

คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง

Manual of Soil Laboratory Testing

นายจิรัฏฐ์ ตักขณะตะม้าย

13983067

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ.....	11/2 ต.ธ. 2545
เลขทะเบียน	4400994 CE
เลขเรียกหนังสือ	TA
มหาวิทยาลัยนเรศวร	710
	952x0

โครงการวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2544



ใบรับรองโครงการงานวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงการงานวิศวกรรมโยธา : คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์
ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง
ผู้ดำเนินงาน : นายจิรภูธร ดักขณะละม้าย รหัส 41361627
ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมโยธา : ดร. ชูศักดิ์ เศษะวิเศษ
สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา : 2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้โครงการงานวิศวกรรมโยธาฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงการงานวิศวกรรมโยธา

.....ประธานกรรมการ
(ดร. ชูศักดิ์ เศษะวิเศษ)

.....กรรมการ
(ผศ.สรณ์กร หมะวิบูลย์)

.....หัวหน้าภาควิชา
(อาจารย์รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

หัวข้อโครงการวิศวกรรมโยธา	: คู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง
ผู้ดำเนินงาน	: นายจิรัฐ ลักษณ์ละม้าย รหัส 41361627
ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมโยธา	: ดร. ชุตติ์ เศษะวิเศษ
สาขาวิชา	: วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	: วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	: 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้ ได้จัดทำเพื่อหาแนวทางและเริ่มพัฒนาคู่มือปฏิบัติการทดสอบปฐพีกลศาสตร์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยวิธีการเรียนการสอนที่เน้นการลงมือทำ เช่น คิดหาความเชื่อมโยงระหว่างภาคปฏิบัติกับภาคทฤษฎีได้ง่ายขึ้น เข้าใจจุดมุ่งหมายของการทำงานในห้องปฏิบัติการ ได้ดีขึ้น นั่นคือ มุ่งพัฒนาค้นแบบของคู่มือปฏิบัติการ ที่มีคุณลักษณะ ดังนี้ แสดงหลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองอย่างชัดเจน, ช่วยให้เข้าใจจุดมุ่งหมายของการทำงานในห้องปฏิบัติการ, ช่วยให้เห็นความเชื่อมโยงของการทำปฏิบัติการกับจุดมุ่งหมาย, ส่งเสริมให้ทราบความสำคัญของการทำปฏิบัติการแต่ละขั้นตอน, แนะนำเพื่อช่วยให้การปฏิบัติและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในทุกขั้นตอนดำเนินไปได้, ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการคำนวณผลการทดลอง, และส่งเสริมให้ผู้เรียนนำผลที่ได้จากการทดลอง ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง

Project Title : Manual of Soil Laboratory Test
Name : Mr. Jirat Laksanalamai
Project Advisor : Dr. Choosak Tachavises
Major : Civil Engineering
Department : Civil Engineering
Academic Year : 2544

Abstract

This project aims to develop soil mechanics laboratory manual enhancing students to achieve objectives of learning by doing; e. g., relating fundamentals or theory of soil mechanics to laboratory, better understandings about the purpose of each step in laboratory procedure. Then, the project focuses primarily on developing laboratory manual with the following characteristics: clearly relate fundamentals of soil mechanics to laboratory principal, definitely state the purposes of laboratory steps, promote students' understanding about significant of each laboratory step and the purposes, to introduce students to proceed steps of laboratory test, enhance students' computing skills, and to promote students' competence in applying test results for practical problem.

กิตติกรรมประกาศ

ที่โครงการนี้สำเร็จได้ ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ดร. ชุตติศักดิ์ เตชะวิเศษ ที่ปรึกษาโครงการ
ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครง-
งานนี้

ขอขอบคุณคณะท่านอาจารย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้แก่ตัวผู้จัด-
ทำ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดามารดาที่ให้อุปการะคุณทางด้านจิตใจ และทางด้านการเงิน จน
กระทั่งทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการทำงาน	5
1.5 ขั้นตอนการจัดทำโครงการงาน	6
1.6 แผนการดำเนินงาน	8
1.7 รายละเอียดงบประมาณของ โครงการงาน	8
บทที่ 2 หลักการและแนวทางการศึกษา	9
2.1 หลักการ	9
2.2 แนวทางการศึกษา	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
3.1 ขอบเขตการดำเนินงาน	11
3.2 วิธีการศึกษาและจัดทำโครงการงาน	12
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา	14
บทที่ 5 ส่วนคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง	15
Test 1 Water Content Determination	16
Test 2 Atterberg Limits Determination	21
Test 3 Specific Gravity Determination	36
Test 4 Grain Size Analysis	47
Test 5 Compaction Determination	66

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
Test 6 California Bearing Ratio Determination	82
Test 7 Sand Cone Method	100
Test 7 Rubber Balloon Method	110
Test 8 Constant Head Test Determination	119
Test 8 Falling Head Test	127
Test 9 Unconfined Compression Determination	136
Test 10 Direct Shear Determination	149
Test 11 Consolidation Determination	166
บทที่ 6 สรุปผลที่ได้รับและการนำไปใช้งาน	186
6.1 สรุปผลงานที่ได้	186
6.2 ผลที่ได้รับ	187
6.3 การนำไปใช้งาน	188
6.4 ปัญหา อุปสรรคและการแก้ไข	188
บรรณานุกรม	190
ประวัติผู้เขียน	191

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
บทที่ 5	
Test 4 Grain Size Analysis	
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดี	48
ตารางที่ 4.2 ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction)	51
ตารางที่ 4.3 Properties of distilled water ($\eta = \text{absolute}$)	52
ตารางที่ 4.4 Correction factors a for unit weight of solids	52
ตารางที่ 4.5 Temperature correction factors C_T	52
ตารางที่ 4.6 Values of K for several unit weights of soil solids and temperature combinations	53
ตารางที่ 4.7 Values of L (effective depth) for use in Stokes' formular	53
ตารางที่ 4.8 น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้งในการทดสอบ โดยร้อนผ่านตะแกรง	56
Test 5 Compaction Determination	
ตารางที่ 5.1 Specifications for the Standard and Modified Proctor Tests	69
Test 6 California Bearing Ratio Determination	
ตารางที่ 6.1 หน่วยแรงมาตรฐาน (California Division of Highway)	82
ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K , R และ Bearing Value	99
Test 7 Rubber Balloon Method	
ตารางที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรอย่างน้อยที่สุดของหลุมที่ขุดดินกับขนาดของเม็ดดิน	114
Test 11 Consolidation Determination	
ตารางที่ 11.4 Time Factor	172

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
บทที่ 1	
ขั้นตอนการศึกษาและลงมือทดสอบการปฏิบัติการของผู้เรียน ที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบคู่มือการปฏิบัติงาน	7
แผนการดำเนินงาน	8
บทที่ 4	
Test 1 Water Content Determination	
รูปที่ 1.1 หลักการทดสอบหา water content ในตัวอย่างดิน	16
รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหา water content	17
รูปที่ 1.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Liquid, Plastic และ Shrinkage Limit และ Stress กับ Strain	20
Test 2 Atterberg Limits Determination	
รูปที่ 2.1 Atterberg Limits	21
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการหาค่า Liquid Limit	24
รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่า Plastic Limit	25
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการหาค่า Shrinkage Limit	26
รูปที่ 2.5 Plasticity chart	35
Test 3 Specific Gravity Determination	
รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทดสอบหา Specific Gravity	36
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหาราฟเทียบหาน้ำหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ	38
รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน	39
Test 4 Grain Size Analysis	
รูปที่ 4.1 แสดงหลักการทดสอบการร่อนดินด้วยตะแกรง	49
รูปที่ 4.2 กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน	50
รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบวิธีร่อนผ่านตะแกรง	55
รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนทดสอบการตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)	57

รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการหาค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวไม่บริสุทธิ์ (Zero Correction)	58
Test 5-Compaction Determination	
รูปที่ 5.1 แสดงถึงลักษณะของเม็ดดินที่ถูกบดอัด	66
รูปที่ 5.2 Phase Diagram ของดิน	67
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry unit weight และ Water content ของดินบดอัด	68
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Standard and Modified Proctor Tests	69
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างกราฟของดินชนิดที่แตกต่างกัน	70
รูปที่ 5.6 ผลของค่าพลังงานบดอัดต่อการบดอัดของ Sandy Clay	71
รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Standard Proctor Test	73
รูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Modified Proctor Test	73
รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Standard Proctor Test	74
รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Modified Proctor Test	75
Test 6 California Bearing Ratio Determination	
รูปที่ 6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ CBR	83
รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load กับ Penetration	84
รูปที่ 6.3 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน	86
รูปที่ 6.4 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแห้ง (Unsoaked Test)	87
รูปที่ 6.5 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ (Soaked Test)	89
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของค่า CBR กับการใช้งาน	99
Test 7 Sand Cone Method	
รูปที่ 7.1 อุปกรณ์ทดสอบ Sand Cone Method	101
รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบหาน้ำหนักทรายในกรวย	102
รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการหาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ	103
รูปที่ 7.4 ขั้นตอนการทดสอบ Sand Cone Method	104
Test 7 Rubber Balloon Method	
รูปที่ 7.1 การทดสอบ Rubber Balloon Apparatus	111
รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration)	112
รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการทดสอบ	113
Test 8 Constant Head Test Determination	
รูปที่ 8.1 Constant head permeability test	119

รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน	121
รูปที่ 8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test)	122
Test 8 Falling Head Test	
รูปที่ 8.1 หลักการของ Falling Head Test	127
รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของดินเหนียว	129
รูปที่ 8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test)	130
รูปที่ 8.4 ลักษณะการคลุมปลายท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon)	135
Test 9 Unconfined Compression Determination	
รูปที่ 9.1 Stress และ Mohr's Diagram (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป)	137
รูปที่ 9.2 ความสัมพันธ์ของ Stress และ Deformation	138
รูปที่ 9.3 การเตรียมตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)	139
รูปที่ 9.4 การเตรียมตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample)	140
รูปที่ 9.5 การเตรียมตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample)	141
รูปที่ 9.6 ขั้นตอนการทดสอบ Unconfined Compression Test	142
Test 10 Direct Shear Determination	
รูปที่ 10.1 ภาพแสดงหลักการทดสอบ Direct Shear Test	149
รูปที่ 10.2 แสดงแรงกระทำในแนวตั้งฉากและแนวราบกับผิวตัวอย่าง	150
รูปที่ 10.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ Displacement	151
รูปที่ 10.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Shear Stress กับ Normal Stress	151
รูปที่ 10.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress และความสูงของตัวอย่างที่ถูกกดอัด กับ Shear Displacement ของ Loose และ Dense Dry Sand	152
รูปที่ 10.6 ขั้นตอนการเตรียมดินเหนียว	153
รูปที่ 10.7 ขั้นตอนการเตรียมดินทราย	154
รูปที่ 10.8 ขั้นตอนการทดสอบ Direct Shear	155
รูปที่ 10.9 แสดงแรงเฉือนที่เกิดระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง	164
รูปที่ 10.10 การใช้ Direct shear test เพื่อหาค่า Angle of friction	165
Test 11 Consolidation Determination	
รูปที่ 11.1 Spring - Cylinder model	167
รูปที่ 11.2 (a) ลักษณะการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay)	168
รูปที่ 11.2 (b) แสดงหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model	169

รูปที่ 11.3 (a) Diagram of Consolidometer	170
รูปที่ 11.3 (b) เครื่องมือทดสอบ Consolidation ทั้งหมด	171
รูปที่ 11.4 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน	173
รูปที่ 11.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Consolidation	174
รูปที่ 11.6 Stress - volume strain curve	185



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

รูปแบบการจัดการศึกษาที่ใช้โดยทั่วไป มักจะเป็น 2 แบบคือ แบบที่ให้ผู้เรียนได้ศึกษาความรู้พื้นฐานทางทฤษฎี จากการบรรยาย อภิปราย หรือตำราวิชาการ และแบบที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านประสบการณ์ที่ได้จากการลงมือปฏิบัติ หรือทำงานจริง (Learning by Doing) เพื่อให้ผู้เรียนที่ได้เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติจริง เข้าใจกระบวนการ ลักษณะการทำ และหลักการของเรื่องที่ศึกษา ผ่านการทดลองลงมือทำ ทั้งนี้ การเรียนรู้ในแบบ Learning by Doing เช่น การจัดการเรียนการสอนแบบในห้องปฏิบัติการจำเป็นที่จะต้องอาศัยสื่อการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เช่น คู่มือแนะนำในแต่ละปฏิบัติการต่างๆ ที่อย่างน้อยช่วย/กระตุ้นให้ผู้เรียนคิดหาความเชื่อมโยงระหว่างภาคปฏิบัติกับภาคทฤษฎี เข้าใจจุดมุ่งหมายของการทำงานในห้องปฏิบัติการ เห็นความเชื่อมโยงของการทำปฏิบัติการกับจุดมุ่งหมาย ทราบความสำคัญของการทำปฏิบัติการแต่ละขั้นตอน และแนะนำเพื่อช่วยให้การปฏิบัติและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในทุกขั้นตอนดำเนินไปได้ (ฝ่ายวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540)

อย่างไรก็ตาม คู่มือปฏิบัติการทดสอบปฐพีกลศาสตร์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้อ้างอิง/ประกอบ การเรียนการสอนได้ในปัจจุบัน มักจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่เป็นหลักทฤษฎี และขั้นตอนการลงมือปฏิบัติ ซึ่งบรรจุเนื้อที่กว้างและละเอียด แต่ไม่ช่วยให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างภาคปฏิบัติกับภาคทฤษฎี เช่น พบว่า ภาคทฤษฎีในคู่มือปฏิบัติการทดสอบใช้เนื้อหาที่เหมือนกับในตำราที่ใช้ศึกษาทางภาคทฤษฎี แต่ไม่ได้ฉายภาพหรือแสดงให้ผู้เรียนเห็นว่าหลักทฤษฎีได้ถูกประยุกต์มาเป็นหลักและขั้นตอนการทดสอบอย่างไร ในหลายกรณี ทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนในขณะที่ทำงานในห้องปฏิบัติการ และไม่สามารถเข้าใจถึงแก่นแท้ของการลงมือปฏิบัติการทดลองนั้นๆ ทำให้ไม่เกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงประโยชน์ที่ควรจะได้รับจากการลงมือทดลอง

โครงการนี้จึงได้จัดทำขึ้น เพื่อเริ่มหาแนวทางและเริ่มพัฒนาคู่มือปฏิบัติการทดสอบปฐพีกลศาสตร์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ในแบบลงมือทำ เช่น อธิหาความเชื่อมโยงระหว่างภาคปฏิบัติกับภาคทฤษฎีได้ง่ายขึ้น เข้าใจจุดมุ่งหมายของการทำงานในห้องปฏิบัติการได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้แบ่งวัตถุประสงค์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย

- 1.2.1 ในส่วนคู่มือปฏิบัติการ ควรมีลักษณะ ดังนี้
 - 1.2.1.1 แสดงหลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองอย่างชัดเจน
 - 1.2.1.2 แสดงขั้นตอนที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานทดสอบ ไปได้เป็นลำดับ
 - 1.2.1.3 ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการคำนวณ
 - 1.2.1.4 ส่งเสริมให้ผู้เรียนนำผลที่ได้จากการทดสอบ ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง
- 1.2.2 ในส่วนของผู้จัดทำโครงการ ควรบรรลุวัตถุประสงค์ ดังนี้
 - 1.2.2.1 ส่งเสริมการพัฒนาทักษะในการประมวลผลและสังเคราะห์เนื้อหา ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและรายละเอียด จากเอกสารและหนังสืออ้างอิง
 - 1.2.2.2 ส่งเสริมการพัฒนาความเข้าใจของตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินที่ได้จากการปฏิบัติการทดลองต่างๆ
 - 1.2.2.3 ส่งเสริมการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ ทั้งเพื่อการสรุปความรู้ การทดลองประยุกต์ใช้ความรู้ และการสื่อสาร
 - 1.2.2.4 ส่งเสริมการพัฒนาทักษะการสื่อสาร และการนำเสนองาน
 - 1.2.2.5 ส่งเสริมทักษะในการบริหารจัดการ และจัดลำดับขั้นตอนของการทำงาน

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทำงานเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงการผลที่คาดว่าจะได้รับจากการจัดทำโครงการ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

1.3.1 ในส่วนที่เป็นคู่มือปฏิบัติการ ควรจะได้ ร่างต้นฉบับของคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้แบบในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ คาดว่าร่างต้นฉบับที่จะทำได้ ควรมีเนื้อหาครอบคลุมไม่น้อยกว่า 9 ปฏิบัติการ ดังนี้

- Water Content Determination
- Atterberg's Limit Test
- Specific Gravity Test
- Particle Size Analysis
- Compaction Test
- California Bearing Ratio Test
- Field Density Test
- Unconfined Compression Test
- Direct Shear Test

ทั้งนี้ ในแต่ละชุดปฏิบัติการ ประกอบด้วยรายละเอียดที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ ดังกล่าวในข้อ 1.2.1 โดยแต่ละชุดปฏิบัติการจะแสดงรายละเอียดผ่านรูปแบบของ 9 หัวข้อย่อย ดังนี้

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)
2. วัตถุประสงค์ (Objectives)
3. หลักการ (Principals)
4. อุปกรณ์ (Apparatus)
5. วิธีการทดลอง (Method)
6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)
7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)
8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

1.3.2 ในส่วนของนิสิตผู้จัดทำโครงการ ควรจะได้รับการฝึกฝนและการพัฒนาครบตามที่ระบุไว้ในวัตถุประสงค์ ข้อ 1.2.2 นั่นคือ ผู้จัดทำโครงการ

1.3.2.1 ได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะในการประมวลผลและสังเคราะห์เนื้อหา ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและรายละเอียด จากเอกสารและหนังสืออ้างอิง

1.3.2.2 ได้ฝึกฝนและพัฒนาความเข้าใจของตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินที่ได้จากการปฏิบัติการทดลองต่างๆ

1.3.2.3 ได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ ทั้งเพื่อการสรุปความรู้ การทดลองประยุกต์ใช้ความรู้ และการสื่อสาร เช่น ฝึกทักษะในการคิดแบบเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อนำเสนอแนวคิดและเนื้อหาทางวิศวกรรม ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย และชัดเจน

1.3.2.4 ได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะการสื่อสาร และการนำเสนองาน เช่น การเตรียมตัว และจัดทำสื่อประกอบการนำเสนอผลงานขั้นสุดท้าย

1.3.2.5 ได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะการบริหารจัดการ และจัดลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงาน เช่น จัดเตรียมเอกสารสรุปเนื้อหาทางวิศวกรรม ให้มีความละเอียดครบถ้วน และสะดวกต่อผู้ใช้งาน

1.4 ขอบเขตการทำงาน

โครงการนี้เป็นการจัดทำคู่มือปฏิบัติการปฐมพิภพศาสตร์ ที่มุ่งเสนอให้ผู้ศึกษาได้เห็นความเชื่อมโยงของภาคทฤษฎีกับการทดลองในภาคปฏิบัติ แสดงลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงานในห้องทดลอง รวมถึงการนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง

เนื้อหาที่ครอบคลุมในโครงการ ประกอบด้วยอย่างน้อย 9 หัวข้อปฏิบัติการ ในรูปแบบ 9 หัวข้อย่อย ตามรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อ 1.3.1 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

หัวข้อปฏิบัติการ ที่เป็นขอบเขตของการทำงานขั้นต่ำ	หัวข้อย่อย ที่เป็นรูปแบบการนำเสนอแต่ละของหัวข้อปฏิบัติการ
Water Content Determination	1. เอกสารอ้างอิง (Reference)
Atterberg's Limit Test	2. วัตถุประสงค์ (Objectives)
Specific Gravity Test	3. หลักการ (Principals)
Particle Size Analysis	4. อุปกรณ์ (Apparatus)
Compaction Test	5. วิธีการทดลอง (Method)
California Bearing Ratio Test	6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)
Field Density Test	7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)
Unconfined Compression Test	8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)
Direct Shear Test	9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

ทั้งนี้ ในแต่ละชุดปฏิบัติการ จะไม่มีการนำเสนอรายละเอียดการลงมือทดสอบในแต่ละขั้นตอนย่อย และรายละเอียดของเครื่องมืออุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ เพราะมีอยู่ในเอกสารอ้างอิงที่แพร่หลายและสามารถหาได้โดยง่าย อยู่เป็นจำนวนมากแล้ว

1.5 ขั้นตอนการจัดทำโครงการ

แนวคิดในการจัดทำโครงการ สรุปได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งย่อยเป็นขั้นตอนการจัดทำโครงการได้ 10 ขั้นตอน ดังนี้

1.5.1 กำหนดแนวคิดและขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1.5.2 กำหนดแบบร่างของเนื้อหา

1.5.3 วางแผนการดำเนินงาน

1.5.4 รวบรวมเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา

1.5.5 วิเคราะห์ขอบเขตและทฤษฎีของชุดปฏิบัติการ

1.5.6 วิเคราะห์จัดลำดับขั้นตอนการปฏิบัติการ

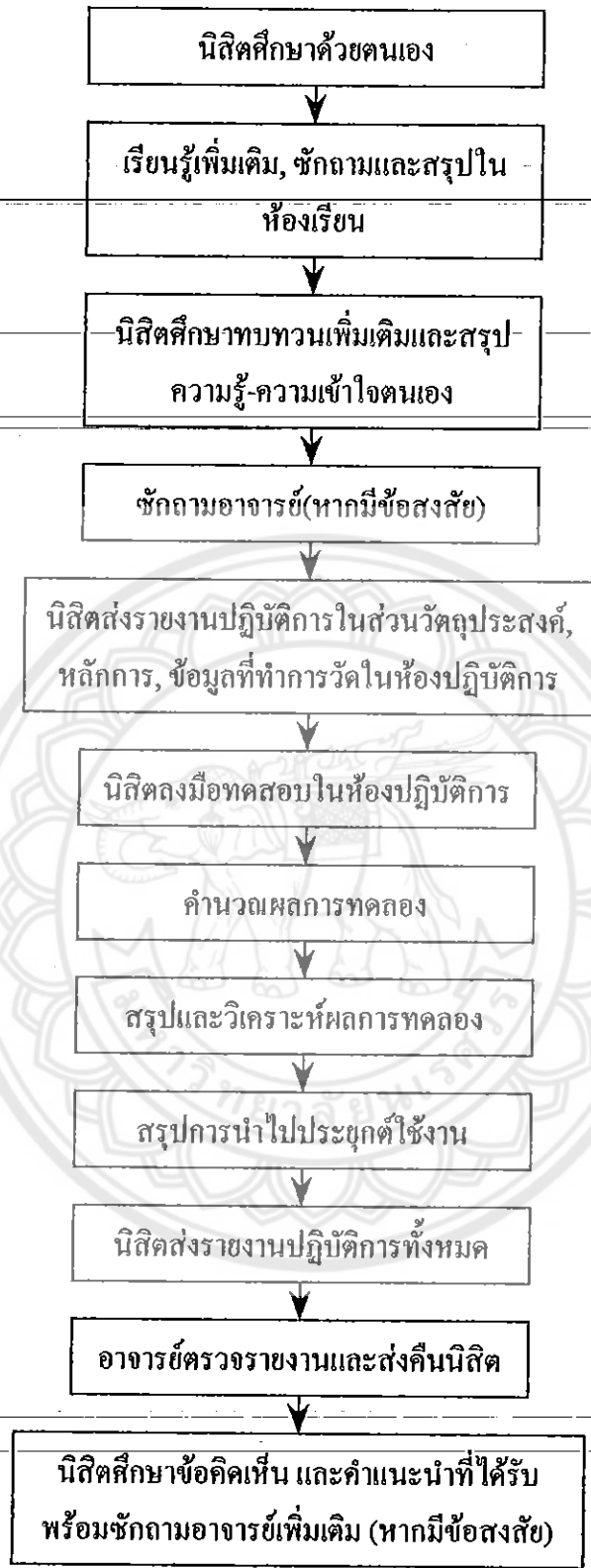
1.5.7 จัดทำส่วนการคำนวณผลทดสอบที่ได้

1.5.8 วิเคราะห์หาการประยุกต์ใช้งานจริง

1.5.9 รวบรวมและแก้ไข

1.5.10 จัดทำรูปเล่มของโครงการ และจัดพิมพ์





รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาและลงมือทดสอบการปฏิบัติการของผู้เรียน ที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบคู่มือการปฏิบัติงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาการดำเนินงาน																				
	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1. กำหนดแนวคิดและขั้นตอนการปฏิบัติงาน	■																				
2. กำหนดแบบร่างของเนื้อหา	■																				
3. วางแผนการดำเนินงาน	■	■																			
4. เก็บรวบรวมข้อมูล	■	■																			
5. วิเคราะห์ขอบเขตและทฤษฎีของชุดปฏิบัติการ		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6. วิเคราะห์จัดลำดับขั้นตอนการปฏิบัติการ		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7. จัดทำส่วนการคำนวณผลทดสอบที่ได้		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. วิเคราะห์การประยุกต์ใช้งานจริง		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. รวบรวมและแก้ไข																			■	■	■
10. ตรวจสอบโครงการโดยอาจารย์ที่ปรึกษา		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11. จัดพิมพ์และรวบรวมรูปเล่ม																			■	■	■

หมายเหตุ  = แผนการดำเนินงาน
รูปที่ 2 แผนการดำเนินงาน

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1.7.1 ค่ากระดาษ A4	200	บาท
1.7.2 ค่าหมึกพิมพ์ปริ้นเตอร์สีค่า	1000	บาท
1.7.3 ค่าทำรูปเล่มเอกสาร โครงการ	1000	บาท
1.7.4 ค่าแผ่นคดสักเก็ต	100	บาท
รวม	2300	บาท

บทที่ 2

หลักการและแนวทางการศึกษา

2.1 หลักการ

ในการเรียนการสอนปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ โดยที่ผู้เรียนไม่ทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของการลงมือฝึกปฏิบัติ ผู้เรียนจะทำได้เพียงการเข้าห้องปฏิบัติการ แล้วทำการทดลองไปตามคู่มือปฏิบัติการที่มี โดยไม่ทราบแน่ชัดว่าสิ่งที่ต้องการวัดจริงๆ จากการทดลองคืออะไร จากนั้น เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลอง ผู้เรียนทำได้แต่เพียงการแทนค่าด้วยสมการที่ตนเองตั้ง ไม่ทราบและไม่เข้าใจหลักการพื้นฐานของสมการ เพียงเพื่อให้ได้ตัวเลข ที่ตนเองเชื่อว่าเป็นผลการทดลองมาใช้เขียนรายงานสรุปส่งอาจารย์ โดยที่ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงความเกี่ยวข้อง ความสัมพันธ์กันระหว่างคุณสมบัติทางปฐพีกลศาสตร์ที่ได้มาจากแต่ละชุดการปฏิบัติการ และไม่สามารถประยุกต์เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ ไปใช้ในการทำงานจริง

ดังนั้น เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาตนเองอย่างเต็มตามศักยภาพ ผ่านการเรียนแบบลงมือทำ ร่วมกับการเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง โครงการนี้จึงได้จัดทำขึ้นภายใต้หลักการที่ประสงค์ให้เห็นผลที่เคยผ่านการเรียนรายวิชาปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์มาแล้ว ได้ทดลองพัฒนาร่างต้นฉบับของคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับที่ส่งเสริมทักษะการทำงานจริง และสามารถนำไปพัฒนาต่อให้เป็นคู่มือที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนแบบในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

- ช่วยให้ผู้สามารถคิดหาความเชื่อมโยงระหว่างการทดลองในภาคปฏิบัติการ กับความรู้ในภาคทฤษฎี
- ส่งเสริมให้เข้าใจจุดมุ่งหมายของการทำงานในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะการที่ผู้เรียนสามารถระบุได้ตั้งแต่ก่อนเข้าห้องปฏิบัติการว่า สิ่งที่ต้องการวัดจริงๆ จากการทดลองคืออะไร?
- ช่วยให้เห็นความเชื่อมโยงของขั้นตอนและรายละเอียดการทำปฏิบัติการกับจุดมุ่งหมาย
- ช่วยให้เห็นความสำคัญของการทำปฏิบัติการแต่ละขั้นตอน และผลกระทบต่อผลการทดลองที่จะได้
- แนะนำเพื่อช่วยให้การปฏิบัติและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในทุกขั้นตอนดำเนินไปได้
- ช่วยให้เห็นใจเหตุของปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา เพื่อจะได้สามารถหาคำตอบแก้ไข เพื่อดำเนินการทดสอบต่อไปได้

- ช่วยให้เห็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ ไปสู่การใช้งานจริง

2.2 แนวทางการศึกษา

ด้วยวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ ที่มุ่งเน้นให้เป็นต้นแบบของกลุ่มปฏิบัติการที่ช่วยให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ และที่มุ่งให้นักศึกษาจัดทำโครงการได้พัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ (critical thinking) และการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self-directed learning) ในขั้นที่มีความรู้ในเนื้อหาที่มีความสามารถในการคิดเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาไปใช้สรุปเป็นต้นแบบของกลุ่มปฏิบัติการได้ โครงการนี้จึงได้กำหนดแนวทางการศึกษา ไว้ดังนี้

- ให้ผู้จัดทำโครงการคิดหาความเชื่อมโยงระหว่างการทดลองในภาคปฏิบัติกับความรู้ในภาคทฤษฎี สำหรับแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ แล้วสังเคราะห์ออกมาแสดงด้วยรูปภาพ หรือรูป sketch เพียงรูป
- ให้ผู้จัดทำโครงการสังเคราะห์ว่า จุดมุ่งหมายของการทำงานในแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ ออกมาเป็นรายการสิ่ง/ค่า ที่ต้องการวัดจริงๆ จากการทดลอง
- ให้ผู้จัดทำโครงการรวบรวมข้อมูลและรายละเอียดคำแนะนำเพื่อช่วยให้การปฏิบัติและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในทุกขั้นตอนดำเนินไปได้ จากเอกสารและหนังสืออ้างอิง แล้วสังเคราะห์ออกมาเป็น flow chart แสดงขั้นตอนหลักของการทดลอง
- ให้ผู้จัดทำโครงการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างผลการทดลอง และจัดทำเป็นตัวอย่างรายการคำนวณ
- ให้ผู้จัดทำโครงการรวบรวมข้อมูลและรายละเอียดจากเอกสารและหนังสืออ้างอิง แล้วสรุปเป็นตัวอย่าง ที่ช่วยให้เห็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ ไปสู่การใช้งานจริง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 ขอบเขตการดำเนินงาน

ขอบเขตของการดำเนินงานของโครงการจะนำเสนอร่างต้นฉบับของกลุ่มปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับที่ส่งเสริมทักษะการทำงานจริง จึงได้ทดลองพัฒนาร่างคู่มือนี้ขึ้น โดยการศึกษาทบทวนและวิเคราะห์ความรู้ทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) ที่มีเนื้อหาของแต่ละชุดปฏิบัติการซึ่งครอบคลุมถึงความรู้ที่เป็นพื้นฐานทางปฐพีกลศาสตร์ เพื่อให้ผู้ศึกษาและทดลองปฏิบัติได้เข้าใจถึงความสัมพันธ์กันระหว่างคุณสมบัติทางปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้นที่สำคัญ จนรวมไปถึงการทดลองที่ซับซ้อน โดยโครงการนี้มีเนื้อหาที่ประกอบด้วยหัวข้อปฏิบัติการอย่างน้อย 9 หัวข้อ ได้แก่

- Water Content Determination
- Atterberg's Limit Test
- Specific Gravity Test
- Particle Size Analysis
- Compaction Test
- California Bearing Ratio Test
- Field Density Test
- Unconfined Compression Test
- Direct Shear Test

โดยในแต่ละชุดปฏิบัติการจะประกอบไปด้วยหัวข้อย่อยที่เป็นรูปแบบของการนำเสนอแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ ดังนี้

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)
2. วัตถุประสงค์ (Objectives)
3. หลักการ (Principals)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)
5. วิธีการทดลอง (Method)
6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)
7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)
8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)
9. การนำไปใช้งาน (Practical-Uses)

3.2 วิธีการศึกษาและจัดทำโครงการงาน

โครงการงานที่จัดทำขึ้นเป็นไปตามแนวทางการศึกษาทฤษฎีและเนื้อหา โดยพอจะแยกกล่าวไว้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ส่วนของวัตถุประสงค์และทฤษฎีในแต่ละชุดปฏิบัติการ จะถูกรวบรวมข้อมูล และสังเคราะห์เนื้อหาจากความรู้และบันทึกการบรรยายที่ได้จากการเข้าฟังบรรยายในห้องเรียน และจากตำราเอกสารอ้างอิง ให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างการทดลองในภาคปฏิบัติการ กับความรู้ในภาคทฤษฎีสำหรับแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ เพื่อมุ่งเน้นการนำเสนอแนวทางและวัตถุประสงค์หลักของการทดสอบผ่านทางรูปภาพที่มีรายละเอียดที่กระชับ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

3.2.2 ส่วนของวิธีการทดลองจะแสดงเป็นลำดับขั้นตอนเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และไม่เกิดความสับสนในการลงมือปฏิบัติ โดยลำดับขั้นตอนการปฏิบัติจะถูกสร้างให้มีแนวทางการทดสอบเช่นเดียวกับตำราและเอกสารอ้างอิง จะอาศัยการนำเสนอแบบ Flow Chart แสดงขั้นตอนหลักของการทดลอง

3.2.3 สำหรับข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data) และตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test) จะมีความเกี่ยวข้องต่อกัน โดยส่วนของข้อมูลที่วัดในห้องทดลองจะเป็นตัวบอกถึงข้อมูลที่จำเป็นจะต้องวัดในแต่ละชุดการปฏิบัติ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการคำนวณผลในตารางผลการทดสอบ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ศึกษาฝึกทักษะในการคิดวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี

3.2.4 ในโครงการงานยังประกอบไปด้วยส่วนของตัวอย่างการคำนวณซึ่งจะช่วยผู้ศึกษาได้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ได้อย่างดียิ่งขึ้นผ่านทาง การคำนวณ โดยตารางการคำนวณจะมีสูตรการคำนวณต่างๆ ประกอบไว้ให้ผู้ศึกษาได้คิดวิเคราะห์ถึงที่มาที่ไปของการคำนวณ ส่งผลให้สามารถทำการคำนวณเมื่อทดสอบกับงานจริงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

3.2.5 นำเสนอส่วนท้ายสุดของโครงการคือ การประยุกต์นำไปใช้งาน (Practical Uses) เป็นการแนะนำถึงการนำข้อมูลจากการทดสอบปฏิบัติไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง โดยเนื้อหาของส่วนนี้ถูกรวบรวมมาจากตำราและเอกสารอ้างอิงดังที่ถูกรวบรวมไว้ในรายชื่อของเอกสารอ้างอิงในแต่ละชุดปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ถึงการใช้งานและความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันของตัวแปรต่างๆ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้เกิดความเข้าใจ และเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบปฏิบัติการได้อย่างเกิดประสิทธิภาพ



บทที่ 4

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาตามหลักการและแนวทางการจัดทำโครงการ ดังที่อธิบายในบทที่ 2 และ 3 ทำให้ได้ผลงานดังแสดงในบทที่ 5 ซึ่งสรุปเป็นการนำเสนอหัวข้อปฏิบัติการ 11 หัวข้อ โดยการนำเสนอผ่านทางหัวข้อย่อยที่เป็นรูปแบบของแต่ละหัวข้อปฏิบัติการ ดังนี้

หัวข้อปฏิบัติการ ที่เป็นขอบเขตของการทำงาน		หัวข้อย่อย ที่เป็นรูปแบบการนำเสนอแต่ละของหัวข้อปฏิบัติการ
1. Water Content Determination	..5_ หน้า	1. เอกสารอ้างอิง (Reference)
2. Atterberg's Limit Test	..15_ หน้า	2. วัตถุประสงค์ (Objectives)
3. Specific Gravity Test	..11_ หน้า	3. หลักการ (Principals)
4. Particle Size Analysis	..19_ หน้า	4. อุปกรณ์ (Apparatus)
5. Compaction Test	..16_ หน้า	5. วิธีการทดลอง (Method)
6. California Bearing Ratio Test	..18_ หน้า	6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)
7. Field Density Test	..19_ หน้า	7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)
8. Permeability Test	..17_ หน้า	8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)
9. Unconfined Compression Test	..13_ หน้า	9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)
10. Direct Shear Test	..17_ หน้า	
11. Consolidation Determination	..20_ หน้า	

ทั้งนี้ทุกๆ หัวข้อปฏิบัติการทั้ง 11 หัวข้อ มีส่วนของตารางบันทึกผลข้อมูลเปล่าแนบไว้ด้วยเพื่อเป็นประโยชน์ให้กับผู้ศึกษาได้ใช้บันทึกผลจากการทดสอบปฏิบัติการ และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณผลข้อมูลที่ได้ ดังที่ปรากฏในตัวอย่างการทดสอบ (Sample of Test) และตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation) ของร่างต้นฉบับ



Test 1 Water Content Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- 1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 178-181
 1.2 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติภักไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 164-165

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

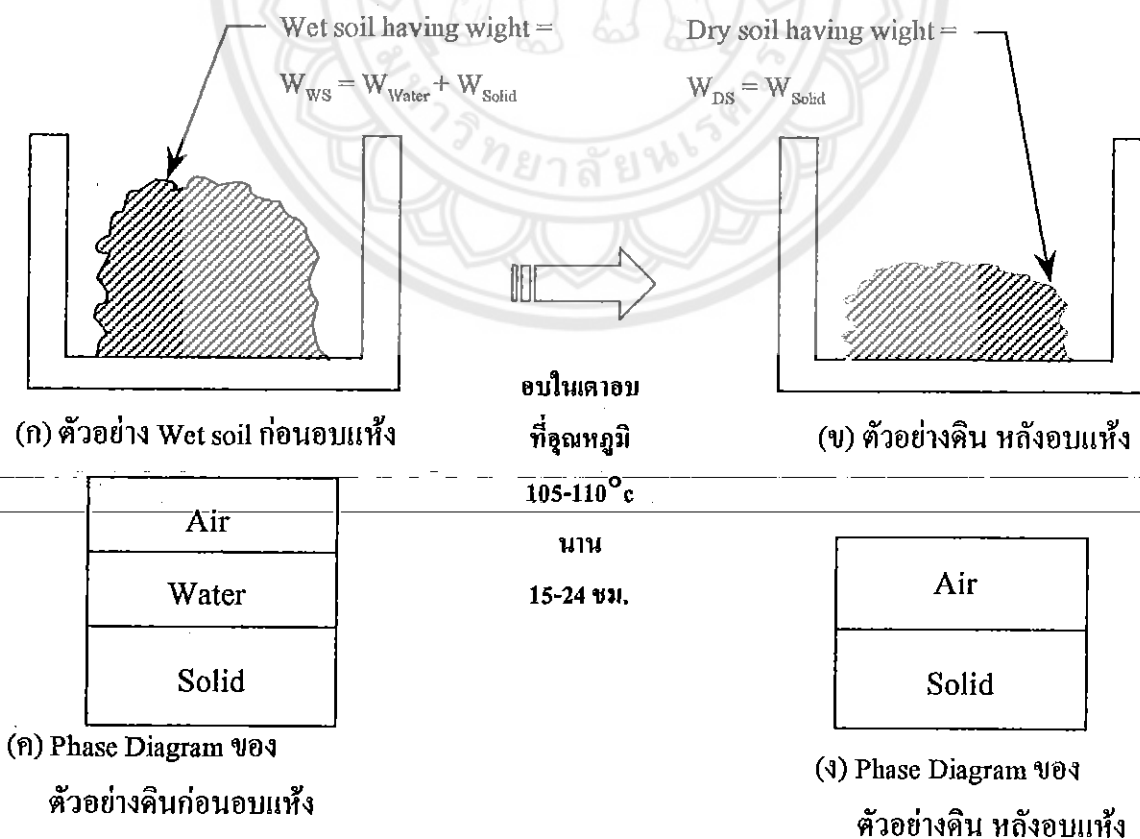
เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (water content, w) ในตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ

3. หลักการ (Principals)

หลักการทดสอบหา water content ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 1.1 คือ

3.1 การหาน้ำหนักน้ำ (W_w) ที่มีอยู่ในตัวอย่างดินทดสอบ โดยการนำตัวอย่างดินทดสอบ (ที่มีความชื้นที่ต้องการหาค่า water content) ไปอบในเตาอบ ที่ตั้งอุณหภูมิคงที่ ~ 105 C นาน ~ 24 ชั่วโมง

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



รูปที่ 1.1 หลักการทดสอบหา water content ในตัวอย่างดิน

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

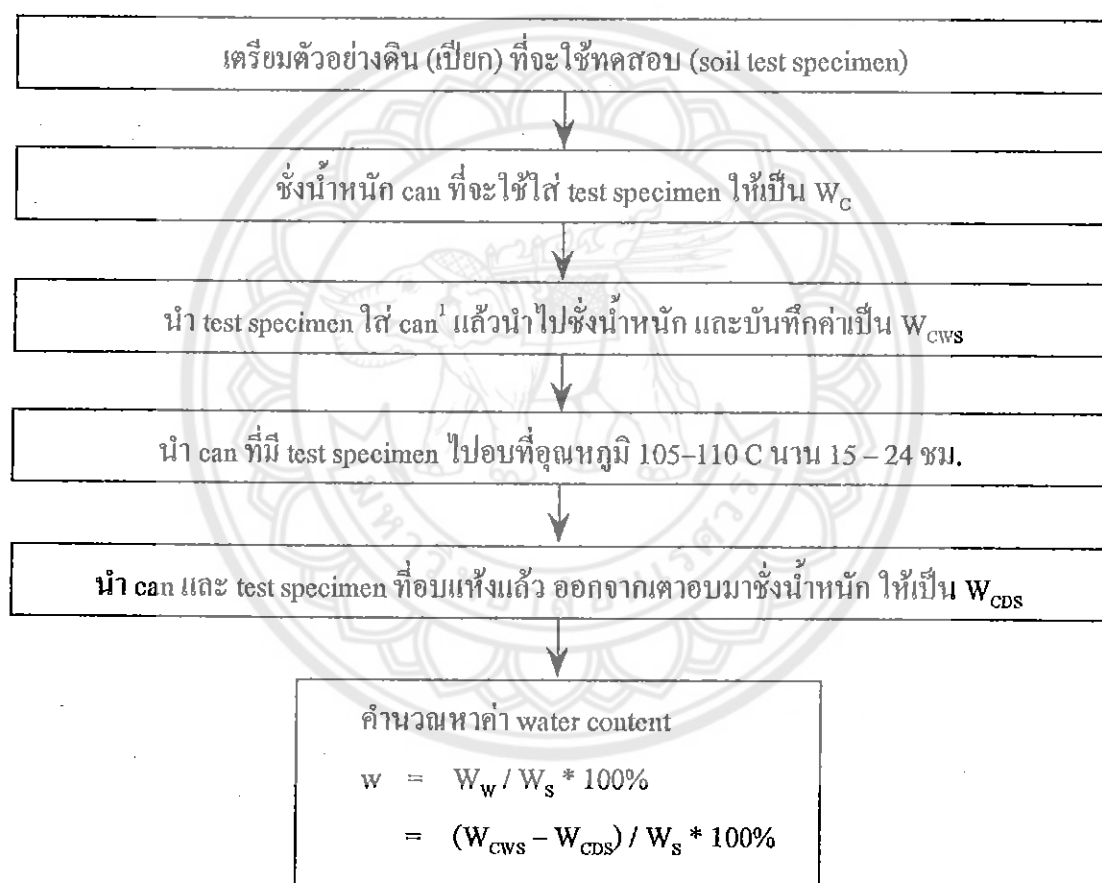
4.1 กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (can)

4.2 เตาอบ (oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงถึง 105°C ได้อย่างสม่ำเสมอ

4.3 คาชั่ง (balance) ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

5. วิธีการทดลอง (Method)

วิธีการทดสอบโดยละเอียด สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง ทั้งนี้ วิธีการโดยสรุป เป็นดังนี้



รูปที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหา water content

หมายเหตุ

1. ตัวอย่างดินที่ใช้อบหาความชื้น ควรมีน้ำหนักอย่างน้อย 30 กรัมขึ้นไปสำหรับคาชั่งที่อ่านได้ถึง 0.1 กรัม และ 5 กรัมขึ้นไป สำหรับคาชั่งที่อ่านได้ถึง 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
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 (gm)					
Mass 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)

Water Content Determination						
Test No.		1	2	3	4	5
Mass of can	W_C (gm)	33.40	32.50	34.40	36.20	35.00
Mass of can + wet soil	W_{CWS} (gm)	163.70	170.30	165.50	174.40	166.40
Mass of can + dry soil	W_{CDS} (gm)	158.10	155.40	152.20	158.80	149.80
Mass of water	W_W (gm)	5.60	14.90	13.30	15.60	16.60
Mass of dry soil	W_{DS} (gm)	124.70	122.90	117.80	122.60	114.80
Water content	w (%)	4.49	12.12	11.29	12.72	14.46

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

$$\text{Weight of can} = W_C = 33.4 \text{ gm}$$

$$\text{Weight of can + wet soil} = W_{CWS} = 163.7 \text{ gm}$$

$$\text{Weight of can + dry soil} = W_{CDS} = 158.1 \text{ gm}$$

$$\text{Weight of water} = W_W = 163.7 - 158.1 \text{ gm} = 5.6 \text{ gm}$$

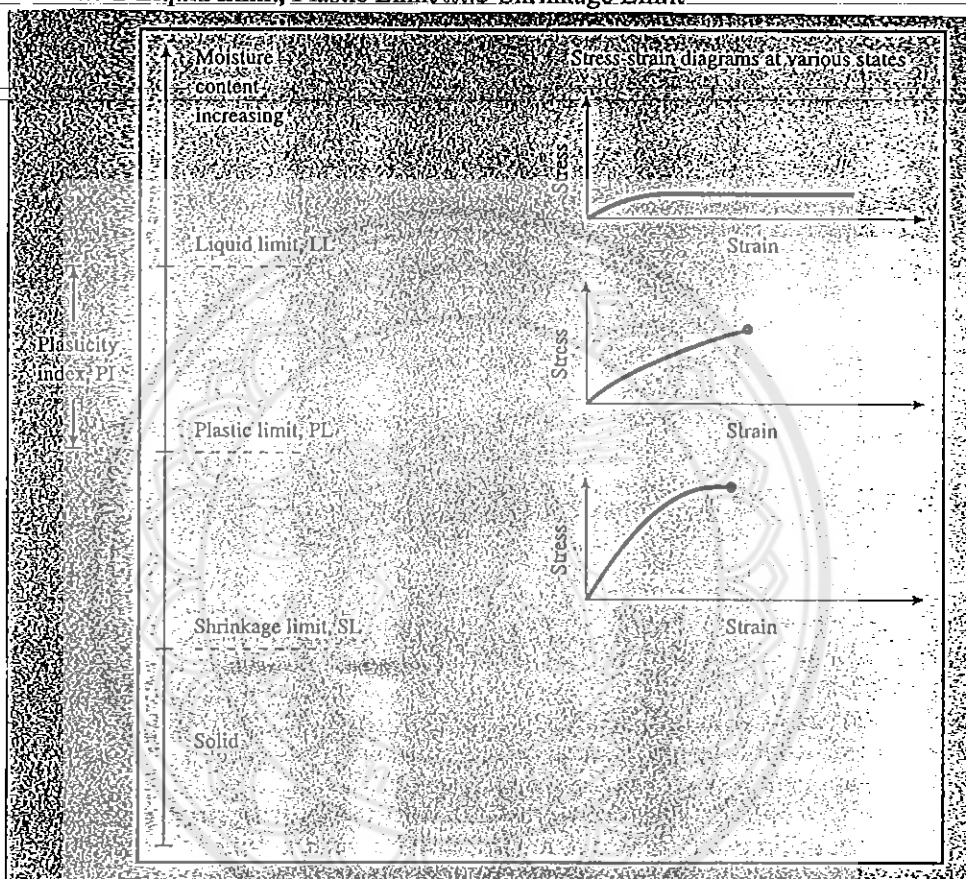
$$\text{Weight of dry soil} = W_{DS} = 158.1 - 33.4 \text{ gm} = 124.7 \text{ gm}$$

$$\therefore \text{Water content, } w = w = (5.60 \text{ gm} / 124.70 \text{ gm}) * 100 \% = 4.49 \%$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

Water content เป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของดิน สามารถนำไปใช้ได้ ดังนี้

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



รูปที่ 1.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Liquid, Plastic และ Shrinkage Limit และ Stress กับ Strain (DAS, 1998)

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) โดยวิธีการวิเคราะห้ จากกราฟซึ่งมีค่า Dry Density เป็นแกนตั้ง และ Water Content (%) เป็นแกนนอน

Test 2 Atterberg Limits Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 T. William Lambe. Soil Testing for Engineering. 1951. p. 22-28

1.2 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป คงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 11-23

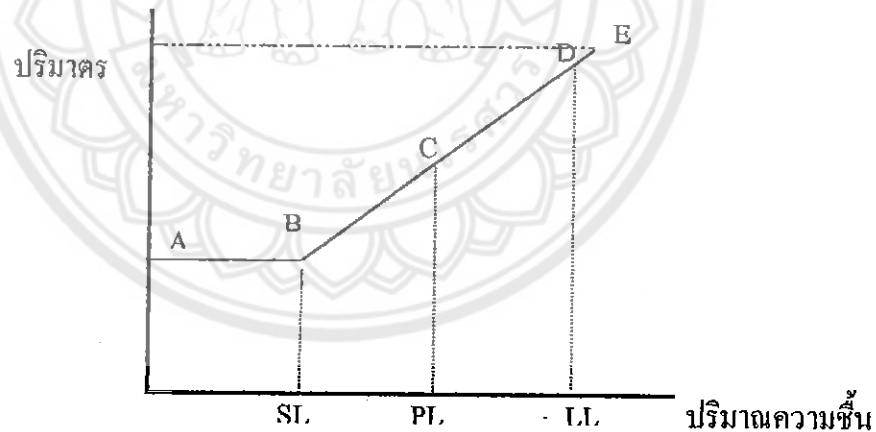
1.3 สถาพร คูวิจิตรจารุ. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (5-1) – (5-38)

2. วัตถุประสงค์ (Objective)

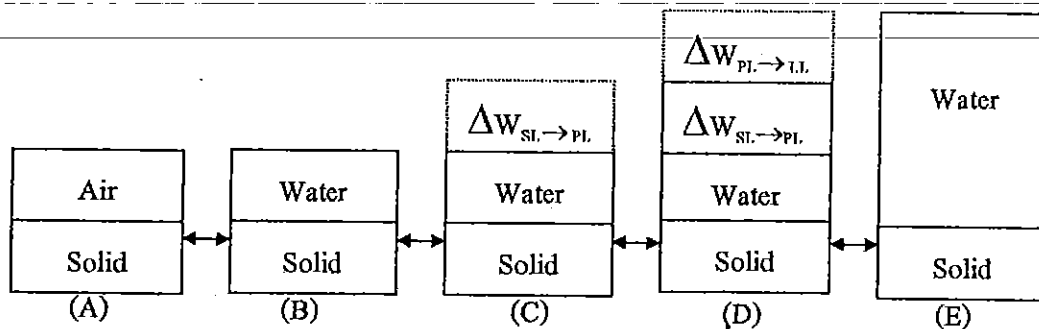
เพื่อหาค่า Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL) และ Shrinkage Limit (SL) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Property) ของดิน เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (Water Content) กับการเปลี่ยนแปลงสถานะของดิน

3. หลักการ (Principals)

พฤติกรรมของดินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น (Water Content) ในดินด้วยรูปแบบที่ความชื้นจะค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้ดินมีปริมาตรที่ลดลงอย่างเป็นปฏิภาคต่อกัน ซึ่งดินจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid State) เป็นพลาสติก (Plastic State) และกึ่งของแข็ง (Semi-Solid State) ตามลำดับดังรูป



จากรูปภาพข้างต้นจะแสดงในรูป Phase Diagram ณ ตำแหน่งต่างๆ ของดิน ดังนี้



รูปที่ 2.1 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) และจะ ไม่มีการหดตัวหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินอีก นั่นคือจะมีอากาศเข้ามาแทรกในดินแทนที่ปริมาณน้ำที่หายไป

3.5 ตำแหน่ง E เป็นสถานะจากที่ดินไม่อึดตัวจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นไม่มีความชื้น (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

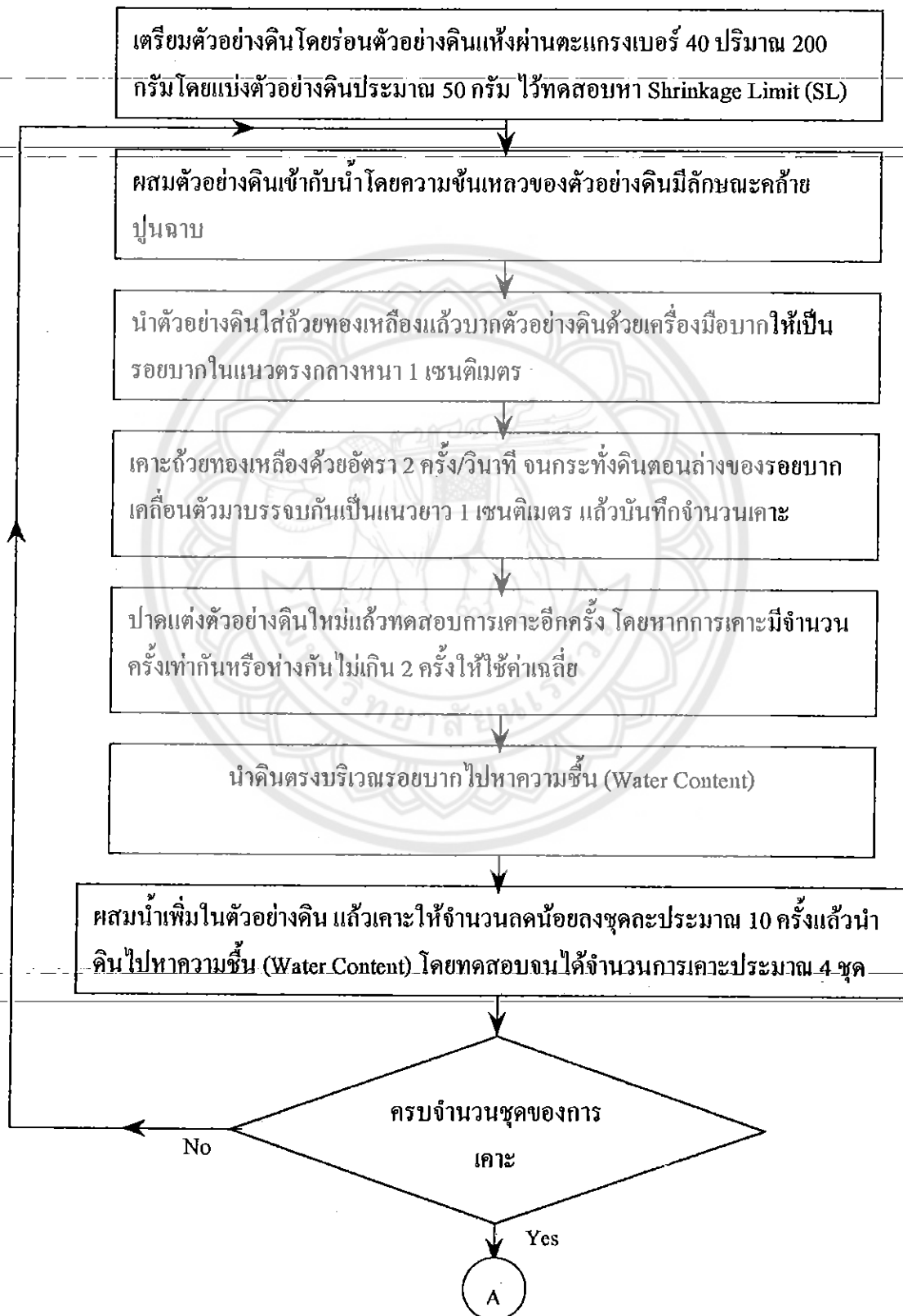
4.6 ตู้อบแห้ง (Oven)

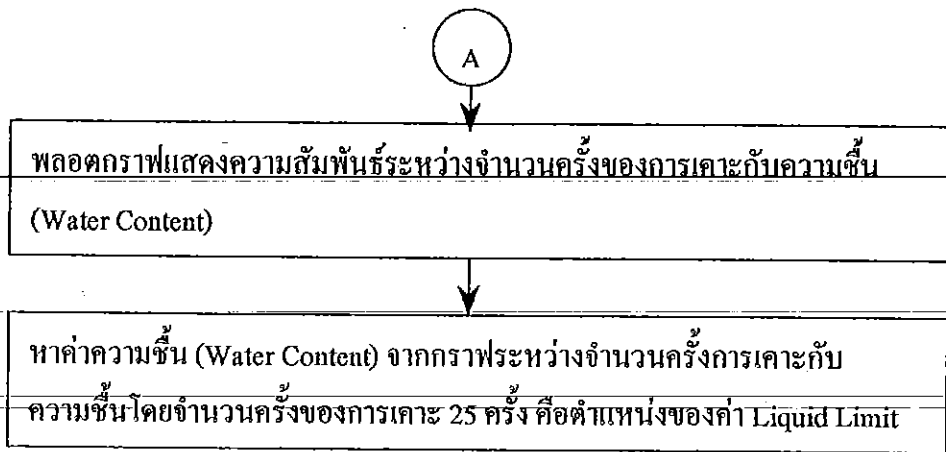
4.7 ถ้วยแก้ว หรือ ครอบใส่ดินตัวอย่าง (Can)

4.8 มีดปาดดิน

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 Liquid Limit



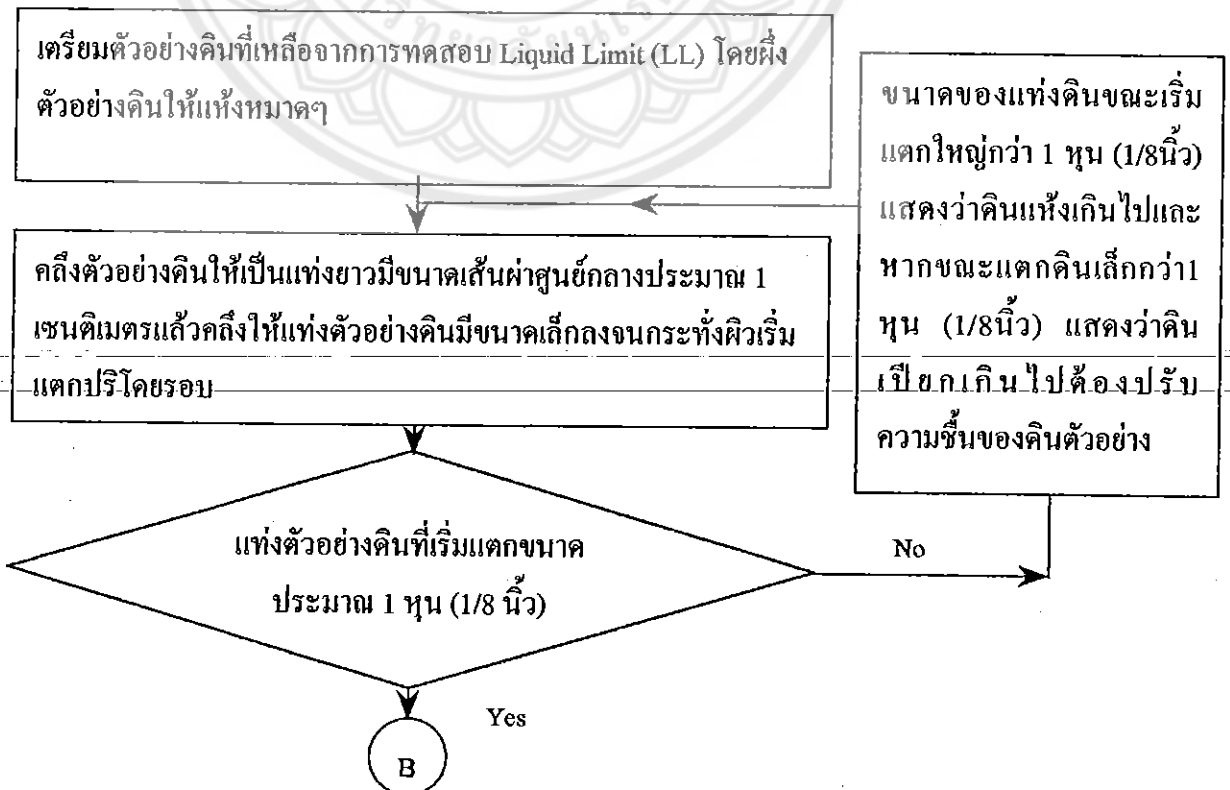


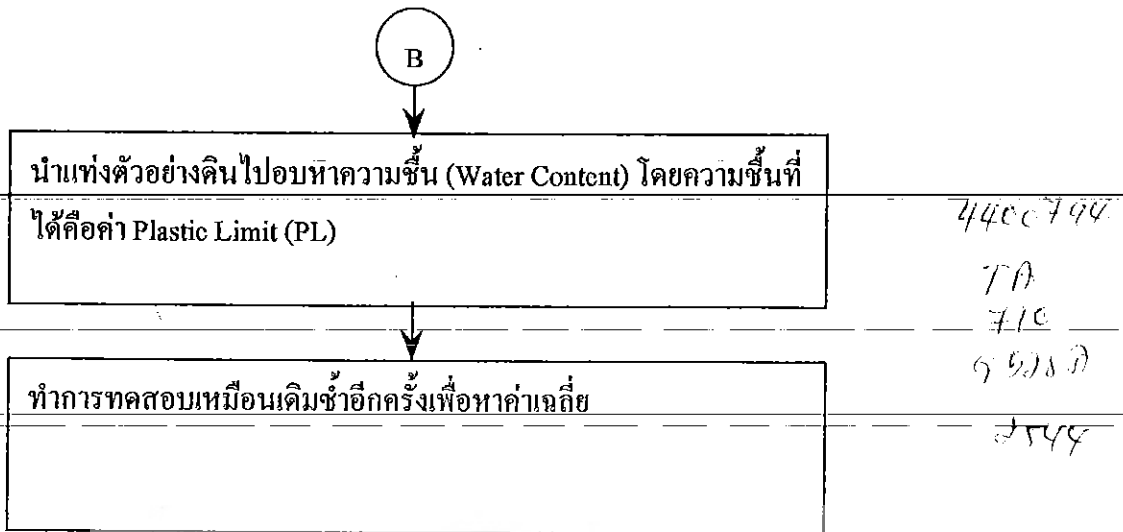
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการหาค่า Liquid Limit

หมายเหตุ

1. การเคาะชุดแรก ควรจะมีจำนวนครั้งของการเคาะประมาณ 40 – 50 ครั้ง เพื่อสะดวกต่อการทดสอบ โดยเมื่อผสมน้ำเพิ่มเข้าไปในดินจะได้จำนวนครั้งของการเคาะที่ลดลง
2. ในการเคลื่อนตัวของดินมาบรรจบกัน ควรพิจารณาว่าต้องไม่ใช่การเคลื่อนตัวระหว่างดินกับถ้วย เพราะลักษณะของการเคลื่อนตัวของดินเช่นนี้ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงภายในของดิน ดังนั้นในการทดสอบดินที่อยู่รอบๆจะต้องยึดอยู่กับผิวถ้วยเช่นเดิม
3. จำนวนครั้งของการเคาะครั้งสุดท้ายควรประมาณ 5 – 10 ครั้งเพื่อสะดวกต่อการพลอตกราฟโดยกราฟจะครอบคลุมช่วงของจำนวนการเคาะที่ต้องการทำได้ (จำนวนครั้งของการเคาะ 25 ครั้ง)

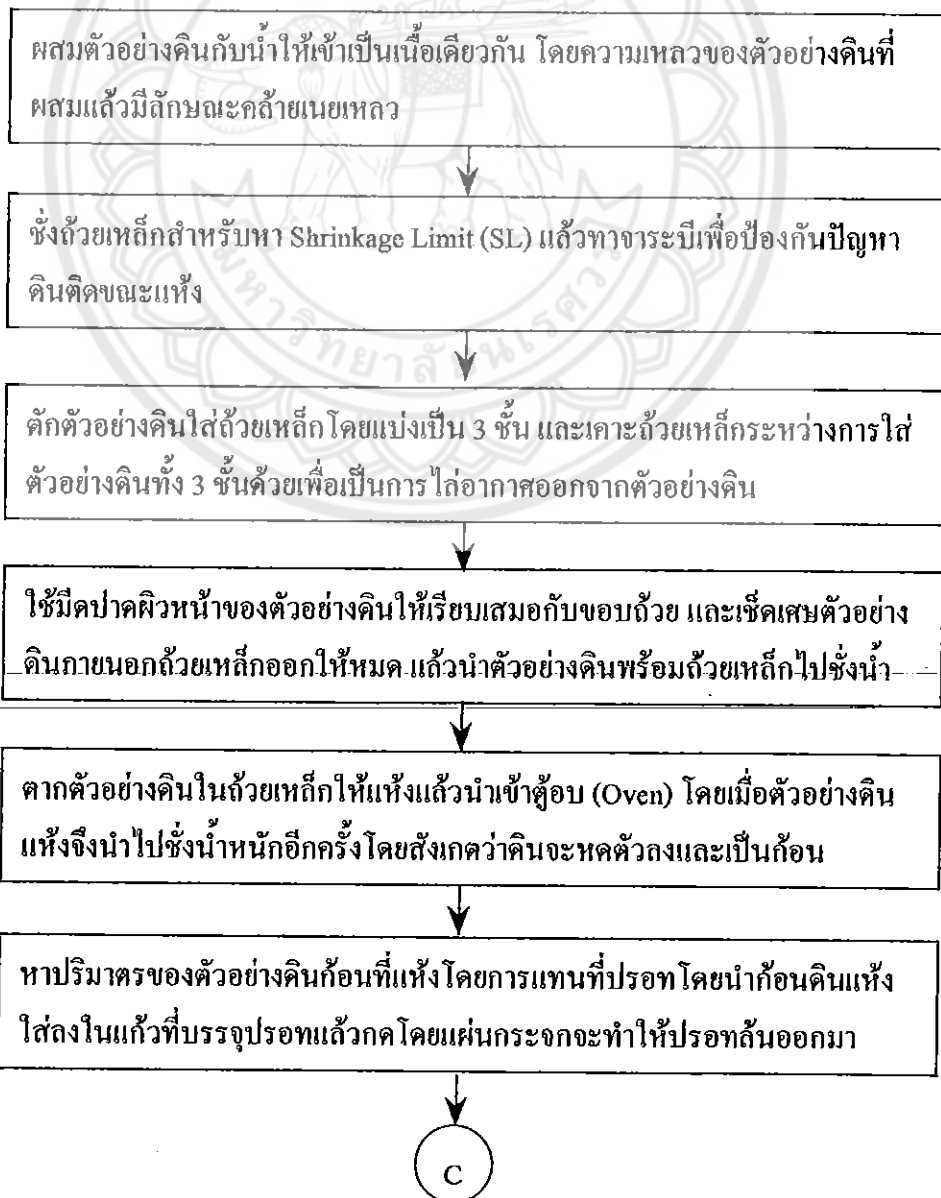
5.2 Plastic Limit

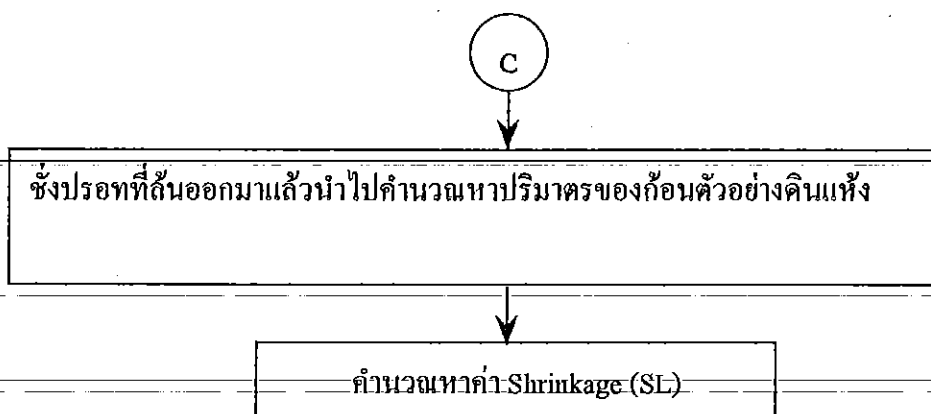




รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่า Plastic Limit

5.3 Shrinkage Limit





รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการหาค่า Shrinkage Limit

หมายเหตุ

ในการหาปริมาตรของก้อนดินแห้งด้วยการแทนที่ปรอทต้องใช้แผ่นกระจกกดไล่ปรอทให้ระดับผิวหน้าเสมอกับขอบถ้วยเสียก่อน แล้วจึงใส่ก้อนดินแห้งลงไปในถ้วยเหล็กกับปรอทนั้น

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_p)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 _____

Location _____

Job No _____

Boring No _____

Test No _____

Date _____

Sample No _____

Tested By _____

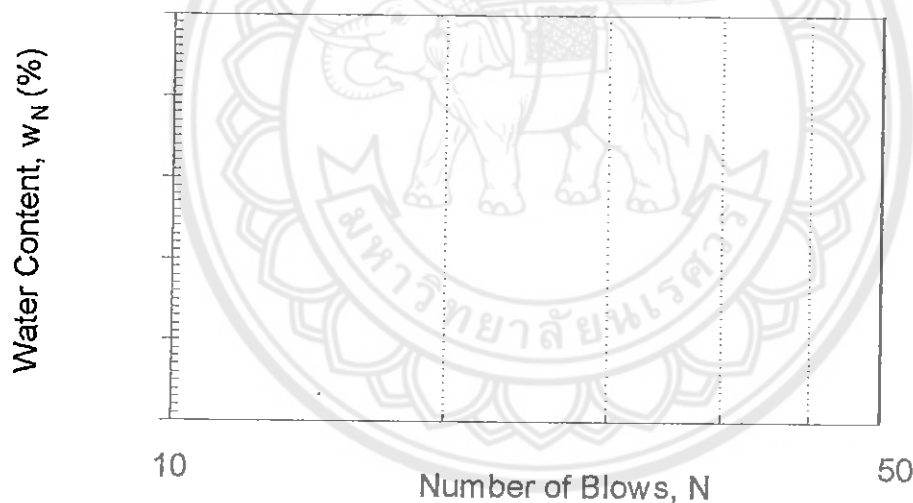
Sample Depth _____

Checked 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	LL =	%
Container No.				PL =	%
Mass of can, W_C (gm)				PI =	%
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 = $\%w_p = M_w/M_{DS} * 100$ PL (%)					

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} (%)				
<i>Shrinkage Limit = $w_o - w_{LS}$, SL (%)</i>					
<i>Average Shrinkage Limit</i>					

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

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

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

4. $V_{DS} = W_{MDS} / \rho_M = W_{MDS} / 13.53 \text{ gm/cc}$

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

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

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

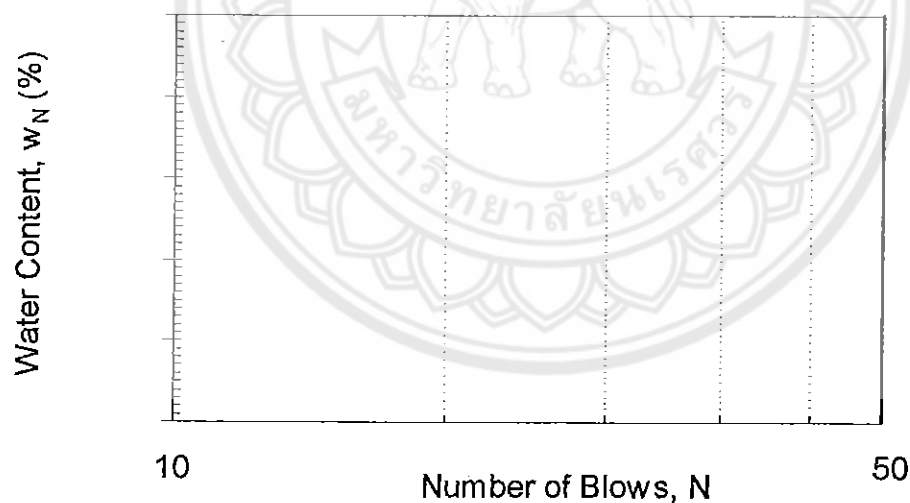
7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

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

Liquid Limit Determination

Test No		1	2	3	4	5
Container No.		121	122	123	124	
No. of blows	N	34	27	22	17	
Mass of can,	W_C (gm)	17.33	17.41	17.45	17.36	
Mass of can + wet soil,	W_{CWS} (gm)	48.61	55.53	51.71	50.51	
Mass of can + dry soil,	W_{CDS} (gm)	41.19	46.05	42.98	41.54	
Mass of water	W_w^1 (gm)	7.42	9.48	8.73	8.97	
Mass of dry soil	W_{DS}^2 (gm)	23.86	28.64	25.53	24.18	
Water content,	w^3 (%)	31.10	33.10	34.20	37.10	

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.		F-11	F-4		LL =	33.40 %
Mass of can,	W_C (gm)	20.63	20.66		PL =	18.88 %
Mass of can + wet soil,	W_{CWS} (gm)	29.26	30.03		PI =	14.52 %
Mass of can + dry soil,	W_{CDS} (gm)	27.90	28.53			
Mass of water,	W_w^1 (gm)	1.36	1.50			
Mass of dry soil,	W_{DS}^2 (gm)	7.27	7.87			
PL = $\%w_p = M_w/M_{DS} * 100$	PL (%)	18.71	19.06	18.88		

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		
Shrinkage Limit = $w_o - w_{LS}$, SL (%)					
		24.95	21.04		
Average Shrinkage Limit					
		22.99			

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

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

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

8.1.1 Compute water content (% w)

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

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

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

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

$$= 48.61 - 41.19 \quad \text{gm}$$

$$= 7.42 \quad \text{gm}$$

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

$$= W_{CDS} - W_C$$

$$= 41.19 - 17.33 \quad \text{gm}$$

$$= 23.86 \quad \text{gm}$$

$$\% w = \frac{7.42}{23.86} * 100$$

$$= 31.10$$

8.1.2 Plot flow curve as shown in Fig. Of Liquid Limit Determination, using %w vs. no. of blows (N)

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)

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

$$\begin{aligned} W_w &= (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can + dry soil}) \\ &= W_{CWS} - W_{CDS} \\ &= 29.26 - 27.90 \quad \text{gm} \\ &= 1.36 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DS} &= (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can}) \\ &= W_{CWS} - W_C \\ &= 27.90 - 20.63 \quad \text{gm} \\ &= 7.27 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%w &= \frac{1.36}{7.27} * 100 \\ &= 18.71 \end{aligned}$$

8.2.2 Plastic Limit = Avg %w

$$\begin{aligned} &= (18.71 + 19.06) \% / 2 \\ &= 18.89 \quad \% \end{aligned}$$

8.2.3 Plastic Index , PI

$$\begin{aligned} PI &= (\text{Liquid Limit}) - (\text{Plastic Limit}) \\ &= 33.4 - 18.89 \quad \% \\ &= 14.51 \quad \% \end{aligned}$$

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

8.3.1 Mercury mass in dish, W_M

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

8.3.2 Vol. Of dish, V_D

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

8.3.3 Mass of wet soil, W_{WS}

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

8.3.4 Mass of water, W_W

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

8.3.5 Mass of dry soil, W_{DS}

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

8.3.6 Initial water content, w_o

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

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

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

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

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

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_{LS}

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

8.3.11 Shrinkage Limit, SL

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

9. การนำไปใช้งาน (Practical Use)

9.1 ใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าทรุดตัวของดิน

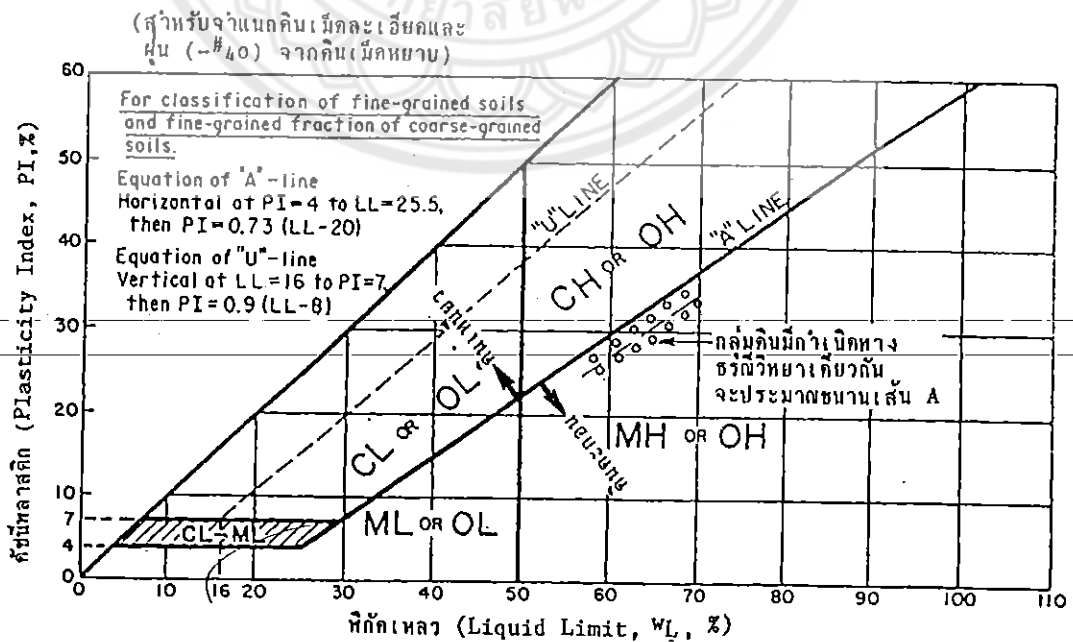
จากความสัมพันธ์ของ Terzaghi and Peck (1948) สำหรับดินเหนียว Normally Consolidated Clay, NCC จะได้ดัชนีอัดตัว (Compression Index), $C_c = 0.009(LL - 10)$ และสำหรับ Overconsolidation สามารถประมาณความเป็นดินอัดตัวเกิน (Overconsolidation) ของดินเหนียวจากค่าดัชนีเหลว (Liquidity Index), $LI = (W_o - PL) /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

9.2 ใช้ค่า Plastic Index, PI กำหนดคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง

การใช้ค่า PI เป็นข้อกำหนดในการคัดเลือกวัสดุสำหรับใช้บดอัดชั้นต่างๆของถนนอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถประมาณคุณสมบัติต่างๆของดินได้จากค่า PI

9.3 การจำแนกชนิดของดินด้วยค่าพิกัตจาก Atterberg Limit

ค่าพิกัตเหลว (Liquid Limit) และพิกัตพลาสติก (Plastic Limit) เป็นคุณสมบัติพิเศษที่สามารถใช้จำแนกชนิดของดินเม็ดละเอียด ดังรูป



รูปที่ 2.5 Plasticity chart (สอาพร, 2541)

Test 3 Specific Gravity Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

1.1 Lambe T.W. (1951). Soil Testing for Engineering. p. 15-21

1.2 Head, K.H.(1980). Manual of Soil Laboratory Testing. P. 101-133

1.3 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป คงเคื่อน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 24-29

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

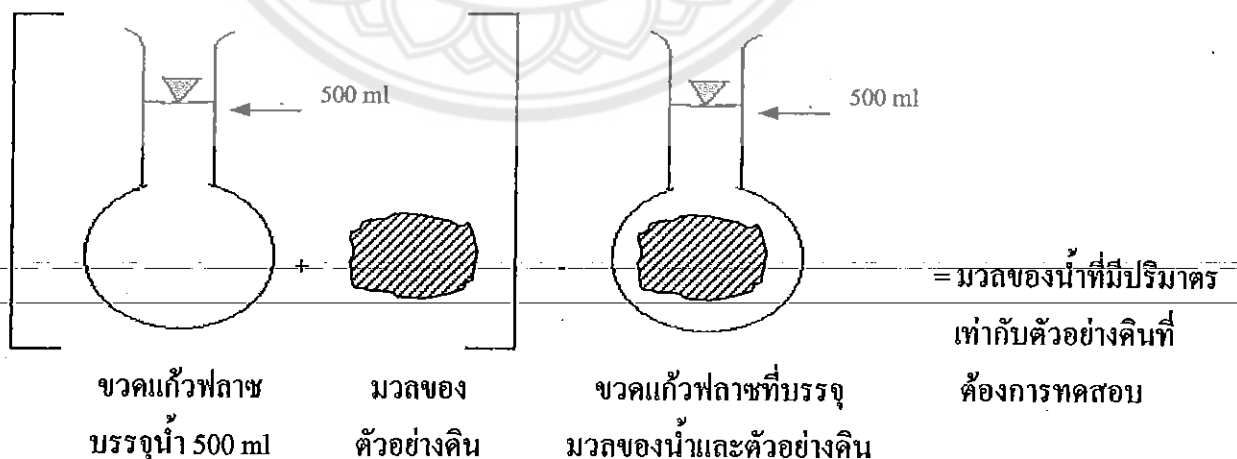
เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดินซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวประเภทหนึ่งของดิน

3. หลักการ (Principals)

ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของตัวอย่างดินนั้นต่อน้ำหนักของน้ำที่ระดับอุณหภูมิ 4 ° c โดยที่ทั้งตัวอย่างดินและน้ำมีปริมาตรเท่าๆกัน

$$\text{ความสัมพัทธ์ดังกล่าวได้จาก } G = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{M_s / V_s}{M_w / V_w} = \frac{M_s}{M_w}$$

โดย M_w หาได้จากมวลของน้ำที่ล้นออกมาจากขวดแก้วฟลาซ (Volumetric Flask) เมื่อถูกแทนที่ด้วยมวลดินที่ใส่ลงไป แต่ในความเป็นจริงการทดสอบเพื่อหามวลของน้ำส่วนนี้ทำได้ลำบาก ดังนั้นจึงหา M_w ได้โดย



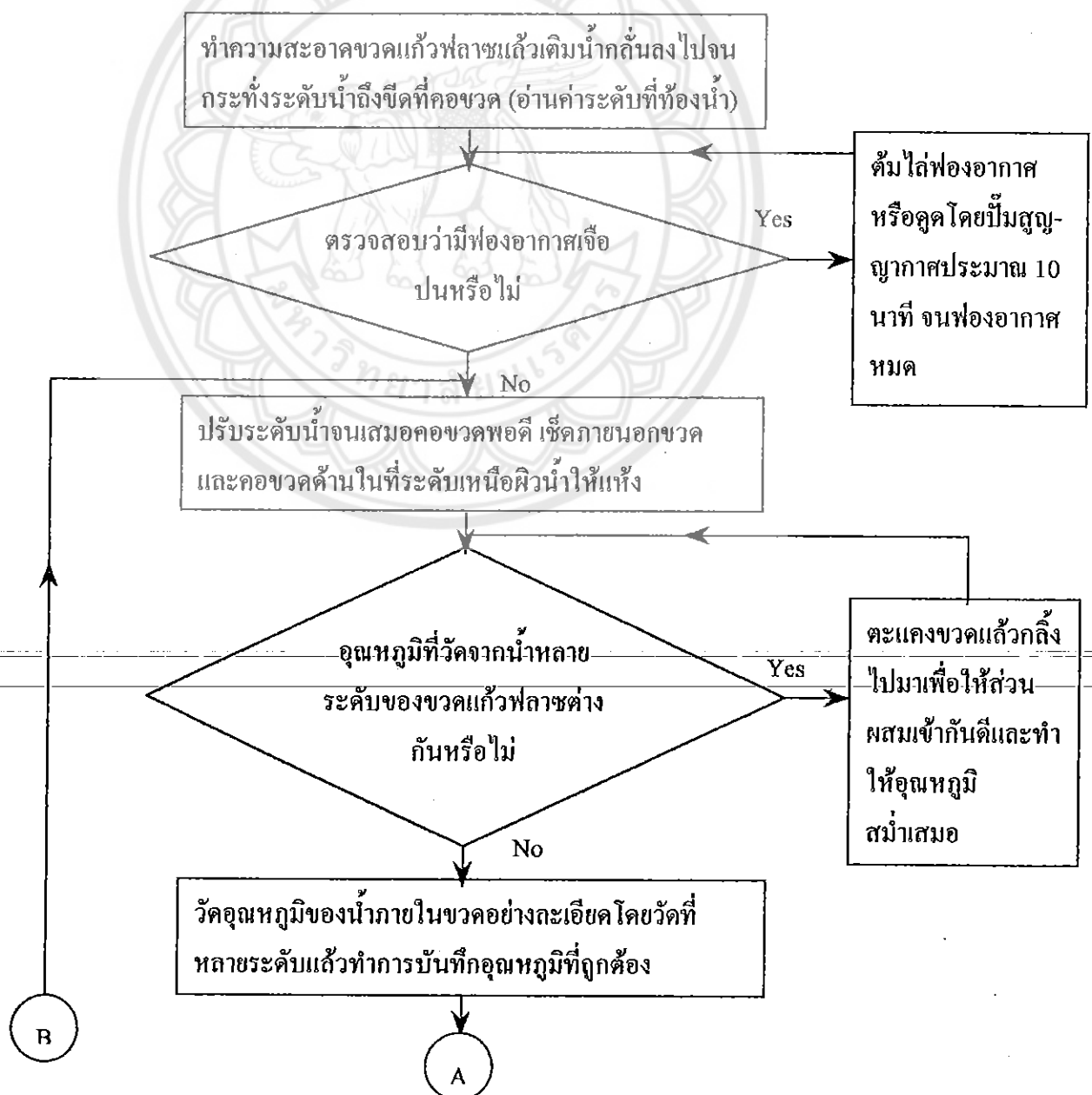
รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทดสอบหา Specific Gravity

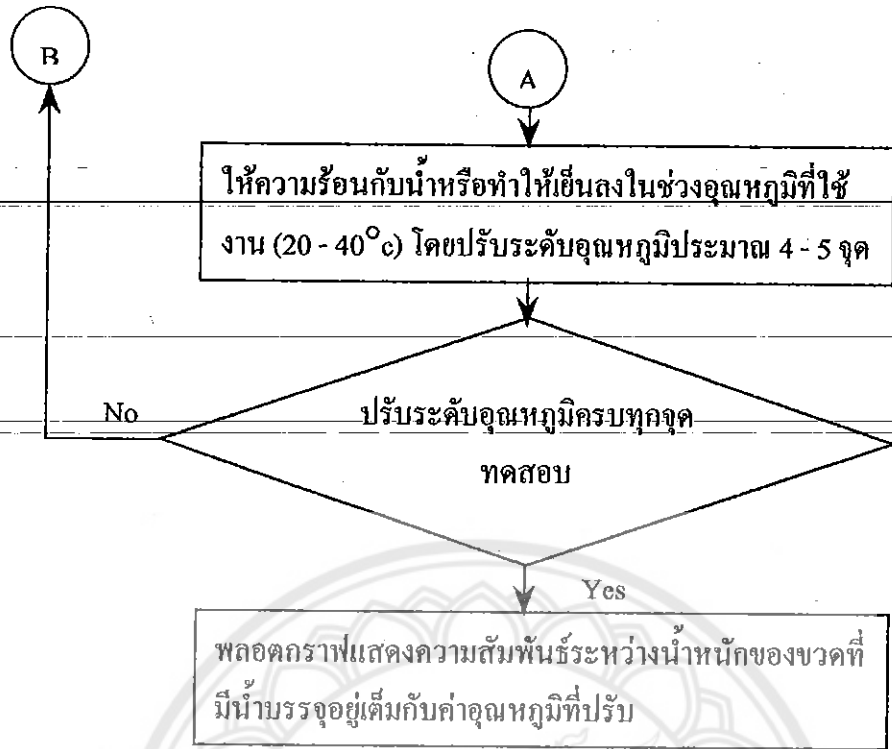
4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- | | |
|--|---|
| 4.1 ขวดแก้วฟลาซกันแบน ขนาดความจุ 500 ซม ³ | 4.6 เครื่องมือดูดความชื้น |
| 4.2 น้ำกลั่น | 4.7 ปรอท (Mercury) ละเอียดยิ่ง 0.1 ^o c |
| 4.3 เตาปูนเส้นหรือเตาแผ่นร้อน (Hot Plate) | 4.8 ถาดระเหย |
| 4.4 คาชั่ง (Balance) ความละเอียดยิ่ง 0.01-กรัม | 4.9 หลอดหยด (Dropper) หรือปิเปต |
| 4.5 ตู้อบ | |

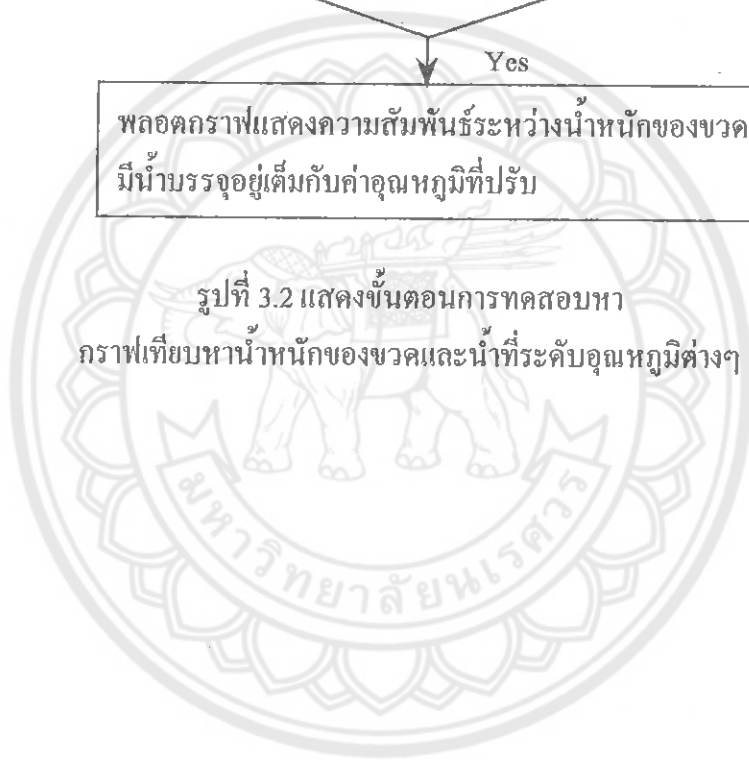
5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การทำกราฟเทียบหน้าหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ (Calibraion)

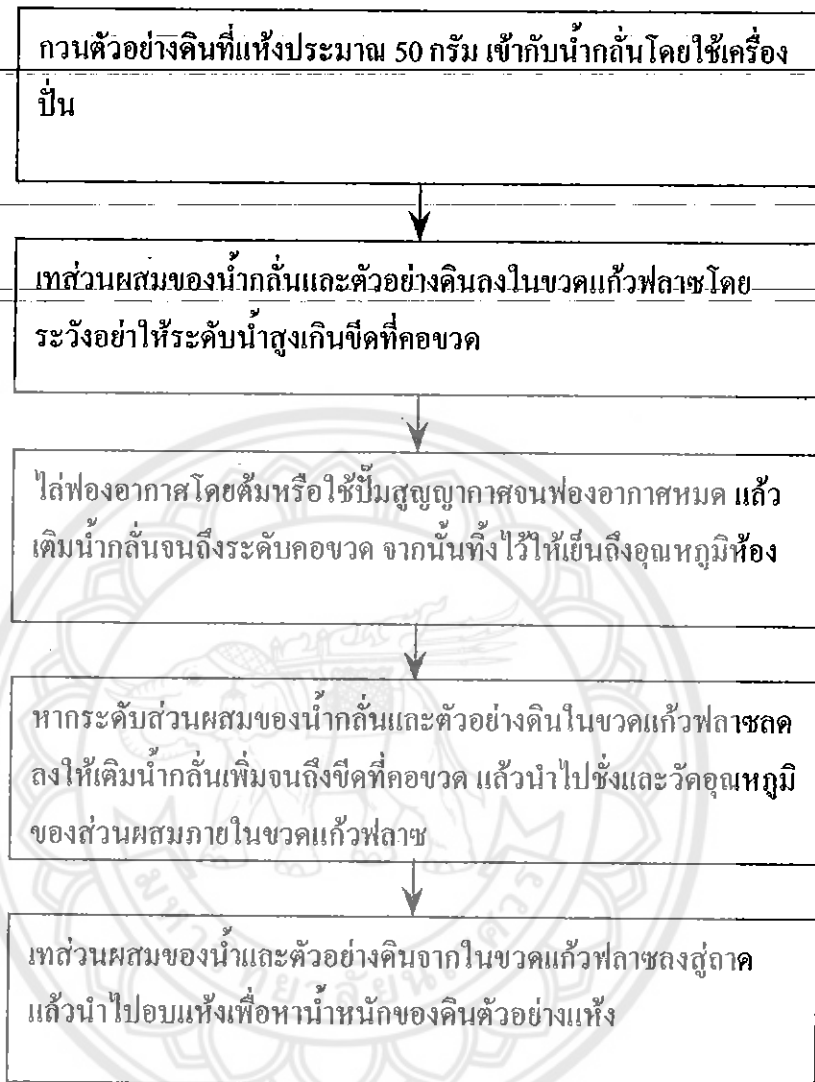




รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดสอบหา
กราฟเทียบหาน้ำหนักของขวดและน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ



5.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน

หมายเหตุ

การเทส่วนผสมของน้ำและตัวอย่างดินจะต้องเทให้หมด โดยวิธีการใช้น้ำกลั่นล้างตัวอย่างดินที่ติดอยู่ในภาชนะออกให้หมดเพราะมวลดินที่อยู่ในส่วนผสมของน้ำกลั่นและตัวอย่างดินจะสูญหายไประหว่างการเทจากภาชนะหนึ่ง ไปสู่อีกภาชนะหนึ่งหากไม่ระมัดระวังในขั้นตอนการเทตัวอย่าง

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

ข้อมูลที่จะต้องวัด สำหรับแต่ละตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย

6.1 อุณหภูมิ Temperature (T)

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

6.3 น้ำหนักของขวดแก้วฟลาซ 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	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		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 0 _e , 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 $(W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS}) = \text{mass of water having same volume as soil used in test}$

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

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

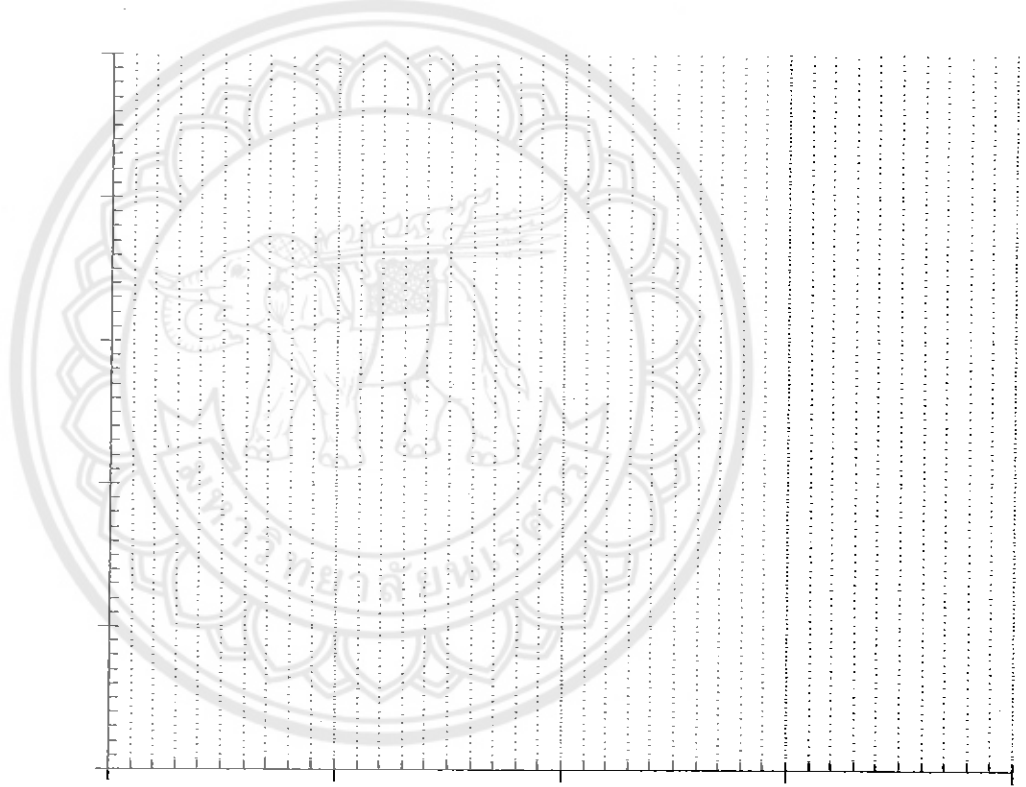
$$5. G_{WT} = \rho_{WT} \text{ because } \rho_{W 40C} = 1 \text{ gm/cc, obtained via Tab 1 in ASTM D-854 or Tab 6-1 Properties of Distilled Water in Bowles (1992)}$$

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

Soil Sample	_____	Project	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		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)					
Mass of flask+water @T, W _{FW} (gm)					

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



Temperature, T (°c)

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

Soil Description	Project
Location	Job No
Boring No	Test No
Sample No	Date
Sample Depth	Tested By
	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		
Mass of flask+water+soil @ T, W_{TWS} (gm)		686.50	684.30 ¹		
Mass of flask + water @ T, W_{FW} (gm)		656.03	655.60		
Evaporating dish no		5	6		
Mass of dish + dry soil, W_{DDS} (gm)		408.70	397.50		
Mass of dish, W_D (gm)		358.80	355.43		
Mass of dry soil, W_{DS} (gm)		49.90	42.07		
Specific gravity of soil @ T, G_T		2.57	3.15		
Average G_T		2.86			

Compute G @ T = 20° c

Temp. correc. fac. to G_{20} , K		0.99687	0.99687		
Specific gravity of soil @ 20° c, G_{20}		2.560	3.137		
Average G_T		2.848			

Compute G @ T = 4° c

Specific gravity of water @ T, G_{WT}		0.99511	0.99511		
Specific gravity of soil @ 4° c, 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 $(W_{DS} + W_{FW} - W_{FWS})$ = mass of water having same volume as soil used in test

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

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

$$5. G_{WT} = \rho_{WT} \text{ because } \rho_{W4^{\circ}C} = 1 \text{ gm/cc, obtained via Tab 1 in ASTM D-854 or Tab 6-1 Properties of Distilled Water in Bowles (1992)}$$

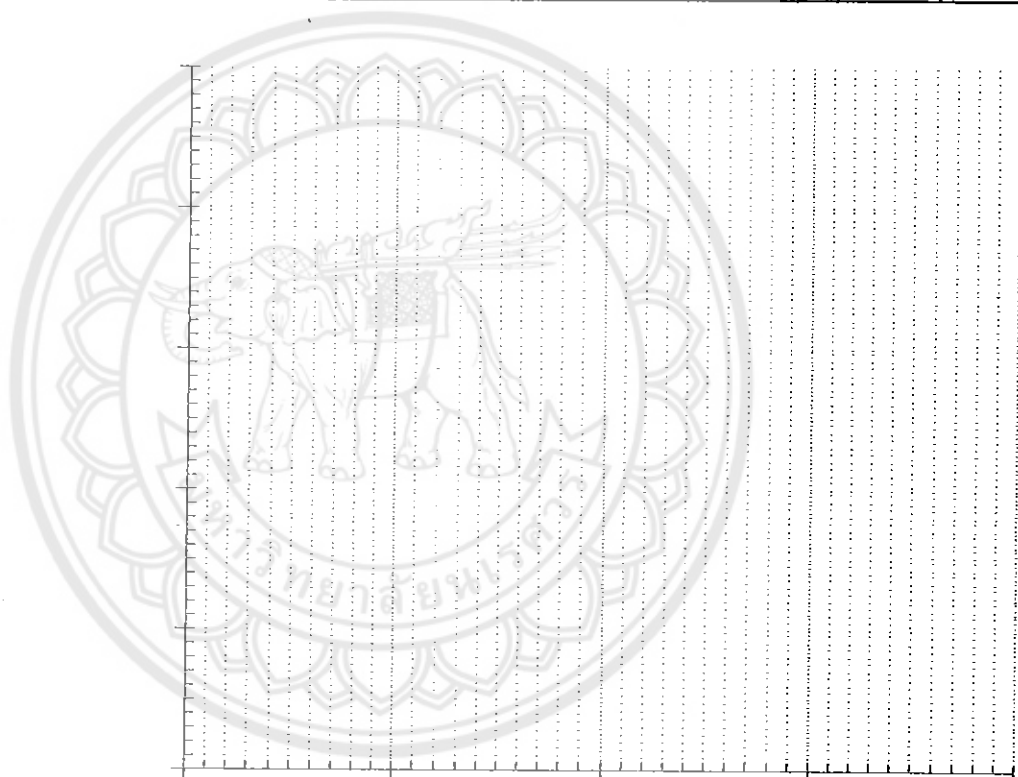
$$6. G_S = G_{WT} * G_T, G_{WT} = \rho_{WT} / \rho_{W4}, \text{ obtained via Tab 1 in ASTM D-854}$$

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

Project _____
 Job No _____
 Test No _____
 Date _____
 Tested By _____
 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)	45.0	40.0	35.0	30.0	25.0
Mass of flask+water @T, W _{FW} (gm)	653.2	653.5	655.8	656.4	657.0

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



Temperature, T (°c)

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Sample of Calculation

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

8.1 Mass of dry soil , W_{DS}

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

8.2 Specific gravity of soil @T , G_T

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

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

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\text{density of water at } T^0 \text{ c}}{\text{density of water at } 20^0 \text{ c}} \\
 &= \frac{\rho_{WT}}{\rho_{W20}} \\
 &= \frac{0.99511}{0.99823} && \frac{\text{gm mL}}{\text{mL gm}} \\
 &= 0.99687
 \end{aligned}$$

8.4 Specific gravity of soil @ 20^0 c, G_{20}

$$\begin{aligned}
 G_{20} &= (\text{specific gravity of soil @T}) * (\text{temp. correc. Fac. To } G_{20}^0) \\
 &= G_T * K \\
 &= 2.58 * 0.99687 \\
 &= 2.572
 \end{aligned}$$

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

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

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 (SG) นี้มีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติทางด้านอื่นๆ ของดิน อันได้แก่

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

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

9.3 ใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของการยุบตัวของดิน (Consolidation)

9.4 ใช้ในการคำนวณหาขนาดเม็ดดิน (Grain size analysis) โดยการทดสอบการตกตะกอนของตัวอย่าง

Test 4 Grain Size Analysis

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- 1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995. P. 10-16
- 1.2 Bowles, J.E. Engineering Properties of soil and Their Measurement. 1970 p. 43-69
- 1.3 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. P. 8-32
- 1.4 วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 30-46

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาขนาดของเม็ดดินขนาดต่างๆ โดยแสดงในรูปของความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนของเม็ดดินที่มีอยู่ในมวลดิน

3. หลักการ (Principals)

ความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนกันของเม็ดดินขนาดต่างๆ ในมวลดินสามารถหาได้จาก การกระจายขนาดของเม็ดดินออกเป็นส่วนๆ โดยวิธีการทดสอบจะพิจารณาจากขนาดของเม็ดดิน ดังนี้

3.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เป็นวิธีที่ใช้กับดินประเภทที่ปริมาณเม็ดดินเกือบทั้งหมดไม่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้ และไม่สามารถบอกได้ว่าเม็ดดินมีลักษณะเป็นสีเหลี่ยมหรือกลม แต่บอกได้เพียงมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ที่เท่าไรเท่านั้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการหาขนาดของเม็ดดินนี้สามารถนำมาแสดงในรูปของเส้นกราฟเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและพิจารณาการกระจายขนาดของเม็ดดิน โดยการนำขนาดของเม็ดดินและค่าของเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง (Percent Passing) หรือ (Percent Finer) ไปเขียนบนกราฟ Semi - Log ก็จะได้เส้นโค้งของการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Gradation Curve) ดังรูป 4.2 และสามารถนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, C_u) ได้ดังนี้

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

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity, C_c) จะได้ดังนี้

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

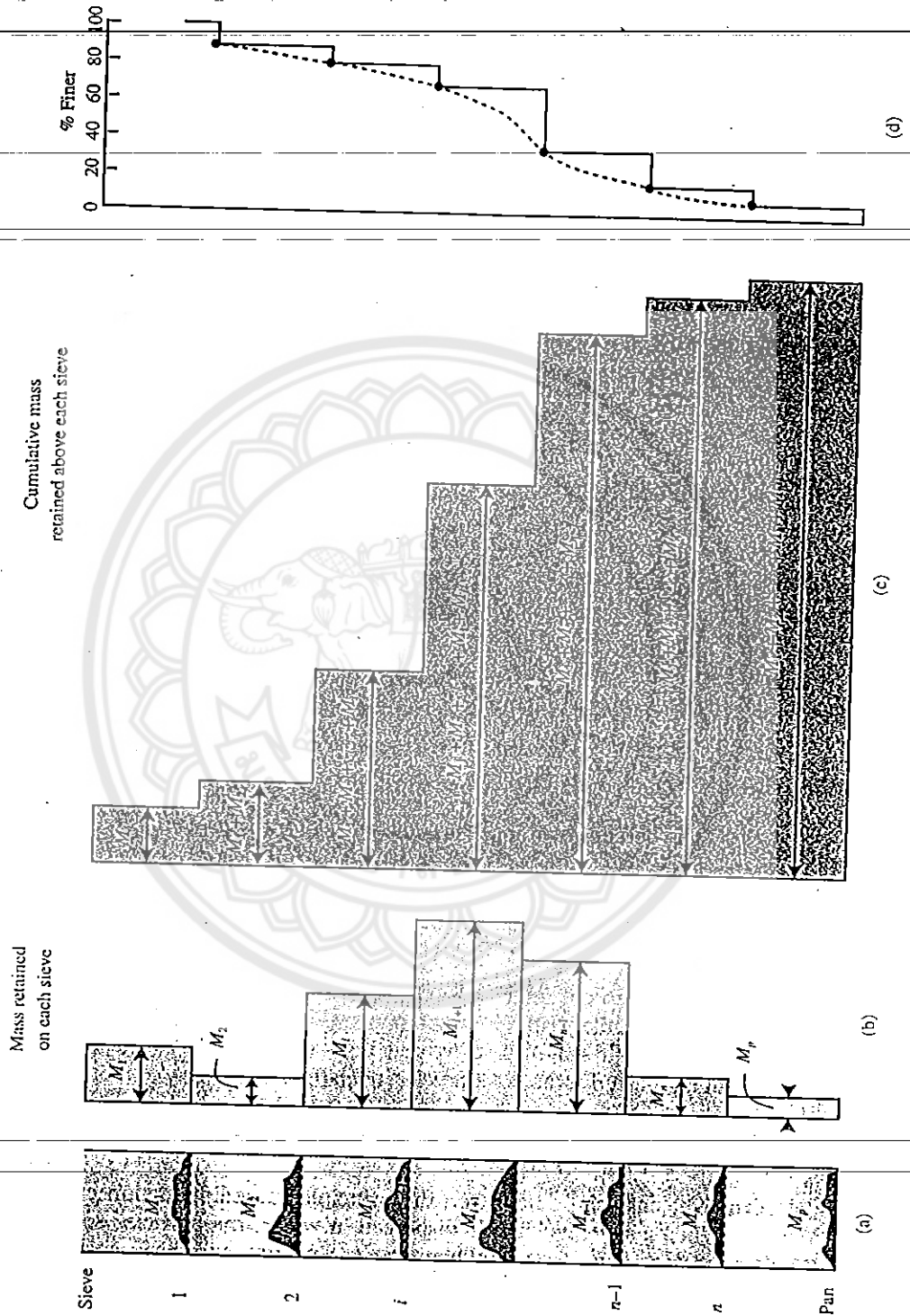
เมื่อ D_i = ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินที่มี i เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักที่มีขนาดเล็กกว่า โดยดินที่มีขนาดคละกันดี (Well Graded) นั้น จะมีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) และค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity) ดังรูปที่ 4.1

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

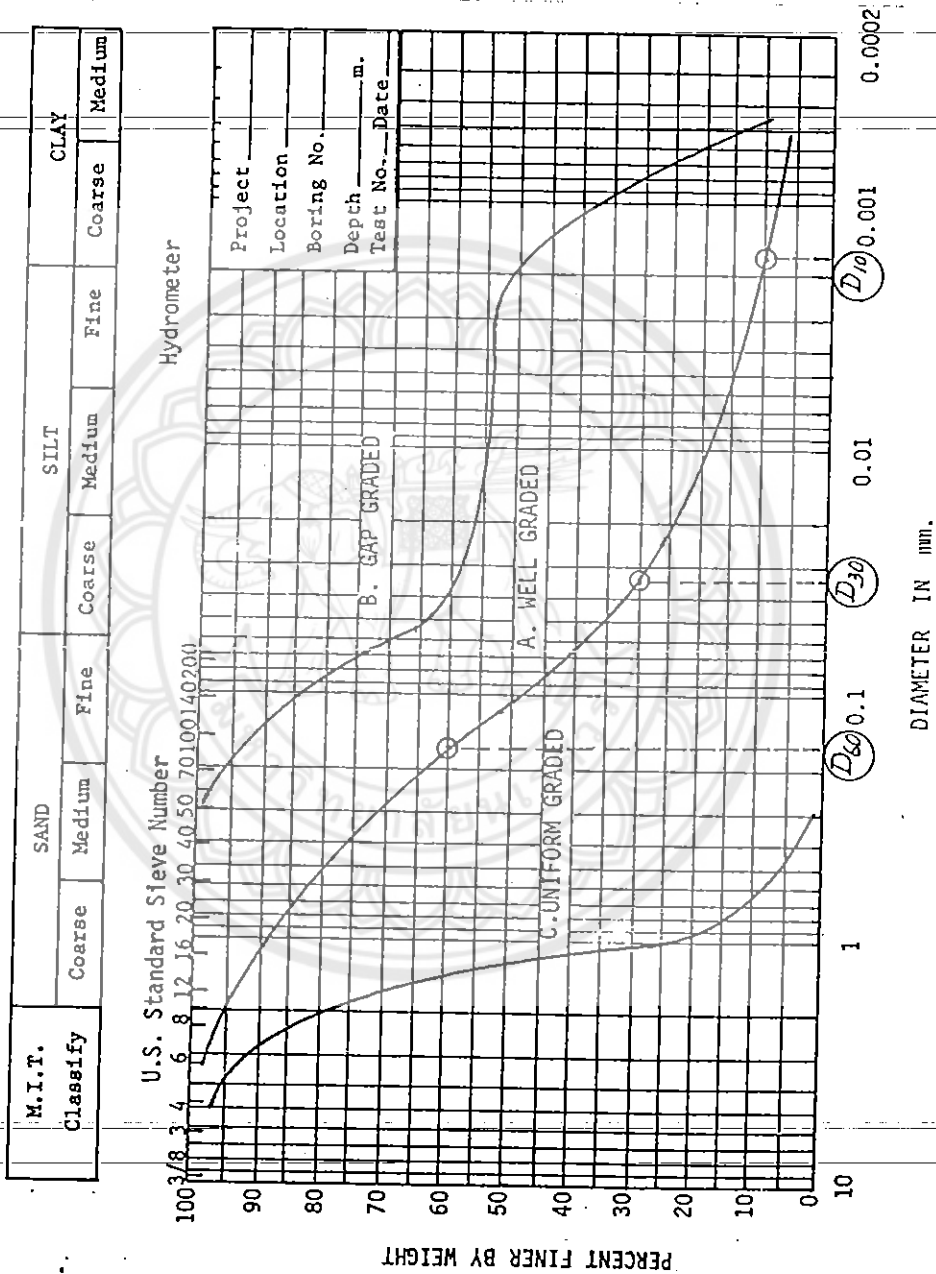
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับดินที่มีขนาดคละกัณฑ์

สำหรับดินที่ไม่มีขนาดคละกัณฑ์ (Poorly Graded) จะไม่เป็นดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเป็นประเภทดินที่มีขนาดเม็ดเดี่ยว (Uniform Graded) และดินที่มีขนาดเม็ดขนาดช่วง (Gap Graded) ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จะมีความชันมากและเป็นเส้นระนาบตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.1 แสดงหลักการทดสอบการร่อนดินด้วยตะแกรง (DAS, 1998)



รูปที่ 4.2 กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

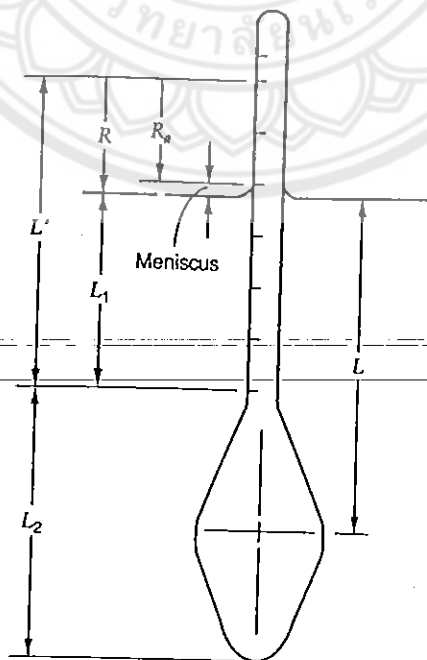
3.2. วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test) เป็นวิธีที่ใช้กับดินที่มีปริมาณเม็ดดินเกือบทั้งหมดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือขนาดเล็กลงกว่าตะแกรงเบอร์ 200 โดยวิธีนี้ตั้งอยู่ในสมมติฐานว่าเม็ดดินมีลักษณะทรงกลม ความเร็วในการตกตะกอนแบบอิสระเป็นไปตามสมการของ G.G. Stokes (1850) และเรียกว่า Stokes's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

ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์จะเป็นค่าของน้ำหนักเม็ดดินที่แขวนตัวอยู่ในหน่วยเป็นกรัม ซึ่งในการอ่านค่าแห่งของไฮโดรมิเตอร์ในวิธีการนี้ต้องมีการปรับแก้เพราะค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ไม่ใช่ค่าที่แท้จริงเนื่องจากค่าของตัวประกอบ (Factor) ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ซึ่งค่าที่ปรับแก้เรียกว่า "Corrected Hydrometer Reading" หรือ R_c ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.2.1. ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction) คือ ค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านจริงกับค่าที่ควรอ่านที่ระดับท้องน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ด้วยสาเหตุที่ส่วนผสมมีลักษณะขุ่น การอ่านค่าที่ระดับท้องน้ำเป็นไปได้ยากจึงต้องอ่านค่าที่ผิวโค้งบนของของเหลวแทน ซึ่งการอ่านค่าปรับแก้เนื่องจากความโค้งผิวน้ำนี้ทำได้โดยอ่านค่าในน้ำเปล่า

3.2.2. ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction, C_1) คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ในน้ำเปล่ากับค่า 1.000 จริง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ โดยมีค่าดังตาราง 4.5

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



ตารางที่ 4.2 ค่าปรับแก้ของการเกิดโค้งผิวน้ำ (Meniscus Correction) (Bowles, 1992)

Temp., °C	Unit weight of water, g/cm ³	Viscosity of water, poise*	ϵ_s of soil solids	Correction factor α
4	1.00000	0.01567		
16	0.99897	0.01111	2.85	0.96
17	0.99880	0.01083	2.80	0.97
18	0.99862	0.01056	2.75	0.98
19	0.99844	0.01030	2.70	0.99
20	0.99823	0.01005	2.65	1.00
21	0.99802	0.00981	2.60	1.01
22	0.99780	0.00958	2.55	1.02
23	0.99757	0.00936	2.50	1.04
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 4.3 Properties of distilled water ($\eta = \text{absolute}$)
(Bowles, 1992)

ตารางที่ 4.4 Correction factors α 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 4.5 Temperature correction factors C_T (Bowles, 1992)

G γ_s of Soil Solids								
Temp., °C	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	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 : $\text{mm} \left(\frac{\text{min}}{\text{cm}} \right)^{1/2}$

ตารางที่ 4.6 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	12.9	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	8.8
5	15.5	26	12.0	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.2	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	11.1	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	10.5	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	7.0
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 4.7 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 พร้อมภาครอง)

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)

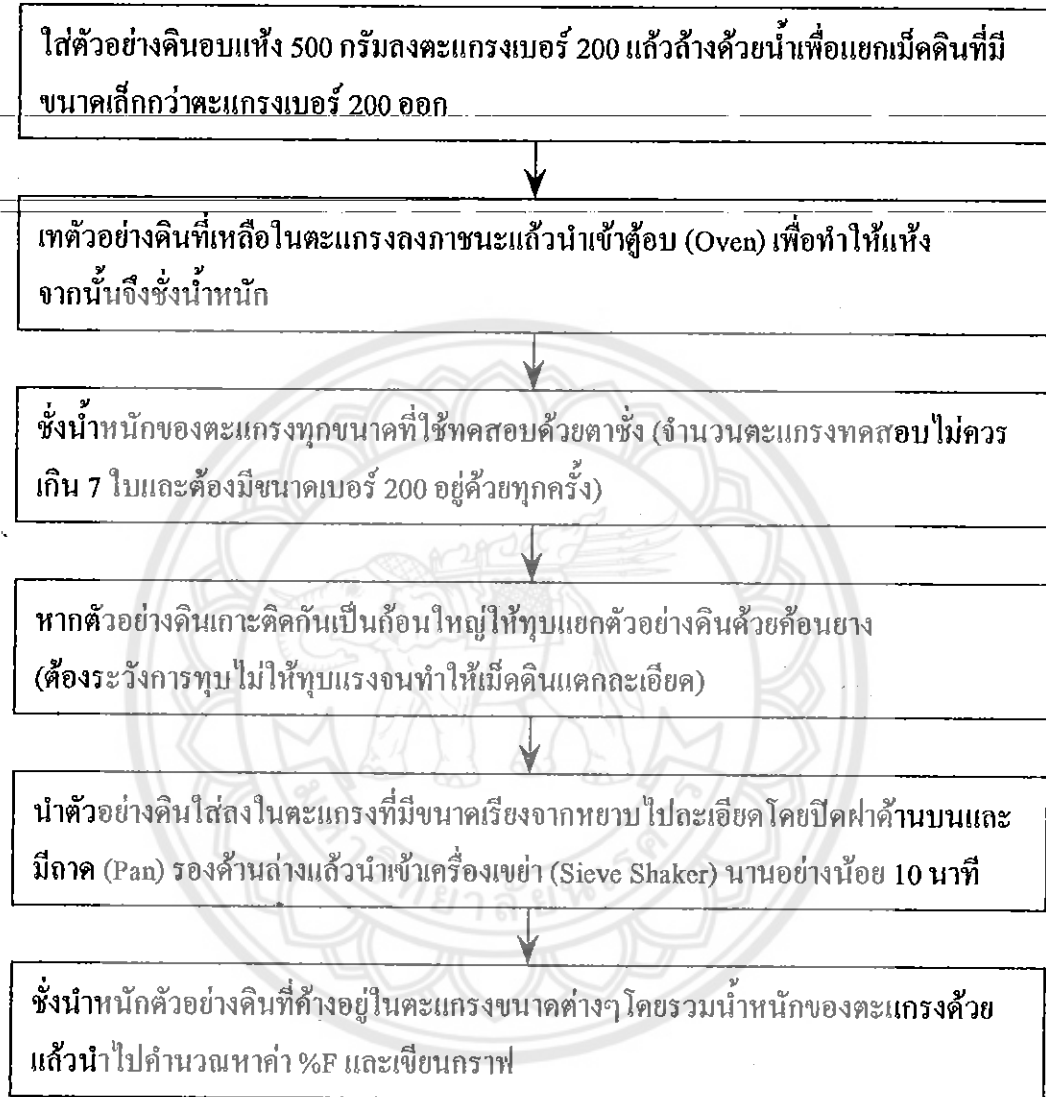
4.2.8 เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียด 0.1 °C

4.2.9 ภาชนะอบแห้ง

4.2.10 นาฬิกาจับเวลา

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบวิธีร่อนผ่านตะแกรง

หมายเหตุ

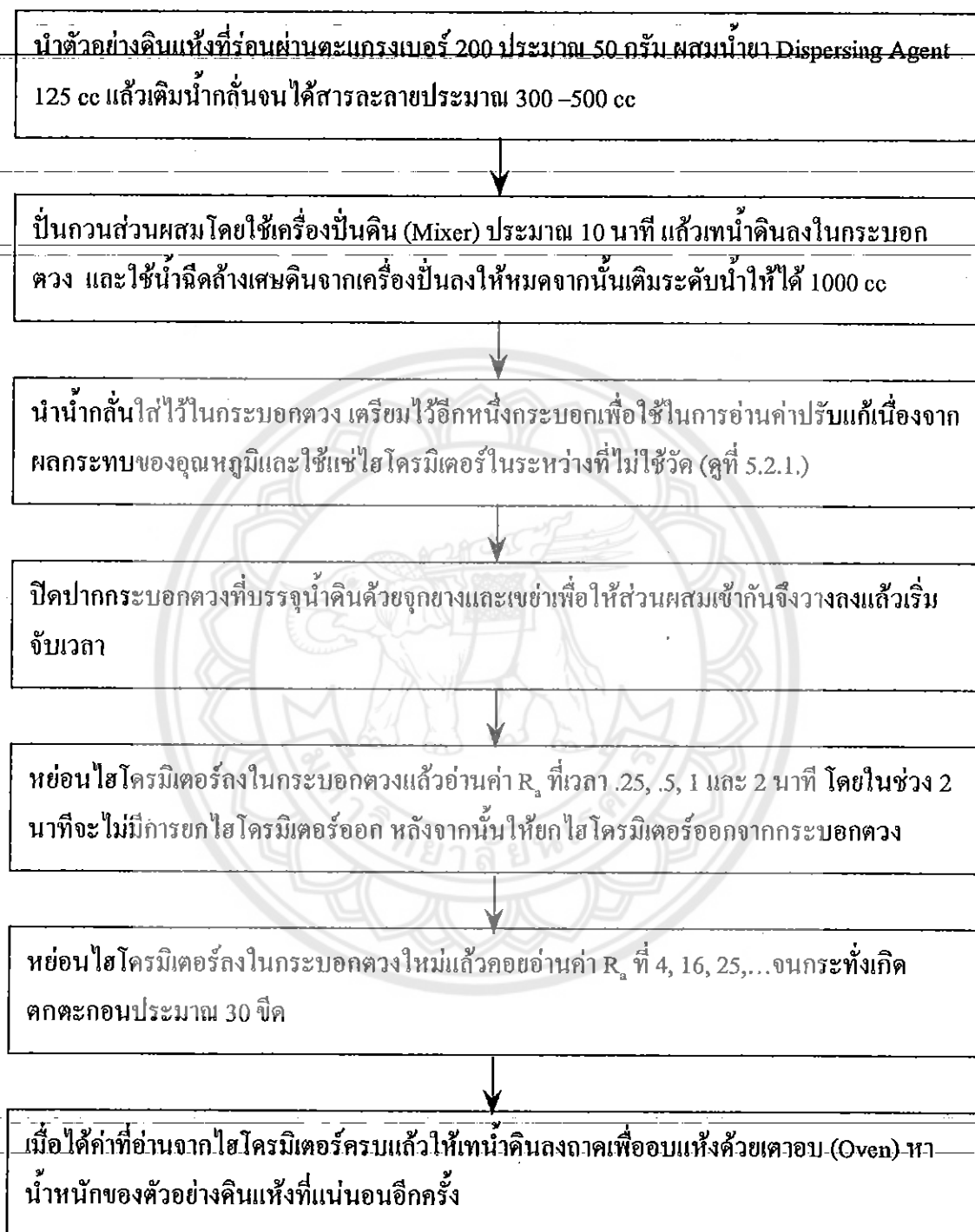
เกณฑ์ของการเลือกน้ำหนักตัวอย่างดินแห้งที่จะใช้ในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินที่ใหญ่ที่สุด ดังรูปนี้

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

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้งในการทดสอบโดยร่อนผ่านตะแกรง

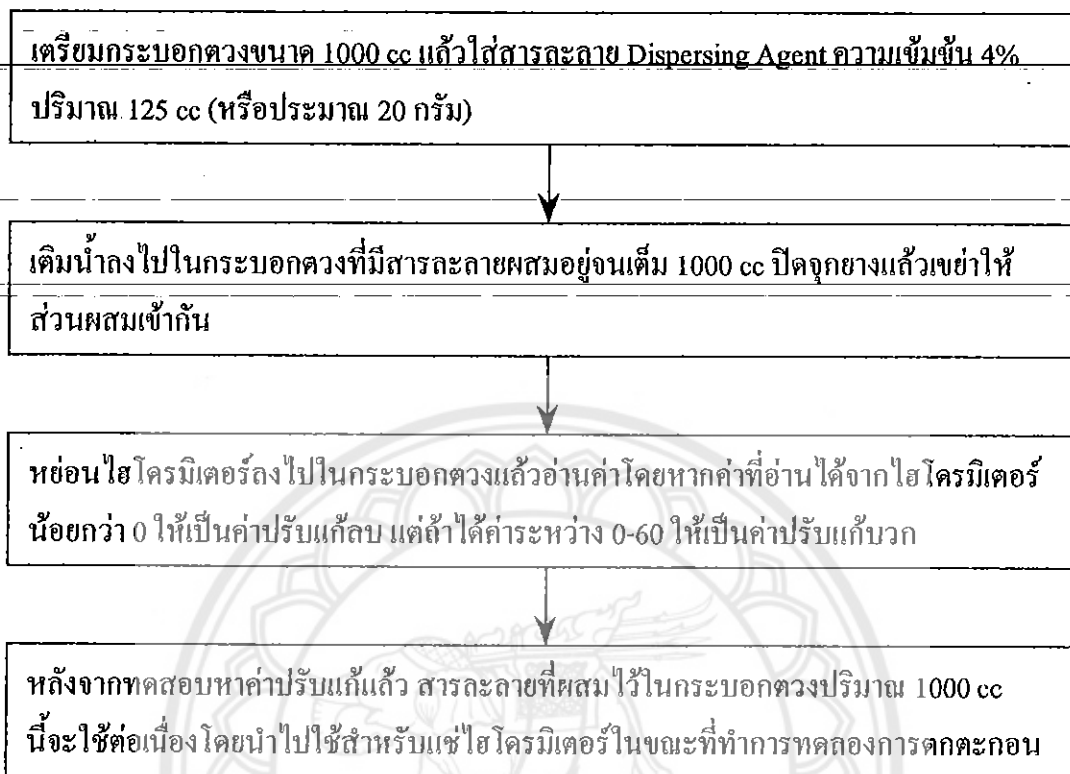


5.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)



รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนทดสอบการตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

5.2.1 การหาค่าปรับแก้เนื่องจากของเหลวไม่บริสุทธิ์ (Zero Correction)



รูปที่ 4.5 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

วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		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 (%)

- NOTE :
1. $W_{RS} = W_{SRS} - W_s$
 2. $\%PR = (W_{RS} / \text{Mass of dry soil used in test}) * 100$
 3. $\%R = \text{summation } \%PR \text{ of coarser sieve}$
 4. $\%F = 100 - \%R$

วิธีทดสอบโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

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

Type 152H - Hydrometer Test Analysis

Dry Soil Mass (gm)	_____	Zero Cor., C _Z	_____
Control Sieve No.	_____	Meniscus	_____
% Finer than controlled sieve no, %F _{CS#}	_____	G _s of Solids	_____
Dispersing Agent	_____	G _s Correction Factor, a	_____

Date	Time of Reading	Elapsed Time t (min)	Temp. of Soil-Wat. Suspen. T (°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} 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)

- 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. $L = \text{fn}(R)$, from Table 4.9
 8. $D = K (L / t)^{0.5}$

7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

7.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

Soil Description	_____	Project	_____
Location	_____	Job No	_____
Boring No	_____	Test No	_____
Sample No	_____	Date	_____
Sample Depth	_____	Tested By	_____
		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 :
- $W_{rs} = W_{srs} - M_s$
 - $\%PR = (MRS / \text{Mass of dry soil used in test}) * 100$
 - $\%R = \text{summation } \%PR \text{ of coarser sieve}$
 - $\%F = 100 - \%R$

7.2 วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Test)

Soil Description	Project		
Location	Job No		
Boring No	Test No		
Sample No	Date		
Sample Depth	Tested By		
	Checked By		
Type 152H - Hydrometer Test Analysis			
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. Suspen. 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}^5 (%)	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	0.0268
		4	22	42	0.4	39.4	78.0	60.8	43	9.2	2.3	0.0131	0.0199
		8	22	37	0.4	34.4	68.1	53.1	38	10.1	1.2625	0.0131	0.0147
		16	22	31	0.4	28.4	56.2	43.9	32	11.1	0.69375	0.0131	0.0109
		30	22	26	0.4	23.4	46.3	36.1	27	11.9	0.39667	0.0131	0.0083
		60	22	24	0.4	21.4	42.4	33.1	25	12.2	0.20333	0.0131	0.0059
		125	22	21	0.4	18.4	36.4	28.4	22	12.7	0.1016	0.0131	0.0042
		330	23	18	0.7	15.7	31.1	24.2	19	13.2	0.04	0.0129	0.0026
		990	23	16	0.7	13.7	27.1	21.2	17	13.5	0.01364	0.0129	0.0015
		1410	24	14	1.0	12.0	23.8	18.5	15	13.8	0.00979	0.0127	0.0013
		2850	24	10	1.0	8.0	15.8	12.4	11	14.5	0.00509	0.0127	0.0009

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

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 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)

8.2.1 Corrected Hydrometer Reading, R_C

$$\begin{aligned}
 R_C &= (\text{Hydrometer Reading}) - (\text{Zero Correction}) + (\text{Temperature Correction Factor}) \\
 &= R_A - C_Z + C_T \\
 &= 47 - 3 + 0.4 \quad \text{gm} \\
 &= 44.40 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.2.2 Percent Finer, %F

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

8.2.3 Adjusted Percent Finer, %F_{AD}

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

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

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

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 Grain Size Analysis เป็นมาตรฐานหนึ่งที่ได้รับการยอมรับสำหรับใช้ในการก่อสร้างงานถนน, พื้นสนามบิน, งานคันดิน และเขื่อน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Grain Size Analysis จะถูกใช้ในการทำนายการเคลื่อนไหวของน้ำในดิน (แม้ว่าโดยปกติจะทำการทดสอบด้วยวิธี Permeability Test ที่ตาม) และยังมีความเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการเกิด Frost action ในดินอีกด้วย

9.2 จากกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน ขนาดที่ระบุในกราฟนั้นแท้ที่จริงแล้วเป็นเพียงขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

9.2.1 ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ขนาดเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น ยาวรี, แผ่น, กลม หรืออื่นๆ ได้

9.2.2 ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของ เม็ดดินเอง และผนังภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้อง ทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง

9.2.3 รูปร่างของดินเหนียวมักเป็นแผ่น มีไซ์ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจริงจึงคล้ายใบไม้ห่อจากต้น จึงทำให้การคำนวณความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง

9.2.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการคำนวณการตกตะกอน ถือเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งความจริงดินแต่ละเม็ดอาจจะมีธาตุสาร ไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากก็ได้

Test 5 Compaction Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

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

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

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

1.4 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525.

หน้า 59-68

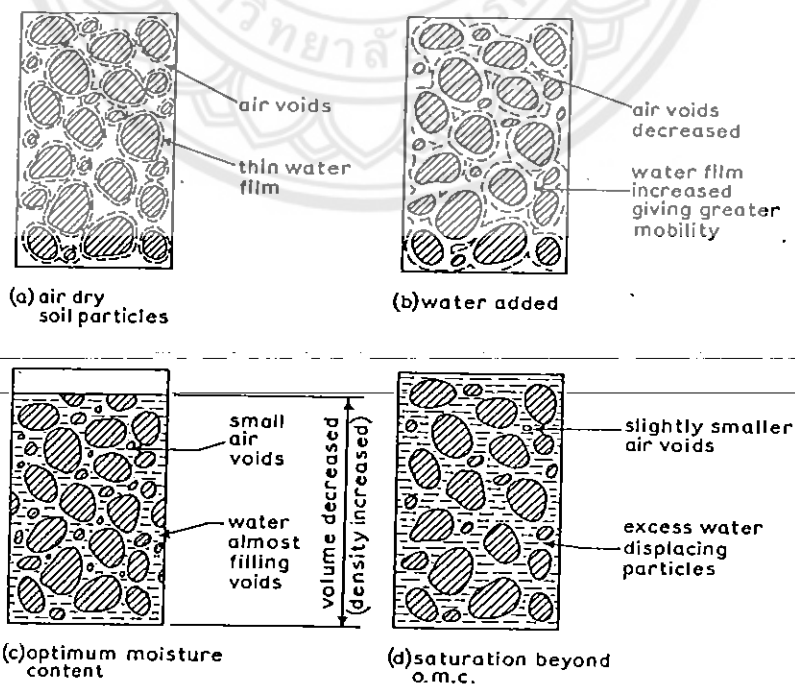
2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

2.1 เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content) กับความหนาแน่น (Density) ของดินตัวอย่างที่ได้จากการบดอัด

2.2 เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้บดอัด (Optimum Water Content)

2.3 เพื่อทดสอบหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density)

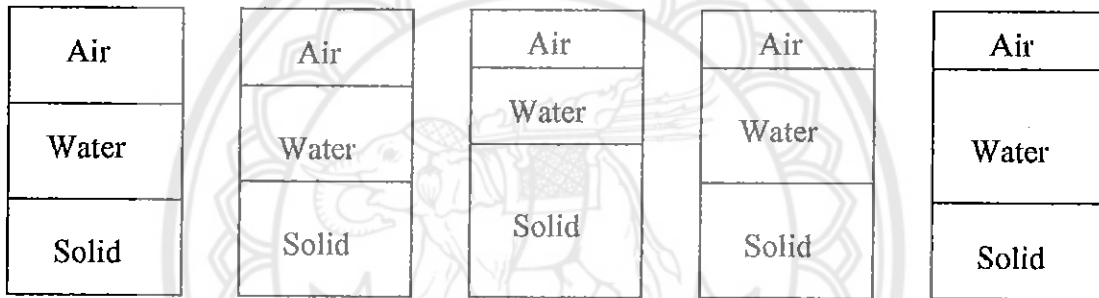
3. หลักการ (Principals)



รูปที่ 5.1 แสดงถึงลักษณะของเม็ดดินที่ถูกบดอัด (HEAD, 1980)

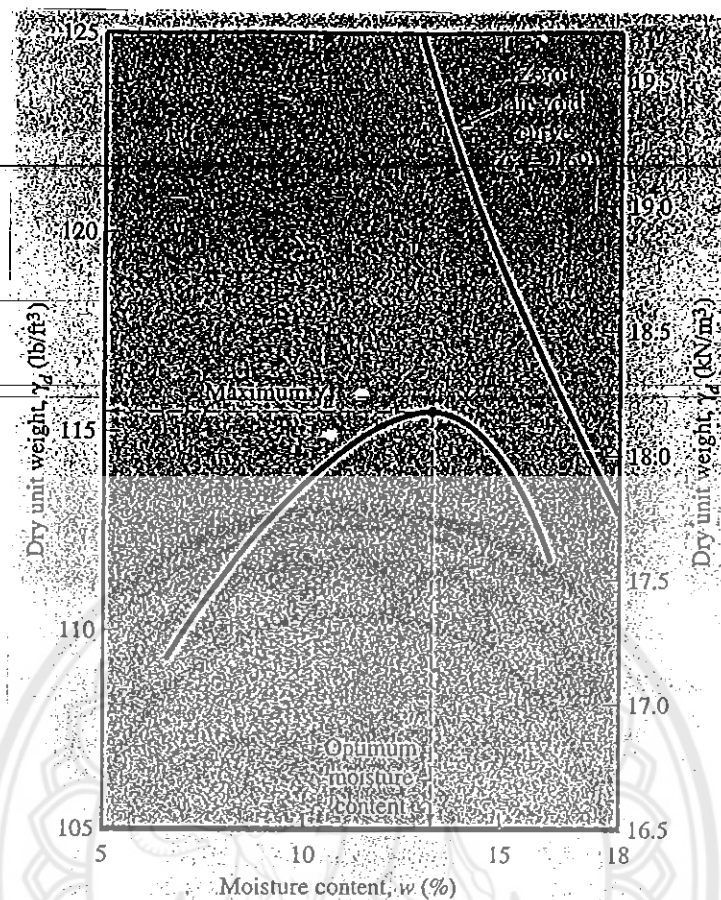
จากรูป ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินต่ำ (Low water content) เมื่อดินจะถูกล้อมรอบไปด้วยแผ่นฟิล์มบางๆของน้ำ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้เม็ดดินสามารถที่จะถูกบดอัดได้ง่ายขึ้น และอากาศภายในดิน (Void) จะถูกแทนที่ด้วยน้ำเท่านั้น ส่งผลให้ค่า Dry density เพิ่มมากขึ้น โดยน้ำจะถูกเพิ่มไปเรื่อยๆกระทั่งถึงจุดที่เม็ดดินจะถูกบดอัดจนถึงสภาวะที่แน่นที่สุด เมื่อเพิ่มน้ำเข้าไปอีก มันจะกลับทำให้เกิดการผลักกันของเม็ดดิน ทำให้ดินหลวม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นลดลง จึงทำให้ค่า γ_d ลดลงตามไปด้วย

จากลักษณะความสัมพันธ์ของดินที่บดอัดกับปริมาณน้ำที่ถูกเพิ่มเข้าไปดังที่กล่าวข้างต้นสามารถเขียนเป็น Phase Diagram ของดินได้ดังนี้



รูปที่ 5.2 Phase Diagram ของดิน

เมื่อทำการทดสอบบดอัดดินแล้วก็จะนำค่าปริมาณน้ำที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water content, w) กับ Dry Unit Weight ของดิน (γ_d) มาพลอตเป็นกราฟดังรูปที่ 5.3 โดยจากรูป จุดสูงสุดของเส้นกราฟคือ Optimum Water Content เป็นจุดของค่าความชื้นหนึ่งๆ ที่ทำให้ความหนาแน่นของดินเกิดมากที่สุด กล่าวได้ว่าดินสามารถที่จะถูกบดอัดอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดที่ความชื้นระดับนี้



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Dry unit weight และ Water content ของดินบดอัด (DAS, 1998)

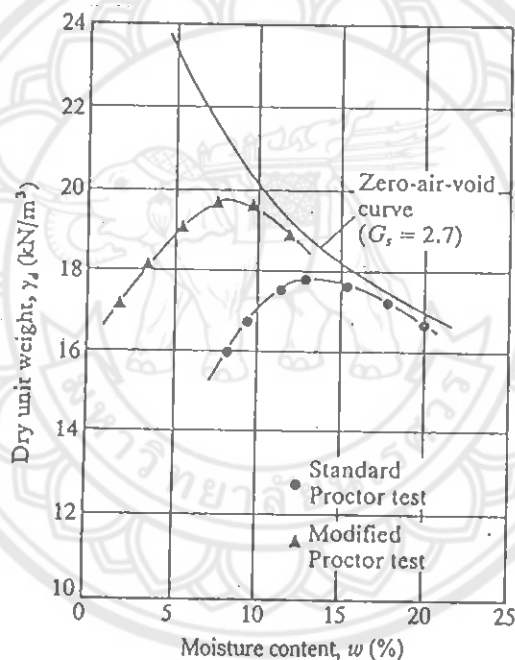
การทดสอบการบดอัดมี 2 วิธี ได้แก่

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

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

No.	Item	Specifications	
		Standard Proctor	Modified Proctor
1	Volume of mold	1/30 ft ³ (0.94 × 10 ⁻³ m ³)	1/30 ft ³ (0.94 × 10 ⁻³ m ³)
2	Mass of hammer	55 lb (24.9 kg)	10 lb (4.536 kg)
3	Height of drop of the hammer	12 in. (304.8 mm)	18 in. (457 mm)
4	Number of hammer blows per layer of soil	25	25
5	Number of layers of compaction	3	5
6	Energy of compaction	12375 ft·lb/ft ³ (695 kJ/m ³)	25625 ft·lb/ft ³ (2695 kJ/m ³)

ตารางที่ 5.1 Specifications for the Standard and Modified Proctor Tests (DAS, 1995)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Standard and Modified Proctor Tests (DAS, 1995)

จากรูปที่ 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 จะสังเกตเห็นเส้นโค้งหงายที่อยู่เหนือเส้นกราฟทั้งสองเส้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเส้นกราฟนั้นคือ ค่า Zero Air Void ถือเป็นค่าความหนาแน่นของดินสูงสุดในทางทฤษฎี ไม่สามารถเป็นจริงในทางปฏิบัติได้ เนื่องจากเป็นสภาวะที่ไม่มีอากาศหลงเหลืออยู่ในดินบดอัดเลย โดยค่า Zero Air Void นี้จะใช้เป็นค่าขอบเขตในการตรวจสอบความผิดพลาดของค่าการบดอัดที่ได้จากการทดสอบ ทั้งนี้เส้นกราฟของ Zero Air Void จะมีค่าสูงมากกว่ากราฟจากการทดสอบการบดอัดดินเสมอ

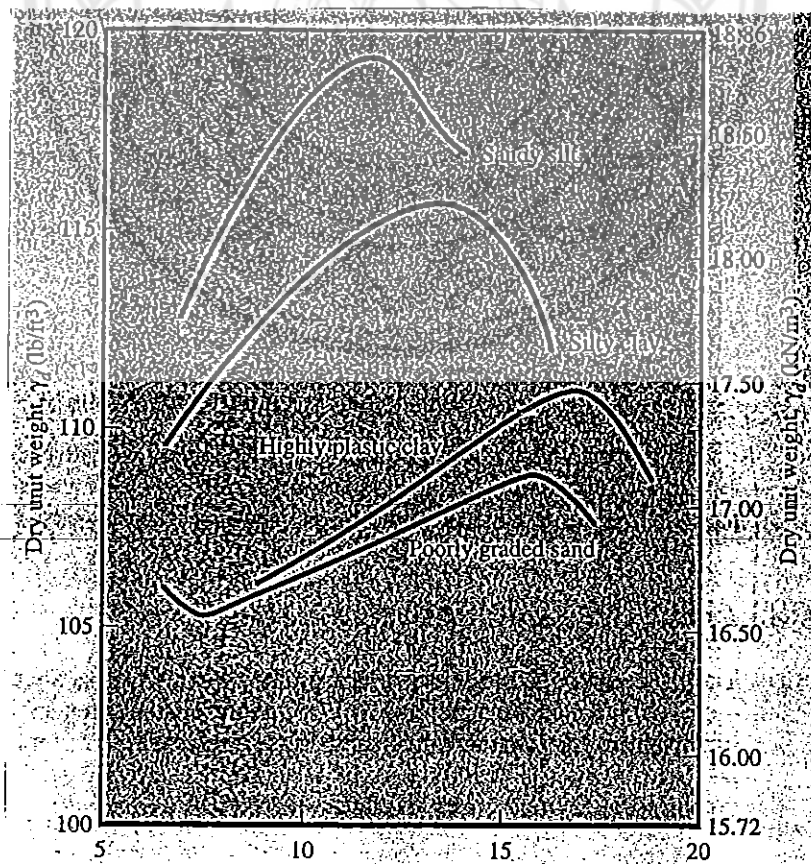
Degree of Saturation = 100% ดังนั้นจะหาค่า γ_a ที่สภาวะความชื้นที่กำหนดโดยการแทน $S = 1$ ในสมการดังนี้

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

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

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

1. ชนิดของดิน

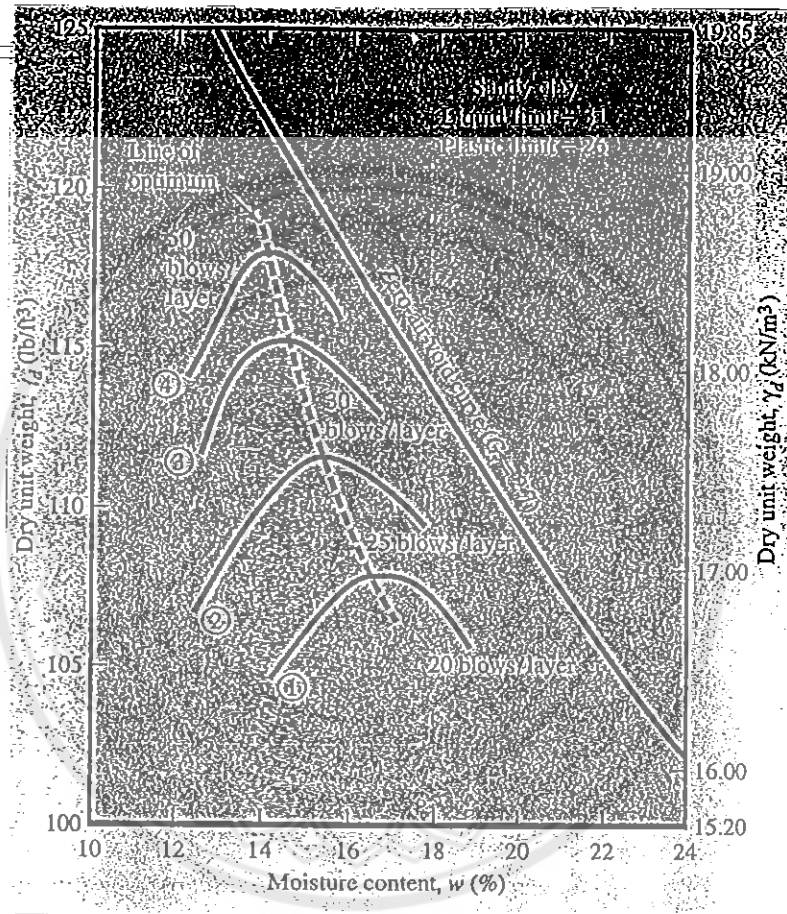


รูปที่ 5.5 ตัวอย่างกราฟของดินชนิดที่แตกต่างกัน (DAS, 1998)

2. Effect of Compaction Effort

$$E = \frac{(\text{Number of blows per layer})(\text{Number of layers})(\text{Weight of hammer})(\text{Height of drop of hammer})}{\text{Volume of mold}}$$

โดยหาค่าการกดอัดต่อปริมาตรของดินเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้เส้นกราฟโค้งของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่า Unit Weight เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังรูปที่ 5.6



Curve number in Figure 4.7	Number of blows/layer	Compaction energy (ft-lb/ft ³)
1	20	9,900
2	25	12,375
3	30	14,850
4	50	24,750

* 1 ft-lb/ft³ = 47.88 J/m³

รูปที่ 5.6 ผลของค่าพลังงานบดอัดต่อการบดอัดของ Sandy Clay (DAS, 1998)

จากรูปและตารางที่ 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 $\frac{3}{4}$ นิ้ว (Modified Proctor Test)

4.4 ค้อนยาง, แปรงอ่อนใช้ปัดดิน

4.5 ช้อนตักดิน

4.6 บรรทัดเหล็กปาดดิน

4.7 ถาดผสมดิน

4.8 ตาชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม และ 0.01 กรัม

4.9 เตาอบ (Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงถึง 105°C ได้อย่างสม่ำเสมอ

4.10 กระจงใส่ตัวอย่างดิน (Can)

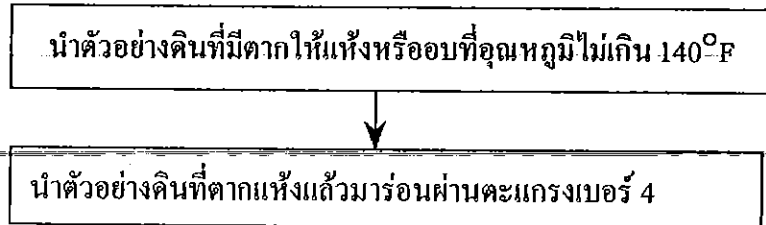
4.11 เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Ejector)

4.12 กระจบกดวง

5. วิธีการทดลอง (Method)

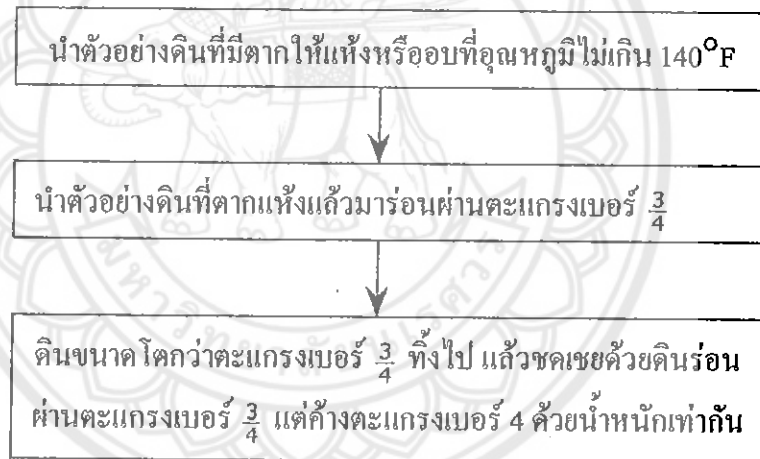
5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1 Standard Proctor Test



รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Standard Proctor Test

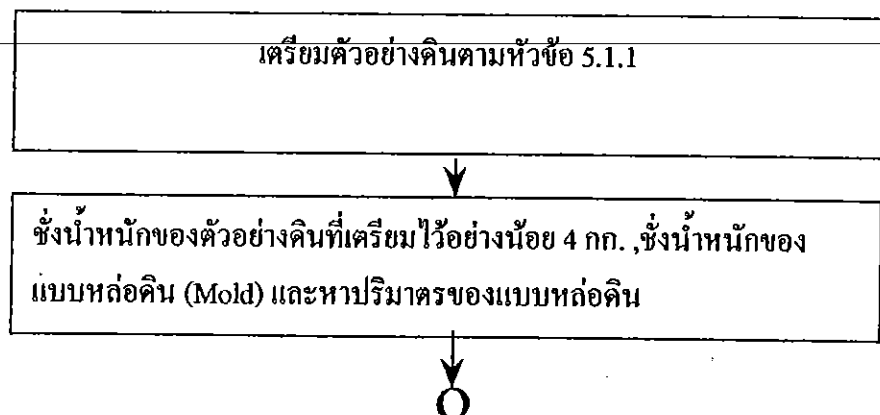
5.1.2 Modified Proctor Test

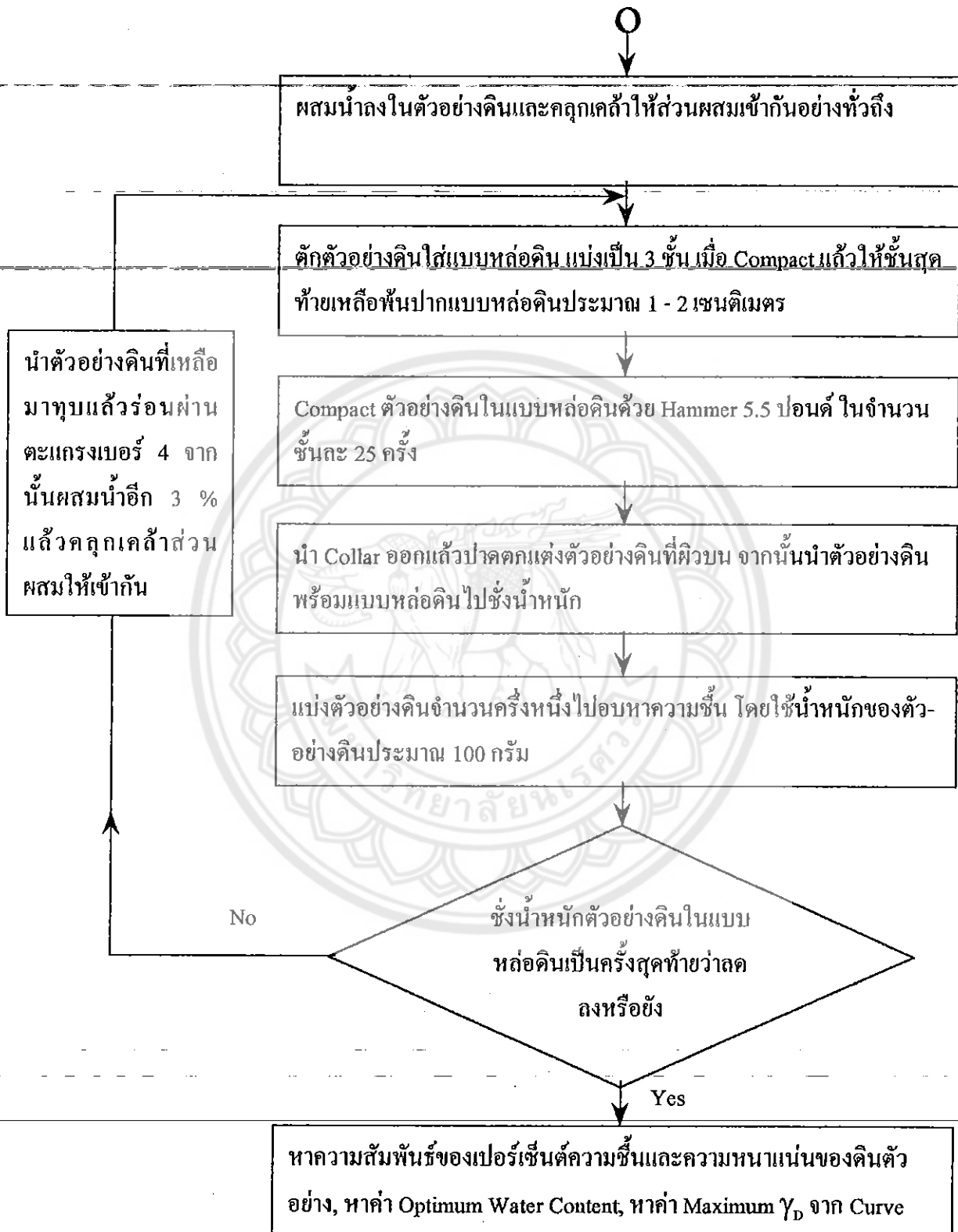


รูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของวิธี Modified Proctor Test

5.2 วิธีทดสอบการบดอัดดิน

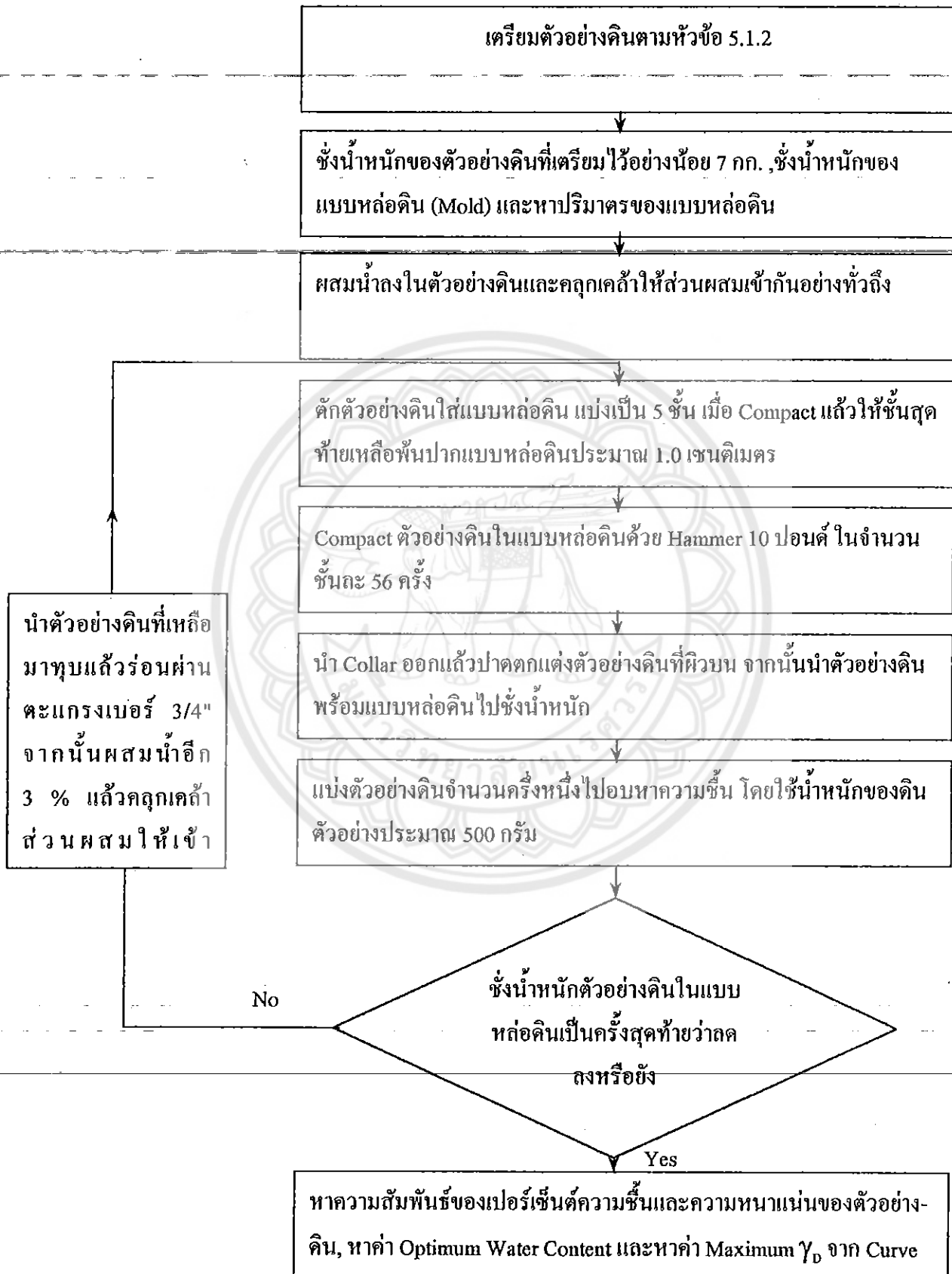
5.2.1 Standard Proctor Test





รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการทดสอบบดอัดดินวิธี Standard Proctor Test

5.2.2 Modified Proctor Test



รูปที่ 5.10 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)

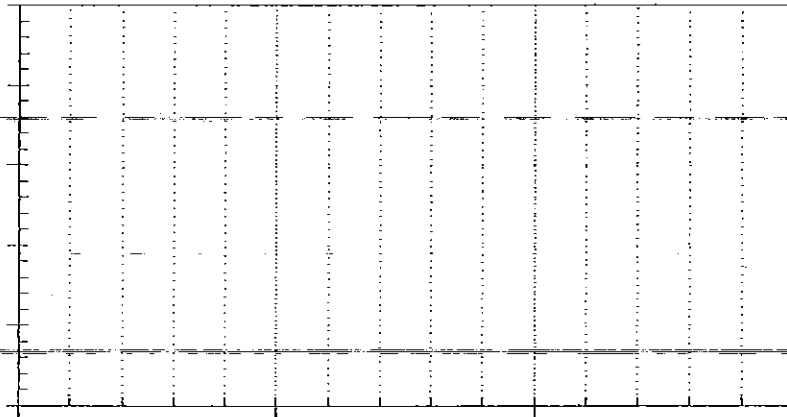
6.5 มวลของตัวอย่างดินเปียกที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{MWS})

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. Mass (kg) _____

Compaction Test No	1	2	3	4	5
<i>Water Content Determination:</i>					
Can 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 in can, W_{DS}^2 (gm)					
Water Content, w^3 (%)					
Average w					
<i>Unit Weight Determination:</i>					
Mass of Mold, W_M (gm)					
Mass of Mold + Wet soil, W_{MWS} (gm)					
Mass of Wet Soil in Mold, W_{WS} (gm)					
Wet Unit Weight, γ_T (kN/m^3)					
Dry Unit Weight, γ_D (kN/m^3)					

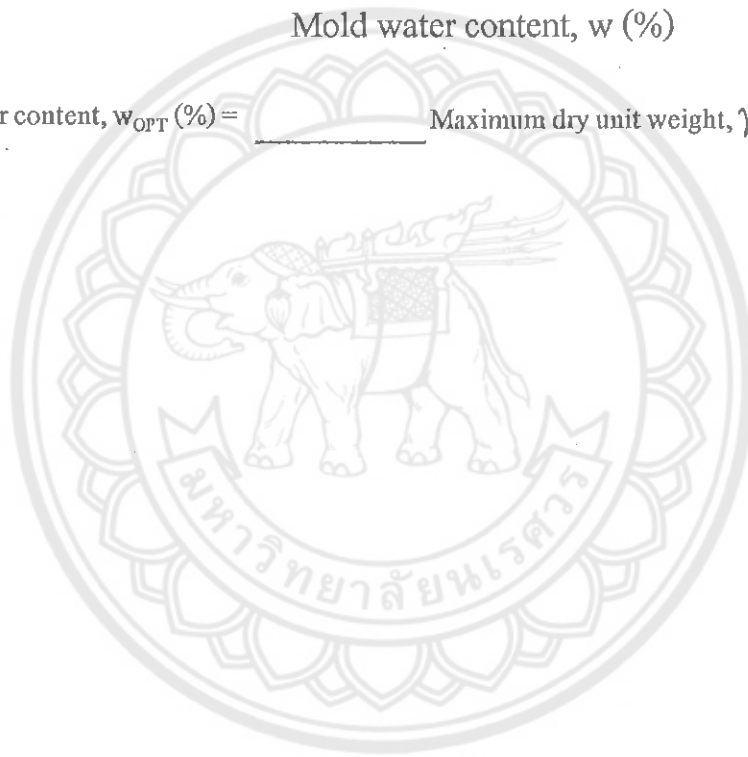
Note: 1. $W_w = W_{CWS} - W_{CDS}$ 2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$ 3. $w = (W_w / W_{DS}) * 100$
 4. $\gamma_T = \rho_T * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$, whereas ρ_T in gm/cc = $W_{WS} / \text{Vol of M}$ 5. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

Dry unit weight, γ_D (kN/m³)



Mold water content, w (%)

Optimum water content, w_{OPT} (%) = _____ Maximum dry unit weight, $\gamma_{D,MAX}$ (kN/m³) = _____



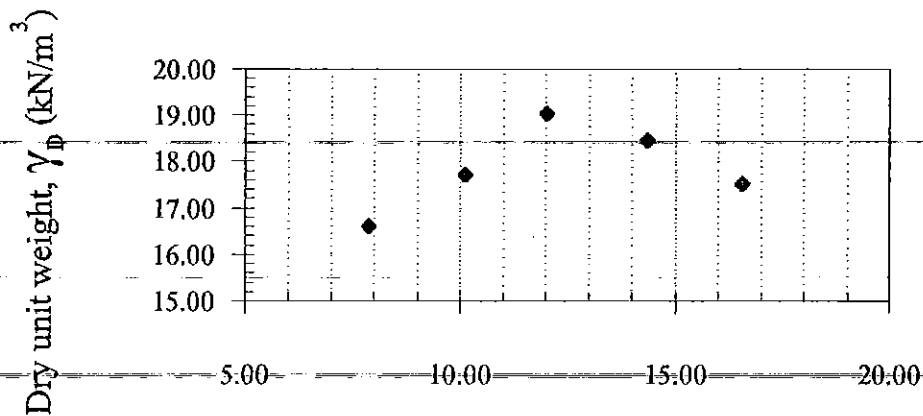
7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

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. Mass (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
Mass 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
Mass 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
Mass 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
Mass 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
Mass 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>											
Mass of Mold,	W_M (gm)	1933.00		1933.00		1933.00		1933.00		1933.00	
Mass of Mold + Wet soil,	W_{MWS} (gm)	3757.20		3921.40		4109.00		4082.50		4015.20	
Mass of Wet Soil in Mold,	W_{WS} (gm)	1824.20		1988.40		2176.00		2149.50		2082.20	
Wet Unit Weight,	γ_T (kN/m ³)	17.89		19.50		21.34		21.08		20.42	
Dry Unit Weight,	γ_D (kN/m ³)	16.59		17.71		19.03		18.44		17.53	

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 = $W_{WS} / \text{Vol of M}$ 5. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$



Optimum water content, w_{OPT} (%) = _____ Maximum dry unit weight, $\gamma_{D MAX}$ (kN/m³) = _____

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Compute water content (% w)

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 W_{ws} &= (\text{mass of wet soil + mold}) - (\text{mass of mold}) \\
 &= 3757.20 - 1933.00 \quad \text{gm} \\
 &= 1824.20 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.3 Wet Unit Weight, γ_T

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

$$\begin{aligned}
 \rho_T &= \frac{(\text{mass of wet soil in mold})}{\text{Vol. Of mold}} \quad \frac{\pi D^2 \times L}{4} \\
 &= \frac{1824.20}{1000} \quad \frac{\text{gm}}{\text{cc}} \\
 &= 1.8242 \quad \text{gm/cc} \\
 \gamma_T &= \frac{1.8242 \quad \text{gm} * 9.807 \quad \text{kN.cc}}{\text{cc} \quad \text{m}^3 \quad \text{gm}} \\
 &= 17.89 \quad \text{kN / cc}
 \end{aligned}$$

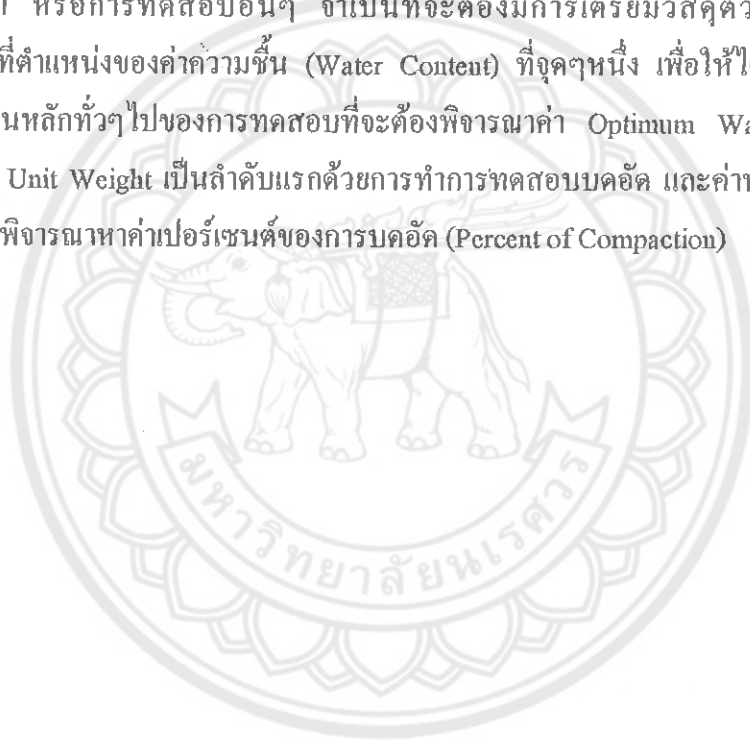
8.4 Dry Unit Weight, γ_D

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

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 ในงานก่อสร้างที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น งานถมชั้นทางถนน, เขื่อน, หรืองานฐานราก จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ใช้ให้ดีขึ้นจนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ เช่น กำลังของดิน (Shear Strength) การหดตัว (Shrinkage) หรือ การซึมผ่านของน้ำได้ (Permeability) และยิ่งรวมไปถึงการทรุดตัวของดิน 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)



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, ไฉ่เรียง-จิรพัฒน์-โชติโกกร 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

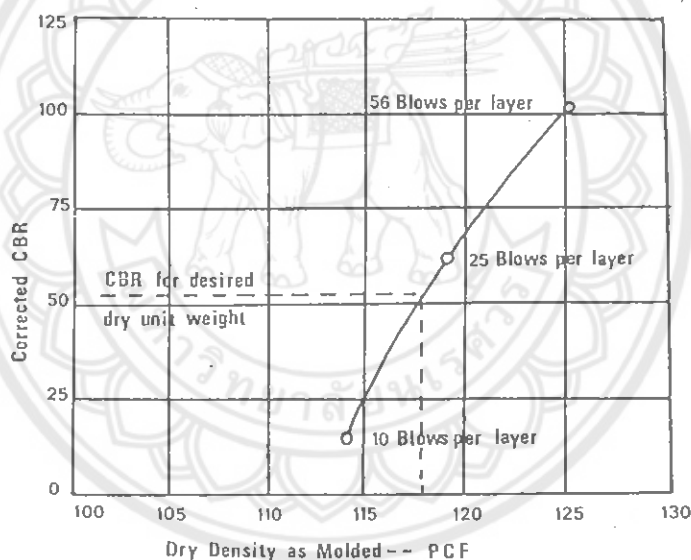
$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} * 100 \%$$

ค่า Standard Unit Load ของหินคลุกมาตรฐานบดอัดแน่น มีดังตารางที่ 6.1

PENETRATION		STANDARD UNIT STRESS	
mm	in	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

ตารางที่ 6.1 หน่วยแรงมาตรฐาน (California Division of Highway) (Bowles, 1992)

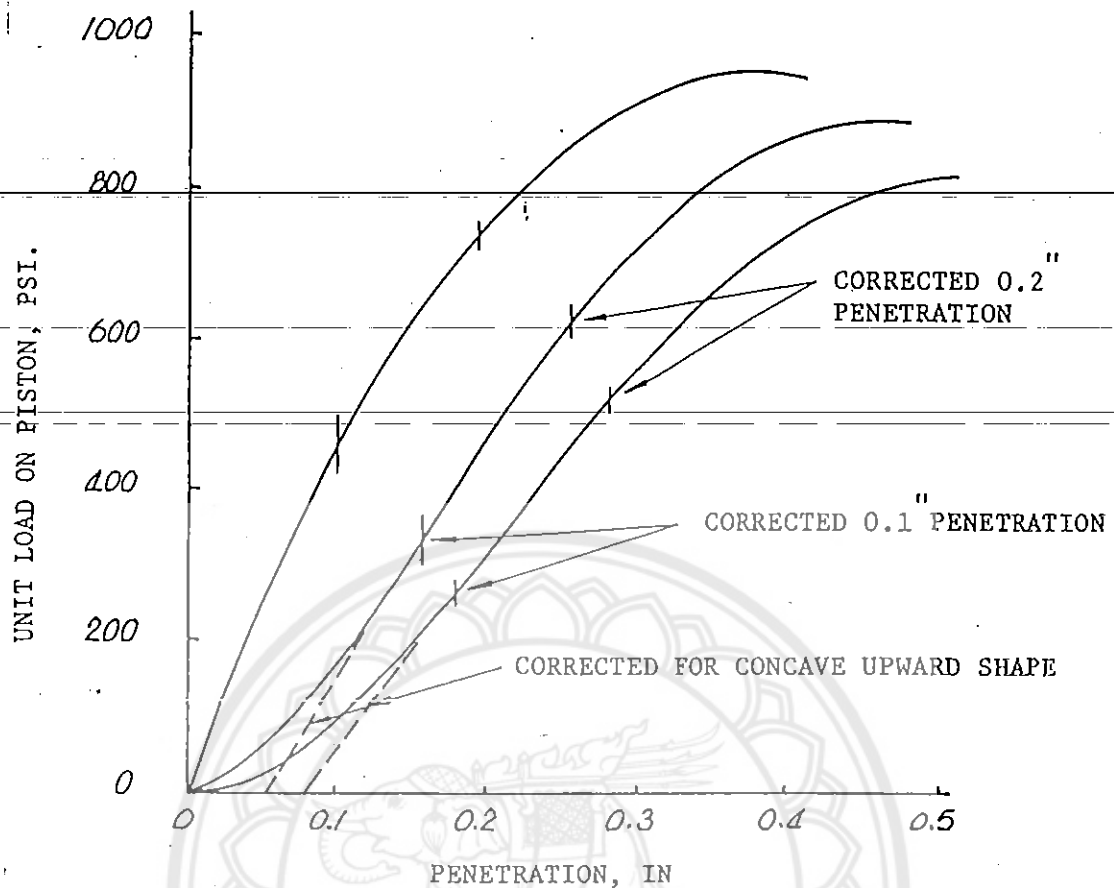
การทดสอบ CBR ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยการทำงานจริงการทดสอบ CBR จะทดสอบตัวอย่างดินจากบ่อยืม (Borrow Pit) ในชั้นออกแบบถนนและจะตรวจสอบอีกครั้งในช่วงการก่อสร้าง โดยจะทำการทดสอบควบคุมการทดสอบบดอัด (Compaction Test) และการทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม (Field Density Test) ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบบดอัดดินในห้องทดลองก่อนเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) หลังจากนั้นจึงทดสอบ CBR ที่ค่าความชื้นเดียวกัน ซึ่งในการทดสอบต้องการผลค่า CBR ที่ความหนาแน่นเดียวกันกับค่าความหนาแน่นจากการบดอัดในสนามซึ่งเป็นไปได้ยากจึงต้องทำการบดอัดตัวอย่างดินชุดละ 3 ตัวอย่างเพื่อให้ได้ความหนาแน่นในช่วง 95-100 % เพื่อครอบคลุมผลที่ต้องการ เมื่อทำการทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างแล้วนำผลที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ค่าความหนาแน่นที่ต้องการจากการบดอัดดินจากในสนามก็จะสามารถอ่านค่า (Interpolate) ค่า CBR จากกราฟนี้ได้ (รูปที่ 6.1)



รูปที่ 6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density กับ CBR (ASTM, 1995)

การทดสอบ CBR เมื่อนำผลมาพล็อตกราฟระหว่าง Test Unit Load ในแกนตั้งกับ Penetration ในแกนนอน โดยปกติจะได้รูปโค้งคว่ำผ่านจุดกำเนิด แต่บางครั้งจะปรากฏว่าเส้นโค้งที่ได้มีลักษณะโค้งหงายในช่วงแรก จึงต้องแก้ไขให้ถูกด้วยการลากเส้นตรงสัมผัสกับ Curve ตรงส่วนที่มีความชันมากที่สุดไปตัดกับแกนนอนโดยจะได้จุดที่ตัดกันนั้นเป็นจุดกำเนิดใหม่ เรียกว่า "Initial Correction" ดังแสดงในรูปที่ 6.2

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



รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load กับ Penetration
(วรารกร, จิรพัฒน์ และประทีป, 2525)

สำหรับวิธีการทดสอบ CBR นั้นสามารถทำได้ 2 สภาวะ คือ ทดสอบแห้ง (Unsoaked Test) และทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Test) โดยสาเหตุที่มีการทดสอบแบบแช่น้ำ ก็เพื่อหาค่า CBR ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งสำหรับฤดูฝนนั้นระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นทำให้ดินถนนบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ใต้น้ำ และในการทดสอบจะทำให้ทราบถึงอัตราการบวมตัวของดิน โดยจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติและความเหมาะสมสำหรับการใช้งานของวัสดุนั้นๆ

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 การบดอัด (Compaction)

4.1.1 แบบหล่อดิน (Mold) $\varnothing 6'' \times 7''$ พร้อมด้วยปลอก (Collar) สูง 2'' และแผ่นฐาน

4.1.2 แผ่นเหล็กกรอง (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 กระจกยกรอง

4.2 การวัดการบวมตัว (Swell)

4.2.1 แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) พร้อมขายึดมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

4.2.2 สามขา (Tripod) เพื่อวัดอัตราการบวมตัวของดินเมื่อแช่น้ำ

4.2.3 มาตรฐานน้ำปัด (Dial Gauge) อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว

4.2.4 แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)

4.2.5 ถังน้ำเซดินพร้อมแบบหล่อดิน (Mold)

4.3 การกดทดสอบ (Penetration)

4.3.1 เครื่องกดแบบกลหรือแบบไฟฟ้า

4.3.2 แท่งเหล็กกด (Penetration Piston)

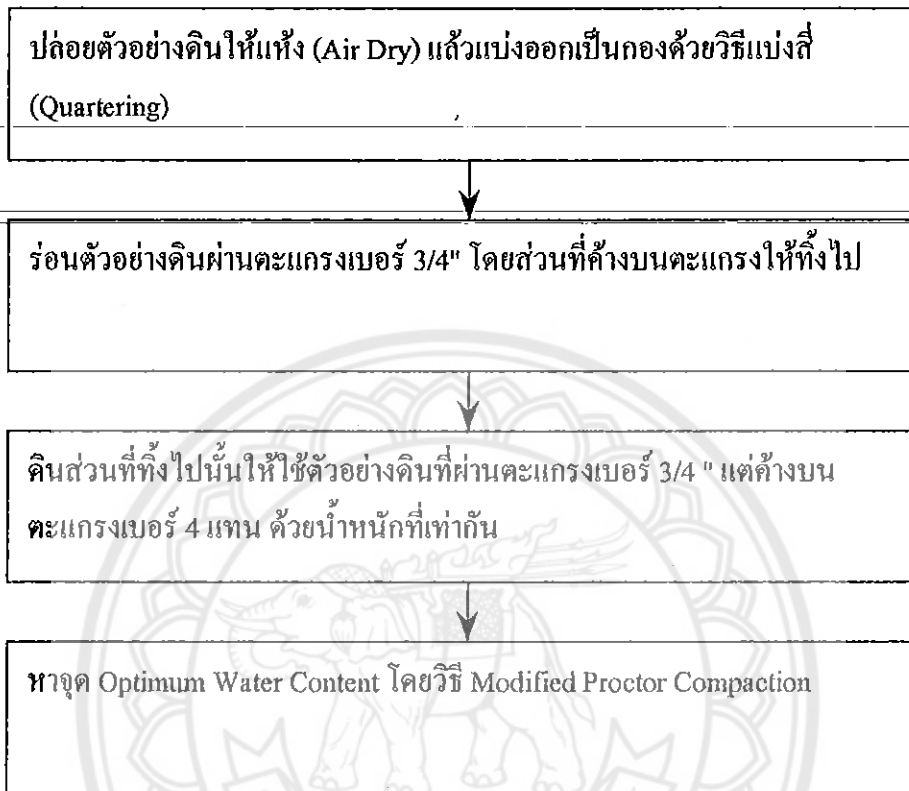
4.3.3 มาตรฐานน้ำปัด (Dial Gauge) วัดค่ายุบตัว (Penetration) ของตัวอย่างดิน

4.3.4 ที่ยึดมาตรฐานน้ำปัด

4.3.5 วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

5. วิธีการทดลอง (Method)

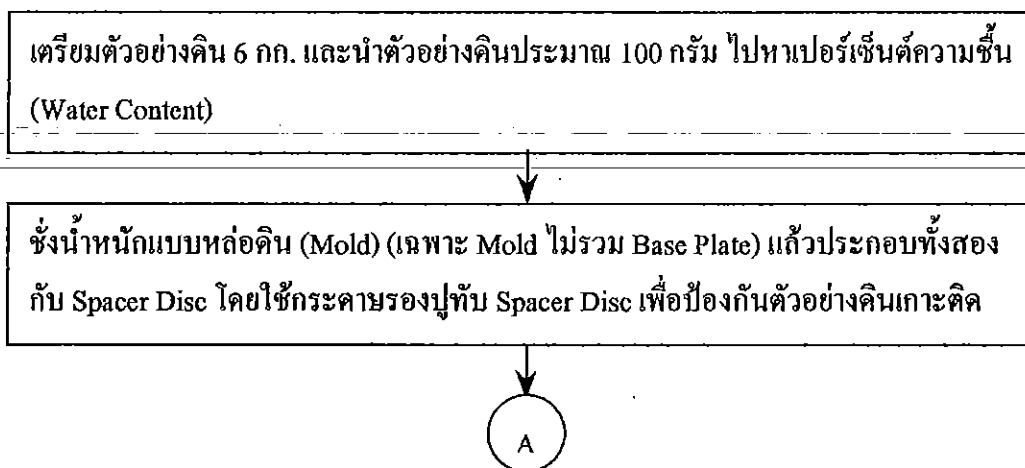
5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

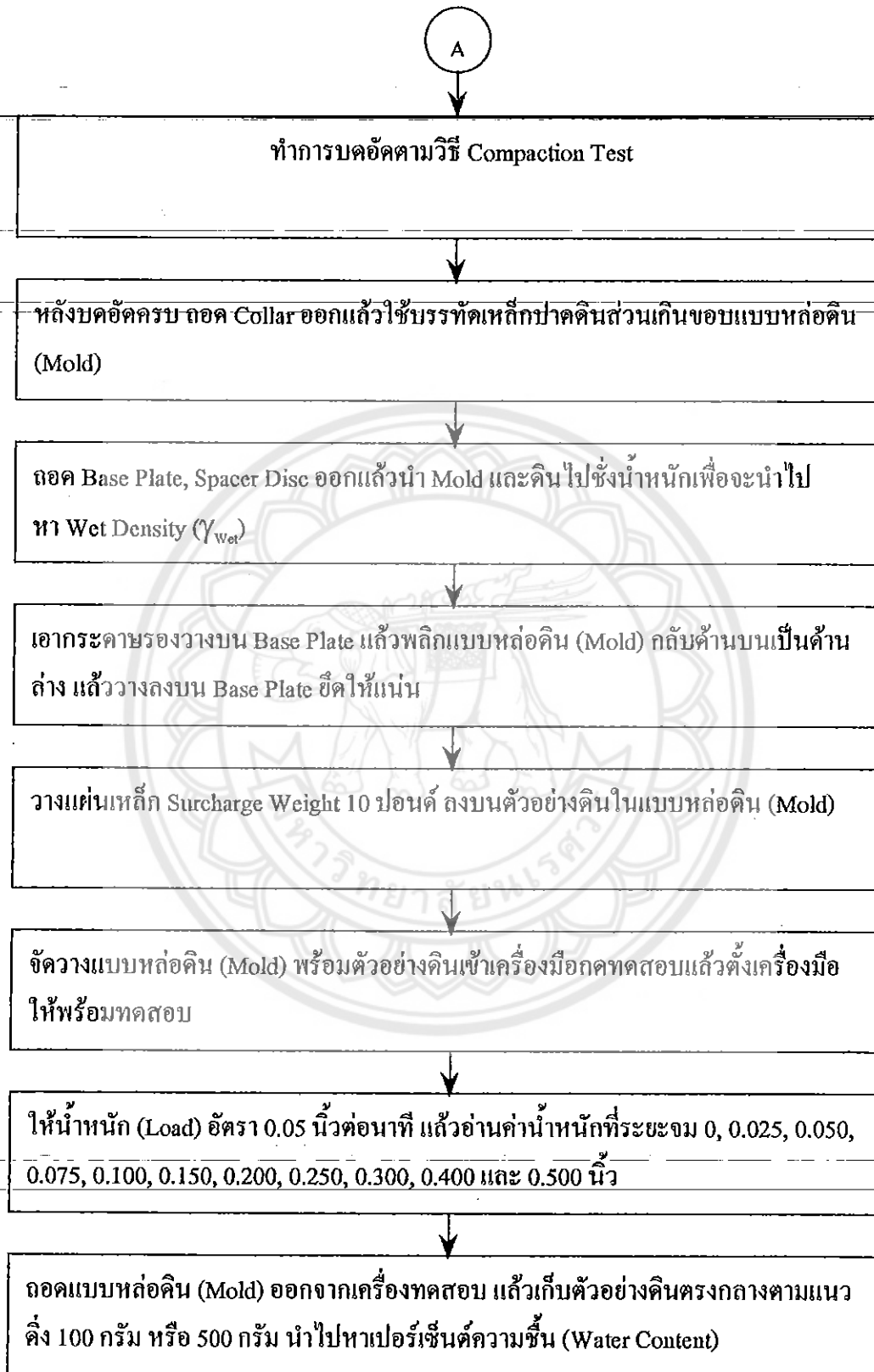


รูปที่ 6.3 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

5.2 วิธีการทดสอบ CBR

5.2.1 วิธีการทดสอบแบบแห้ง (Unsoaked Test)

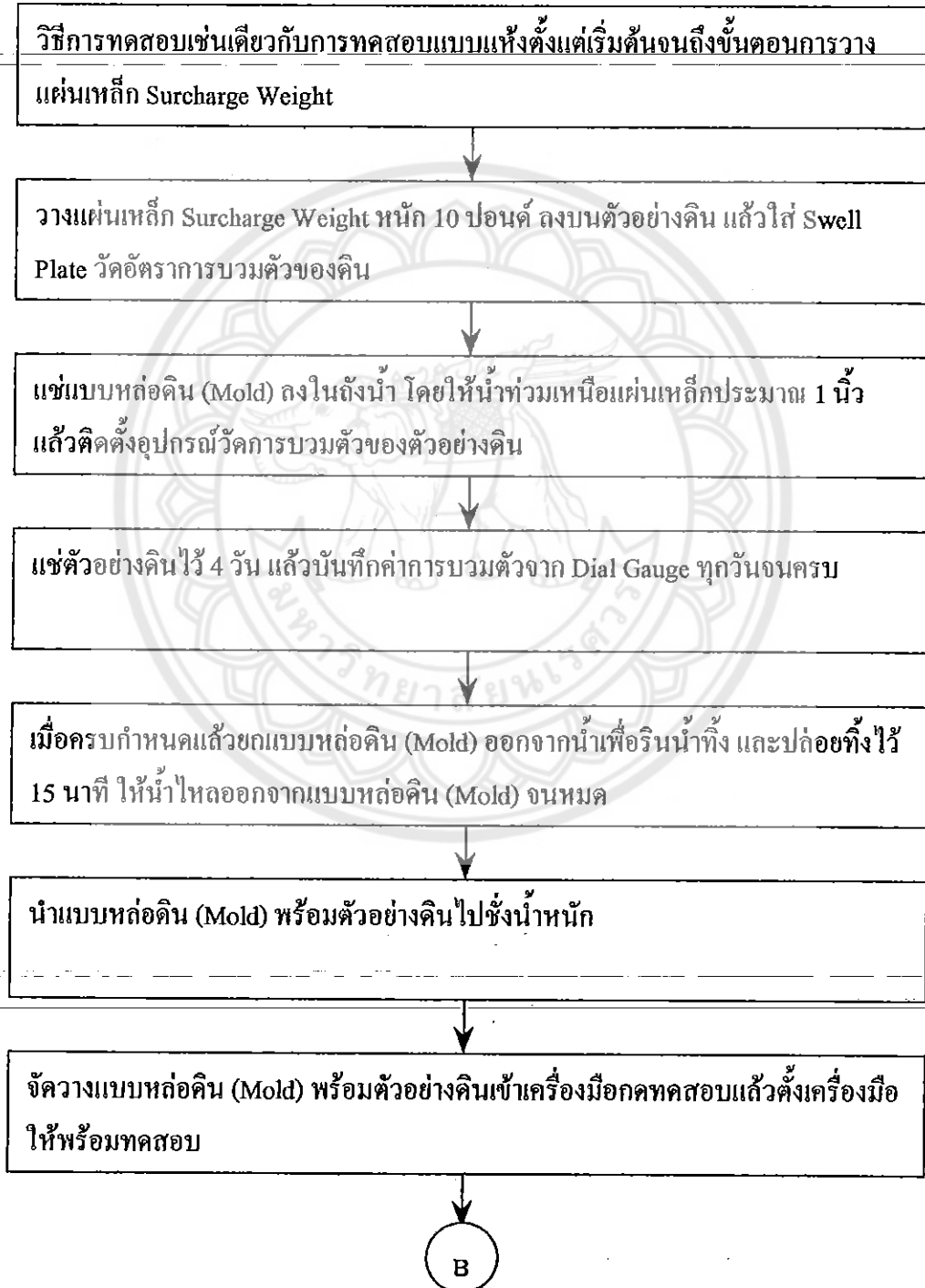


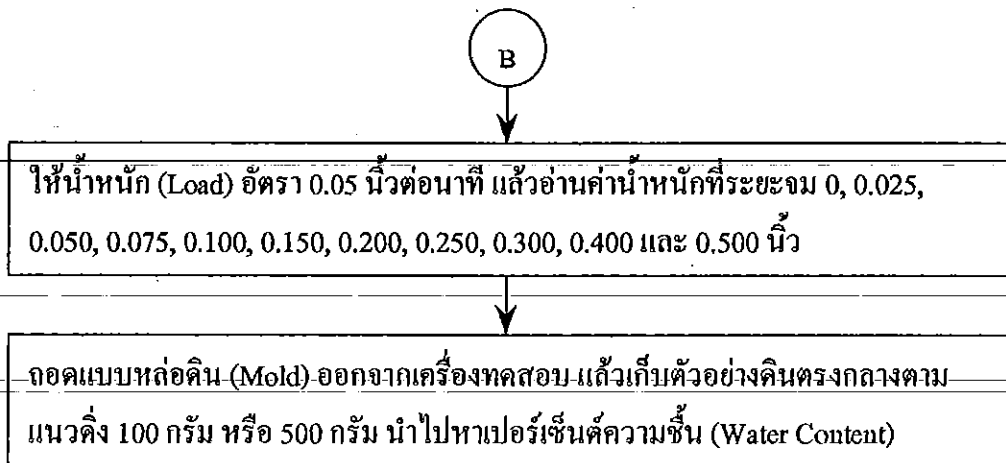


หมายเหตุ

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

5.2.2 วิธีทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Test)





รูปที่ 6.5 แสดงวิธีการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ (Soaked Test)

หมายเหตุ

1. ขั้นตอนการวางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) ลงบนตัวอย่างดิน ต้องนำกระดาษรองวางคั่นใต้แผ่นเหล็กเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว
2. ระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างดินในน้ำนั้น ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่ อาจจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง

6. ข้อมูลที่วัด ในห้องทดลอง (Measured Data)

- 6.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบบดอัด
- 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_{CDS})
- 6.6 มวลของตัวอย่างดินที่ถูกบดอัด + แบบบดอัด + แผ่นรองพื้น (W_{CSMB})
- 6.7 มวลของแบบบดอัดรวมกับแผ่นรองพื้น (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_0	(cm)		
Volume of (wet) compacted specimen,	V_0	(cc)		
Compactive Effort	E^1	(ft-lbf/ft ³)		

Obtain Water Content of Compacted Specimen

For CBR MOLD no.				
Can 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 = $W_{CWS} - W_{CDS}$,	W_W	(gm)		
Mass of dry soil (in can) = $W_{CDS} - W_C$,	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.				
Mass of compacted spec. + mold + base plate,	W_{CSMB}	(gm)		
Mass of mold + base plate,	W_{MB}	(gm)		
Mass of (wet) compacted specimen	W_{W-CS}^2	(gm)		
Density of (wet) compacted specimen	ρ_{W-CS}^3	(gm/cc)		
Dry density of compacted specimen	ρ_{D-CS}^4	(gm/cc)		
Mass of (dry) compacted specimen	M_{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. $\rho_{W-CS} = M_{W-CS} / V_0$

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

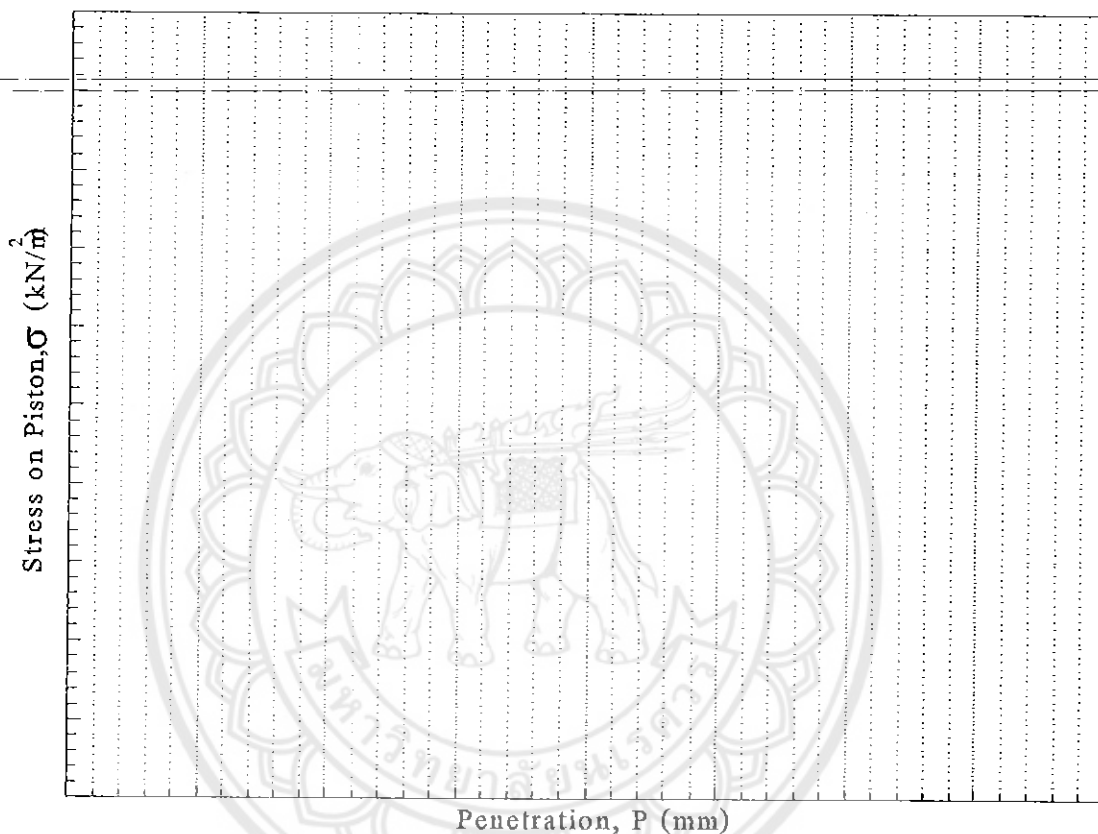
5. $M_{D-CS} = \rho_{D-CS} * V_0$

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 Surchage 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 Surchage for Bearing Test	N_{S-R}^{12}	(N)			
Seating Load before Bearing Test	L_{SBAT}^{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	0.25				
	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,	$w_{T,S}^{16}$	(%)			

CBR - BEARING TEST

Soil Description _____	Project _____
Location _____	Test No _____
Boring No _____	Date _____
Sample No _____	Tested By _____
Sample Depth _____	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,	$CBR_{0.1}$	(%)		
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. $CBR_{0.1} = (\sigma_{C-0.1} \text{ kN/m}^2) / (6900 \text{ kN/m}^2) * 100\%$ 19. $CBR_{0.2} = (\sigma_{C-0.2} \text{ kN/m}^2) / (10300 \text{ kN/m}^2) * 100\%$

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

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 (lb)	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_o (cm)	11.66	
Volume of (wet) compacted specimen,	V_o (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.			
Mass of Can,	W_c (gm)	24.40	-
Mass of Can + Wet soil,	W_{CWS} (gm)	86.40	-
Mass of Can + Dry soil,	W_{CDS} (gm)	80.00	-
Mass of water = $W_{CWS} - W_{CDS}$,	W_w (gm)	6.40	-
Mass of dry soil (in can) = $W_{CDS} - W_c$,	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.

Mass of compacted spec. + mold + base plate,	W_{CSMB} (gm)	11440.00	
Mass of mold + base plate,	W_{MB} (gm)	7140.00	
Mass of (wet) compacted specimen	W_{W-CS}^2 (gm)	4300.00	
Density of (wet) compacted specimen	ρ_{W-CS}^3 (gm/cc)	2.08	
Dry density of compacted specimen	ρ_{D-CS}^4 (gm/cc)	1.86	
Mass of (dry) compacted specimen	M_{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. $W_{W-CS} = W_{CSMB} - W_{MB}$

3. $\rho_{W-CS} = M_{W-CS} / V_o$

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

5. $M_{D-CS} = \rho_{D-CS} * V_o$

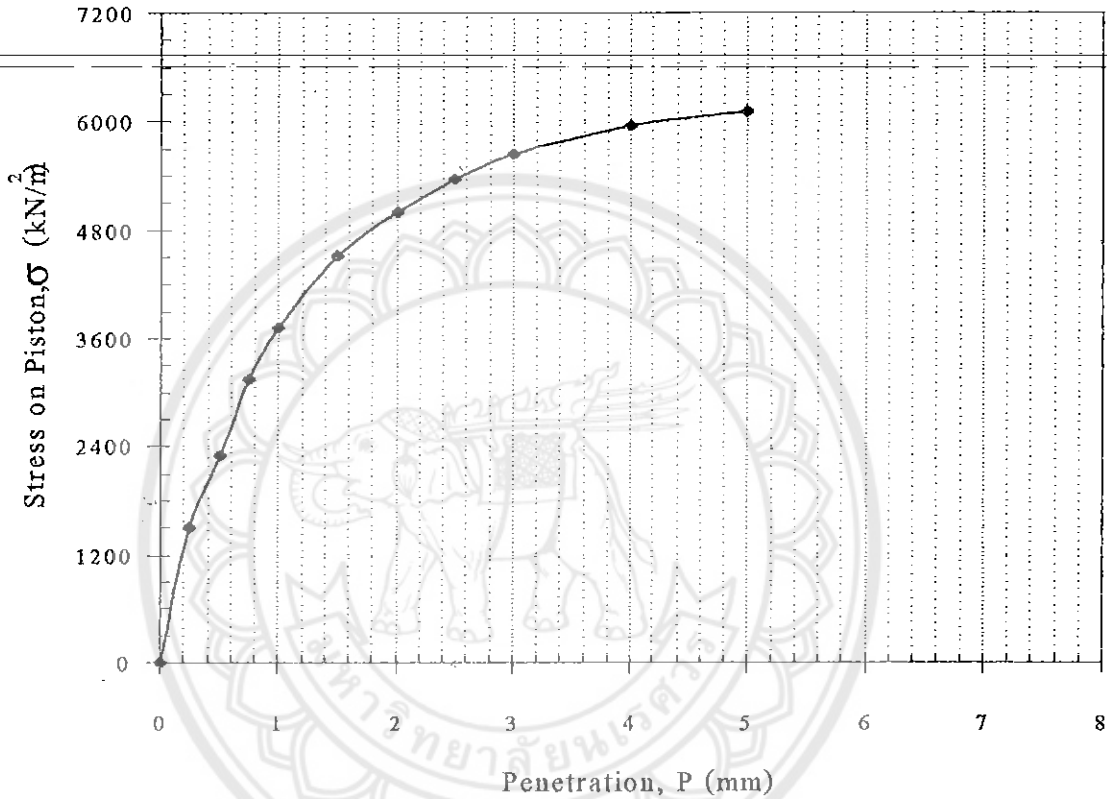
CBR - BEARING TEST

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)	25.366		
Weight of Surcharge for Bearing Test	N_{S-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,	$CBR_{0.1}$ (%)		
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. $CBR_{0.1} = (\sigma_{C-0.1} \text{ kN/m}^2) / (6900 \text{ kN/m}^2) * 100\%$ 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

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

8.2 Obtain Water Content of Compacted Specimen

8.2.1 Compactive Effort, E

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

8.2.2 Mass of water, W_w

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

8.2.3 Mass of dry soil (in can), W_{DS}

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

8.2.4 Water content (each can), w_c

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

8.2.5 Mold (average) water content, w

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

8.3 Determination of Density of Compacted Specimen

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 W_{D-cs} &= \rho_{D-cs} * V_o \\
 &= 1.86 * 2067.86 \quad \text{gm} \\
 &= 3856.16 \quad \text{gm}
 \end{aligned}$$

8.4 Stress - Penetration Data

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

$$\sigma_p = \frac{\text{Piston Load Dial Reading} * \text{Load Ring Constant}}{\text{Area of Piston}}$$

$$= \frac{\text{PLDR} * \text{LRC}}{A_{\text{PISTON}}}$$

$$= \frac{(115 \text{ div}) * (25.366 \text{ N/div})}{(1.936 * 10^{-3} \text{ m}^2) * (1000 \text{ N/KN})}$$

$$= \frac{2917.09 \text{ KN}}{1.936 \text{ m}^2}$$

$$= \frac{2917.09 \text{ KN}}{1.936 \text{ m}^2} = 1506.76 \text{ KN/m}^2$$

$$= 1506.76 \text{ KN/m}^2$$

$$= 1506.76 \text{ KN/m}^2$$

8.5 Determination of California Bearing Ratio (CBR)

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

$$\text{CBR}_{0.1} = \frac{(\sigma_{0.1} \text{ KN/m}^2) * 100\%}{6900 \text{ KN/m}^2}$$

$$= \frac{5300 * 100}{6900} \%$$

$$= 76.81 \%$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 ค่า CBR ของดินแต่ละชนิดสามารถใช้กำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้าง ถนนในชั้นดินถม, ชั้นรองพื้นทาง(Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) รวมถึงชนิดของดินที่เหมาะสมกับการออกแบบ ดังรูปที่ 6.6

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, A2-4, A3

รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของค่า CBR กับการใช้งาน (Bowles, 1992)

9.2 ค่า CBR สามารถใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design Chart หรืออาจกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการออกแบบถนนคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 6.2

				RESISTING VALUE-R														
	20	30	40	50	55	60												
				MODULUS OF SUBGRADE REACTION-K pci														
	100	150	200	250	300	400	500	600	800									
				BEARING VALUE psi														
				(Ø 30-in. plate, 0.1-in. deflection)														
		10	20	30	40	50	60	70										
				CALIFORNIA BEARING RATIO- CBR %														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50	60	70	100

ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

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 ไฉ่เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 81-93

1.3 สภพร คูวิจิตรจรรยา. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (13-1) – (13-17)

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินภายหลังการบดอัดในสนาม โดย Sand Cone Method

3. หลักการ (Principals)

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

จะได้ $\gamma_T = (M_{cws} - M_C) / V_H * 9.807$

โดย γ_T = ความหนาแน่นเปียก

M_{cws} = มวลของกระป๋องใส่ดินกับตัวอย่างดิน

M_C = มวลของกระป๋องใส่ดิน

V_H = ปริมาตรของดินที่ขุดหลุมขึ้นมา

โดยการหาปริมาตรของหลุมที่ขุดขึ้นมาทดสอบจะใช้วิธีแทนที่ดินที่ขุดด้วยทรายที่รู้ความหนาแน่นที่แน่นอนจากการสอบเทียบหาความหนาแน่นของทราย ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของทราย} = \frac{\text{มวลของทรายที่เติมลงในแบบบดอัดดิน}}{\text{ปริมาตรของแบบบดอัดดิน}}$$

จะได้ Density of Sand Calibrated = $\frac{\text{Sand mass fill vol. measure}}{\text{Volume of volume measure}}$

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

เมื่อทราบค่าความหนาแน่นของทรายจะสามารถหาปริมาตรของหลุมที่ขุดขึ้นมาโดย

$$\text{Volume of Hole} = \frac{\text{Mass of sand filling hole}}{\text{Density of Sand Calibrated}}$$

$$\text{จะได้} \quad V_H = \frac{M_{\text{SFH}}}{\rho_{\text{SAND}}}$$

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

เครื่องมือทดสอบแบบใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)

4.1 Density Apparatus ประกอบด้วยขวดแก้วและกรวย

4.2 แผ่นหาความหนาแน่น (Base Plate) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดปากกรวย

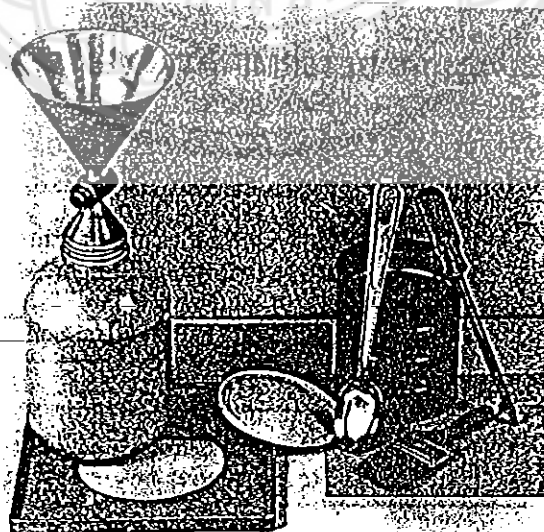
4.3 Ottawa Sand หรือทรายที่ผ่านตะแกรง No. 20 และค้างตะแกรง No. 30

4.4 เครื่องชั่งชนิดชั่งได้ละเอียด 0.01 ปอนด์ หรือ 0.1 กรัม

4.5 สิวเจาะดิน ค้อน ช้อนตักดิน บรรทัดปาดดิน กระจบงใส่ดิน

4.6 เตาอบ (Oven)

4.7 แบบบดอัดดิน (Mold)

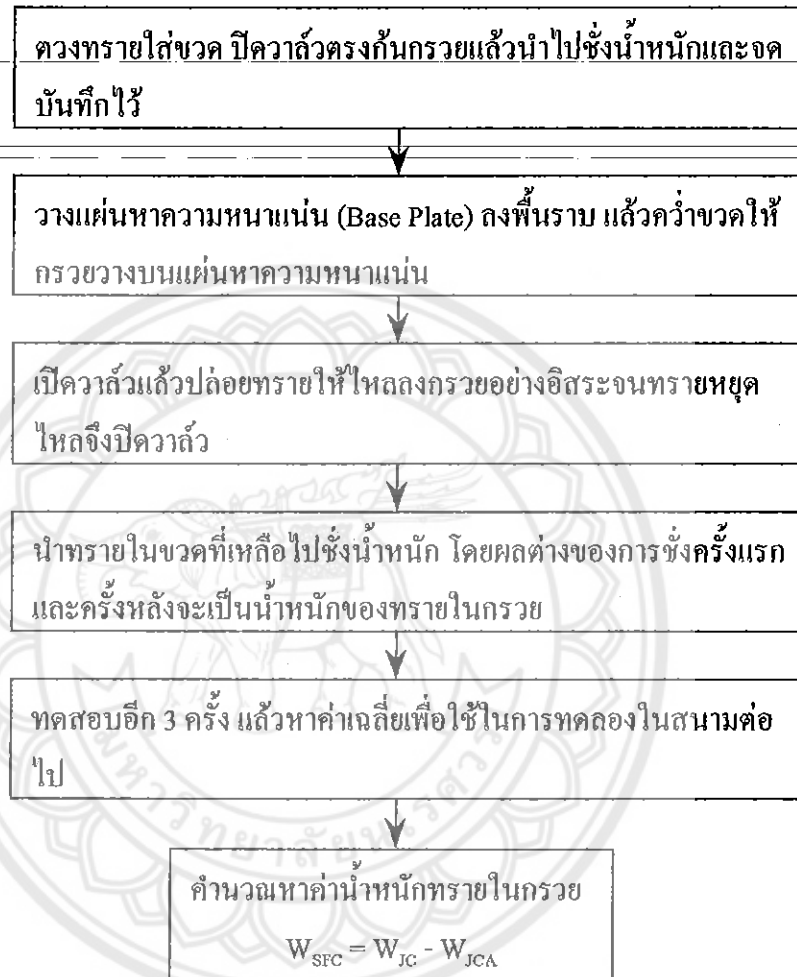


รูปที่ 7.1 อุปกรณ์ทดสอบ Sand Cone Method (Bowles, 1992)

5. วิธีการทดลอง (Method)

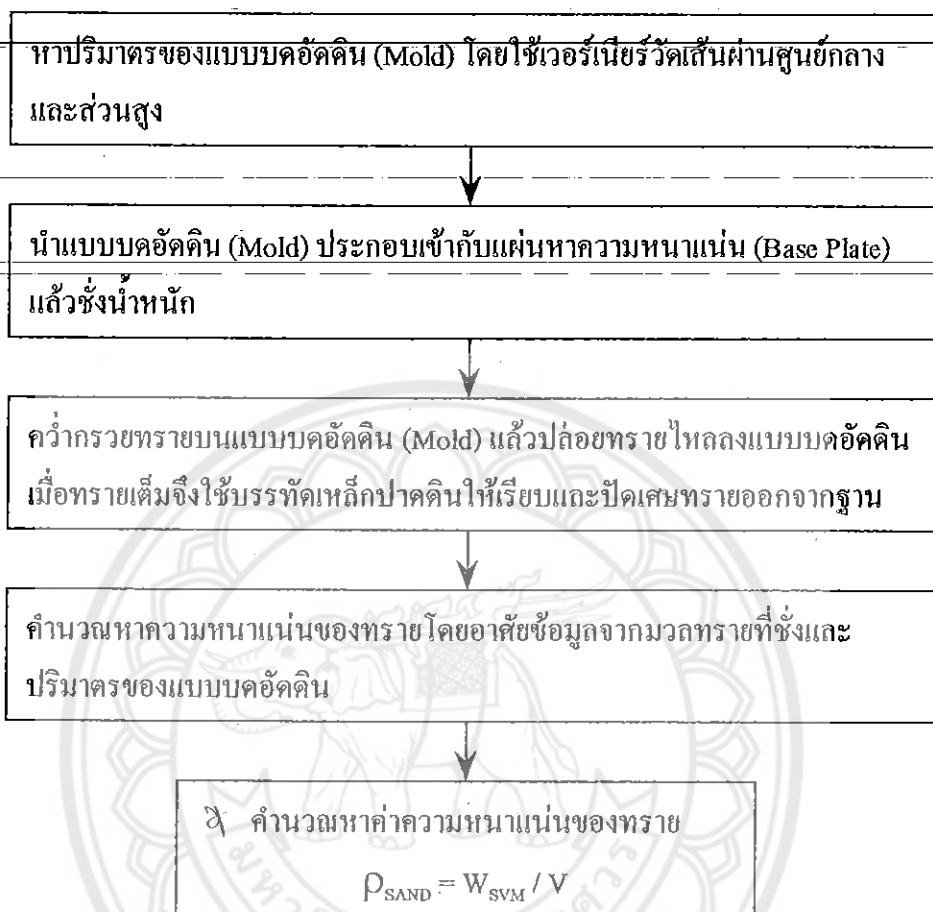
วิธีทดสอบหาความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย

5.1 การสอบเทียบหาน้ำหนักทรายในกรวย



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบหาน้ำหนักทรายในกรวย

5.2 การหาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ

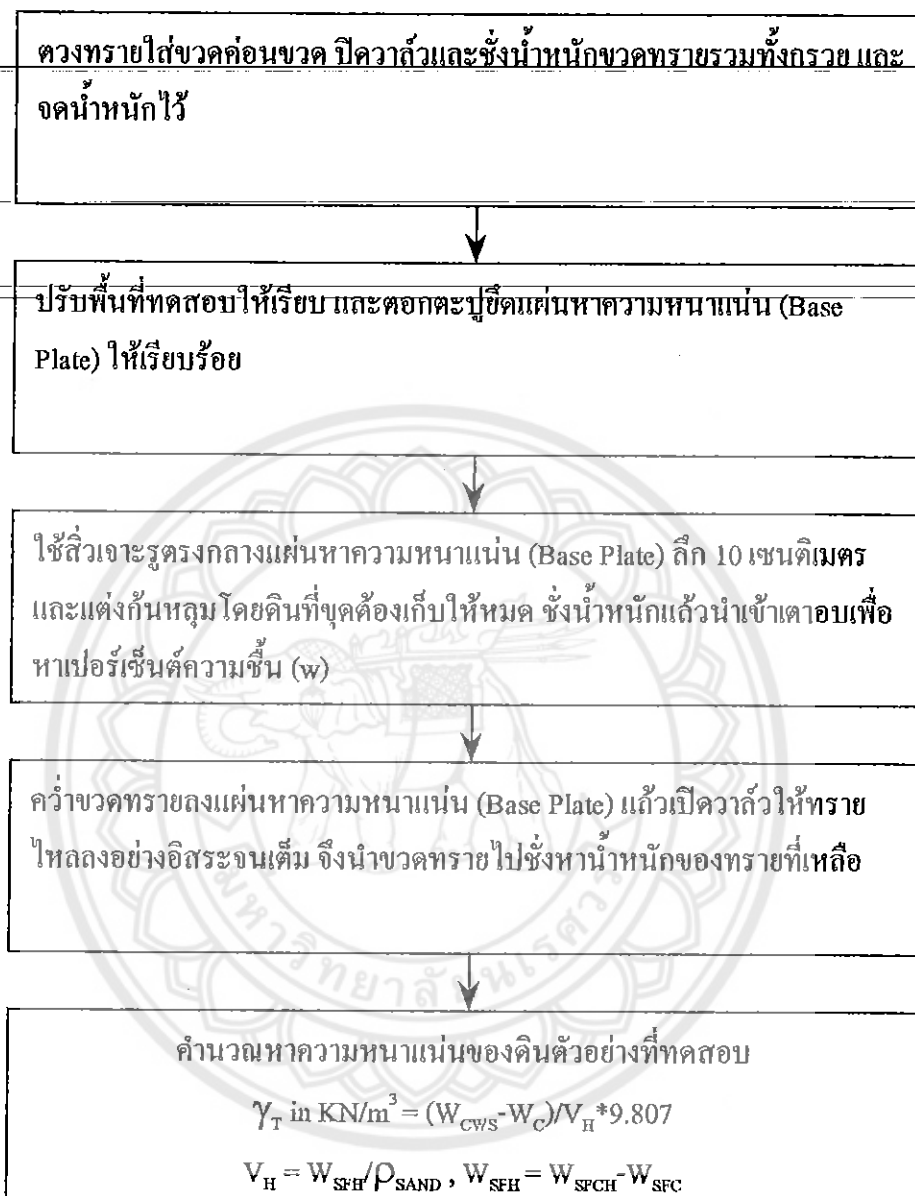


รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการหาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ

หมายเหตุ

แต่เดิม ASTM ใช้วิธีการหาความหนาแน่นของทรายทดลองด้วยวิธีวัดปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำที่รู้ความถ่วงจำเพาะ (วัดอุณหภูมิขณะทดลองแล้วอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากตาราง) แต่ปัจจุบันจะใช้วิธีการสอบเทียบด้วยวิธีแบบบดอัดดิน (Mold) ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

5.3 การทดสอบ



รูปที่ 7.4 ขั้นตอนการทดสอบ Sand Cone Method

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 มวลทรายที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{SVM})

6.2 ปริมาตรของแบบบดอัดดิน (V)

6.3 มวลทรายที่บรรจุในขวดแก้วและกรวย (W_{IC})

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})



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

Project _____
 Job No _____
 Test No _____
 Date _____
 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)		Type of Sand Used	
W_{SVM-2} (gm)		Type of volume measure	
W_{SVM-3} (gm)		Volume of volume measure, V (cc)	
Average W_{SVM} (gm)		Density of Sand Calibrated, ρ_{SAND} (gm/cc)	

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

Mass of filled jug + cone W_{JC} (gm)			
Mass of jug + cone, after trial W_{JCA-1} (gm)		Mass of sand filling cone, W_{SFC-1} (gm)	
W_{JCA-2} (gm)		W_{SFC-2} (gm)	
W_{JCA-3} (gm)		W_{SFC-3} (gm)	
		Average mass of $W_{SFC-1, 2, 3}$, W_{SFC} (gm)	

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>					
Mass of jug + sand, before use W_{JSB} (gm)					
Mass of jug + sand after use, W_{JSA} (gm)					
Mass of sand filling cone + hole, W_{SFCH}^4 (gm)					
Mass of sand filling hole, W_{SFH}^5 (gm)					
Volume of Hole, V_H^6 (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: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$

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

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

4. $W_{SFCH} = W_{JSB} - W_{JSA}$

5. $W_{SFH} = W_{SFCH} - W_{SFC}$

6. $V_H = W_{SFH} / \rho_{SAND}$

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

8. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

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 Calibrated, 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: 1. $W_W = W_{CWS} - W_{CDS}$ 2. $W_{DS} = W_{CDS} - W_C$ 3. $w = (W_W / W_{DS}) * 100$
 4. $W_{SFCH} = W_{JSB} - W_{JSA}$ 5. $W_{SFH} = W_{SFCH} - W_{SFC}$ 6. $V_H = W_{SFH} / \rho_{SAND}$
 7. γ_T in kN/m³ = $(W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807$ kN/m³ / gm/cc 8. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

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

8.1 Compute water content (%w)

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

$$\begin{aligned} W_w &= (\text{mass of can + wet soil}) - (\text{mass of can + dry soil}) \\ &= W_{cws} - W_{cDs} \\ &= 3282 - 2951 \quad \text{gm} \\ &= 331 \quad \text{gm} \\ W_{Ds} &= (\text{mass of can + dry soil}) - (\text{mass of can}) \\ &= W_{cDs} - W_c \\ &= 2951 - 387 \quad \text{gm} \\ &= 2564 \quad \text{gm} \\ \%w &= \frac{331}{2564} * 100 \\ &= 12.91 \quad \% \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_{SFCH} &= (\text{mass of jug + sand before use}) - (\text{mass of jug + sand after use}) \\ &= W_{JSB} - W_{JSA} \\ &= 7394 - 2850 \quad \text{gm} \\ &= 4544 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

8.3 Mass of sand filling hole, W_{SFH}

$$\begin{aligned} W_{SFH} &= (\text{mass of sand filling cone + hole}) - (\text{mass of sand filling cone}) \\ &= W_{SFCH} - W_{SFC} \\ &= 4544 - 1898 \quad \text{gm} \\ &= 2646 \quad \text{gm} \end{aligned}$$

8.4 Volume of hole, V_H

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

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

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

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 การทดสอบนี้สามารถที่จะใช้พิจารณาความหนาแน่นของดินที่ทับถมกันทางธรรมชาติ, ดินที่เป็นส่วนผสมระหว่างกัน หรือดินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

9.3 การทดสอบมีข้อจำกัดโดยสามารถทดสอบได้ในสถานะของดินที่เป็น Unsatuated และไม่มีแนะนำให้ทำการทดสอบกับดินที่เปราะบางแตกหักง่าย เพราะจะมีผลต่อค่าความถูกต้องโดยค่าปริมาตรของดินที่อยู่ในหลุมมีโอกาสที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสั่นตัว, การเดินหรือขึ้นบริเวณใกล้ๆหลุมทดสอบ

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 โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์, 2525. หน้า 81-93

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

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม (ดินบดอัดหรือดินเคิมตามธรรมชาติ) โดย Rubber - Balloon Method

3. หลักการ (Principals)

Rubber Balloon Method เป็นวิธีการหาค่าความหนาแน่นของดินบดอัดในสนามเช่นเดียวกับ Sand Cone Method โดยอาศัยหลักในการทดสอบคล้ายกันคือ ความหนาแน่นของดินจะหาจากน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัดหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดินขึ้นมา ความแตกต่างระหว่าง Rubber Balloon Method กับ Sand Cone Method คือวิธีการหาปริมาตรของหลุมดินขุดซึ่งอาศัยน้ำเป็นตัวช่วย โดยน้ำจะถูกอัดไปดันลูกโป่งยางให้อัดแน่นไปกับหลุม ซึ่งจะคำนวณค่าปริมาตรของหลุมได้จากการอ่านขีดปริมาตรของเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 7.1

ปริมาตรของหลุม = ระดับน้ำอ่านขีดปริมาตรครั้งหลัง - ระดับน้ำอ่านขีดปริมาตรครั้งแรก

ค่าความหนาแน่นเปียก = (น้ำหนักดินขึ้นที่ขุดจากหลุมทั้งหมด/ปริมาตรของหลุม)

จะได้ γ_T = $(W_{cws} - W_c) / V_H * 9.807$

โดย γ_T = ความหนาแน่นเปียก

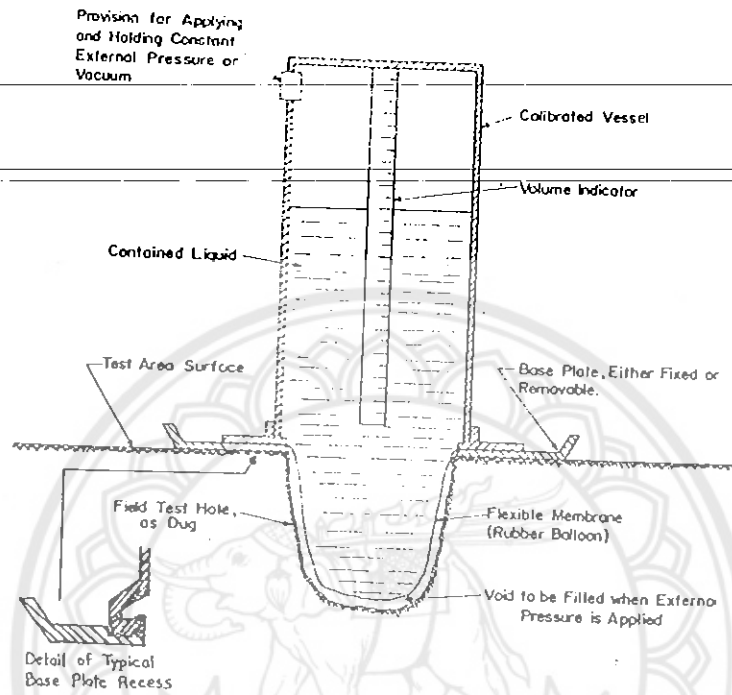
W_{cws} = มวลของกระป๋องใส่ดินกับตัวอย่างดินเปียก

W_c = มวลของกระป๋องใส่ดิน

V_H = ปริมาตรของดินที่ขุดหลุมขึ้นมา

ก่อนการทดสอบจะต้องหาค่าปรับแก้ค่าปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่องมือลูกโป่งยางเสียก่อนโดยการทดลองหาแบบหล่อดิน (mold) ที่ทราบค่าปริมาตรอยู่ก่อนหน้าแล้ว

ค่าปรับแก้ (Correction Factor) CF = V/V_{FVM}
 โดย V = ปริมาตรแบบหล่อดิน
 V_{FVM} = ค่าปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่องมือลู่โป่งยาง



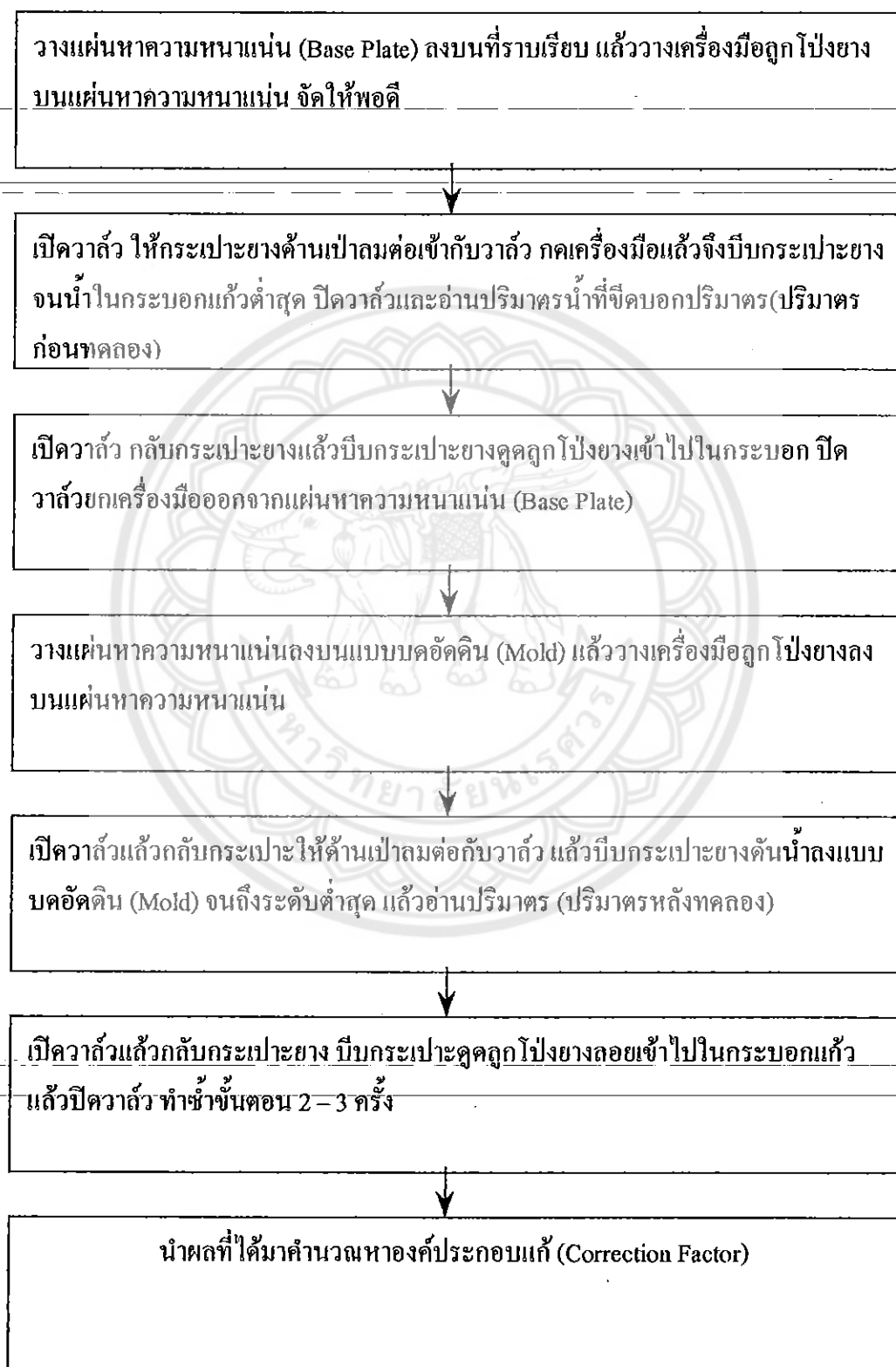
รูปที่ 7.1 การทดสอบ Rubber Balloon Apparatus (ASTM D2167-94)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1 เครื่องมือหาความหนาแน่นลู่โป่งยาง (Rubber Balloon Apparatus)
- 4.2 ตาชั่ง (balance) ที่สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 4.3 สี่เหลี่ยมดิน ค้อน ช้อนตักดิน แปรงปัดดิน กระจบป้องใส่ดิน
- 4.4 เตาอบ (Oven)

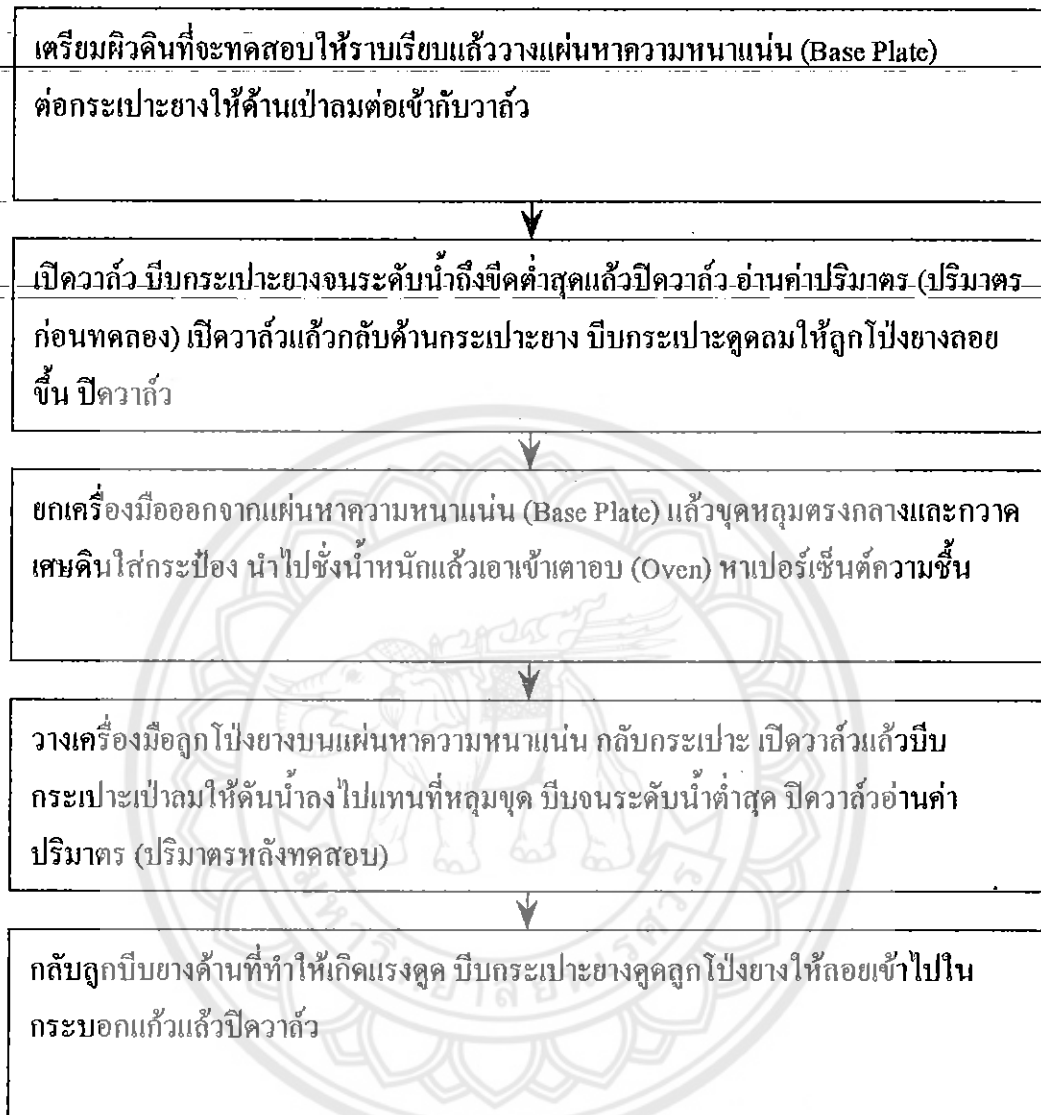
5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การสอบเทียบเครื่องมือทดสอบ (calibration)



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration)

5.2 การทดสอบ



รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการทดสอบ

หมายเหตุ

ก่อนเคลื่อนย้าย Balloon Density Apparatus และแผ่นหาความหนาแน่น (Base Plate) ต้องตรวจสอบให้ลูกโป่งยางถูกดูดเข้าไปในกระบอกแก้วเสียก่อน มิฉะนั้นการเคลื่อนย้ายจะทำให้ลูกโป่งยางฉีกขาด

ข้อกำหนดมาตรฐานสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน ASTM กำหนดปริมาณหลุมขุดดินขึ้นมาจากสอบ
สำหรับชั้นดินที่มีเม็ดดินใหญ่สุดแต่ละขนาด ดังตารางที่ 7.1

Max. sieve size of soil	Vol. of test hole, cm ³ (ft ³)	Size of water-content sample, g
No. 4	700 (0.025)	100
12 mm	1400 (0.050)	250
25	2100 (0.075)	500
50	2800 (0.100)	1000

ตารางที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรอย่างน้อยที่สุดของหลุมที่ขุดดินกับขนาดของเม็ดดิน
(Bowles, 1970)

สำหรับชั้นดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ขึ้นไปเพื่อที่จะได้ขนาดหลุมขุดได้ปริมาณตามมาตรฐานจะต้องขุด
หลุมลึกมาก ซึ่งไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ โดย ASTM แนะนำว่าควรเปลี่ยนไปใช้การทดสอบของ
ASTM D4914 หรือ D5030

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured 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)
Type of volume measure		Average volume of $V_{FVM-1, 2, 3}$:	V_{FVM} (cc)
		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 (%)				
<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: 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. γ_T in kN/m³ = $(W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807$ kN/m³ / gm/cc

8. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

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 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 $V_{FVM-1,2,3}$	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), γ_T (kN/m ³)	21.09	19.30	20.45		
Dry Unit Weight of Soil (in hole), γ_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. γ_T in kN/m³ = $(W_{CWS} - W_C) / V_H * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$

8. $\gamma_D = \gamma_T / (1 + w/100)$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

8.1 Compute water content (%W)

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

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

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

$$= 2025.4 - 1963.1 \quad \text{gm}$$

$$= 62.3 \quad \text{gm}$$

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

$$= W_{CDS} - W_C$$

$$= 1963.1 - 123.8 \quad \text{gm}$$

$$= 1839.3 \quad \text{gm}$$

$$\%w = \frac{62.3}{1839.3} * 100$$

$$= 3.39$$

$$= 3.39 \%$$

8.2 Volume of Hole before corrected, V_{HB}

$$V_{HB} = (\text{Final scale reading}) - (\text{Initial scale reading})$$

$$= V_{IR} - V_{FR}$$

$$= 1235.00 - 340.00 \quad \text{cc}$$

$$= 895.00 \quad \text{cc}$$

8.3 Volume of Hole after corrected, V_H

$$V_H = (\text{volume of hole before corrected}) * (\text{correction factor})$$

$$= V_{HB} * CF$$

$$= 895.00 * 0.99 \quad \text{cc}$$

$$= 886.05 \quad \text{cc}$$

8.4 Volume of Hole, ρ_T

$$\rho_T = \frac{(W_{cws} - W_C)}{V_H}$$

$$= \frac{2025.4 - 123.8}{886.05} \text{ gm/cc}$$

$$= 2.15 \text{ gm/cc}$$

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

$$\gamma_T = (W_{cws} - W_C) / V_H * 9.807$$

$$= \frac{(2025.40 - 123.80)}{886.05} \frac{\text{gm}}{\text{cc}} * 9.807 \frac{\text{KN} \cdot \text{Cc}}{\text{m}^3 \cdot \text{Gm}}$$

$$= 21.05 \text{ KN/m}^3$$

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

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

$$= \frac{21.05 \text{ KN}}{(1 + 3.39/100) \text{ m}^3}$$

$$= 20.36 \text{ KN/m}^3$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 การทดสอบนี้สามารถใช้พิจารณาหาค่าความหนาแน่นในสนาม (in-place density) และความถ่วงจำเพาะของดินตามธรรมชาติ (natural inorganic soil) หรือดินชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเกาะตัวที่มั่นคง

9.2 การทดสอบนี้อาจจะใช้พิจารณาหาค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของดินภายหลังการบดอัดในสนาม ยกตัวอย่างเช่น เชื้อน, ดินถม หรือดินตัด โดยมักจะถูกใช้เป็นตัวมาตรฐานของการทดสอบความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะตามที่กำหนด

9.3 การใช้งานของ Rubber Balloon Method นี้มีข้อจำกัดโดยทั่วไป คือสามารถทดสอบได้เฉพาะในสถานะ unsaturated และไม่เหมาะจะทดสอบกับดินที่ไม่เกาะตัวกันแน่นหรือเกิดการพังทลายได้ง่าย เพราะดินอาจจะเปลี่ยนปริมาตรได้ในระหว่างที่เกิดแรงดันในการทดสอบ และการทดสอบนี้ยังไม่เหมาะสำหรับดินที่มีขนาดเม็ดดินใหญ่ เช่น ชั้นหินคลุก และชั้นดินที่มีก้อนกรวดแหลมคม เพราะลูกโป่งยางจะถูกเม็ดกรวดแทงให้ขาดทะลุได้ง่าย

Test 8 Constant Head Test Determination

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

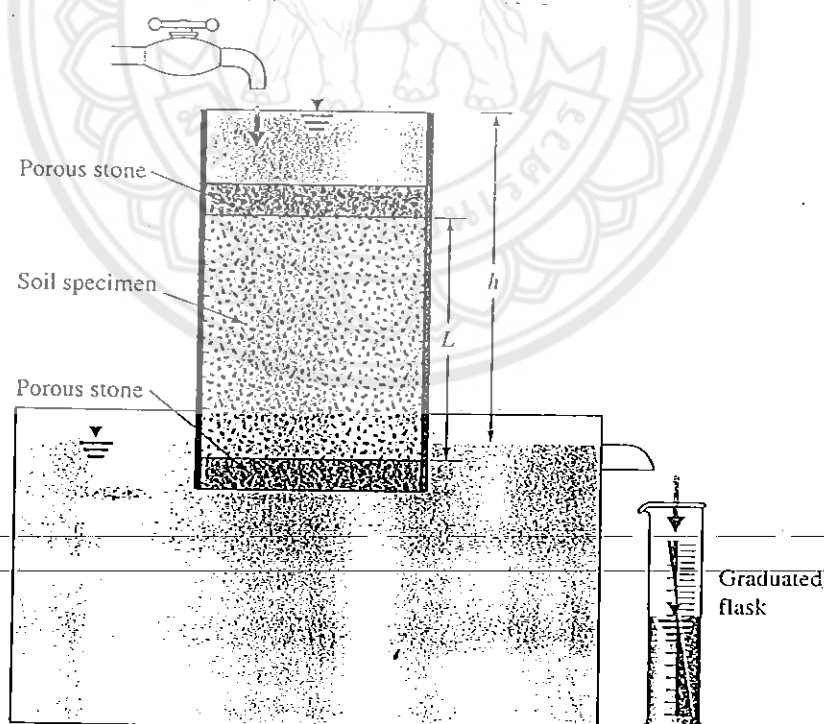
1.3 Braja M. Das(1998). Principles of Geotechnical Engineering. p. 159-226

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

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

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

3. หลักการ (Principals)



รูปที่ 8.1 Constant head permeability test (DAS, 1998)

ในการทดสอบด้วยวิธีนี้จะจัดให้ระดับน้ำของทางเข้าและทางออกมีระดับแตกต่างกันอย่างคงที่ และหลังจากปล่อยให้ให้น้ำไหลซึมผ่านด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งมีปริมาณน้ำที่ไหลลงไปใ้ในกระบอกตวงตามจำนวนที่กำหนด

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 ปอร์ทวูดอุณหภูมิ

4.6 กรวย

4.7 ตาชั่ง (balance)

4.8 สายวัด

4.9 กระจ่างใส่ตัวอย่างดิน

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน Cohesionless (granular) soil

หาปริมาตรของกระบอกทดสอบการซึมผ่าน (Permeability Cell)

ชั่งน้ำหนักของดินทรายที่ใช้ทดสอบ

คำนวณหาค่าความหนาแน่น (Density) ของดินทรายที่ใช้ทดสอบ

$$\text{ความหนาแน่น } \rho = W_s/V_p, \text{ g/cm}^3$$

รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

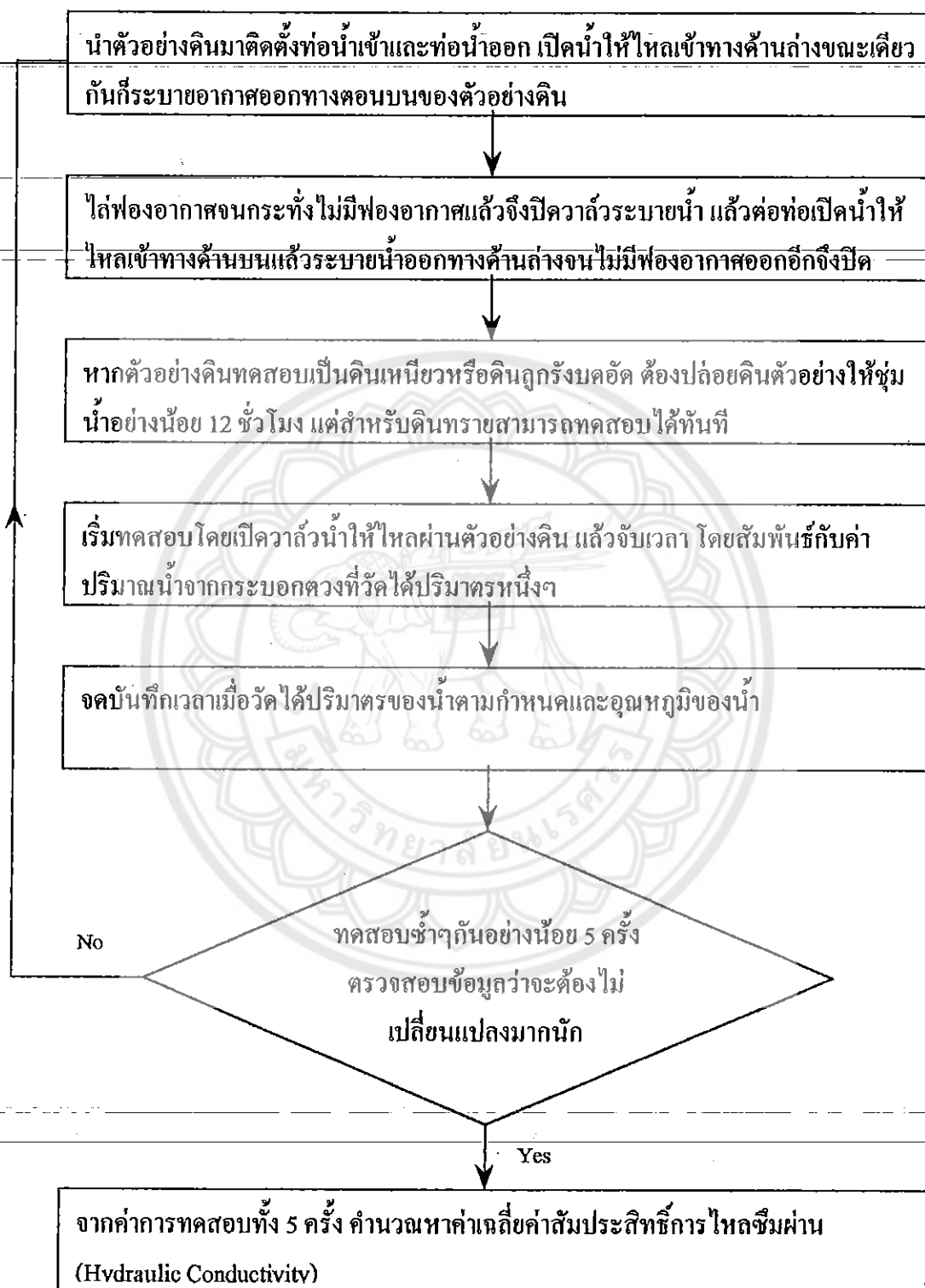
หมายเหตุ¹

ρ = ความหนาแน่นของตัวอย่างดิน

W_s = มวลของตัวอย่างดิน

V_p = permeameter volume (cm³)

5.2 การทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test)



รูปที่ 8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head Test)

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

- 6.1 ความยาวของตัวอย่างดิน (L)
- 6.2 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวอย่างดิน (D)
- 6.3 มวลของตัวอย่างดินที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{MS})
- 6.4 มวลของแบบบดอัดดิน (W)
- 6.5 Constant Head (h)
- 6.6 เวลา (T)
- 6.7 ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมวลดินตัวอย่างในช่วงเวลา t (Q)
- 6.8 อุณหภูมิ (T)

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

Specimen Data

Sample height	L	(cm)	_____
Sample diameter	D	(cm)	_____
Sample area	A	(cm ²)	_____
Type of sample	_____		
Mass of mold + soil	W_{MS}	(gm)	_____
Mass of mold	W_M	(gm)	_____
Mass of soil	WS	(gm)	_____
Density of soil	ρ	(t/m ³)	_____

Constant Head Permeability Test :				Constant Head			
				h	(cm)		
				87			
Trial NO.	Time (sec)	Q (cc)	T(°c)	Trial NO.	Time (sec)	Q (cc)	T(°c)
Average values							

Hydraulic Conductivity, K^1 (cm/sec)

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

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(°c)	Trial NO.	Time (sec)	Q (cc)	T(°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/sec)		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

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

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 อัตราส่วนช่องว่าง

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

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 โชติภักกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 94-102

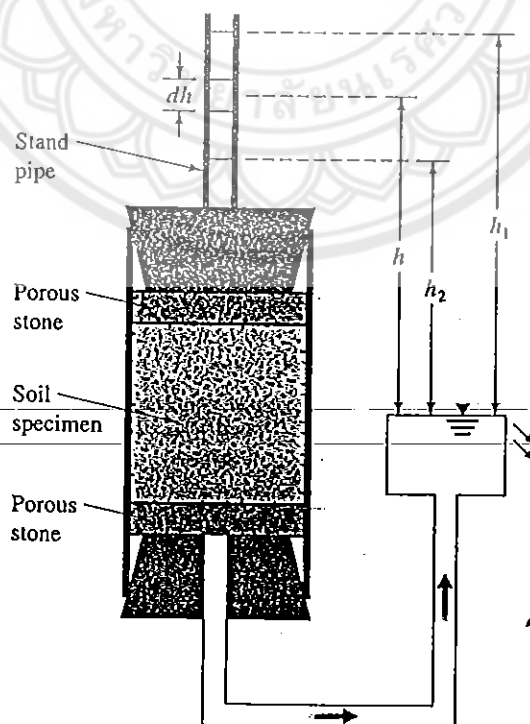
1.4 สถาพร ฤวิจิตรจากร. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (10-1) – (10-17)

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ของตัวอย่างดินด้วยวิธี Falling Head Test

3. หลักการ (Principals)

ในการทดสอบจะใช้ระดับน้ำในท่อตั้ง (Standpipe) โดยปล่อยน้ำให้ไหลผ่านตัวอย่างดิน ระดับน้ำที่ลดลงจะเป็นตัวบ่งบอกการวัดปริมาณและความดันน้ำที่กระทำต่อตัวอย่างดิน



รูปที่ 8.1 หลักการของ Falling Head Test (DAS, 1998)

จากรูป 8.1 เมื่อปล่อยให้ให้น้ำในท่อตั้ง (Standpipe) ไหลผ่านตัวอย่างดินจนได้ค่าระดับของน้ำสูง h_1 ให้บันทึกเวลาเป็น $t = 0$ และปล่อยน้ำไหลผ่านตัวอย่างดินในระยะเวลา $t = t_2$ 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 ปรอทวัดอุณหภูมิ

4.5 กรวย

4.6 ตาชั่ง (Balance)

4.7 สายวัด

4.8 ครอบป้องกันตัวอย่างดิน

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 ตัวอย่างทดสอบเป็นดินเหนียว

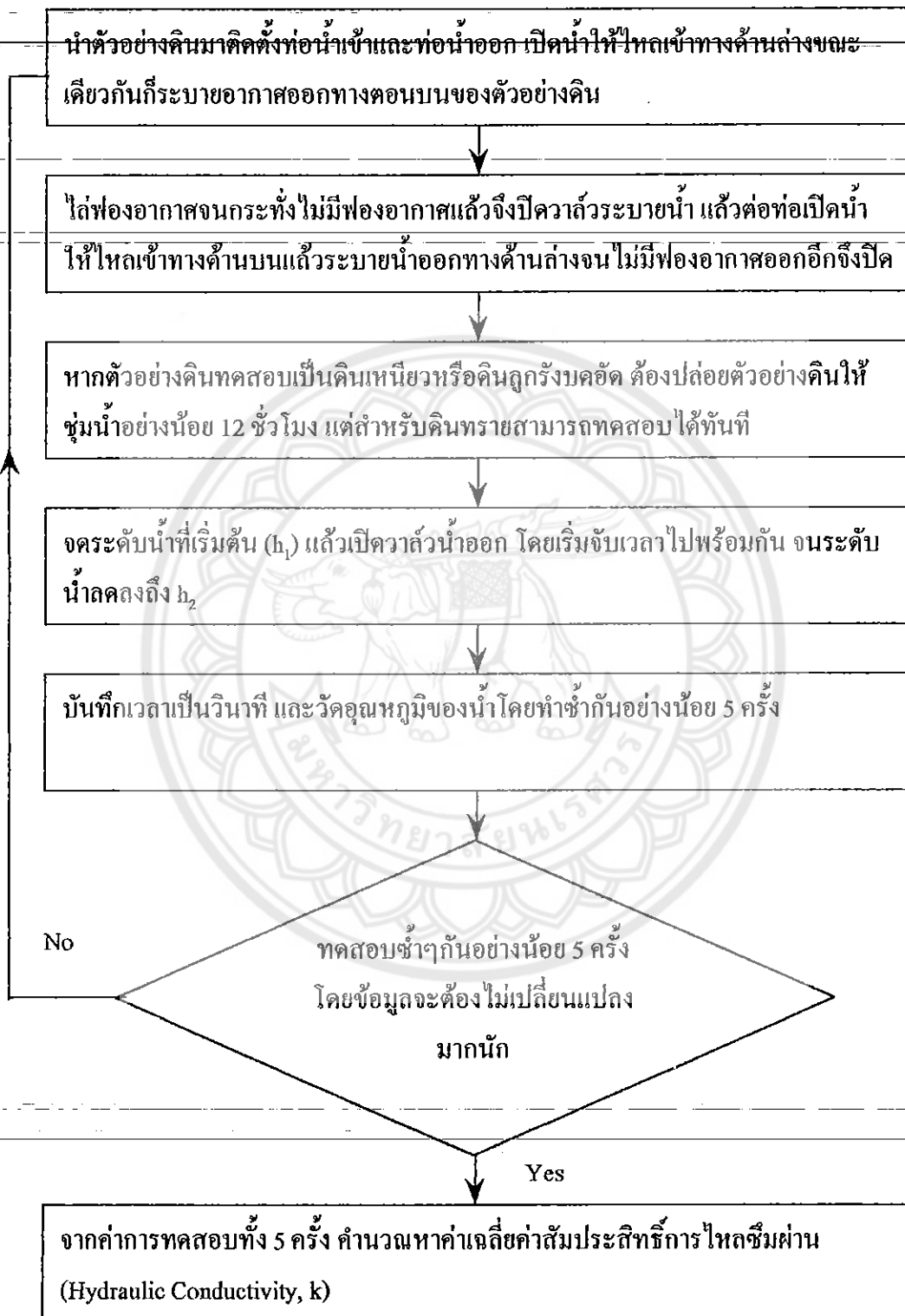
ปาดตัวอย่างดินให้พอดีใส่ลงในกระบอกทดสอบการซึมผ่าน (Permeability Cell)

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของตัวอย่างดิน พร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินของดินเหนียว



5.2 การทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test)



รูปที่ 8.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Test)

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 ความยาวของตัวอย่างดิน (L)

6.2 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวอย่างดิน (D)

6.3 มวลของตัวอย่างดินที่บรรจุในแบบบดอัดดิน (W_{MS})

6.4 มวลของแบบบดอัดดิน (W)

6.5 พื้นที่หน้าตัดของท่อตั้ง (a)

6.6 ระดับน้ำที่เริ่มต้นจับเวลา (h_1)

6.7 ระดับน้ำที่สิ้นสุดการจับเวลา (h_2)

6.8 เวลา (T)

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

Specimen Data

Sample height	L	(cm)	_____	Mass of mold+soil	W_{MS}	(gm)	_____
Sample diameter	D	(cm)	_____	Mass of mold	W_M	(gm)	_____
Sample area	A	(cm ²)	_____	Mass of soil	W_S	(gm)	_____
Type of sample			_____	Density of soil	ρ	(t/m ³)	_____

Falling Head Permeability Test :

Area of standpipe a (cm²)

Trial NO.	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Time (sec)	Q_{out} (cm ³)	T (°C)	Trial NO.	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Time (sec)
Average values									

Hydraulic Conductivity, k^1 (cm/sec)

Note : 1. $k = (2.303 * a * L * \log(h_1/h_2)) / (A * T)$

2. $a = Q_{out} / (h_1 - h_2)$

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)		1.71		
Trial NO.	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Time (sec)	Q_{out} (cm ³)	T (°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 values		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

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

8.2 Mass of Soil, W_s

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

8.3 Density of soil, ρ

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

8.4 Area standpipe, a

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

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

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

8.5 Hydraulic Conductivity, k

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

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

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

9. การนำไปใช้งาน (Practical uses)

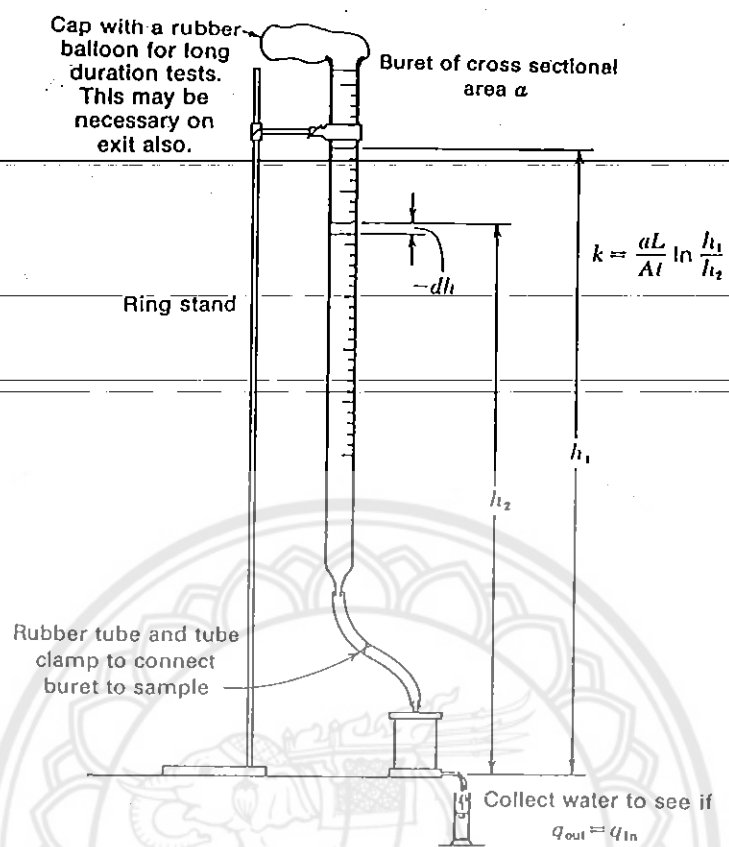
9.1 เป็นวิธีสำหรับทดสอบตัวอย่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากปานกลางถึงต่ำซึ่งเป็นตัวอย่างดินจำพวกทรายละเอียด หรือ ดินตะกอน

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

หนทางการแก้ไขปัญหานี้มีอยู่ 2 ประการดังนี้

9.1.1 ควบคุมความชื้นในห้องที่ทำการทดสอบนี้ เพื่อไม่ให้มีการระเหยของน้ำ

9.1.2 คลุมปลายที่เปิดของท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon) เล็กๆ ดังรูปที่ 8.4 แต่ห้ามอุดท่อตั้งด้วยสิ่งใดๆที่จะเป็นการขัดขวางการไหลของน้ำ



รูปที่ 8.4 ลักษณะการควบคุมปลายท่อตั้งด้วยยาง (Rubber Balloon) (Bowles, 1970)

Test 9 Unconfined Compression Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- 1.1 American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 1995 p. 162-166
- 1.2 วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติภกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 113-122
- 1.3 สถาพร คูวิจิตรจรู. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. 2541. หน้า (11-1) – (11-14)

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อทดสอบหาค่าแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินเหนียว (Cohesive Soil) แบบไม่มีหน่วยแรงค้ำข้างมากกระทำ

3. หลักการ (Principals)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงและกำลังของดินตัวอย่างในกรณีที่เป็นดินเหนียว (Cohesive Soil) สามารถทดสอบได้ด้วยวิธี Unconfined Compression Test คือจะมีเพียงแรงกดเฉพาะในแนวตั้ง แต่จะไม่มี ความดันหรือแรงอัดช่วยทางด้านข้างของตัวอย่างดิน 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

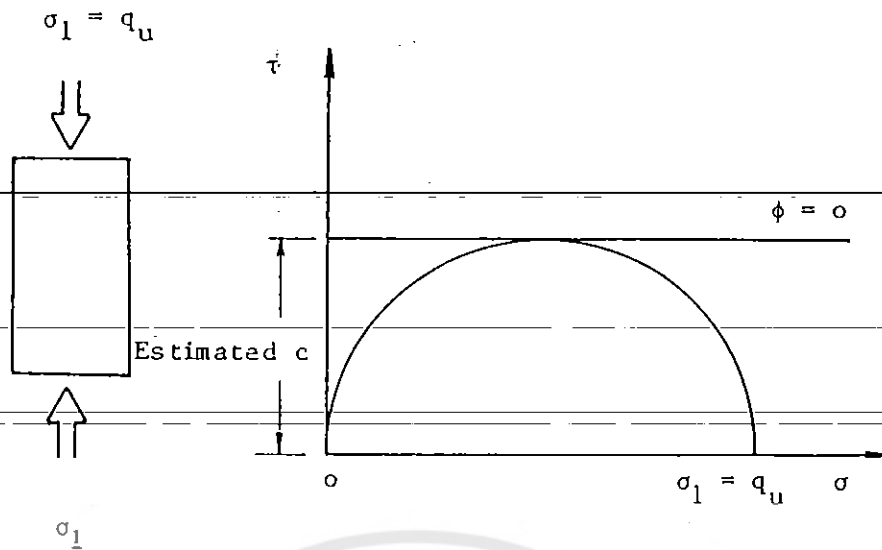
σ = ค่าความเค้นของตัวอย่างดิน

$\tan \phi$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของแรง Internal Friction

ภายใต้แรงกดที่กระทำในเวลาอันรวดเร็ว ค่า $\tan \phi$ ของดินเหนียวที่ถูกกดจะมีค่าน้อยมากๆ

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

และเมื่อนำค่าหน่วยแรงกระทำต่อตัวอย่างดินมาเขียน Mohr's Diagram จะได้ดังรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.1 Stress และ Mohr's Diagram (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

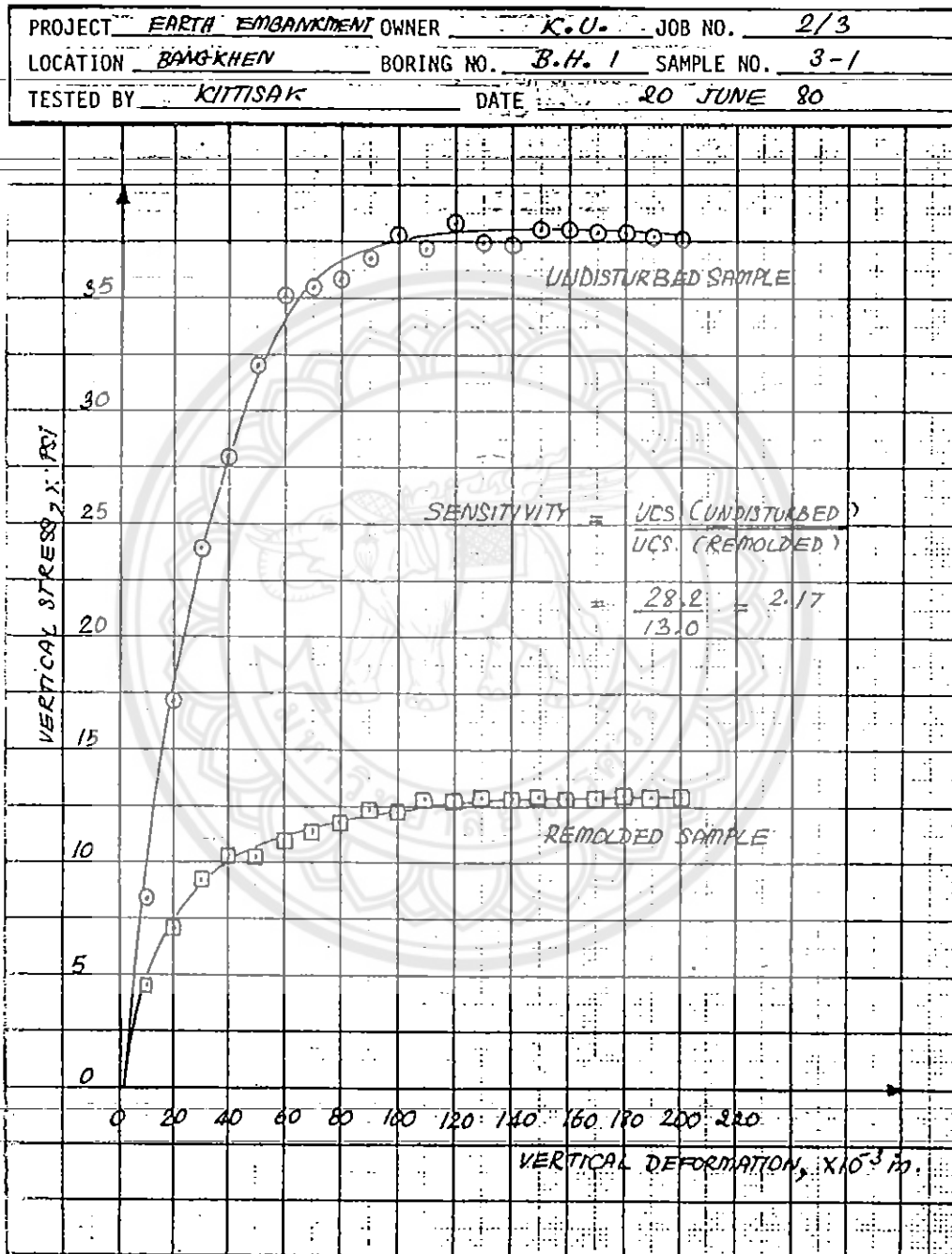
หมายเหตุ

ความแข็งแรงหรือกำลังของดินเหนียว (Cohesive Soil) ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ Cohesion เป็นค่าความแข็งแรงที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า-เคมี (Electro-Chemical Bonds) ระหว่างเม็ดดิน Friction เกิดจากการขัดตัวของเม็ดดิน (Particle Interlocking) และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน (Surface Friction)

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

เมื่อ σ_1 = ค่าความเค้นของตัวอย่างดินที่จุดสูงสุดกำลังของดิน
 F_v = แรงกดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างดิน
 A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินขณะที่มีการหดตัว

จากข้อมูลของค่าความเค้น (Unit Stress, σ) และค่าการหดตัว (Unit Strain, ϵ) ที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างดินหลังทำการกด จะถูกนำไปพลอตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังรูป 9.2 และอาศัยวิธี Graphical Solution ในการหาค่า σ_1 เพื่อนำไปเขียน Mohr's Diagram ดังที่กล่าวข้างต้น



รูปที่ 9.2 ความสัมพันธ์ของ Stress และ Deformation (วรากร, จิรพัฒน์ และ ประทีป, 2525)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 เครื่องกดตัวอย่างดิน (Compression Device)

4.2 วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

4.3 มาตรฐานน้ำปิด (Dial Gage) อ่านละเอียด 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว

4.4 อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน

4.4.1 กระบอบแบบ (Miter Box)

4.4.2 เลื่อยเส้นลวด

4.4.3 โครงตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming Frame)

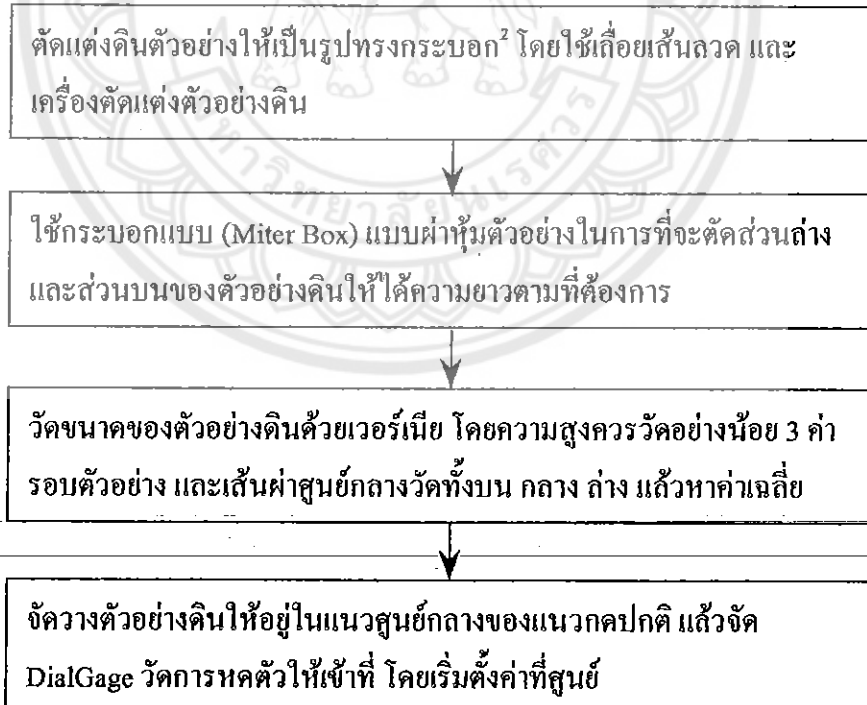
4.5 ดาชั่ง (Balance)

4.6 เตาอบ (Oven)

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1 ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)



รูปที่ 9.3 การเตรียมตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)

หมายเหตุ

² การตัดแต่งดินโดยปกติจะมีขนาดมาตรฐานดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, นิ้ว ความสูงของดินตัวอย่าง, นิ้ว

1.4

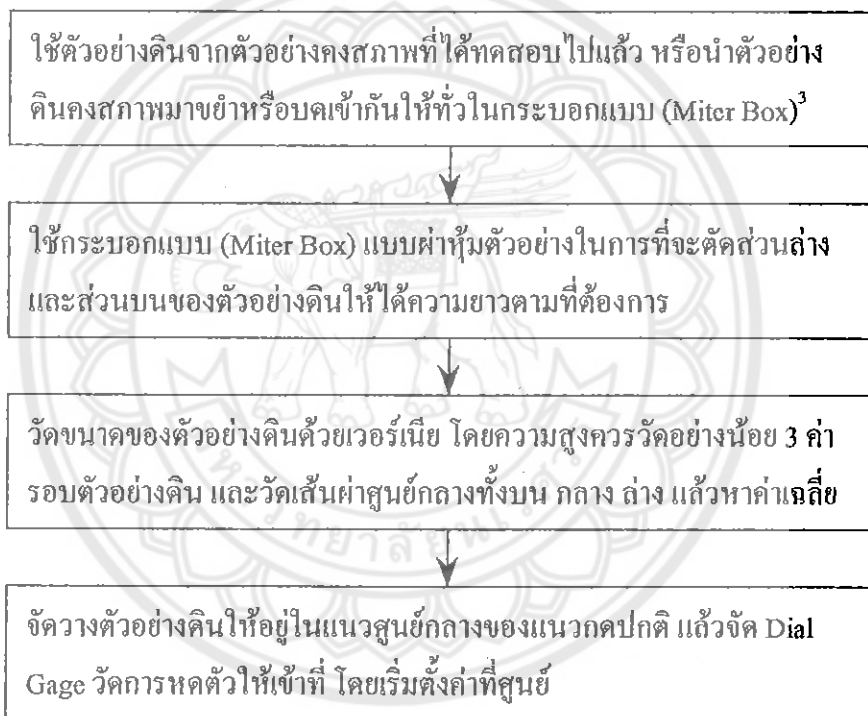
2.8 – 3.0

2.8

5.6 – 6.0

ความสูงของตัวอย่างดินต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งนี้เพื่อให้รอยเลื่อน (Failure Plane) ไม่เกิดในส่วนผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่างดินเพราะจะทำให้มีความผิดเกิดขึ้นบนส่วนนั้นระหว่างทดลอง ซึ่งทำให้ค่า F_v มีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น

5.1.2 ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample)

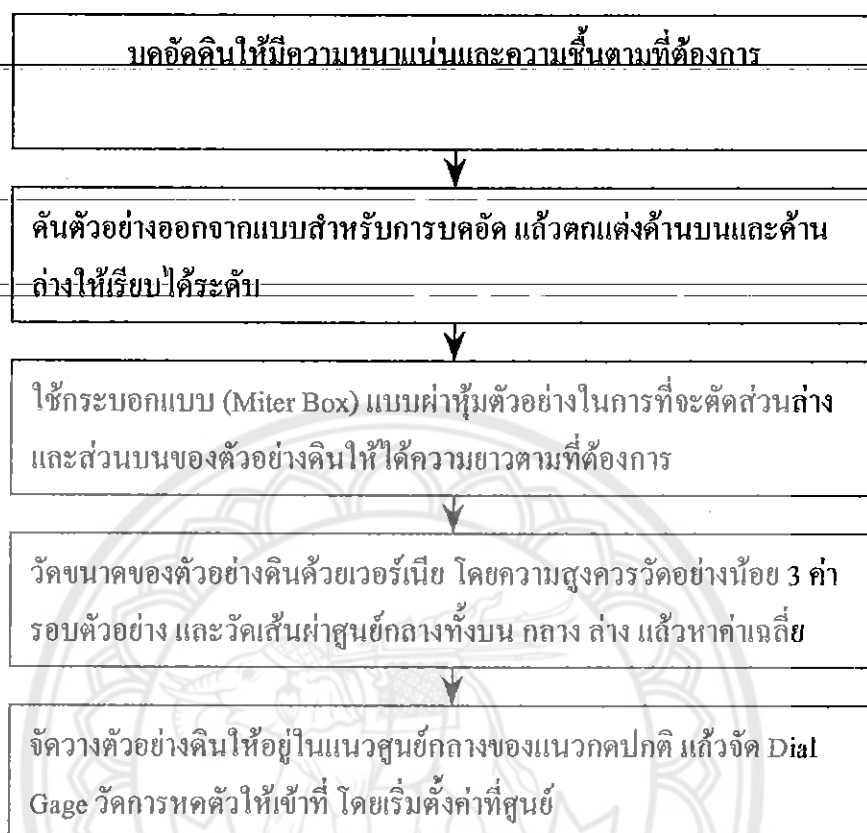


รูปที่ 9.4 การเตรียมตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Remolded Sample)

หมายเหตุ

³ การบดตัวอย่างดินคงสภาพในกระบอกแบบ (Miter Box) จะต้องพยายามให้มีโพรงอากาศอยู่ในตัวอย่างดินให้น้อยที่สุด เพราะโพรงอากาศจะมีผลกับการหดตัวของตัวอย่างดินเมื่อถูกแรงกดกระทำ

5.1.3 ตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample)⁴

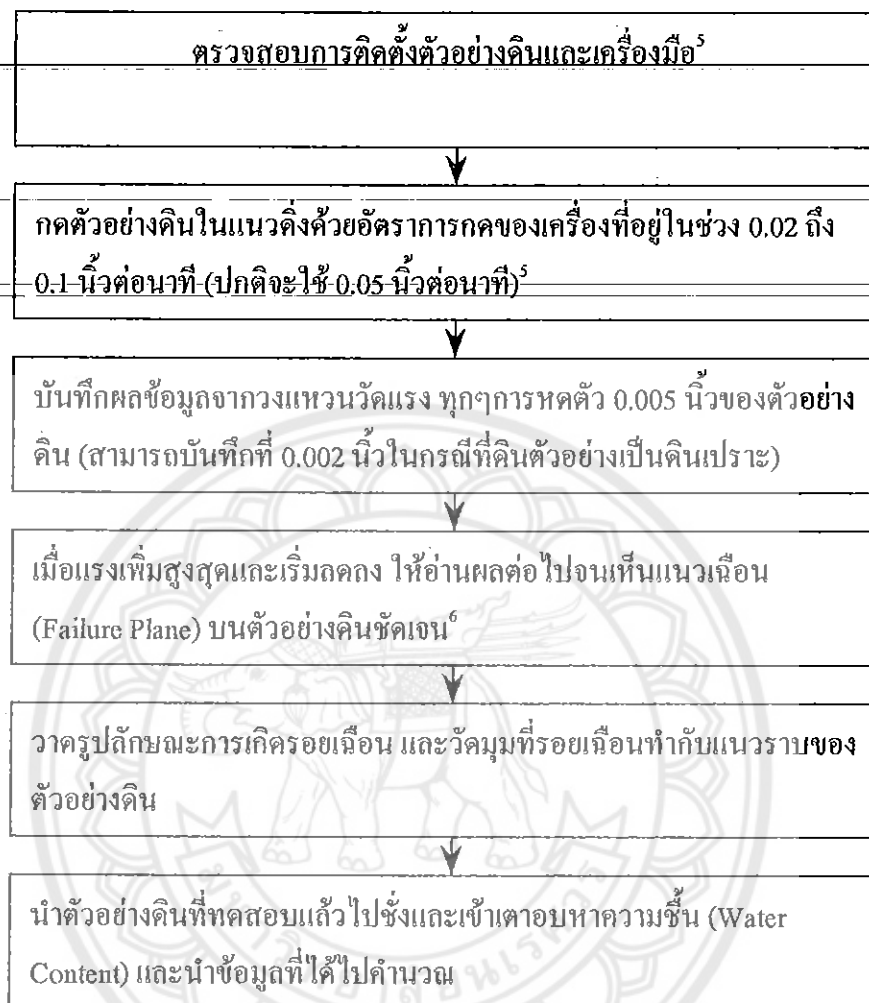


รูปที่ 9.5 การเตรียมตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Prepared Sample)

หมายเหตุ

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

5.2 การทดสอบ



รูปที่ 9.6 ขั้นตอนการทดสอบ Unconfined Compression Test

หมายเหตุ

⁵ การตรวจสอบการติดตั้งตัวอย่างดินและเครื่องมือ มีดังต่อไปนี้

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

⁶ หากเมื่อผ่านจุดที่แรงในวงแหวนสูงสุดไปแล้วยังไม่มียรอยเลื่อนให้เห็น 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. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)

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)	379.5
Initial area, A_0 (cm ²)	16.25	Wet unit weight, γ_T^1 (kN/m ³)	21.2
Initial volume, V_0 (cc)	175.5	Dry unit weight, γ_D^2 (kN/m ³)	18.52

Testing Data

Axial strain rate, (% / min) =	mm/min	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. $\gamma_T = \rho_T * 9.807 \text{ kN/m}^3 / \text{gm/cc}$, 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. $\sigma_v = \text{LDR} * \text{LRC} / A_c * (98.067 \text{ kN/m}^2 / 1 \text{ ks})$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

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

7.1 Initial area, A_0

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

7.2 Initial Volume, V_0

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

7.3 Wet unit weight, γ_T

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

7.4 Dry unit Weight, ρ_D

$$\begin{aligned} \gamma_D &= \frac{\gamma_T}{(1 + \text{initial water content}/100)} \\ &= \frac{\gamma_T}{(1 + W_o/100)} \\ &= \frac{21.19}{(1 + 14.5/100)} \quad \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\ &= 18.50 \quad \text{kN/m}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\Delta L}{L_o} &= \frac{50 * 10^{-2}}{10.8 * 10} \quad \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \\ &= 0.46 * 10^{-2} \end{aligned}$$

7.6 Corrected area, A_c

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{A_o}{(1 - \Delta L/L_o)} \\ &= \frac{16.26}{(1 - 0.46 * 10^{-2})} \quad \text{cm}^2 \\ &= 16.34 \quad \text{cm}^2 \end{aligned}$$

7.7 Vertical stress on specimen, σ_v

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{(\text{load dial reading}) * (\text{loading ring constant}) * 9.807}{\text{corrected area}} \\ &= \frac{\text{LDR} * \text{LDC} / A_c * 9.807}{\text{corrected area}} \\ &= \frac{8 \text{ div} * 0.34 \text{ Kg/div} * 98.067}{16.34 \text{ cm}^2} \quad \frac{\text{kN} \cdot \text{cm}^2}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}} \\ &= 16.32 \quad \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses) ✕

9.1 เหตุผลหลักๆ ของการเลือกใช้การทดสอบ Unconfined Compression เพราะสามารถหาค่าประมาณของกำลังรับแรงกดอัดของดินได้อย่างคร่าวๆ และรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดสำหรับการใช้การทดสอบนี้คือจะสามารถใช้ทดสอบได้เฉพาะกับชนิดของดินที่มีค่าการยึดเหนี่ยวแบบ Cohesion เพียงพอที่จะคงสภาพในขณะที่ทดสอบได้

9.2 จากข้อแรกจะกล่าวอธิบายได้คือ ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบจะต้องไม่เกิดการซึมของน้ำในขณะที่ดินถูกบดอัด และยังคงสามารถรักษาไว้ซึ่งกำลังรับแรงอัดของดินได้เมื่อนำเครื่องมือทดสอบออก ตัวอย่างของดินที่สามารถทดสอบได้ คือ Clays หรือ Cemented Soils โดยดินจำพวกดินแข็งและแตกง่าย, Peats, Sands ไม่สามารถทำการทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ได้

9.3 หากตัวอย่างของดินทดสอบคงสภาพ (Undisturbed) และดินเปลี่ยนแปลงสภาพ (Remolded) เป็นตัวอย่างขึ้นเดียวกัน จะทำให้การทดสอบหาค่า Sensitivity สามารถทำได้แต่เงื่อนไขของการทดสอบคือ ตัวอย่างที่ทดสอบจะต้องสามารถคงสภาพรูปร่างของตัวอย่างในขณะที่ทดสอบตัวอย่างเปลี่ยนแปลงสภาพได้



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

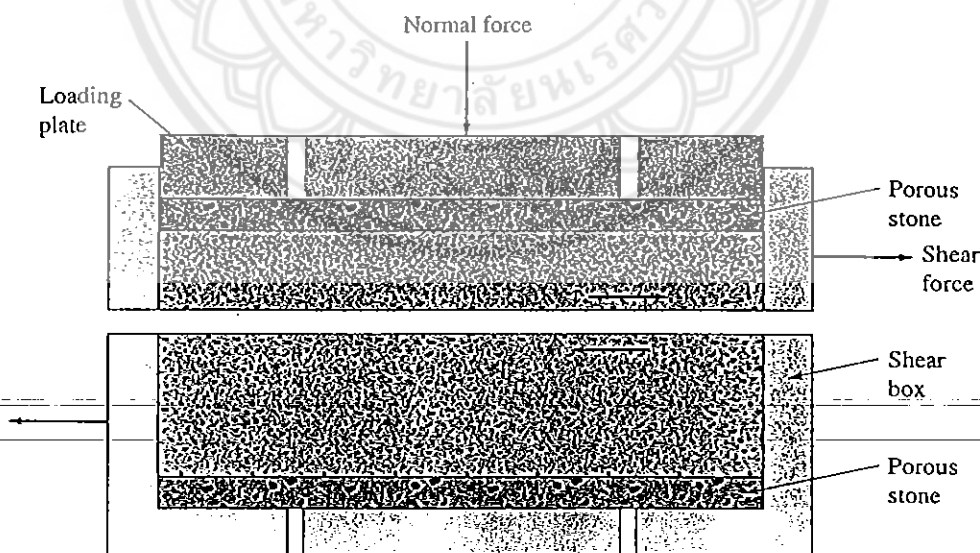
1.5 วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติภักโร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. 2525. หน้า 103 - 112

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินซึ่งแสดงในรูปพารามิเตอร์ของกำลังเฉือน Shear Strength Parameter (ϕ, c)

3. หลักการ (Principals)

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



รูปที่ 10.1 ภาพแสดงหลักการทดสอบ Direct Shear Test (Das, 1998)

จากรูปที่ 10.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงในแนวราบ (H) กับแรงกดในแนวตั้งฉาก (N) คือ

$$H = \mu N$$

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

จะได้ $H = \mu N + C$

เราสามารถเปลี่ยนสมการเป็นในรูปของ Stress โดยนำสมการที่ได้ไปหารด้วยพื้นที่ผิวเฉือนของตัวอย่าง (Shearing area) จะได้

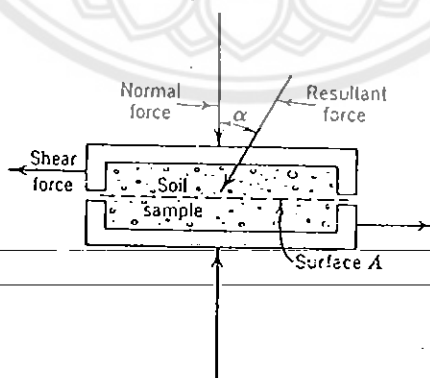
$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

- 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 ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของดินที่ทดสอบ

ความสามารถในการรับแรงเฉือนของดินจะขึ้นกับพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ

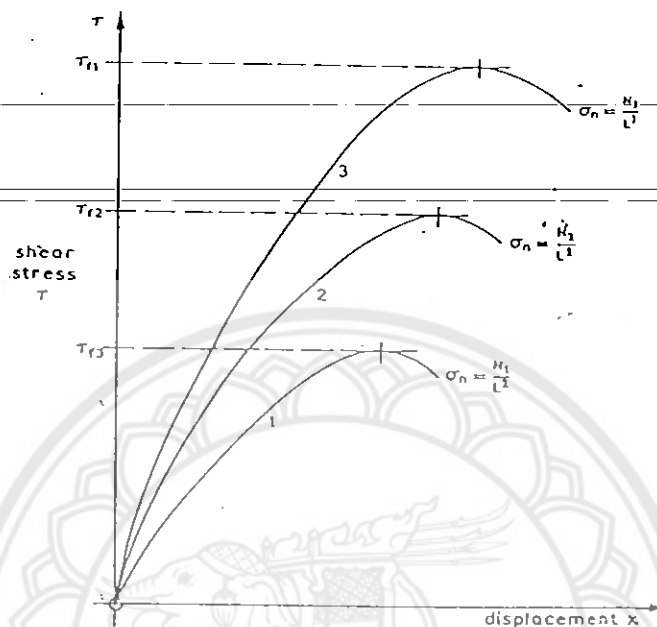
1. แรงเสียดทาน (Friction) สำหรับตัวอย่างดินชนิด Cohesionless soil เกิดจากการ Interlocking กันระหว่างอนุภาคมีลักษณะคล้ายคลึงกับแรงเสียดทานระหว่างผิวของอนุภาคเมื่อมีแรงกดมากระทำในแนวตั้งฉากกับผิวบนและแรงกระทำในแนวราบกับพื้นผิวเดียวกันดังตัวอย่างของรูปที่ 10.2



รูปที่ 10.2 แสดงแรงกระทำในแนวตั้งฉากและแนวราบกับผิวตัวอย่าง (Lambe, 1951)

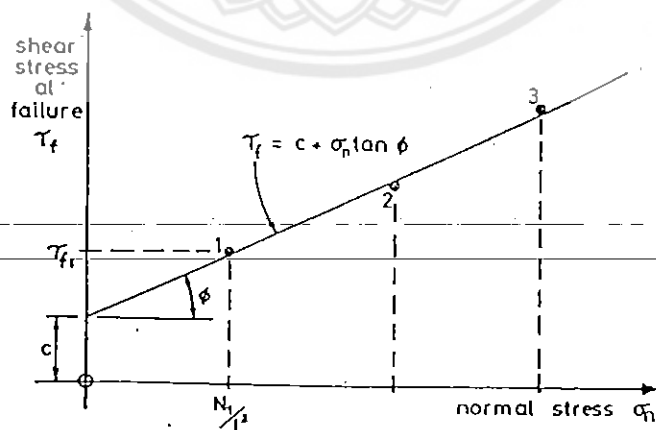
2. แรงยึดเกาะ (Cohesion) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า - เคมี (Electro - Chemical Bonds) ระหว่างเม็ดดิน ซึ่งจะเกิดกับตัวอย่างดินชนิด Cohesive soil

จากผลการทดลองที่ทำการกดอัดตัวอย่างภายใต้แรงดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า ผลที่บันทึกคือ Horizontal Deformation และ ค่า Shearing Stress โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูป 10.3



รูปที่ 10.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ Displacement (Head, 1980)

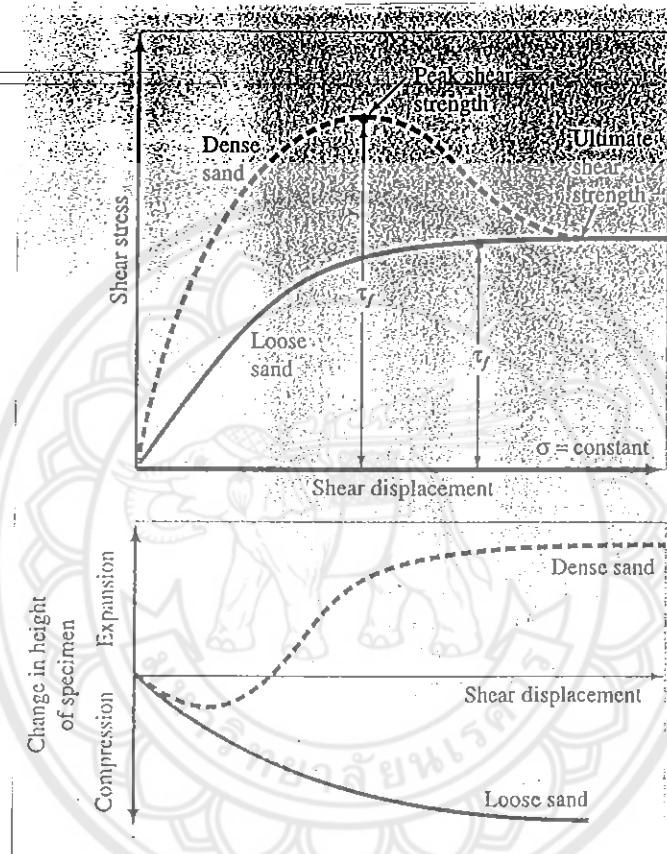
จากกราฟหาค่า Maximum Shear Stress ของผลการทดลองแต่ละความดัน แล้วนำมาพล็อตกราฟกับ ค่า Normal Stress ดังรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Shear Stress กับ Normal Stress (Head, 1980)

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

และจากผลของการทดลองที่บันทึกได้ยังสามารถที่จะนำมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress และความสูงของตัวอย่างที่ถูกกดอัดกับ Shear Displacement ดังรูป



รูปที่ 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_p) และหลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าค่อนข้างคงตัวเมื่อค่า Shear Displacement เพิ่มขึ้นไปอีก
2. ใน Dense Sand ค่า Shear Stress จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับ Shear Displacement จนกระทั่งถึงจุดที่ τ_p และหลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าลดลงในขณะที่ค่า Shear Displacement ยังคงเพิ่มอยู่ จนถึงที่จุด Ultimate Shear Strength หลังจากนั้นค่า Shear Stress จะมีค่าค่อนข้างคงตัว

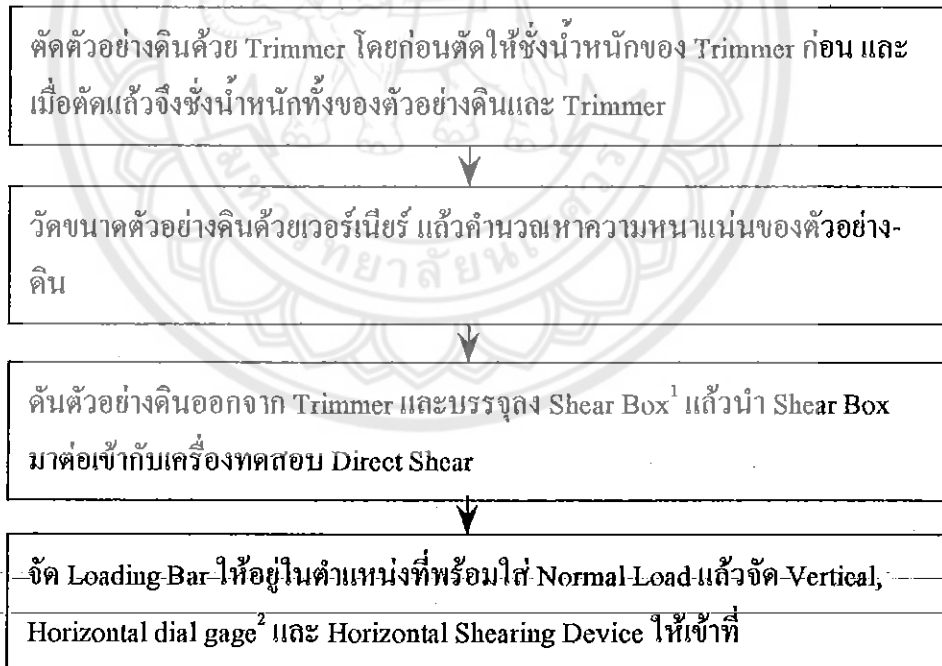
4. อุปกรณ์ (Apparatus)

- 4.1 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine)
- 4.2 กล่องบรรจุตัวอย่างดิน (Shear Box) และอุปกรณ์
- 4.3 วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
- 4.4 มาตรฐาน้ำปิด (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

5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

5.1.1 ดินเหนียว (Cohesive Soil)



รูปที่ 10.6 ขั้นตอนการเตรียมดินเหนียว

หมายเหตุ

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

5.1.2 ดินทราย (Cohesionless Soil)

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

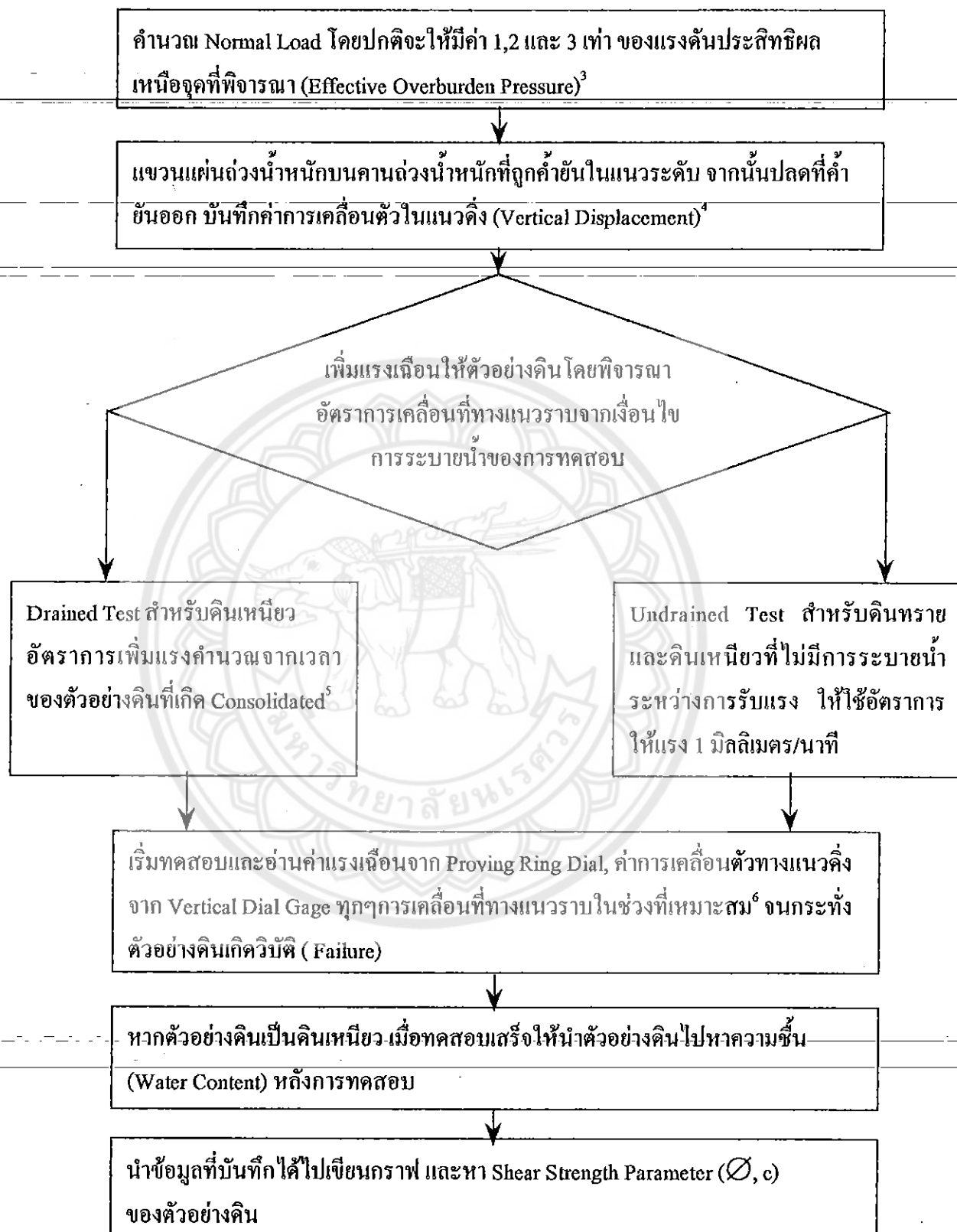
ชั่งน้ำหนักของทรายที่เหลือ และวัดความสูงของทรายตัวอย่าง แล้วนำ Shear Box
มาจัดเข้าเครื่องทดสอบ Direct Shear

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

รูปที่ 10.7 ขั้นตอนการเตรียมดินทราย



5.2 การทดสอบ



รูปที่ 10.8 ขั้นตอนการทดสอบ Direct Shear

หมายเหตุ

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

โดย $\sigma_n = \text{Normal Stress}$

$A = \text{พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของตัวอย่างดิน}$

4. เมื่อปล่อยที่ค้ำขึ้นออก ในกรณีที่เป็นดินเหนียวต้องปล่อยตัวอย่างดินไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด

Consolidated

5. อัตราการเคลื่อนที่ทางราบ คำนวณได้จาก

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

เมื่อ

$t_r = \text{เวลาทั้งหมดที่เริ่มให้แรงจนกระทั่งดินตัวอย่างวิบัติ}$

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

อย่างเพื่อให้เกิด 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_p)

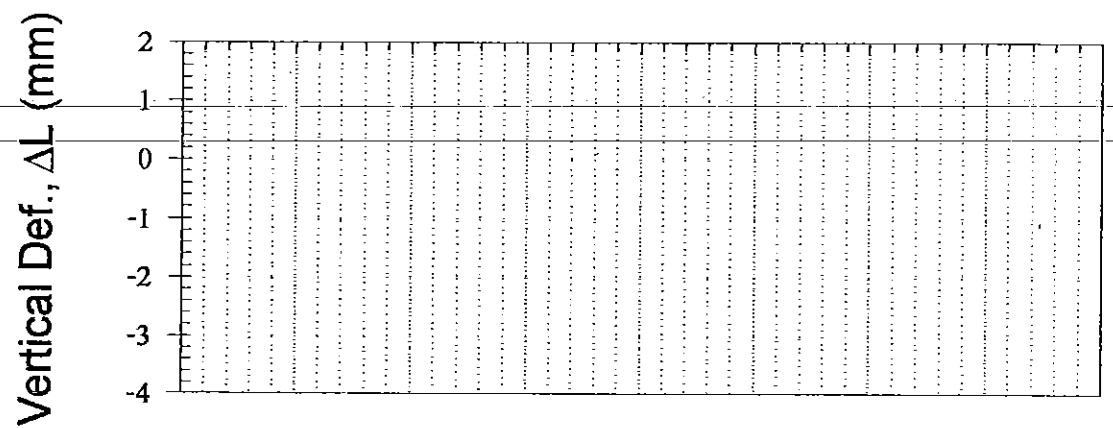
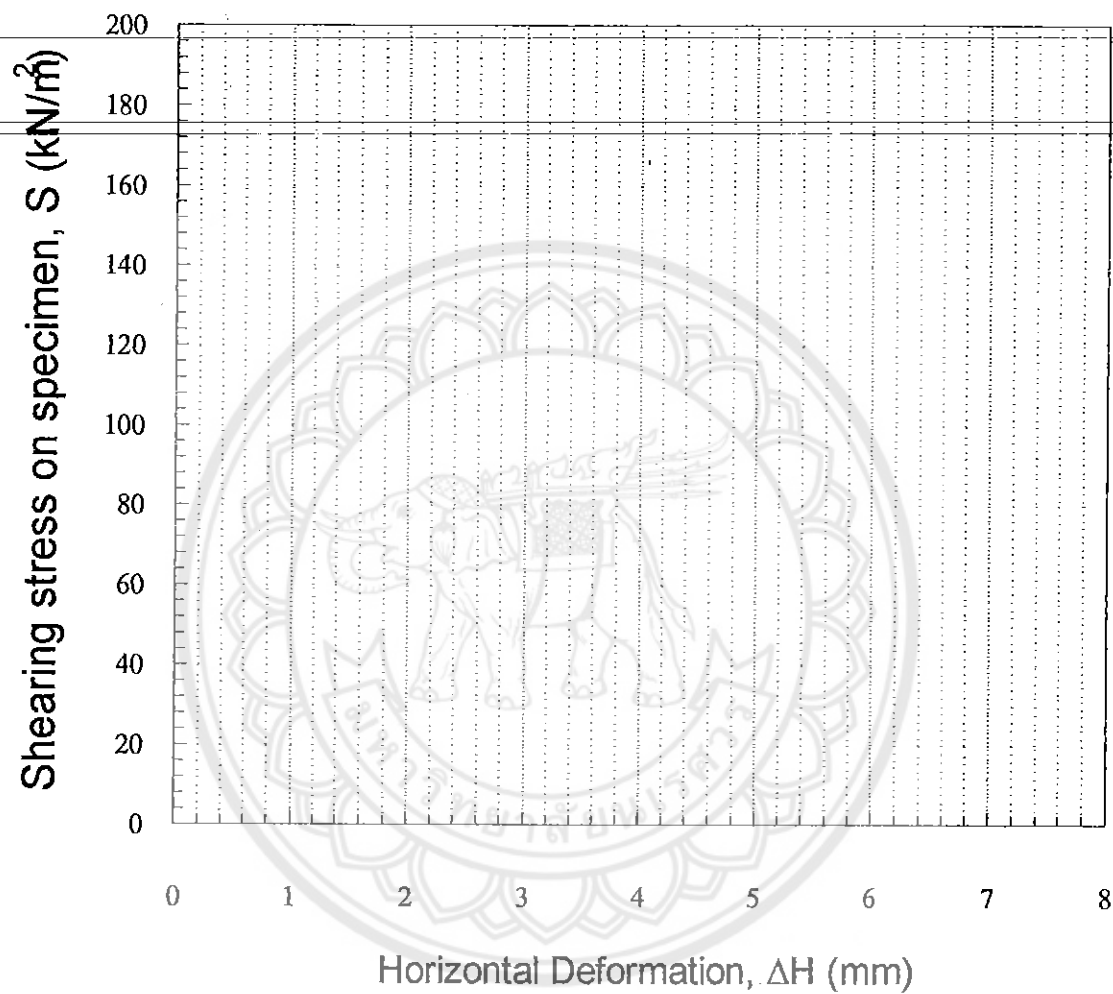
6.5 Horz. Deform dial reading (ΔH)

6.6 Horz. Load dial reading (HLDR)

6.7 Vert. Deform. Dial reading (ΔL)

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

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



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

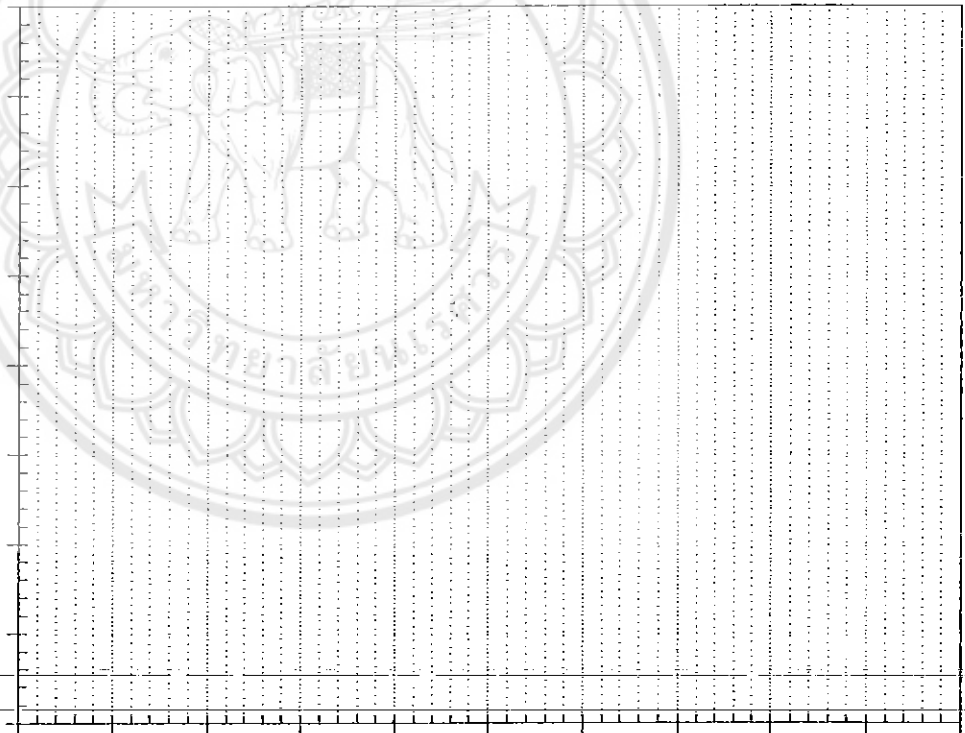
Project _____
 Test No _____
 Date _____
 Tested By _____
 Checked By _____

Soil structure _____

Drainage condition _____

Tested specimen no.	Water Content		Final vertical def.	Final horizontal def.	Normal stress	Maximum shear stress
	Initial w_0 (%)	Final w_F (%)	ΔL_F ()	ΔH_F ()	σ_N (kN/m ²)	Max S ⁷ (kN/m ²)
1						
2						
3						

Maximum shearing stress, S (kN/m²)



Normal stress, σ_N (kN/m²)

Cohesion, c = _____

(kN/m²)

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_0 (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_0 (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 (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	

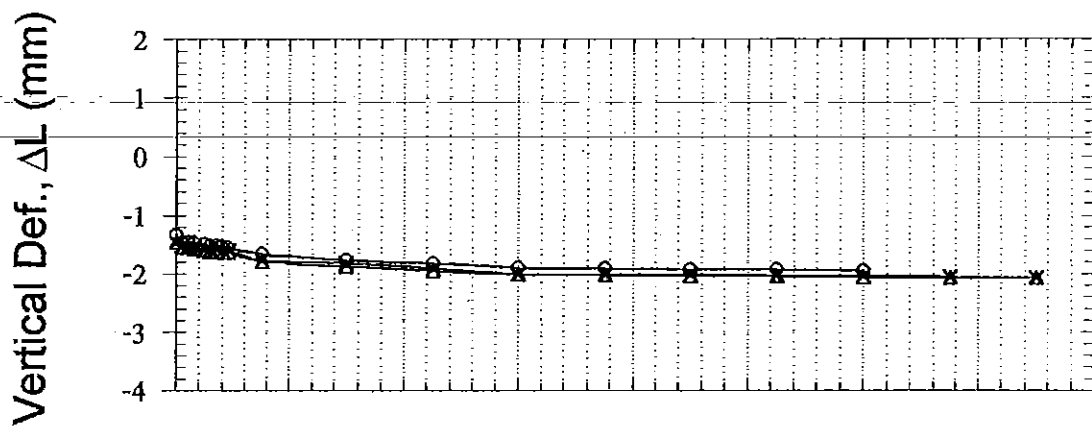
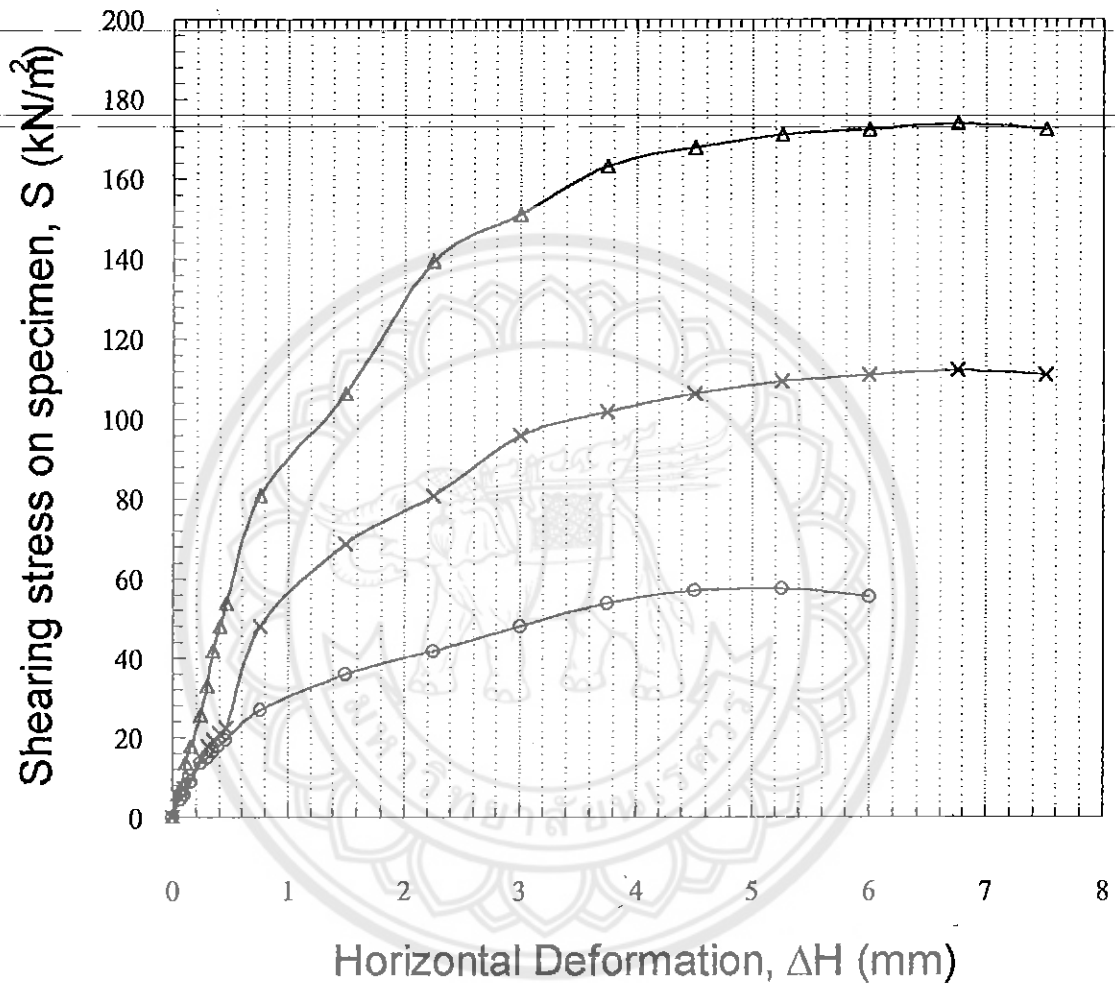
Note: 1. Compute from shear box side

2. Compute from initial area and specimen height

3. $\gamma_D = (M_D / V_0 \text{ gm/cc}) * (9.807 \text{ kN/m}^3 : \text{gm/cc})$ 4. $\gamma_{T0} = \gamma_D * (1 + w_0 / 100)$ 5. $\gamma_{TF} = \gamma_D * (1 + w_F / 100)$ 6. For square specimen, may use $A_c = A_0 - \Delta H$ 7. $S = \text{HLDR} * \text{LDC} / A_c * (98.067 \text{ kN/m}^2 : 1 \text{ ksc})$

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

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



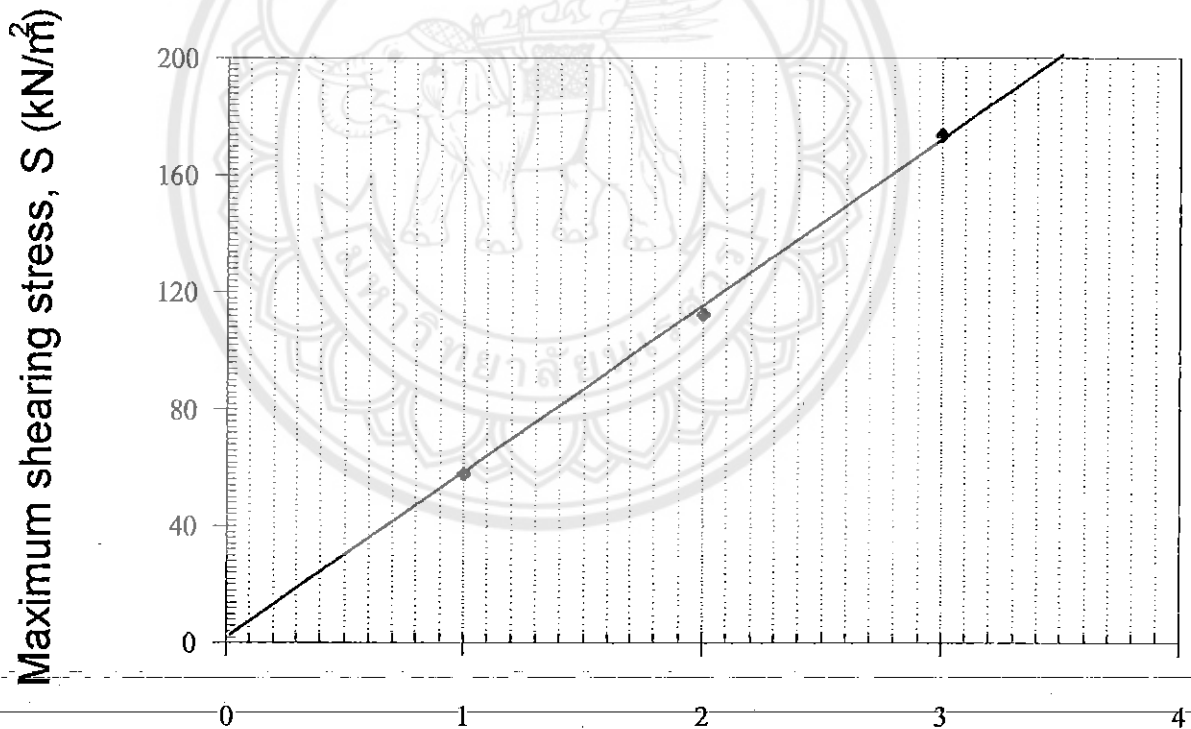
Soil Description _____
 Location _____
 Boring No _____
 Sample No _____
 Sample Depth _____

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. ΔL_F (mm)	Final horizontal def. ΔH_F (mm)	Normal stress σ_N (kN/m ²)	Maximum shear stress S^7 (kN/m ²)
	Initial w_0 (%)	Final w_F (%)				
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/m²)

Cohesion, $c = 0$ (kN/m²)

Angle of internal friction, $f = 57$

8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

Sample of Calculation (use data of Normal Load = 36 kg and $\Delta H = 0.06$ mm)8.1 Normal stress, σ_N

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

$$\text{Area, } A_0 = \text{Shear box side}^2$$

$$= D_0^2$$

$$= 6 * 6 \quad \text{cm}^2$$

$$= 36 \quad \text{cm}^2$$

$$\sigma_N = \frac{36}{36} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$= 1 \quad \text{kg / cm}^2$$

8.2 Initial volume, V_0

$$V_0 = \text{(shear box height)} * \text{(shear box side)}^2$$

$$= (3.80) * (6 * 6) \quad \text{cm}^3$$

$$= 136.80 \quad \text{cm}^3$$

8.3 Dry unit weight, γ_D

$$\gamma_D = \frac{\text{(dry mass)} * 9.807}{\text{Initial volume}}$$

$$= \frac{W_D * 9.807 \quad (\text{kN} \cdot \text{cc})}{V_0 \quad (\text{m}^3 \cdot \text{gm})}$$

$$= \frac{144.32 * 9.807}{136.80} \quad \frac{(\text{gm}) \quad (\text{kN} \cdot \text{cc})}{(\text{cc}) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{Gm})}$$

$$= \frac{144.32 * 9.807}{136.80} \quad \frac{(\text{gm}) \quad (\text{kN} \cdot \text{cc})}{(\text{cc}) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{Gm})}$$

$$= 10.346 \quad \text{kN/m}^3$$

8.4 Initial wet U.W., γ_{T0}

$$\gamma_{T0} = \gamma_D * (1 + \text{Initial water content} / 100)$$

$$= \gamma_D * (1 + w_0 / 100)$$

$$= 10.346 * (1 + 22.1 / 100) \quad \text{kN/m}^3$$

$$= 12.633 \quad \text{kN/m}^3$$

8.5 Final wet U.W., γ_{TF}

$$\begin{aligned}
 \gamma_{TF} &= \gamma_D * (1 + \text{Final water content} / 100) \\
 &= \gamma_D * (1 + w_F / 100) \\
 &= 10.346 * (1 + 21.7 / 100) \quad \text{kN/m}^3 \\
 &= 12.591 \quad \text{kN/m}^3
 \end{aligned}$$

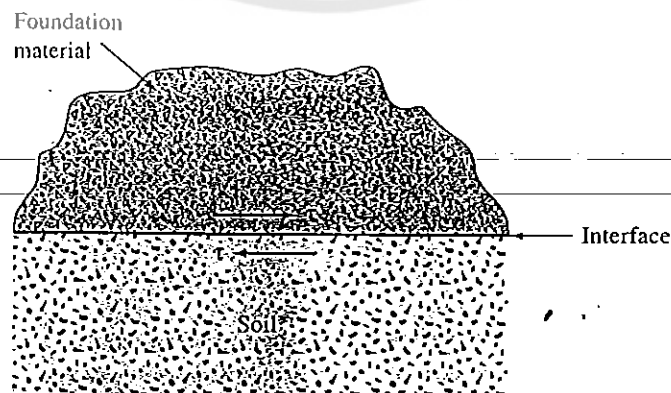
8.6 Shear stress on specimen, S

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\text{Horz. deform. dial reading} * \text{Load ring constant} * 98.067}{\text{Corrected area}} \\
 &= \frac{\text{HLDR} * \text{LRC} * 98.067}{A_c} \\
 &= \frac{6 * 0.275 * 98.067}{36} \quad \frac{\text{div} * \text{kg} * 1 * \text{kN} * 1}{\text{div} * \text{cm}^2 * \text{m}^2 * \text{ksc}} \\
 &= 4.5 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

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

9.2 ในการออกแบบ Foundation นั้น สิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือค่า Angle of friction (ϕ) ระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ดังรูปที่ 10.9



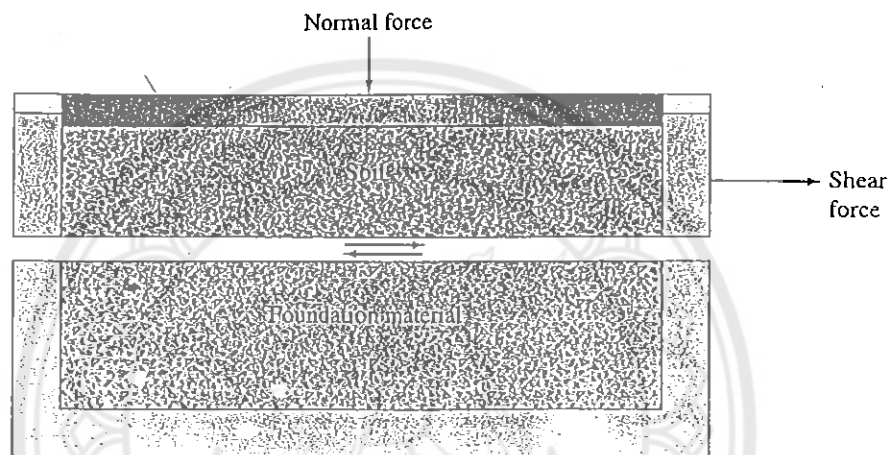
รูปที่ 10.9 แสดงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (Das, 1998)

โดยวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างนั้นอาจจะเป็นคอนกรีต, เหล็ก หรือ ไม้ ซึ่งค่า Shear strength ตลอดแนวของหน้าตัดที่สัมผัสกันระหว่างดินกับวัสดุจะสามารถทำได้ดังนี้

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

ที่ซึ่ง c_u = Adhesion

δ = Angle of friction ของระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง



รูปที่ 10.10 การใช้ Direct shear test เพื่อหาค่า Angle of friction (DAS, 1998)

นับเป็นข้อได้เปรียบของ Direct shear test สำหรับการพิจารณาหา Shear strength parameters ระหว่างดินกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง โดยในการทดสอบจะวางวัสดุที่ใช้ก่อสร้างลงบนส่วนตอนล่างของอุปกรณ์ทดสอบ และดินจะถูกวางในส่วนตอนบน ดังรูป 10.10 โดยการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ Direct shear test ทั่วไป

Test 11 Consolidation Determination

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)

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

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

ทดสอบเพื่อหาค่าคงตัวของการอัดตัวของดิน (Compressibility Parameters) สำหรับตัวอย่างดินเหนียว (Soft Clay)

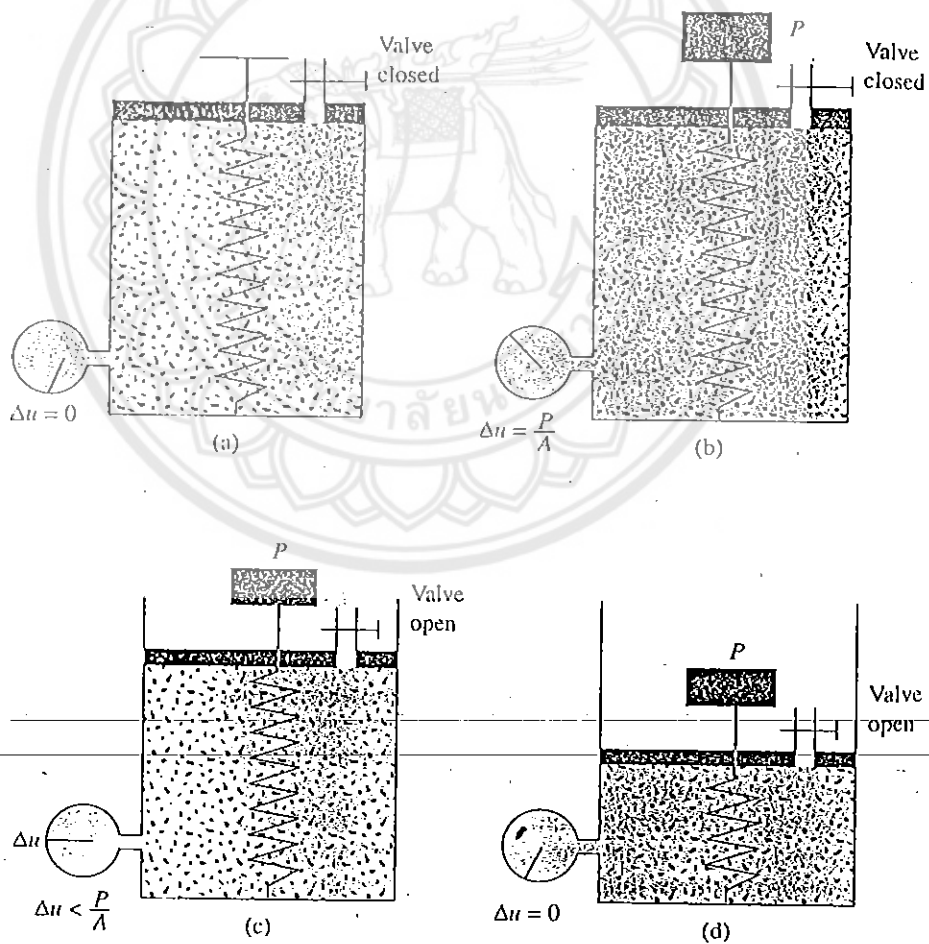
3. หลักการ (Principals)

การทรุดตัวของชั้นดินที่เกิดจากการกดทับ หรือน้ำหนักบรรทุกของสิ่งก่อสร้างบนดิน จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Immediate settlement เกิดจากคุณสมบัติการยืดหยุ่นของดิน ทั้งนี้จะเกิดการทรุดตัวทันทีที่มีน้ำหนักกดทับ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน การทรุดตัวประเภทนี้จะเกิดปริมาณไม่มากนัก
2. Primary Consolidation Settlement เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินให้ลดลงเนื่องจากปริมาณของน้ำถูกบีบออกจากมวลดิน โดยการทรุดตัวประเภทนี้จะถือเป็นสาเหตุหลักของการทรุดตัว
3. Secondary Consolidation Settlement เป็นการทรุดตัวของดินที่มีสาเหตุมาจาก Plastic Deformation และการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน

การทรุดตัวของดินจะมีอัตราเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Permeability) โดยสำหรับดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีความสามารถในการระบายน้ำสูงจึงทำให้ Immediate Settlement และ Consolidation เกิดขึ้นในช่วงเวลาพร้อมกัน แต่สำหรับดินเหนียวที่มีความสามารถในการระบายน้ำค่อนข้างต่ำจะทำให้การเกิด Consolidation นั้นทิ้งช่วงเวลาที่ยาวนานหลังจากการเกิด Immediate Settlement และในดินเหนียวส่วนใหญ่ที่เกิด Consolidation จะมีชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในดินจึงกล่าวได้ว่าเป็นดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay)

Model จำลองของหลักพื้นฐานการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวจะเปรียบได้กับสปริงและน้ำในสถานะสมดุล จากรูปที่ 11.1 เมื่อเริ่มแรงกดในขณะวาล์วน้ำปิดอยู่ จะทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Initial Excess Pore Pressure) $\Delta u = \frac{P}{A}$ และเมื่อเปิดวาล์วน้ำก็จะระบายออกไปทำให้ ในขณะที่เดียวกันแรงกดจะกระจายไปสู่สปริงซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นดินที่รับแรงกดที่มากกว่าแทนที่ของน้ำ $\Delta u < \frac{P}{A}$ และเมื่อปล่อยทิ้งไว้ช่วงเวลาที่หนึ่งดินจะกลับสู่สภาพสมดุลอีกครั้งหนึ่ง คือ $\Delta u = 0$ รวมทั้งเมื่อปริมาณน้ำในช่องว่างของดินถูกระบายออกไปจึงทำให้ปริมาตรของดินลดลงด้วย



รูปที่ 11.1 Spring - Cylinder model (DAS, 1998)

หลักอธิบายทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model นี้คือ

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

โดย $\Delta\sigma = \text{Total Stress}$

$\Delta\sigma' = \text{Increase in the Effective Stress}$

$\Delta U = \text{Increase in the Pore Water Pressure}$

เนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำต่ำ และเมื่อดินถูกแรงกดกระทำ

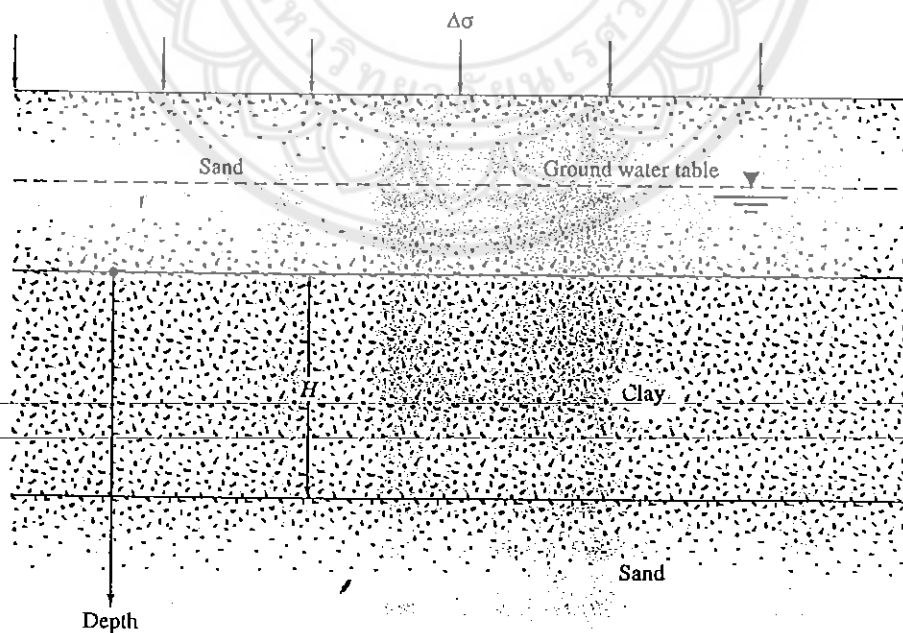
ดังนั้น $t=0$ จะได้ $\Delta\sigma = \Delta U$ ($\Delta\sigma' = 0$)

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

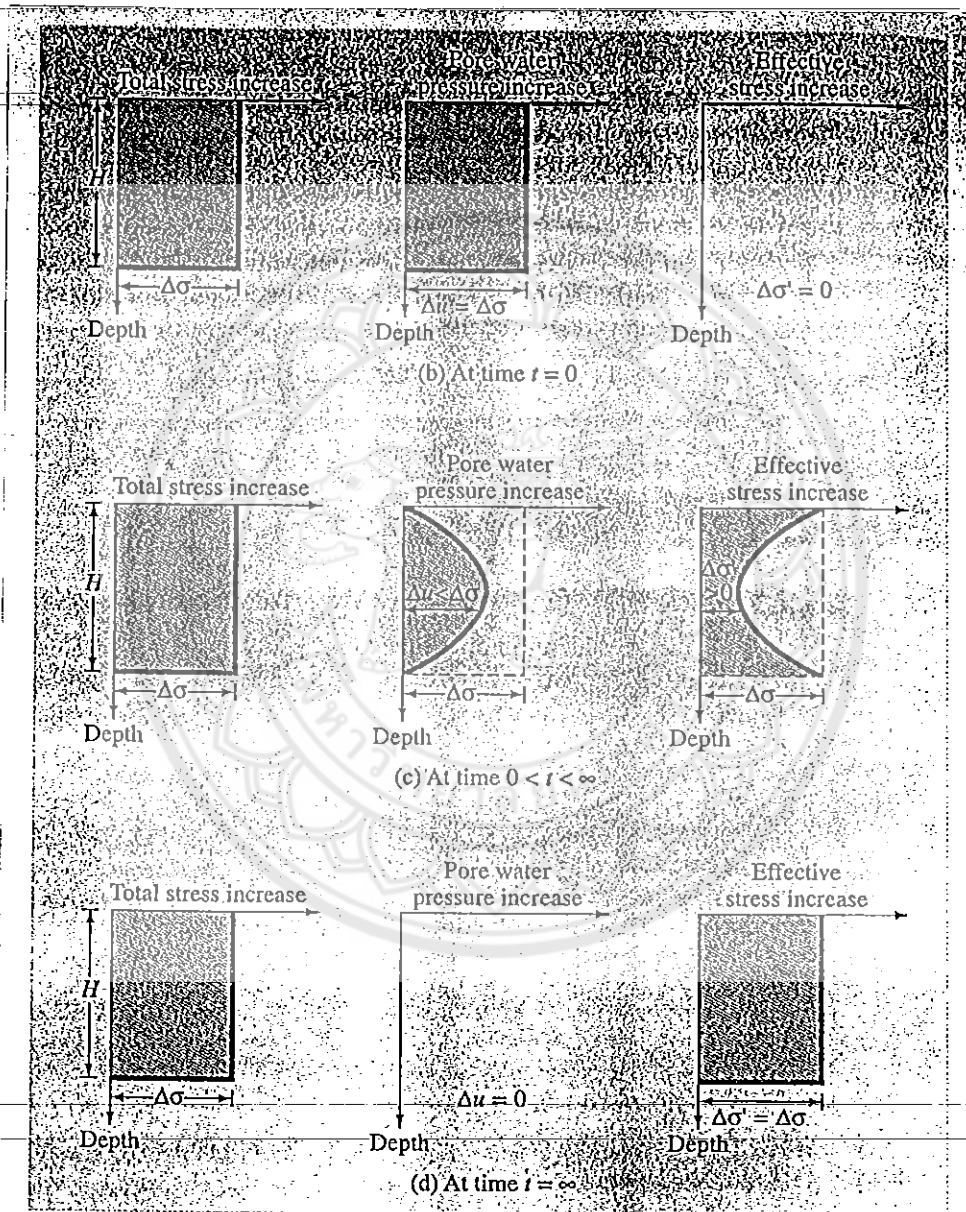
ดังนั้น $0 < t < \alpha$ จะได้ $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta U$ ($\Delta\sigma' > 0$ และ $\Delta U < \Delta\sigma$)

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

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



รูปที่ 11.2 (a) ลักษณะการเกิด Consolidation ของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Clay) (DAS,1998)



รูปที่ 11.2 (b) แสดงหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของ Model (DAS, 1998)

คุณสมบัติที่สำคัญของดินจากการทดสอบ Consolidation Test มี 2 ประการ ได้แก่

1. อัตราความเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement) คืออัตราเร็วที่น้ำไหลออกจากชั้นดิน ที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ

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 และลักษณะของ Initial Excess Pore pressure ดังในรูปที่ 11.4

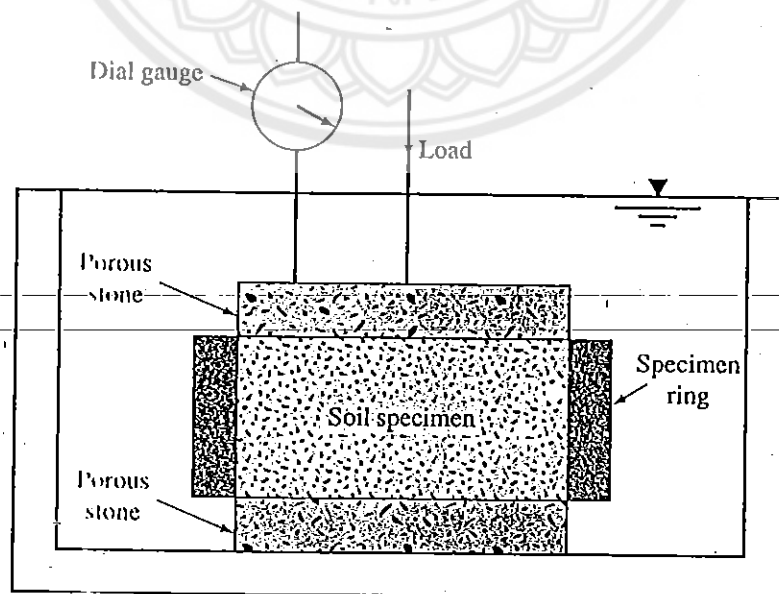
t = ระยะเวลาในการเกิด Percentage of Consolidation ต่างๆ

H = ระยะไกลที่สุดที่น้ำในมวลดินจะต้องไหลออกมาสู่จุดสมดุลย์

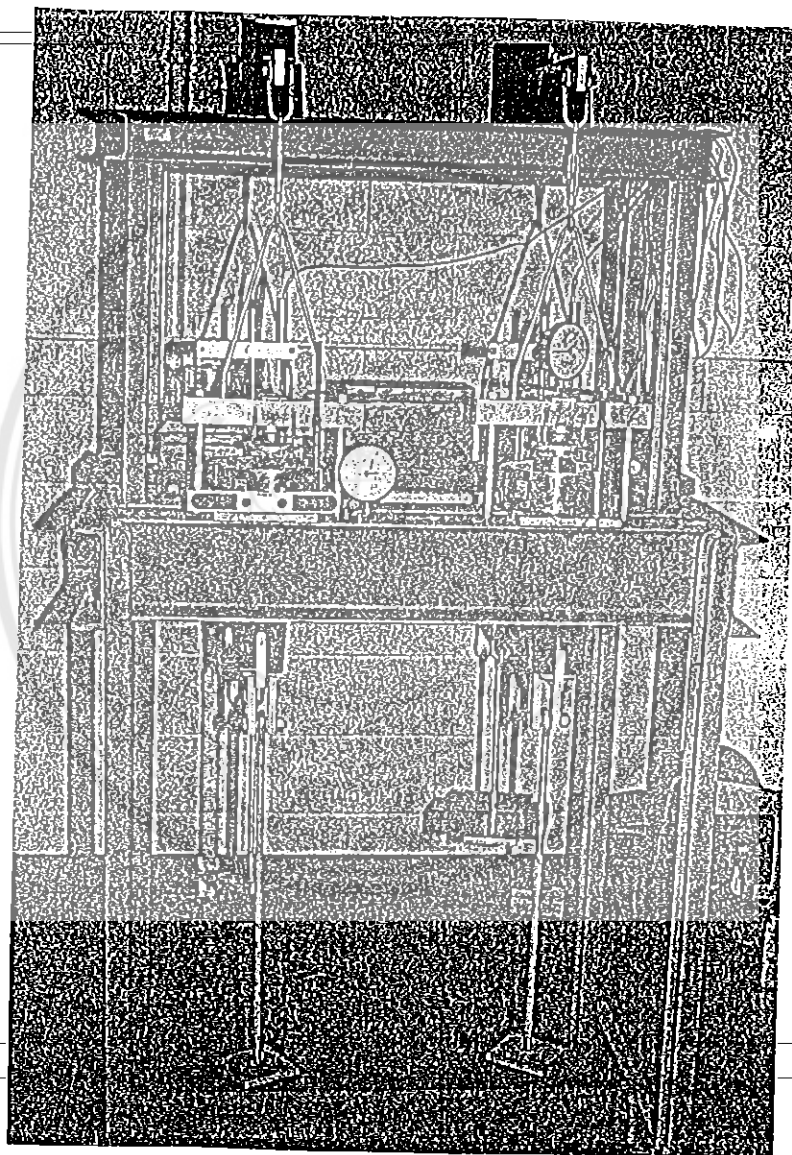
2. ปริมาณการทรุดตัวสูงสุด (Total Settlement) ซึ่งจะบ่งชี้โดย "ดัชนีของการทรุดตัว"

(Compressibility Index), C_c

จากลักษณะของการทรุดตัวของชั้นดินที่แบ่งเป็น 3 ประเภท แต่สำหรับในปฏิบัติการนี้จะเป็นการทดลองหาการทรุดตัวในช่วง Primary Consolidation Settlement โดยมีลักษณะของตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 11.3



รูปที่ 11.3 (a) Diagram of Consolidometer (DAS, 1998)



รูปที่ 11.3 (b) เครื่องมือทดสอบ Consolidation ทั้งหมด (DAS, 1998)

U (%)	T_v	U (%)	T_v
0	0	51	0.204
1	0.00008	52	0.212
2	0.0003	53	0.221
3	0.00071	54	0.230
4	0.00126	55	0.239
5	0.00196	56	0.248
6	0.00283	57	0.257
7	0.00385	58	0.267
8	0.00502	59	0.276
9	0.00636	60	0.286
10	0.00785	61	0.297
11	0.0095	62	0.307
12	0.0113	63	0.318
13	0.0133	64	0.329
14	0.0154	65	0.340
15	0.0177	66	0.352
16	0.0201	67	0.364
17	0.0227	68	0.377
18	0.0254	69	0.390
19	0.0283	70	0.403
20	0.0314	71	0.417
21	0.0346	72	0.431
22	0.0380	73	0.446
23	0.0415	74	0.461
24	0.0452	75	0.477
25	0.0491	76	0.493
26	0.0531	77	0.511
27	0.0572	78	0.529
28	0.0615	79	0.547
29	0.0660	80	0.567
30	0.0707	81	0.588
31	0.0754	82	0.610
32	0.0803	83	0.633
33	0.0855	84	0.658
34	0.0907	85	0.684
35	0.0962	86	0.712
36	0.102	87	0.742
37	0.107	88	0.774
38	0.113	89	0.809
39	0.119	90	0.848
40	0.126	91	0.891
41	0.132	92	0.938
42	0.138	93	0.993
43	0.145	94	1.055
44	0.152	95	1.129
45	0.159	96	1.219
46	0.166	97	1.336
47	0.173	98	1.500
48	0.181	99	1.781
49	0.188	100	∞
50	0.197		

ตารางที่ 11.1 Time Factor (DAS, 1998)

4. อุปกรณ์ (Apparatus)

4.1 กานกนน้ำหนัก เป็นกานงัด มีขอแขวนน้ำหนักที่ปลายข้างหนึ่ง

4.2 Consolidation Ring

4.3 Consolidometer

4.4 แผ่นหินพรุน (Porous Stone)

4.5 นาฬิกาจับเวลา

4.6 ตัมน้ำหนัก

4.7 อุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่างดิน

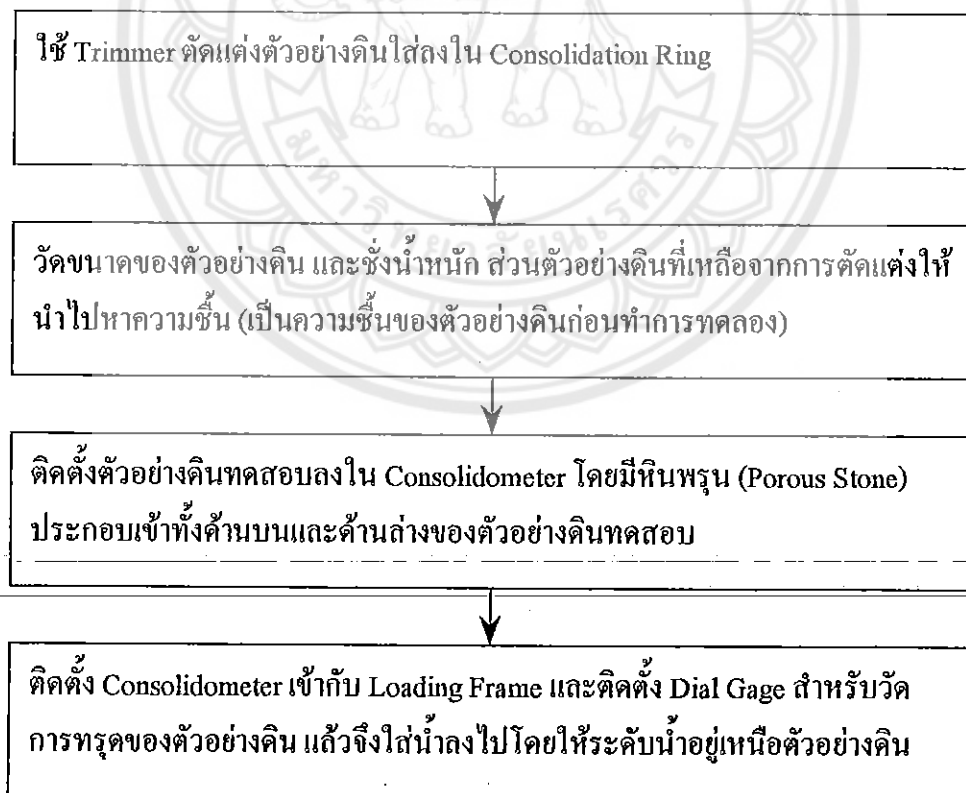
4.8 เวอร์เนียร์

4.9 เครื่องมือหาความชื้น (Water Content) ของตัวอย่างดิน

4.10 Dial Gage สำหรับวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดิน อ่านได้ละเอียด 0.0001 นิ้ว

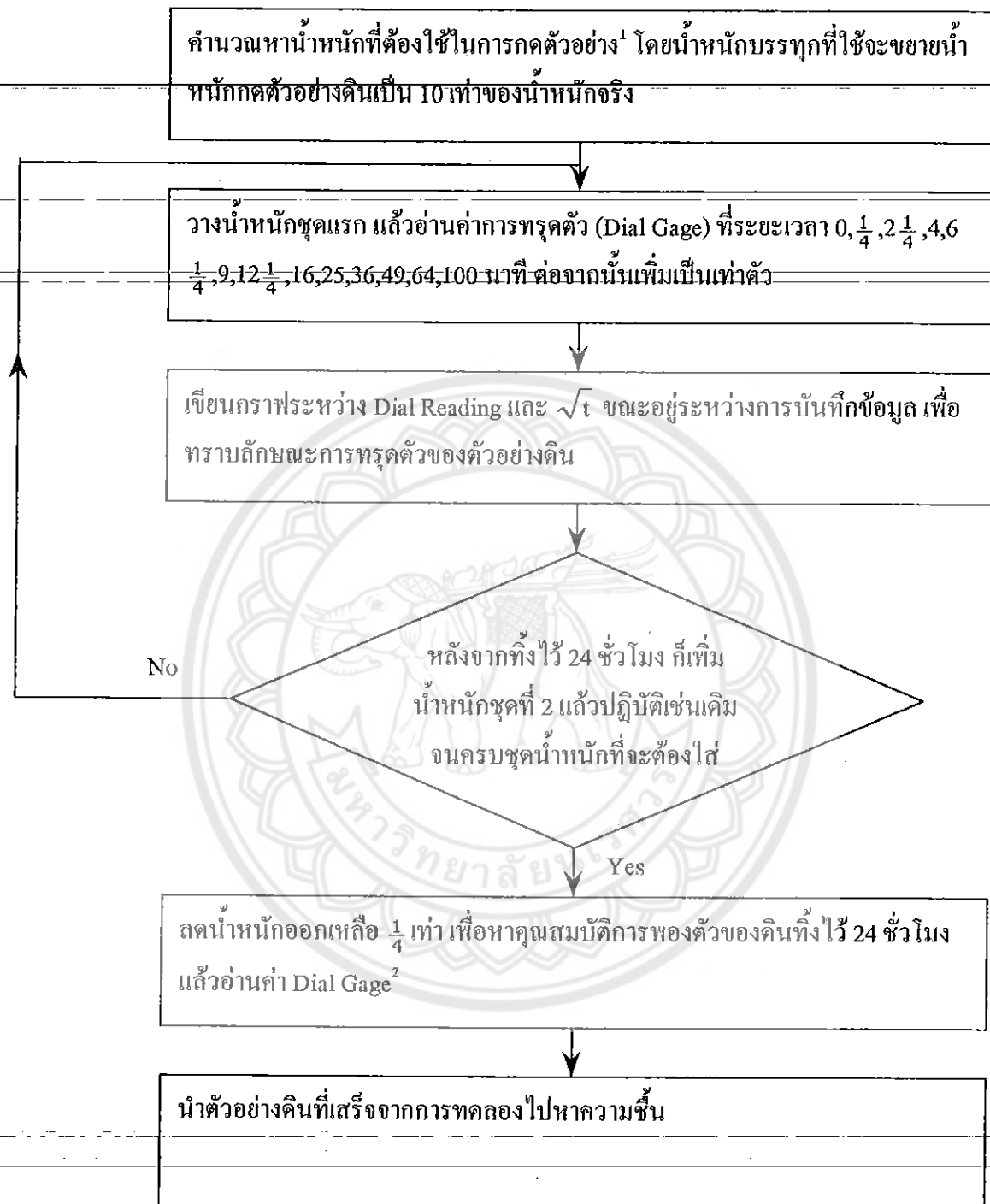
5. วิธีการทดลอง (Method)

5.1 การเตรียมตัวอย่างดิน



รูปที่ 11.4 แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

5.2 ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 11.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Consolidation

หมายเหตุ

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

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

$$\text{โดย } \sigma' = \sum [h_1 \gamma_{s1} + h_2 (\gamma_{s2} - \gamma_w) + h_3 (\gamma_{s3} - \gamma_w) + h_4 (\gamma_{s4} - \gamma_w) + \dots]$$

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

W = น้ำหนักที่ต้องการแขวนตรงปลายคาน

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน

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

การบันทึกค่า Dial Gage สำหรับทุกครั้งที่ทำการลดน้ำหนักออก ให้จดบันทึกค่าเพียงแต่ค่าก่อนจะลดน้ำหนักขั้นต่อไปเท่านั้น ไม่ต้องจดตามเวลาแบบคอนเพิ่มน้ำหนัก โดยการขมตัวของดินที่เกิดขึ้นจากการลดน้ำหนักจะใช้เวลาน้อยกว่าการกดน้ำหนัก จึงสามารถลดน้ำหนักได้ 2-3 ชั้นต่อวัน

6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)

6.1 ค่า Dial Reading

6.2 น้ำหนัก Can (W_c)

6.3 น้ำหนัก Can และ (ดินเปียก) test specimen (W_{cws})

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

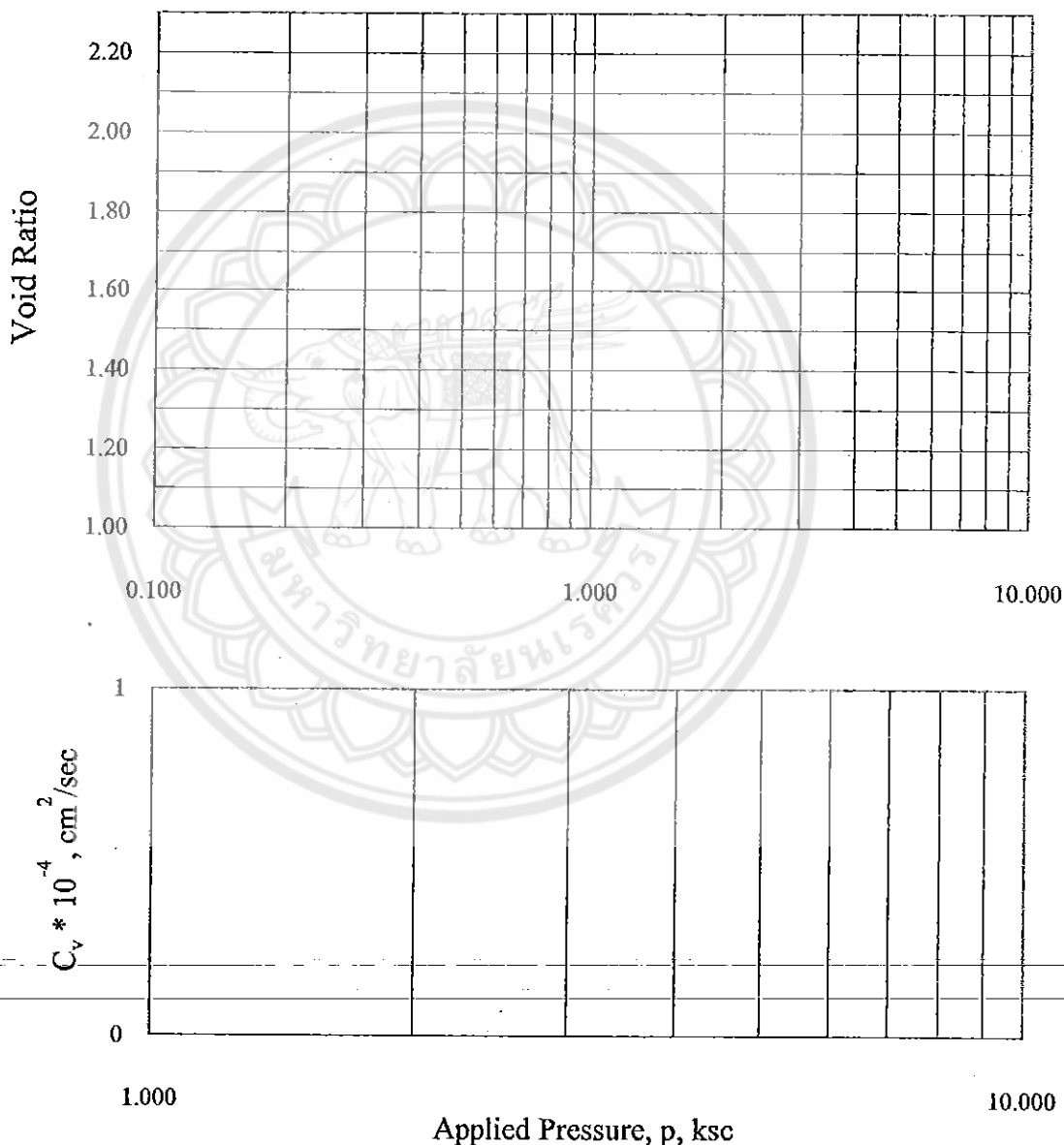
6.5 Scale Load

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)

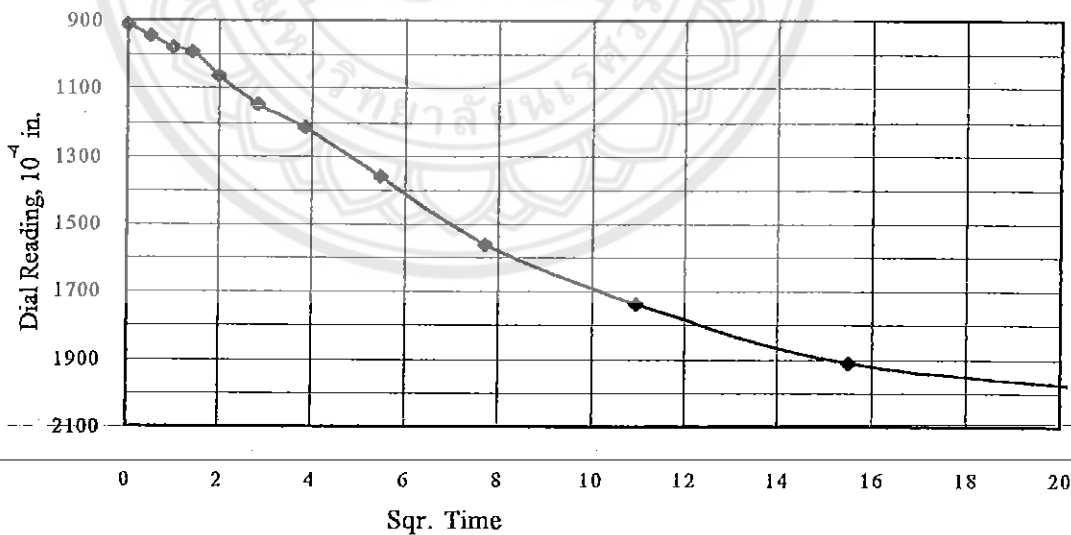
Consolidation Test

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

Pressure Increment:

Applied Pressure _____ 1.272 _____ kg/cm² To _____ 2.544 _____ kg/cm²
 Scale Load _____ 4.0 _____ kg To _____ 8.0 _____ kg

Date	Time	Elapsed Time Min.	Sqr. Time $\sqrt{\text{Min}}$	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
	9:40	60	7.746	1560
	10:40	120	10.954	1735
	12:40	240	15.492	1913
	10:40	480	21.909	1998



t₉₀ = _____ 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 gravity	=	2.70		Ht Of solid	=	0.80	cm
Initial void ht.	=	1.745		Initial void ratio	=	2.195	

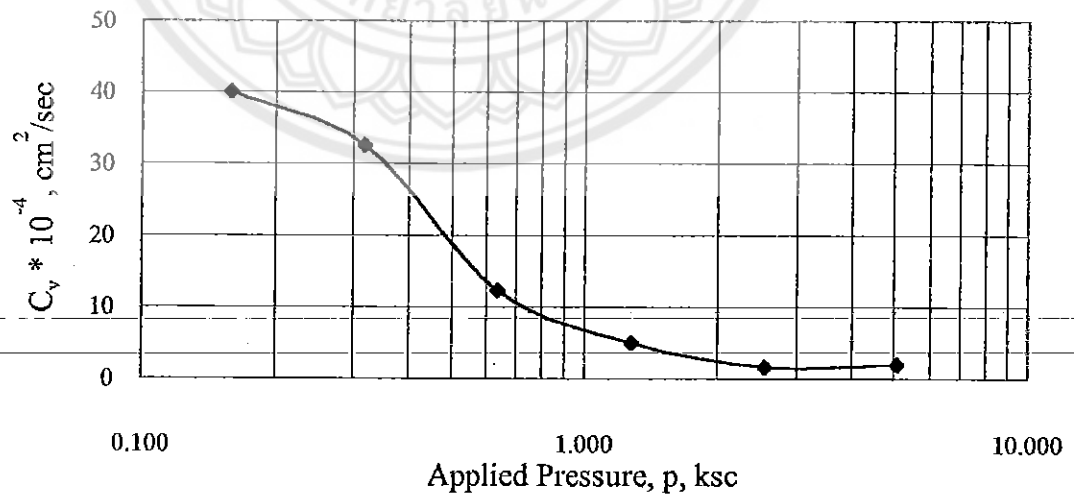
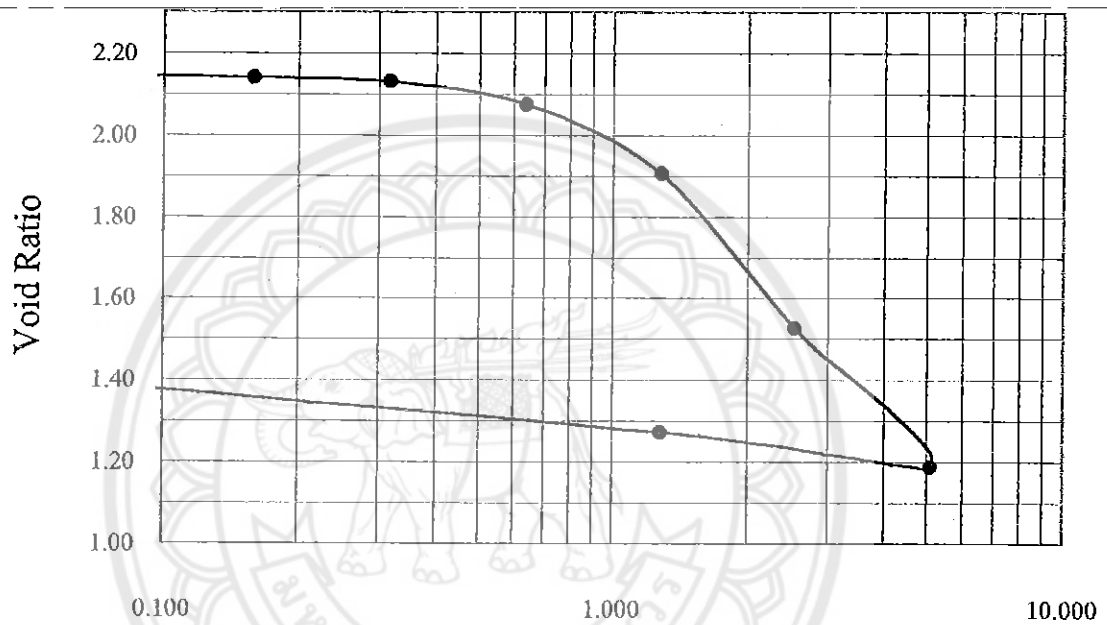
Water content data:

			Before Test		After Test	
Container no.			593	516	576	
Mass of Can + Wet soil,	W_{CWS}	(gm)	44.62	44.66	145.98	
Mass of Can + Dry soil,	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 can,	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 (min)	Coef. Of Consolidation C_v cm ² /sec
0	0.000	0	0	2.195	- (min)	-
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

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

8.2 Initial void ratio, e_0

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

8.3 Compute water content, (%w)

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 e_o &= (\text{Initial sample ht} - \text{Change in sample ht} - \text{Ht of solid}) / \text{Ht of solid} \\
 &= [2.54 - (0.0172 * 2.54) - 0.795] / 0.795 \\
 &= 2.140
 \end{aligned}$$

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

$$C_v = \frac{T_{90} H^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0.848 * (2.54/2)^2}{5.7}$$

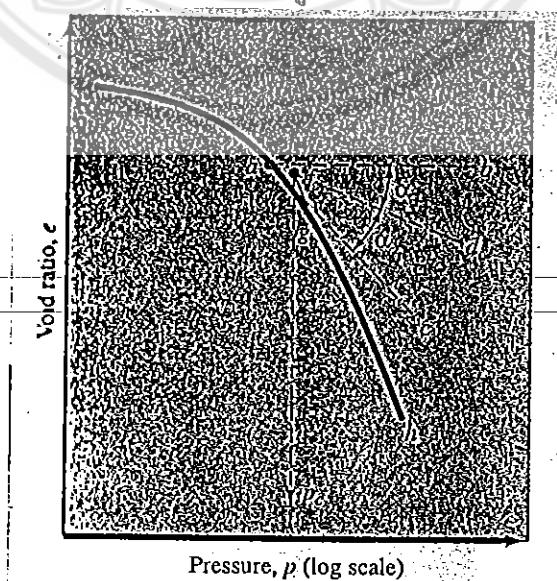
$$= 4.00E-03$$

9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

9.1 Primary Consolidation คือ ดินที่ถูกรีดน้ำออกแล้วช่องว่างในดินก็จะลดลง เมื่อดินก็จะอัดตัวกันแน่นเข้า ทำให้ปริมาตรรวมของเม็ดดินลดลง โดยปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิด Consolidation นี้ก็อาจมาจากการถูกระทำจากแรงภายนอก 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 และปริมาณของการทรุดตัวของดินที่เป็นฐานรากให้กับโครงสร้าง โดยเฉพาะดินเหนียว (Clay) ดังตัวอย่างรูปที่ 11.6 และยังสามารถใช้หาลักษณะของดินในอดีตได้ด้วยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาพล็อตกราฟ Stress - volume strain curve ที่ซึ่งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับค่าแรงบดอัดที่ดินเคยถูกระทำในอดีต



รูปที่ 11.6 Stress - volume strain curve

บทที่ 6

สรุปผลที่ได้รับและการนำไปใช้งาน

6.1 สรุปผลงานที่ได้

โครงการที่ได้ คือ ร่างต้นฉบับของกลุ่มปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง ที่สามารถนำไปพัฒนาและศึกษาให้บรรลุตฤประสงค์การเรียนแบบในห้องปฏิบัติการได้ โดยเนื้อหาหวังเสนอให้ผู้ศึกษาได้เห็นความเชื่อมโยงของภาคทฤษฎีกับการทดลองในภาคปฏิบัติ และแสดงลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงานในห้องทดลอง รวมไปถึงการประยุกต์นำผลการทดลองไปใช้กับการทำงานจริง

ดังนี้

ร่างต้นฉบับของกลุ่มปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์นี้ ประกอบไปด้วยหัวข้อปฏิบัติการ 11 หัวข้อ

1. Water Content Determination
2. Atterberg's Limit Test
3. Specific Gravity Test
4. Particle Size Analysis
5. Compaction Test
6. California Bearing Ratio Test
7. Field Density Test
8. Permeability Test
9. Unconfined Compression Test
10. Direct Shear Test
11. Consolidation Determination

โดยในแต่ละหัวข้อปฏิบัติการจะนำเสนอผ่านรูปแบบของหัวข้อย่อย 9 หัวข้อ ดังนี้

1. เอกสารอ้างอิง (Reference)
2. วัตถุประสงค์ (Objectives)
3. หลักการ (Principals)
4. อุปกรณ์ (Apparatus)
5. วิธีการทดลอง (Method)
6. ข้อมูลที่วัดในห้องทดลอง (Measured Data)
7. ตัวอย่างผลการทดสอบ (Sample of Test)
8. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)
9. การนำไปใช้งาน (Practical Uses)

6.2 ผลที่ได้รับ

6.2.1 ได้ร่างต้นฉบับของคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้แบบในห้องปฏิบัติการด้วยตัวของผู้เรียนเอง เป็นการส่งเสริมทักษะในการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-Directed Learning) ของผู้เรียน

6.2.2 ได้ร่างต้นฉบับของคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง ที่มุ่งเน้นในการนำเสนอ ดังนี้

6.2.2.1 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองอย่างชัดเจน

6.2.2.2 ขั้นตอนที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานทดลองไว้เป็นลำดับ

6.2.2.3 พัฒนาทักษะในการคำนวณของผู้เรียน

6.2.2.4 ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำผลที่ได้จากการทดลอง ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงได้

6.2.3 นิสิตที่จัดทำโครงการ ได้พัฒนาทักษะการสื่อสาร (Communication Skill)

6.2.4 นิสิตผู้จัดทำโครงการ ได้ฝึกฝนและพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ (Critical Thinking Skill) เพื่อการสรุปความรู้ และการทดลองประยุกต์ใช้ความรู้ และการนำเสนองาน

6.3 การนำไปใช้งาน

เนื่องด้วยวัตถุประสงค์ของโครงการ ที่ประสงค์ให้นิสิตผู้จัดทำและผู้เรียน ได้พัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ (Critical Thinking Skill) และเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Self-Directed Learning) โดยมีความเข้าใจ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และสามารถพัฒนาทักษะในการจัดการข้อมูลด้านการคำนวณ รวมไปถึง การประยุกต์ใช้ผลจากการทดสอบปฏิบัติการ ไปใช้ในการทำงานจริง ดังนั้นโครงการนี้จึงควรนำไปทดลองใช้ประกอบการเรียนการสอนปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ และทำการติดตามผลเพื่อประเมินผล การเรียนรู้ และพฤติกรรมของผู้เรียนว่าร่างต้นฉบับของกลุ่มปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์นี้ สามารถช่วยให้ ผู้เรียนรู้เกิดความเข้าใจ และสามารถลงมือปฏิบัติการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ดังนั้นข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา คือ

- ทดลองนำคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ไปให้นิสิตใช้ประกอบการเรียนและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
- นำข้อคิดเห็นจากนิสิตมาปรับปรุงเอกสารให้มีลักษณะที่ส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเองของนิสิตมากยิ่งขึ้น เพื่อให้นิสิตรู้จักคิดเป็น และทำได้

6.4 ปัญหา อุปสรรคและการแก้ไข

6.4.1 ร่างต้นฉบับคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ฉบับเสริมทักษะการทำงานจริง ที่จัดทำขึ้น เพื่อแสดงหลักการพื้นฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในแต่ละชุดปฏิบัติการ ผ่านทางรูปภาพที่กระชับ แต่ครอบคลุมและง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ศึกษา ไม่ว่าจะเคยได้เรียนวิชาปฐพีกลศาสตร์มาก่อน หรือสำหรับผู้ที่เพิ่งจะศึกษาเป็นครั้งแรก ดังนั้นจึงทำให้

6.4.1.1 ผู้จัดทำโครงการจำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล และรายละเอียด จากเอกสารและหนังสืออ้างอิงจำนวนมาก เพื่อให้มีฐานข้อมูลที่จะใช้สำหรับ วิเคราะห์มีเพียงพอ ทำให้เกิดความล่าช้าในการเก็บรวบรวมข้อมูล

6.4.1.2 ผู้จัดทำโครงการจำเป็นต้องใช้เวลาจำนวนมาก ศึกษาเนื้อหาที่ได้จาก 6.4.1.1 เพื่อประมวลผล และตั้งเคราะห์เนื้อหา เพื่อให้ได้การนำเสนอทฤษฎี และหลักการ ในการทดสอบที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์

การแก้ไข

ผู้จัดทำโครงการจะต้องขอคำแนะนำเพื่อหาแนวทางในการนำเสนอ และกำหนดขอบเขตให้ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการจะนำเสนอจากอาจารย์ที่ปรึกษา หรือผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นในการเก็บรวบรวม และศึกษาข้อมูล รวมทั้งต้องจัดทำขั้นตอนการรวบรวม และแก้ไขก่อนแผนงานที่ได้วางไว้ เพื่อให้เอกสารเสร็จตรงตามกำหนดที่วางไว้

6.4.2 ในการนำเสนอตัวอย่างการทดลอง (Sample of Test) และตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation) เพื่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ศึกษาได้ใช้บันทึกผลการทดสอบ และช่วยเพิ่มทักษะในการคำนวณ ทำให้

6.4.2.1 ผู้จัดทำโครงการ จำเป็นต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการตรวจสอบให้ผลมีความถูกต้องของข้อมูล ตัวเลข และหน่วย

6.4.2.2 ในบางชุดปฏิบัติการจำเป็นต้องเสียเวลาในการลองผิดลองถูกกับข้อมูลการคำนวณที่รายละเอียดคลุมเครือ ไม่ชัดเจน

การแก้ไข

หลังจากผู้จัดทำโครงการได้ตรวจสอบข้อมูลการคำนวณของชุดปฏิบัติการที่เกิดปัญหาดังกล่าวแล้ว จึงได้ขอให้อาจารย์ที่ปรึกษาได้ตรวจสอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

6.4.3 เพื่อการนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ผลการทดลอง จากห้องปฏิบัติการไปสู่การทำงานจริงจึงจำเป็นที่ผู้จัดทำโครงการควรที่จะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานจริง แต่ด้วยข้อจำกัดของผู้จัดทำที่ขาดในด้านประสบการณ์ของการทำงานจริงนี้ทำให้เกิดอุปสรรคในการคิดวิเคราะห์ และวางแนวทางการประยุกต์ใช้งานเนื่องจากขาดความรอบด้านของความรู้

การแก้ไข

จำเป็นจะต้องซักถามข้อสงสัยและเทคนิคในการทำงานจริง จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้ เพื่อนำข้อมูลความรู้ที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์แนวทางของการนำผลข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ ไปสู่การทำงานจริง

บรรณานุกรม

1. วรากร ไม่มีเรียง, จิรพัฒน์ โชติโกกร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2525.
2. สถาพร คูวิจิตรจารุ. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ : ไอบรารี นาย, 2541.
3. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standard. U.S.A. : 1995.
4. Bowles, Joseph E. Engineering Properties of Soils and their Measurement. N.Y. :McGraw - Hill Book Company, 1992.
5. Das, Braja M. Principles of Geotechnical Engineering. Boston : PWS Publishing Company, 1998.
6. Lambe, T.William. Soil Testing. N.Y. : The Massachusetts Institute of Technology, 1951.
7. Head, K.H. Manual of Soil Laboratory Testing. London : Pentech Press, 1980.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : นายจิรัฐ ลักษณ์ละม้าย
วันเดือนปีเกิด และสถานที่ : 13 กรกฎาคม 2523 ที่โรงพยาบาลนเรศวรทหาราช
จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา : โรงเรียนโรจนวิทย์ พิษณุโลก
ปี พ.ศ. 2529 - 2535
ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
ปี พ.ศ. 2535 - 2541
ระดับอุดมศึกษา : มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปี พ.ศ. 2541 - 2545

