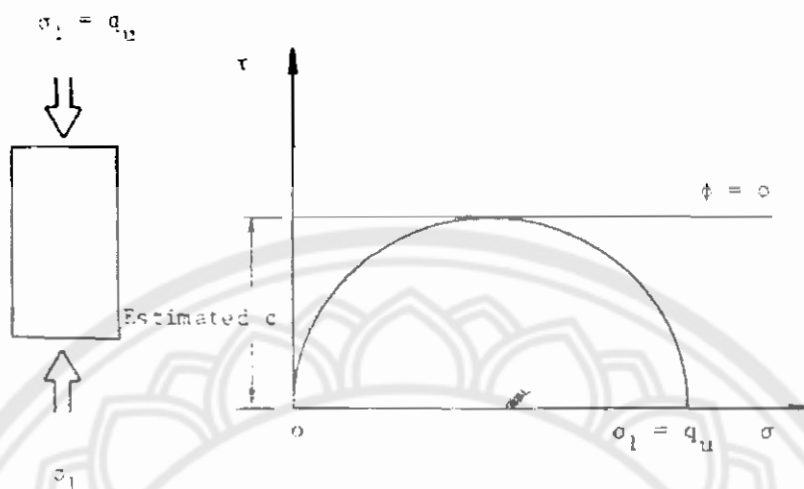
σ = ค่าความเค้นของตัวอย่างดิน

$\tan \phi$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของแรง Internal Friction

ภายใต้แรงกดที่กระทำในเวลาอันรวดเร็ว ค่า $\tan \phi$ ของดินเหนียวที่ถูกกดจะมีค่าน้อยมากๆ

$$\tan \phi = 0, \quad \text{จะได้} \quad \tau = C$$

และเมื่อนำค่าน้อยแรงกระทำต่อตัวอย่างดินมาเขียน Mohr's Diagram จะได้



รูปที่ 10.9.1 Stress และ Mohr's Diagram (วรภากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

หมายเหตุ

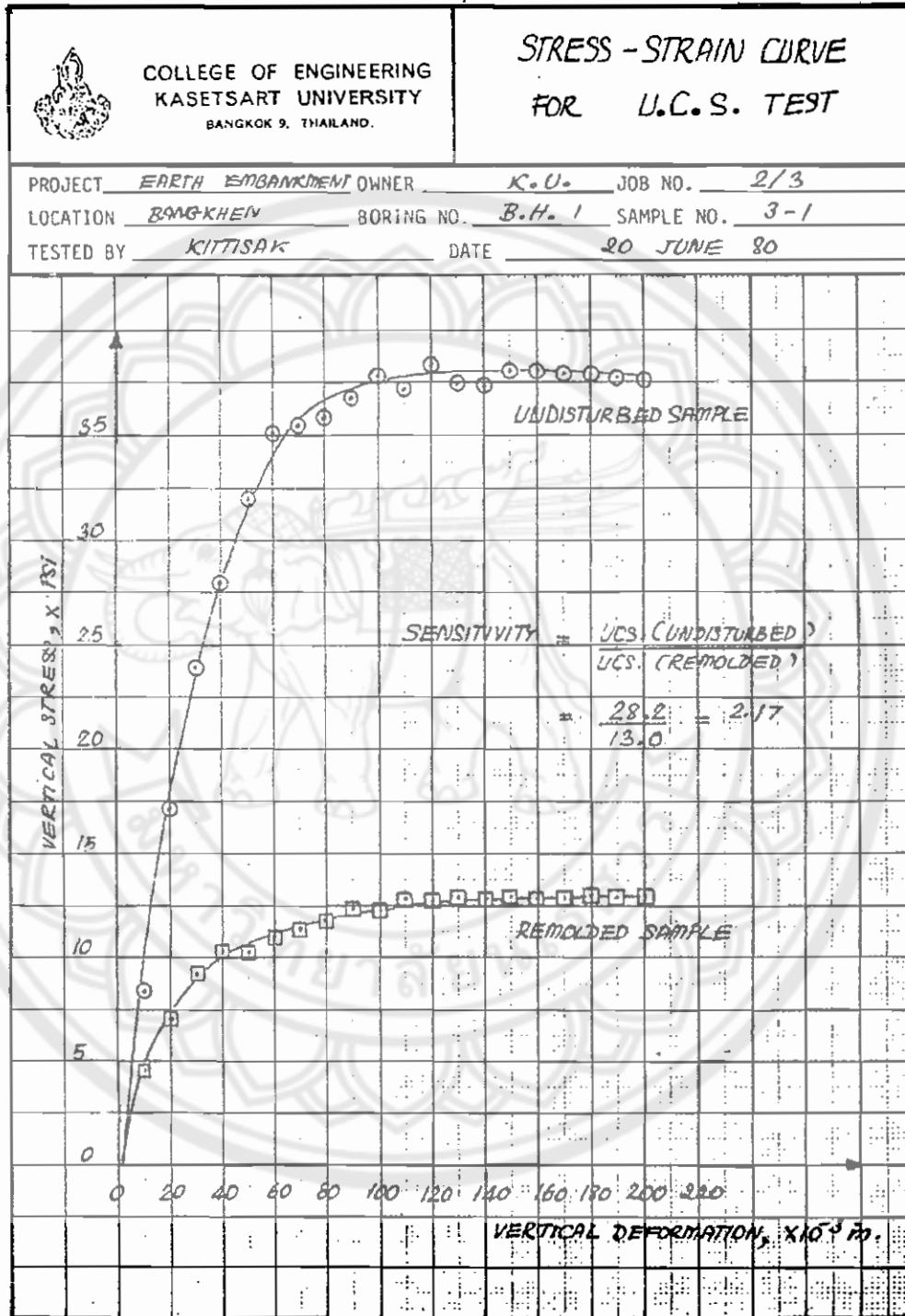
ความแข็งแรงหรือกำลังของดินเหนียว (Cohesive Soil) ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ Cohesion เป็นค่าความแข็งแรงที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า - เคมี (Electro - Chemical Bonds) ระหว่างเม็ดดิน

Friction เกิดจากการขัดตัวของเม็ดดิน (Particle Interlocking) และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน (Surface Friction)

จากรูปจะเห็นได้ว่า $\tau = (\text{Estimated}) C = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{F_v(\text{max})}{2A_c}$

- เมื่อ σ_1 = ค่าความเค้นของตัวอย่างดินที่จุดสูงสุดกำลังของดิน
- F_v = แรงกดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างดิน
- A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินขณะที่มีการหดตัว

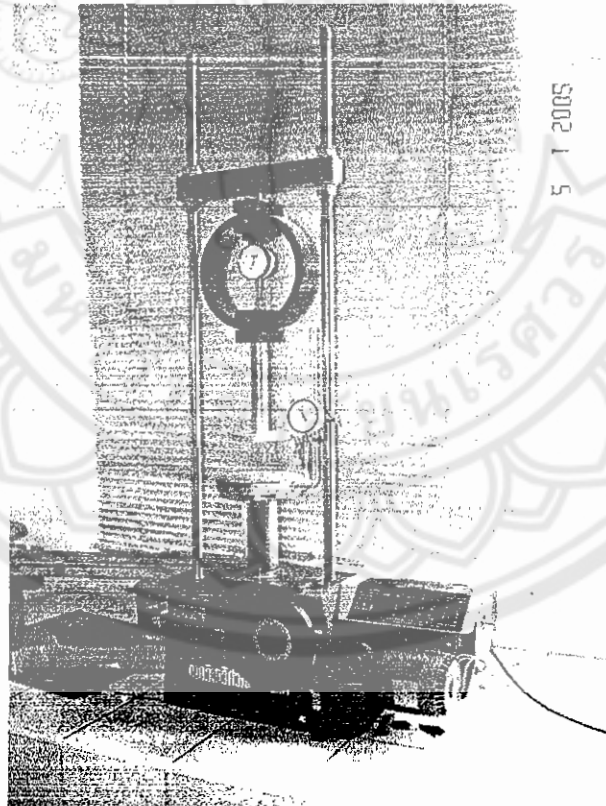
จากข้อมูลของค่าความเค้น (Unit Stress, σ) และค่าการหดตัว (Unit Strain, ϵ) ที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างดินหลังทำการกด จะถูกนำไปพลอตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังรูป 10.9.2. และอาศัยวิธี Graphical Solution ในการหาค่า σ_1 เพื่อนำไปเขียน Mohr's Diagram ดังที่กล่าวข้างต้น



รูปที่ 10.9.2 ความสัมพันธ์ของ Stress และ Deformation (วารสาร, จีรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1. เครื่องกดตัวอย่างดิน (Compression Device)
- 4.2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
- 4.3. มาตรฐานวัด (Dial Gage) อ่านละเอียด 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว
- 4.4. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
 - 4.4.1. กระบอกลวด (Miter Box)
 - 4.4.2. เลื่อยเส้นลวด
 - 4.4.3. โครงตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming Frame)
- 4.5. ตาชั่ง (Balance)
- 4.6. เตาอบ (Oven)



รูปที่ 10.9.3 เครื่องกดตัวอย่างดิน (Compression Device)

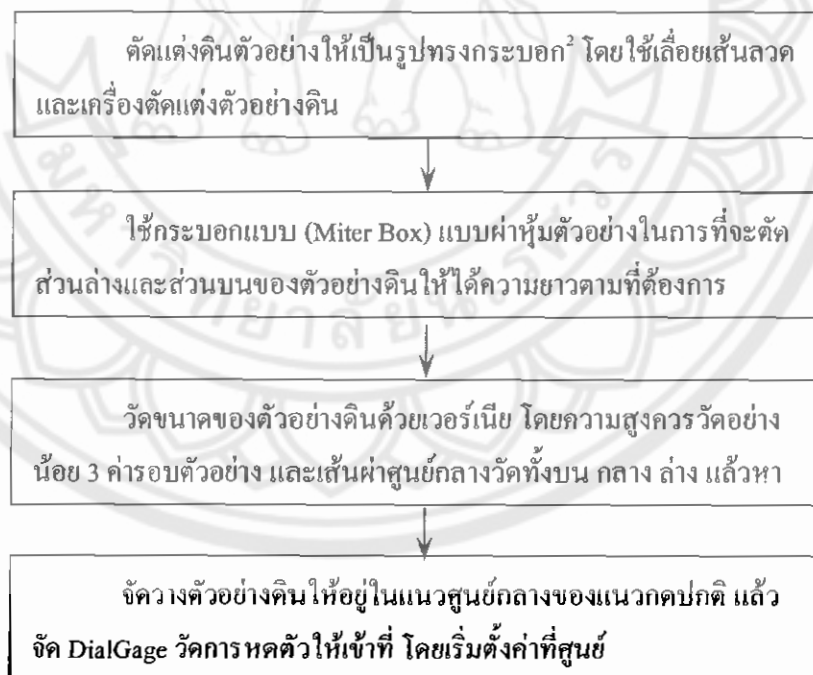


รูปที่ 10.9.4 อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1. การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1. ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)



รูปที่ 10.9.5 การเตรียมตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)

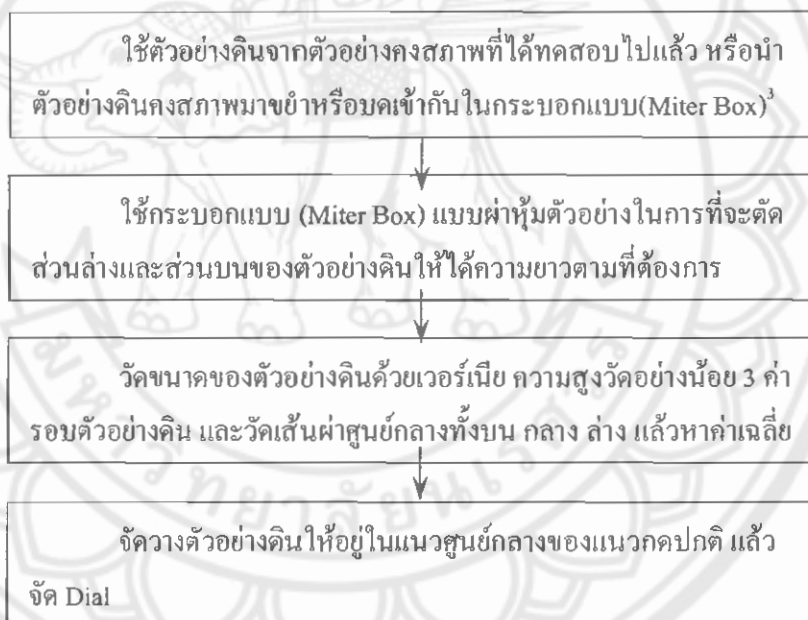
หมายเหตุ

² การตัดแต่งดินโดยปกติจะมีขนาดมาตรฐานดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, นิ้ว	ความสูงของดินตัวอย่าง, นิ้ว
1.4	2.8 – 3.0
2.8	5.6 – 6.0

ความสูงของตัวอย่างดินต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งนี้เพื่อให้รอยฉีก (Failure Plane) ไม่เกิดในส่วนผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่างดิน เพราะจะทำให้มีความผิดเกิดขึ้นบนส่วนนั้น ระหว่างทดลอง ซึ่งทำให้ค่า F_v มีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น

5.1.2. ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample)

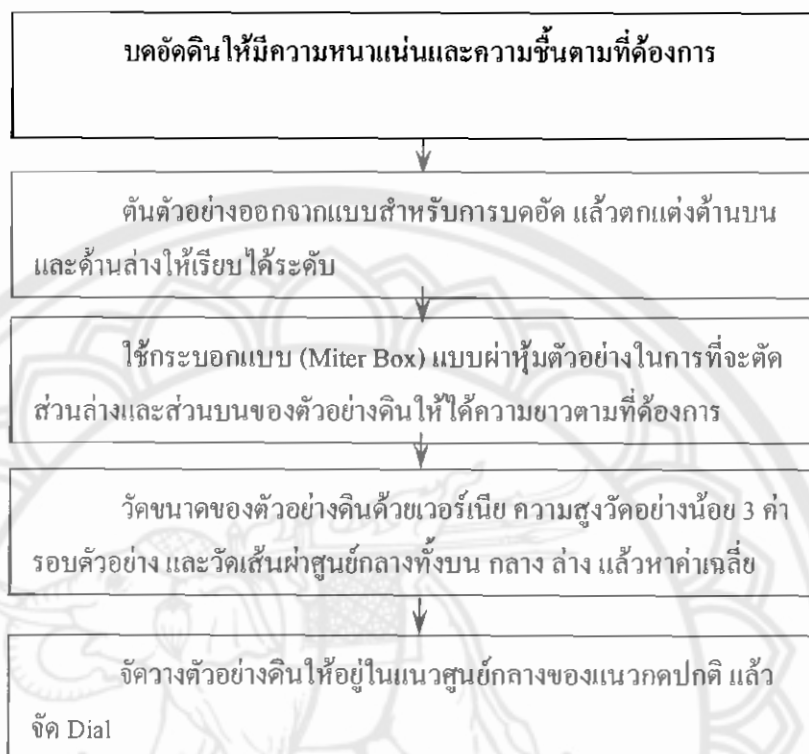


รูปที่ 10.9.6 การเตรียมตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample)

หมายเหตุ

³ การบดตัวอย่างดินคงสภาพในกระบอบแบบ (Miter Box) จะต้องพยายามให้มีโพรงอากาศอยู่ในตัวอย่างดินให้น้อยที่สุด เพราะโพรงอากาศจะมีผลกับการหดตัวของตัวอย่างดินเมื่อถูกแรงกดกระทำ

5.1.3. ตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample)⁴

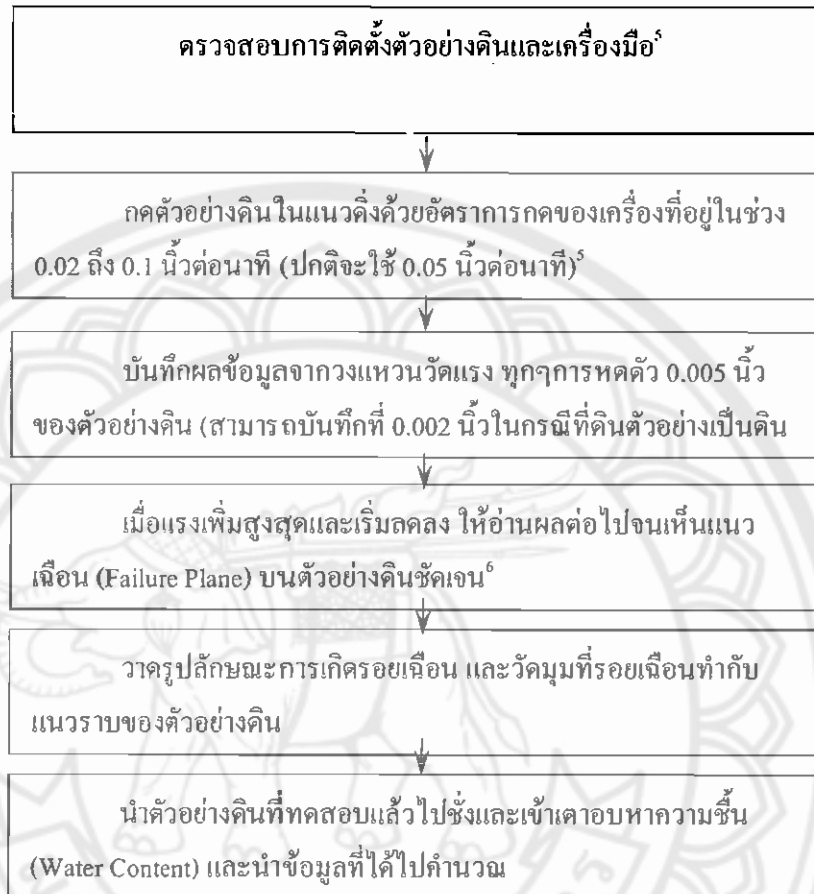


รูปที่ 10.9.7 การเตรียมตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample)

หมายเหตุ

⁴ดินเตรียมสภาพ คือ ดินที่เตรียมใหม่จากการบดอัดให้มีความหนาแน่นและความชื้นอย่างที่ต้องการ โดยมีวิธีเตรียมคล้ายกับการบดอัดแบบ Standard Proctor, Modified AASHO หรือ Harvard Minixture แต่จะต่างกันที่รูปร่างของแบบบดอัดดิน (Mold) นั้นจะเปลี่ยนไปให้เหมาะสมกับขนาดมาตรฐานสำหรับ Unconfined Compression Test

5.2. การทดสอบ



รูปที่ 10.9.8 ขั้นตอนการทดสอบ Unconfined Compression Test

หมายเหตุ

⁵ การตรวจสอบการติดตั้งตัวอย่างดินและเครื่องมือ มีดังต่อไปนี้

- แป้นกดเครื่องต้องสัมผัสกับตัวอย่างดินพอดี
- ตั้ง Dial Gage ที่ใช้วัดการกดตัวและวัดแรงให้มีค่าเป็นศูนย์เพื่อความสะดวกในการอ่านค่า
- กรณีเครื่องมือที่ใช้กดเป็นแบบมือหมุน จะใช้อัตราการหมุน Axial Strain Rate 0.5 – 2 %/

นาที

⁶ หากเมื่อผ่านจุดที่แรงในกวางแหวนสูงสุดไปแล้วยังไม่มีรอยเฉือนให้เห็น ก็ให้ทดสอบจนการกดตัวถึงประมาณ 15 % ของความสูงตัวอย่าง

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 ความยาวของตัวอย่างดินก่อนการทดลอง (Initial length, L_0)

6.2 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวอย่างดินก่อนการทดลอง (Initial diameter, D_0)

6.3 มวลของตัวอย่างดินก่อนการทดลอง (Initial mass, M_0)

6.4 Deformation dial reading (DL)

6.5 Load dial reading (LDR)



7. ตัวอย่างการทดลอง

Soil Description	Project
Location	Test No
Boring No	Date
Sample No	Tested By
Sample Depth	Checked By

Specimen Data

Initial length, L_0 (cm)	10.8	Initial water content, w_0 (%)	14.5
Initial diameter D_0 (cm)	4.55	Initial mass, M_0 (gm)	380
Initial area, A_0 (cm ²)	16.3	Wet unit weight, γ_T (kN/m ³)	21.2
Initial volume, V_0 (cc)	176	Dry unit weight, γ_D (kN/m ³)	18.5

Testing Data

Axial strain rate, (% / min) = _____ mm/n Load ring constant, LRC (kg/div) 0.34

Deformation dial reading DL ($\times 10^{-2}$)	Load dial reading LDR (div)	Axial unit strain DL / L_0 ($\times 10^{-2}$)	Corrected area A_C ³ (cm ²)	Vertical stress on specimen σ_v ⁴ (kN/m ²)	Remarks
0	0	0.00	16.25	0.00	
50	8	0.46	16.33	16.34	
100	15	0.93	16.40	30.49	
200	20	1.85	16.56	40.28	
400	27	3.70	16.88	53.35	
500	30	4.63	17.04	58.71	
600	33	5.56	17.21	63.95	
750	38	6.94	17.46	72.56	
1000	44	9.26	17.91	81.92	
1200	49	11.11	18.28	89.37	
1400	54	12.96	18.67	96.44	
1500	56	13.89	18.87	98.95	
1600	58	14.81	19.08	101.38	
1700	57	15.74	19.29	98.55	

Note: 1. $\gamma_T = \rho \times 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$, whereas ρ_T in gm/cc = M_0 / V_0 2. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w_0 / 100)$
 3. $A_C = A_0 / (1 - DL / L_0)$ 4. $\sigma_v = \text{LDR} \times \text{LRC} / A_C \times (98.067 \text{ kN/m}^2 / 1 \text{ ksc})$

8. การคำนวณ (Calculation)

Unconfined Compression Test

Sample of Calculation (use data of DL = 50 * 0.01 mm)

8.1. Initial area, A_0

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \frac{\pi * (\text{initial diameter})^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * (D_0)^2}{4} \\
 &= \frac{\pi * 4.55^2}{4} \quad \text{cm}^2 \\
 &= 16.27 \quad \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

8.2. Initial Volume, V_0

$$\begin{aligned}
 V_0 &= (\text{initial area}) * (\text{initial length}) \\
 &= A_0 * L_0 \\
 &= 16.27 * 10.8 \quad \text{cm}^3 \\
 &= 175.68 \quad \text{cm}^3
 \end{aligned}$$

8.3. Wet unit weight, γ_T

$$\begin{aligned}
 \rho_T &= \frac{\text{initial mass}}{\text{initial volume}} \\
 &= \frac{M_0}{V_0} \\
 &= \frac{379.5}{175.6} \quad \frac{\text{gm}}{\text{cc}} \\
 &= 2.16 \quad \text{gm/cc} \\
 \gamma_T &= 2.16 * 9.807 \quad \frac{(\text{gm})(\text{KN/cc})}{(\text{cc})(\text{m}^3.\text{gm})} \\
 &= 21.19 \quad \text{KN/m}^3
 \end{aligned}$$

8.4. Dry unit Weight, ρ_D

$$\gamma_D = \frac{\gamma_T}{(1 + \text{initial water content}/100)}$$

$$= \frac{\gamma_T}{(1 + W_o/100)}$$

$$= \frac{21.19}{(1 + 14.5/100)} \quad \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$= 18.50 \quad \text{KN/m}^3$$

8.5. Axial unit strain $(\Delta L/L_o) * 10^{-2}$

$$\frac{\Delta L}{L_o} = \frac{50 * 10^{-2}}{10.8 * 10} \quad \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$= 0.46 * 10^{-2}$$

8.6. Corrected area, A_c

$$A_c = \frac{A_o}{(1 - \Delta L/L_o)}$$

$$= \frac{16.26}{(1 - 0.46 * 10^{-2})} \quad \text{cm}^2$$

$$= 16.34 \quad \text{cm}^2$$

8.7 Vertical stress on specimen, σ_v

$$\sigma_v = \frac{(\text{load dial reading}) * (\text{loading ring constant}) * 9.807}{\text{corrected area}}$$

$$= \frac{\text{LDR} * \text{LDC}}{A_c} * 9.807$$

$$= \frac{8 \text{ div} * 0.34 \text{ Kg/div} * 98.067}{16.34 \text{ cm}^2} \quad \frac{\text{KN} \cdot \text{Cm}^2}{\text{m}^2 \cdot \text{Kg}}$$

$$= 16.32 \quad \text{KN/m}^2$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 เหตุผลหลักๆ ของการเลือกใช้การทดสอบ Unconfined Compression เพราะสามารถหาค่าประมาณของกำลังรับแรงกดอัดของดินได้อย่างคร่าวๆ และรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดสำหรับการใช้การทดสอบนี้คือจะสามารถใช้ทดสอบได้เฉพาะกับชนิดของดินที่มีค่าการยึดเหนี่ยวแบบ Cohesion เพียงพอที่จะคงสภาพในขณะที่ทดสอบได้

9.2 จากข้อแรกจะกล่าวอธิบายได้คือ ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบจะต้องไม่เกิดการเยิ้มของน้ำ ในขณะที่ดินถูกกดอัด และยังสามารถรักษาไว้ซึ่งกำลังรับแรงอัดของดินได้เมื่อนำเครื่องมือทดสอบออก ตัวอย่างของดินที่สามารถทดสอบได้ คือ Clays หรือ Cemented Soils โดยดินจำพวกดินแห้งและแตกง่าย, Peats, Sands ไม่สามารถทำการทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ได้

9.3 หากตัวอย่างของดินทดสอบคงสภาพ (Undisturbed) และดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded) เป็นตัวอย่างชิ้นเดียวกัน จะทำให้การทดสอบหาค่า Sensitivity สามารถทำได้แต่เงื่อนไขของการทดสอบคือ ตัวอย่างที่ทดสอบจะต้องสามารถคงสภาพรูปร่างของตัวอย่างในขณะที่ทดสอบตัวอย่างเปลี่ยนสภาพได้

10. วัตถุประสงค์ความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 อภิรักษ์ วิศวกรโยธา ของบริษัท กิตติวัฒน์ Engineering Consultants จำกัด ได้รับมอบหมายให้ฝึกช่างเทคนิค ที่ทางบริษัทฯ ใ้รับเข้ามาใหม่ เพื่อทำหน้าที่ติดต่อประสานงานและติดตามผลการทดสอบกับบริษัทที่รับทดสอบวัสดุ บริษัทที่รับสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน และบริษัทที่รับสำรวจสภาพภูมิประเทศ

ในฐานะนายช่างอภิรักษ์ กรุณาอธิบายให้คำแนะนำอย่างสั้นๆ แก่ช่างเทคนิคที่รับเข้ามาใหม่ว่า ในการไปติดต่อประสานงานและติดตามผลการทดสอบ unconfined compressive strength test ช่างเทคนิคควรสังเกต การตัดแต่งตัวอย่างดิน (soil sample) เพื่อเตรียมใช้เป็นตัวอย่างทดสอบ (test specimen) ในเรื่องใดบ้าง? เพราะเหตุใด?

ตอบ 1. เรื่องความสูงของตัวอย่างดิน ซึ่งจะต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อให้รอยเลื่อน ไม่อยู่ในส่วนของผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้มีความผิดพลาดส่วนนั้นเกิดขึ้น ในระหว่างการทดลอง ซึ่งทำให้ค่า F_v มีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น

2. ควรตัดแต่งให้ได้ตัวอย่างที่มีหัวท้ายเรียบและตั้งฉากกับแนวแกนด้านส่วนสูง เพื่อให้ตัวอย่างตั้งฉากกับแนวแกนทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

3. ไม่ควรใช้ระยะเวลาในการตัดแต่งนานเกิน เพราะจะทำให้สูญเสียความชื้นได้

10.2 พรพรรณ ได้บรรจุเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีงานก่อสร้าง สถาบันราชภัฏพิบูลย์ และได้รับมอบหมายให้สอนรายวิชา Civil Engineering Material Testing II ซึ่ง อ. พรพรรณ ได้มอบหมายให้นักศึกษาตัดแต่งตัวอย่างดิน (soil sample) ที่เก็บมาจากพื้นที่ในสถาบัน เพื่อเตรียมใช้เป็นตัวอย่างทดสอบ (test specimen) สำหรับ unconfined compressive strength test และพบว่า นักศึกษากลุ่มที่ 500 ใช้เวลา 15 นาที ในการตัดแต่งให้ได้ตัวอย่างทดสอบ (test specimen) ที่มีหัวท้ายเรียบและตั้งฉากกับแนวแกนด้านส่วนสูง ขณะที่นักศึกษากลุ่มที่ 501 ใช้เวลา 25 นาที และสามารถตัดแต่งได้ตัวอย่างทดสอบที่มีหัวท้ายเรียบและตั้งฉากกับแนวแกนด้านส่วนสูง เช่นเดียวกับตัวอย่างที่นักศึกษากลุ่มที่ 500 ตัดแต่งได้ทุกประการ ส่วนนิสิตกลุ่มที่ 502 ใช้เวลาเพียง 10 นาที สามารถตัดแต่งได้ตัวอย่างทดสอบที่มีหัวท้ายเรียบ เช่นเดียวกับตัวอย่างที่นักศึกษากลุ่มที่ 500 ตัดแต่งได้ทุกประการ แต่ทำมุมเอียงเล็กน้อยไปจากมุมฉากกับแนวแกนด้านส่วนสูง

ในฐานะ อ. พรพรรณ กรุณาอธิบายให้ข้อคิดเห็น โดยสรุปว่า นักศึกษากลุ่มใด ตัดแต่งตัวอย่างทดสอบ ได้ดีที่สุด

ตอบ กลุ่ม 500 เพราะใช้เวลาน้อยและตัวอย่างทดสอบมีความถูกต้อง

Test 10 Direct Shear Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

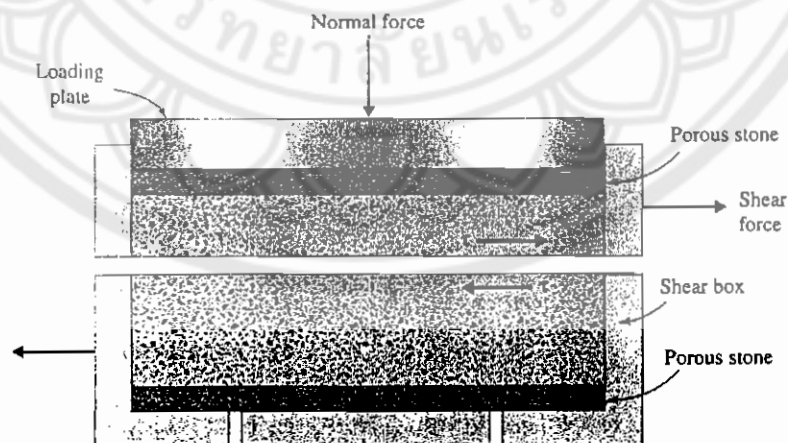
- 1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 290-293
- 1.2 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. p. 366 - 382
- 1.3 Head, K.H.(1980). Manual of Soil Laboratory Testing.
- 1.4 T. William Lambe. Soil Testing for Engineering. 1951. p. 88-97
- 1.5 วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ ไชติกโกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 103 - 112

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินซึ่งแสดงในรูปพารามิเตอร์ของกำลังเฉือน Shear Strength Parameter (ϕ , c)

3. หลักการ (Principals)

กำลังของตัวอย่างดินในทางปฐพีกลศาสตร์ คือ ความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน (Shearing Strength) ทั้งนี้สามารถทดสอบได้ด้วย Direct Shear Test ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่ง่ายไม่ซับซ้อน



รูปที่ 10.10.1 ภาพแสดงหลักการทดสอบ Direct Shear Test (Das, 1998)

จากรูปที่ 10.10.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงในแนวราบ (H) กับแรงกดในแนวตั้งฉาก (N) คือ

$$H = \mu N$$

สำหรับกรณีของ Cohesionless Soil เช่น หทราย กรวด หิน จะมีความสัมพันธ์ดังสมการข้างต้นเท่านั้น แต่หากเป็น Cohesive Soil เช่น ดินเหนียว (Clay) ในการที่จะเฉือนให้ดินเป็น 2 ส่วนออกจากกัน จะเกิดแรงต้านการเฉือนที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวภายในระหว่างมวลดิน (Cohesive Force, C)

จะได้
$$H = \mu N + C$$

เราสามารถเปลี่ยนสมการเป็นในรูปของ Stress โดยนำสมการที่ได้ไปหารด้วยพื้นที่ผิวเฉือนของตัวอย่าง (Shearing area) จะได้

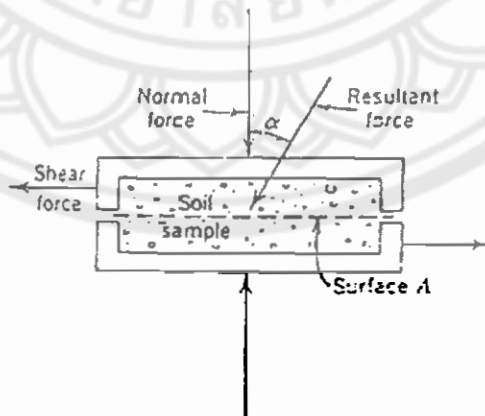
$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

- โดย
- τ = Shearing Strength = H/A
 - c = Cohesion = C/A
 - σ = Normal Stress = N/A
 - $\tan \phi$ = μ = Coefficient of internal friction

สมการข้างต้นมีความสำคัญในด้านความแข็งแรงของดินอย่างมาก เรียกว่า "Mohr - Coulomb's Equation" โดยค่าของ c และ ϕ (Strength Parameter) จะเป็นตัวบอกถึงความแข็งแรงของมวลดิน ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของดินที่ทดสอบ

ความสามารถในการรับแรงเฉือนของดินจะขึ้นกับพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ

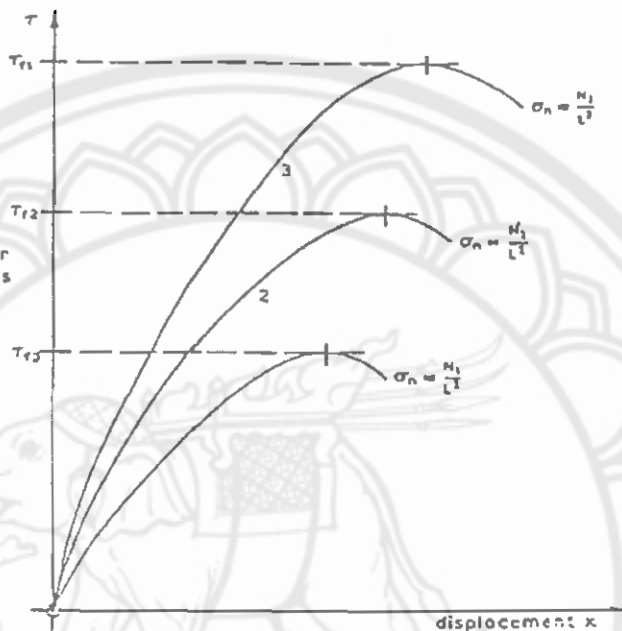
1. แรงเสียดทาน (Friction) สำหรับตัวอย่างดินชนิด Cohesionless soil เกิดจากการ Interlocking กันระหว่างอนุภาคมีลักษณะคล้ายคลึงกับแรงเสียดทานระหว่างผิวของอนุภาคเมื่อมีแรงกดมากกระทำในแนวตั้งฉากกับผิวบนและแรงกระทำในแนวราบกับพื้นผิวเดียวกันดังตัวอย่างของรูปที่ 10.10.2



รูปที่ 10.10.2 แสดงแรงกระทำในแนวตั้งฉากและแนวราบกับผิวตัวอย่าง (Lambe, 1951)

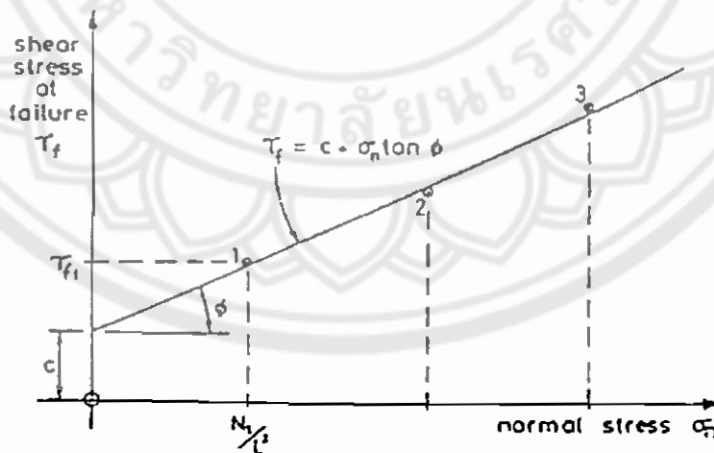
2. แรงยึดเกาะ (Cohesion) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า - เคมี (Electro - Chemical Bonds) ระหว่างเม็ดดิน ซึ่งจะเกิดกับตัวอย่างดินชนิด Cohesive soil

จากผลการทดลองที่ทำการกดอัดตัวอย่างภายใต้แรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า ผลที่บันทึกคือ Horizontal Deformation และ ค่า Shearing Stress โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูป 10.10.3



รูปที่ 10.10.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ Displacement (Head, 1980)

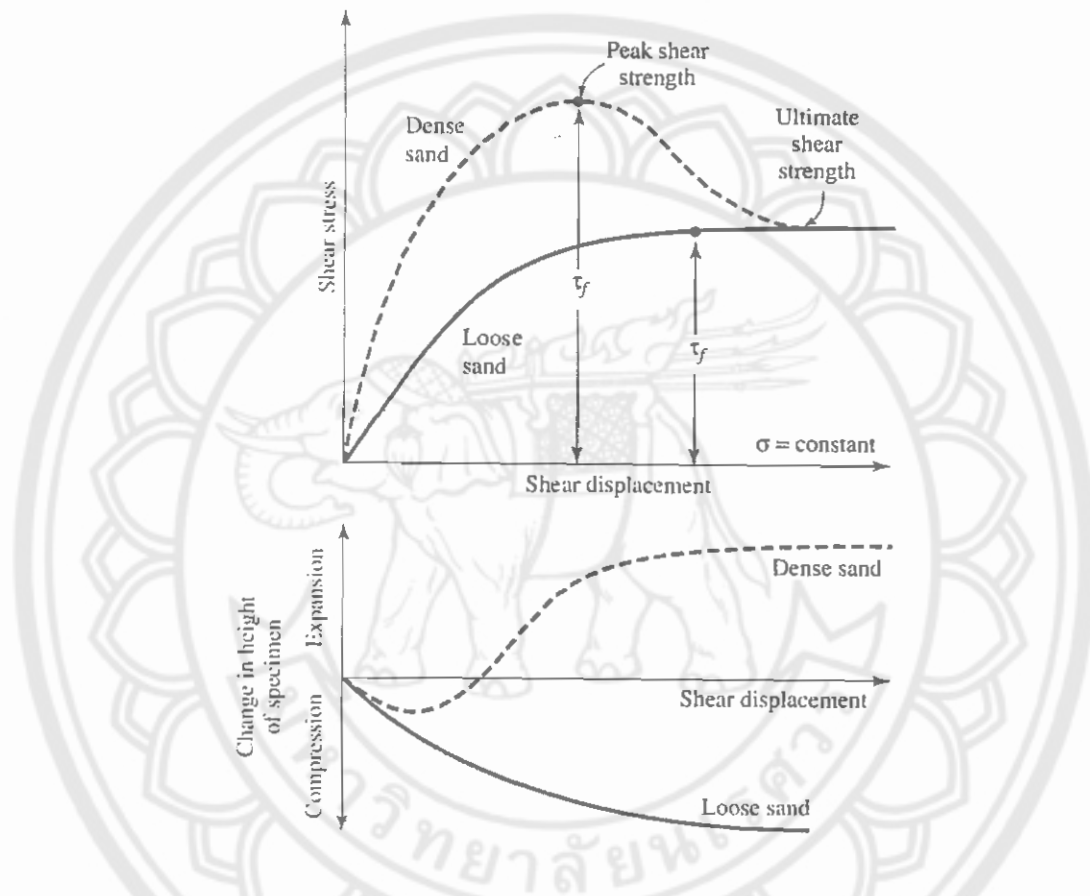
จากกราฟหาค่า Maximum Shear Stress ของผลการทดลองแต่ละความดัน แล้วนำมาพล็อตกราฟกับค่า Normal Stress ดังรูปที่ 10.10.4



รูปที่ 10.10.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Shear Stress กับ Normal Stress (Head, 1980)

โดยเส้นตรงที่ได้ เรียกว่า "Mohr - Coulomb Failure Envelope" ซึ่งก็คือ เส้นที่แทนความแข็งแรงหรือกำลังของดินดังสมการที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้นี้คือ $\tau = c + \sigma \tan \phi$ นั่นเอง

และจากผลของการทดลองที่บันทึกได้ยังสามารถที่จะนำมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress และความสูงของตัวอย่างที่ถูกกดอัดกับ Shear Displacement ดังรูป



รูปที่ 10.10.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress และความสูงของตัวอย่างที่ถูกกดอัดกับ Shear Displacement ของ Loose และ Dense Dry Sand (Das, 1998)

จากกราฟสามารถที่จะอธิบายลักษณะของดินที่ถูกกดอัดได้ดังต่อไปนี้

1. ใน Loose Sand ค่า Shear Stress จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับ Shear Displacement จนกระทั่งถึงจุด Peak Shear Strength (τ_f) และหลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าค่อนข้างคงตัวเมื่อค่า Shear Displacement เพิ่มขึ้นไปอีก

2. ใน Dense Sand ค่า Shear Stress จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับ Shear Displacement จนกระทั่งถึงจุดที่ τ_f และหลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าลดลงในขณะที่ค่า Shear

Displacement ยังคงเพิ่มอยู่จนถึงที่จุด Ultimate Shear Strength หลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าค่อนข้างคงตัว

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine)

4.2 กล่องบรรจุตัวอย่างดิน (Shear Box) และอุปกรณ์

4.3 วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

4.4 มาตรฐานวัด (Dial Gage) วัดการเคลื่อนตัว อ่านค่าได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001

นิ้ว

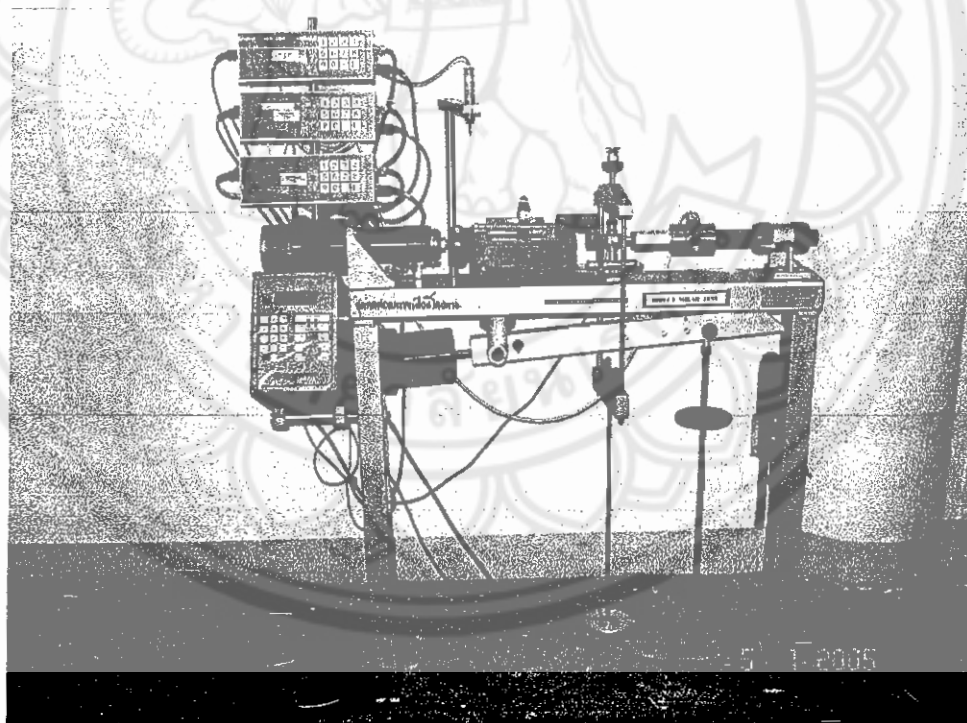
4.5 แผ่นน้ำหนัก

4.6 เวอร์เนีย

4.7 ตาชั่ง (Balance)

4.8 เครื่องตัดแต่งตัวอย่างดิน

4.9 อุปกรณ์หาความชื้นของตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.10.6 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine)

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1 ดินเหนียว (Cohesive Soil)

ตัดตัวอย่างดินด้วย Trimmer โดยก่อนตัดให้ชั่งน้ำหนักของ Trimmer ก่อน และเมื่อตัดแล้วจึงชั่งน้ำหนักทั้งของตัวอย่างดินและ Trimmer

วัดขนาดตัวอย่างดินด้วยเวอร์เนียร์ แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างดิน

ดันตัวอย่างดินออกจาก Trimmer โดย Top cap และบรรจุลง Shear Box¹ แล้วนำ Shear Box มาต่อเข้ากับเครื่องทดสอบ Direct Shear

จัด Loading Bar ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมใส่ Normal Load แล้วจัด Vertical, Horizontal dial gage² และ Horizontal Shearing Device ให้เข้าที่

รูปที่ 10.10.7 ขั้นตอนการเตรียมดินเหนียว

หมายเหตุ

1. ดันตัวอย่างดินออกจาก Trimmer โดยใช้ Top cap ช่วยดัน และการบรรจุตัวอย่างดินลงใน Shear Box จะต้องระมัดระวังให้มีการกระทบกระเทือนเกิดน้อยที่สุด
2. การตั้ง Dial Gage ทุกตัว โดยเริ่มค่าที่ศูนย์จะสะดวกเพราะง่ายต่อการอ่านค่า

5.1.2 ดินทราย (Cohesionless Soil)

เตรียมทรายที่ใช้ทดสอบให้มีปริมาณมากเพียงพอ (ประมาณ 250 – 300 กรัม) แล้วโรยลงใน Shear Box แล้ว Compact หรือเขย่าให้ได้ความหนาแน่นที่ต้องการ

ชั่งน้ำหนักของทรายที่เหลือ และวัดความสูงของทรายตัวอย่าง แล้วนำ Shear Box มาจัดเข้าเครื่องทดสอบ Direct Shear

จัด Loading Bar ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมใส่ Normal Load แล้วจัด Vertical, Horizontal dial gage² และ Horizontal Shearing Device ให้เข้าที่

รูปที่ 10.10.8 ขั้นตอนการเตรียมดินทราย

5.2 การทดสอบ



รูปที่ 10.10.9 ขั้นตอนการทดสอบ Direct Shear

หมายเหตุ

$$3. \text{ Normal Load} = \sigma_n * A$$

โดย $\sigma_n = \text{Normal Stress}$

$A = \text{พื้นที่หน้าตัดเฉือนของตัวอย่างดิน}$

4. เมื่อปล่อยที่ค้ำยันออก ในกรณีที่เป็นดินเหนียวต้องปล่อยตัวอย่างดินไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด

Consolidated

5. อัตราการเคลื่อนที่ทางราบ คำนวณได้จาก

$$t_r = 50 * t_{50}$$

เมื่อ $t_r = \text{เวลาทั้งหมดที่เริ่มให้แรงจนกระทั่งดินตัวอย่างวิบัติ}$

$t_{50} = \text{เวลาที่ตัวอย่างดิน Consolidated ไป 50 เปอร์เซ็นต์ นับเวลาขณะแช่ดิน}$

ตัวอย่างเพื่อให้เกิด Consolidated ในช่วงแรก

จะได้ $d_r = d_r / t_r$

โดย $d_r = \text{อัตราการเคลื่อนที่ทางราบ}$

$d_r = \text{ระยะทางในแนวราบที่ตัวอย่างดินเกิดวิบัติ โดยทั่วไปใช้ } d_r = 0.5 \text{ นิ้ว}$

(12 มิลลิเมตร) กับตัวอย่างดินที่เป็น Normally หรือ Lightly over Consolidated Fine – Grained Soil หรือ 0.2 นิ้ว (5 มิลลิเมตร)

6. การอ่านค่าสามารถอ่านค่าได้ที่ทุกๆการเคลื่อนที่ทางแนวราบประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างดิน

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 Shear box height (L_0)

6.2 Shear box side (D_0)

6.3 Deformation rate

6.4 น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง Dry mass (W_0)

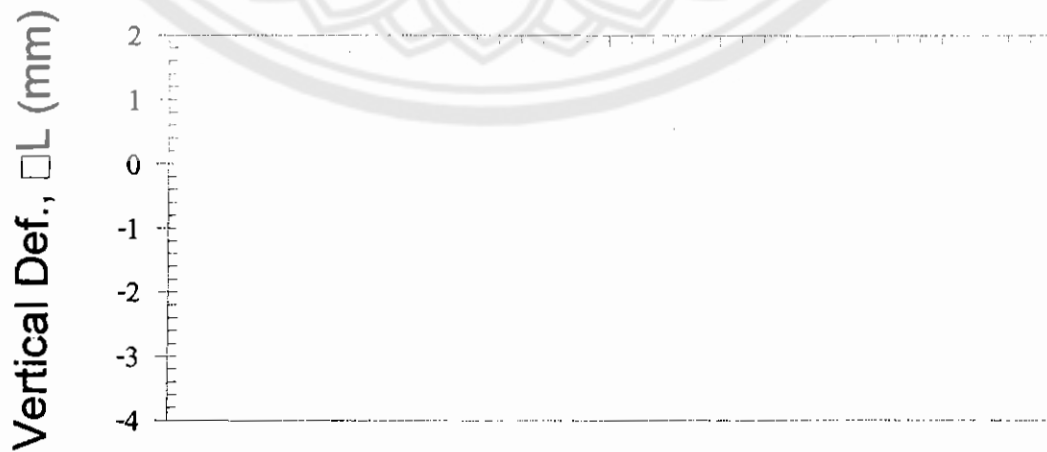
6.5 Horz. Deform dial reading (ΔH)

6.6 Horz. Load dial reading (HLDR)

6.7 Vert. Deform. Dial reading (ΔL)

Soil Description _____
Location _____
Boring No _____
Sample No _____
Sample Depth _____

Project _____ 444
Test No _____
Date _____
Tested By _____
Checked By _____



Soil Description _____
 Location _____
 Boring No _____
 Sample No _____
 Sample Depth _____

Project _____
 Test No _____
 Date _____
 Tested By _____
 Checked By _____

Soil structure _____

Drainage condition _____

Tested specimen no.	Water Content		Final	Final	Normal stress σ_N (kN/m^2)	Maximum shear stress $\text{Max}\sigma^7$ (kN/m^2)
	Initial w_0 (%)	Final w_F (%)	vertical def. ΔL_F ()	horizontal def. ΔH_F ()		
1						
2						
3						

Maximum shearing stress, S (kN/m^2)



Normal stress, σ_N (kN/m^2)

Cohesion, $c =$ _____ (kN/m^2)

Angle of internal friction, $f =$ _____

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

Soil Description		Project	NARESUAN UNIVERSITY
Location	AMPHOE MUANG PISANULOK	Test No	1
Boring No	1	Date	18/4/1995
Sample No	19	Tested By	
Sample Depth	27.00 - 27.45 m.	Checked By	

Devices Data

Shear box height, L_0 (cm)	3.8	Normal Load, F_N (kg)	36
Shear box side, D_i (cm)	6	Normal stress, σ_N (kg/cm ²)	1
Deformation rate, (/min)	1 mm.	Load ring constant, LRC (kg/div)	0.275

Specimen Data

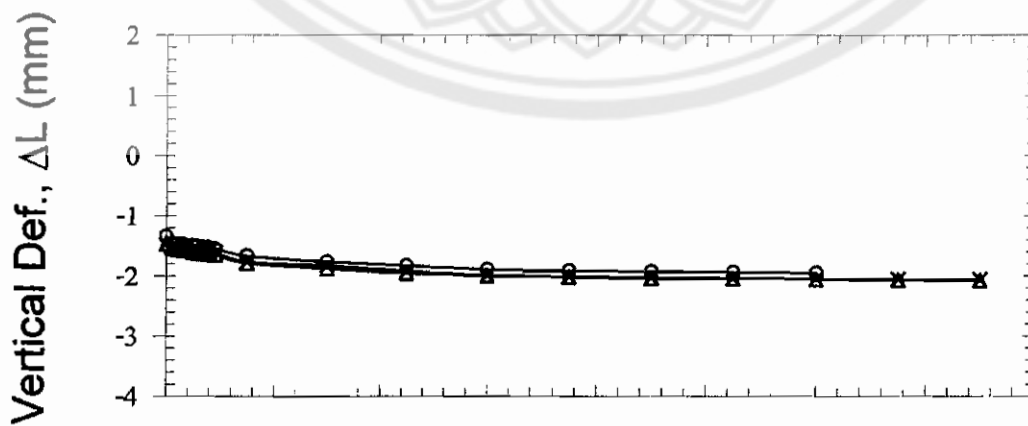
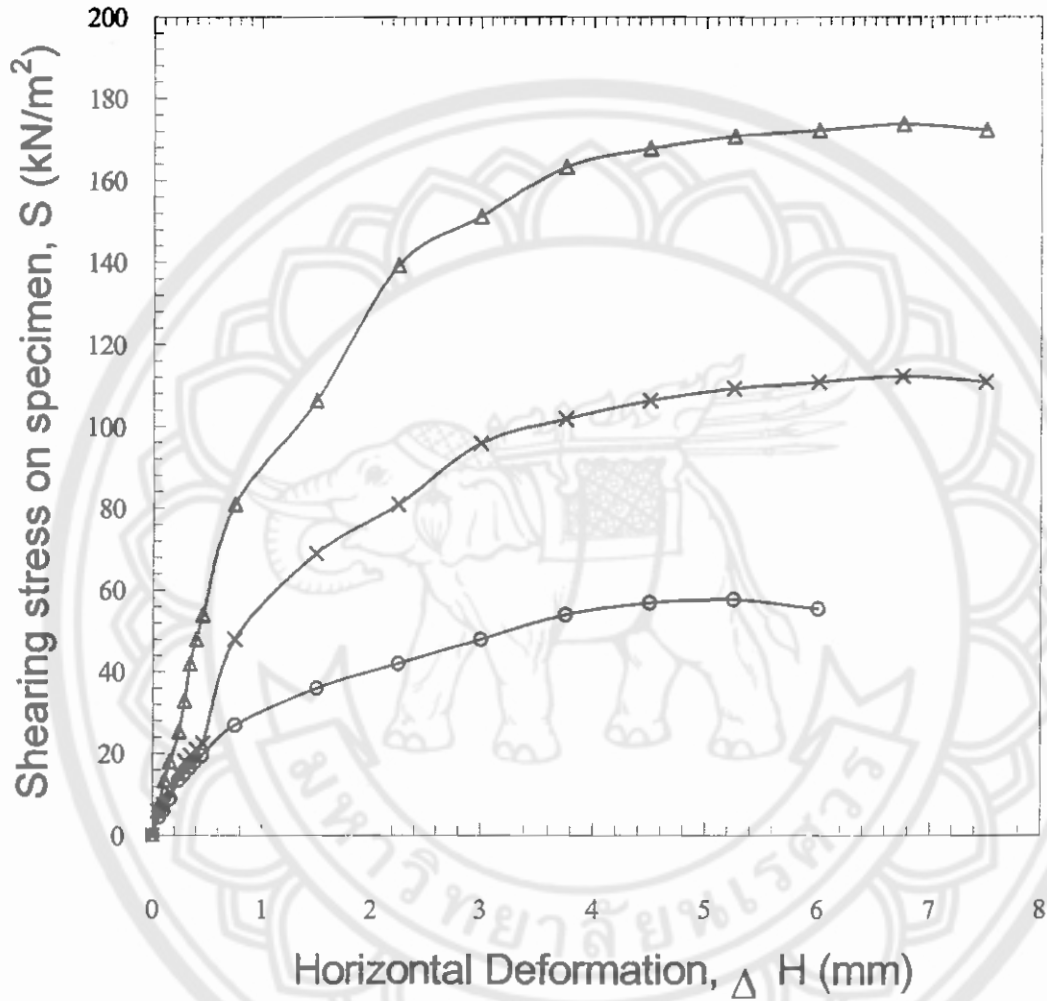
Soil structure	Undisturbed, Remolded, Compacted	Initial area, ¹ A_0 (cm ²)	36
Drainage condition	U.U., C.U., C.D. Test	Initial specimen vol., ² V_c (cc)	136.80
Initial water content, w_0 (%)	22.1	Dry unit weight, ³ γ_D (kN/m ³)	10.346
Final water content, w_F (%)	21.7	Initial wet U.W., ⁴ γ_{T0} (kN/m ³)	12.633
Dry mass, W_D (gm)	144.32	Final wet U.W., ⁵ γ_{TF} (kN/m ³)	12.591

Horz. deform. dial reading ΔH (mm)	Horz. load dial reading HLDR (div)	Vert. deform. dial reading ΔL (mm)	Corrected area A_C^b (cm ²)	Shear stress on specimen S (kN/m ²)	Remarks
0.00	0	1.34	36	0.0	
0.06	6	1.46	36	4.5	
0.10	8	1.47	36	6.0	
0.16	12	1.48	36	9.0	
0.24	18	1.50	36	13.5	
0.29	20	1.51	36	15.0	
0.34	22	1.52	36	16.5	
0.39	24	1.53	36	18.0	
0.45	26	1.55	36	19.5	
0.75	36	1.67	36	27.0	
1.50	48	1.77	36	36.0	
2.25	56	1.83	36	42.0	
3.00	64	1.90	36	47.9	
3.75	72	1.92	36	53.9	
4.50	76	1.93	36	56.9	
5.25	77	1.94	36	57.7	
6.00	74	1.95	36	55.4	

Note: 1. Compute from shear box side 2. Compute from initial area and specimen height
 3. $\gamma_D = (M_D/V_0 \text{ gm/cc}) \cdot (9.807 \text{ kN/m}^3 : \text{gm/cc})$ 4. $\gamma_{T0} = \gamma_D \cdot (1+w/100)$ 5. $\gamma_{TF} = \gamma_D \cdot (1+w_F/100)$
 6. For square specimen, may use $A_C = A_0 - \Delta H$ 7. $S = \text{HLDR} \cdot \text{LDC} / A_C \cdot (98.067 \text{ kN/m}^2 : 1 \text{ ksc})$

Soil Description _____
 Location _____
 Boring No _____
 Sample No _____
 Sample Depth _____

Project _____
 Test No _____
 Date _____
 Tested By _____
 Checked By _____

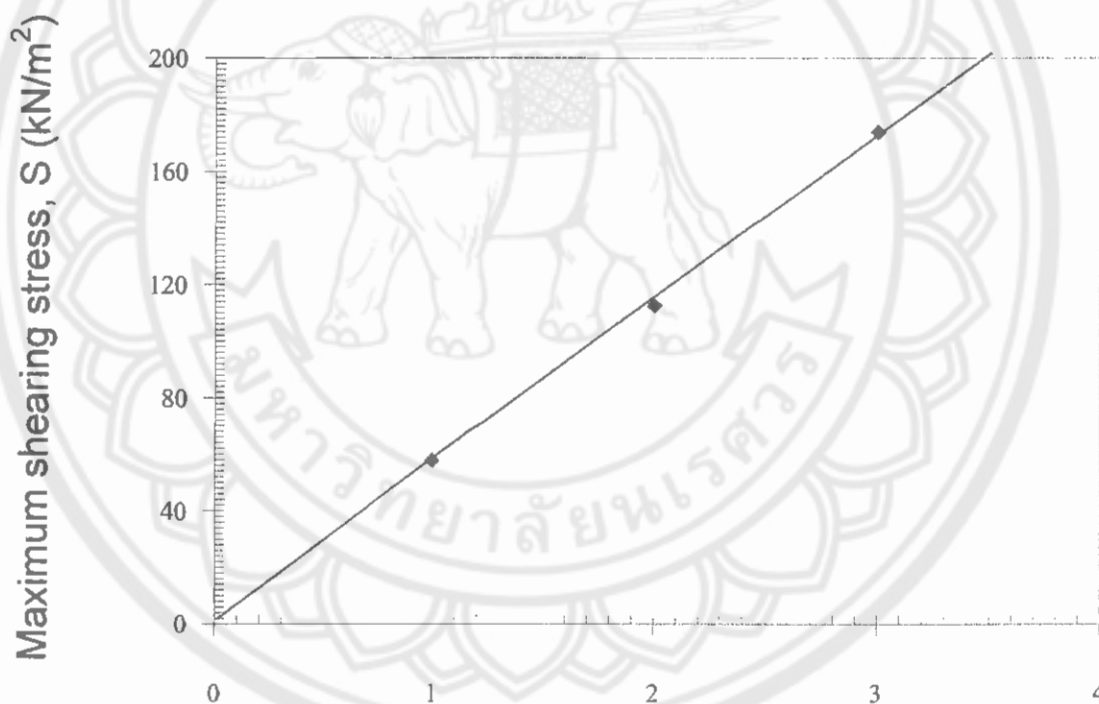


Soil Description _____
 Location _____
 Boring No _____
 Sample No _____
 Sample Depth _____

Project _____
 Test No _____
 Date _____
 Tested By _____
 Checked By _____

Soil structure Undisturbed, Remolded, Compacted Drainage condition U.U., C.U., C.D. Test

Tested specimen no.	Water Content		Final vertical def.	Final horizontal def.	Normal stress σ_N (kN/m^2)	Maximum shear stress $\text{Max } \sigma_s$ (kN/m^2)
	Initial w_0 (%)	Final w_F (%)	ΔL_F (mm)	ΔH_F (mm)		
1	22.1	21.7	1.95	6.00	1	57.7
2	22.0	21.5	2.07	7.50	2	112.4
3	22.1	21.6	2.08	7.50	3	173.8



Normal stress, σ_N (kN/m^2)

Cohesion, $c = 0$ (kN/m^2)

Angle of internal friction, $f = 57$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Direct Shear Test

Sample of Calculation (use data of Normal Load = 36 kg and DH = 0.06 mm)

8.1 Normal stress, σ_N

$$\sigma_N = \frac{\text{(Normal Load)}}{\text{Area}}$$

$$\begin{aligned} \text{Area, } A_0 &= \text{Shear box side}^2 \\ &= D_0^2 \\ &= 6 * 6 \quad \text{cm}^2 \\ &= 36 \quad \text{cm}^2 \\ \sigma_N &= \frac{36}{36} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\ &= 1 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

8.2 Initial volume, V_0

$$\begin{aligned} V_0 &= \text{(shear box height)} * \text{(shear box side)}^2 \\ &= (3.80) * (6 * 6) \quad \text{cm}^3 \\ &= 136.80 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

8.3 Dry unit weight, γ_D

$$\begin{aligned} \gamma_D &= \frac{\text{(dry mass)} * 9.807}{\text{Initial volume}} \\ &= \frac{W_D * 9.807 \quad (\text{kN} \cdot \text{cc})}{V_0 \quad (\text{m}^3 \cdot \text{gm})} \\ &= \frac{144.32 * 9.807}{136.80} \quad \frac{(\text{gm}) \quad (\text{KN} \cdot \text{cc})}{(\text{cc}) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{Gm})} \\ &= 10.346 \quad \text{KN/m}^3 \end{aligned}$$

8.4 Initial wet U.W., γ_{T_0}

$$\begin{aligned} \gamma_{T_0} &= \gamma_D * (1 + \text{Initial water content} / 100) \\ &= \gamma_D * (1 + w_0 / 100) \\ &= 10.346 * (1 + 22.1 / 100) \quad \text{kN/m}^3 \end{aligned}$$

8.5. Final wet U.W., γ_{TF}

$$\begin{aligned}
 \gamma_{TF} &= \gamma_D * (1 + \text{Final water content} / 100) \\
 &= \gamma_D * (1 + W_f / 100) \\
 &= 16.036 * (1 + 21.7 / 100) \quad \text{kN/m}^3 \\
 &= 12.591 \quad \text{kN/m}^3
 \end{aligned}$$

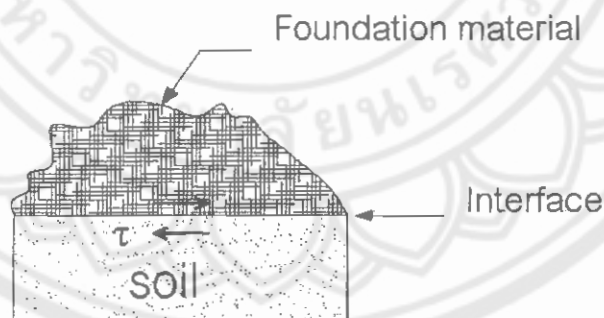
8.7. Shear stress on specimen, S

$$\begin{aligned}
 S &= \text{Horz. deform. dial reading} * \text{Load ring constant} * 98.067 / \text{Corrected area} \\
 &= \text{HLDR} * \text{LDC} * 98.067 / A_c \\
 &= 6 * 0.275 * 98.067 / 35.964 \\
 &= 4.50 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 ใช้ในการวิเคราะห์หรือออกแบบ ฐานราก, ผนังกันดิน, เขื่อนดิน และสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับดิน และหินอีกหลายอย่าง โดยจะพิจารณาจากค่า Strength parameters (c , ϕ)

9.2 ในการออกแบบ Foundation นั้น สิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือค่า Angle of friction (ϕ) ระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ดังรูปที่ 10.10.10



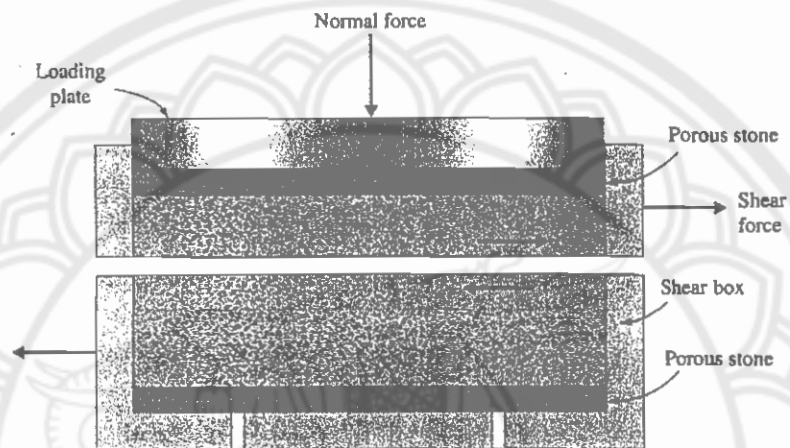
รูปที่ 10.10.10 แสดงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (Das, 1998)

โดยวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างนั้นอาจจะเป็นคอนกรีต, เหล็ก หรือไม้ ซึ่งค่า Shear strength ตลอดแนวของหน้าตัดที่สัมผัสกันระหว่างดินกับวัสดุจะสามารถหาได้ดังนี้

$$\tau_f = c_a + \sigma' \tan \delta$$

ที่ซึ่ง c_a = Adhesion

δ = Angle of friction ของระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง



รูปที่ 10.10.11 การใช้ Direct shear test เพื่อหาค่า Angle of friction (DAS, 1998)

นับเป็นข้อได้เปรียบของ Direct shear test สำหรับการพิจารณาหา Shear strength parameters ระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง โดยในการทดสอบจะวางวัสดุที่ใช้ก่อสร้างลงบนส่วนตอนล่างของอุปกรณ์ทดสอบ และดินจะถูกวางในส่วนตอนบน ดังรูป 10.10.11 โดยการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ Direct shear test ทั่วไป

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ direct shear test ของตัวอย่างทดสอบ (test specimen) 3 ตัวอย่างที่เตรียมจากตัวอย่างดิน(soil sample) ที่เก็บมาจากที่ตำแหน่งเดียวกัน ด้วยวิธีการที่เหมือนกันทุกขั้นตอน จนเชื่อได้ว่าตัวอย่างทดสอบมีคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) เช่นเดียวกันทุกประการ วินัยและอนเนก พบว่า

ตัวอย่างทดสอบที่ 1	ตัวอย่างทดสอบที่ 2	ตัวอย่างทดสอบที่ 3
normal stress = 10 T/m ²	normal stress = 12 T/m ²	normal stress = 14 T/m ²
peak shear stress = 15 T/m ²	peak shear stress = 12 T/m ²	peak shear stress = 18 T/m ²
peak shear def. = 4.1 mm	peak shear def. = 3.9 mm	peak shear def. = 4.2 mm
final vertical def. = 0.24 mm	final vertical def. = -0.26 mm	final vertical def. = -0.27 mm

วินัยและอนเนก จึงได้ขอให้พงษ์พันธ์, อภิรักษ์ และกิตติวัฒน์ ช่วยทบทวนวิเคราะห์ผลการทดสอบซ้ำ ซึ่งก็ได้ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกันทุกประการ สมาชิกกลุ่มปฏิบัติการทั้งหมดจึงได้ร่วมปรึกษากัน และได้ข้อคิดเห็นที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก แต่โดยส่วนใหญ่เชื่อว่า น่าจะทำการทดสอบใหม่ เพราะ น่าจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในการทดสอบ หรือการบันทึกข้อมูลในระหว่างการทดสอบ

ในฐานะสมาชิกกลุ่มปฏิบัติการ กรุณาให้ข้อคิดเห็นอย่างสั้นๆว่า

10.1.1 ผลการทดสอบที่วิเคราะห์ได้ มีความน่าเชื่อถือหรือไม่? เพราะเหตุใด?

ตอบ ไม่มีความน่าเชื่อถือ เพราะอาจเกิดความผิดพลาดในระหว่างการทดลองหรือการคำนวณ

10.1.2 ท่านเห็นด้วยกับข้อสรุปที่ให้ทำการทดสอบใหม่หรือไม่? เพราะเหตุใด?

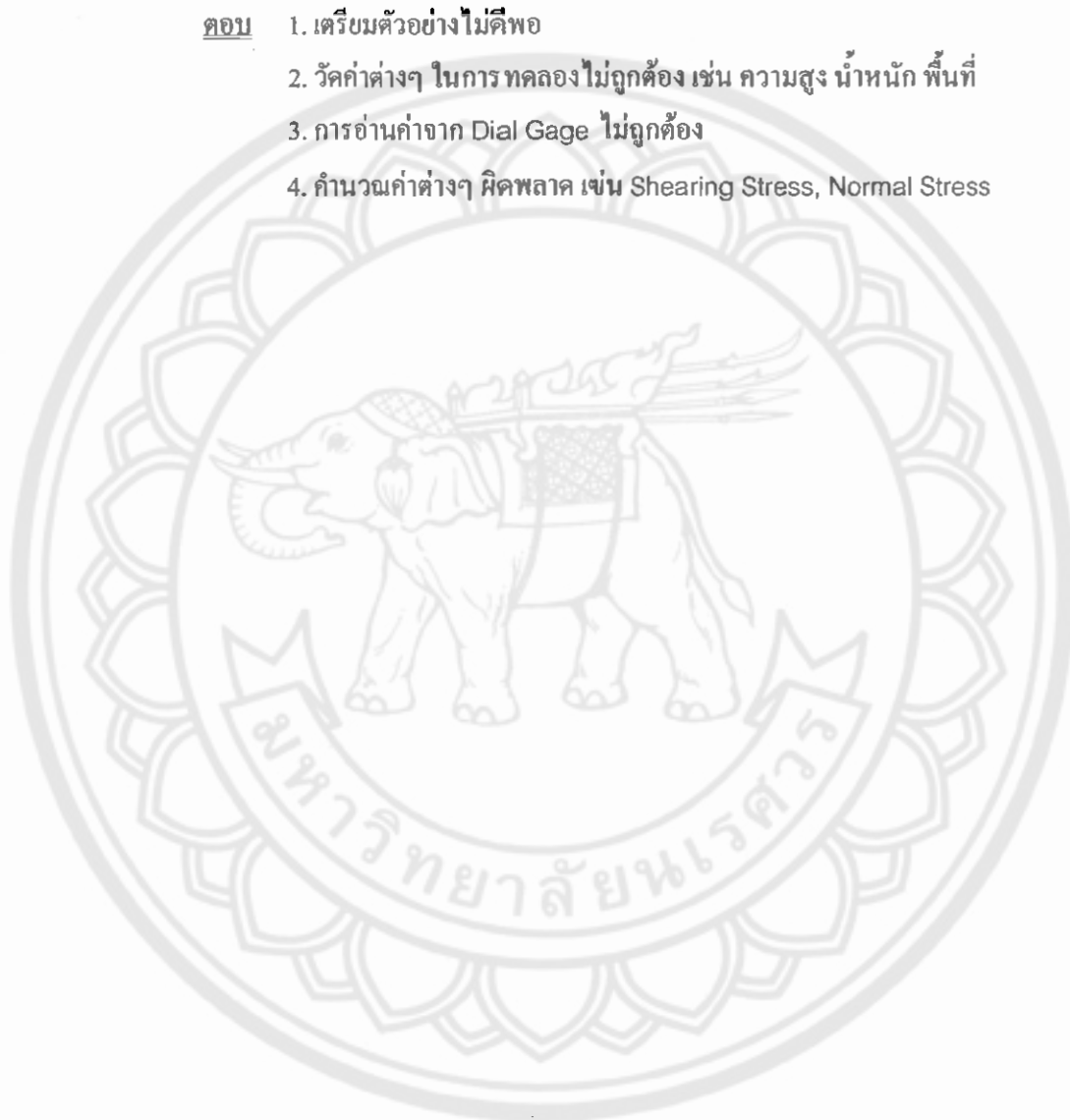
ตอบ เห็นด้วย เพราะค่าจากข้อมูลที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กัน

10.1.3 เป็นไปได้หรือไม่? เพราะเหตุใด? ที่เกิดจากข้อผิดพลาด ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด (ของตัวอย่างทดสอบ) ที่รับแรงเฉือน (shearing stress)

ตอบ เป็นไปได้ เพราะจากการสังเกตค่า peak shear stress นั้นควรจะเพิ่มขึ้นตามค่า normal stress เมื่อพื้นที่หน้าตัดคงที่ แต่ในตัวอย่างทดสอบที่ 2 พบว่า ค่า peak shear stress ลดลง ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าขั้นตอนการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดมีความผิดพลาด

10.1.4 ตามผลการวิเคราะห์ ข้อผิดพลาดที่อาจจะเป็นไปได้ มีอะไรบ้าง?

- ตอบ**
1. เตรียมตัวอย่างไม่ดีพอ
 2. วัดค่าต่างๆ ในการทดลองไม่ถูกต้อง เช่น ความสูง น้ำหนัก พื้นที่
 3. การอ่านค่าจาก Dial Gage ไม่ถูกต้อง
 4. ถ้าวัดค่าต่างๆ ผิดพลาด เช่น Shearing Stress, Normal Stress



Test 11 Consolidation Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- 1.1 วรากร, ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติภกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 140-152
- 1.2 สถาพร คูวิจิตรจางู. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (14-1) - (14-51)
- 1.3 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. p. 303-365

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

ทดสอบเพื่อหาค่าคงตัวของ การหดตัวของดิน (Compressibility Parameters) สำหรับตัวอย่างดินเหนียว (Soft Clay)

3. หลักการ (Principals)

การหดตัวของชั้นดินที่เกิดจากการกดทับ หรือน้ำหนักบรรทุกของสิ่งก่อสร้างบนดิน จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

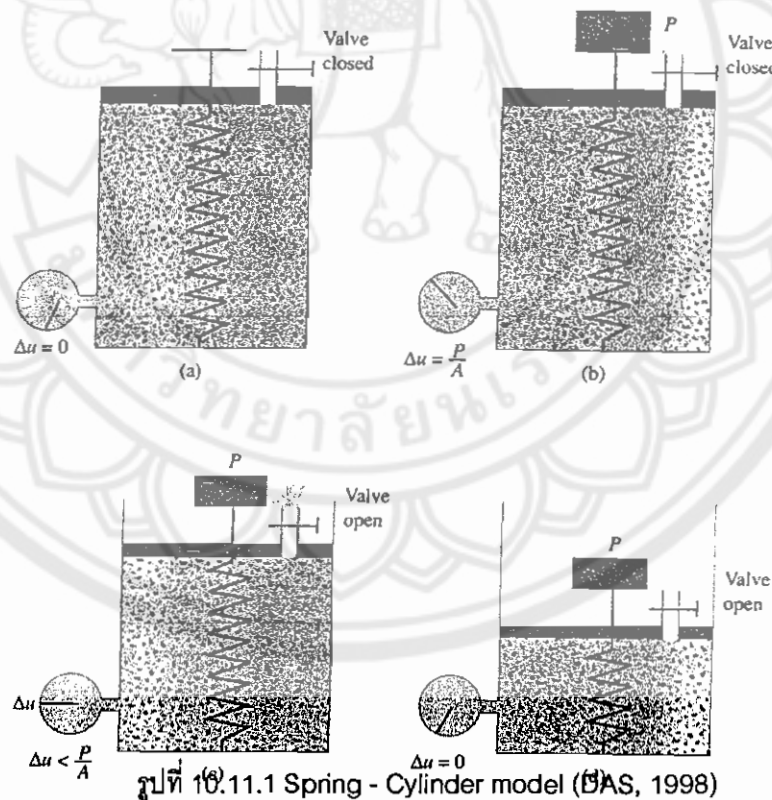
1. Immediate settlement หรือ Initial Settlement เกิดจากคุณสมบัติการยืดหยุ่นของดิน ทั้งนี้ จะเกิดการหดตัวทันทีที่มีน้ำหนักกดทับ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน การหดตัวประเภทนี้จะเกิดปริมาณไม่มากนัก ดินจำพวกดินเหนียวและดินตะกอนทรายที่ไม่มีความเหนียว จะเกิดการหดตัวได้มาก ส่วนดินเหนียวการหดตัวโดยขบวนการนี้จะน้อยมากเมื่อเทียบกับการหดตัวจากขบวนการ Primary Consolidation Settlement

2. Primary Consolidation Settlement เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินให้ลดลงเนื่องจาก ปริมาณของน้ำถูกบีบออกจากมวลดิน โดยการหดตัวประเภทนี้จะถือเป็นสาเหตุหลักของการหดตัว สำหรับดินเหนียวซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำได้ต่ำจะใช้เวลานานมากในการสิ้นสุดขบวนการนี้

3. Secondary Consolidation Settlement เป็นการหดตัวของดินที่มีสาเหตุมาจาก Plastic Deformation และการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน และ Secondary Consolidation Settlement ยังไม่มี ทฤษฎีที่สามารถอธิบายได้อย่างแน่นอน มีแต่วิธีการประมาณ (Empirical) เท่านั้นที่ใช้ในการ คำนวณหาค่า

การทรุดตัวของดินจะมีอัตราเร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Permeability) โดยสำหรับดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีความสามารถในการระบายน้ำสูงจึงทำให้เกิด Immediate Settlement และ Consolidation เกิดขึ้นในช่วงเวลาพร้อมกัน แต่สำหรับดินเหนียวที่มีความสามารถในการระบายน้ำค่อนข้างต่ำจะทำให้การเกิด Consolidation นั้นทิ้งช่วงเวลาที่ยาวนาน หลังจากการเกิด Immediate Settlement และในดินเหนียวส่วนใหญ่ที่เกิด Consolidation จะมีชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในดินจึงกล่าวได้ว่าเป็นดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay)

Model จำลองของหลักพื้นฐานการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวจะเปรียบได้กับสปริงและน้ำในสถานะสมดุลย์ จากรูปที่ 10.11.1 เมื่อเริ่มแรงกดในขณะวาล์วน้ำปิดอยู่ จะทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Initial Excess Pore Pressure) $\Delta U = \frac{P}{A}$ และเมื่อเปิดวาล์วน้ำก็จะระบายออกไปทำให้ในขณะเดียวกันแรงกดจะกระจายไปสู่สปริงซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นดินที่รับแรงกดที่มากกระทำแทนที่ของน้ำ $\Delta U < \frac{P}{A}$ และเมื่อปล่อยทิ้งไว้ช่วงเวลานึงดินจะกลับสู่สภาพสมดุลย์อีกครั้งหนึ่ง คือ $\Delta U = 0$ รวมทั้งเมื่อปริมาณน้ำในช่องว่างของดินถูกระบายออกไปจึงทำให้ปริมาตรของดินลดลงด้วย



หลักอธิบายทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model นี้คือ

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta U$$

โดย $\Delta\sigma$ = Total Stress

$\Delta\sigma'$ = Increase in the Effective Stress

ΔU = Increase in the Pore Water Pressure

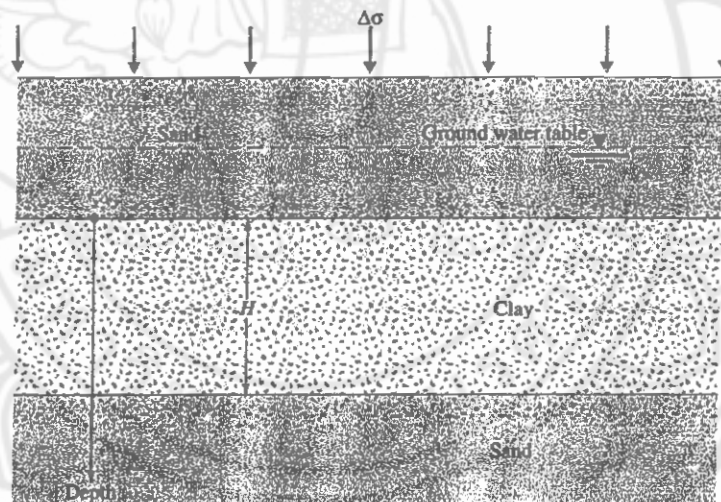
เนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำต่ำ และเมื่อดินถูกแรงกดกระทำ
ดังนั้น $t=0$ จะได้ $\Delta\sigma = \Delta U$ ($\Delta\sigma' = 0$)

หลังจากนั้นน้ำในช่องว่างของดิน (Void) จะเริ่มระบายออกไป ทำให้ ΔU มีค่าลดลง และค่า
Effective Stress มีค่าสูงเพิ่มขึ้น

ดังนั้น $0 < t < \alpha$ จะได้ $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta U$ ($\Delta\sigma' > 0$ และ $\Delta U < \Delta\sigma$)

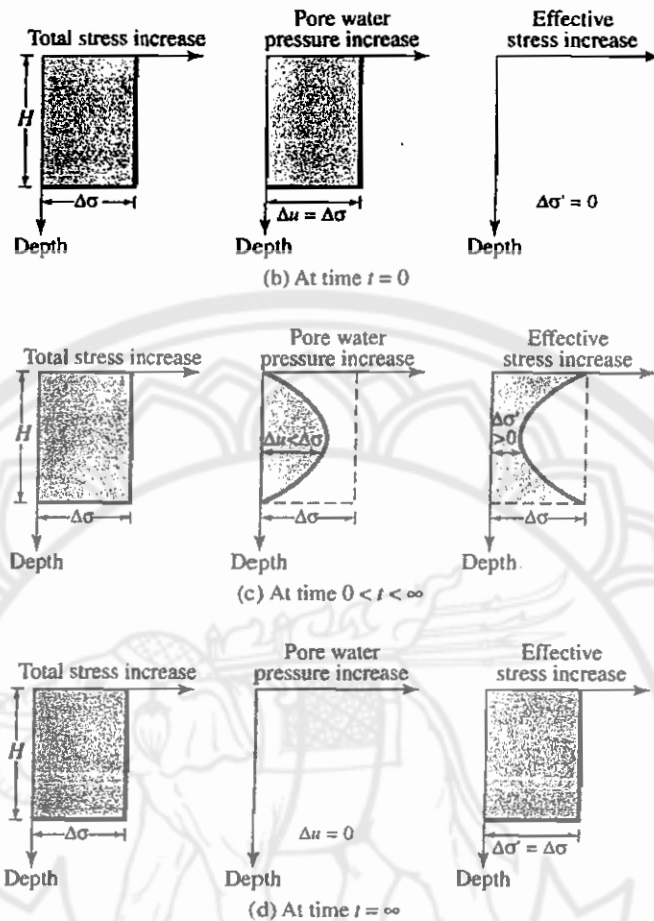
เมื่อ $t = \alpha$ Excess Pore Water Pressure ทั้งหมดจะถูกระบายออกไปจนหมดทำให้ $\Delta U = 0$

ดังนั้น $t = \alpha$ จะได้ $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$



(a)

รูปที่ 10.11.2 (a) ลักษณะการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay) (DAS,1998)



รูปที่ 10.11.2 (b) แสดงหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model (DAS, 1998)

คุณสมบัติที่สำคัญของดินจากการทดสอบ Consolidation Test มี 2 ประการ ได้แก่

1. อัตราความเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement) คืออัตราเร็วที่น้ำไหลออกจากชั้นดินที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ

- 1.1 Degree of Saturation ในมวลดิน
- 1.2 Coefficient of Permeability ของตัวอย่างดิน
- 1.3 Drainage path ของตัวอย่างดิน

จาก Terzaghi's Consolidation Theory จะได้ดัชนีค่าหนึ่งซึ่งบ่งบอกถึงคุณสมบัติของการทรุดตัว เรียกว่า Coefficient of Consolidation, C_v

$$C_v = \frac{TH^2}{t}$$

โดย T = Time factor เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ Percentage of Consolidation และ
ลักษณะของ Initial Excess Pore pressure ดังในรูปที่ 11.4

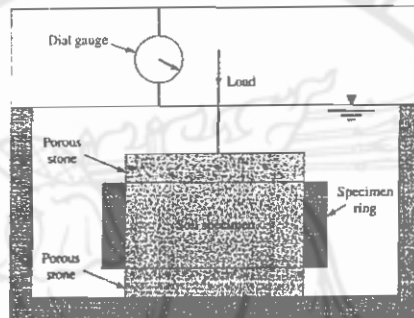
t = ระยะเวลาในการเกิด Percentage of Consolidation ต่างๆ

H = ระยะไกลที่สุดที่น้ำในมวลดินจะต้องไหลออกมาสู่จุดสมดุลย์

2. ปริมาณการทรุดตัวสูงสุด (Total Settlement) ซึ่งจะป่งชี้โดย "ดัชนีของการทรุดตัว"

(Compressibility Index), C_c

จากลักษณะของการทรุดตัวของชั้นดินที่แบ่งเป็น 3 ประเภท แต่สำหรับในปฏิบัติการนี้จะเป็นการ
ทดลองหาการทรุดตัวในช่วง Primary Consolidation Settlement โดยมีลักษณะของตัวอย่าง
ทดสอบดังรูปที่ 10.11.3



รูปที่ 10.11.3 Diagram of Consolidometer (DAS, 1998)



รูปที่ 10.11.3 เครื่องมือทดสอบ Consolidation ทั้งหมด (DAS, 1998)

U (%)	T _v	U (%)	T _v	U (%)	T _v
0	0	34	0.0907	68	0.377
1	0.00008	35	0.0962	69	0.390
2	0.0003	36	0.102	70	0.403
3	0.00071	37	0.107	71	0.417
4	0.00126	38	0.113	72	0.431
5	0.00196	39	0.119	73	0.446
6	0.00283	40	0.126	74	0.461
7	0.00385	41	0.132	75	0.477
8	0.00502	42	0.138	76	0.493
9	0.00636	43	0.145	77	0.511
10	0.00785	44	0.152	78	0.529
11	0.0095	45	0.159	79	0.547
12	0.0113	46	0.166	80	0.567
13	0.0133	47	0.173	81	0.588
14	0.0154	48	0.181	82	0.610
15	0.0177	49	0.188	83	0.633
16	0.0201	50	0.197	84	0.658
17	0.0227	51	0.204	85	0.684
18	0.0254	52	0.212	86	0.712
19	0.0283	53	0.221	87	0.742
20	0.0314	54	0.230	88	0.774
21	0.0346	55	0.239	89	0.809
22	0.0380	56	0.248	90	0.848
23	0.0415	57	0.257	91	0.891
24	0.0452	58	0.267	92	0.938
25	0.0491	59	0.276	93	0.993
26	0.0531	60	0.286	94	1.055
27	0.0572	61	0.297	95	1.129
28	0.0615	62	0.307	96	1.219
29	0.0660	63	0.318	97	1.336
30	0.0707	64	0.329	98	1.500
31	0.0754	65	0.304	99	1.781
32	0.0803	66	0.352	100	∞
33	0.0855	67	0.364		

ตารางที่ 10.11.1 Time Factor (DAS, 1998)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1 คานกวดน้ำหนัก เป็นคานงัด มีขอแขนน้ำหนักที่ปลายข้างหนึ่ง
- 4.2 Consolidation Ring
- 4.3 Consolidometer
- 4.4 แผ่นหินพรุน (Porous Stone)
- 4.5 นาฬิกาจับเวลา
- 4.6 ตุ่มน้ำหนัก
- 4.7 อุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่างดิน
- 4.8 เวอร์เนีย

4.9 เครื่องมือหาความชื้น (Water Content) ของตัวอย่างดิน

4.10 Dial Gage สำหรับวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดิน อ่านได้ละเอียด 0.0001 นิ้ว

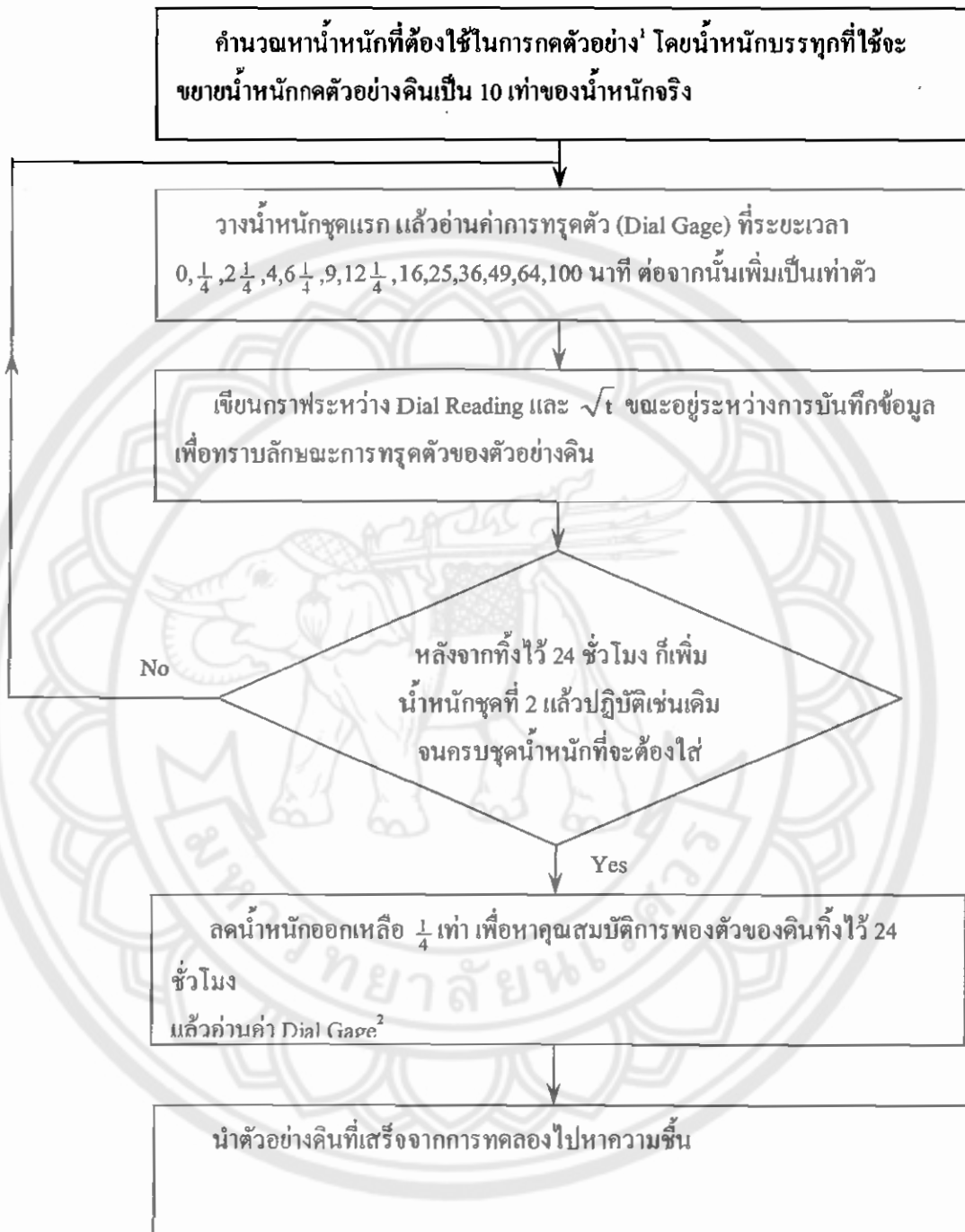
5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน



รูปที่ 10.11.4 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

5.2 ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 10.11.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Consolidation

หมายเหตุ

น้ำหนักที่กดจะต้องผ่านค่าความดันประสิทธิผลเหนือตัวอย่างดินที่ถูกกดทับในธรรมชาติ (Overburden Pressure, σ') และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อสำหรับน้ำหนักจากฐานรากอาคารที่จะก่อสร้าง โดยจะมี 5 – 8 ชั้น ดังนี้

$\frac{1}{8}\sigma'$, $\frac{1}{4}\sigma'$, $\frac{1}{2}\sigma'$, σ' , $2\sigma'$, $4\sigma'$, $8\sigma'$, $16\sigma'$, $32\sigma'$ มีอัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนัก (Load Increment Ratio), LI = 1.0

$$\text{โดย } \sigma' = \sum [h_1 \gamma_{t1} + h_2 (\gamma_{t2} - \gamma_w) + h_3 (\gamma_{t3} - \gamma_w) + h_4 (\gamma_{t4} - \gamma_w) + \dots]$$

$$\text{และจะได้ } W = \frac{\sigma' \cdot A}{R}$$

$$W = \text{น้ำหนักที่ต้องการแขวนตรงปลายคาน}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน}$$

$$R = \text{อัตราส่วนคานวัด (Lever Arm Ratio) } 1 : 10 \Rightarrow R = 10.0$$

²การบันทึกค่า Dial Gage สำหรับทุกครั้งที่ทำการลดน้ำหนักออก ให้จดบันทึกค่าเพียงแค่ว่าก่อนจะลดน้ำหนักขั้นต่อไปเท่านั้น ไม่ต้องจดตามเวลาแบบตอนเพิ่มน้ำหนัก โดยการรวมตัวของดินที่เกิดขึ้นจากการลดน้ำหนักจะใช้เวลาน้อยกว่าการกดน้ำหนัก จึงสามารถถอดน้ำหนักได้ 2 – 3 ชั้นต่อวัน

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 ค่า Dial Reading

6.2 น้ำหนัก Can (W_C)

6.3 น้ำหนัก Can และ (ดินเบี่ยง) test specimen (W_{CWS})

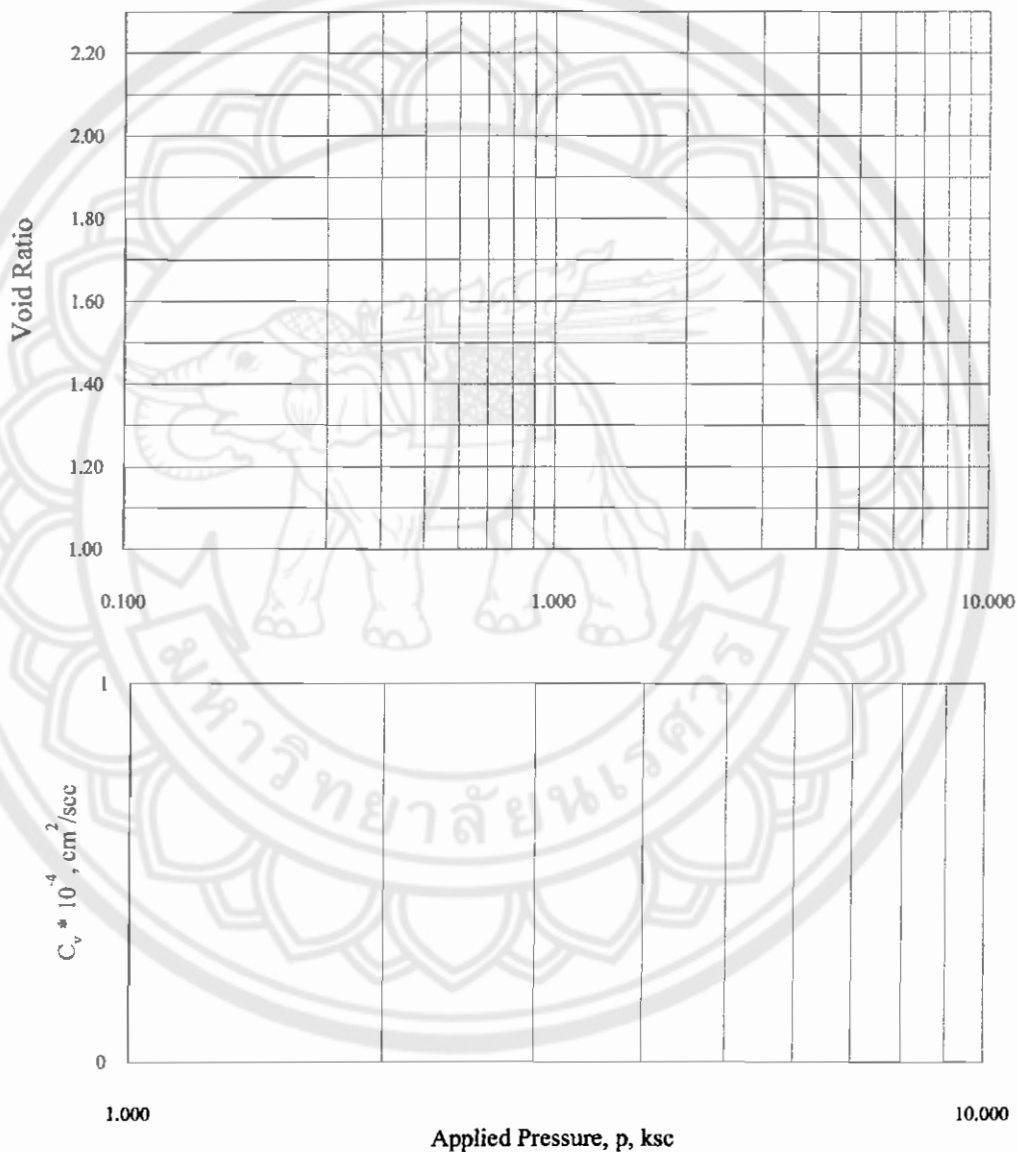
6.4 น้ำหนัก Can และ test specimen ที่ถูกอบแห้งแล้ว (W_{CDS})

6.5 Scale Load

6.6 Dial Reading at End of Loading

Consolidation Test

Project _____	Owner _____	Job no. _____
Location _____	Boring no. _____	Sample no. _____
Soil Description _____	Depth _____	
Tested by _____	Date _____	
Checked by _____	Date _____	



7. ตัวอย่างการทดสอบ (Sample of Test)

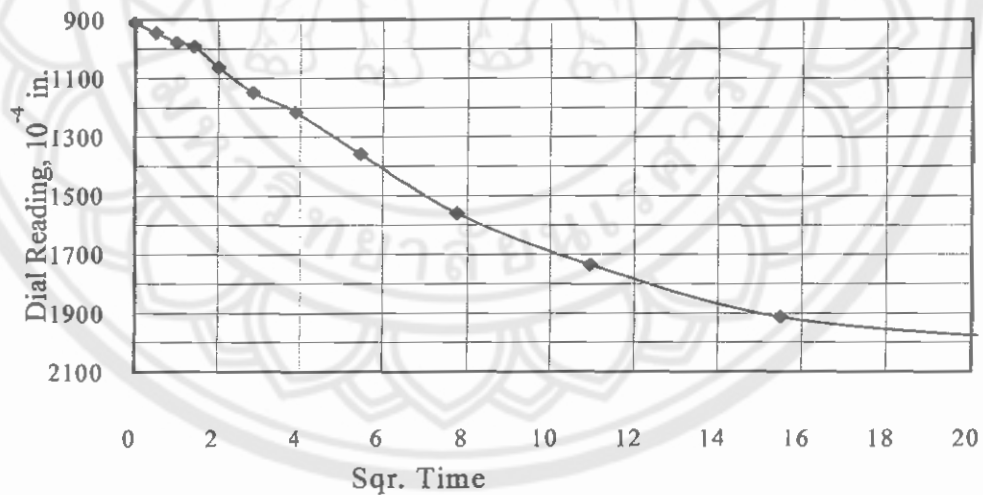
Consolidation Test

Project _____	Owner _____	Job no. _____
Tested by _____	Date _____	Sheet no. _____

Pressure Increment:

Applied Pressure	1.272	kg/cm ²	To	2.544	kg/cm ²
Scale Load	4.0	kg	To	8.0	kg

Date	Time	Elapsed Time Min.	Sqr. Time \sqrt{M} in.	Dial Reading 10 ⁻⁴ in.
6/6/1980	8:40	0	0	910
		0.25	0.5	945
		1	1	978
		2	1.414213562	991
		4	2	1063
		8	2.828	1148
		15	3.873	1215
		30	5.477	1359
		60	7.746	1560
		120	10.954	1735
		240	15.492	1913
		480	21.909	1998



$t_{90} =$ _____ Min.

Consolidation Test

Project _____	Owner _____	Job no. _____
Location _____	Boring no. _____	Sample no. _____
Soil Description _____	Depth _____	
Tested by _____	Date _____	
Checked by _____	Date _____	

Sample data:

Initial sample ht. =	2.54	cm	Sample area =	31.37	cm ²
Initial sample vol. =	79.68	cm ³	Dry wt. Of solid =	67.32	gm
Soil specific gravit =	2.70		Ht. Of solid =	0.80	cm
Initial void ht. =	1.745		Initial void ratio =	2.195	

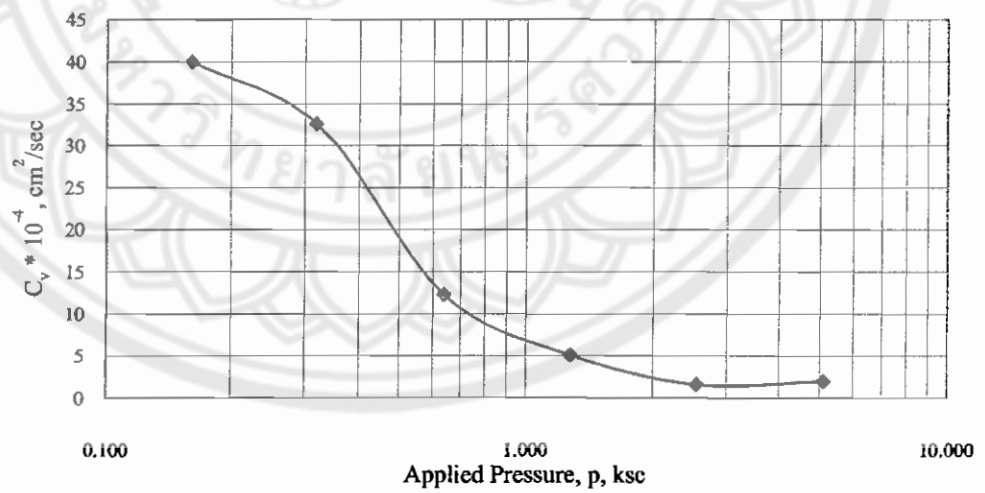
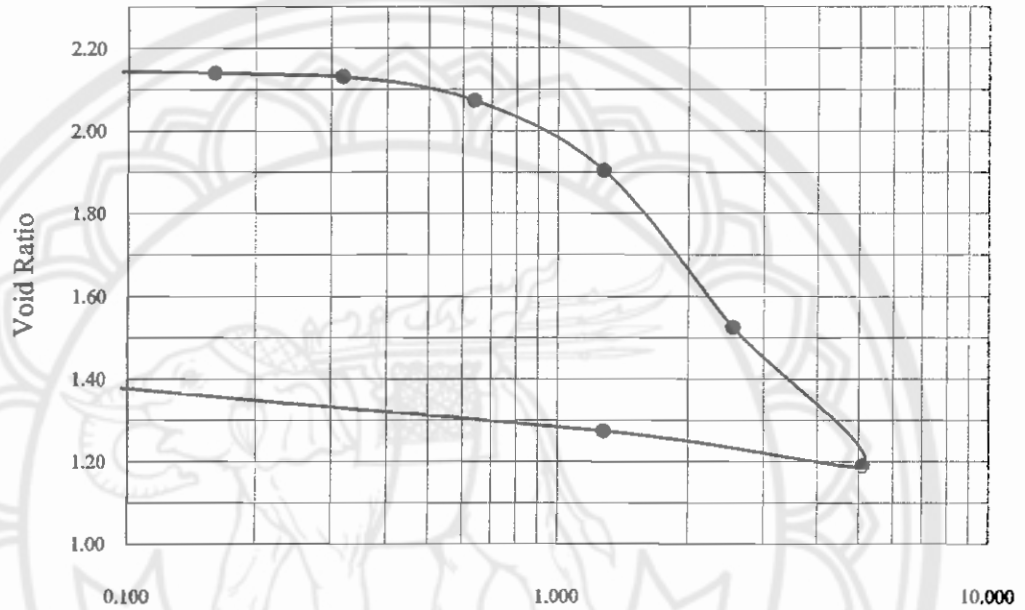
Water content data:

		Before Test		After Test
Container no.		593	516	576
Mass of Can + Wet s	W_{CWS} (gm)	44.62	44.66	145.98
Mass of Can + Dry sr	W_{CDS} (gm)	40.00	40.78	100.64
Mass of Can,	W_C (gm)	33.93	35.41	33.92
Mass of dry soil in ca	W_{DS} (gm)	6.07	5.37	66.72
Water Content,	w_3 (%)	76.11	72.25	67.96

Scale Load, kg.	Prestress, kg/cm ²	D.R. at End of Loading, 10 ⁻⁴ in	Change in Sample ht. in.	Void Ratio	Time for 90%/50% Consolidation (mi)	Coef. Of Consolidation C_v cm ² /sec
0	0.000	0	0	2.195	-	-
0.5	0.159	172.0	0.0172	2.140	5.7	4.00E-03
1	0.319	198.0	0.0026	2.132	7	3.26E-03
2	0.638	380.0	0.0182	2.074	18.5	1.23E-03
4	1.275	910.5	0.05305	1.904	44.9	5.08E-04
8	2.550	2097.0	0.11865	1.525	144	1.58E-04
16	5.100	3147.0	0.105	1.190	114.5	1.99E-04
4	1.275	2884.0	-0.0263	1.274	-	-
0	0.000	1710.0	-0.1174	1.649	-	-

Consolidation Test

Project _____	Owner _____	Job no. _____
Location _____	Boring no. _____	Sample no. _____
Soil Description _____	Depth _____	
Tested by _____	Date _____	
Checked by _____	Date _____	



8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Initial sample volume, cm^3

$$\begin{aligned} \text{Vol.} &= \text{Initial sample height} * \text{Sample area} \\ &= 2.54 * 31.37 \quad \text{cm.cm}^2 \\ &= 79.68 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

8.2 Initial void ratio, e_0

$$\begin{aligned} e_0 &= \frac{\text{Height of sample} - \text{Height of solid}}{\text{Height of solid}} \\ &= \frac{H_T - H_S}{H_S} \\ &= \frac{2.54 - 0.795}{0.8} \quad \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \\ &= 2.195 \end{aligned}$$

8.3 Compute water content, (%w)

$$\begin{aligned} \%w &= \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry soil}} * 100 \\ &= \frac{W_w}{W_{ds}} \\ W_w &= (\text{mass of can} + \text{wet soil}) - (\text{mass of can} + \text{dry soil}) \\ &= W_{cws} - W_{cbs} \quad (\text{Sample of before test}) \\ &= 44.62 - 40 \\ &= 4.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{DS} &= (\text{mass of can} + \text{dry soil}) - (\text{mass of can}) \\
 &= W_{CDS} - W_C \quad \text{gm} \\
 &= 40 - 33.93 \quad \text{gm} \\
 &= 6.07 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \%w &= \frac{W_w}{W_{DS}} * 100 \\
 &= \frac{4.62}{6.07} * 100 \\
 &= 76.11
 \end{aligned}$$

8.4 Pressure, kg/cm^2 (from Scale load = 0.5 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Pressure} &= \frac{\text{Scale load} * 10}{\text{Sample area}} \\
 &= \frac{0.5 * 10}{31.07} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\
 &= 0.161 \quad \text{kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

8.5 Change in sample height, in (from Scale load = 0.5 kg)

$$\begin{aligned}
 \text{Change } h &= \text{D.R. before} - \text{D.R. after} \\
 &= (198.0 - 172.0) * 10^{-4} \quad \text{in} \\
 &= 0.0026 \quad \text{in}
 \end{aligned}$$

8.6 Void ratio, e_o (from Scale load = 0.5 kg)

$$\begin{aligned}
 e_o &= (\text{Initial sample ht} - \text{Change in sample ht} - \text{Ht of solid}) / \text{Ht of solid} \\
 &= [2.54 - (.0172 * 2.54) - 0.795] / 0.795 \\
 &= 2.140
 \end{aligned}$$

8.7 Coefficient of consolidation, C_v (from Scale load = 0.5 kg)

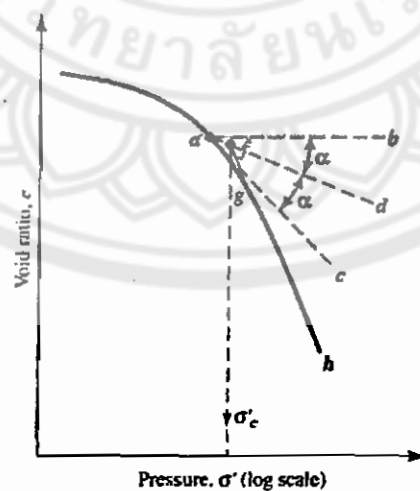
$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{T_{90}H^2}{t_{90}} \\
 &= \frac{0.848 * (2.54/2)^2}{5.7} \\
 &= 4.00E-03
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 Primary Consolidation คือ ดินที่ถูกรีดน้ำออกแล้วช่องว่างในดินก็จะลดลง เมื่อดินก็จะอัดตัวกันแน่นเข้า ทำให้ปริมาตรรวมของเม็ดดินลดลง โดยปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิด Consolidation นี้ก็อาจมาจากการถูกกระทำจากแรงภายนอก หรือถูกความร้อนเผาให้น้ำระเหยออกไป เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือการดูดซึมน้ำออกจากดิน เช่น กรณีสูบน้ำบาดาล เป็นต้น

9.2 ในการทดสอบ Consolidation Test นี้ สามารถใช้ทดลองหาค่าการไหลซึมของน้ำผ่านตัวอย่างดิน (Permeability) ได้ไม่ว่าจะเป็นทั้งแบบ Variable head หรือ Constant head method โดยค่า Permeability ของตัวอย่างดินจะถูกคำนวณได้จากข้อมูลของการทดสอบ Consolidation นั้นเอง

9.3 ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของ Consolidation Test คือ การใช้ข้อมูลของตัวอย่างดินเพื่อการทำนายอัตรา และปริมาณของการทรุดตัวของดินที่เป็นฐานรากให้กับโครงสร้างโดยเฉพาะดินเหนียว (Clay) ดังตัวอย่างรูปที่ 10.11.6 และยังสามารถใช้หาลักษณะของดินในอดีตได้ด้วยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตกราฟ Stress - volume strain curve ที่ซึ่งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับค่าแรงบดอัดที่ดินเคยถูกกระทำในอดีต



รูปที่ 10.11.6 Stress - volume strain curve

10. โจทย์ทดสอบความรู้พื้นฐานหลังการทดลอง

10.1 วิศวกรโยธาของบริษัทรับเหมาก่อสร้างแห่งหนึ่ง ได้รับมอบหมายให้ช่วยคำนวณหาการทรุดตัวแบบ consolidation settlement ของชั้นดินรองรับฐานรากต้นของโรงงานบรรจุผลไม้กระป๋อง หากมีการถมดินสูง 2 เมตรดังรูป ในฐานะวิศวกรของบริษัทรับเหมาก่อสร้าง

ดินถม สูง 2 ม., $\gamma_T = 1.75 \text{ Tcm}$

Silty sand, 3 m thick, $\gamma_T = 1.75 \text{ Tcm}$, $\gamma_{\text{sat}} = 2.1 \text{ Tcm}$, $E = 10,000 \text{ psi}$,
 $\mu = 0.425$, $G_s = 2.7$, $e = 0.5$

Clay, 2 m.thick, $\gamma_T = 1.75 \text{ Tcm}$, $\gamma_{\text{sat}} = 2.1 \text{ Tcm}$, $E = 1,600 \text{ psi}$, $\mu = 0.35$,
 $G_s = 2.73$, $e_0 = 0.75$, $C_v = 0.004 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $C_c = 0.6$, $C_s = 0.1$, $P_c = 11 \text{ Tsm}$

Sand 1, 5 m.thick, $\gamma_T = 1.8 \text{ Tcm}$, $\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ Tcm}$, $E = 5,000 \text{ psi}$, $\mu = 0.4$,
 $G_s = 2.65$, $e = 0.6$

Medium Clay, 4 m thick, $\gamma_T = 1.85 \text{ Tcm}$, $\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ Tcm}$, $E = 1,750 \text{ psi}$, $\mu = 0.375$,
 $G_s = 2.71$, $e_0 = 1$, $C_v = 0.003 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $C_c = 0.5$, $C_s = 0.1$,
 $P_c = 26.5 \text{ T/m}^2$

Sand 2, 5 m thick, $\gamma_T = 1.88 \text{ Tcm}$, $\gamma_{\text{sat}} = 2.2 \text{ Tcm}$, $E = 6,500 \text{ psi}$, $\mu = 0.42$,
 $G_s = 2.67$, $e = 0.5$

10.1.1 กรุณาแสดงให้เห็นว่า การทรุดตัวน่าจะเกิดในชั้นใด

ตอบ การยุบตัวของดินถมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ consolidation settlement (S_c) จะเกิดขึ้นเฉพาะในชั้น saturated medium clay ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้น sand 1 และ sand 2 โดยไม่คิด consolidation settlement (S_c) ในชั้น unsaturated clay ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้น silty sand และ sand 1 เพราะ consolidation process จะเกิดเฉพาะในชั้นดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำเท่านั้น

10.1.2 จงบอกวิธีการคำนวณหาค่า S_c ที่เวลา 5 ปี หลังจากการถมดิน

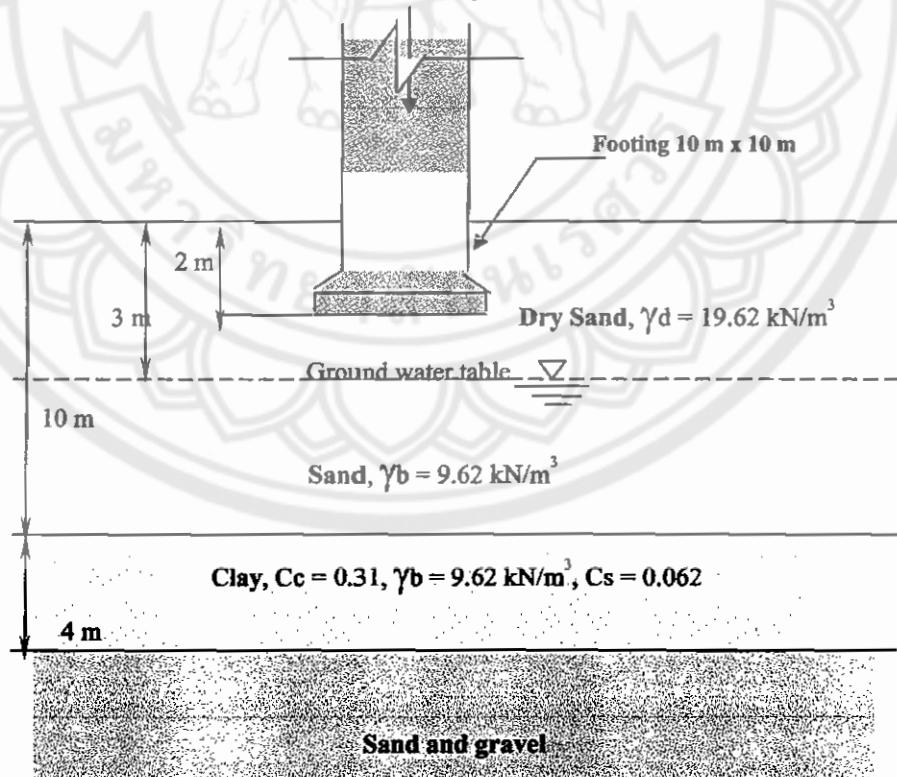
ตอบ 1. คำนวณหา consolidation settlement (S_c) ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้น จาก induced stress ที่เกิดจากน้ำหนักดินถม

2. สร้าง Time-consolidation settlement curve

3. ใช้ Time-consolidation settlement curve อ่านค่า S_c ที่เกิดขึ้น ณ เวลา 5 ปี หลังจากการถมดิน

10.2 วิศวกร โครงสร้างผู้ออกแบบสะพานข้ามแม่น้ำน่าน พบว่าตอม่อสะพานช่วงทางลาดต้องสามารถรับน้ำหนัก (w) ให้ได้ 28×10^3 kN ซึ่งวิศวกรฐานรากได้ออกแบบฐานรากตื้น (shallow foundation) แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ สำหรับถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินฐานรากบริเวณ โครงการดังรูป

$$W = 28 \times 10^3 \text{ kN } (2.8 \times 10^6 \text{ kg mass})$$



10.2.1 การทรุดตัวของฐานรากจะเกิดขึ้นที่ชั้นใด

ตอบ ชั้น saturated clay

10.2.2 จำเป็นต้องหา initial or elastic settlement หรือไม่

ตอบ ไม่จำเป็นต้องหา เพราะเมื่อหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ ค่า elastic settlement ได้เกิดหมดไปแล้ว

