คู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ระบบออนไลน์ ส่วนที่ 1

ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1

โดย

นายก่อเกื้อ เย็นกาย

นายจักริน เลิศพัฒนกิจกุล

นายนรวิชญ์ โตธนายานนท์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

คู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ระบบออนไลน์ ส่วนที่ 1

ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1

โดย

นายก่อเกื้อ เย็นกาย

นายจักริน เลิศพัฒนกิจกุล

นายนรวิชญ์ โตธนายานนท์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1

BY

MR.KORKEUA YENKAI

MR.JAKKRIN LERTPATTANAKITKUL

MR.NORAWIT TOTHAYANANON

A SPECIAL PROJECT SUNMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE

REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OFBACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2013

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ คู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ระบบออนไลน์ ส่วนที่ 1

ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1

นักศึกษา นายก่อเกื้อ เย็นกาย รหัสประจำตัว 53010081

นายจักริน เลิศพัฒนกิจกุล รหัสประจำตัว 53010191

นายนรวิชญ์ โตธนายานนท์ รหัสประจำตัว 53010802

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปรีชานันท์ ศรีแก้ว

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	**ลายมือชื่อ**
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
อ.ปรีชานันท์ ศรีแก้ว	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	

สาขาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เมษายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ คู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์ ส่วนที่ 1

ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1

นักศึกษา นายก่อเกื้อ เย็นกาย รหัสประจำตัว 53010081

นายจักริน เลิศพัฒนกิจกุล รหัสประจำตัว 53010191

นายนรวิชญ์ โตธนายานนท์ รหัสประจำตัว 53010802

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปรีชานันท์ ศรีแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ และ อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษหัวข้อ คู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์ ส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างทางเลือกในการศึกษาด้วยระบบออนไลน์ ให้ผู้ใช้ได้รับความสะดวกเมื่อใช้ internet มีหัวข้อปฏิบัติการ ได้แก่ การสำรวจชั้นดินเบื้องต้น (Soil Exploration) หาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (Atterberg's Limit) ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil) การหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Analysis) การบดอัดดิน(Compaction) แคร์ลิฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio : CBR) การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density Test) การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) อธิบายถึงเนื้อหาภาคทฤษฎี อุปกรณ์ วิธีการ การคำนวณผล ภาพเคลื่อนไหวได้มีการสำรวจความพึงพอใจในการใช้คู่มือดังกล่าวโดยใช้แบบสอบถามแบ่งระดับความพอใจแบบไลท์เคริท์ (Likert Scale) โดยการสุ่มตัวแทนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน ซึ่งมีผลความพึงพอใจในระดับดีถึงดีมากที่สุดในด้านความรู้ความเข้าใจและความรวดเร็วในการเข้าถึงคู่มือระบบออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	ONLINE MANUAL OF SOIL MECHANIC LABORATORY PART 1		
Name	:	MR.KORKEUA	YENKAI	N0. 53010081
		MR.JAKKRIN	LERTPATTANAKITKUL	N0. 53010191
		MR.NORAWIT	TOTHAYANANON	NO. 53010802
Advisor	:	MR.PREECHANAN SRIKAEW		
Co-advisors	:	MS.UBA SIRIKAEW, ASST.SOMKIET KWANPHUEK		
Field	:	CIVIL ENGINEERING		
Department	:	CIVIL ENGINEERING		
Faculty	:	ENGINEERING		

ABSTRACT

Online manual of Soil Mechanics Laboratory had been developed as a special project. The objective of the online manual, Part 1, is to provide an alternative choice for a learner who use internet. There were 8 tests consisted of the soil tests of Soil Exploration, Atterberg's Limit, Specific gravity of Soil, Grain Size Analysis, Compaction, California Bearing Ratio, Field Density Test and Unconfined Compression Test. Theory, apparatus, testing methods, calculation, example and VDO were described in detail. The questionnaire survey had been carried out during February 2014. The population was randomly sampling. Likert scale was used to measure sample's satisfaction. The result showed that the user's satisfaction was in the range of good to excellent. The online manual was remarked as a friendly use and easily accessibility.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือเป็นอย่างดีจากทุกๆฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ คณาจารย์กลุ่มงานปฐพีกลศาสตร์ ได้แก่ รศ.ดร.สกุล ห่อวโนทยาน ผ.ศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ ผ .ศ.สุพจน์ ศรีนิล ผ .ศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อ .ปรีชานันท์ ศรีแก้ว อ.อุบะ ศิริแก้ว และเจ้าหน้าที่บริการวิชาการ (Shop) อาทิเช่น นายธีรเดช คำวิไล และน้องๆปี 3 ที่ช่วยในการตัดต่อวีดีโอ ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ฉบับนี้ที่ให้ความเอาใจใส่และแนะนำช่วยเหลือตลอดจนตักเตือนและสั่งสอนถึงสิ่งที่มีและไม่มีในตำราเรียน อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับสำหรับชีวิตวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้แรงกายแรงใจช่วยเหลือในโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปในที่สุด

สุดท้ายนี้ขอกล่าวขอบพระคุณสำหรับอาจารย์และบุคลากรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทั้งวิทยาการและประสบการณ์แก่ผู้ประพันธ์ตลอดระยะเวลาการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

นายก่อเกื้อ เย็นกาย

นายจักริน เลิศพัฒนกิจกุล

นายนรวิชญ์ โตธนายานนท์

ผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกในภาษาไทย	
	ปกในภาษาอังกฤษ	
	ใบรับรองโครงงานพิเศษ	
	บทคัดย่อภาษาไทย	I
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
	กิตติกรรมประกาศ	III
	สารบัญ	IV
	สารบัญตาราง	IX
	สารบัญรูป	X
1	**บทนำ**	**1**
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
	1.4 หลักการของโครงงานพิเศษ	2
	1.5 ขอบเขตของการศึกษา	3
	1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานพิเศษ	3
	1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	**วรรณกรรม**	**5**
	2.1 บทนำ	5
	2.2 การสำรวจดินเบื้องต้น (Soil Exploration)	5
	2.2.1 อ้างอิง	5
	2.2.2 วัตถุประสงค์	5
	2.2.3 ทฤษฎี	6
	2.2.4 อุปกรณ์	17
	2.2.5 วิธีการทดสอบ	18
	2.3 การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (Atterberg's Limits)	26
	2.3.1 อ้างอิง	26
	2.3.2 วัตถุประสงค์	26
	2.3.3 ทฤษฎี	26
	2.3.4 อุปกรณ์	33
	2.3.5 วิธีการทดลอง	35
	2.3.6 การคำนวณผล	40
	2.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity Of Soil)	46
	2.4.1 อ้างอิง	46
	2.4.2 วัตถุประสงค์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.4.3 ทฤษฎี	46
2.4.4 อุปกรณ์	50
2.4.5 วิธีการทดลอง	51
2.4.6 การคำนวณผล	54
2.5 การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)	57
2.5.1 อ้างอิง	57
2.5.2 วัตถุประสงค์	57
2.5.3 ทฤษฎี	57
2.5.4 อุปกรณ์	77
2.5.5 วิธีการทดลอง	79
2.5.6 การคำนวณผล	83
2.6 การบดอัดดิน (Compaction)	94
2.4.1 อ้างอิง	94
2.4.2 วัตถุประสงค์	94
2.4.3 ทฤษฎี	94
2.4.4 อุปกรณ์	102
2.4.5 วิธีการทดลอง	104
2.4.6 การคำนวณผล	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.7 แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio : CBR)	108
	2.4.1 อ้างอิง	108
	2.4.2 วัตถุประสงค์	108
	2.4.3 ทฤษฎี	108
	2.4.4 อุปกรณ์	114
	2.4.5 วิธีการทดลอง	117
	2.4.6 การคำนวณผล	121
	2.7 การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density Test)	127
	2.4.1 อ้างอิง	127
	2.4.2 วัตถุประสงค์	127
	2.4.3 ทฤษฎี	127
	2.4.4 อุปกรณ์	129
	2.4.5 วิธีการทดลอง	131
	2.4.6 การคำนวณผล	136
	2.7 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Test)	142
	2.4.1 อ้างอิง	142
	2.4.2 วัตถุประสงค์	142
	2.4.3 ทฤษฎี	142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
2.4.4 อุปกรณ์	148
2.4.5 วิธีการทดลอง	149
2.4.6 การคำนวณผล	152
3 แผนงานและขั้นตอนดำเนินงาน	**158**
3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นในการทำโครงการ	158
3.2 วางแผนการดำเนินดำเนินการ	158
3.3 การบันทึกขั้นตอนเป็นวีดิโอ	161
3.4 การทำเว็บไซต์	162
3.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลข้อมูลจากค่ามาตรฐาน	163
3.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	163
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์	**164**
4.1 ผลสรุปจากแบบสอบถาม	164
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	**168**
5.1 สรุปผลการศึกษา	168
5.2 ข้อเสนอแนะ	168
บรรณานุกรม	**169**
ภาคผนวก	
แบบสำรวจความพึงพอใจ	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
1.1 แสดงหน้า Main ของเว็บไซต์	2
1.2 แสดงหน้า Sub main ของเว็บไซต์	2
3.1 แสดงการวางเค้าโครงของเว็บไซต์	159
3.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก	159
3.3 แสดงอุปกรณ์การหาขนาดเม็ดดิน	160
3.4 แสดงอุปกรณ์การบดอัดดิน	160
3.5 แสดงอุปกรณ์ แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช	160
3.6 แสดงอุปกรณ์การหาความหนาแน่นของดินในสนาม	161
3.7 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือในการจัดทำวีดีโอ	161
3.8 แสดงหน้าตาโปรแกรมที่ใช้ตัดต่อวีดีโอ	162
3.9 แสดงหน้าตาโปรแกรมทำเว็บไซต์	162
3.10 แสดงแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	163
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์สถานะของผู้ตอบแบบสอบถาม	166
4.2 แสดงระดับคะแนนโดยเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถาม	167
5.1 แสดงตัวอย่างหน้าเว็บไซต์	168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ ชื่อตาราง	หน้า
4.1 แสดงเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม	164
4.2 แสดงสถานะของผู้ตอบแบบสอบถาม	164
4.3 แสดงสังกัดของผู้ตอบแบบสอบถาม	164
4.4 แสดงวุฒิการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม	165
4.5 แสดงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม	165
4.6 แสดงความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถาม	165
4.7 แสดงเกณฑ์การแปรค่าระดับความพึงพอใจ	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ดินนับเป็นมวลวัสดุที่สำคัญในงานวิศวกรรมโยธา เช่น เป็นวัสดุก่อสร้าง เป็นที่วางฐานราก เป็นต้น จะต้องอาศัยความรู้ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะส่วนประกอบและคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในห้องปฏิบัติการทดสอบจึงเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของดิน ดังนั้นคณะผู้จัดทำมองเห็นถึงความสำคัญของการปฏิบัติการทดสอบปฐพีกลศาสตร์ จึงได้จัดทำสื่อขึ้นเป็น Electronic file เพื่อให้บุคคลผู้เกี่ยวข้อง หน่วยงานต่างๆ รวมทั้งบุคคลทั่วไป เข้าถึงได้ง่ายขึ้น

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

การปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์มีความสำคัญมากอย่างที่กล่าวมาในข้างต้น แต่ยังไม่มีทุกสิ่งทุกอย่างรวมอยู่ในหนึ่งเดียว เช่น ขั้นตอนการปฏิบัติ แนะนำเครื่องมือ ทฤษฎี และโปรแกรมคำนวณที่สามารถนำไปใช้ได้จริง นั้นคณะผู้จัดจึงมองเห็นถึงความสำคัญในการปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ จึงจัดทำสื่อนี้ขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

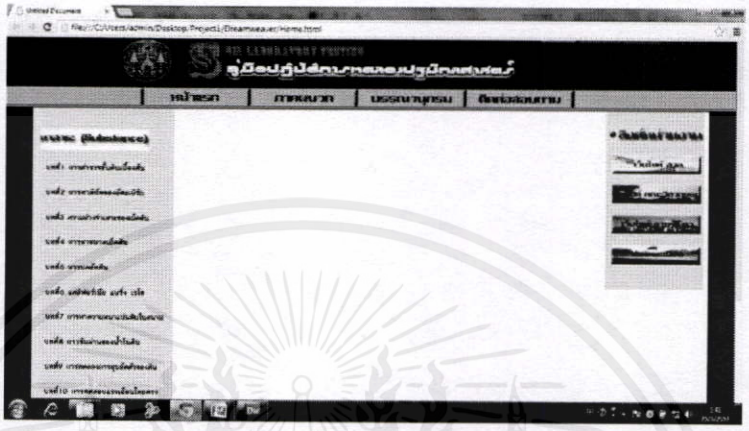
1. พัฒนาสื่อการเรียนการสอนในรูปแบบหนังสือให้เป็นสื่ออิเล็กทรอนิกส์ไฟล์เพื่อง่ายต่อการเข้าถึง

2. ค้นหาขั้นตอนการทดลองใน smart phone ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

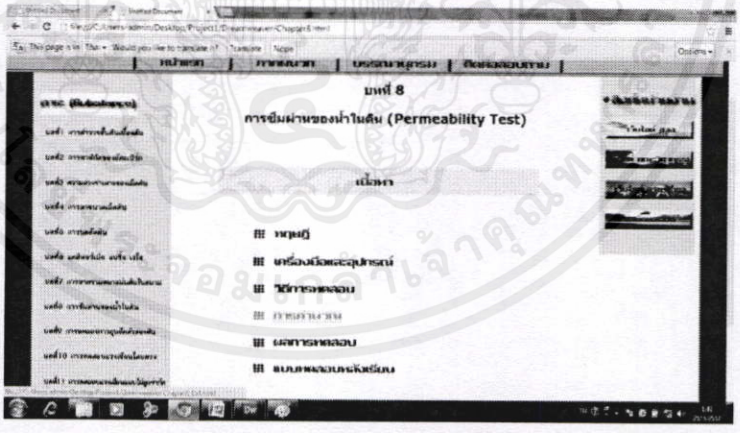
1.4 หลักการของโครงงานพิเศษ

หน้า Main



รูปที่ 1.1 แสดงหน้า Main ของเว็บไซต์

หน้า Sub main



รูปที่ 1.2 แสดงหน้า Sub main ของเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาขั้นตอน ทฤษฎี การทดลองปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ส่วนที่ 2 จำนวน 4 การทดลอง เพื่อทำเป็นสื่ออิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ โดยมีรายชื่อ การทดลองดังนี้

- การสำรวจขั้นดินเบื้องต้น (SOIL EXPLORATION)
- การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)
- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (SPECIFICGRAVITY OF SOIL)
- การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIXE ANALYSIS)
- การบดอัดดิน (COMPACTION)
- แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)
- การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (FIELD DENSITY TEST)
- การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (UNCONFINED COMPRESSION TEST)

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และขั้นตอนการทดสอบ
2. วางเค้าโครงหน้าต่างเว็บไซต์
3. ตรวจสอบ สถานที่ และอุปกรณ์ เครื่องมือ พร้อมที่จะทำการปฏิบัติการหรือไม่
4. Calibration เครื่องมือ
5. ลงมือปฏิบัติการพร้อมทั้งบันทึกเป็น Electronic file
6. นำผลที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้น
7. ทำเว็บไซต์เบื้องต้นที่พร้อมใส่ข้อมูล
8. ตรวจสอบว่าผลที่ได้นั้นสอดคล้องตรงตามมาตรฐานหรือไม่
9. จัดทำรายงานสรุป
10. เขียนรายงานฉบับที่ 1 และ 2
11. นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทำให้บุคคลที่เกี่ยวข้องกับวิชา ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ หน่วยงานต่างๆ และบุคคลทั่วไป ได้รับความรู้ทั้งขั้นตอนการปฏิบัติ ทฤษฎีและได้รับการอำนวยความสะดวกจากโปรแกรมคำนวณที่สร้างขึ้นรวมทั้งเปรียบเทียบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรม

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปการทบทวนที่เกี่ยวข้องจากการศึกษาจาก American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์รวมทั้งขนาดมาตรฐานของเครื่องมือ ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- การสำรวจขั้นดินเบื้องต้น (SOIL EXPLORATION)
- การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)
- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (SPECIFICGRAVITY OF SOIL)
- การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIXE ANALYSIS)
- การบดอัดดิน (COMPACTION)
- แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)
- การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (FIELD DENSITY TEST)
- การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (UNCONFINED COMPRESSION TEST)

2.2 การสำรวจดินเบื้องต้น (SOIL EXPLORATION)

2.2.1 อ้างอิง

ASTM D420 , D1452 , D1586 , D1587 , D4700

2.2.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน รวมถึงศึกษาขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube) และแบบผ่า (Spilt Spoon Sample)
- เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)
- เพื่อศึกษาการทดสอบหาค่าระดับน้ำใต้ดิน (Observation of Water Table)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ทฤษฎี

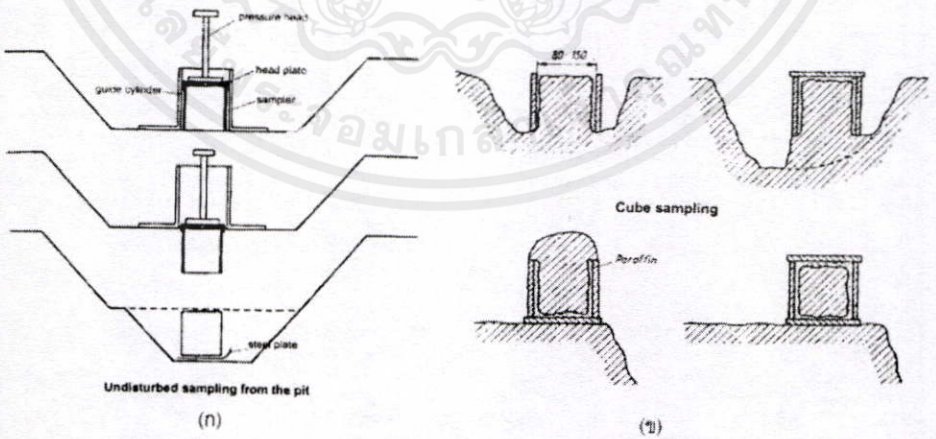
เราทำการเจาะสำรวจดินเพื่อที่จะทราบถึงลักษณะข้อมูลของดินและชั้นดินในบริเวณนั้น ข้อมูลดินเป็นสิ่งสำคัญในงานทางวิศวกรรมโยธาทั่วไป เช่นในกรณีเพื่อก่อสร้างใหม่ ข้อมูลดินเป็นประโยชน์ในการเลือกชนิดและความลึกฐานราก ประเมินการทรุดตัวฐานราก หาระดับน้ำใต้ดิน หาแรงดันต่อผนังกันดิน หาแนวทางแก้ปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้าง หรือ กรณีงานถนน สนามบิน ข้อมูลดินใช้ในการหาแนวถนน แนววิ่งของเครื่องบินที่เหมาะสม พิจารณาเลือกแหล่งวัสดุใช้ออกแบบเสาเข็มสะพาน ใช้ในการวิเคราะห์ Slope Stability เป็นต้น

วิธีสำรวจดิน

วิธีการสำรวจดินทำได้หลายวิธี เช่น การขุดบ่อตรวจสอบ (Test Pit) การเจาะโดยใช้สว่านมือ (Hand Auger Boring) การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) การเจาะโดยใช้เครื่องจักร (Mechanical Auger Boring) แต่จะกล่าวเฉพาะบางวิธีดังนี้

1. การขุดบ่อตรวจสอบ (Test Pit)

เหมาะกับการตรวจสอบดินในระดับความลึกไม่มากนักประมาณ 2-4 m. โดยใช้การขุดตักหรือใช้แรงงานคนแล้วสำรวจดินได้โดยตรงด้วยการสัมผัสและดูด้วยตาเปล่า และเรายังสามารถเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) ได้โดยง่ายดังตัวอย่างในรูปที่ 1.1

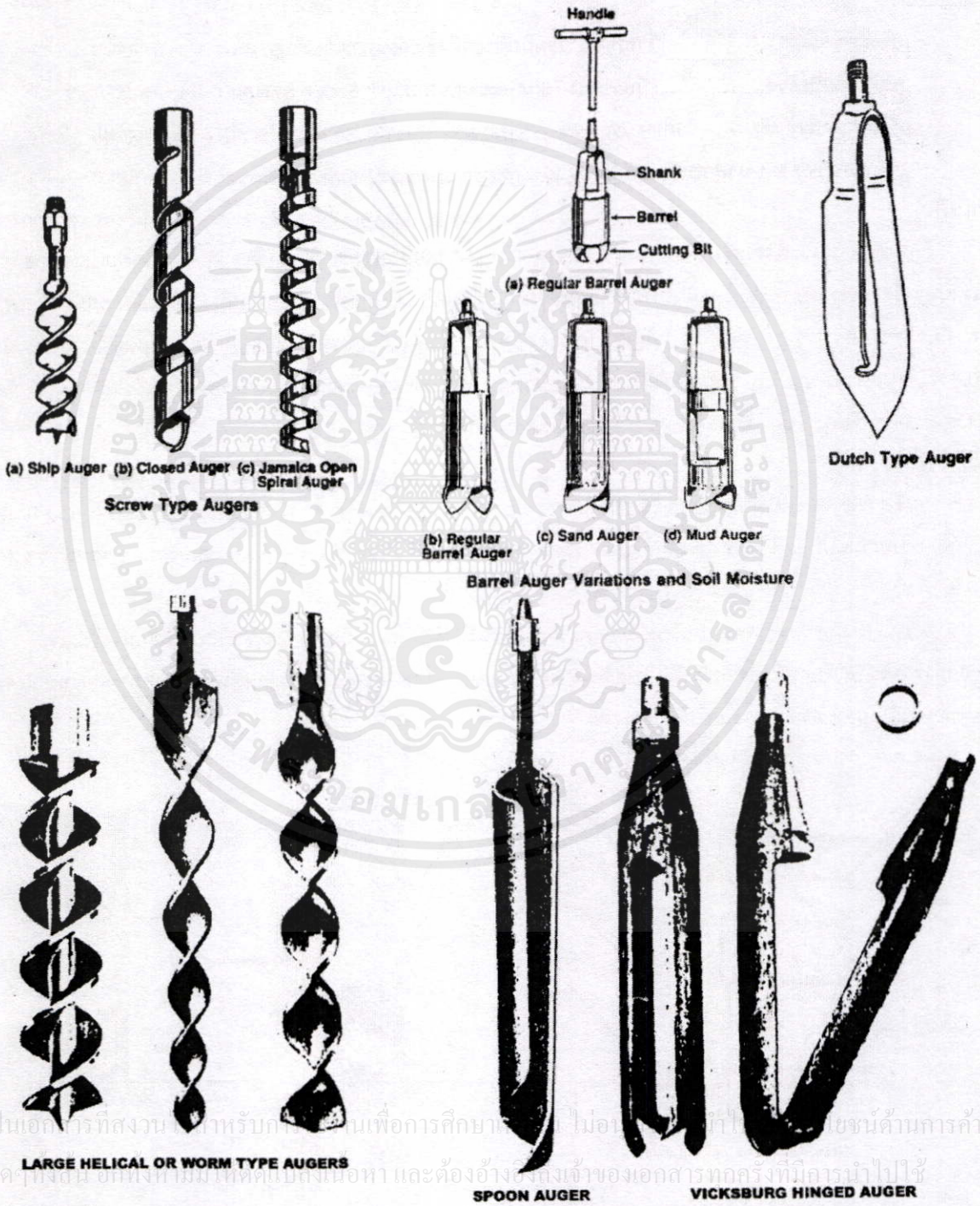


รูปที่ 1.1 (ก),(ข) แสดงการเก็บตัวอย่างจากบ่อสำรวจ (A'. Ke'zdi ,1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

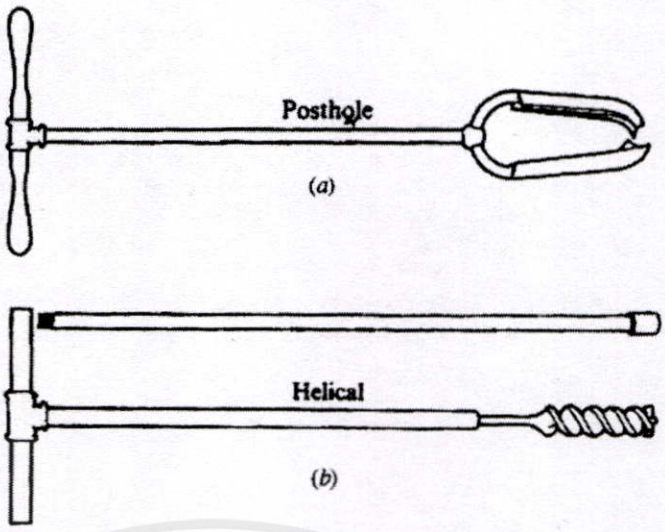
2. การใช้สว่านมือ (Hand Auger)

เป็นวิธีการเริ่มแรกที่ใช้ในการเจาะสำรวจดิน เนื่องจากค่าใช้จ่ายน้อย เครื่องมือสามารถประยุกต์ใช้และหาได้โดยทั่วไป การเจาะทำได้โดยใช้แรงงานคนทำการเจาะและเก็บตัวอย่างดินจากปลายสว่านที่ความลึกต่างๆ การเจาะด้วยสว่านมืออาจทำได้ลึกถึง 8-10 m. ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และลักษณะชั้นดิน



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างหัวเจาะสำหรับ Hand Auger (ASTM ,1997)(seminar EIT-KMITL ,2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดง Hand Auger (BOWLES ,1996)

3. การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

การเจาะแบบฉีดล้าง เป็นวิธีในการเจาะหลุมให้ลึกลงไป เพื่อทำการเก็บตัวอย่างดิน หรือเพื่อทำการทดสอบดินในสนามในระดับความลึกที่ต้องการ เพื่อเก็บตัวอย่างดิน และทำการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) วิธีการเจาะแบบฉีดล้างสามารถใช้หลุมเจาะ ในชั้นดินได้เกือบทุกชนิด แต่จะมีข้อจำกัดเมื่อเจาะพบชั้นดินแข็ง

หลักการในการเจาะแบบฉีดล้าง คือ จะอัดฉีดน้ำออกจากหัวเจาะ (Drill Bit) ที่ส่งมาจากเครื่องสูบน้ำ (Pump) ผ่านก้านเจาะ (Drill Rod) ลงสู่ก้นหลุมพร้อมๆ กับการกระแทกหรือหมุนของหัวเจาะ ทำให้ดินก้นหลุมหลุดไหลตามน้ำเอ่อล้นขึ้นมาผ่านท่อเหล็กกันดิน (Cashing) แล้วไหลลงถังเก็บน้ำ น้ำในถังนี้จะถูกสูบพ่นกลับเข้าไปในหลุมอีก และควรเป็นน้ำผสมโคลนหรือเบนโทไนท์ เพื่อช่วยพยุงผนังหลุมเจาะโดยเฉพาะในชั้นทรายไม่ให้พังลงมาก่อนที่จะเก็บตัวอย่างดินจากชั้นดินก้นหลุม ในระหว่างการเจาะน้ำจะพาเอาเศษดิน ทรายที่ถูกย่อยแตกจากก้นหลุมขึ้นมาด้วย แต่หากเป็นชั้นดินเหนียว ดินเหนียวจะละลายผสมกับน้ำเป็นโคลน

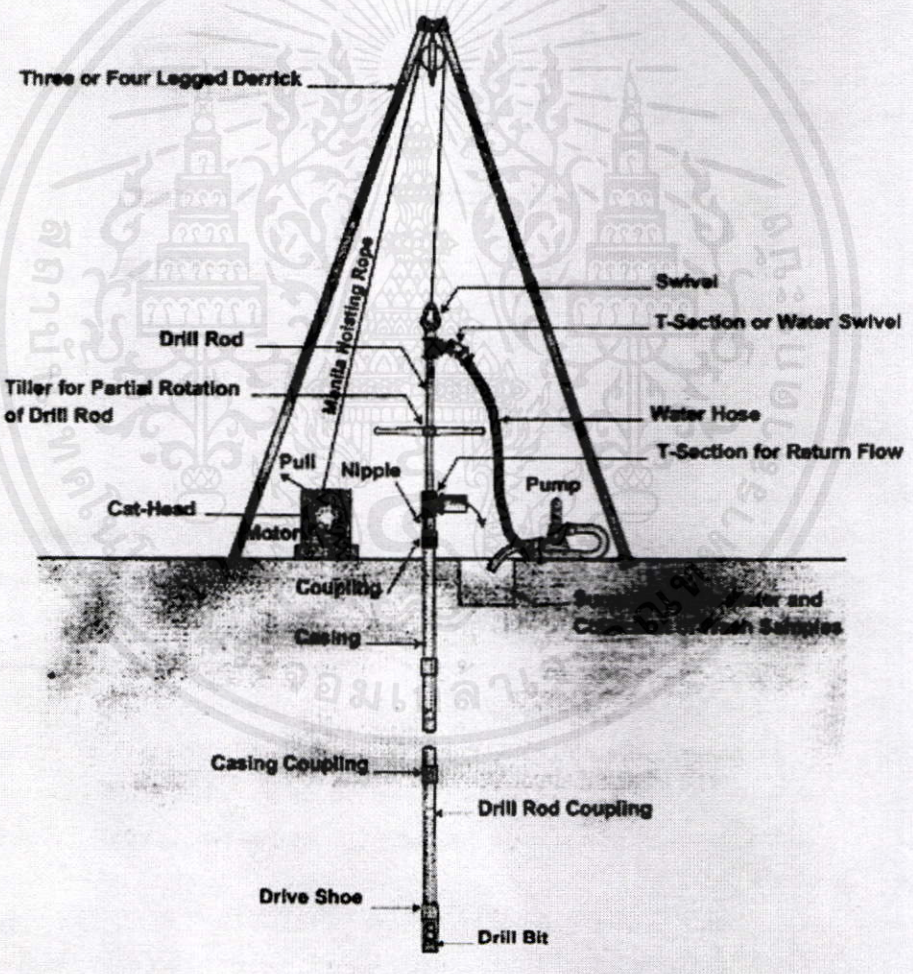
ในระหว่างทำการเจาะให้สังเกตลักษณะของสีน้ำ เศษหิน -ทราย ที่ล้นขึ้นมา จะทำให้เราทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินอย่างคร่าวๆ เมื่อถึงความลึกที่เราต้องการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการก็ให้หยุดการเจาะก่อน นำหัวเจาะขึ้นมาจากหลุมแล้วเปลี่ยนหัวเจาะให้เป็นหัวเก็บตัวอย่างแทน แล้วทำการเก็บตัวอย่างดิน (ปกติจะทำการเก็บตัวอย่างดินทุกๆระยะ 1.50 m. ระยะนี้อาจน้อยกว่านี้หากชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแบ่งการเจาะแบบฉีดล้างเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือการเจาะฉีดล้างแบบหัวกระทุ้ง (Percussion Wash Boring) และการเจาะฉีดล้างแบบหัวหมุน (Rotary Wash Boring)

3.1 การเจาะฉีดล้างแบบหัวกระแทก (Percussion Wash Boring)

ทำได้โดยการปล่อยน้ำผ่านหัวเจาะพร้อมๆกันกับการกระแทกของหัวเจาะ วิธีนี้นิยมใช้กันโดยทั่วไปเนื่องจากค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก ทำได้ง่าย ใช้อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน มีขนาดเบาสะดวกต่อการขนย้าย สามารถถอด-ประกอบได้ ทำให้เข้าถึงได้ดีในที่แคบๆ แต่มีข้อเสียคือผลของการกระทุ้งของหัวเจาะจะไปรบกวนชั้นดินก้นหลุม ทำให้ตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างไม่เป็นไปตามสภาพจริงตามธรรมชาติ

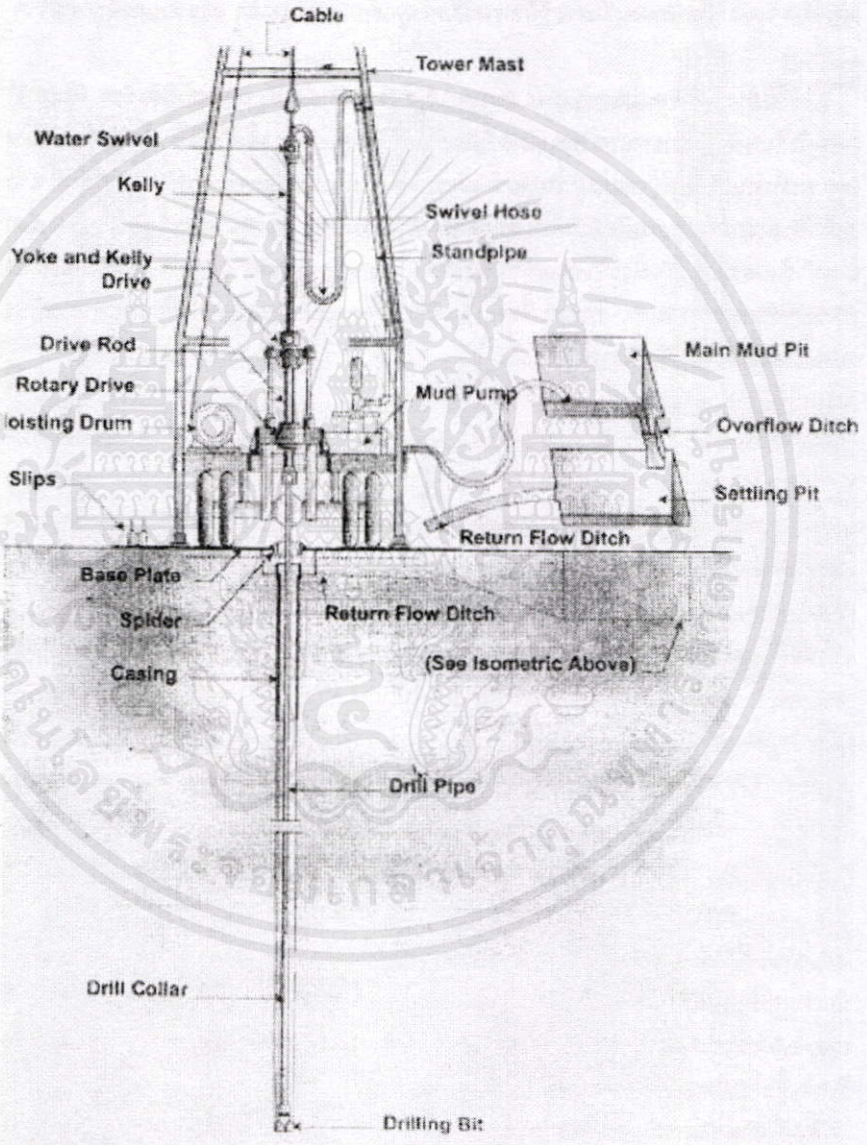


รูปที่ 1.4 แสดงชุดทดลอง Percussion Wash Boring (seminar EIT-KMITL ,2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเจาะฉีดล้างแบบหัวหมุน(Rotary Wash Boring)

วิธีนี้ทำได้โดยปล่อยน้ำผ่านหัวเจาะพร้อมๆกับการหมุนและกดของหัวเจาะ ข้อดีของวิธีนี้คือจะรบกวนชั้นดินก้นหลุมน้อยกว่าแบบกระแทก ทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างดินมีสภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติ ข้อเสียของการเจาะฉีดล้างแบบหัวหมุนคือสามารถเจาะได้ช้ากว่าแบบกระแทก มีอุปกรณ์และการควบคุมเครื่องขับไฮโดรลิกส์ยุ่งยากกว่าแบบกระแทก



รูปที่ 1.5 แสดงชุดทดสอบ Rotary Wash Boring (seminar EIT-KMITL ,2542)

เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บตัวอย่างดิน

ในการเจาะสำรวจการเก็บตัวอย่างดินตามความลึกต่างๆ เพื่อนำไปทดสอบค่า parameter ของดินในช่วง นั้นๆใหญ่ๆ แล้วแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. ตัวอย่างแปลงสภาพ (Disturbed Sample)

คือตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากจริงตามธรรมชาติ ตัวอย่างในลักษณะนี้ได้แก่ตัวอย่างที่เก็บจาก สว่านมือ (Hand Auger) กระบอกผ่า (Split Spoon) กระบอกบาง (Thin Wall Tube หรือ Shelby Tube) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก หรือส่วนตกตะกอนจาก Wash Boring เป็นต้น

2. ตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample)

คือตัวอย่างดินที่ถูกกระทบกระเทือนน้อย ตัวอย่างในลักษณะนี้ได้แก่ตัวอย่างที่เก็บจากกระบอกบาง (Thin Wall Tube) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 นิ้ว ขึ้นไป กระบอกลูกสูบ (Piston Sampler) กระบอกเก็บตัวอย่างแบบ 2 ชั้น (Double-wall core sampler) และจากการตัดแต่ง รูปที่ 1.1 เป็นต้น ตัวอย่างดินในลักษณะนี้จะมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติ เช่นปริมาณความชื้น การยึดจับกันของเม็ดดิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างดินที่เก็บจาก Undisturbed Sample ยังต้องคำนึงถึง การลดลงของน้ำหนักดินที่กดทับ Friction ระหว่างดินและผิวกระบอก การแน่นขึ้นของดินเนื่องจากการแทนที่ของกระบอกที่กดลง การเปลี่ยนแปลงความดัน น้ำ -อากาศ เมื่อเก็บตัวอย่างดินขึ้นมา เป็นต้น

กระบอกเก็บตัวอย่างดิน

หลักการโดยทั่วๆ ไปของกระบอกเก็บตัวอย่างดินคือเวลาเก็บให้ทำการต่อกับก้านเจาะแล้วทำการกดด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ พยายามหลีกเลี่ยงการตอก เมื่อได้ระยะแล้วให้หมุนก้านเจาะเพื่อให้ดินบริเวณปลายกระบอกถูกเฉือนขาด จากนั้นนำกระบอกเก็บตัวอย่างขึ้นมาบนปากหลุมเพื่อเก็บตัวอย่างดินต่อไป โดยรายละเอียดบางอย่างอาจแตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของกระบอกเก็บตัวอย่าง ส่วนสำคัญของกระบอกเก็บตัวอย่างจะต้องมีอุปกรณ์ปิดหัวเก็บตัวอย่างเพื่อให้เกิดสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) ในระหว่างดึงกระบอกเก็บตัวอย่างขึ้นเพื่อไม่ให้ดินหล่นออกจากกระบอก ซึ่งมักทำเป็น Ball Check Valve หรือเป็นแผ่นยาง (Rubber Gasket) กระบอกชนิด Ball Valve เมื่อทำการกดน้ำในกระบอกจะดันให้ Ball ลอยขึ้นแล้วน้ำจะล้นออกด้านข้าง ดินจะเข้าไปในกระบอก เมื่อเรากดถึงความลึกที่ต้องการแล้วทำการยกกระบอกขึ้น Ball จะตกลงและปิดรูทำให้เกิดสภาวะสูญญากาศข้างในกระบอกทำให้ตัวอย่างดินไม่หลุดออกจากกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกเก็บตัวอย่างดินทั่วไปมีดังนี้

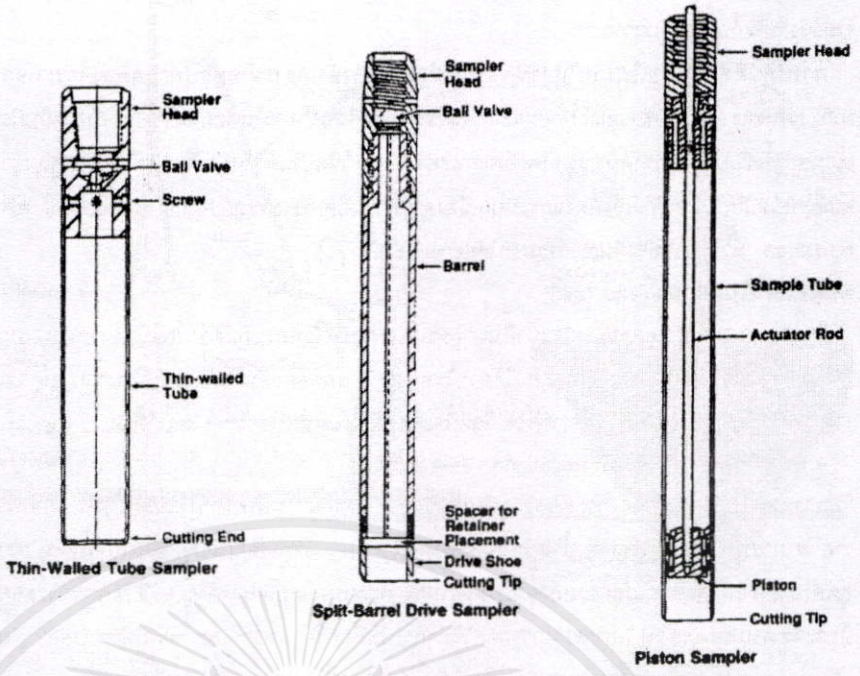
- กระบอกบาง (Thin Wall Tube)
- กระบอกผ่า (Split Spoon Sampler หรือ Split Berrel)
- กระบอกลูกสูบ (Piston Sampler)

นอกจากนี้ยังมีกระบอกเก็บตัวอย่างดินอีกหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของดินที่เก็บ และคุณภาพของตัวอย่างที่ต้องการ เช่น กระบอกอัดความดัน (Bishop Compressed Air Sampler) กระบอกเก็บตัวอย่างแบบ 2 ชั้น (Double-Wall Core Sampler) กระบอกเก็บตัวอย่างแบบ spiral-slot sampler เป็นต้น ในแต่ละชนิดของกระบอกเก็บตัวอย่างจะมีหลายขนาดด้วยกันทั้งความยาว ความหนา และระยะอื่นๆ

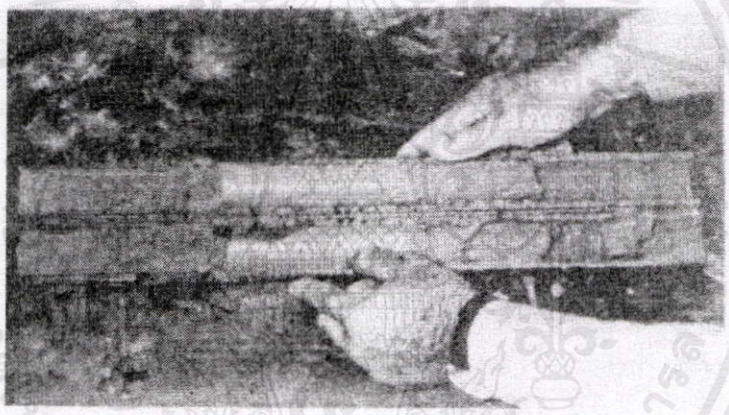
ในที่นี้จะขออธิบายลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดินในบางชนิด ได้แก่

- กระบอกบาง(Thin Wall Tube หรือ Shelby Tube) โดยปกติใช้เก็บตัวอย่างดินที่ความลึกไม่มากนักขึ้นอยู่กับลักษณะดิน เหมาะสำหรับเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อน หากดินแข็งจะทำให้กระบอกเสียหายได้เวลาทำการกด ตัวอย่าง ที่ได้จะเป็น Undisturbed Sample
- กระบอกผ่า (Split Spoon Sampler) ปกติใช้เก็บตัวอย่างที่ความลึกปานกลางถึงมาก สามารถใช้เก็บตัวอย่างในชั้นดินแข็งได้ ปกติจะใช้ในการทดสอบ SPT โดยการตอกตุ้มน้ำหนักผ่านก้านเจาะเข้าไปในกระบอก จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นปากหลุมแล้วถอดกระบอกเป็น 2 ซีก แล้วรีบนำตัวอย่างดินเก็บใส่ลงขวดแก้วหรือถุงพลาสติกแล้วปิดให้มิดชิดเพื่อรักษาระดับความชื้น ตัวอย่างที่ได้จะเป็น Disturbed Sample จึงไม่ควรใช้วิธีนี้เก็บตัวอย่างกรณียังใช้กระบอกบางเก็บได้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.6 แสดงตัวอย่างกระบอกเก็บตัวอย่างดิน(ASTM ,1997)



รูปที่ 1.7 แสดงการเก็บตัวอย่างออกจากกระบอกแบบผ่า (Split Spoon)

- กระบอกลูกสูบ (Piston Sampler)ใช้เก็บตัวอย่างได้ดีในดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) และทรายเม็ดปน (Silt) และดินผสม (Clay-Silt-Sand) ทั้งใต้ระดับน้ำใต้ดินและเหนือระดับน้ำใต้ดิน ตัวอย่างดินที่เก็บได้จะมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับงานวิจัย ใช้เวลามากในการเก็บตัวอย่าง เหตุที่กระบอกนี้ถูกพัฒนาขึ้นเนื่องมาจากบางตัวอย่างเช่นการเก็บตัวอย่างที่มีลักษณะชั้นดินแข็งสลับกับชั้นดินอ่อน เมื่อเราทำการกดดินแข็งที่เข้าไปก่อนจะเพิ่มความฝืดกับผิวกระบอกเมื่อเราทำการกดต่อไปอีกดินอ่อนในขั้นต่อไปที่เข้าตามมาจะถูกบีบอัดเนื่องจากดินแข็งที่เข้ามาก่อนหน้าไม่เคลื่อนตัวขึ้นหรือเคลื่อนตัวน้อยทำให้ตัวอย่างดินที่ได้ถูกรบกวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติทำได้โดยเริ่มแรกให้ Piston (ปกติทำจากยางสังเคราะห์) อยู่ที่ปลายสุดของกระบอก โดยแกนของกระบอกกับแกนของ Piston (Actuator Rod) จะแยกส่วนกัน จากนั้นวางลงในหลุมให้ Piston สัมผัสกับผิวดิน จากนั้นทำการกดแกนของกระบอกลงอย่างสม่ำเสมอโดยยึดแกนของ Piston ให้อยู่ในตำแหน่งเดิม จะทำให้เกิดสุญญากาศตั้งแต่เริ่มแรก เพราะฉะนั้นจะไม่ให้เกิดปัญหาดินแข็งติดในกระบอกเนื่องจากความฝืดเพราะจะถูก Piston ดูด(suction) พร้อมๆกับการกดแกนของกระบอก ทำให้ตัวอย่างดินเข้าไปในกระบอกได้อย่างต่อเนื่อง

การทดสอบดินในสนาม (In-situ Test)

ในระหว่างการเจาะทดสอบเราจะนำดินบางส่วนไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะต่างๆได้ดีและค่าบางอย่างไม่สามารถทดสอบได้จากสนาม การทดสอบดินในสนามทำให้เราทราบค่า parameter ของดินได้บางอย่างซึ่งมีสภาพของดินตามสภาพจริง ในที่นี้ขอกล่าวเฉพาะบางการทดสอบได้แก่

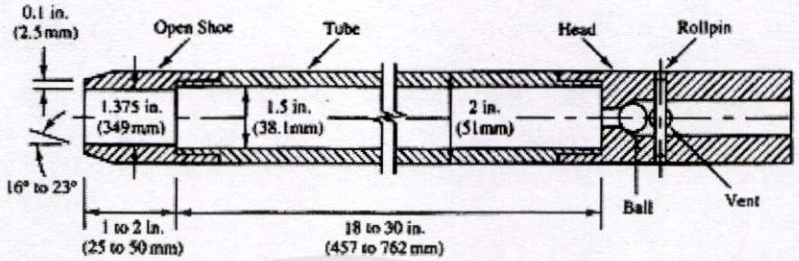
1. การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

การทดสอบ SPT จะต้องกระทำพร้อมๆกับการเจาะสำรวจดิน ผลของการทดสอบ SPT มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถทดสอบโดยตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ (63.5 kg) ทำการตอกใช้ความสูงตกกระทบ 30 นิ้ว ทำการตอกแรงจะถูกส่งถ่ายจากก้านเจาะไปสู่กระบอกผ่ามาตรฐาน (Standard Split Barrel Sampler) โดยทำการตอกให้กระบอกผ่าจมลงเป็นระยะ 450 mm (18 in) ในระหว่างการตอกให้ทำการจดบันทึกค่าจำนวนการตอกที่ทำให้กระบอกผ่าจมลง 150 mm (6 in) จะได้ค่าจำนวนการตอกมา 3 ช่วง (450 mm) และให้นำค่าจำนวนการตอก 2 ช่วงสุดท้าย (300 mm) มาบวกกันจะได้ค่า N value (Blow Count of Standard Penetration Test) ค่าที่ได้จะเป็นจำนวนการตอกที่ทำให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลง 1 ฟุต นั่นเอง เหตุที่เราไม่ใช่จำนวนการตอกในช่วงแรก (150 mm แรก) เนื่องจากดินในช่วงนั้นค่อนข้างโดยรบกวนพอสมควรจากกระบวนการเจาะหรืออาจจะเป็นดินที่หลุดออกมาจากขอบหลุมเจาะไม่ใช่ชั้นดินที่ต้องการทดสอบจริง โดยปกติเราจะทำการทดสอบทุกระยะ 1.0-1.5 ม. ค่า N ที่ทดสอบได้สามารถนำไปจำแนกความแข็ง-อ่อนของดินเหนียว หรือความแน่น-หลวม ของทราย ดังแสดงในตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

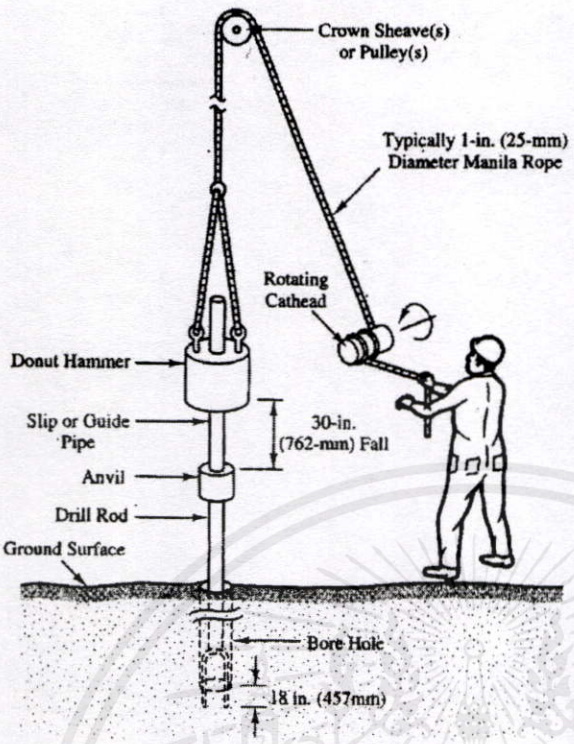
เมื่อเราทำการทดสอบหาค่า N value จากการทดสอบ SPT เสร็จเรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างดินจะเข้าไปในกระบอกผ่า จากนั้นนำกระบอกผ่าขึ้นปากหลุม แกะกระบอกผ่าแล้วทำการเก็บตัวอย่าง จากนั้นเปลี่ยนหัวจากกระบอกผ่าเป็นหัวเจาะที่ปลายก้านเจาะพร้อมเปลี่ยนชุดตุ้มทดสอบด้านบนเป็น

ชุดหัวส่งน้ำ แล้วดำเนินการเจาะต่อไปจนได้ระดับความลึกที่ต้องการทดสอบ SPT อีกครั้ง (1.0-1.5 m) จึงทำการเปลี่ยนหัวเจาะเป็นกระบอกผ่าที่ปลายพร้อมเปลี่ยนจากหัวส่งน้ำด้านบนเป็นชุดตุ้มทดสอบ SPT แล้วทำการทดสอบ SPT ทำสลับกันอย่างนี้เรื่อยไปจนได้ระดับความลึกที่ต้องการ

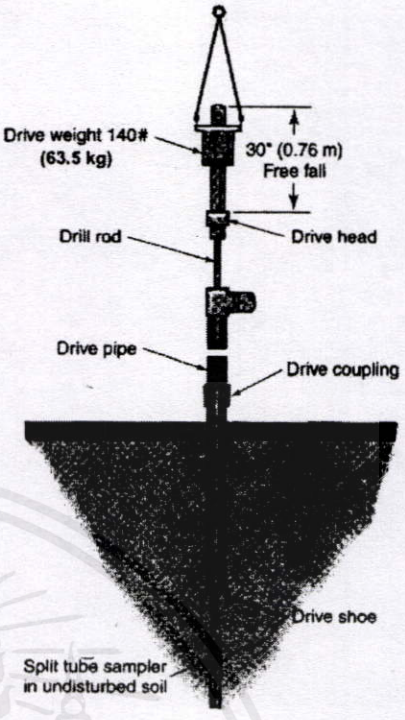


รูปที่ 1.8 แสดง standard split barrel sampler สำหรับทดสอบ SPT(CODUTO ,2001 Adapted from ASTM D1586)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)(CODUTO ,2001)



(ข)(McCARTHY ,1998)

รูปที่ 1.9 (ก),(ข) แสดงการทดสอบ SPT

ตารางที่ 1.1 แสดงการจำแนกลักษณะของดินจากผลการทดสอบ Standard Penetration Test (Peck, Hanson and Thornburn, 1974)

Cohesive Soil (ดินเหนียว)		
ความแข็ง	SPT-N,Blows/foot	Unconfined Compressive Strength(q_u)*
Very soft	< 2	< 2.5 t/m^2
Soft	2 - 4	2.5 – 5.0 t/m^2
Medium	4 - 8	5.0 – 10.0 t/m^2
Stiff	8 - 15	10.0 – 20.0 t/m^2
Very Stiff	15 - 30	20.0 – 40.0 t/m^2
Hard	> 30	> 40.0 t/m^2
Cohesionless Soil (ทราย)		
ความแน่น	SPT-N,Blows/foot	
Very loose	< 4	
Loose	4 - 10	
Medium dense	10 - 30	
Dense	30 - 50	
Very dense	> 50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ค่า unconfined compressive strength อาจประมาณได้จากการทดสอบ pocket penetrometer หรือจากอุปกรณ์ทดสอบ vane shear

2. Field Vane shear

โดยทำการกดใบมีด 4 แฉกลงที่ระดับความลึกที่ต้องการทดสอบ แล้วทำการหมุนแกนใบมีด เราสามารถอ่านค่าแรงเฉือนของตัวอย่างดินได้จากหน้าปัดที่ต่อกับแกนของใบมีด

นอกจากตัวอย่างการทดสอบที่ยกมาแล้วการทดสอบดินในสนามยังมีอีกหลายวิธี เช่น Tore Vane Shear , Hand Vane Tester , Pocket Penetrometer , Pressuremeter Test , Cone Penetration Test(CPT) , Plate Bearing Test รวมถึงวิธีการใช้กระแสไฟฟ้า กระแสคลื่นสั่นสะเทือนสำรวจ (Geophysical Method) เป็นต้น ซึ่งเนื้อหาค่อนข้างมากที่จะกล่าวหมด

3. การวัดระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water)

ในงานเจาะสำรวจดินจะต้องมีการวัดระดับน้ำใต้ดินและรายงานระดับน้ำใต้ดินเป็นมาตรฐาน หลักการวัดจะต้องวัดระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะสำรวจดินที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดิน

ในชั้นดินเหนียว วัดระดับน้ำใต้ดิน 1 วันหลังจากเจาะเสร็จ

ในชั้นทราย วัดระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั่วโมงหลังจากเจาะเสร็จ

หลุมเจาะที่ได้หลังจากการทดสอบ Wash Boring หรือ Hand Auger แล้วสามารถใช้เป็นบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ (Observation Well) ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านไปได้อีกด้วย

2.2.4 อุปกรณ์

สำหรับการเจาะสำรวจดิน (Percussion Wash Boring)

1. เครื่องเจาะแบบหัวกว้าน (Motorized Cathead)
2. เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)
3. ก้านเจาะ (Drill Rod) , หัวกระทุ้ง (Wash Boring Chopping Bit) , เชือกมะนิลา (Manila)
4. ท่อเหล็กกันดิน (Casing) , โครงสร้างสามขาสำหรับยกก้านเจาะ (Tripod)พร้อมห่วงแขวนรอก
5. รอก (Sheave) , ถังเก็บน้ำ , หัวหมุนน้ำ (Water Swivel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Hand Auger สำหรับเจาะนำร่องเปิดหน้าดินก่อนเจาะสำรวจดิน

สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน

1. กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube)
2. กระบอกเก็บตัวอย่างแบบผ่า (Spilt Spoon Sample)
3. ขี้ผึ้งพาราฟิน
4. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

สำหรับการทดสอบ Standard Penetration Test

1. ลูกตุ้มน้ำหนัก ขนาด 140 ปอนด์ (63.5 kg)
2. ชุดอุปกรณ์การเจาะสำรวจดิน

สำหรับการทดสอบ Observation Water Table

1. เครื่องวัดระดับน้ำ (Water Level Indicator)
2. Hand Auger (หากไม่เจาะหลุมวิธี Wash Boring)

2.2.5 วิธีการทดสอบ

การเจาะโดย Hand Auger

1. เลือกตำแหน่งหลุมเจาะ จากนั้นใช้ Hand Auger เจาะเปิดหน้าดิน และกำหนดระดับอ้างอิง ปกติอาจให้ที่ระดับผิวดินเท่ากับ 0.00 m
2. ในระหว่างการใช้ Hand Auger เจาะ เมื่อดินเต็มหัวเจาะให้ยก Hand Auger จากหลุม แล้วทำการกรองดินจากหัวเจาะบนพื้นตามระดับความลึกเรียงไปเรื่อยๆ เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของลักษณะชั้นดิน บันทึกสี ความแข็งโดยลองใช้มือบีบดู ความเหนียวของดิน ตามระดับความลึก
3. ตั้งโครงสามขา และพร้อมทำการติดตั้งเครื่องกว้านที่ขาใดขาหนึ่งของโครงสามขา
4. เมื่อเจาะดินจนได้ความลึกประมาณ 1-1.5 m. จึงทำการตอกท่อเหล็กกันดิน (Casing) เพื่อป้องกันการพังของดินผนังบ่อ จากนั้นทำการต่อท่อเหล็กท่อนต่อไป(ท่อนละ 1.50m) และต่อท่อเหล็กลงไปทำอย่างนี้ไปจนได้ความลึกที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดินว่าดินที่ผนังบ่อพังง่ายหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น...

5. นำกระบอกบาง(Thin Wall Tube) ประกอบกับก้านเจาะแล้วหย่อนลงหลุมแล้วทำการกดด้วยแรงคนหรืออาจใช้คานงัดช่วย เมื่อดินเข้าไปเต็มกระบอกให้หมุนตามเข็มนาฬิกา 2-3 รอบ เพื่อให้ดินปลายกระบอกขาดจากกัน แล้วนำกระบอกขึ้น ล้างทำความสะอาดแล้วอุดด้วยพาราฟินกันความชื้นระเหยออก จากนั้นปิดป้ายระบุตำแหน่งหลุมเจาะ ความลึก วันที่ และรายละเอียดที่จำเป็น
6. ใช้ Hand Auger เจาะลงไปอีก แล้วเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบางอีก(ทุกระยะความลึก 1.5 m) ทำอย่างนี้สลับไปเรื่อยๆ จนเจอดินแข็งหรือลึกเกินไปสำหรับการใช้ Hand Auger ขุดเจาะ หรือดินไม่ติดหัวเจาะเนื่องจากถึงระดับน้ำใต้ดิน จึงเปลี่ยนการเจาะแบบ Wash Boring

การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

1. จัดเตรียมถังน้ำที่จะใช้ในการเจาะดินพร้อมบรรจุน้ำเตรียมไว้
2. เตรียมเครื่องสูบน้ำต่อสายยางทนความดันเข้าหัวหมุนน้ำ (Water Swivel)
3. ติดตั้งหัวกระทุ้ง(Chopping Bit)เข้าที่ปลายด้านล่างของก้านเจาะ ปลายด้านบนต่อเข้าหัวหมุนน้ำ(Water Swivel) จากนั้นร้อยเชือกป่านมะนิลาจากเครื่องกว้าน(Cathead) ผ่านรอกที่แขวนบนโครงสามขาแล้วยึดไว้กับหัวหิ้ว(Swivel)
4. ใช้เครื่องกว้าน(Cathead)หย่อนลงหลุมเจาะที่เจาะนำไว้
5. เดินเครื่องสูบน้ำให้ฉีดน้ำออกที่หัวกระทุ้ง พร้อมกระทุ้งหัวกระทุ้ง น้ำที่สูบขึ้นผ่านมาทางสายยางทนความดันผ่านหัวหมุนน้ำ และผ่านรูก้านเจาะออกทางหัวกระทุ้ง เมื่อไหลกลับขึ้นมาจะพาเอาเศษดินไหลตามขึ้นมาด้วย แล้วไหลลงถังรับน้ำดินที่หนักจะตกตะกอนอยู่ในถัง และน้ำโคลนจะถูกดูดหมุนเวียนไปใช้ต่อไป
6. เมื่อถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน(ทราบระยะจากความยาวก้านเจาะ) ต่อกระบอกบางเข้ากับปลายล่างก้านเจาะแล้วหย่อนกระบอกตัวอย่างลงก้นหลุม ขีดระยะที่จะเก็บตัวอย่างที่ก้านเจาะเหนือปากขอบท่อเหล็กกันดินใช้ประแจคอม้าจับ 2-3 ตัว จับก้านเจาะ ใช้แรงคนกดให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลงดินตามระยะที่ขีดไว้ด้วยแรงสม่ำเสมอและได้แนวดิ่ง ถ้าดินแข็งขึ้นใช้แรงคนกดไม่พออาจใช้คานงัดช่วย แล้วใช้ประแจคอม้าหมุนก้านเจาะตามเข็มนาฬิกาประมาณ 3-4 รอบ ให้ดินที่ปลายกระบอกขาดออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ดึงก้านเจาะพร้อมกระบอกบางขึ้นปากหลุมอาจใช้เครื่องหรือจากแรงคน จากนั้นถอดกระบอกบางจากก้านเจาะ แล้วทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลตามที่กล่าวไปข้างต้น
8. ทำการเจาะต่อโดยเมื่อสุดความยาวก้านเจาะ ยกหัวกระทุ้งให้พ้นก้นหลุมเจาะ ใช้ประแจคอม้าจับก้านเจาะ แล้วดับเครื่องสูบน้ำ ทำการถอดหัวหมุนน้ำออก แล้วต่อเข้ากับก้านเจาะท่อนใหม่ ขันเกลียวเข้าให้แน่น จากนั้นเดินเครื่องสูบน้ำแล้วทำการกระทุ้งเจาะต่อไป(หากเรากระทุ้งก่อนเดินเครื่องสูบน้ำ ดินจะเข้าไปอุดตันหัวกระทุ้ง)
9. ทำการเก็บตัวอย่างจากกระบอกบางไปเรื่อยๆ สลับกับการเจาะกระทุ้งจนถึงระดับดินแข็งจนไม่สามารถเก็บด้วยกระบอกบางได้ หรือถึงระดับที่เราต้องการทดสอบ SPT ก็ให้เปลี่ยนการเก็บตัวอย่างจากกระบอกบางเป็นแบบกระบอกผ่า

การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

1. ต่อกระบอกผ่า(Split Spoon) เข้ากับปลายล่างก้านเจาะ คำนวณความยาวก้านเจาะและหย่อนกระบอกผ่าลงก้นหลุม ตรวจสอบความลึกที่เจาะไว้
2. เมื่อตรวจสอบได้ความลึกที่ถูกต้องแล้ว ขีดระยะที่ก้านเจาะเทียบระดับปากท่อเหล็กกันดินแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 6 นิ้ว(15 cm.) รวมเป็นระยะ 18 นิ้ว (45 cm.) ต่อชุดตอกและเหล็กนำ บนปลายก้านเจาะ ยกตุ้มขึ้นสวมท่อนำ ที่ท่อนำจะมีขีดบอกระยะลูกตุ้มตก 30 นิ้ว (76 cm.)
3. ยกลูกตุ้มตอกบนชุดตอก ควบคุมให้ได้ระยะตก 30 นิ้ว (76 cm.) ทำการตอกโดยสม่ำเสมอไม่หยุด นับจำนวนครั้งลูกตุ้มที่ตอกกระบอกผ่าจมลงดินทุกๆ ระยะ 6 นิ้ว ที่ขีดไว้จรครบ 18 นิ้ว หยุดการตอกเมื่อจำนวนการตอกมากกว่า 50 ครั้ง/ระยะจม 6 นิ้ว เพราะเจอชั้นดินแข็งมากหรือชั้นหินแล้ว เอาจำนวนการตอก 2 ช่วงสุดท้ายมาบวกกันได้ค่า SPT N Value
4. ใช้ประแจคอม้าหมุนก้านเจาะในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อตัดดินปลายกระบอกให้ขาดออกจากกัน แล้วใช้เครื่องกว้านดึงก้านเจาะขึ้นจากหลุม
5. ทำการหมุนกระบอกผ่าออกจากปลายก้านเจาะ แล้วถอดกระบอกผ่าออก จากนั้น ทำการเก็บตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกหรือขวดแก้วแล้วปิดมัดให้มิดชิด ปิดป้ายระบุตำแหน่งหลุมเจาะ ความลึก วันที่ และรายละเอียดที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการทดสอบถึงระดับที่ต้องการแล้ว ให้ทำการถอนท่อเหล็กกันดินขึ้นโดยใช้เครื่องกว้านพร้อมๆ กับใช้ประแจคอม้าหมุนช่วยลดแรงฝืด

การวัดระดับน้ำใต้ดิน

1. การวัดระดับน้ำใต้ดิน สำหรับดินเหนียวควรวัดหลังจากเจาะหลุมได้อย่างน้อย 24 ชม. ส่วนดินทรายควรทิ้งไว้ประมาณ 2 ชม.
2. ทำการวัดระดับน้ำใต้ดินสามารถทำได้โดยใช้ Water Level Indicator โดยเปิดเครื่องและทำการจุ่มสายที่มีขีดบอกระดับลงในบ่อทดสอบ
3. เมื่อเครื่องดัง ทำการจดระดับหย่อนสายลงไป ความยาวที่ได้จะเป็นระดับน้ำเทียบจากพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SUMMARY OF TEST RESULTS

PROJECT: Soil Exploration | BORING NO. BH-1

LOCATION: Faculty of Engineering ,KMITL | BY K.kanoon

DATE: 20 November 1999 | OBSERVED W.L. -1.10 m.

Depth From-To	Sample Type No.	SPT	γ_t	Group Symbol	ATTERBERG LIMIT			w_n	G_s	Undrained Shear Strength				Sieve Analysis ,% Finer				
					LL	PL	PI			Uc	Fv	UU	ppt	No.3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
2.00-3.00	ST01		1.57					59.67			2.68							
3.00-4.00	ST02		1.48	MH-OH	96.20	43.80	52.40	75.98	2.585	1.22	1.63							
4.00-5.00	ST03		1.40					113.70			1.75							
5.00-6.00	ST04		1.54	MH-OH	107.10	45.10	62.00	112.15	2.515	2.19	1.56							
6.00-7.00	ST05		1.41					102.75		3.15	2.12							
7.00-8.00	ST06		1.44	MH-OH	103.10	57.80	45.30	110.21	2.774	1.40	1.63							
8.00-9.00	ST07		1.43					104.99			2.12							
9.00-10.00	ST08		1.41	MH-OH	92.40	52.20	40.20	88.86			2.12							
10.00-11.00	ST09		1.68					64.38		3.92	2.19							
11.00-12.00	ST10		1.61	MH-OH	60.90	35.20	25.70	68.47	2.915	3.77	2.75							
12.00-13.00	ST11		1.40					79.60		4.86	2.87							
13.00-14.00	ST12		1.57	CH	73.20	33.90	39.30	73.45		3.52	3.31							
14.00-15.00	ST13		1.63					75.33		3.35	3.31							
15.00-16.00	ST14		1.59					59.02	2.573	7.83	3.37							
16.00-17.00	ST15		1.62	CH	78.90	24.70	54.20		2.755									
17.00-18.00	ST16		1.77															
18.00-18.45	SS17	14	1.84	CH	53.50	29.10	24.40	56.92	2.740									
19.00-19.45	SS18	21	1.98					24.60										
20.00-20.45	SS19	21	1.95					25.34										
21.00-21.45	SS20	20		SM				18.43							100	92	79	29
22.00-22.45	SS21	32	1.87	SM				21.00	2.876							73	51	15
23.00-23.45	SS22	43		SM				21.39								91	67	24
24.00-24.45	SS23	51	1.91	SM				18.79	2.935						100	97	72	27
25.00-25.45	SS24	18	2.19	SM				20.33								87	65	19
26.00-26.45	SS25	31		SM-SP				23.26							100	99	52	9
27.00-27.45	SS26	30		SM-SP				17.95	2.756						100	99	42	6
28.00-28.45	SS27	66		SM-SP				14.58								90	48	9
29.00-29.45	SS28	38		SM-SP				16.96	2.610						100	97	40	7

SYMBOL:

- LL Liquid Limit (%)
- PL Plastic Limit (%)
- PI Plastic Index (%)
- w_n Natural Water Content (%)
- G_s Specific Gravity
- Uc Unconfined Compressive Strength (q_u) (T/m^2)
- Fv Field Vane Shear Test(T/m^2)
- UU Unconsolidate Undrained Triaxial Test (T/m^2)
- ppt pocket penetration (T/m^2)
- SPT Standard Penetration Test(N) (blows/ft)
- ST Thin Wall Sample
- SS Split Spoon Sample
- γ_t Wet Unit Weight (T/m^3)

REMARK:

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SUMMARY OF TEST RESULTS

PROJECT: ____________________ BORING NO. __________

LOCATION: ____________________ BY __________

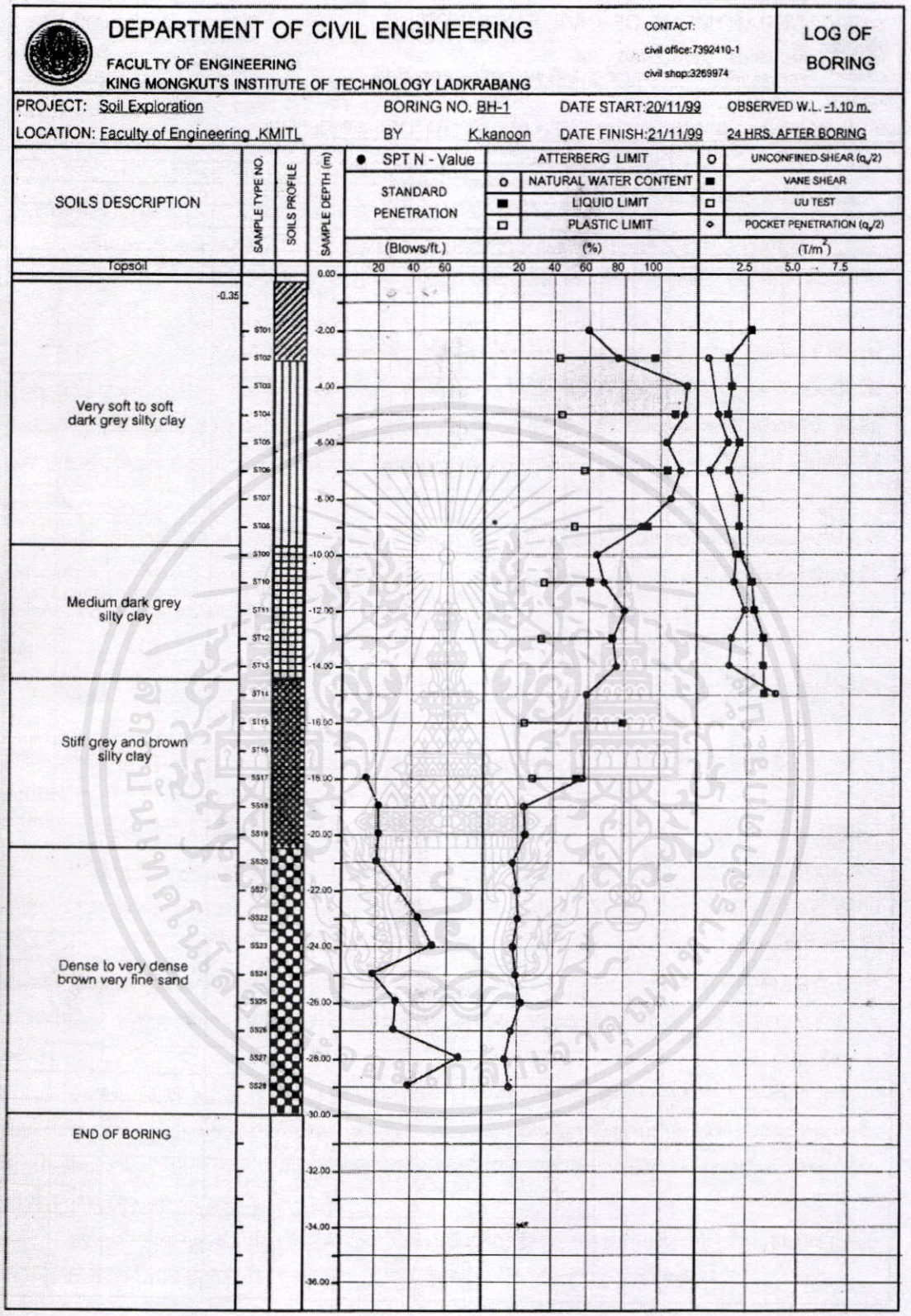
DATE: ______________ OBSERVED W.L. __________

Depth	Sample	SPT	γ_t	Group	ATTERBERG LIMIT			w_n	G_s	Undrained Shear Strength				Sieve Analysis ,% Finer				
From-To	Type No.			Symbol	LL	PL	PI			Uc	Fv	UU	ppt	No.3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200

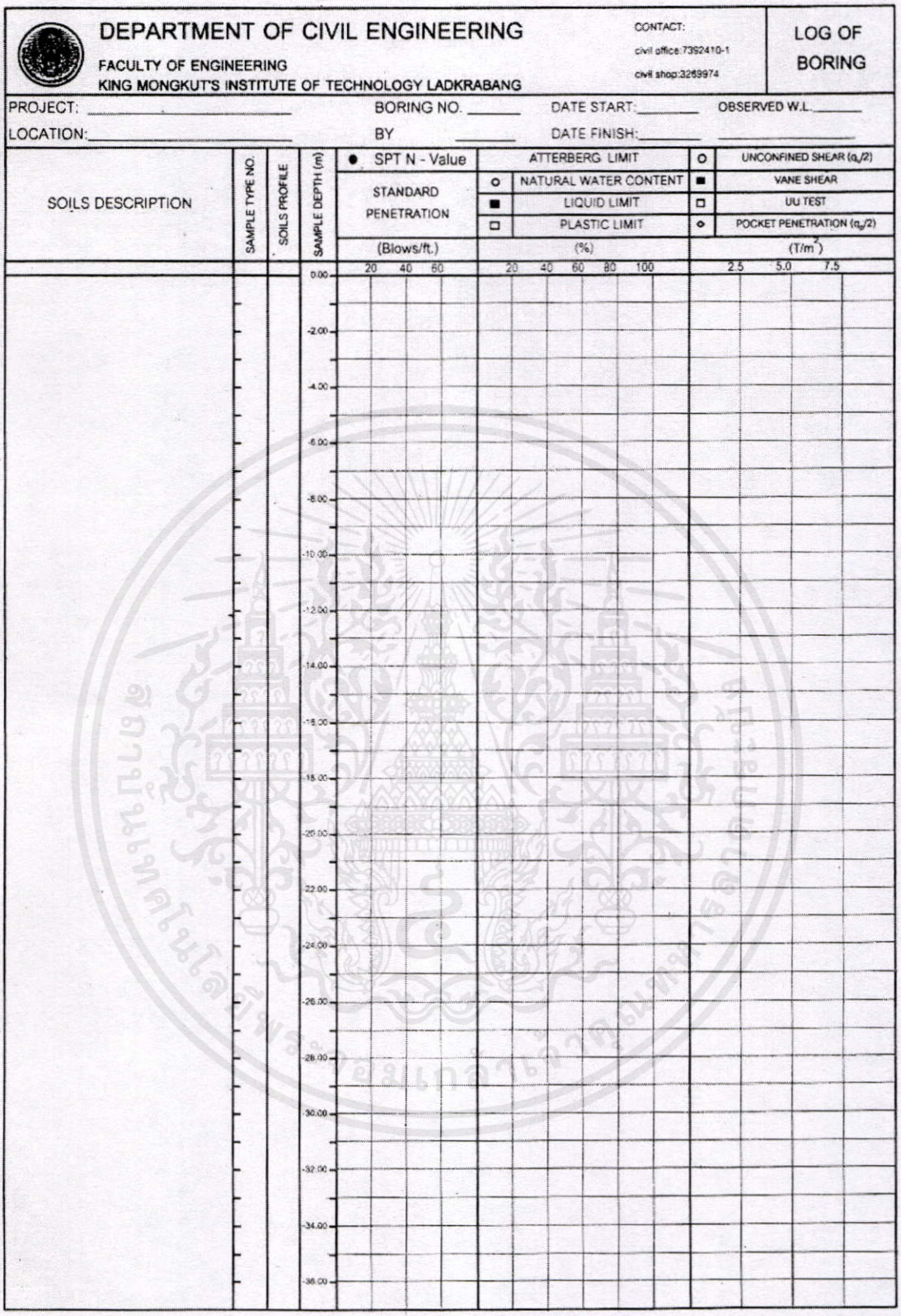
SYMBOL:

LL Liquid Limit (%)
PL Plastic Limit (%)
PI Plastic Index (%)
w_n Natural Water Content (%)
G_s Specific Gravity
Uc Unconfined Compressive Strength (q_u) (T/m^2)
Fv Field Vane Shear Test (T/m^2)
UU Unconsolidate Undrained Triaxial Test (T/m^2)
ppt pocket penetration (T/m^2)
SPT Standard Penetration Test(N) (blows/ft)
ST Thin Wall Sample
SS Split Spoon Sample
γ_t Wet Unit Weight (T/m^3)

REMARK:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)

2.3.1 อ้างอิง

ASTM D4318 , ASTM D427

2.3.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และพิกัดหดตัว (Shrinkage Limit)
- เพื่อหาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

2.3.3 ทฤษฎี

เมื่อเติมน้ำลงไปในดินแห้ง มวลของเม็ดดินจะถูกปกคลุมด้วย Water Film (Film of adsorbed water) ถ้าทำการเติมน้ำลงในมวลดินอีกจะทำให้ Water Film หนาขึ้น การที่ Water Film ในเม็ดดินหนาขึ้นจะทำให้การ slide ตัวระหว่างเม็ดดินง่ายขึ้น (แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินน้อยลง) เพราะฉะนั้นพฤติกรรมของดินจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดิน ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีความชื้นสูงกว่าดินที่มีเม็ดหยาบ เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่เฉพาะ (Specific Surface) ซึมซับน้ำได้มากกว่า

เมื่อปริมาณน้ำในมวลดินเปลี่ยนแปลงจะทำให้สถานภาพและคุณสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไปและจะมีผลกระทบมากกับดินเม็ดละเอียด (Cohesive Soil) เช่น ดินเหนียว เนื่องจากดินประเภทนี้ยึดกันโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน ซึ่งมักเกิดจากสนามประจุไฟฟ้าโดยรอบ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำในมวลดิน

ในปี ค.ศ. 1911 A. Atterberg นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนได้เสนอจุดเปลี่ยนสถานภาพ หรือลิมิดของมวลดิน (Atterberg's Limits) ขึ้นมา 5 ลิมิดสำหรับใช้ในงานเกษตรกรรม คือ Cohesion limit , Sticky limit , Shrinkage limit , Plastic limit และ Liquid limit ณ จุดเปลี่ยนสถานภาพดังกล่าวมวลดินจะมีปริมาณน้ำและปริมาตรที่แตกต่างกัน 5 ลิมิดดังกล่าวมีคุณลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

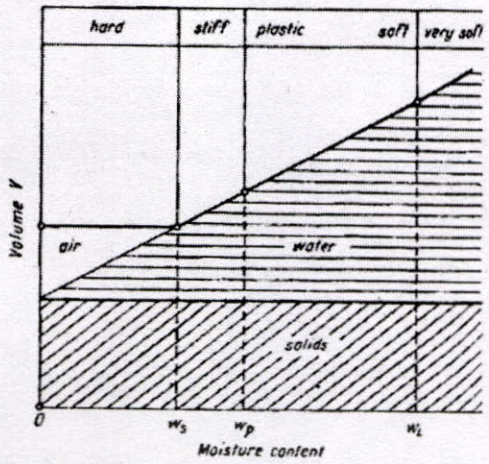
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Cohesion Limit คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้เศษดิน (Soil crumbs) เริ่มมีการยึดเกาะเข้าด้วยกัน
2. Sticky Limit คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้มวลดินเริ่มมีการยึดเกาะตัวกับผิวของโลหะ เช่น Spatula Blade
3. Shrinkage Limit (W_{SL} หรือ S.L.) คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่มากที่สุดที่ทำให้มวลดินดังกล่าวไม่เปลี่ยนปริมาตรเมื่อดินแห้งลงไปกว่านี้ หรือ ความชื้น ณ จุดซึ่งดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งแข็งเป็นของแข็ง และจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว ยิ่งปริมาณลดลงจากจุดนี้ไปอีกฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน(โดยที่ปริมาตรยังคงที่) และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย ดังรูปที่ 2.1 และเมื่อปริมาณน้ำน้อยลง สีของมวลดินก็จะอ่อนลง
4. Plastic Limit (W_p หรือ P.L.) คือปริมาณน้ำในมวลดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Semi-Solid ของดินเมื่อดินใดๆก็ตามมีปริมาณน้ำเท่ากับ Plastic Limit ดินจะมีสถานะอยู่ระหว่างสถานะ Plastic กับ สถานะ Semi-Solid ถ้ามีปริมาณน้ำในมวลดินมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินจะอยู่ในสถานะเป็น Plastic แต่ถ้าดินมีปริมาณน้ำน้อยกว่านี้ดินก็จะอยู่ในสถานะ Semi-Solid
5. Liquid Limit (W_L หรือ L.L) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Liquid ของดิน หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เป็นปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาวะไหลตัวได้

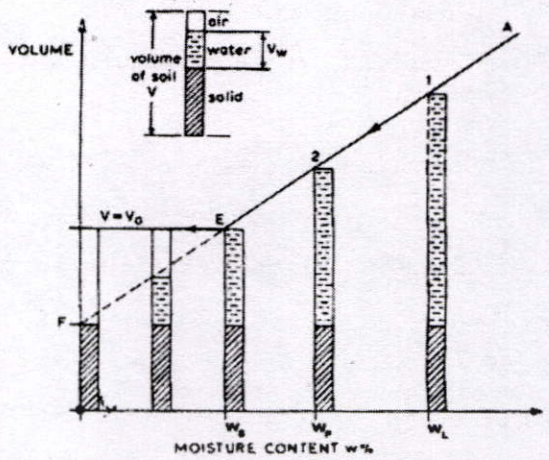
ต่อมาในปี ค .ศ. 1932 Casagrande ได้นำค่าพิกัดมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมกลศาสตร์ของดินโดยได้กำหนดรูปแบบเครื่องมือและวิธีการทดสอบ Liquid Limit และ Plastic Limit ซึ่งเป็นดัชนีที่สำคัญของดินซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เพียง 3 ลิมิตสุดท้ายเท่านั้น โดยเราสามารถนำค่า Liquid Limit และ Plastic Limit ไปใช้ในการแยกประเภทของดิน (Soil Classification) และคาดคะเนการทรุดตัว (Settlement) ของชั้นดิน คาดคะเนการซึมผ่านของน้ำในดิน (Permeability) ความสามารถในการบดอัดตัว (Compressibility) ของดิน รวมถึงใช้ในการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนัก (Strength) ของดิน ส่วน Shrinkage Limit จะบอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากสภาพเปียกเป็นแห้งของดิน เมื่อความชื้นในดินลดลง กำลังของดินจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของดินก็ลดลงเช่นกัน มีผลกระทบในการก่อสร้าง เช่น คันถนน คันทางรถไฟ เขื่อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

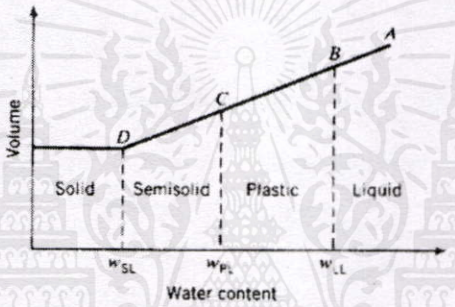


(A'. Ke'zdi ,1974)



(HeadVol1 ,1988)

รูปที่ 2.1 ผังแสดงสัดส่วนของน้ำ ดินแห้ง และอากาศ ในมวลดิน ที่สัมพันธ์กับปริมาตรและปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงสถานะต่างๆ ของดิน(Muni Budhu ,1999)

พิจารณาจากกราฟแสดงสถานะต่างๆของมวลดิน เมื่อดินมีปริมาณน้ำในดินอยู่มากดินจะมีสภาพเป็นของเหลว (Liquid) เมื่อน้ำในมวลดินลดลง (ความชื้นลดลง) จะมีผลให้ปริมาตรของดินลดลงตามสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลง ดินจะเริ่มมีการแข็งตัวขึ้นอยู่ในสภาพ Plastic ถ้าลดปริมาณน้ำลงไปอีกดินจะอยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง (Semi-Solid) และเมื่อลดปริมาณน้ำจนผ่านพิกัดหดตัว (Shrinkage Limit) ดินจะอยู่ในสภาพของแข็ง (Solid) ปริมาตรดินจะไม่ลดลงอีกถึงแม้ปริมาณความชื้นจะลดลงต่อไป

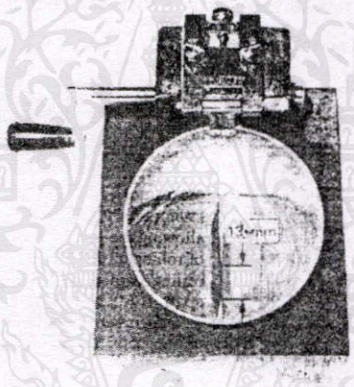
ลิมิ ดต่างๆของดินมีประโยชน์ในการบอกลักษณะของดิน กล่าวคือ ถ้ามีดิน 2 ชนิด โดยมีค่าปริมาณความชื้น (water content) เท่ากัน สมมติเท่ากับ 30% ดินพวกมวลละเอียด (silt) สมมติอยู่ในสถานะ liquid state แต่ดินอีกชนิดที่มีลักษณะมวลที่ใหญ่กว่าส่วนใหญ่จะมีความแข็งแรงและกำลังมากกว่า (Strength) ค่าลิมิ ดต่างๆของดินจึงมีประโยชน์ทำให้เราทราบว่าดินนี้อยู่ในสถานะใดของเหลว กึ่งของเหลว หรือของแข็ง โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% water content) แล้วเปรียบเทียบกับค่า limit ต่างๆของดินนั้น ว่าปริมาณความชื้นของดินอยู่ในช่วงใด ก็จะทราบถึงสถานะของดินที่นำมาทดสอบได้

เอกสารนี้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ค่า limit ต่างๆ เช่น liquid limit , plastic limit , shrinkage limit ก็คือค่าปริมาณความชื้น(%)นั้นเอง จึงสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า %water content ได้

การหาค่าความชื้นในมวลดินที่ลิมิ ดต่างๆ มีวิธีการเฉพาะซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. การหาค่า Liquid Limit แบบใช้ถ้วยทองเหลือง (Cup Method) , Liquid Limit ของดิน คือ ค่าความชื้นที่จุดรอยปาดดินเคลื่อนที่เข้ามาบรรจบกันในถ้วยทองเหลืองยาว 1.3 cm (0.53 inch) เมื่อเคาะได้ 25 ครั้ง โดยมีระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองถึงพื้นรองเท่ากับ 1 cm โดยใช้อัตราการหมุน 2 ครั้ง/วินาที

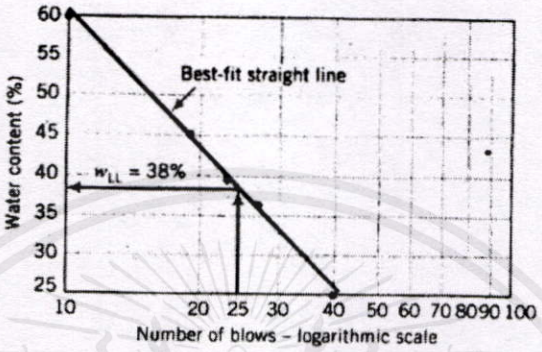


รูปที่ 2.3 แสดงระยะที่ดินชนกันได้ 1.3 ซม. หลังเคาะ(ASTM , 1997)

เป็นเรื่องที่ยากมากที่จะผสมดินกับน้ำเพื่อให้ตัวอย่างดินไหลมาชนกันได้ระยะ 1.3 cm (0.53inch) ตามที่กำหนดในการเคาะที่ 25 ครั้งพอดี จึงใช้วิธีการหาค่า Liquid Limit จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น(%) และจำนวนครั้งของการเคาะ โดยให้ค่าจำนวนครั้งของการเคาะอยู่ในแกน x ซึ่งเป็น log scale และค่าปริมาณความชื้นอยู่ในแกน y ทำการทดลองโดยบันทึกค่าจำนวนครั้งในการเคาะ ที่ทำให้ดินเคลื่อนมาบรรจบกันเป็นระยะ 1.3 cm (0.53inch) แล้วนำตัวอย่างดินบริเวณกลางถ้วย(บริเวณที่ดินชนกัน) ไปหา %water content 3-6 ค่า จำนวนครั้งที่เคาะควรให้แตกต่างกัน โดยการเคาะครั้งแรกจำนวนครั้งในการเคาะประมาณ 40-50 ครั้ง แล้วทำการเพิ่มปริมาณน้ำในมวลดินเรื่อยๆในครั้งต่อไปจะทำให้มวลดินเหลวขึ้น จำนวนครั้งในการเคาะลดน้อยลง จำนวนครั้งในการเคาะครั้งสุดท้ายควรอยู่ราวๆ 5-10 ครั้ง แล้วให้ลากเส้นต่อจุดทั้งหมด ถ้าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองไม่บกพร่อง เส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เรียกว่า Flow Curve จากนั้นหาค่า Liquid Limit ได้โดยการลากเส้นตรงจากตำแหน่ง No. of Blow = 25 ไปตัดกับ Flow Curve และจาก Flow Curve ไปตัดแกน y อ่านค่าความชื้นในมวลดิน (water content) ค่าที่ได้คือค่า Liquid Limit ของมวลดิน



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟระหว่าง water content กับ No.of Blow เพื่อหาค่า liquid limit(Muni Budhu ,1999)

ค่า Liquid Limit ของดินเป็นค่าที่สามารถบอกถึงค่าความต้านทานแรงเฉือนของดิน จากการค้นคว้าของ Cassagrande (1932) พบว่า แต่ละครั้งของการเคาะ ทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 1 g/cm^3 ฉะนั้นก็พอจะประมาณได้ว่าดินทุกชนิดที่ Liquid Limit จะมีค่าความต้านทานแรงเฉือนประมาณ 25 g/cm^3 ถ้าดินเหลวกำลังของดินก็จะน้อยหากปริมาณน้ำในดินลดลงจะทำให้กำลังของดินเพิ่มขึ้น และมีข้อสังเกตว่าค่า Liquid Limit ของดินจะเพิ่มขึ้น ถ้าหากดินชนิดนั้นมีปริมาณของดินเม็ดละเอียดปนอยู่มาก

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า limit ของดินชนิดต่างๆ (A'. Ke'zdi ,1974)

Water Content	Sand	Rock flour	Silt	Clay
Liquid limit	15 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 150
Plastic limit	-	17 – 20	20 – 25	25 – 50
Plasticity index	0	3 – 10	10 – 15	10 – 100
Shrinkage limit	12 – 18	12 – 20	14 – 25	8 – 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากวิธีการหาค่า Liquid Limit จากการ plot แล้ว เรายังสามารถหาค่า Liquid จากวิธีการทดลองแบบจุดเดียว (single-point test) โดยใช้เครื่องมือและทดสอบเหมือนเดิม แต่ทำการทดลอง

เพียงครั้งเดียว คือบันทึกค่าจำรวนครั้งของการหมุนที่ทำให้ดินเคลื่อนมาบรรจบกัน 1.3 ซม. แล้วไม่ต้องทดสอบอีก

โดยที่จำนวนครั้งของการหมุนที่อาจไม่เท่ากับ 25 ครั้ง แล้วใช้สูตรต่อไปนี้

$$W_L = W_N\left(\frac{N}{25}\right)^{\tan\beta}$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งของการเคาะที่ทำให้ดินเคลื่อนมาบรรจบกัน 1.3 cm

W_n = ค่า %water content ที่จำนวนการเคาะ N ครั้ง

β = ค่าความชันของกราฟระหว่างค่า w กับค่า log N (semi plot)

สำหรับดินโดยทั่วๆไปจะใช้ค่า tanβ = 0.121 เพราะฉะนั้นจะได้

$$W_L = W_N\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

หมายเหตุ : ค่า tanβ จะไม่เท่ากับ 0.121 ในทุกชนิดของดิน อย่างไรก็ตามเพื่อลดผลจากการ error ในการใช้สูตรนี้ N ควรอยู่ระหว่าง 20-30 (ยิ่งค่า N เข้าใกล้ 25 มากเท่าไร error ก็จะยิ่งน้อยลง)

2.การหาค่า Plastic Limit, Plastic Limit คือค่าปริมาณน้ำในดินที่คลึงเป็นเส้นกลมได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม. (ขนาด 1 หุน หรือ1/8 นิ้ว) แล้วเริ่มปรากฏรอยแตกบนดินเส้นกลมนั้น

3.การหาค่า Shrinkage Limit, Shrinkage Limit คือ ปริมาณความชื้นต่ำที่สุดที่ดินจะไม่ลดปริมาณลงได้อีกแล้วแม้ความชื้นในดินจะต่ำกว่านี้ หมายความว่าที่ความชื้นต่ำกว่า Shrinkage Limit ปริมาณของดินจะไม่ลดลงอีกถึงแม้ความชื้นจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.1, 2.2

จากค่าลิมิตทั้งสามค่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่สามารถบอกคุณสมบัติของมวลดินไปได้หลายค่าดังนี้

1.ดรรชนีความเหนียว (Plastic Index , P.I. หรือ I_p) คือค่าที่บอกถึงช่วงสถานภาพพลาสติกของดิน แสดงถึงความเหนียวของดินและความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของ Liquid Limit กับ Plastic Limit ดังสมการ

$$P.I. = L.L. - P.L.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ดรรชนีความเหลวคือ (Liquidity Index , L.I. หรือ I_L) ค่าที่บอกสถานภาพของดินในธรรมชาติว่าอยู่ในสถานะภาพใด โดยเป็นอัตราส่วนส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณน้ำในดินธรรมชาติกับค่า Plastic Limit ต่อ Plastic Index ดังสมการ

$$L.L. = \frac{Wn - P.L.}{P.I.} = \frac{Wn. - P.L.}{L.L. - P.L.}$$

เมื่อ W_n ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content)

จากสมการจะเห็นว่า W_n = L.L. ค่า L.I. จะเท่ากับ 1 ถ้า W_n = P.L. ค่า L.I. จะเท่ากับ 0 หากดินในธรรมชาติอยู่ในสภาพพลาสติก (P.L. ≤ W_n ≤ L.L.) จะแปลอยู่ระหว่าง 1 และ 0 หากดินในธรรมชาติมีค่า W_n > L.L. จะมีค่า L.I. > 1 ถ้าดินที่อยู่ในสภาพ Undisturbed ดินนี้จะสามารถอยู่ได้มั่นคง แต่ถ้าถูกรบกวนหรือถูกกระทบ ทันทีทันใดดินนี้จะกลายสภาพเป็นของเหลวไหลเหมือนโคลน เรียกว่า Quick Clay หรือ Sensitive Clay

สรุป ถ้าดินในธรรมชาติมีค่า L.I. < 0 แสดงว่าดินอยู่ในสถานะสภาพกึ่งของแข็ง

0 < L.I. < 0 แสดงว่าดินอยู่ในสถานะสภาพพลาสติก

L.I. > 1 แสดงว่าดินอยู่สถานะสภาพของเหลว

3.ดรรชนีการไหล (Flow Index , F.I. หรือ I_f) คือค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น(%w) และจำนวนครั้งในการเคาะ (N) ใน Scale Log มีค่าดังสมการ

$$F.I. = \frac{W1 - W2}{log\frac{N2}{N1}}$$

เมื่อ W_1 ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด1 (ค่ามาก)

W_2 ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 2 (ค่าน้อย)

N_1 จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 1

N_2 จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชันจะบอกถึงความไวตัวของดิน ถ้าดินที่นำมาทดสอบมีความชันมากแสดงว่าดินมีความไวตัวมากความชื้นเปลี่ยนแปลงได้มาก

4.Activitiy of Clay คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Plasticity Index ต่อเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.002 มม. ดังสมการ

$$Activity = \frac{P.I.}{\%Clay \text{ ขนาดเล็กกว่า } 0.002\ mm.}$$

ค่า Activity ของดินแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ (โดยประมาณ) โดยค่า Activity จะบ่งบอกถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมวลดินที่ความชื้นต่างๆ ดินมีค่า Activity ต่ำจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยกว่าดินที่มีค่า Activity สูงค่า Activity ของดินเหนียวโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.3-5.5 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Activity of Clay

ประเภทของดิน	Activity, A
Inactive Clays	< 0.75
Normal Clays	0.75 – 1.25
Active Clays	1.25 – 2.0
Highly Active Clays	> 2.0

2.3.4 อุปกรณ์

Liquid Limit

1. เครื่องเคาะดิน (Liquid Limit Device)

2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)

3. มีดปาดดิน (Spatula)

4. ชามกระเบื้องเคลือบ

5. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic Limit

1. แผ่นกระจกสำหรับปั้นดิน

2. เพลาโลหะขนาด 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ไว้เปรียบเทียบขนาดเส้นดินที่ปั้น

3. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

Shrinkage Limit

1. ถ้วยสำหรับหาพิกัดหดตัว (Shrinkage Dish)

2. แผ่นพลาสติกมีปุ่มสามปุ่ม (Plastic Plate with Three Prongs)

3. แผ่นกระจก (Watch Glass)

4. ถ้วยแก้วหาปริมาตร (Volume Dish)

5. ปรอท (Mercury)

6. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

7. ถ้วยกระเบื้อง

8. จาระบี

การหาความชื้น (Water Content)

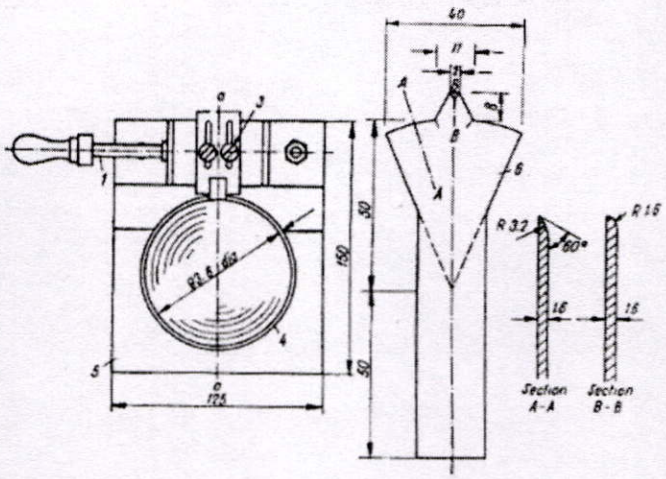
1. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (Can)

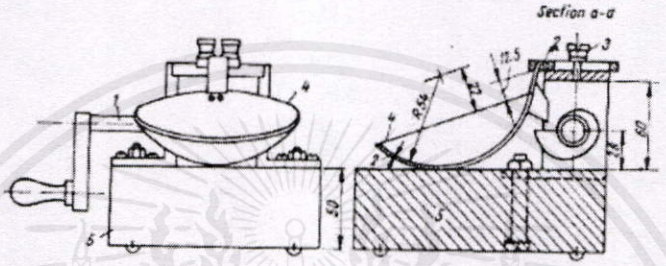
2. ตู้อบ (Drying oven)

3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

4. อ่างแก้วดูดความชื้น (Desiccator) พร้อมฝาปิด และชั้นวางกระป๋องตัวอย่างใต้ชั้นวางกระป๋องตัวอย่างบรรจุสารดูดความชื้น (Silica Gel) (ตอนแห้งจะมีสีน้ำเงิน เมื่อชื้นจะใสขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





หมายเหตุ: 1 – handle; 2 – hinge; 3 – adjusting screws; 4 – copper cup; 5 – hard rubber base; 6 – grooving tool

รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์ทดสอบ liquid limit(A' Ke'zdi ,1974)

รูปที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์ทดสอบ shrinkage limit(HeadVol1 ,1988)

2.3.5 วิธีการทดลอง

วิธีหา Liquid Limit ของดิน

(ควรทำการทดลองจากดินแห้งไปหาดินเปียก)

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างดินเปียกที่มั่นใจว่าขนาดเม็ดเล็กกว่าเบอร์ 40 ก็นำมาทดสอบได้เลย โดยแบ่งดินไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 กรัม เพื่อนำไปทดสอบ Shrinkage Limit ส่วนที่เหลือนำไปใช้ทดลอง Liquid Limit และ Plastic Limit

2. นำตัวอย่างดินมาผสมให้เข้ากันในถ้วยกระเบื้อง โดยเติมน้ำจากกระบอกฉีดน้ำเพียงเล็กน้อย คลุกดินให้เข้ากันแล้วใช้มีดปาด (Spatula) ตักปากดินลงบนกระทะทองเหลืองให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซม.แล้วบากด้วย Grooving Tool ตรงกลาง แล้วเริ่มทำการเคาะ ไม่ควรทิ้งไว้จะทำให้ปริมาตรความชื้นของดินเปลี่ยนแปลง

3. ทำการเคาะถ้วยทองเหลือด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้ง/วินาที จนดินเคลื่อนเข้าบรรจบกันได้ระยะ 1.3 ซม.แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งในการเคาะไว้ (การเคาะครั้งแรกควรจะประมาณ 40-50 ครั้ง)

4. ปาดแต่งดินเดิมแล้วทำการบากด้วย Grooving Tool อีกครั้งเพื่อทำการเคาะซ้ำแล้วได้ค่าเฉลี่ยจากการเคาะครั้งทั้งสองเป็นจำนวนครั้งในการเคาะ (N) (โดยที่จำนวนครั้งในการเคาะควรเท่ากันหรือห่างกันเกิน 2 ครั้ง) จึงนำดินบริเวณรอยบากที่บรรจบกันประมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น (%Water Content)

5. เติมน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย แล้วทำตามข้อ 2-4 โดยที่จำนวนการเคาะที่ได้ควรน้อยลงประมาณ 10 ครั้งทำเช่นนี้ซ้ำจนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 5 ค่า (จำนวนครั้งในการเคาะควรอยู่ระหว่าง 5-50 ครั้ง)

6. นำข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (%W) ไปเขียนกราฟ โดยให้จำนวนครั้งการเคาะ(N)อยู่ในแกน x (Scale Log) ส่วนปริมาณความชื้น (%W) อยู่ในแกน y แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

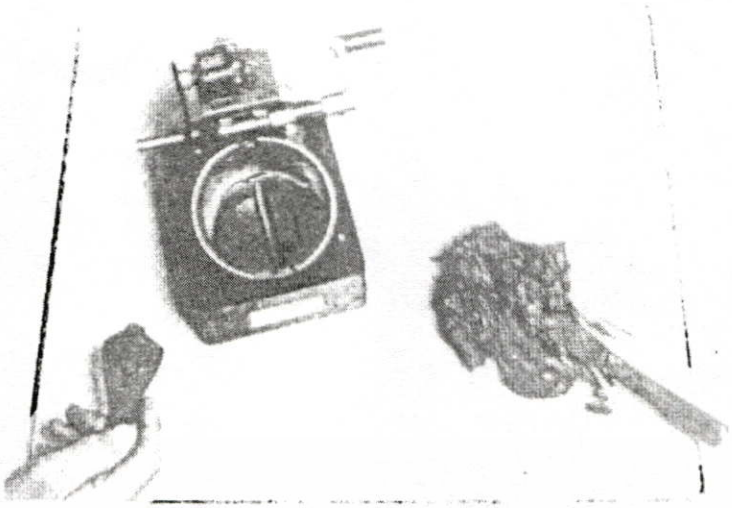
7. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวดิ่งตัดกราฟที่ได้ แล้วลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน y (%W) ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือ Liquid Limit (W_L หรือ L.L)

ข้อควรระวัง

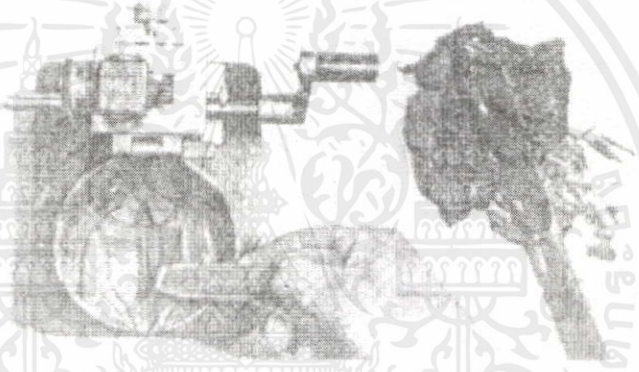
- ต้องเช็คกระทะทองเหลืองให้แห้งและขูดดินออกทุกครั้งในการเคาะครั้งต่อไป

- ต้องดูให้แน่ใจว่าตัวอย่างดินเคลื่อนมาบรรจบกันได้ระยะ 1.3 ซม. พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการปาดร่องดิน(HeadVol1 ,1988)



รูปที่ 2.8 แสดงการวัดรอยที่ดินเคลื่อนมาชนกันเป็นระยะ 1.3 ซม. (HeadVol1 ,1988)
(ในรูปปลายด้ามของ Grooving Tool กว้างเท่ากับ 1.3 ซม. การใช้ต้องดูเครื่องมือของเราด้วยว่าปลายมีระยะเท่าใด)

วิธีหา Plastic Limit

(ควรทำการทดลองจากเปียกหมาดๆ ไปหาแห้ง)

1. ทำการปั้นตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบบนแผ่นกระจกด้วยฝามือ โดยปั้นเป็นก้อนกลมให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ถ้าดินเปียกไปให้แผ่ดินบางๆ บนแผ่นกระจกให้แห้งเร็วขึ้น

2. ค่อยๆคลึงบนฝ่ามือไปมาประมาณ 80-90 ครั้ง/นาที

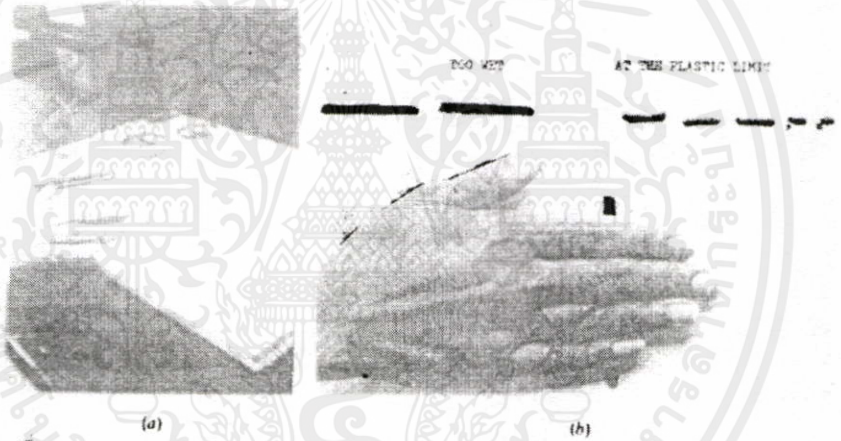
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คลึงดินให้เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.2 มม.(1/8 นิ้ว) ภายในระยะเวลาไม่เกินประมาณ 2 นาที ถ้ายังสามารถคลึงเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. (เปรียบเทียบกับเพลาเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว) โดยที่ดินยังไม่มีรอยแตก แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

4. ปั้นดินเดอมให้เป็นก้อนอีกครั้ง แล้วคลึงจนกระทั่งเมื่อเส้นดินมีขนาดใกล้เคียง 3.2 มม.ดินเริ่มมีรอยแตกหรือไม่สามารถปั่นให้เล็กลงกว่า 3.2 มม. ได้ ที่สถานะความชื้นของดินนี้จะเรียกว่าเป็นพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

5. นำเศษดินที่ปั้นไว้ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น

6. แยกดินออกจากองที่เตรียมไว้ ทำการทดลองข้อ 2-5 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2.9 (a) แสดงอุปกรณ์ ,(b) แสดงการคลึงดินและสภาพดินก่อนและหลังจากคลึง(Head,Volt , 1988)

วิธีการหา Shrinkage Limit

1. นำตัวอย่างดินประมาณ 50-100 กรัม เป็นดินที่เตรียมไว้ทดสอบ Liquid Limit และPlastic Limit ที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 พยายามคัดดินเม็ดหยาบออก

2. ผสมน้ำลงในดินในถ้วยกระเบื้องด้วย Spatula คลุกให้เป็นเนื้อเดียวกัน จนดินเหลวกว่าที่ทำพิกัดเหลว (Liquid Limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำจารีทาบางๆภายในถ้วยหาพิกัดหดตัว เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดขณะแห้ง

4. ใส่ดินที่เตรียมไว้ลงในถ้วยหาพิกัดหนตัว ค่อยๆใส่ประมาณ 3-4 ชิ้น แต่ละชั้นต้องเคาะเบาๆ กับพื้นเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากดิน ใส่ดินต่อไปจนดินล้นปากขอบถ้วยจึงปาดดินให้เรียบร้อยเสมอขอบถ้วนด้วยสัน Spatula แล้วนำไปชั่งน้ำหนักดินเปียกและถ้วนหาพอกัดหดตัว

5. ปล่อยให้ดินแห้งลงที่อุณหภูมิห้องประมาณ 4-6 ชั่วโมง(เพื่อไม่ให้ดินแตกเป็นหลายก้อนหลังจากที่อบแห้ง)สังเกตจากดินแห้งหมาดจากสีของดินที่อ่อนลง แล้วจึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105±5° C เพื่อให้เดินแห้งประมาณ 18 ชั่วโมง

6. นำดินออกจากตู้อบ ใส่ตัวอย่างดินไว้ในอ่างแก้วดูดความชื้น (Dessicator) จนตัวอย่างดินเย็นจากนั้นชั่งน้ำหนักดินแห้งและถ้วยหาพิกัดหดตัว

7. การหาปริมาณก้อนดินเปียก

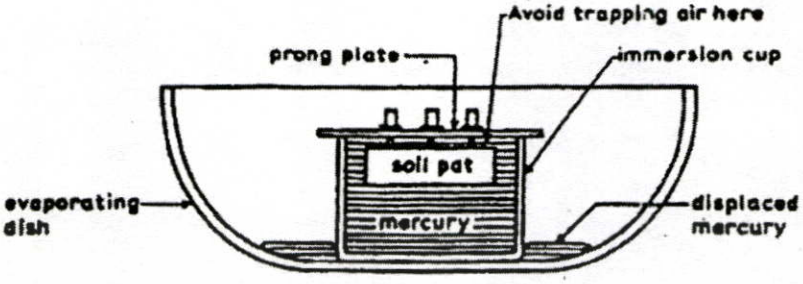
เอาก้อนดินแห้งออกจากถ้วยหาพิกัดหดตัวแล้วใส่ปรอทในถ้วยหาพิกัดหดตัวจนเต็ม วางถ้วยบรรจุปรอทในถ้วยกระเบื้อง (เพื่อเก็บปรอทได้ง่าย) ใช้แผ่นกระจกกดลงบนขอบถ้วยบรรจุปรอท ปรอทส่วนเกินจะล้นออกอยู่ในถ้วยกระเบื้อง ปริมาณปรอทจะเท่ากับขอบถ้วย พอดีนำถ้วยหาพิกัดหดตัว + ปรอท เสร็จแล้วเทปรอทออกจากถ้วยหาพิกัดหดตัว แล้วชั่งนำหนักถ้วยหาพิกัดหดตัวซึ่งเราสามารถหาน้ำหนักปรอทในถ้วยหาพิกัดหดตัวแปลงไปหาปริมาตรที่เท่ากับก้อนดินเปียกได้

8. การหาปริมาตรก้อนดินแห้ง

โดยวางถ้วยหาพิกัดหดตัวที่บรรจุปรอทจนเต็มลงในถ้วยกระเบื้องนำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วมาวางบนปรอทในถ้วย แล้วจึงนำแผ่นพลาสติกที่มีสามขากดให้เดินจมลงไป จนปรอทส่วนเกินจะล้นออกจากถ้วยชั่งน้ำหนักถ้วยหาพิกัดหดตัว + ปรอท ที่เหลือ เพื่อนำไปหักออกจากน้ำหนักถ้วยหาพิกัดหดตัว + ปรอทจะได้น้ำหนักปรอทที่ล้นออกมาเพื่อแปลงเป็นปริมาตรก้อนดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cheng Liu,Jack B.Evett ,2000)



(HeadVol1 ,1988)

รูปที่ 2.10 แสดงดินที่ผ่านการอบแห้งแล้วแทนที่ปรอทในการทดสอบ Shrinkage Limit

2.3.6 การคำนวณผล

1. Liquid Limit (W_L) อ่านได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง หรือจากสูตร

$$W_L = W_N\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

สำหรับการทดสอบแบบครั้งเดียว

เมื่อ N = จำนวนครั้งของการเคาะที่ทำให้ดินเคลื่อนมาบรรจบกัน 1.3 cm. (Nควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30)

W_N = ค่า % water content ที่จำนวนการเคาะ N ครั้ง

2. Plastic Limit (W_p) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่หาได้
3. Plasticity Index (P.I. หรือ I_p)

$$P.I. = L.L. - P.L.$$

4. Liquidity Index (L.I. หรือ I_L)

$$L.L. = \frac{Wn - P.L.}{P.I.} = \frac{Wn. - P.L.}{L.L. - P.L.}$$

5. Flow Index (F.I. หรือ I_f)

$$F.I. = \frac{W1 - W2}{log\frac{N2}{N1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W_1 ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด1 (ค่ามาก)

W_2 ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 2 (ค่าน้อย)

N_1 จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 1

N_2 จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 2

6. Activity of Clay

$$Activity = \frac{P.I.}{\%Clay \text{ ขนาดเล็กกว่า } 0.002\ mm.}$$

7. Shrinkage Limit (W_{SL})

พิสูจน์

Shrinkage Limit = ความชื้นของตัวอย่างดินเปียก – ความชื้นเทียบเท่าปริมาตรน้ำที่ลดลง

$= W_0 - DW$

$$W_0 = \frac{(\text{น้ำหนักดินเปียก}+\text{ถ้วย})-(\text{น้ำหนักดินแห้ง}+\text{ถ้วย})}{(\text{น้ำหนกดินแห้ง}+\text{ถ้วย})-\text{น้ำหนักถ้วย}} \times 100\%$$

$$DW = \frac{\text{ปริมาตารน้ำที่ลดลงของตัวอย่างดินหลังอบแห้ง} \times \rho w}{\text{น้ำหนักดินแห้ง}} \times 100\%$$

$$= \frac{\Delta Vw\,(\rho w)}{Ws}\,(100\%)$$

$DV_W = V_0 - V_f$ = ปริมาตรก้อนดินเปียก – ปริมาตรก้อนดินแห้ง cm^3

$$= \frac{\text{น้ำหนักปรอทในถ้วยหาพิกัดหดตัว} - \text{น้ำหนักปรอทที่มีปริมาตรเท่ากับก้อนดินแข็ง}}{\rho m} \quad cm^3$$

สรุป

$$W_{SL} = W_0 - \frac{(V0-Vf)\rho w\ (100)}{Ws}\ \%$$

เมื่อ W_0 = ความชื้นของตัวอย่างดินเปียก , %

V_0 = ปริมาตรก้อนดินเปียก , cm^3

V_f = ปริมาตรก้อนดินแห้ง , cm^3

W_S = น้ำหนักดินแห้ง , g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρm = ความหนาแน่นของปรอท = 13.53 g/ cm^3

ρw = ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/ cm^3

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civil office:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

PROJECT GEO-TEST | LOCATION CV BUILDING | OWNER _____

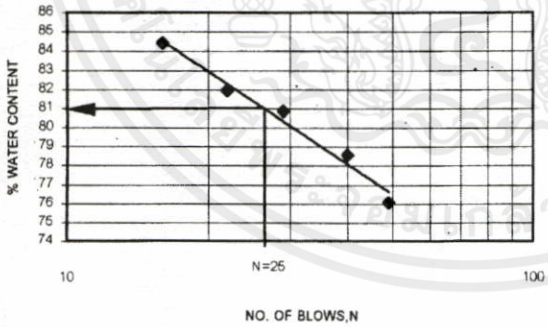
SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY | BORING NO. BH-1 | SAMPLE DEPTH 2.00-4.00 m

TEST BY KANOON | DATE JULY 15,1999 | SAMPLE NO. ST01 | TEST NO. LP-1

	PLASTIC LIMIT TEST:			NATURAL WATER CONTENT	
TRIAL NO.	1	2	3	1	2
CAN NO.	C-1	C-2		NC-1	NC-2
WET SOIL + CAN ,g	34.25	32.41		201.24	170.55
DRY SOIL + CAN ,g	27.3	26.4		127.4	109.28
WT. OF CAN ,g	10.1	9.88		18.14	17.86
WT. OF WATER ,g	6.95	6.01		73.84	61.27
WT. OF DRY SOIL ,g	17.2	16.52		109.26	91.42
% WATER CONTENT	40.41	36.38		67.58	67.02
AVERAGE	38.39			67.30	

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	6
NO. OF BLOWS ,N	49	40	29	22	16	
CAN NO.	64	95	57	74	82	
WET SOIL + CAN ,g	19.55	19.77	21.01	22.72	19.26	
DRY SOIL + CAN ,g	14.78	14.82	15.39	16.31	14.38	
WT. OF CAN ,g	8.51	8.52	8.44	8.49	8.6	
WT. OF WATER ,g	4.77	4.95	5.62	6.41	4.88	
WT. OF DRY SOIL ,g	6.27	6.3	6.95	7.82	5.78	
% WATER CONTENT	76.08	78.57	80.86	81.97	84.43	



Liquid Limit Determination

Method used (Check one)

☒ Method A

☐ Method B

Method A:From the flow curve

Method B:From equation

REMARK: _____

Method A:From the flow curve, the liquid limit =	81.00
Method B:From equation, the liquid limit for no.__ determination =	_____
From equation, the liquid limit for no.__ determination =	_____
The liquid limit (average of the two determination) =	_____

PLASTIC LIMIT	=	38.39
P.I.	=	42.61
Natural Water Content	=	67.3
FLOW INDEX	=	0.2
LIQUIDITY INDEX	=	0.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civil office:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

PROJECT _____ LOCATION _____ OWNER _____

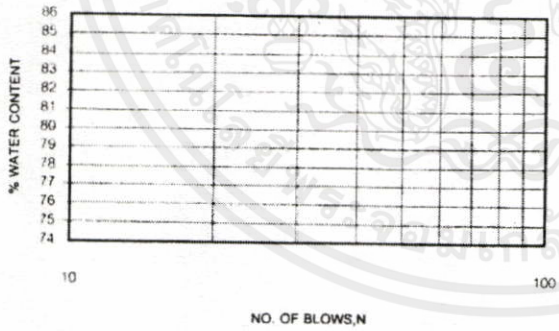
SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST BY _____ DATE _____ SAMPLE NO. _____ TEST NO._____

	PLASTIC LIMIT TEST:			NATURAL WATER CONTENT	
TRIAL NO.	1	2	3	1	2
CAN NO.					
WET SOIL + CAN ,g					
DRY SOIL + CAN ,g					
WT. OF CAN ,g					
WT. OF WATER ,g					
WT. OF DRY SOIL ,g					
% WATER CONTENT					
AVERAGE					

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	6
NO. OF BLOWS ,N						
CAN NO.						
WET SOIL + CAN ,g						
DRY SOIL + CAN ,g						
WT. OF CAN ,g						
WT. OF WATER ,g						
WT. OF DRY SOIL ,g						
% WATER CONTENT						



Liquid Limit Determination

Method used (Check one)

☐ Method A

☐ Method B

Method A:From the flow curve

Method B:From equation

REMARK:_____

_____

_____

_____

Method A:From the flow curve, the liquid limit = _____

Method B:From equation, the liquid limit for no.__ determination = _____

From equation, the liquid limit for no.__ determination = _____

The liquid limit (average of the two determination) = _____

PLASTIC LIMIT = _____

P.I. = _____

Natural Water Content = _____

FLOW INDEX = _____

LIQUIDITY INDEX = _____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civil office:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SHRINKAGE LIMIT

PROJECT GEO-TEST
OWNER _____
SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY
BORING NO. BH-1
LOCATION CV BUILDING
SAMPLE DEPTH 2.00-4.00 m
TEST NO. SL-1
SAMPLE NO. ST01
TEST BY KANOON
DATE JULY 15,1999

SHRINKAGE LIMIT DETERMINATION:

TRIAL NO.		1	2	3	4
DISH NO.		D-1	D-2		
1. WET SOIL + DISH	,g	44.95	45.05		
2. WT. OF DISH	,g	22.2	22.34		
3. WT. OF WET SOIL (1)-(2)	,g	22.75	22.71		
4. DRY SOIL + DISH	,g	37.95	38.24		
5. WT. OF DRY SOIL (4)-(2)	,g	15.75	15.9		
6. MERCURY + DISH	,g	204.09	204.2		
7.WT. OF MERCURY (6)-(2)	,g	181.89	181.86		
8. VOLUME OF MERCURY ,(7)/13.53	,cc	13.44	13.44		
9. MERCURY + TRAY	,g	292.3	295.5		
10.WT. OF TRAY	,g	175.8	175.8		
11. DISPLACED MERCURY ,(9)-(10)	,g	116.5	119.7		
12. FINAL VOLUME OF SOIL ,(11)/13.53	,cc	8.61	8.85		
13. SHRINKAGE LIMIT {[(3)-(5)]-[(8)-(12)]}/13.53	,%	16.02	16.38		
AVERAGE SHRINKAGE LIMIT	,%	16.20			

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civil office:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SHRINKAGE LIMIT

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

SHRINKAGE LIMIT DETERMINATION:

TRIAL NO.		1	2	3	4
DISH NO.					
1. WET SOIL + DISH	,g				
2. WT. OF DISH	,g				
3. WT. OF WET SOIL (1)-(2)	,g				
4. DRY SOIL + DISH	,g				
5. WT. OF DRY SOIL (4)-(2)	,g				
6. MERCURY + DISH	,g				
7.WT. OF MERCURY (6)-(2)	,g				
8. VOLUME OF MERCURY ,(7)/13.53	,cc				
9. MERCURY + TRAY	,g				
10.WT. OF TRAY	,g				
11. DISPLACED MERCURY ,(9)-(10)	,g				
12. FINAL VOLUME OF SOIL ,(11)/13.53	,cc				
13. SHRINKAGE LIMIT {[(3)-(5)]-[(8)-(12)]}/13.53 ,%					
AVERAGE SHRINKAGE LIMIT	%				

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)

2.4.1 อ้างอิง

ASTM D 854

2.4.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

2.4.3 ทฤษฎี

ในมวลดินจะมีส่วนประกอบของแร่ธาตุสารต่างๆ อาจจะชนิดเดียวหรือต่างชนิดกันหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วง

จำเพาะในมวลดิน Gsก็คือ ค่าเฉลี่ยนของความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุสารเหล่านั้น และโดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของ

มวลดินจะมีค่าประมาณ 2.60 ถึง 2.80 แล้วแต่แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ เช่นดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจะมีค่า

ความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่า แต่หากดินมีสารอินทรีย์อยู่มากจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำลง

ความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของมวลดิน สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง

(Void Ratio) ความพรุน (Porosity) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation)หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) และค่าอื่นๆได้รวมทั้งใช้คาดคะเนแร่ธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของมวลดินนั้น เช่น ดินที่มี iron อยู่มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าดินที่มี silica เป็นส่วนประกอบ หรือดินเหนียวจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าทราย เนื่องจากดินเหนียวมีส่วนประกอบของแร่ธาตุซึ่งหนักกว่า (Quartz) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทราย นอกจากนั้นความถ่วงจำเพาะยังต้องนำไปใช้ในการทดลองอื่นอีกด้วย เช่นใช้ในสูตรการตกตะกอนของเม็ดดินในการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วย Hydrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ ซึ่งจะเท่ากับ

อัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุในอากาศ ต่อ น้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น

ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน Gsมีค่าเท่ากับ

$$G_s = \frac{\text{น้ำหนักดิน}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ที่4 °C}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w(\text{ที่4°C})}}$$

$$= \frac{W_s / V_s}{W_{w\,(\text{ที่4°C})} / V_s}$$

$$= \frac{W_s}{W_{w\,(\text{ที่4°C})}}$$

γ = ความหนาแน่นเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ (ไม่รวมช่องว่าง)

W_s = น้ำหนักของเนื้อดิน

W_w = น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดินที่อุณหภูมิ 4°C

น้ำหนักเนื้อดินนั้นเราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง ส่วนน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดินหาโดยอาศัยหลักการของอาคีมิดิส (Archimedes principle) ที่กล่าวว่า วัตถุเมื่อจมอยู่ในน้ำปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้นมาจะเท่ากับปริมาตรของวัตถุ เราใช้ Pycnometer ที่ทราบค่าปริมาตรในขวดที่แน่นอนในการหาน้ำหนักน้ำดังนี้

เมื่อน้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอน นำเอาตัวอย่างดินที่ทดสอบมาทำการแทนที่ลงไปในขวด Pycnometer +น้ำที่มีอยู่เดิม โดยที่เมื่อทำการแทนที่ด้วยตัวอย่างดินซึ่งต้องรักษาปริมาตรให้คงที่แล้ว จะมีน้ำปริมาณหนึ่งล้นออกมา ส่วนน้ำที่ล้นออกมานี้จะถือว่ามีน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับตัวอย่างดินที่ทดสอบ

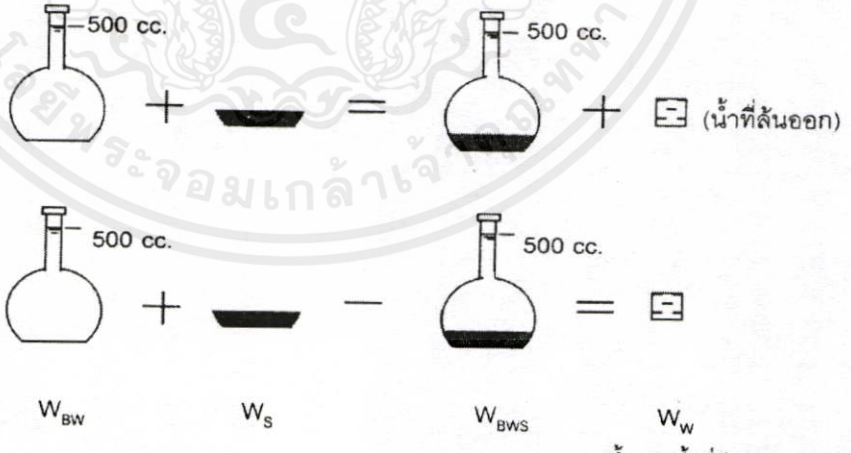
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่ได้จะขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำขยายตัว ดังนั้นปริมาตรน้ำในขวดจะสูงขึ้น ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้ปริมาตรลดลงเช่นกัน เราต้องทำการปรับแก่ค่าปริมาตรน้ำที่ขึ้นกับอุณหภูมิตามสภาวะที่ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำหนักน้ำที่ล้นออกมานี้เป็นการทดสอบที่อุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ แต่เราต้องการน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดินที่อุณหภูมิ 4°C เราจึงทำการปรับแก้ค่าปริมาตรที่ขึ้นกับอุณหภูมิตามสภาวะที่ทำการทดลองนั้น

ตารางที่3.1 ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ ,GT)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

หมายเหตุ: ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จะเท่ากับค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วย



รูปที่ 3.1 แสดง Model หลักการแทนที่น้ำของอาร์คีมีดิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิสูจน์: $$G_s = \frac{\text{น้ำหนักดิน}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ที่4 °C}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w(\text{ที่4°C})}}$$

$$= \frac{W_s / V_s}{W_{w\,(\text{ที่4°C})} / V_s}$$

$$= \frac{W_s}{W_{w\,(\text{ที่4°C})}} \qquad \text{_____(1)}$$

จาก $$G_T = \frac{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})}}{W_{w\,(\text{ที่4°C})}}$$

$$W_{w\,(\text{ที่4°C})} = \frac{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})}}{G_T}$$

ทำการแทนค่าลงใน (1) จะได้ $$G_s = \frac{W_s}{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})} / G_T}$$

$$G_s = G_T \left[\frac{W_s}{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})}} \right] \qquad \text{_____(2)}$$

$$W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})} = W_{BW} + W_S - W_{BWS}$$

ทำการแทนค่าลงใน (2) จะได้ $$G_s = G_T \left[\frac{W_s}{W_{BW} + W_S - W_{BWS}} \right]$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักดินแห้ง (ณ อุณหภูมิห้อง)

W_{BW} = น้ำหนักขวด + น้ำกลั่น (ถึงขีดระดับ 500 cm , ได้จากกราฟ ณ อุณหภูมิห้อง)

W_{BWS} = น้ำหนักขวด + ดิน + น้ำ (ถึงขีดระดับ 500 cm , ณ อุณหภูมิห้อง)

G_T = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิห้อง (หรือค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1)

G_s = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ: ระหว่างการดำเนินการทดสอบจะต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ที่ 4 °C ซึ่งไม่สะดวกต่อการปฏิบัติจริงดังนั้นจึงทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องแล้วเทียบกลับไปเป็นน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4°C แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างค่าความถ่วงจำเพาะของดินชนิดต่างๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

Type of Soil	G_s	Remarks
General	2.60-2.80	Average
Bangkok Soil	2.60-2.72	
Sand	2.65-2.67	
Silty Sand	2.67-2.70	
Inorganic Clay	2.70-2.80	
Soil with Micas or Iron	2.75-3.00	
Organic soil	1.0+-2.60	Varies,May be < 2.00
Peat	1.0 or less	

2.4.4 อุปกรณ์

1. Pycnometer แบบขวดแก้วคอยาวก้นป่อง (Volumetric flask)

   หรือ แบบขวดทรงกระบอกปริมาตร 250 หรือ 500 ml

2. เตาบุนเส็นหรือเตาแผ่นร้อน (Hot Plate) หรือ หม้อต้มน้ำ

3. Thermometer 0-100 °C อ่านละเอียด 0.1-1.0 °C

4. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 g

5.น้ำกลั่น (Distilled Water)

6.ภาชนะ (ขันอะลูมิเนียม)

7.เครื่องกวนดิน(Stirring Apparatus)

8.ตู้อบ (Drying oven)

9.อ่างแก้วดูดความชื้น (Desiccator) พร้อมฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 วิธีทดลอง

Calibration of Pycnometer

จุดประสงค์เพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของขวด Pycnometer ซึ่งมีน้ำเต็มถึงขีดที่กำหนด ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่าง 20 °C ถึง 40 °C เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการหาค่า ถ.พ. ของดินต่อไป การ Calibration มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.เติมน้ำกลั่นลงในขวด Pycnometer ให้ถึงขีดบอกปริมาตร (500 cm)

2.นำขวดไปต้มเพื่อไล่ฟองอากาศในน้ำ ด้วยการต้มน้ำให้เดือดบน Hot Plate หรือใส่ในหม้อต้มน้ำ ประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศที่ผุดขึ้นมาจากน้ำหมด

3.ปล่อยให้เย็นลง จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 40 °C ตรวจสอบว่าอุณหภูมิน้ำในขวดแก้วเท่ากันทุกระดับ หากต้องการให้อุณหภูมิลดลงเร็วให้แช่ในอ่างใส่น้ำ

4.ปรับระดับท้องน้ำให้อยู่ที่ขีดบอกปริมาตร 250 หรือ 500 cm โดยการเติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ฟองอากาศที่เตรียมไว้แล้วลงในขวดแก้ว (ถ้าระดับท้องน้ำเกิน 500 cm ให้เอาน้ำในขวดออก)

5.เช็ดภายนอกขวดให้แห้ง ใช้กระดาษ หรือ ผ้า ซับหยดน้ำที่ค้างอยู่ภายในขวดให้แห้ง นำขวดแก้ว + น้ำ ไปชั่งหาน้ำหนัก พร้อมกับวัดอุณหภูมิน้ำขณะนั้น โดยวัดที่หลายระดับ หากอุณหภูมิต่างกันมาก ให้ใช้หลอดแก้วคน หรือเอียงขวดกลิ้งไปมาเพื่อให้ผสมเข้ากันดี ทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอแล้วจึงบันทึกอุณหภูมิที่ถูกต้อง

6.ปล่อยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิน้ำลดลง แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 4 และ 5 อีกประมาณ 3-4 ครั้ง ในช่วงอุณหภูมิจากประมาณ 40 °C จนถึงอุณหภูมิประมาณ 20 °C (เมื่อต้องการให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง อาจใช้วิธีใส่ในอ่างน้ำที่แช่ด้วยน้ำแข็ง)

7.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

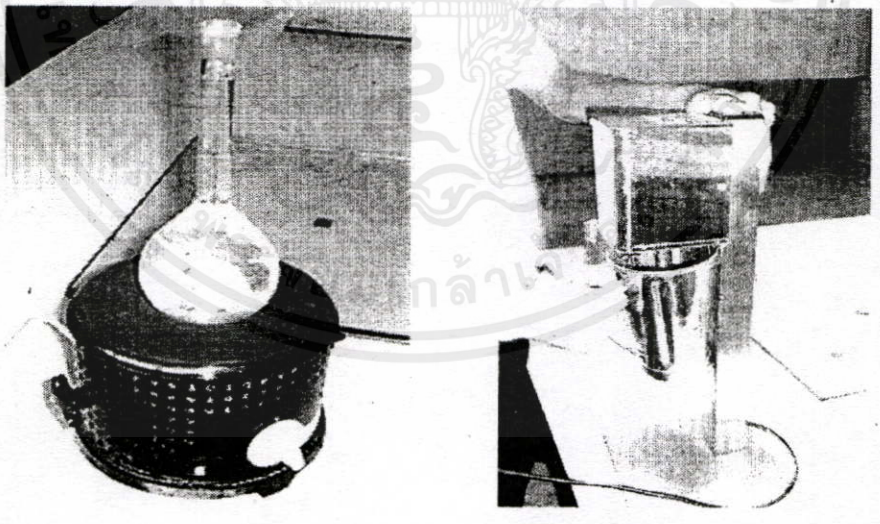
1.นำตัวอย่างดินที่แห้งประมาณ 50 กรัม ไปใส่น้ำกลั่นแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นดิน ประมาณ 10 นาที

2.เทส่วนผสมของดินและน้ำลงในขวด Pycnometer ถึงประมาณ3/4 ของคอขวด โดยใช้กรวยก้านยาว และใช้กระบอกฉีดน้ำกลั่นล้างดินที่ติดอยู่ให้หมด

3.ไล่ฟองอากาศเช่นเดียวกับวิธีสอบเทียบขวดแก้วด้วยการต้มให้เดือดบน Hot Plate หรือแช่ลงในหม้อต้มน้ำที่เดือดประมาณ 10 นาที แล้วนำขวดแก้วออกมาปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง (ข้างคืนเพื่อให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ) หรือ แช่ลงในอ่างน้ำเย็น

4.หลังจากนั้นปรับระดับน้ำดินให้เท่ากับขีดบอกปริมาตร 250 หรือ 500 cm วัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด (ตรวจสอบให้อุณหภูมิเท่ากันทุกระดับ) เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม (ได้ค่า WBWS ณ อุณหภูมิห้อง)

5.เทแล้วล้างส่วนผสมในขวด Pycnometer ลงในถามเพื่อนำไปอบให้แห้ง (อาจใช้เวลาประมาณ 30-48 ชม.) แล้วชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง WS



(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 (ก.) Pycnometer (แบบ Volumetric flask) ต้มน้ำไล่ฟองอากาศบน Hot Plate

(ข.) แสดงการปั่นดินในเครื่องปั่นดิน (Stirrer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำ

1.ข้อผิดพลาดที่ต้องระวัง ต้องกำจัด อากาศที่ค้างอยู่ภายในช่องว่างเม็ดดินและในน้ำ ซึ่งทำให้น้ำหนักดินที่อยู่น้อยกว่าความเป็นจริง ปริมาณของอากาศที่ปนอยู่จำทำให้น้ำหนักดินเบากว่าเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่าค่าความถ่วงจำเพาะที่คำนวณออกมาน้อย และการไล่ฟองอากาศนอกจากใช้วิธีการต้มแล้วยังอาจใช้ปั้มดูดอากาศ (Vacuum Pump) ก็ได้

2.การทดสอบถ้าลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วด้วยวิธีแช่ในอ่างน้ำเย็น อาจทำให้อุณหภูมิในขวดแก้วไม่สม่ำเสมอ และมีผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้ไม่ถูกต้อง วิธีที่ดีควรทิ้งขวดแก้วทดลองไว้ข้ามคืน เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำดินในขวดแก้วคงที่ในอุณหภูมิห้อง

3.ต้องชั่งน้ำหนักในเครื่องชั่งเดียวกัน เนื่องจากความผิดพลาดของเครื่องชั่ง

4.ขณะชั่ง อุณหภูมิก่อนที่จะเทน้ำดิน ออกจากขวดเป็นช่วงที่สำคัญ เพราะการวัดอุณหภูมิต้องให้อุณหภูมิในน้ำดินคงที่ทั้งหมดในขวด ถ้าไม่แล้วจะทำให้ได้น้ำหนักขวด + น้ำ ที่ได้จากการปรับแก้ค่าอุณหภูมิผิดพลาดได้ และต้องให้อยู่ภายในช่วงปรับแก้ค่าอุณหภูมิด้วย

5.ในการเลือกขนาดเม็ดดินต้องระวังให้ถูกขนาดที่จะนำไปใช้ เนื่องจากแม้จะเป็นดินชนิดเดียวกัน ค่าความถ่วงจำเพาะจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินด้วย ดินขนาดเม็ดใหญ่อาจจะมีรู โพรงอยู่ในเม็ดดินทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเม็ดดินที่ละเอียดกว่า ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น ถ้าจะนำค่าความถ่วงจำเพาะของดินไปใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ ควรจะทดลองกับเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เช่นเดียวกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ เป็นต้น

6.ในการไล่เราอาจไล่ฟองอากาศโดยวิธีใช้ Vacuum Pump ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การคำนวณผล

$$G_S = G_T \left[\frac{W_S}{W_{BW} + W_S - W_{BWS}} \right]$$

เมื่อ W_S = น้ำหนักดินแห้ง (ณ อุณหภูมิห้อง)

W_{BW} = น้ำหนักขวด + น้ำกลั่น (ถึงขีดระดับ 500 cm , ได้จากกราฟ ณ อุณหภูมิห้อง)

W_{BWS} = น้ำหนักขวด + ดิน + น้ำ (ถึงขีดระดับ 500 cm , ณ อุณหภูมิห้อง)

G_T = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิห้อง (หรือค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1)

G_S = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิห้อง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SPECIFIC GRAVITY TEST

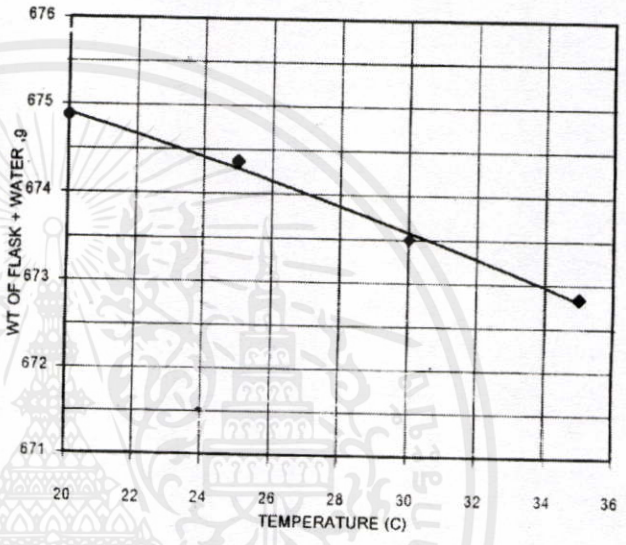
PROJECT GEO-TEST LOCATION CV BUILDING OWNER _____

TEST BY K.K.noon DATE JULY 24,1999 BORING NO. BH-1

PYCNOMETER CALIBRATION

NO.	FLASK + WATER (g)	TEMPERATURE (C)
1	672.84	35
2	673.5	30
3	674.36	25
4	674.88	20
5		
6		

REMARK: _____



SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION

SAMPLE NO.	ST01					
SAMPLE DEPTH (m)	2.00-2.50					
SOIL DESCRIPTION	DARK GRAY CLAY					
TRIAL NO.	1	2	1	2	1	2
1 TEMPERATURE .(C)	30	28				
2 FLASK + WATER .g	673.66	674.25				
3 FLASK + WATER + SOIL .g	705.86	706.5				
4 CONTAINER NO.	C1	C2				
5 DRY SOIL + CONTAINER .g	313.8	289.4				
6 WT. OF CONTAINER .g	263.5	238.5				
7 DRY SOIL (5)-(6) .g	50.3	50.9				
8 GT	0.9957	0.9963				
9 G.S. (7X8)/(2+7-3)	2.77	2.72				
AVERAGE G.S.	2.74					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SPECIFIC GRAVITY TEST

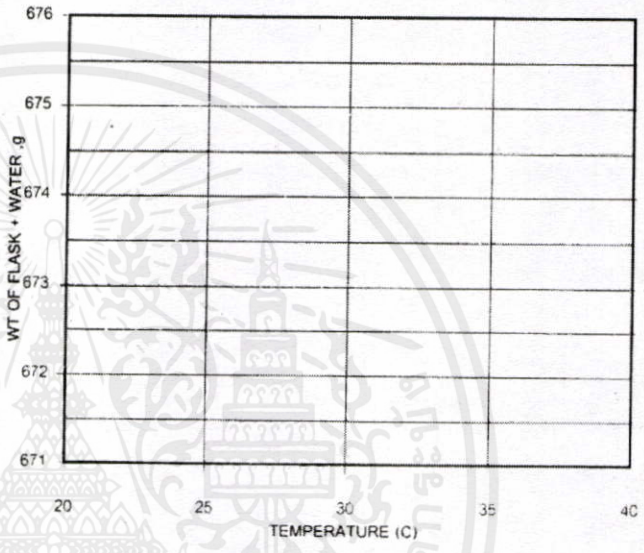
PROJECT _____ LOCATION _____ OWNER _____

TEST BY _____ DATE _____ BORING NO. _____

PYCNOMETER CALIBRATION

NO.	FLASK + WATER (g)	TEMPERATURE (C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

REMARK: _____



SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION

SAMPLE NO.						
SAMPLE DEPTH (m)						
SOIL DESCRIPTION						
TRIAL NO.	1	2	1	2	1	2
1 TEMPERATURE ,(C)						
2 FLASK + WATER ,g						
3 FLASK + WATER + SOIL ,g						
4 CONTAINER NO.						
5 DRY SOIL + CONTAINER ,g						
6 WT. OF CONTAINER ,g						
7 DRY SOIL (5)-(6) ,g						
8 GT						
9 G.S. (7X8)/(2+7-3)						
AVERAGE G.S.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIZE ANALYSIS)

2.5.1 อ้างอิง

ASTM D-422

2.5.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและความคละของเม็ดดิน
- เพื่อสร้างกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน(Grain Size Distribution)

2.5.3 ทฤษฎี

ในมวลดินอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ซึ่งขนาดของเม็ดดินนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของมวลดินอย่างมาก เช่น มีผลต่อค่าความซึมน้ำ (Permeability) อัตราการทรุดตัว (Rate of Settlement) และความสามารถในด้านกำลัง (Strength) ของมวลดิน เป็นต้น เพราะฉะนั้นเราจึงจะต้องทราบขนาดคละของเม็ดดินเพื่อให้เหมาะกับงานก่อสร้าง เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน มวลดินที่มีขนาดเม็ดหยาบอยู่มากจะทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย มวลดินที่มีขนาดเม็ดละเอียดอยู่มากดินจะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ง่ายเมื่อผสมน้ำและจะตกตะกอนช้ากว่าดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่า

การหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินทำได้หลายวิธี ตามความเหมาะสมของขนาดเม็ดดินและตามชนิดของดิน ดังนี้

1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) สำหรับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (0.075 ม.ม.)

2. วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 0.075 ม.ม.) เช่น เดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอน (Silty Clay)

สำหรับดินโดยทั่วไปจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sieve Analysis

เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงหยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ข้างบนตะแกรง แต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น เพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลมหรือลูกบาศก์ แต่จะเป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติ ส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การทดสอบด้วยวิธี ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วจะต้องนำผลจากทั้งสองวิธีมาเขียนกราฟกระจายขนาดเม็ดดินต่อไป

ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินเราจะวิเคราะห์จากขนาดของเม็ดดิน (Diameter) กับเปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า (Percent finer) ซึ่งเราจะนิยมนำค่าต่างๆมา plot กราฟมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางบันทึกผล เพราะจะเห็นลักษณะการกระจายตัวได้ทันทีจากลักษณะกราฟ ดังรูป 4.2

การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน

จากลักษณะของกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) จะบ่งบอกถึงปริมาณของขนาดของเม็ดดินว่ามีขนาดใดอยู่มาก มีขนาดใดอยู่น้อย เราสามารถวิเคราะห์ ขนาดของเม็ดดินจากกราฟโดยแบ่งชนิดของดินได้ดังนี้

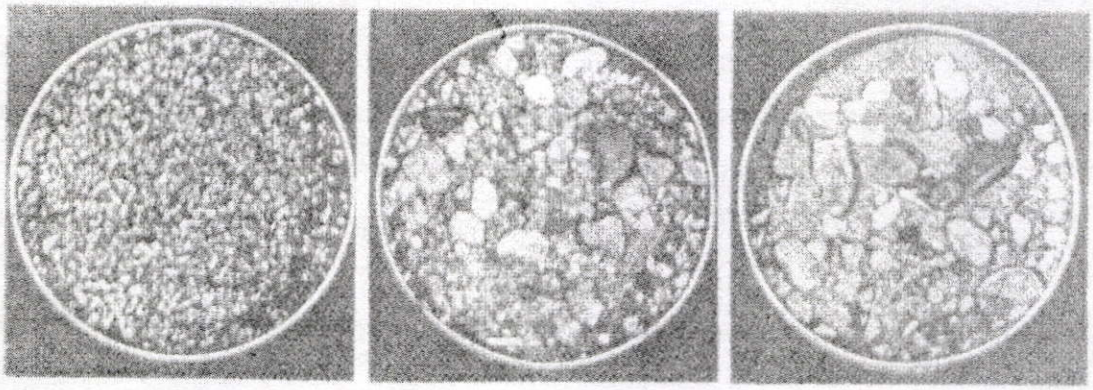
1.ดินที่มีเม็ดดินขนาดเดียว (Uniform graded soil) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดดินใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ โดยกราฟจะมีลักษณะชันดิ่ง ดังแสดงในกราฟ (a) ในรูปที่ 4.2 เราอาจเรียกดินที่มีลักษณะนี้ว่า narrow graded

2.ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well graded soil) คือดินที่มีขนาดเม็ดดินต่างๆ คละกันดี ลักษณะของ Curve จะโค้งทอดยาวตลอดสเกล ดังแสดงในกราฟ (b) ดินชนิดนี้จะมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อได้รับการบดอัดเพราะดินที่มีขนาดเล็กจะแทรกตัวในช่องว่างของดินที่มีขนาดใหญ่กว่า

3.ดินที่มีขนาดขาดช่วง (Gap graded soil) ลักษณะของ Curve จะมีบางช่วงซึ่งทอดตัวในแนวนอน ดังกราฟ (c) แสดงถึงดินที่มีเม็ดดินบางขนาดขาดหายไป

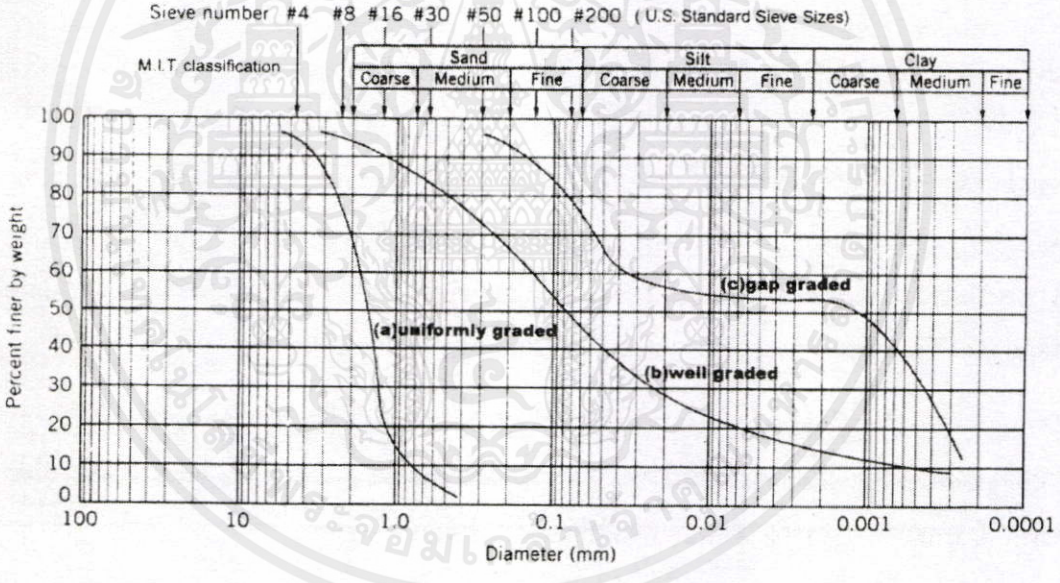
หมายเหตุ : บางทีเราจะเรียกรวมดินชนิด Uniform graded soil และ Gap graded soil ว่าเป็นดินชนิด Poorly graded soil ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่าง granular soils: (a) uniformly graded (b) well graded (c) gap graded

(Head Vol.1 ,1992)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการกระจายตัวเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curves)

จากรูปที่ 4.2 จะสังเกตเห็นว่าที่หัวของกราฟจะมีการแถวช่วงแสดงการจำแนกประเภทของดิน ซึ่งในรูปที่ 4.2 จะแบ่งประเภทดินว่าเป็น Sand, Silt และ Clay จากระบบการจำแนกของ M.I.T. แต่เราสามารถใช้มาตรฐานอื่นมาใช้จำแนกก็ได้แสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดตะแกรงตามมาตรฐานต่างๆ

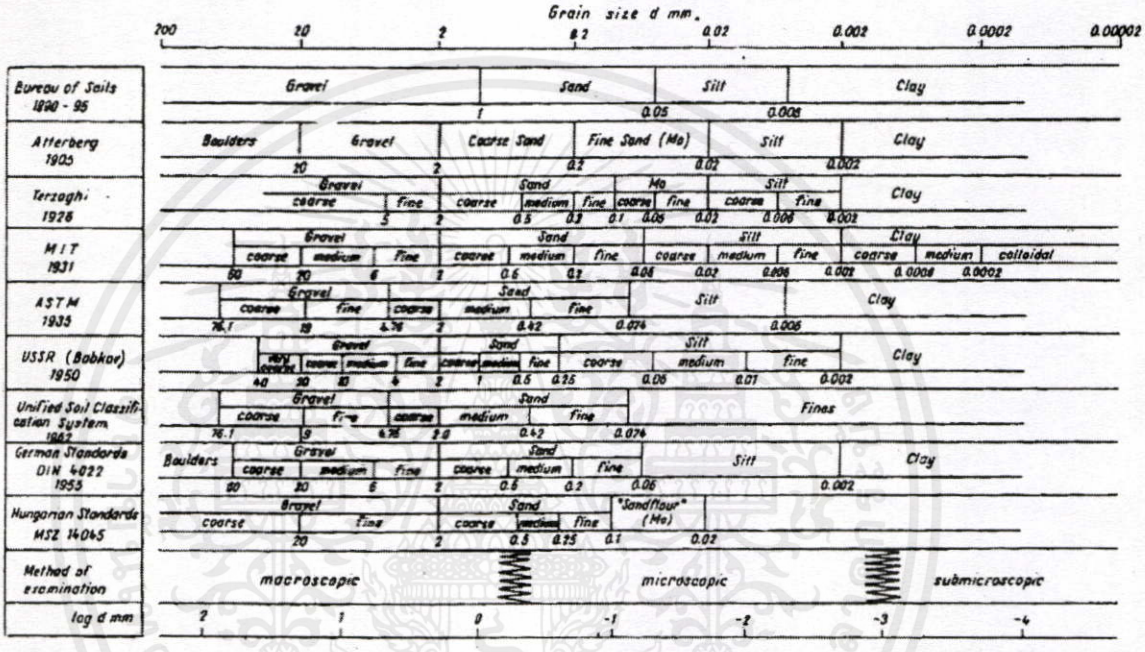
AMERICAN STANDARD (ASTM E-11, vol. 14.02)		BRITISH STANDARD (BS 410)		Tyler Standard			U.S. Bureau of Standards (U.S. Standard)		
Size or No.	Opening (mm)	Size or No.	Opening (mm)	No.	Opening (in)	Opening (mm)	No	Opening (in)	Opening (mm)
4"	100			...	3.0	76.2	...	4.00	101.6
3"	75.0	3"	75.0	...	2.0	50.8	...	2.00	50.8
2 1/2"	63.0	2 1/2"	63.0	...	1.050	26.67	...	1.00	25.4
2"	50.0	2"	50.0	...	0.742	18.85	...	0.750	19.1
1 3/4"	45.0			...	0.525	13.33	...	0.500	12.7
1 1/2"	37.5	1 1/2"	37.5	...	0.371	9.423	...	0.375	9.52
1 1/4"	31.5	...	28.0	3	0.263	6.680	3	0.250	6.35
1"	25.0			4	0.185	4.699	4	0.187	4.76
		...	20.0	6	0.131	3.327	6	0.132	3.36
3/4"	19.0			8	0.093	2.362	8	0.0937	2.38
5/8"	16.0			9	0.078	1.981	10	0.0787	2.00
		...	14.0	10	0.065	1.651	12	0.0661	1.68
1/2"	12.5			14	0.046	1.168	16	0.0469	1.19
3/8"	9.5	...	10.0	20	0.0328	0.833	20	0.0331	0.840
5/16"	8.0			28	0.0232	0.589	30	0.0232	0.590
1/4"	6.3	...	6.3	35	0.0164	0.417	40	0.0165	0.420
No.4	4.75	...	5.0	48	0.0116	0.295	50	0.0117	0.297
5	4.00	No.5	3.353	60	0.0097	0.246	60	0.0098	0.250
6	3.35	6	2.812	65	0.0082	0.208	70	0.0083	0.210
7	2.80	7	2.411	100	0.0058	0.147	100	0.0059	0.149
8	2.36	8	2.057	150	0.0041	0.104	140	0.0041	0.105
10	2.00	10	1.676	200	0.0029	0.074	200	0.0029	0.074
12	1.70	12	1.405	270	0.0021	0.053	270	0.0021	0.053
14	1.40	14	1.204	400	0.0015	0.038	400	0.0015	0.037
16	1.18	16	1.003						
18	1.0	18	0.853						
20	0.850	22	0.699						
25	0.710	25	0.599						
30	0.600	30	0.500						
35	0.500	36	0.422						
40	0.425	44	0.353						
45	0.355	52	0.295						
50	0.300	60	0.251						
60	0.250	72	0.211						
70	0.212	85	0.178						
80	0.180	100	0.152						
100	0.150	120	0.124						
120	0.125	150	0.104						
140	0.106	170	0.089						
170	0.090	200	0.076						
200	0.075	240	0.065						
230	0.063	300	0.053						
270	0.053								
325	0.045								
400	0.038								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดและลักษณะของตะแกรง

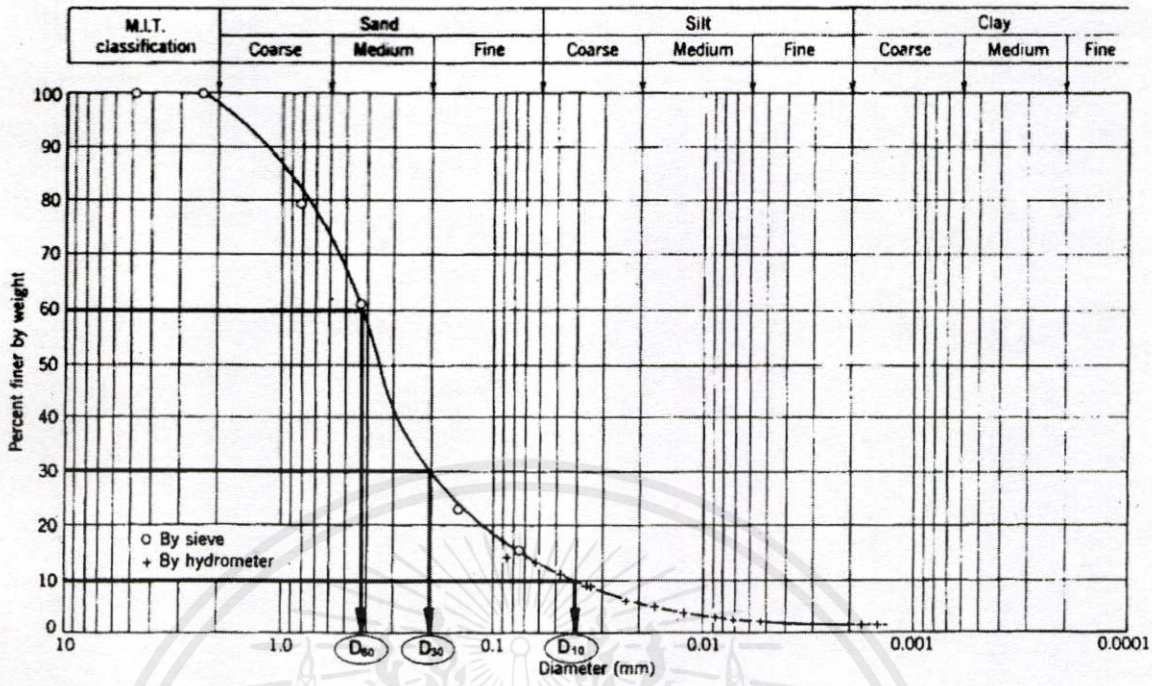
ตะแกรงที่มีขนาดเล็กกว่า ¼ นิ้ว (6.3 มม.) เราจะเรียกเป็นเบอร์โดยมรขนาดตั้งแต่เบอร์ 4 ถึงเบอร์ 400 แต่ในการทดสอบจะใช้ตะแกรงเบอร์ 200 เป็นตะแกรงเล็กที่สุดในการร่อนดิน

ความหมายเลขเบอร์ตะแกรง คือ จำนวนช่องตะแกรงต่อระยะ 1 นิ้ว ขนาดของช่องลอดและเบอร์ตะแกรงมีขนาดตามมาตรฐานต่างๆ ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 ตารางแสดงการแบ่งชนิดของดินโดยแบ่งจากขนาดเม็ดดินตามมาตรฐานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการหาค่า D60 D30 และ D10

เพื่อที่จะให้หลักการพิจารณาลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดินเป็นมาตรฐานนอกจากการพิจารณาจากกราฟแล้ว จึงได้กำหนดสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการกระจายของเม็ดดิน (ใช้เฉาะดินเม็ดหยาบ) ดังนี้

1)สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity)

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

พิจารณาจากช่วงของเส้นกราฟ ซึ่งจะแสดงถึงการกระจายตัวของเม็ดดินว่า มีขนาดคละกัน (Graded) หรือสม่ำเสมอ (Uniform)

2)สัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature)

$$C_C = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$$

พิจาณาจากความโค้งของเส้นกราฟ ซึ่งจะแสดงถึงขนาดคละกันว่า ดี(Well graded) หรือ ไม่ดี (Poorly Graded)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D60 D30 และ D10 เป็นขนาดของเม็ดดิน (ม.ม.) ที่เปอร์เซ็นต์ลอดผ่านตะแกรงที่ 10,30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของดินจากค่า Cu และ Cc

ชนิดของดิน	C_u	C_c
กรวดที่มีขนาดคละกันดี (Well Graded Gravel)	มากกว่า 4	1-3
ทรายที่มีขนาดคละกันดี (Well Graded Sand)	มากกว่า 6	1-3
ดินที่มีเม็ดดินขนาดสม่ำเสมอ (Poorly Graded)	C_u ประมาณ 1.0	

Hydrometer Analysis

วิธี Hydrometer Analysis เป็นวิธีการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เช่น ตะกอน ทราย หรือ ดินเหนียว เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมา Plot ในกราฟ Semi-log โดยเอาค่า Percent Finer กับค่า Grain Diameter มา Plot ต่อจากเส้น Curve ที่ได้จากวิธี Sieve Analysis ได้แล้วหากเป็นตัวอย่างเดินชนอดเดียวกัน

ค่าที่วิเคราะห์โดย Hydrometer Analysis ส่วนใหญ่จะนำไปหาค่า Percent Clay (Percent Finer Than 0.002 m.m.) เนื่องจากว่า Curve ที่แสดงการกระจายของเม็ดดินที่มากกว่า 12% มีขนาดเล็กกว่า No.200 จะไม่การใช้ในระบบการจำแนกดินเลย และไม่มีดินชนิดหนึ่งชนิดใดที่มีคุณลักษณะขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Curve คุณลักษณะของดินชนิด Cohesive soil จะขึ้นอยู่กับชนิดและเปอร์เซ็นต์ของ Clay Mineral, Geologic History และ Water Content มากกว่าการกระจายขนาดของเม็ดดิน

การทดลองทำโดยนำดินที่ต้องการหาขนาดมาละลายน้ำและผสมสารช่วยการกระจายตัว (Dispersing Agent) เพื่อไม่ให้เม็ดดินขนาดเล็กจับตัวกันเป็นเม็ดโตเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค (ปกติเม็ดดินจะติดกันเนื่องจากมีประจุไฟฟ้า ถ้าไม่บวกก็ลบ) ทำให้ไม่สามารถวัดขนาดที่แท้จริงได้ แล้วใส่ลงไปในหลอดแก้ว ให้เม็ดดินกระจายตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำ แล้วใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน คือวัดความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่ละลายแขวนลอยอยู่ในน้ำ ที่ความลึก H ในช่วงเวลาต่างๆ โดยอาศัยทฤษฎีของ G.G. Stokes(1850) (Stokes'law) ที่ว่าความเร็วในการตกตะกอนของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลวและขนาดของเม็ดดิน กล่าวคือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าดินเม็ดเล็ก ดังนั้น เมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอน ก็สามารถหาขนาดของตะกอน(เม็ดดิน)ได้ ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{D^2(\rho_s - \rho_w)}{18\mu}$$

หรือ $$D = \sqrt{\frac{18\mu}{\rho_s - \rho_w}}\sqrt{v} = \sqrt{\frac{18\mu}{\rho_s - \rho_w}}\sqrt{\frac{H}{t}}$$

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน ,cm

ρ_s= ความหนาแน่นของเม็ดดิน ,g/cm^3

ρ_w= ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ ,g/cm^3 (อ่านค่าจากตารางที่ 3.1)

μ = ความหนืด (Viscosity) ของน้ำ ,g-sec/ cm^2

v = อัตราเร็วการตกตะกอน ,cm/sec

อย่างไรก็ดีการทดลอง hydrometer นั้นอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องจากเม็ดดินที่ตกตะกอนอาจไม่เป็นเม็ดกลม บางทีมีลักษณะเหมือนใบไม้ทำให้ใช้เวลาตกตะกอนมาก

ตารางที่ 4.3 ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (หน่วยเป็น millipoises)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.49	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

1 dyne sec per sq cm = 1 poise

1 gram sec per sq cm = 980.7 poises

1 pound sec per sq ft = 478.69 poises

1 poise = 1000 millipoises

ตัวอย่าง

$\mu_{32°C}$= 7.67 millipoises

$\mu_{58°C}$= 4.99 millipoises

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแปลงหน่วยให้เหมาะสมในการคำนวณสำหรับการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ ได้คือ

$$D = 5.531 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{\mu(\text{millipoises})}{\rho_s - \rho_w(\text{g/cm}^3)}} \sqrt{\frac{H(\text{cm})}{t(\text{min})}} \qquad \text{——————(1)}$$

จากสมการในเรื่องการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ

$$G_S = G_T \left[\frac{W_S}{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิห้อง})}} \right] = G_T \left[\frac{W_S / V}{W_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิทดลอบ})} / V} \right] = G_T \frac{\rho_s}{\rho_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิทดลอบ})}}$$

$$\rho_s = \frac{G_S}{G_T} \rho_{w\,(\text{ที่อุณหภูมิทดลอบ})}$$ **เมื่อแทนค่าในสมการ (1) จะได้**

$$D = 5.531 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{\mu(\text{millipoises})}{(\frac{G_S}{G_T} - 1)\,\rho_w\,(\text{g/cm}^3)}} \sqrt{\frac{H(\text{cm})}{t(\text{min})}}$$

จากกฎการตกตะกอนของสโตรค (Stroke's Law) จะใช้ไฮโดรมิเตอร์สำหรับหาขนาดเม็ดดิน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลน (Specific Gravity of Suspension, 151H)และแบบอ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตรน้ำโคลน (Grams per Liter of Suspension, 152H) ไฮโดรมิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ควรเป็นชนิดที่มีสเกลอ่านค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.995 – 1.030 หรืออ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตรน้ำโคลนประมาณ 0-60กรัม/ลิตร (แต่ในบทนี้จะใช้ไฮโดรมิเตอร์อ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลนคือ 151H เป็นหลัก)

เราสามารถแปลงค่าจากการอ่านไฮโดรมิเตอร์ทั้ง 2 แบบจากสูตรการแปลง

$$r_2 = 1606(r_1 - 1)$$

หรือ

$$r_1 = \frac{r_2}{1606} + 1$$

เมื่อ :-

r_1 = ค่าอ่านไฮโดรมิเตอร์เบอร์ 151H (ค่าความถ่วงจำเพาะ)

r_2 = ค่าอ่านไฮโดรมิเตอร์เบอร์ 152H (กรัม/ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาขนาดเม็ดดิน(สำหรับ Hydrometer แบบ 151H และ 152H)

$$D = K\sqrt{\frac{H(cm)}{t(min)}} \quad ,mm \qquad \text{(4.1)}$$

เมื่อ H = ระยะตกตะกอน (ซ.ม.)

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

K = ค่าคงที่จากตารางที่ 4.4

หรืออาจคำนวณได้จากสมการ

$$K = 5.531 \times 10^{-3}\sqrt{\frac{\mu(millipoises)}{(\frac{G_s}{G_T}-1)\,\rho_w\,(g/cm^3)}}$$

เมื่อ G_s = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ได้จากการทดลองเรื่องการหาความถ่วงจำเพาะของดิน)

G_T = ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิที่อุณหภูมิทดสอบ (อ่านค่าจากตารางที่ 3.1)

ρ_w= ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ ,g/cm^3 (อ่านค่าจากตารางที่ 3.1)

μ = ความหนืด (Viscosity) ของน้ำ ,millipoises (อ่านจากตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า K สำหรับหาขนาดเม็ดดิน (Hydrometer 151H and 152H)

Temperature	Specific Gravity of Soil Particles								
(°C)	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.0121	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของไฮโดรมิเตอร์

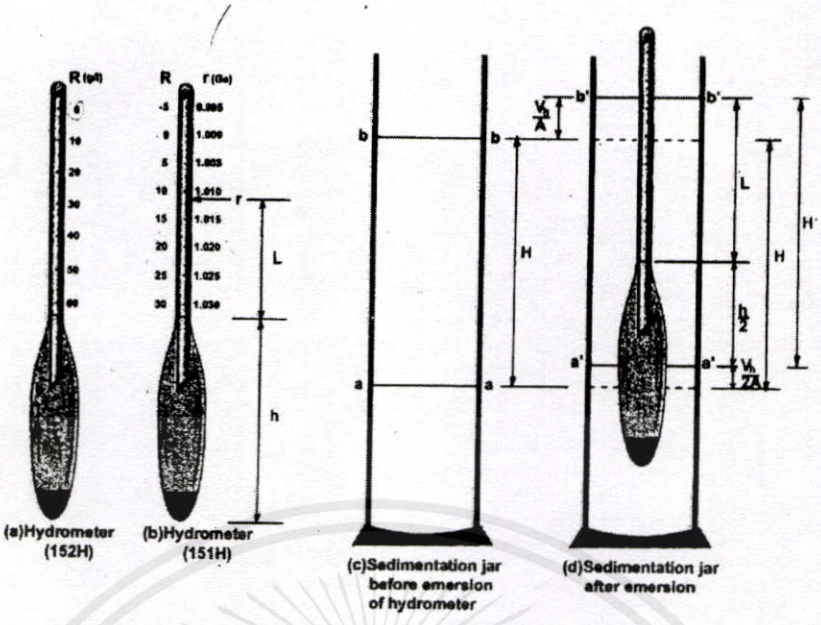
ไฮโดรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่บอกถึงความหนาแน่นของของเหลว (น้ำโคลน) บริเวณกลางกระเปาะในรูปของความถ่วงจำเพาะและน้ำหนักต่อปริมาตร คือหากไฮโดรมิเตอร์ลอยขึ้นสูงแสดงว่าความหนาแน่นของน้ำโคลนบริเวณกระเปาะของไฮโดรมิเตอร์มีค่าสูง (มีเม็ดดินต่อหน่วยปริมาตรมาก) และไฮโดรมิเตอร์จะจ่มลงในน้ำโคลนมากขึ้นหากความหนาแน่นของน้ำโคลนบริเวณกระเปาะมีค่าลดลง (มีเม็ดดินต่อหน่วยปริมาตรน้อยลง) ในการทดลองเมื่อเวลาผ่านไปไฮโดรมิเตอร์จะจมมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปดินมีการตกตะกอนมากขึ้น ความหนาแน่นของเม็ดดินจะมากขึ้นเมื่ออยู่ลึกจากผิดน้ำมากขึ้น

ความถ่วงจำเพาะที่อ่านได้จาก Hydrometer type 151H ไม่ใช่ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน แต่เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลนบริเวณกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ และค่าน้ำหนักต่อปริมาตร (กรัม/ลิตร) ที่อ่านได้จาก Hydrometer type 152H เป็นค่าหน่วยน้ำหนักน้ำโคลนต่อปริมาตรบริเวณกลางกระเปาะไฮโดรมิเตอร์

การสอบเทียบ (Calibration) ไฮโดรมิเตอร์

วัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง R และ H โดยแสดงออกมาในรูปกราฟ โดยเราจะทำการทดสอบเทียบ 2 ช่วงคือช่วง 0-2 นาทีแรกและช่วงที่นานกว่า 2 นาที เพราะในการทดลองเราจะทำการอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ 2 ช่วง คือช่วง 0-2 นาทีแรกและช่วงนานกว่า 2 นาที โดยในช่วง 0-2 นาทีแรกจะไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกน้ำโคลน แต่ช่วงนานกว่า 2 นาทีเราจะทำการยกไฮโดรมิเตอร์ออกเมื่อทำการอ่านค่าเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงผลกระทบของการจุ่ม Hydrometer (Chonlatee, 2001)

(ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่คิดผลของปริมาตรก้าน Hydrometer)

1.ช่วง 0 – 2 นาทีแรก

ซึ่งไม่มีการยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกตกตะกอนเมื่ออ่านค่าเสร็จ เนื่องจากในการทดลองช่วง 2 นาทีแรกจะมีการอ่านค่าถี่ เพราะฉะนั้นจะไม่สะดวกหากยก Hydrometer เข้า-ออกจากกระบอกตกตะกอน

เนื่องจากการแช่ Hydrometer ไว้ตลอดเพราะฉะนั้นระยะตกตะกอน H จะกลายเป็น H'

$$H' = L + h/2$$

- หาค่า H' โดยวางไฮโดรมิเตอร์ลงนอนเอาไม้บรรทัดวัดระยะจากจุดกึ่งกลางของกระเปาะไปยังค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ที่ก้าน 3 ค่า (เช่น 1.000, 1.010, 1.020)

- นำค่าที่วัดได้ H' มาพล็อตกับค่าที่อ่านบนไฮโดรมิเตอร์ R=1000(r-1) ต่อจุดด้วยเส้นตรง ได้กราฟ A

สำหรับค่าอ่านจาก 0-2 นาที ดังแสดงในรูป 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ช่วงที่นานกว่า 2 นาที

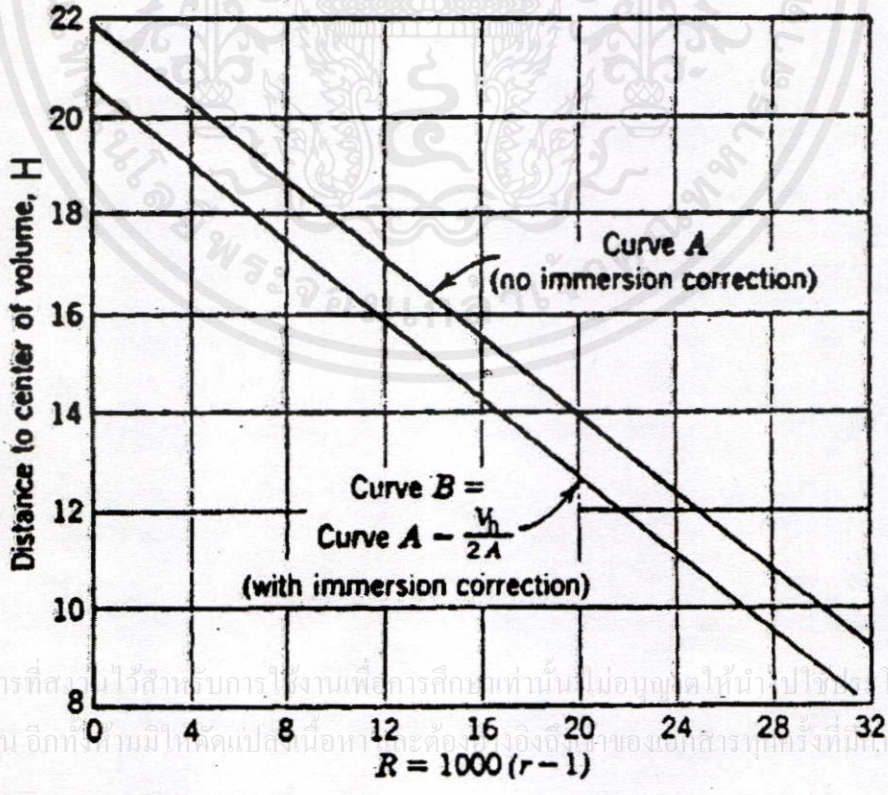
ในช่วงนี้ในการทดลองหลังจากอ่านค่าเสร็จจะยกไฮโดรมิเตอร์ออก เมื่อเราจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำโคลนปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์ที่จุ่มลงไปในขณะอ่านจะทำให้ตำแหน่งเม็ดดินเคลื่อนตัวขึ้น สังเกตรูปที่ 4.5 ตอนเรายังไม่จุ่ม ไฮโดรมิเตอร์ระดับน้ำโคลนจะอยู่ที่ระดับ a-a แต่เมื่อเราจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงไปจะทำให้ระดับน้ำโคลนขึ้นมาที่ระดับ a'-a' ซึ่งเคลื่อนตัวขึ้นเท่ากับ Vh/2A และที่ระดับผิวน้ำ b-b จะเคลื่อนสูงขึ้นเป็นระยะ Vh/A อยู่ที่ระดับ b'-b' H ที่เราต้องการคือช่วงก่อนจุ่มไฮโดรมิเตอร์ซึ่งเท่ากับ

$$H = [\, L + h/2 + Vh/2A \,] - Vh/A = [\, L + h/2 \,] - Vh/2A$$

เมื่อ Vh = ปริมาตรของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ , cm

A = พื้นที่หน้าตัดกระบอกตกตะกอน , cm

จากสมการทำการพล็อตกราฟ B สำหรับค่าอ่านในช่วงนานกว่า 2 นาที โดยลบกราฟ A ในแกน H ด้วย Vh/2A



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ H (LAMBE, 1951)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: กราฟที่ได้จะมีประโยชน์คือเราจะต้องหาระยะตกตะกอนจากผิวน้ำถึงบริเวณกลางกระเปาะ Hydrometer เพื่อนำไปแทนค่าในสูตร (4.1) เพื่อหาค่าขนาดเม็ดดิน แทนที่เราจะวัดระยะจากผิวน้ำจากค่า R ที่อ่านบนก้าน Hydrometer ถึงกลางกระเปาะทุกครั้งของการอ่าน เราก็อ่านจากกราฟ Calibration ได้เลย

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer) ของเม็ดดิน

พิสูจน์: พิจารณาน้ำโคลนปริมาตร 1 cc, ให้ Ms = มวลเนื้อดินในน้ำโคลน 1 cc, นี้

จาก Gs = Ms/Mw หรือ Mw = Ms/Gs

เพราะฉะนั้นมวลน้ำในปริมาตร 1 cc, นี้ = 1-Ms/Gs

เพราะฉะนั้นมวลน้ำโคลน(น้ำ + เนื้อดิน) ในปริมาตร 1 cc, = Ms + [1 – Ms/Gs]

= 1 + Ms – Ms/Gs

= 1 + Ms[(Gs-1)/Gs]

$$= 1 + M_s\left[\frac{G_s-1}{G_s}\right]$$

ดังนั้นความหนาแน่นของน้ำโคลน (มวลต่อหน่วยปริมาตร) $\rho = 1 + M_s\left[\frac{G_s-1}{G_s}\right]$ _____(1)

และค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนโดยการวัดจาก hydrometer $\rho = \left[1 + \frac{R}{1000}\right]$ _____(2)

จาก (1) = (2) จะได้

$$\left[1 + \frac{R}{1000}\right] = 1 + M_s\left[\frac{G_s-1}{G_s}\right]$$

หรือ

$$M_s = \frac{R}{1000}\left[\frac{G_s}{G_s-1}\right] \quad \text{_____(3)}$$

เมื่อเวลาผ่านไป t เม็ดดินที่ตกตะกอนลงมาอยู่ที่ระดับ H จะมีขนาด D ดังสมการที่ (4.1) เหนือระดับ H ขึ้นไปจะมีเฉพาะดินที่มีขนาดเล็กกว่า เพราะดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าได้ตกตะกอนลง

มาหมดแล้ว และเมื่อเวลาผ่านไป t ความหนาแน่นของมวลดินที่มีขนาดเล็กกว่า D ที่ระดับความลึก H จะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งมวลดินที่มีขนาดเล็กกว่า D ต่อหน่วยปริมาตร ที่ความลึก H ก็คือ Ms นั่นเอง

พิจารณารูปที่ 4.7 เริ่มแรกที่เขย่าตัวอย่างดินเสร็จและตั้งให้ตกตะกอน ดินจะมีมวลทั้งหมดเท่ากับ Ws เมื่อเวลาผ่านไป t ความหนาแน่นของเม็ดดินที่อยู่เหนือระดับ H (ขนาดเล็กกว่า D) คือเหนือบริเวณกลางกระเปาะ Hydrometer จะมีความหนาแน่นดิน Ms

เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์ของมวลดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า D หาได้จาก

$$F = \frac{M_{s2}}{W_s} \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อคิดเป็นมวลต่อหน่วยปริมาตรจะได้

$$F = \frac{\text{มวลของเม็ดดินต่อปริมาตร 1 cc. ที่ความลึก H ที่เวลา t}}{\text{มวลของเม็ดดินต่อปริมาตร 1 cc. ของส่วนผสมเริ่มต้น}} \times 100 \quad (\%)$$

$$= \left[\frac{M_s}{W_s / V} \right] \times 100$$

เมื่อ Ws = มวลดินที่นำมาทดสอบ hydrometer

V = ปริมาตรของน้ำโคลน

หมายเหตุ: จากรูปที่ 4.7 คิดต่อหน่วยปริมาตร Ms2/V2 = Ms/1 = Ms เมื่อแทนค่า Ms จาก (3) จะได้

$$F = \frac{R}{1000} \left[\frac{G_s}{G_s - 1} \right] \frac{1}{W_s / V} \times 100$$

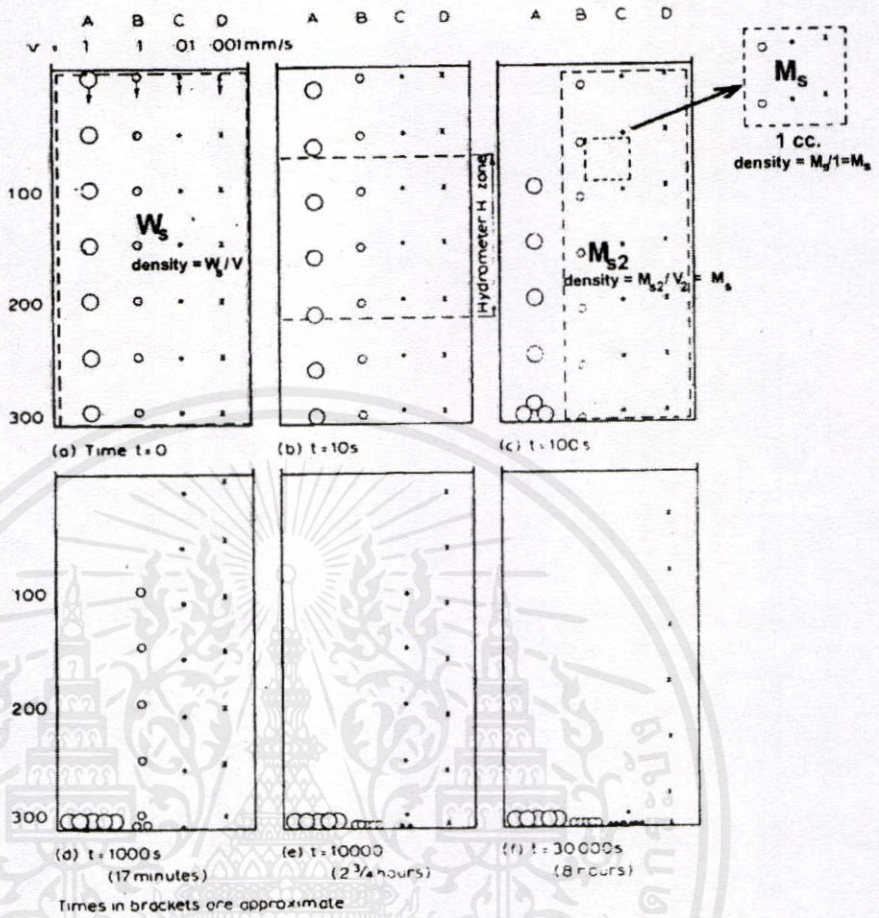
$$F = \frac{V}{1000} \left[\frac{G_s}{G_s - 1} \right] \frac{R}{W_s} \times 100$$

เมื่อปริมาตรของน้ำโคลนทดสอบ = 1000 cm^3

เพราะฉะนั้นจะได้ $F = \left[\frac{G_s}{G_s - 1} \right] \frac{R}{W_s} \times 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงกระบวนการตกตะกอนของน้ำโคลน (Edit from Head Vol.1, 1992)



การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer) ของเม็ดดิน (151H)

$$\%F = [(Gs/Gs-1)(Rc/Ws)] \times 100\ \% \qquad \text{---------- (4.2)}$$

เมื่อ Gs = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(ได้จากการทดลองเรื่องการหาความถ่วงจำเพาะของดิน)

Ws = น้ำหนักดินแห้ง,g

Rc = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer) ของเม็ดดิน (152H)

$$\%F = (Rc\ a/\ Ws) \times 100\ \% \qquad \text{---------- (4.3)}$$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Correction Factor ,a สำหรับดินที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ (แทนในสูตร Hydrometer 152H)

Specific gravity	Correction Factor
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ผ่านรวม

ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่าน (%F) เป็นเพียงค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านเฉพาะการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ เท่านั้น ในกรณีที่นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ จะต้องหาเปอร์เซ็นต์ผ่านต่อส่วนของตัวอย่างดินทั้งหมดด้วย (รวมการวิเคราะห์ Sieve ด้วย)

%F' = %F x สัดส่วนดินผ่านเบอร์ 200 ของตัวอย่างดินทั้งหมด

= %F x F200

เมื่อ %F' = เปอร์เซ็นต์ผ่านรวมของตัวอย่างดินทั้งหมด

%F = เปอร์เซ็นต์ผ่านของดินเฉพาะการวิเคราะห์Hydrometer

%F200 = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์200 (0-100), F200 (0.00-1.00)

เมื่อนำค่า %F' และ D ไปเขียนจุดรวมกับผลการวิเคราะห์ด้วย Sieve จะได้โค้งที่ต่อกันประมาณบริเวณตะแกรงเบอร์ 200

การปรับแก้ค่า R ที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์

ปกติแล้วผู้ผลิต Hydrometer จะทำการสอบเทียบ (Calibrate) Hydrometer ที่อุณหภูมิ 20°C น้ำมี Gs = 1 และดินนั้นมี Gs = 2.65 แต่ในการทดลองจริงมีการเติมสารละลายเพื่อช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว อุณหภูมิที่ทดสอบเปลี่ยนไปจาก 20 °C และ Gs ของดินก็ไม่เท่ากับ 2.65 เพราะฉะนั้นค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer นั้นจะไม่ใช่ค่าที่แท้จริง ทำให้เราต้องมีการปรับแก้ก่อนนำไปใช้

โดยทั่วไปเราจะมีตัวแปรที่เราจะต้องทำการปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ 3 อย่าง ด้วยกันคือ

1. Meniscus correction (Cm) เนื่องจากส่วนผสมขุ่น(น้ำโคลน)ทำให้ยากในการที่จะอ่านค่าได้ที่ระดับท้องน้ำ ในการทดลองเราจึงอ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์ที่ผิดโค้งบนของน้ำแทน

ตัวอย่างการหาค่า Cm (151H)

พิจารณาจากรูป 4.8 Cm = (B-A) x 1000

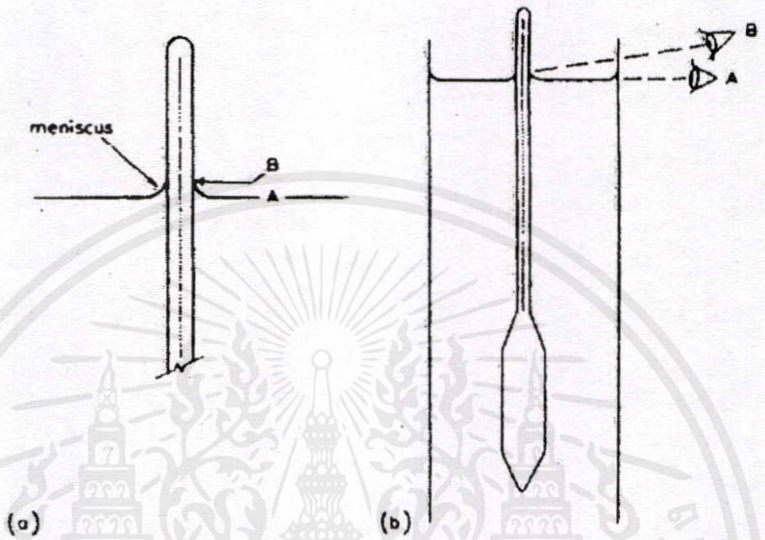
สมมุติอ่านค่าได้ A = 0.9985, B = 0.9990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(B-A) = 0.0005

Cm = +0.5

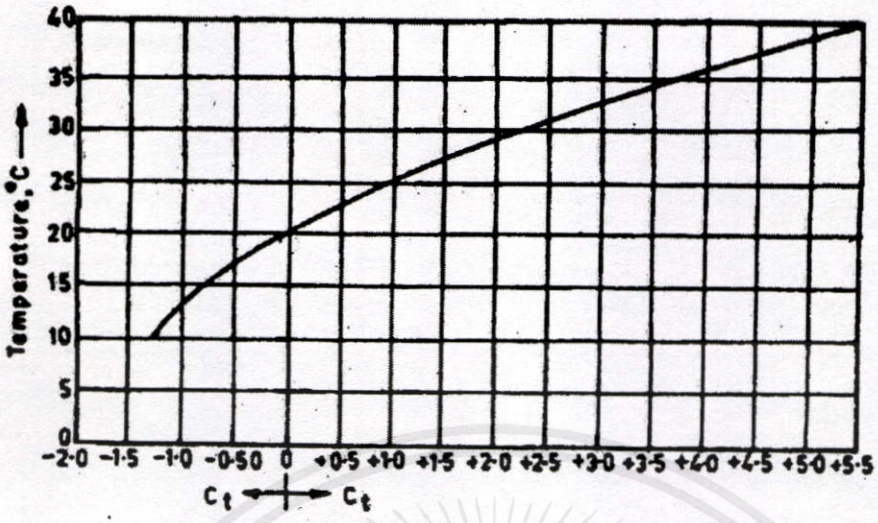
(ปกติค่าแก้โค้งผิวน้ำ Cm จะมีค่าประมาณ 0.5 หลังจากคูณ 1000 แล้ว)



รูปที่ 4.8 แสดงการอ่านค่าบนก้าน Hydrometer (Head Vol.1, 1992)

2.Temparature Correction(Ct)เนื่องจากในตอน Calibrate ไฮโดรมิเตอร์จากผู้ผลิตจะทำการ Calibrate ที่อุณหภูมิ 20°C แต่ในการทดลองเราทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องดั้งนั้นเราจึงต้องทำการปรับแก้ค่าเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ โดยอ่านค่าจากกราฟในรูป 4.9 หากอุณหภูมิช่วงที่เราอ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์(ในตอนทำการทดลอง)สูงกว่า 20 °C ค่า Ct จะมีค่าบวก หากอุณหภูมิน้อยกว่า 20 °C Ct จะมีค่าลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงค่าปรับแก้เนื่องจากผลของอุณหภูมิสำหรับ Hydrometer ที่ Calibrated ที่ 20 °C (S.K.GARG, 1998)

3. Disperison agent correction (Cd) เนื่องจากในความต้องการจริงๆ ในการทดลองแล้วเราจะนำไฮโดรมิเตอร์จุ่มและอ่านค่าในน้ำโคลนธรรมดา แต่ผลจากประจุไฟฟ้าทำให้อนุภาคเม็ดดินขนาดเล็กจับตัวกันเป็นก้อน ในการทดลองเราจึงทำการผสมสารซึ่งช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว (Dispersing agent) ซึ่งเมื่อเราเติม Dispersing agent ลงไปจะมีผลทำให้ของเหลวมีความหนาแน่นมากขึ้นเพราะฉะนั้นค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ที่จุ่มลงในน้ำโคลน+ Dispersing agent จะมีค่ามากกว่าค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ที่จุ่มลงในน้ำโคลนธรรมดา (Hydrometer ลอยสูงขึ้น) เพราะฉะนั้นเราจะต้องหาค่าปรับแก้ผลกระทบของ Dispersing agent (Cd) ก่อนหรือหลังการทดสอบ

วิธีการหา Cd

- เตรียมกระบอกวัดอัตราการตกตะกอน 2 กระบอก กระบอกหนึ่งใส่น้ำกลั่น 1000 c.c. อีกกระบอกนำ Dispersing agent ผสมกับน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณ Dispersing agent เท่ากับปริมาณที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นเติมน้ำให้มีปริมาตร 1000 c.c.

- นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกน้ำเปล่า อ่านค่าสเกลไฮโดรมิเตอร์ที่ผิวโค้งบนของน้ำ (D) หลังจากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกผสม Dispersing agent อ่านค่าสเกลที่ระดับผิดโค้งบนของน้ำ (E)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าปรับแก้เนื่องจากผลกระทบของสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent correction, Cd) จะเท่ากับผลต่างของการอ่านค่าทั้งสอง คือเท่ากับ (E-D)x1000 (151H) หรือเท่ากับ (E-D) (152H)

ค่าอ่านไฮโดรมิเตอร์หลังการปรับแก้ค่าแล้ว, Rc หาได้จากสมการ

$$R_c = R + C_m \pm C_t - C_d$$

เมื่อ $R = 1000(r-1) =$ -5 ถึง 30 สำหรับ 151H

$R =$ 0-60 สำหรับ 152H

$r =$ ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลน (อ่านที่ระดับโค้งบนผิวน้ำ) . ,(0.995 ถึง 1.030)

$C_m =$ Meniscus Correction (ผลกระทบจากระยะโค้งของผิวน้ำ)

$C_t =$ Temperature Correction (ผลกระทบจากอุณหภูมิ)

$C_d =$ Disperison agent correction (ผลกระทบจากการเติมสารช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว)

2.5.4 อุปกรณ์

Sieve Analysis

1. ถาดใส่ตัวอย่างดิน (Mixing Pan)

2. ตะแกรงร่อน (Sieve)

3. เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน (Sieve Shaker)

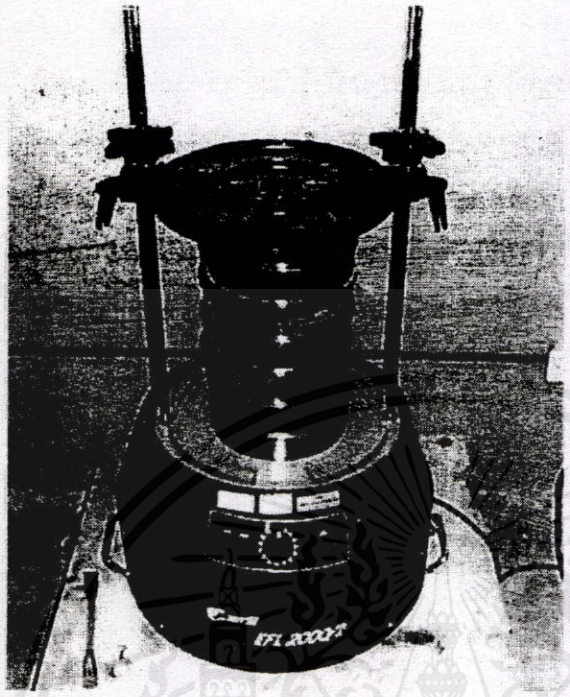
4. เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม

5. กล่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)

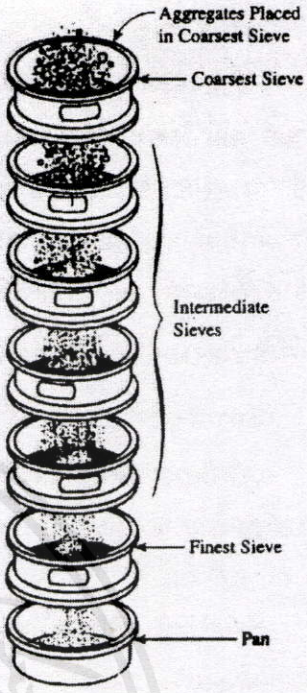
6. แปลงทำความสะอาดตะแกรง (แปลงลวดสำหรับตะแกรงหยาบและแปลงขนสำหรับตะแกรงละเอียด)

7. ค้อนยาง มือดักดิน (Soil Scoop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 (ก) **เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน** (Sieve Shaker)

(ข) **แสดงการร่อนผ่านของดินตามขนาดเม็ดดิน**(Cheng Liu,Jack B. Evett ,1998)

Hydrometer Analysis

1. Hydrometer ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ (ASTM 151H) ได้ประมาณ 0.995-1.030 หรือชนิดอ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตร (ASTM 152H) ได้ประมาณ 0-60 กรัม/ลิตร
2. เครื่องปั่นดิน (Stirrer)
3. ผงช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว(Dispersing agent) โดยใช้ Sodium Hexa-Metaphosphate
4. กระบอกไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer Jar) หรือกระบอกตวง (Measuring Cylinder) ขนาด 1000 cm^3 2ใบ
5. เทอร์โมมิเตอร์ 0-50 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด 0.1-0.5 องศาเซลเซียส
6. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.น้ำกลั่น (Distilled water)

8.ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน ภาชนะผสมดินและมีดผสมดิน

9.เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม ตู้อบ อ่างแก้วดูดความชื้น

2.5.5 วิธีการทดลอง

Sieve Analysis

ก) การเตรียมตัวอย่างดิน

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

ขนาดเม็ดดินใหญ่สุด, นิ้ว	3/8	3/4	1	1 1/2	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย,กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

พิจารณาตารางที่ 4.6 แล้วนำตัวอย่างดินแห้งมาตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดดินใหญ่สุด ถ้าเม็ดดินเกาะกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบเม็ดดินให้แยกออกจากกัน นอกจากนี้เราต้องคัดตัวอย่างดินมาเป็นตัวแทนที่เป็นธรรมชาติที่สุด ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) กองวัสดุที่จะแยกบนผืนผ้าใบบนพื้นเรียบ เกลี่ยวัสดุให้กระจายออกจากกัน ใช้มือ หรือพลั่วขีดร่องแบ่งพัสดุ หรือใช้กล่องแบ่งตัวอย่างดิน

ข) ขั้นตอนการทดสอบ

1.ทำการเลือกตะแกรงจากใหญ่ไปหาตะแกรงขนาดเล็กลงไปประมาณครึ่งเท่า ซึ่งอาจจะเป็นตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 เบอร์ 200 และถาดรับ – ฝาปิดตามลำดับ

2.ใช้แปรงลวดทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบ และตะแกรงขนาดละเอียดด้วยแปลงขนอ่อน เพื่อป้องกันน้ำหนักผิดพลาด นำตะแกรงแต่ละอันชั่งน้ำหนักไว้

3.นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ มีขนาดพอเพียง ควรมีความแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบจะได้ไม่เปลี่ยนน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ใส่ตัวอย่างดินลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด ปิดฝาด้านบน และรองด้วยถาด (PAN) ด้านล่าง แล้วใช้เครื่องเขย่า (Sieve Shaker) ประมาณ 10 นาที

5.แยกตะแกรงแต่ละอันออกมาจากเครื่องเขย่าแล้วทำการชั่งจะเป็นน้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

6.เพราะฉะนั้นจะได้น้ำหนักของดินที่ข้างแต่ละตะแกรง โดยนำ (น.น.ตะแกรง + น.น.ดินที่ค้าง)- น.น.ตะแกรง

Hydrometer Analysis

การ Calibration เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และระยะ H

1.หาปริมาตรของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ Vh , cm^3 จากการแทนที่น้ำ โดยจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกใส่น้ำที่มีสเกลบอกปริมาตร ปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้นจะเป็นปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์

2.หาพื้นที่หน้าตัดกระบอกตะกอน ,cm^2 จากการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกแก้วและคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด

3.หากราฟ Calibration ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ประมาณ 3-4 ค่า

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารช่วยเม็ดเดินกระจายตัว (Dispersing Agent) ความเข้มข้น 4 % โดยนำผง Sodium Hexa-Metaphosphate มาละลายน้ำ โดยใช้อัตราส่วน 4 กรัม ละลายน้ำ 100 ลบ.ซม. ผสมไว้ประมาณ 150 ลบ.ซม. แล้วทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้ Sodium Hexa-Metaphosphate ละลายในน้ำจนเข้ากันได้ดี

2. นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัม ผสมเข้ากับ Dispersing Agent (4% Sodium Hexa Metaphosphate) 125 ลบ.ซม. ที่เตรียมไว้ แล้วเติมน้ำจนได้ส่วนผสมประมาณ 300-500 ลบ.ซม.

3. ใช้เครื่องปั่นไฟฟ้าปั่นส่วนผสมดินประมาณ 10 นาที ดังรูปที่ 4.11 แล้วเทลงในกระบอกสำหรับตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินออกจากเครื่องผสมให้หมดแล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตร 1000 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใส่น้ำกลั่นในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง เพื่อใช้ล้างน้ำโคลนที่อาจจะติดไฮโดรมิเตอร์มาหลังจากการวัด(โดยจับที่ก้านไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในน้ำแล้วหมุนไปมา) และแช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช่วัด

5 .ใช้จุกยางปิดปากกระบอกที่มีส่วนผสมดิน แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน ดังรูปที่ 4.12 จากนั้นวางลงแล้วเริ่มจับเวลาทันที

6. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำโคลนเพื่ออ่านค่า R 1/4 , 1/2 , 1 และ 2 นาที ตามลำดับ (15 วินาที , 30 วินาที , 1 นาที , และ 2 นาที) โดยไม่ต้องยกไฮโดรมิเตอร์ออกขณะอ่านค่าที่เวลาต่างๆ เมื่ออ่านค่าครบแล้วจึงยกไฮโดรมิเตอร์ออกและทำการวัดอุณหภูมิของน้ำโคลนด้วย

7. เขย่ากระบอกอีกครั้ง แล้ววัดค่า R ที่ 2, 5, 10, 20, ...นาที (เพิ่มระยะเวลาอ่านครั้งต่อไปประมาณ 2 เท่า) จนกระทั่งค่าที่อ่านได้คงที่โดยประมาณจึงหยุดการทดลอง โดยทุกครั้งที่อ่านค่า R ให้วัดอุณหภูมิของส่วนผสมน้ำโคลน แล้วบันทึกค่าไว้ หลังจากเสร็จการวัดค่าแต่ละครั้งให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้ และปิดปากกระบอกน้ำโคลนด้วยจุกยาง (โดยปกติเหนียวที่มีขนาดเม็ดดินละเอียดมากจะใช้เวลาในการอ่าน 3-5 วัน)

หลังจากทดลองเสร็จสิ้นแล้วให้เขย่ากระบอก เทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะโดยต้องล้างดินที่ก้นกระบอกออกให้หมด แล้วนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้ง

รูปที่ 4.11 แสดงการปั่นดินในเครื่องปั่นดิน (Stirrer)

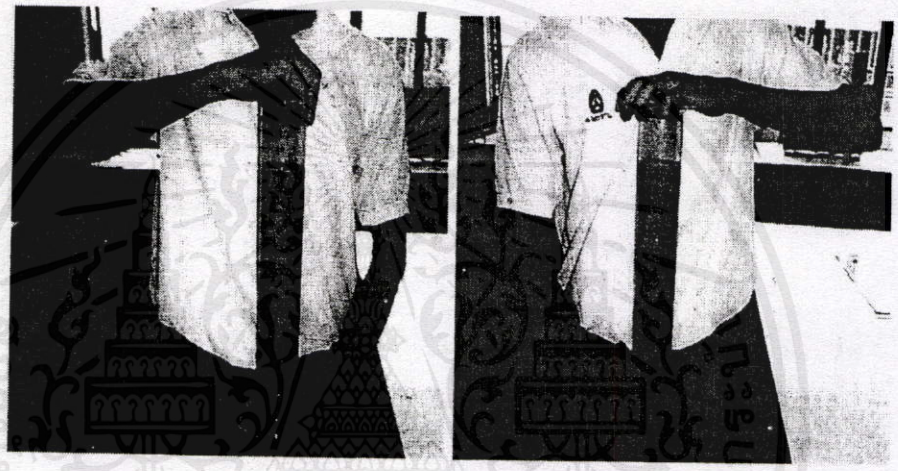
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

- เวลาอ่านค่าให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยในน้ำโคลนและในน้ำเปล่าอย่างอิสระโดยไม่ต้องจับก้านไฮโดรมิเตอร์ ทิ้งไว้สักระยะเพื่อให้อุณหภูมิของ Hydrometer ปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิของน้ำโคลนและให้ Hydrometer ลอยอยู่นิ่ง

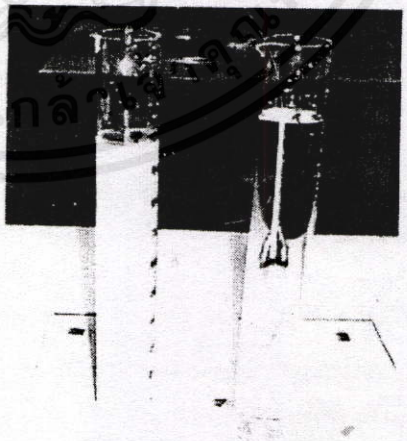
- หากใช้ Hydrometer 151H ให้อ่านค่า r แล้วไปแปลงเป็นค่า R จากสูตร R=1000 (r-1)

- หากใช้ Hydrometer 152H ให้อ่านค่า R บนก้าน Hydrometer ได้เลย



(ก) (ข)

รูปที่ 4.12 (ก) , (ข) แสดงการกลับหัวท้ายเพื่อเขย่ากระบอกน้ำโคลน



รูปที่ 4.13 แสดงการทิ้งให้เม็ดดินตกตะกอนในกระบอกและการแช่พักไว้ของ Hydrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 การคำนวณผลการทดสอบ

1. Sieve Analysis

1.1 เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง = (น้ำหนักดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรง/ น้ำหนักดินทั้งหมด) x 100

1.2. เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า

1.3. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง ,%Finer = 100-เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

2. Hydrometer Analysis

$$\textbf{2.1ขนาดของเม็ดดิน (D)} = K\sqrt{\frac{H(cm)}{t(min)}} \quad ,mm$$

สูตรนี้ใช้ได้ทั้ง hydrometer 151H และ 152H

เมื่อ H=ระยะตกตะกอน (ซ.ม.)

t =เวลาในการตกตะกอน (นาที)

K=ค่าคงที่จากตารางที่ 4.4

หมายเหตุ : H ได้จากกราฟ Calibration curve โดยอ่านค่า H ที่ Rc ต่างๆโดยช่วงที่อ่าน 0-2 นาที อ่านค่า H จากกราฟ A และช่วงที่นานกว่า 2 นาทีอ่านค่าจากกราฟ B โดยค่า Rc คือค่าอ่านไฮโดรมิเตอร์หลังการปรับแก้ค่าแล้ว t ได้จากการจับเวลาที่ ¼ , ½ , 1,2,5,10,20,...นาที

2.2 เปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer) ของเม็ดดิน

กรณีใช้ hydrometer 151H

$$\%F = \frac{G_s}{G_s\text{-}1}\frac{R_c}{W_s} \times 100\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Gs = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ได้จากการทดลองเรื่องการหาความถ่วงจำเพาะของดิน)

Ws= น้ำหนักดินแห้ง ,g

Rc = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

กรณีใช้ hydrometer 152H

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

เมื่อ Rc = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

a = Correction Factor (จากตารางที่ 4.5)

Ws = น้ำหนักดินแห้ง ,g

2.3 เปอร์เซ็นต์ผ่านรวม

%F' = %F x F200

เมื่อ %F' = เปอร์เซ็นต์ผ่านรวมของตัวอย่างดินทั้งหมด

%F = เปอร์เซ็นต์ผ่านของดินเฉพาะการวิเคราะห์ hydrometer

%F200 = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200(0-100) ,F200 (0.00-1.00)

3. จากกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve)

3.1 วิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน ขนาดคละและวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดดิน

3.2 หาสัมประสิทธิ์การกระจายของเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)**สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ** (Coefficient of Uniformity) $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

(ข)**สัมประสิทธิ์ความโค้ง** (Coefficient of Curvature) $C_C = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$

เมื่อ D10 , D30 และ D60 เป็นขนาดของเม็ดดิน (ม.ม.) ที่เปอร์เซ็นต์ลอดผ่านตะแกรงที่ 10,30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

หมายเหตุ

ในการหา Percent Finer (Hydrometer type 151H)

เราใช้สูตร $\%F = \frac{G_s}{G_s\text{-}1} \frac{R}{W_s} \times 100\ \%$ **ซึ่งมาจากการพิสูจน์โดยให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ** $1 g/cm^3$ **แต่หากเรา ให้ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิทดสอบเราจะได้**

$$\%F = \frac{G_s}{G_s\text{-}1} \frac{V}{W_s} \rho_w(r\text{-}r_w) \times 100\ \%$$

ρ_w= **ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ** ,g/cm^3 (อ่านค่าจากตารางที่ 3.1)

W_s= **น้ำหนักดินแห้ง** ,g

r,r_w= **ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนและในน้ำเปล่าตามลำดับ**

ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากไฮโดรมิเตอร์เราต้องอ่านที่ระดับท้องน้ำเสมอ แต่ในสมการข้างบนเราสามารถอ่านค่า r และ r_w ที่โค้งบนของน้ำได้ และไม่ต้องคิดผลกระทบจากอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่อเรานำค่า r และ r_w ไปแทนค่าในสมการแล้วค่าปรับแก้ต่างๆจะถูกหักลบกันหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SIEVE ANALYSIS

PROJECT GEO-TEST
OWNER _____

LOCATION CHONBUREE
BORING NO. BH-2

SOIL DESCRIPTION Coarse to FineSand with Clay
SAMPLE DEPTH 1.00-1.50 m.

TEST NO. SA-1
SAMPLE NO. ST01

TEST BY K.Chonlatee
DATE MAY 24,2001

Specific Gravity of Soil,Gs	2.68
Tray No.	T-1
Weight of Tray ,g	206.42
Weight of Tray + Dry Soil ,g	457.36
Weight of Dry Soil ,g	250.94
Sieves Standard	ASTM E-11

REMARK: _____

Sieve No.	Sieve Opening mm	Weight of Sieve g	Weight of Sieve + Soil ,g	Weight of Soil Retained ,g	Cumulative Retained ,g	Cumulative Retained ,%	Percent Finer ,%
3.8"	9.5	97.56	97.56	0	0	0	100
4	4.75	98	100.25	2.25	2.25	0.90	99.10
10	2	101.14	109.42	8.28	10.53	4.21	95.79
20	0.85	96.64	112.88	16.24	26.77	10.70	89.30
40	0.425	92.12	118.21	26.09	52.86	21.12	78.88
100	0.15	86.59	155	68.41	121.27	48.45	51.55
200	0.075	86.66	143.12	56.46	177.73	71.01	28.99
PAN		67.43	140	72.57	250.3	100.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

SIEVE ANALYSIS

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ BORING NO. _____

SOIL DESCRIPTION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

Specific Gravity of Soil,Gs	
Tray No.	
Weight of Tray .g	
Weight of Tray + Dry Soil .g	
Weight of Dry Soil .g	
Sieves Standard	

REMARK: _____

Sieve No.	Sieve Opening mm	Weight of Sieve g	Weight of Sieve + Soil .g	Weight of Soil Retained .g	Cumulative Retained .g	Cumulative Retained .%	Percent Finer .%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

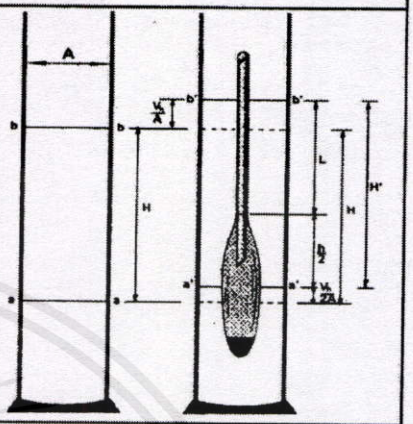
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

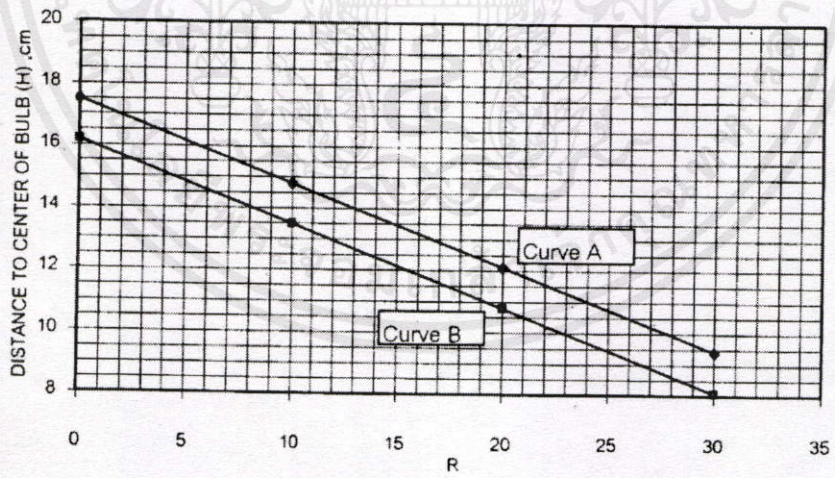
CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

HYDROMETER ANALYSIS (CALIBRATE)

Calibrated By	K.Chonlatee
Date:	MAY 24,2001
Hydrometer Type	151H
Hydrometer No.	3496
Sedimentation Jar Diameter ,cm	5.82
Sedimentation Jar Cross Section (A),cm^2	26.59
Initial Reading of Graduate(V1),cm^3	800
After Hydrometer Immersion Reading(V2) ,cm^3	870
Volume of Hydrometer (V_h=V2-V1) ,cm^3	70
$V_h/2A$,cm	1.32



Hydrometer Reading r for 151H R for 152H	Length From Tip to Hydrometer Reading (L+h) ,cm	Hydrometer Bulb Length (h) ,cm	R for 151 H R = 1000(r-1) for 152 H No Chang	Distance To Center of Bulb Curve A (First 2 min) H=H'=L+h/2 ,cm or = (L+h) - h/2	Distance To Center of Bulb Curve B (After 2 min) H=(L+h/2)-V_h/2A ,cm or = Curve A - V_h/2A
1.0000	24.5	14	0	17.5	16.18
1.010	21.8	14	10	14.8	13.48
1.020	19.1	14	20	12.1	10.78
1.03	16.4	14	30	9.4	8.08



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

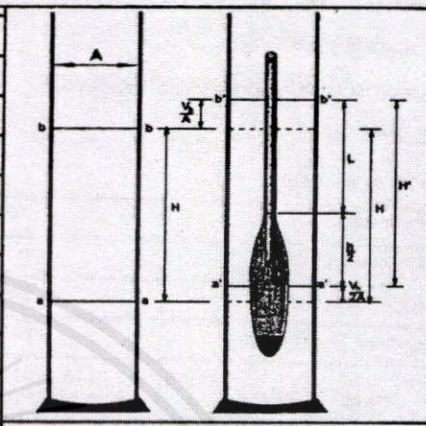
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

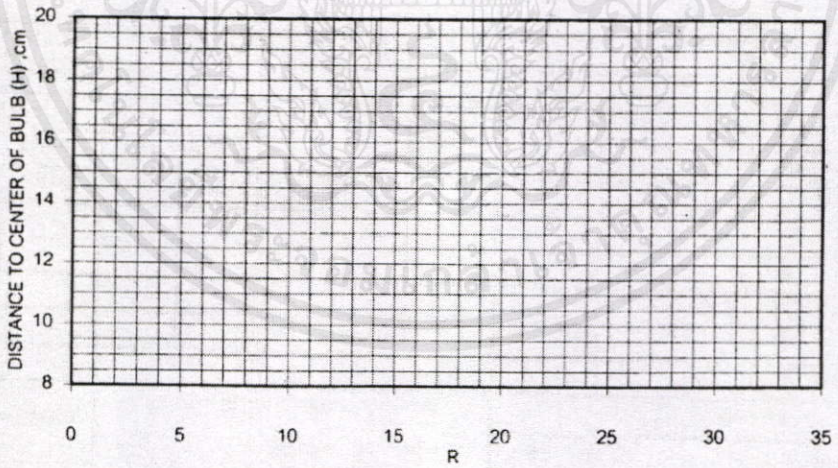
CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

HYDROMETER ANALYSIS (CALIBRATE)

Calibrated By	
Date:	
Hydrometer Type	
Hydrometer No.	
Sedimentation Jar Diameter ,cm	
Sedimentation Jar Cross Section (A),cm^2	
Initial Reading of Graduate(V1),cm^3	
After Hydrometer Immersion Reading(V2) ,cm^3	
Volume of Hydrometer (V_h=V2-V1) ,cm^3	
$V_h/2A$,cm	



Hydrometer Reading r for 151H R for 152H	Length From Tip to Hydrometer Reading (L+h) ,cm	Hydrometer Bulb Length (h) ,cm	R for 151 H R = 1000(r-1) for 152 H No Chang	Distance To Center of Bulb: Curve A (First 2 min) H=H'=L+h/2 ,cm or = (L+h) - h/2	Distance To Center of Bulb: Curve B (After 2 min) H=(L+h/2)-V_h/2A ,cm or = Curve A - V_h/2A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

HYDROMETER ANALYSIS

PROJECT GEO-TEST
LOCATION CHONBUREE
SOIL DESCRIPTION Coarse to FineSand with Clay
TEST NO. HA-1
TEST BY K.Chonlatee

OWNER _____
BORING NO. BH-2
SAMPLE DEPTH 1.00-1.50 m.
SAMPLE NO. ST01
DATE MAY 24,2001

Gs OF SOIL	2.68	CONTAINER NO.	C-1
HYDROMETER TYPE	151H	WEIGHT OF DRY SOIL+ CONTAINER,g	150.73
HYDROMETER NO.	3496	WEIGHT OF CONTAINER ,g	101.21
% FINER THAN NO.200	28.99	WEIGHT OF DRY SOIL ,g	49.52

DATE	TIME	ELAPSED TIME t,min	FOR 151H r	FOR 151H R=1000(r-1)	FOR 152H R	TEMP (C)	R_c	%F	H (cm)	K	D (mm)	%F'
MAY 24,2001	10.10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.25	1.0300	30	-	29	30.5	98.2528	9.2	0.01219	0.07395	28.4866
		0.5	1.024	24	-	29	24.5	78.9243	10.8	0.01219	0.05665	22.8827
		1	1.0195	19.5	-	29	20	64.428	12.1	0.01219	0.0424	18.6798
		2	1.0158	15.8	-	29	16.3	52.5088	13.2	0.01219	0.03132	15.224
	10:14	2	1.0157	15.7	-	29	16.2	52.1867	11.9	0.01219	0.02973	15.1306
	10:19	5	1.0120	12	-	29	12.5	40.2675	12.8	0.01219	0.0195	11.6748
	10:24	10	1.0102	10.2	-	29	10.7	34.469	13.5	0.01219	0.01416	9.99367
	10:34	20	1.009	9	-	29	9.5	30.6033	13.7	0.01219	0.01009	8.87288
	10:54	40	1.0082	8.2	-	29	8.7	28.0262	13.8	0.01219	0.00716	8.12569
	11:34	80	1.0073	7.3	-	29	7.8	25.1269	13.9	0.01219	0.00508	7.2851
	13:14	180	1.0068	6.8	-	29	7.3	23.5162	14.1	0.01219	0.00341	6.81811
	14:14	240	1.0066	6.6	-	29	7.1	22.872	14.2	0.01219	0.00297	6.63131
	17:14	420	1.0064	6.4	-	29	6.9	22.2277	14.3	0.01219	0.00225	6.44452
MAY 25,2001	9:44	1410	1.0063	6.3	-	29.5	6.8	21.9055	14.4	0.01206	0.00122	6.35112
MAY 30,2001	6:32	9858	1.0062	6.2	-	29.5	6.7	21.5834	14.4	0.01206	0.00046	6.25772

$R_c = R + C_m + - C_t - C_d$

Meniscus Correction (C_m)	0.5
Temperature Correction (C_t)	neglect
Disperison agent correction (C_m)	neglect

%F' = %F x F200
F200 = 0.2899

151H OR 152 H

$$D = K\sqrt{\frac{H}{t}}$$

151H $$\%F = \frac{G_s}{G_s - 1}\frac{R_c}{100}x$$

152H $$\%F = \frac{R_c a}{W_s}x100$$

Note: H read from Calibration Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

HYDROMETER ANALYSIS

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ BORING NO. _____

SOIL DESCRIPTION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

Gs OF SOIL		CONTAINER NO.	
HYDROMETER TYPE		WEIGHT OF DRY SOIL+ CONTAINER,g	
HYDROMETER NO.		WEIGHT OF CONTAINER ,g	
% FINER THAN NO.200		WEIGHT OF DRY SOIL ,g	

DATE	TIME	ELAPSED TIME t,min	FOR 151H R=1000(r-1)	FOR 152H R	TEMP (C)	R_c	%F	H (cm)	K	D (mm)	%F'

$R_c = R + C_m + - C_t - C_d$

Meniscus Correction (C_m)	
Temperature Correction (C_t)	
Dispersion agent correction (C_m)	

%F' = %F x F200

F200 = _____

151H OR 152 H

$D = K\sqrt{\frac{H}{t}}$

Note: H read from Calibration Curve

151H $\%F = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{R_c}{W_s} \times 100$

152H $\%F = \frac{R_c a}{W_s} \times 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

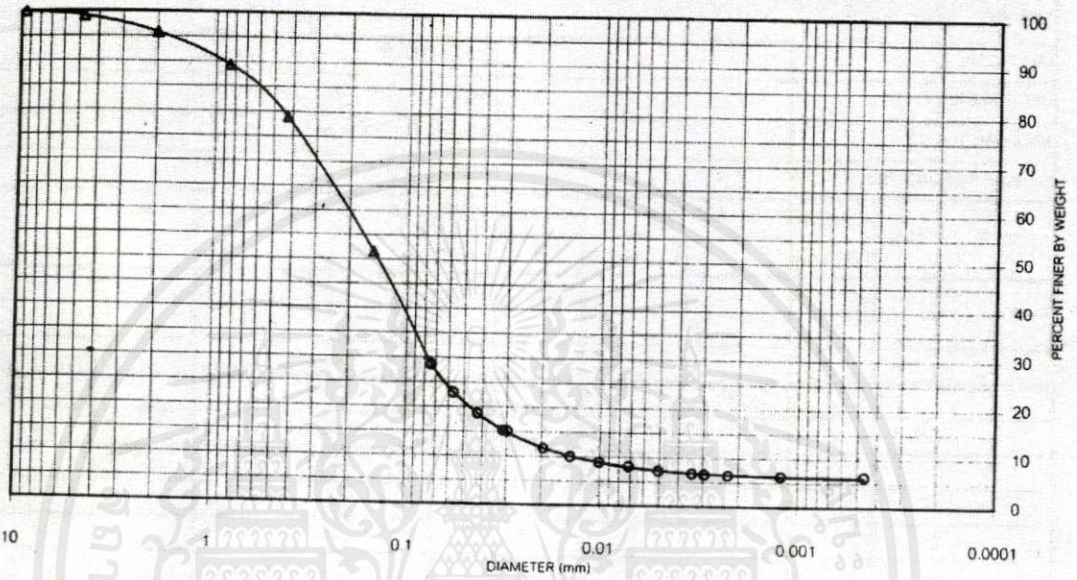
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

M.I.T. classification	Sand			Silt			Clay		
	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine



Remark:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

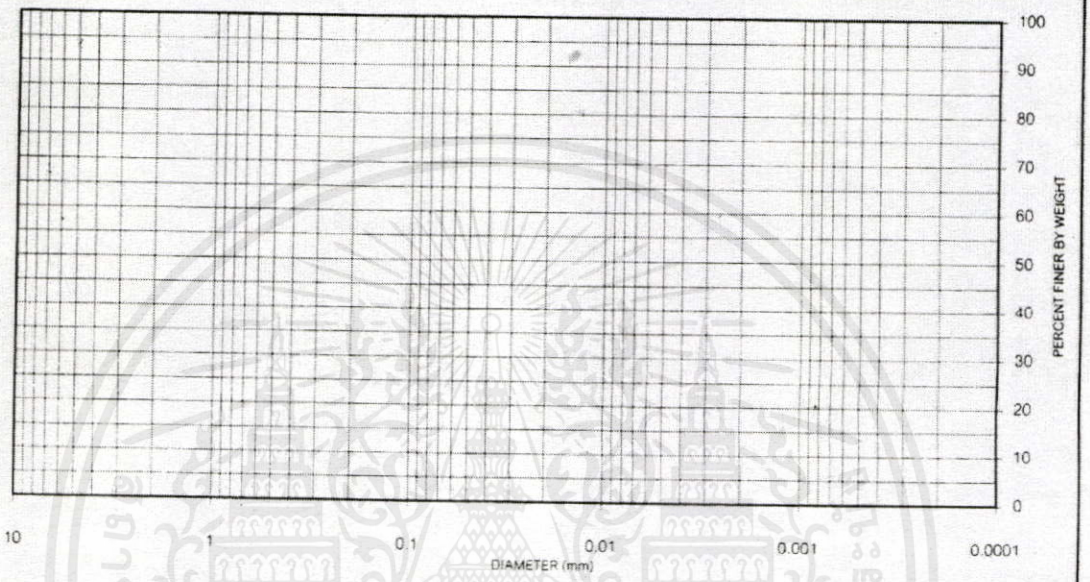
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

M.I.T. classification	Sand			Silt			Clay		
	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine



Remark:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การบดอัดดิน (COMPACTION)

2.6.1 อ้างอิง

ASTM D 698-78 , ASTM D 1557-78

2.6.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น (Moisture – Density Relation)ของดินเมื่อถูกบดอัด
- เพื่อหาความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density)
- เพื่อหาความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content)

2.6.3 ทฤษฎี

งานส่วนใหญ่ทางด้านวิศวกรรมโยธาเช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน จะได้ดินเป็นวัสดุถม (fill material) ทั้งสิ้นและส่วนใหญ่จะทำการบดอัดดินเพื่อให้ดินแน่นขึ้น โดยมีจุดประสงค์หลัก 3 ประการ คือ

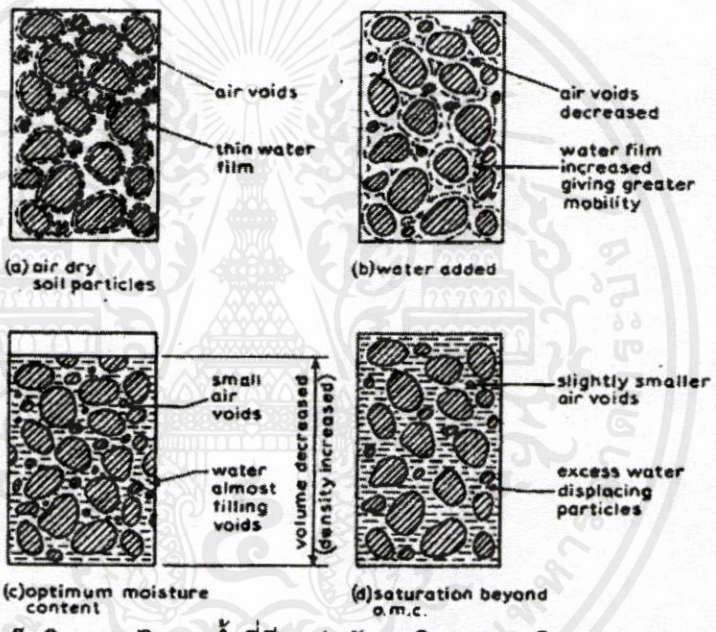
1.ช่วยลดการทรุดโทรมของชั้นดินในระยะยาว (decrease future settlements) 2. เพิ่มความสามารถทางด้านกำลังของดิน (increase shear strength) ทำให้ดินรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น และ 3.ลดความซึมน้ำของดิน(decrease permeability) การบดดินจะใช้ รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ(Sheep Foot Rollers) และรถบดชนิดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) เป็นต้น การควบคุมปริมาณการอัดตัวของดินในสนามเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงมีการทดลองการบดอัดดินในห้อง Lab เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมและเปรียบเทียบการบดอัดดินในสนาม

พฤติกรรมของดินเมื่อถูกบดอัด

การบดอัดดินคือการทำให้เม็ดดิน (soil particles) ถูกบีบอัดให้เข้ากันใกล้กันมากที่สุด เป็นผลให้ลดปริมาณช่องอากาศ (air void) ในมวลดิน โดยที่ปริมาณน้ำ (Water content) ในมวลดินไม่ลดลงหรือลดน้อยมาก ในการบดอัดดินเราไม่สามารถทำให้ช่องอากาศหมดไปจากมวลดินได้ แต่สามารถทำให้มีช่องอากาศในปริมาณน้อยโดยใช้วิธีการและควบคุมการบดอัดอย่างดี

ในขณะที่มวลดินมีปริมาณความชื้น (moisture content) อยู่น้อย ในเม็ดดินจะมี film น้ำบางๆ (film of water) ล้อมรอบอยู่ (ดูรูปที่ 5.1) เมื่อมวลดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น film น้ำจะหนาขึ้นมีผลให้เม็ดดิน slide ตัวระหว่างกันได้ดีขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่า “ lubrication” มีผลอย่างมากในดินเม็ดละเอียด (fine-grained soils) ส่วนในดินเม็ดหยาบ (coarse particle) film น้ำจะมีผลน้อยกว่า เนื่องจาก film น้ำมีความหนาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเม็ดดิน เมื่อเราทำการบดอัดดิน

film น้ำจะมีส่วนช่วยอย่างมากให้อนุภาคดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน อากาศบางส่วนจะถูกแทนที่ หน่วยน้ำหนักของดินจะมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสู่จุดๆหนึ่งและทำการบดอัด ปริมาณอากาศส่วนใหญ่จะถูกไล่ออกจากมวลดินปริมาณช่องอากาศที่เหลืออยู่จะมีปริมาณน้อย เม็ดดินจะถูกอัดเข้าใกล้กันมากที่สุด หน่วยน้ำหนักดินจะมากที่สุด (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นในมวลดินขณะนี้เรียกว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content , OMC) ถ้าหากเราเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นอีกจากจุดนี้ น้ำในมวลดินจะเป็นน้ำส่วนเกิน (excess water) ปริมาณน้ำที่มากเกินไปนี้จะทำให้เกิดแรงผลักของน้ำระหว่างดิน (soil particles)ขึ้น ทำให้เม็ดดินไม่สามารถเบียดอัดกันได้ดีเท่าที่ควร น้ำจะแทนที่เม็ดดิน มีผลทำให้หน่วยน้ำหนักดินลดลง อากาศในมวลดินจะลดลงน้อยมากหรือไม่ลดลงเลย ปริมาณความชื้นในมวลดิน (Moisture Content) จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.1 แสดงเม็ดดินและปริมาณน้ำที่มีผลต่อกับพฤติกรรมของดิน (Head Vol.1 ,1992)

จากพฤติกรรมของดินดังกล่าว RR. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความหนาแน่นของดินจากการบดอัดในห้องปฏิบัติการขึ้นมา ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเรียกว่า วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ซึ่งเหมาะกับการทดสอบดินในงานวิศวกรรมโยธาทั่วไป เช่น งานถนน สนามบิน เขื่อนดิน ฯลฯ แต่ในปัจจุบันยานพาหนะต่างๆที่ใช้ในการขนส่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้นพื้นถนนจึงต้องใช้พลังงานในการบดอัดมากขึ้น ดังนั้น นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบการบดอัดดินโดยเพิ่มพลังงานในการบดอัดให้สูงขึ้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบในสนามได้ วิธีทดสอบนี้เรียกว่า วิธีทดสอบนี้เรียกว่า วิธีการทอสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง หากใช้ตุ้มขนาด 5.5 lb บดอัดดินทีละชั้น จำนวน 3 ชั้น โดยบดอัดชั้นละ 25 ครั้ง ระยะตกตุ้มเท่ากับ 12" ใช้ Mold ขนาด Ø4" x 4.6" เพราะฉะนั้นดินจะได้รับพลังงานเท่ากับ

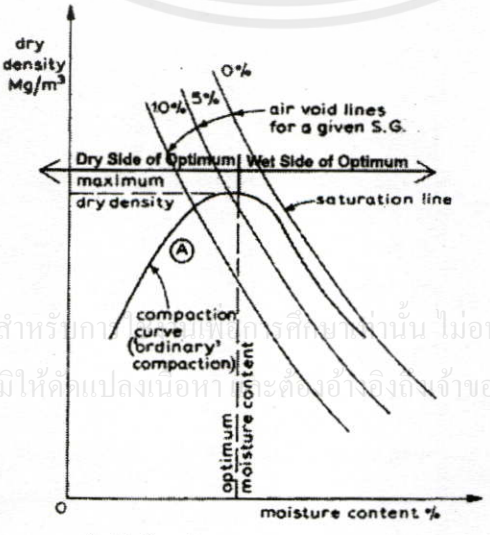
$$\text{Compaction Energy ,CE} = \frac{3(25)(5.5)(12/12)}{\frac{\P(4/12)^2(4.6/12)}{4}} = 12375 \text{ ft} - \text{lb/ft}^3$$

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการและเครื่องมือระหว่างวิธี Standard Proctor Test กับ Modified Proctor Test

Using	Standard	Standard	Modified	Modified
Mold	Ø4" x 4.6"	Ø6" x 5"	Ø4" x 4.6"	Ø6" x 5"
Rammer	5.5 lb	5.5 lb	10 lb	10 lb
No. of layer	3	3	5	5
No. of blows per layer	25	56	25	56
Rammer fall	12 in	12 in	18 in	18 in
Compaction Energy	12375 ft – lb/ft^3	12375 ft – lb/ft^3	56250 ft – lb/ft^3	55986 ft – lb/ft^3

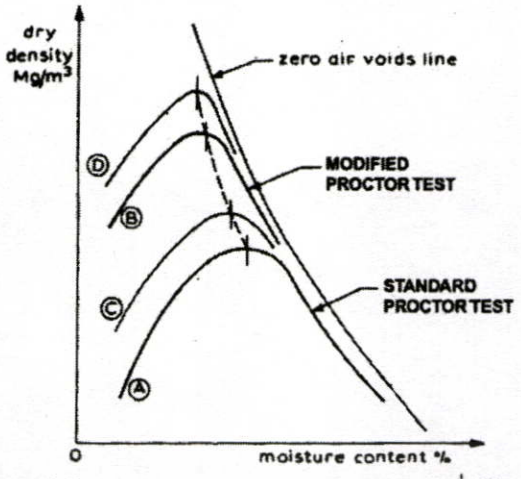
เมื่อบดอัดดินโดยใช้พลังงานบดอัดต่อปริมาตรเท่ากัน แต่เพิ่มความชื้นในการบดอัดแต่ละครั้ง มวลดินจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ดินมีความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) ความชื้นที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุดเรียกว่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content , OME)ทางด้านซ้ายเรียกว่าทางด้านแห้ง (Dry Slid of Optimum) ทางด้านขวาเรียกว่าทางด้านเปียก (Wet Slide of Optimum) หลังจากจุดนี้แล้วแม้ว่าความชื้นในดินจะมากขึ้นแต่ความหนาแน่นของดินจะลดลง

แม้ว่าดินจะอยู่ในสถานะที่มีความหนาแน่นสูงสุดแต่ก็ยังมีปริมาณอากาศอยู่ในดินจำนวนหนึ่ง (ปริมาณน้อย) เราไม่สามารถทำการบดอัดโดยไม่มีช่องอากาศอยู่ในมวลดินได้แม้ว่าจะเพิ่มจำนวนครั้งในการบดอัดหรือควบคุมการทดลองให้ดีอย่างไรก็ก็ตาม (กราฟ compaction curve จะไม่ตัดกับ zero air voids line) กราฟในรูปที่ 5.2 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินบดอัดปริมาณความชื้น และจะมีเส้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Line) หรือเส้นที่ช่องอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Voids Line)



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง moisture content-dry density(Edit from Head Vol.1 ,1992)

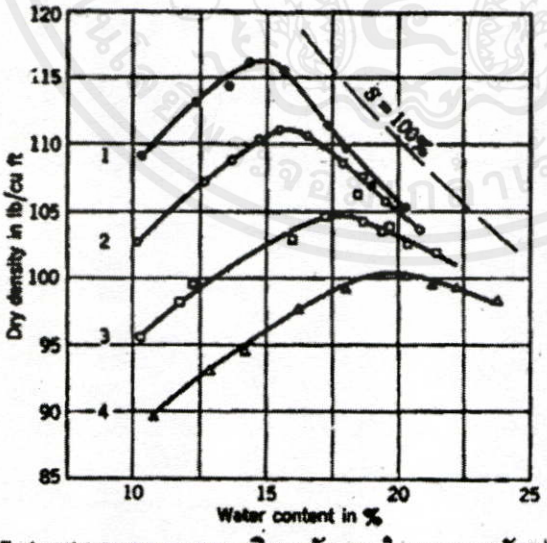
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง moisture content-dry density เมื่อให้พลังงานในการบดอัดต่างกัน (Edit from Head Vol.1 ,1992)

การบดอัดดินโดยให้พลังงานต่างกัน

ความหนาแน่นของดินที่บดอัดโดยวิธี Modified จะมีค่าสูงกว่าแบบ Standard โดยที่มีปริมาณความชื้นที่ใช้น้อยกว่า (เส้น A และ B ในรูป 5.3) และที่วิธีการบดอัดแบบเดียวกันเมื่อเราเพิ่มพลังงานให้กับดินมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการปล่อยตุ้มมากขึ้นในแต่ละชั้นของการบดอัด หรือเพิ่มน้ำหนักตุ้ม กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกัน โดยเส้นกราฟจะสูงขึ้นและขยับไปทางซ้าย และค่าความหนาแน่นสูงจะเพิ่มขึ้นแต่ปริมาตรความชื้นจะลดลง (เส้น C และ D ในรูป 5.3 และกราฟในรูป 5.4)

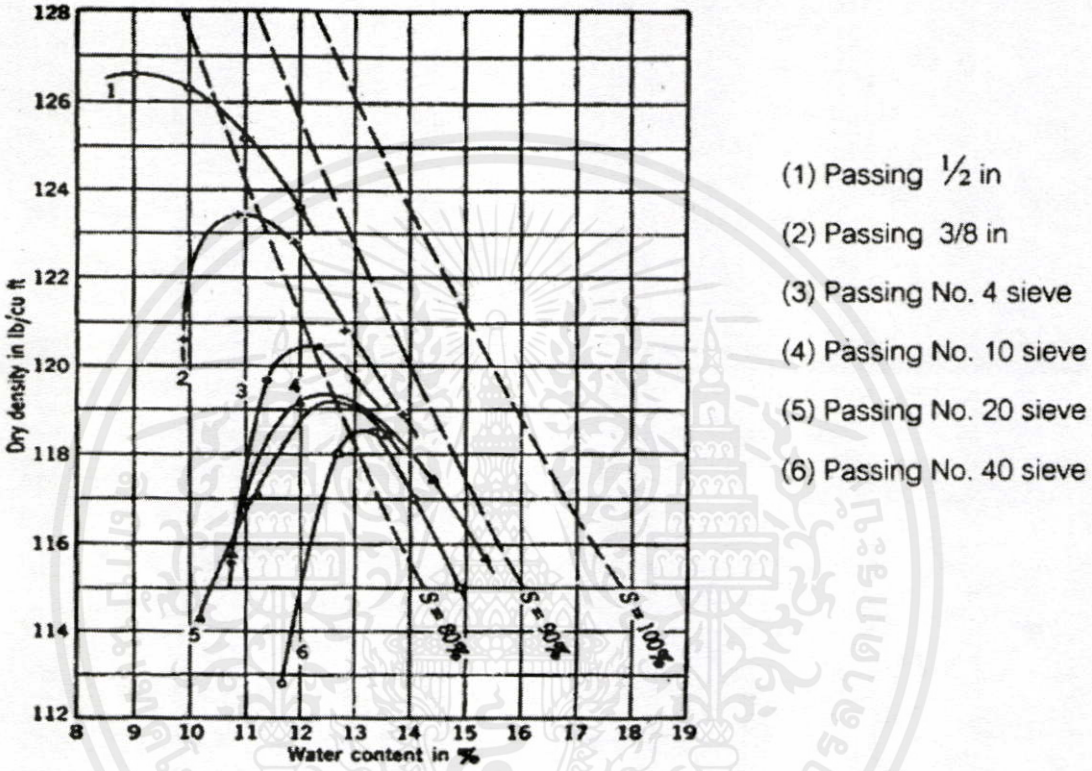


รูปที่ 5.4 แสดงผลของการเพิ่มพลังงานในการบดอัดต่อ compaction curves (LAMBE ,1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดอัดดินที่มีขนาดเม็ดดินต่างกัน

การบดอัดดินต่างชนิดกัน ดินที่มีเม็ดหยาบ (Granular Soils) จะบดอัดได้ความหนาแน่นสูงกว่าโดยความชื้นที่ใช้น้อยกว่าดินเม็ดละเอียด (Fine Grained Soils) สาเหตุหนึ่งมาจากดินที่มีเม็ดหยาบจะมีพื้นที่ในการซึมซับน้ำได้น้อยกว่าดินเม็ดละเอียด ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจึงน้อยกว่า โดยลักษณะของกราฟของการบดอัดดินเม็ดหยาบจะแหลมกว่าและขยับมาทางซ้าย (ดูรูป 5.5)

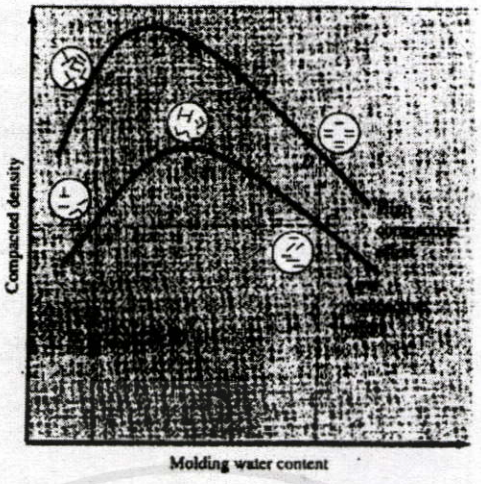


รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่าง compaction curves เมื่อดินมีขนาดต่างกัน (LAMBE ,1982)

ผลของการบดอัดต่อโครงสร้างของดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil)

ดินที่มีความเชื่อมแน่นเช่น ดินเหนียว เมื่อได้รับการบดอัดผลจะเป็นดังรูปที่ 5.6 เมื่อดินเหนียวถูกบดอัดทางด้าน Dry Side เริ่มต้นโครงสร้างของดินจะเรียงตัวสะเปะสะปะ (flocculent structure) เมื่อปริมาณความชื้นมากขึ้นโครงสร้างดินจะเรียงตัวขนานกันมากขึ้น (parallel structure) ดินเรียงใกล้กันมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอีกปริมาณน้ำที่มากเกินไปนี้จะทำให้เกิดแรงผลักของน้ำระหว่างเม็ดดิน (soil particles)-ขึ้น น้ำจะแทนที่เม็ดดิน มีผลทำให้ความหนาแน่นของดินลดลงตามที่ได้กล่าวไป และการให้พลังงานในการบดอัดมากขึ้นก็จะทำให้โครงสร้างของดินเหนียวเรียงตัวขนานกันมากขึ้นเช่นกัน โดยสังเกตเปรียบเทียบระหว่างจุด A กับ E และจุด C กับ D .ในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

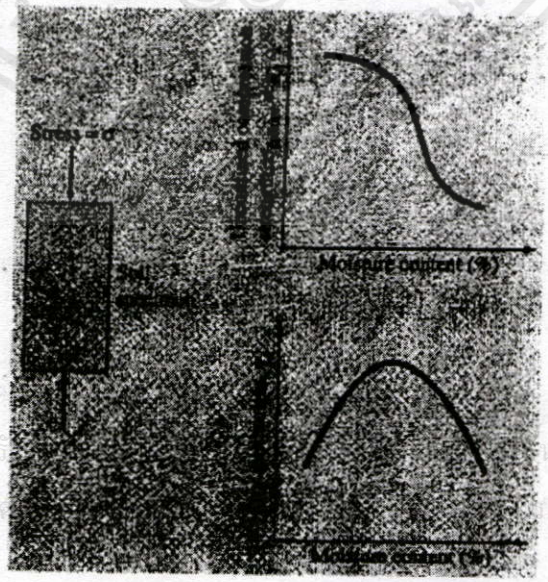


รูปที่ 5.6 แสดงการจัดตัวของโครงสร้างดินเหนียว(BRAJA M.DAS ,1993)

การบดอัดดินทางด้าน dry side of optimum จะทำให้โครงสร้างดินกระจายตัวแบบอิสระ ดินจะมีการหดตัว (shrinkage) น้อยกว่าด้าน wet side เมื่อแห้ง แต่จะบวมตัว (swell) ได้ง่ายกว่า เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจาก wet side จะมีค่าปริมาณความชื้นในดินที่ใกล้กับค่าความชื้นในดินอิ่มตัว (S=100%) อยู่แล้วการบวมตัวจึงน้อยกว่า

ผลของการบดอัดต่อกำลังของดิน

ค่ากำลังสูงสุดของดิน (ultimate strength) ทางด้าน dry side of optimum จะมากกว่าทางด้าน wet side of optimum และจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อย (low strains) เมื่อรับแรงกระทำ โดยหาส่วนใหญ่ถ้าดินเสียรูป (fail) จะเสียรูปทันที หรือเรียกว่าการพังแบบเปราะ (brittle failure) แต่หากมีแรงมากระทำกับดินทางด้าน wet side of optimum การพังของดินจะเป็นแบบพลาสติก มีลักษณะค่อยเป็นค่อยไปไม่สามารถกำหนดจุดที่แน่นอนได้ชัดเจน

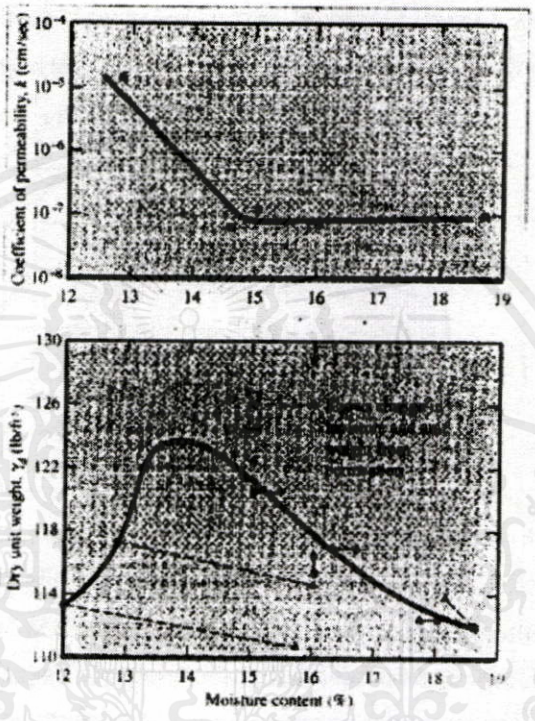


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 ผลของการบดอัดต่อกำลังของดินเหนียว (BRAJA M.DAS ,1993)

ผลของการบดอัดดินต่อการซึมผ่านของน้ำ

เมื่อปริมาณความชื้นในการบดอัดเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของน้ำจะลดลงทางด้าน dry side of optimum และจะมีค่าความชื้นสูงกว่าค่าความชื้นที่เหมาะสมเล็กน้อย และการซึมผ่านของน้ำจะสูงขึ้นอีกเล็กน้อยทางด้าน wet side of optimum ดังแสดงในรูป 5.8 การซึมผ่านของน้ำจะลดลงเนื่องจากดินถูกบดอัดแน่นขึ้น มวลดินมีความพรุนน้อยลงทำให้การซึมผ่านของน้ำช้าลง



รูปที่ 5.8 ผลของการบดอัดต่อการซึมผ่านของน้ำของดินเหนียว (BRAJA M.DAS ,1993)

การเลือกด้านของการบดอัด

ในงานถนนเราต้องการให้พื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อย (low strains) ดังนั้นเราจึงทำการบดอัดจากทางด้าน dry side of optimum ในเขื่อนดินเหนียวก็เช่นกันถ้าหากผู้ออกแบบให้ความสำคัญกับการซึมผ่านของน้ำ ต้องการให้น้ำซึมผ่านตัวเขื่อนน้อยที่สุด ในกรณีนี้จะทำการบดอัดทางด้าน wet side of optimum แต่ต้องระวังปัญหาทางด้านการทรุดตัว (settlement) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากสุดที่ยอมให้โดยไม่เกิดรอยร้าว (allows larger displacement strains without cracking)

เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดในสนามเทียบกับใน Lab จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Relative compaction, } RC = \frac{\gamma_{df}}{\gamma_{dL}} \times 100 \ (\%)$$

เมื่อ γ_{df} = หน่วยน้ำหนักดินในสนาม (dry unit weight in field)

γ_{dL} = หน่วยน้ำหนักดินในห้องทดลอง (dry unit weight in laboratory)

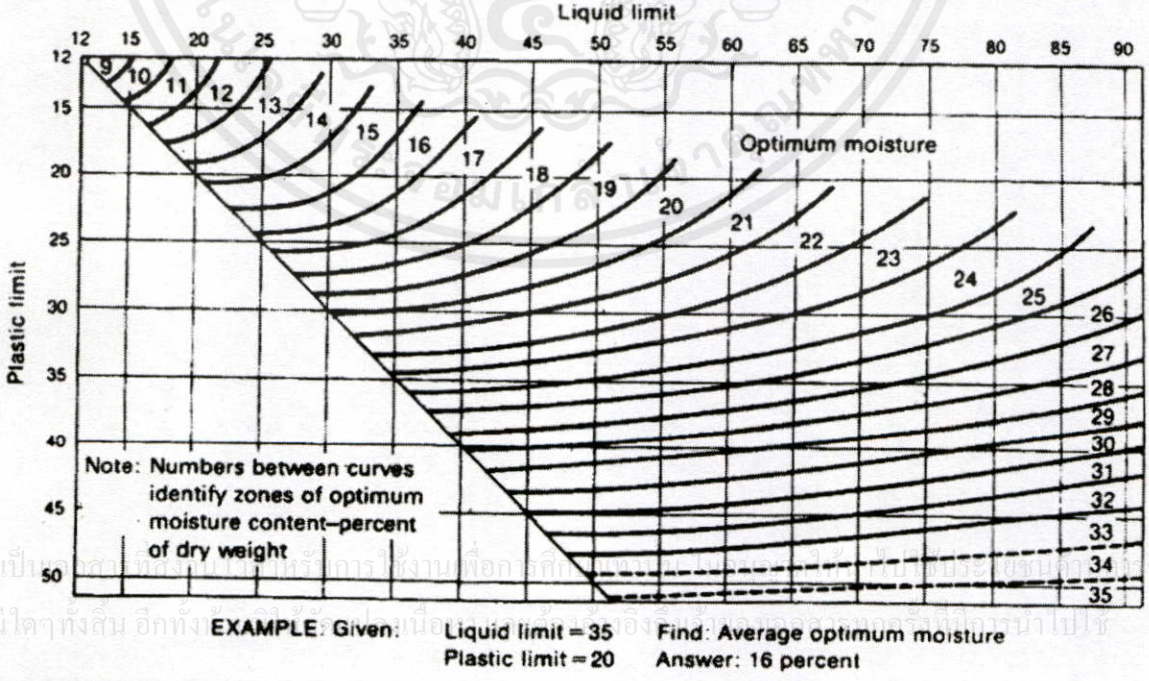
ผลกระทบจากการบดอัดตัวอย่างดินซ้ำ

ปกติในการทดสอบการบดอัดจะใช้ดินตัวอย่างเดียวทำการบดอัดโดยเพิ่มความชื้นไปเรื่อยๆ จนค่าความหนาแน่นของดินเริ่มลดลงจึงหยุดการทดสอบ การใช้ตัวอย่างดินเดิมมาบดอัดใหม่มีโอกา ส ให้เม็ดดินจะแตกเล็กลง โดย เฉพาะดินที่มีเม็ดใหญ่ ทำให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าความเป็นจริง ดินที่ควรใช้ตัวอย่างใหม่ในการทดสอบ เช่น ดินเหนียว เนื่องจากเมื่อดินเหนียวถูกอัดตัวแล้วจะทำการแยกออกได้ยากเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำให้ทุกส่วนในมวลดิน และดินลูกรังหรือดินที่แตกง่ายเมื่อถูกการทุบ ดินชนิดนี้จะแตกง่ายเมื่อถูกบดอัด ทำให้ตัวอย่างดินละเอียดขึ้นเรื่อยๆ เราจึงควรเปลี่ยนตัวอย่างดินใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

การประมาณความชื้นที่เหมาะสม

ในการทดสอบเราจะทำการทดสอบเพียง 5-6 จุดเท่านั้น เพราะฉะนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะต้องอยู่ในช่วงการทดสอบนี้ เราจึงต้องทำการประมาณความชื้นที่เหมาะสมก่อนเพื่อที่จะแบ่งจุดการทดสอบให้ได้ 5-6 จุด แต่ละจุดมีค่าความชื้นห่างกันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยให้มี 2-3 จุดอยู่ทางด้าน dry side of optimum และมี 2-3 จุดอยู่ด้าน wet side of optimum ตัวอย่างวิธีการประมาณค่าความชื้นที่เหมาะสมได้แก่

อ่านค่าจากกราฟรูปในที่ 5.9 โดยจะประมาณได้แค่ดินชนิดเม็ดละเอียดเท่านั้น และเราต้องการทราบค่า Liquid Limit และ Plastic Limit ของดินด้วย วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กับการบดอัดแบบ Standard Proctor test เท่านั้น หากเป็นการทดสอบแบบ Modified Proctor Test ค่าความชื้นที่เหมาะสมจะต่ำกว่าค่าที่อ่านได้จากกราฟประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน



รูปที่ 5.9 กราฟสำหรับประมาณความชื้นที่เหมาะสม (Bowles ,1970)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากวิธีดูจากกราฟแล้วยังอาจใช้วิธีการอื่นประกอบการพิจารณาเช่นพิจารณาการเปรียบเทียบข้อมูลการบดอัดของดินชนิดเดียวกันที่เคยทดสอบไปแล้ว หรือนำตัวอย่างดินมาจำนวนหนึ่งแล้วผสมน้ำ จากนั้นใช้มือกำและคายออก หากดินยังเกาะกันไม่หลุดล่อน หรือติดมือมากไป จับบีบแล้วหมาดๆ ก็แสดงว่าดินนี้มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content)

2.6.4 อุปกรณ์

1. แบบอัดดิน (Compaction Mold) Ø4"×4.6" พร้อมปลอก (collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) Ø2" หนัก 5.5 lb ระยะตก 12"

2. แบบอัดดิน (Compaction Mold) Ø6"×5.0" พร้อมปลอก (collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) Ø2" หนัก 10.0 lb ระยะตก 18"

3. ตะแกรงขนาดเบอร์ 4 และขนาด ¾ นิ้ว

4. ค้อนยาง แปรงอ่อนใช้ปัดดิน

5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)

6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge) ขนาด 30 ซม.

7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

8. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

9. กระบอกตวงน้ำ (Graduate Cylinder)

10. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม

11. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

การหาความชื้น (Water Content)

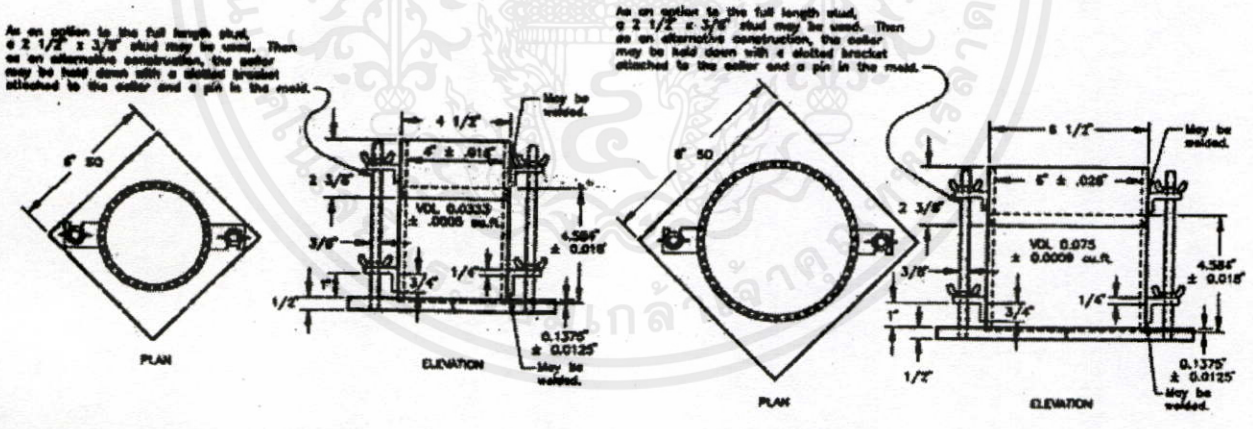
1. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (Can)

2. ตู้อบดิน (Drying oven)

3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

4. อ่างแก้วดูดความชื้น (desiccators) พร้อมฝาปิด และชั้นวางกระป๋องตังอย่างใต้ชั้นวางกระป๋องตัวอย่างบรรจุสารดูดความชื้น (Silica Gel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดง Mold สำหรับการทดสอบการบดอัดดิน(ASTM ,1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบควรแห้งพอดี แต่ถ้าดินตัวอย่างชื้นเกินไปให้ผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140° F (60°) จากนั้นใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออก หากเป็นพวกดินลูกรังหรือกรวดพยายามอย่าทุบก้อนดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียดหรือใช้เครื่องบด

2. แบ่งตัวอย่างดินโดยวิธี Quartering หรือแยกด้วยกล่องแยกดินเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดิน

3. พิจารณาขนาดเม็ดดิน เพื่อเลือกตัวอย่างดินที่จะทดสอบกับ Mold คนละขนาดเนื่องจากไม่เป็นการเหมาะสมหากใช้ดินขนาดเม็ดใหญ่บนอัดใน Mold เล็กๆ

<u>กรณีใช้ Mold ขนาด Ø4"×4.6"</u>

เตรียมตัวอย่างโดยนำดินที่แห้งพอดีมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) แล้วนำส่วนดินที่ผ่านนี้ไปทดสอบ

<u>กรณีใช้ Mold ขนาด Ø6"×5.0</u>

เตรียมตัวอย่างโดยนำดินดินที่แห้งพอดีมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ขนาด¾ นิ้ว ดินที่มีขนาดใหญ่กว่าให้ทิ้งไปแล้วแทนด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว แต่ข้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักที่เท่ากัน

หมายเหตุ : การทดสอบทั้งสองแบบนี้จะใช้ได้กับดินที่ข้างบนตะแกรงขนาด¾ นิ้ว (19.00 มม.) ไม่เกิน 30 %โดยน้ำหนักเท่านั้น

4. แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 5 kg สำหรับทดสอบกับ Mold ขนาด Ø4"×4.6"และประมาณ 7 kg สำหรับทดสอบกับ Mold -ขนาด Ø6"×5.

5. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (O.M.C.) ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.6.6 ขั้นตอนการทดสอบ

<u>Standard Proctor Test (ใช้ Mold ขนาด Ø4"×4.6")</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เราอาจใช้ Mold ขนาด Ø6"×5 ก็ได้แต่ที่ค่าต่างๆต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 5.1)

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ Mold ด้วยเวอร์เนียร์แล้วนำไปคำนว ณหาปริมาตรของ Mold

2. ชั่งน้ำหนักของ Mold .ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

3. ประกอบ Mold , Collar และ base plate เข้าด้วยกัน แล้วนำไปวางบนพื้นคอนกรีตที่แข็งและเรียบ

4. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 kg มาผสมน้ำให้มีความชื้นห่างจากค่าความชื้นที่เหมาะสมที่เราประมาณไว้ประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ หรือหากเราไม่ได้ประมาณค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมไว้ก็ให้ผสมน้ำลงไปประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดิน จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน พยายามให้ทุกส่วนในดินมีปริมาณความชื้นที่เท่ากัน

5. ใช้ช้อนตักดินตักดินใส่ใน Mold ทีละชั้น โดยประมาณดินที่จะใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆ กันแล้วใช้ Rammer ขนาด 5.5 lb บดอัดดินแต่ละชั้นๆ ละ 25 ครั้ง การยกตุ้มให้ยกก้านตุ้ม ค้อนขึ้นจนแตะฝาปลอกแล้วจึงปล่อยตุ้มอย่างอิสระแต่ละครั้งในการปล่อยให้เคลื่อนตำแหน่งตุ้มวนไปทั่วๆ Mold เล็กน้อย (ไม่เกิน 13 มม.)

6. ถอด collar ของ Mold ออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบ Mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดด้านนอก Mold แล้วถอด base plate ออก นำ Mold บรรจุดินไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7. ดันตัวอย่างดินออกจาก Mold ด้วยเครื่องดันดินหรือกระแทกแรงๆ ด้วยตุ้ม นำตัวอย่างดินบริเวณกลางตัวอย่างอย่างน้อย 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น โดยการนำไปชั่งแล้วนำไปอบให้แห้งอยู่ในตู้อบ (ถ้าเป็นไปได้ควรเก็บตัวอย่างทั้งบริเวณ บน กลาง และล่าง ไปหาปริมาณความชื้น

8. นำตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบให้ร่วนแล้วผสมกับตัวอย่างดินที่เหลือ แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ
2-3% คลุกให้เข้ากัน แล้วทำการทดสอบตามข้อ 3-7 จนกระทั้งน้ำหนักดินใน Mold ที่ชั่งลดลงแล้วทำการทดสอบอีก 1-2 จุด ซึ่งจำนวนครั้งในการทดสอบทั้งหมดไม่ควรเกิน 5-6 ครั้ง

<u>Modified Proctor Test (ใช้ Mold ขนาด Ø6"×5")</u>

(เราอาจใช้ Mold ขนาด Ø4"×4.6" ก็ได้แต่ค่าต่างๆต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 5.1)

ทำการบดอัดตามวิธีการเช่นเดียวกับแบบ Standard Proctor Test โดยใช้ Hammer ขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดจำนวน 5 ชั้น ครั้งละ 56 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 การคำนวณผล

1.ความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet density) = $\frac{\text{น้ำหนักดินเปียก}}{\text{ปริมาตร Mold}} = \frac{W}{V}$ lb/ft^3 , g/cm^3

2.ความหนาแน่นแห้งของดิน (Dry density) , $\gamma_d = \frac{W}{V(1 + w)}$ lb/ft^3 , g/cm^3

เมื่อ W = น้ำหนักดินเปียก (Wet weight) ใน Mold lb, g

V = ปริมาตรของ Mold ft^3 , cm^3

w = ความชื้นของดิน (water content) , เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

COMPACTION TEST

PROJECT _____ OWNER _____ BORING NO. _____

SOIL DESCRIPTION_____ SAMPLE NUMBER _____ TEST BY_____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____ DATE_____

TYPE OF COMPACTION _____

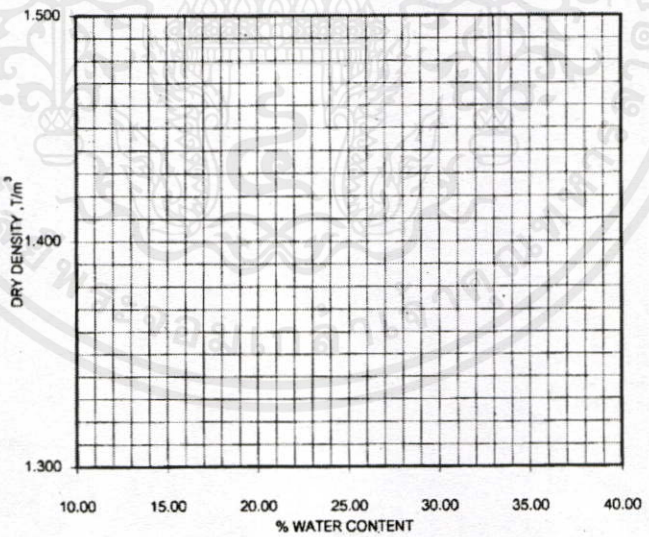
MOLD SIZE		MOLD VOLUME	cm^3

DENSITY DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
WT. OF SOIL + MOLD ,g						
WT. OF MOLD ,g						
WT. OF SOIL IN MOLD ,g						
WET DENSITY ,g/cm^3 (T/m^3)						
DRY DENSITY ,g/cm^3 (T/m^3)						

WATER CONTENT:

WET SOIL + CONTAINER ,g						
DRT SOIL + CONTAINER ,g						
WT. OF CONTAINER ,g						
WT. OF WATER ,g						
WT. OF DRY SOIL ,g						
% WATER CONTENT						



OPTIMUM MOISTURE CONTENT (O.M.C.)		MAXIMUM DRY DENSITY	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)

2.7.1 อ้างอิง

ASTM D 1883

2.7.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังของดินบดอัดในค่าของ CBR

2.7.3 ทฤษฎี

การทดสอบ CBR ถูกพัฒนาในช่วงปี ค.ศ.1930 ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยพัสดุ ซึ่งเป็นหน่วยงานของ

Department of the California division of highways , USA ได้รับการเผยแพร่โดย O.J.Porter (1938) จุดประสงค์เริ่มต้นเพื่อทดสอบหาวัสดุที่มีคุณภาพและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานบดอัดถนนในชั้นพื้นทาง(bases)และในชั้นรองพื้นทาง(sub-bases)เท่านั้น แต่เนื่องจากปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในช่วงนั้น(1930) ทำให้วิธีการเดิมไม่เหมาะสม Porter ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทดสอบของเขากับลักษณะจริงของดินที่ถูกบดอัดภายใต้การจราจรบนถนน และค่าที่ได้จากการทดสอบของเขาก็ได้รับการยอมรับในเวลาต่อมา

ในระยะแรกเป็นการทดสอบเพื่องานถนนเท่านั้น แต่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีหน่วยงาน U.S. Army Corps of Engineers ได้มีการนำการทดสอบนี้มาใช้กับงานสร้างสนามบินด้วย

การทดสอบ CBR เป็นการทดสอบหากำลังของดินบดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ CBR เราสามารถทำการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการปกติเราจะทำการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดที่ Optimum Moisture Content โดยใช้แท่งเหล็กกลมตัน (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้ว/นาที (1.25 mm/min) แล้วนำค่า Unit load ที่ได้จากการทดสอบนี้(Test unit stress)ที่ความลึกการกด(Penetration)ต่างๆ ไปหาอัตราส่วนเทียบกับค่า Standard Unit Stress ที่การยุบตัวเดียวกัน โดยค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard unit stress) เป็นหน่วยแรงมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุก(crushed rock)ที่กำหนดโดย California Division of Highways และกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 6.1

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

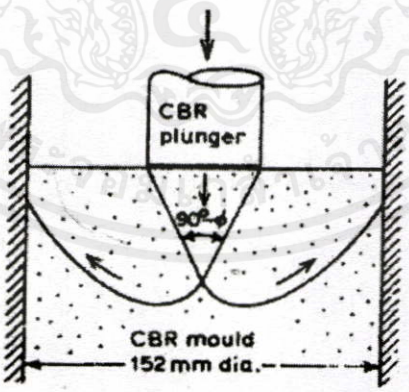
$$CBR = \frac{\text{Test Unit Stess}}{\text{Standard Unit Stess}} \times 100 \quad (\%)$$

ตารางที่ 6.1 แสดงค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่างๆ

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

โดยทั่วไปจะใช้ค่า CBR ที่ความลึกของการกด 0.1 นิ้ว แต่ถ้าค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วจะมีค่ามากกว่า 0.2 นิ้ว) และหากทำการทดสอบใหม่ได้ค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่า CBR ยังสัมพันธ์กับกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกด้วย (แต่ไม่ใช้แรงเฉือนโดยตรง) โดยลักษณะการวิบัติของดินใต้แท่งกดจะเป็นดังรูป 6.1



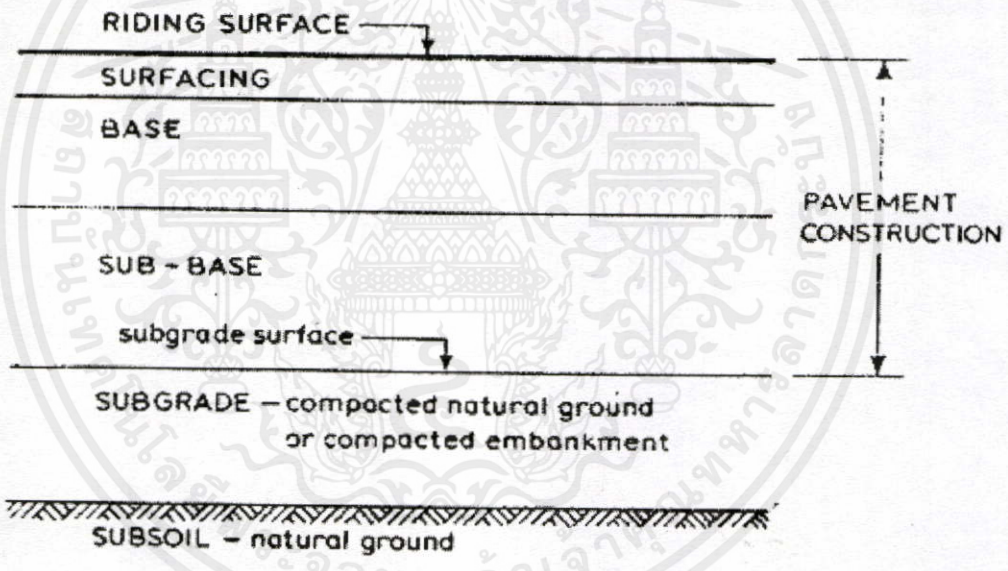
รูปที่ 6.1 แสดงการ Fail ของดินใต้ Piston (Head Vol.2 ,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 แสดงการวิบัติของดินใต้แท่งกด (Piston) (Head Vol.2 , 1988)

เราสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินจากค่า CBR ว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานถนนหรือไม่ และเหมาะที่จะใช้ในขั้นใดจากตาราง 6.2

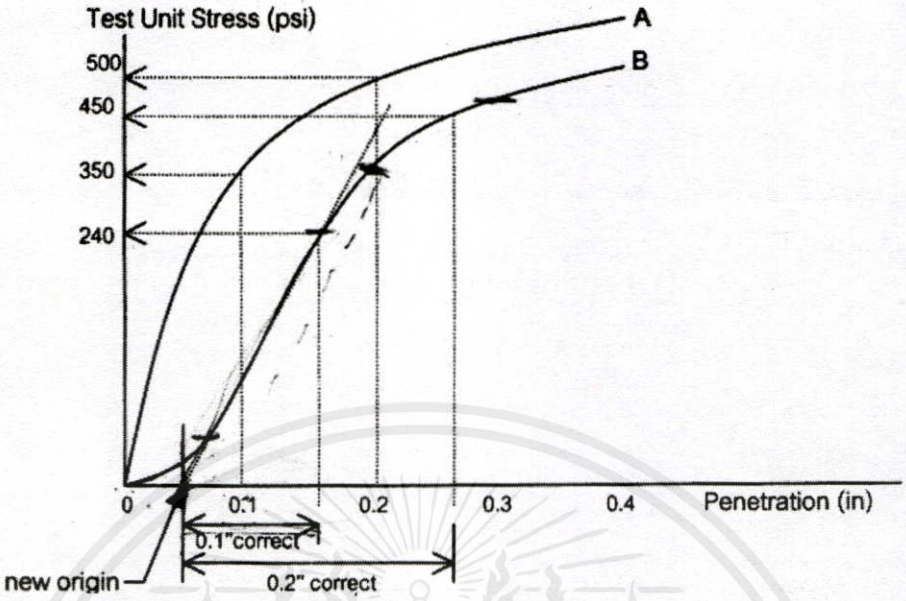
CBR No.	General rating	Uses	CLASSIFICATION SYSTEM	
			Unified	AASTHO
0-3	Very poor	Subgrade	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3-7	Poor to fair	Subgrade	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7-20	Fair	Subbase	OL,CL,ML,SC,SM,SP	A2,A4,A6,A7
20-50	Good	Base of subbase	GM,GC,SW,SM,SP,GP	A1b,A2-5,A-3, A2-6
>50	Excellent	Base	GW,GM	A1a,A2-4,A3



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะชั้นทางของถนน (Head Vol.2 ,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR (Correction to Curve)



รูปที่ 6.3 แสดงกราฟปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR (Chonlatee ,2001)

การทดสอบ CBR เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างค่าหน่วยแรงกับค่าการยุบตัว กราฟจะต้องได้โค้งที่มีส่วนของเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ถ้าส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ (Correct) โดยลากเส้นให้สัมผัสกับส่วนของเส้นตรงมากที่สุดมาตัดกับแกนนอนจะได้จุดเริ่มต้นใหม่ (New origin) ค่ายุบตัวที่ 0.1" และ 0.2" จะต้องเริ่มวัดจากจุดนี้ดังแสดงในกราฟ B รูปที่ 6.3 (ส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดอาจจะมีสาเหตุมาจากผิวหน้าของดินบดอัดถูกรบกวน หรือได้รับการบดอัดที่ไม่ดี และอาจมีสาเหตุมาจากแท่งเหล็กกดแตะผิวตัวอย่างไม่มั่นคงก่อนการทดสอบ)

ส่วนกราฟ A ในรูป 6.3 สามารถหาค่า Unit Load จากค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดลองได้เลย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ CBR

ค่า CBR (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.1" = 350/1000 X 100 = 35 (%)

ค่า CBR (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.2" = 500/1500 X 100 = 33 (%)

ค่า CBR ที่ 0.1" มากกว่าที่ 0.2" เพราะฉะนั้นไม่ต้องทอสอบตัวอย่างใหม่

ได้ค่า CBR ของตัวอย่างดิน A= 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ CBR แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1.การทดสอบแบบแห้ง (Unsoaked Sample Test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดไว้แล้วทันที

2.การทดสอบแบบเปียก (Soaked Sample Test) ทำการทดสอบตัวอย่างดินหลังแช่น้ำแล้ว

การทดสอบแบบแช่น้ำจะต้องทำการแช่ตัวอย่างดินที่ผ่านการบดอัดแล้วไม่ต่ำกว่า 96 ชั่วโมง หรือกว่าดินจะหยุดการบวมตัว ซึ่งในระหว่างนี้จะต้องวัดการบวมตัว (Swell) ของดินด้วย โดยอัตราการบวมตัวของดินแช่น้ำจะเพิ่มขึ้นมากในระยะแรกและลดน้อยลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 1 วัน ค่าบวมตัวจะเป็นข้อกำหนดหนึ่งในการเลือกใช้วัสดุในการสร้างถนน ดินที่ค่าการบวมตัวสูงจะไม่เหมาะสำหรับใช้ทำพื้นทางถนน

การทดสอบตัวอย่างดินแบบแช่น้ำ ก็เพื่อจำลองสภาพจริงที่อาจเกิดขึ้นได้ในถนน เช่น ในกรณีที่มีน้ำท่วมขัง หรือ ในฤดูฝน โดยค่า CBR ของตัวอย่างดินที่แช่น้ำจะน้อยกว่าค่า CBR ที่ทดสอบแบบแห้ง

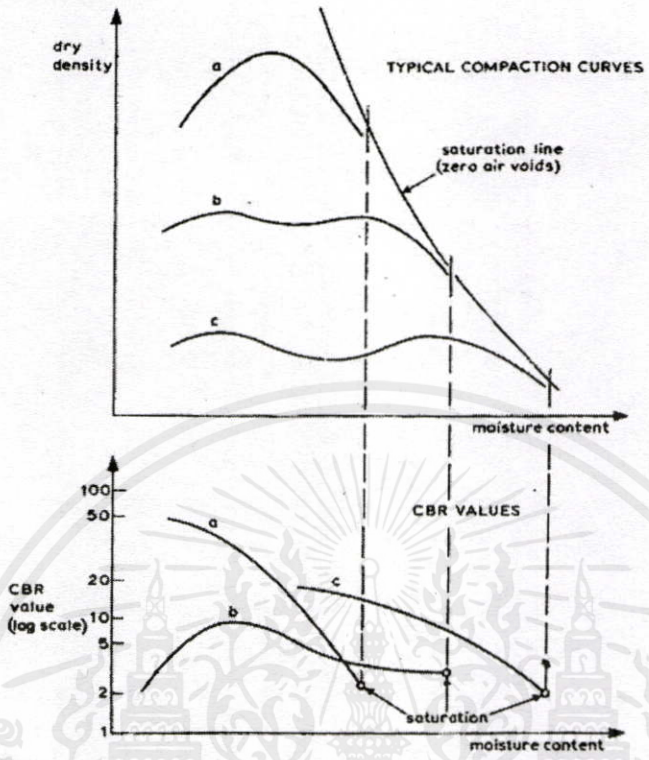
ในการทดสอบ CBR ในช่วงที่เราทำการกดทดสอบ (Penetration Test) และตอนที่เราแช่ตัวอย่างดินในน้ำ เราจะใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) บนตัวอย่างดินด้วยเพื่อจำลองน้ำหนักของชั้นดินที่กดทับด้านบน น้ำหนักที่ใช้กดก็ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่เราจะทดสอบว่าสภาพดินในสนามดินมีน้ำหนักกดทับประมาณเท่าไรแล้วเลือกน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับสภาพจริง

ตารางที่ 6.3 แสดงค่ามาตรฐานการบดอัดตัวอย่างดินใน CBR MOLD

มาตรฐาน	ตุ้มบดอัด (Rammer)		จำนวนชั้นในการบดอัด	จำนวนครั้งในการปล่อยตุ้มต่อชั้น
	น้ำหนักตุ้ม	ระยะตก		
BS'ordinary'	2.5 kg	300 mm	3	62
BS'heavy'	4.5 kg	450 mm	5	62
ASTM'standard'	5.5 lb	12 in	3	56
'Modified AASHO'	10 lb	18 in	5	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

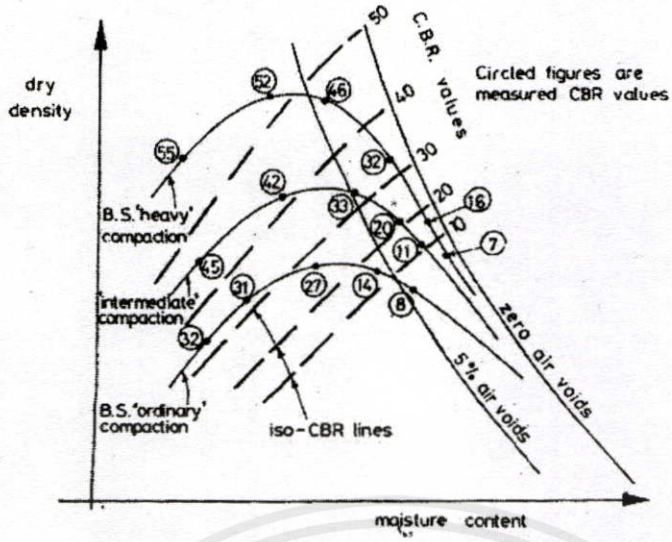


รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟการบดอัดและ CBR (Head Vol.2 ,1988)

(a) well-grade silty sand with clay,(b)uniform fine sand,(c)clay

ค่า CBR ที่ได้จากการทดสอบจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นในดิน ในกราฟรูป 6.4 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินและค่า CBR ที่ปริมาณความชื้นต่างๆ ซึ่งสังเกตเห็นว่าค่า CBR จะมีค่าสูงสุดทางด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) และจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และค่า CBR จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านจุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด (Optimum moisture content) หรือลดลงอย่างมากในทางด้านเปียกนั่นเอง (Wet Side of optimum) สังเกตกราฟ C จะมีจุดยอดสองจุดซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในการบดอัดดินเหนียวโดยเฉพาะเมื่อเราบดอัดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างค่า CBR บนกราฟบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่างๆกัน (Head Vol.2 ,1988)

เมื่อเราทำการบันทึกค่า CBR ในกราฟบดอัด(ตัวเลขในวงกลม) ในรูป 6.5 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเราทำการทดสอบหาค่า CBR ที่การให้พลังงานในการบดอัดและปริมาณความชื้นที่ต่างกัน ค่า CBR ที่ได้จากการทดสอบจะน้อยลงในกราฟเดียวกัน และเมื่อเราทำการลากเส้นประในแนวที่ค่า CBR เท่ากัน เช่น 10% 20% 30%,..... จะได้เส้น contours ที่เรียกว่า “Iso-CBR lines” ซึ่งสามารถใช้ประมาณค่า CBR ในกราฟบดอัดดินได้ ทำให้เราประมาณความชื้นที่ต้องใช้ได้ว่าถามเราต้องการค่า CBR เท่านี้จะต้องใส่น้ำประมาณเท่าใด

2.7.4 อุปกรณ์

การบดอัด(Compaction)

1. แบบอัดดินซีบีอาร์ (CBR Mold) เส้นผ่านศูนย์กลาง 6”x 7” พร้อมปลอก (Collar) สูง 2” แผ่นฐาน(Base Plate) ปลอกตัดดิน (Cutting Collar) และแผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.94” x 2.416” ด้านหนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบอัดดินถ้าติด
2. ตุ้มบดอัด (Drop rammer หรือ Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2” หนัก 5.5 lb ระยะตก 12” สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2” หนัก 10 lb ระยะตก 18” สำหรับการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)
3. กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder) ขนาด 250-500 cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)

6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)

7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

8. ตาชั่งขนาด 20 kg อ่านได้ละเอียด 0.1 g

9. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

10. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" (150 mm)

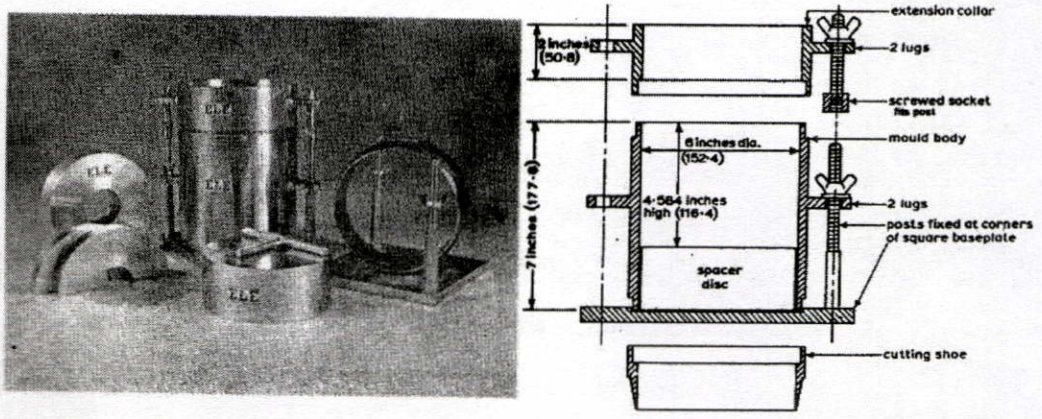
<u>การวัดการบวมตัว (Swell Test)</u>

1. สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) มีที่ยึดมาตรฐานวัดการบวมตัว
2. มาตรวัดการบวมตัว (Swell Dial Gauge) ขนาด 0.5" อ่านละเอียด 0.001" หรือขนาด 10 mm อ่านละเอียด 0.01mm ติดตั้งกับ Tripod
3. แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) เจาะรูพรุน พร้อมขาตั้งรับจามาตรวัดการบวมตัว สามารถปรับระดับได้
4. แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) แบบวงแหวน (Annular Surcharge Weight) ขนาด 10 lb หรือแบบผ่า (Split Surcharge Weight) ขนาด 5 lb
5. ถังแช่ตัวอย่าง (Soaking Tank)

<u>การกดทดสอบ (Penetration)</u>

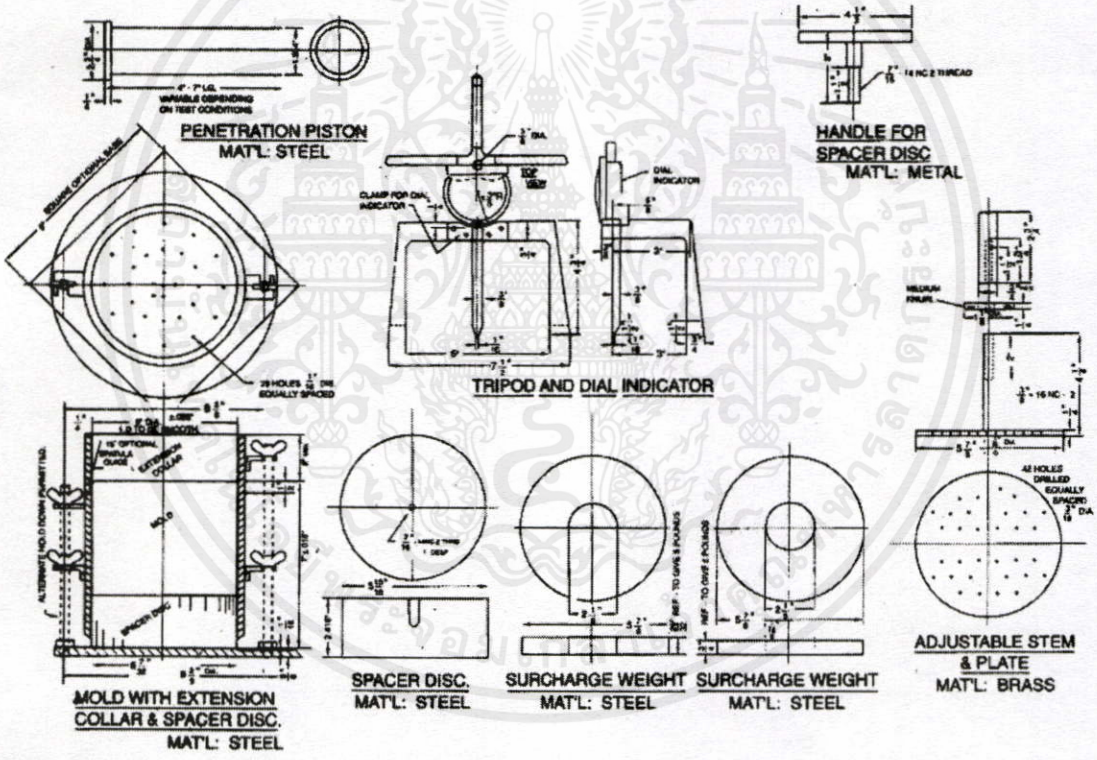
1. เครื่องกดแบบมือหมุน (Mechanical) หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Motorizied) มีกำลังกดอย่างต่ำ 6000 lb
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Penetration Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in^3 ยาวอย่างน้อย 4" ต่อเข้ากับ Proving Ring
3. มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ขนาด 1" อ่านละเอียด 0.001" หรือขนาด 25 mm อ่านละเอียด 0.01 mm พร้อมอุปกรณ์เข้ากับ Penetration Piston
4. Proving Ring สำหรับวัดแรง ขนาด 2000 lb สำหรับดินอ่าน 6000 lb สำหรับดินแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 6.6 แสดงชุดอุปกรณ์ Mold ASTM Type [(ก)ELE International,9th Edition Catalogue,(ข)Head Vol.2 ,1988]



รูปที่ 6.7 แสดงอุปกรณ์ทดสอบ CBR (Cheng Liu-Jack B. Evett ,2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทิ้งตัวอย่างดินให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แล้วเลือกตัวแทนดินโดยการใช้กล่องแยกดินหรือใช้วิธี Quartering จากนั้นนำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾" ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และนำดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ในจำนวนที่เท่ากันโดยน้ำหนักมาผสม

2. หา Optimum Moisture Content ตามการทดลองการบดอัดดินด้วยวิธี Standard หรือ Modified

การบดอัด (Compaction)

1. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 kg แบ่งดินสำหรับบดอัดตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 6 kg และแบ่งตัวอย่างดินประมาณ 100 g หรือมากกว่า ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Initial Water Content)

2. เตรียม Mold ไว้ 2 ชุด พร้อมชั่งน้ำหนัก Mold แต่ละชุด

3. ประกอบ Mold เข้ากับ Base plate และ Spacer Disc โดยให้ด้านที่มีรูเกลียวอยู่ข้างล่าง วางแผ่นกระดาษกรองบน Spacer disc เพื่อป้องกันมิให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก ตั้งชุด Mold บนพื้นที่เรียบและแข็งแรง

4. นำน้ำปริมาณมากกว่าที่ Optimum Moisture Content 2% (เผื่อการระเหยและติดภาชนะ) ผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินโดยใช้ขวดฉีดน้ำ

5. ทำการบดอัดดินตามวิธี Standard Proctor Test หรือ Modified Proctor Test ตามวิธีการทดสอบบดอันดิน

- Standard Proctor Test (ASTM D 698):

ตุ้มขนาด 5.5 lb ระยะตก 12 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Modified Proctor Test (ASTM D 1557):

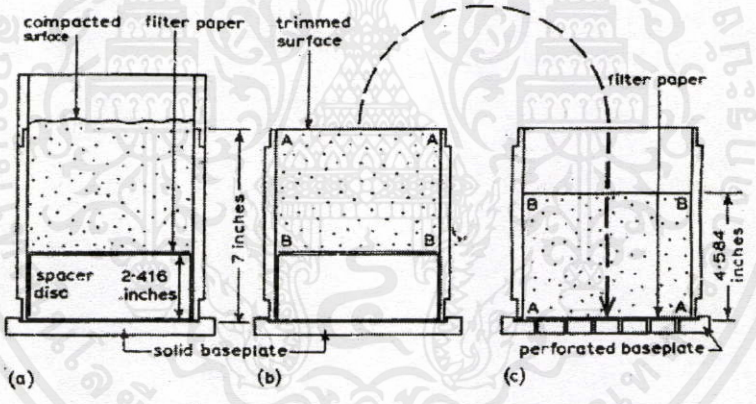
ตุ้มขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง

6. หลังจากบดอัดดินจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้ว ถอด Collar ออก ใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินให้สูงเสมอขอบ Mold พร้อมซ่อมแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบ

7. ถอด Base Plate และ Spacer Disc ออก ในการถอด Spacer Disc หาก Spacer Disc ติดให้ใช้มือสกรูหมุนเข้าไปในรู Spacer Disc แล้วดึงออกมาจาก Mold หลังจากนั้นนำ Mold ที่มีตัวอย่างดินที่บดอัดแล้วไปชั่งเพื่อหาค่าความหนาแน่น และนำตัวอย่างดินที่เหลือประมาณ 100 g หรือมากกว่าไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

8. ทำการบดอัดอัดตัวอย่างดินอีก 1 ตัวอย่างเพื่อนำไปแช่น้ำ

9. สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่แช่น้ำ นำ Mold ที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ Base Plate โดยให้ขอบ Mold ด้านที่มีดินเสมอขอบวางบน Base Plate ให้ส่วน Mold ที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน ดูรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 การบดอัดดินใน CBR Mold (Head Vol.2 ,1988)
(a)ทำการบดอัดดินใน Mold โดยที่มี spacer disc รองอยู่
(b)ถอด extension collar ออกจากนั้นปาดดินให้เรียบเสมอขอบ
(c)คว่ำส่วนที่เรียบลงบน perforated base plate และทำการล็อค
(สำหรับตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำให้คว่ำส่วนที่เรียบลงบน base plate)

การแช่น้ำ (Soaking) เพื่อทดสอบการบวมตัวและจำลองสภาพจริงในสนาม

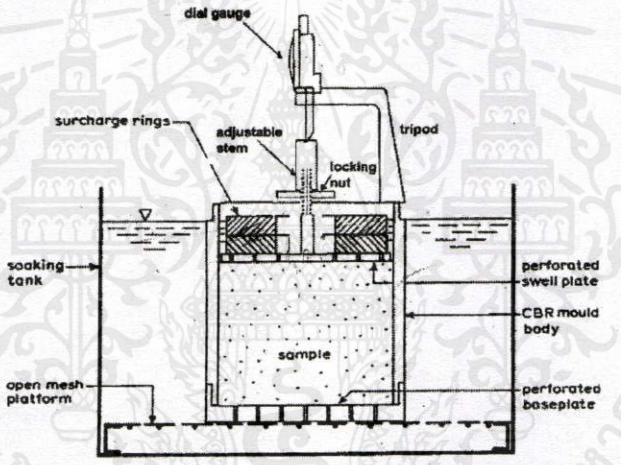
1. วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบน Perforated Base นำ Mold ที่บรรจุดินบดอัดแน่นประกอบเข้ากับ Perforated Base ดูรูปที่ 6.8 แล้วทำการชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วางกระดาษกรองอีกแผ่นบนผิวตัวอย่างดินด้านบน จากนั้นวางแผ่น Perforated Base ลงบนผิวตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้ดินแน่นกับ Plate หลังจากแช่น้ำแล้ว (Perforated Base และ Perforated Plate จะมีรูพรุนเพื่อให้น้ำผ่านเข้าไปในตัวอย่างดิน)

3. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) หนัก 10 lb หรือน้ำหนักตามต้องการ (พิจารณาจากสภาพในสนาม) ลงบนตัวอย่างดิน

4. แช่ Mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 3 ในภาชนะที่เตรียมไว้ ที่ฐานของ Perforated baseplate ให้รองด้วยตะแกรงลวดยกสูงจากพื้นภาชนะหรืออาจเอาไม้รอง โดยให้น้ำท่วม Surcharge Weight ประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำ Dial Gauge ซึ่งอ่านได้ละเอียด 0.001" ไปยึดกับ Tripod และนำไปวางบน Mold พร้อมกับจัดปลายของ Dial Gauge ให้แตะสัมผัสกับก้าน Swelling Plate เพื่อใช้วัดอัตราการบวมตัวของดิน



รูปที่ 6.9 แสดงการเตรียมตัวอย่างแบบแช่น้ำ(Soaking) (Edit from Head Vol.2 ,1988)

5. อ่านค่าการบวมตัวจาก Dial Gauge วันละ 2 ครั้ง จนกว่าการบวมตัวจะหยุดหรือมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือประมาณ 4 วัน(ถ้าต้องการศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวของดินเป็นพิเศษอาจจะอ่านค่าบวมตัวตามระยะ เวลา 1,2,4,8,16,32,... นาที เพิ่มช่วงการอ่านประมาณเท่าตัวในวันแรก ในวันต่อไปอ่านวันละ 2 ครั้ง)

6. หลังจากครบกำหนด อ่านค่า Dial Gauge ครั้งสุดท้าย ยก Mold ขึ้นจากน้ำแล้ววางทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก Mold จนหมด เอา Surcharge Rings ,Tripod ,Perforated Plate และกระดาษกรองด้านบนออกแล้วน้ำไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำตัวอย่างดินไปทดสอบ

การทดสอบการกด (Penetration)

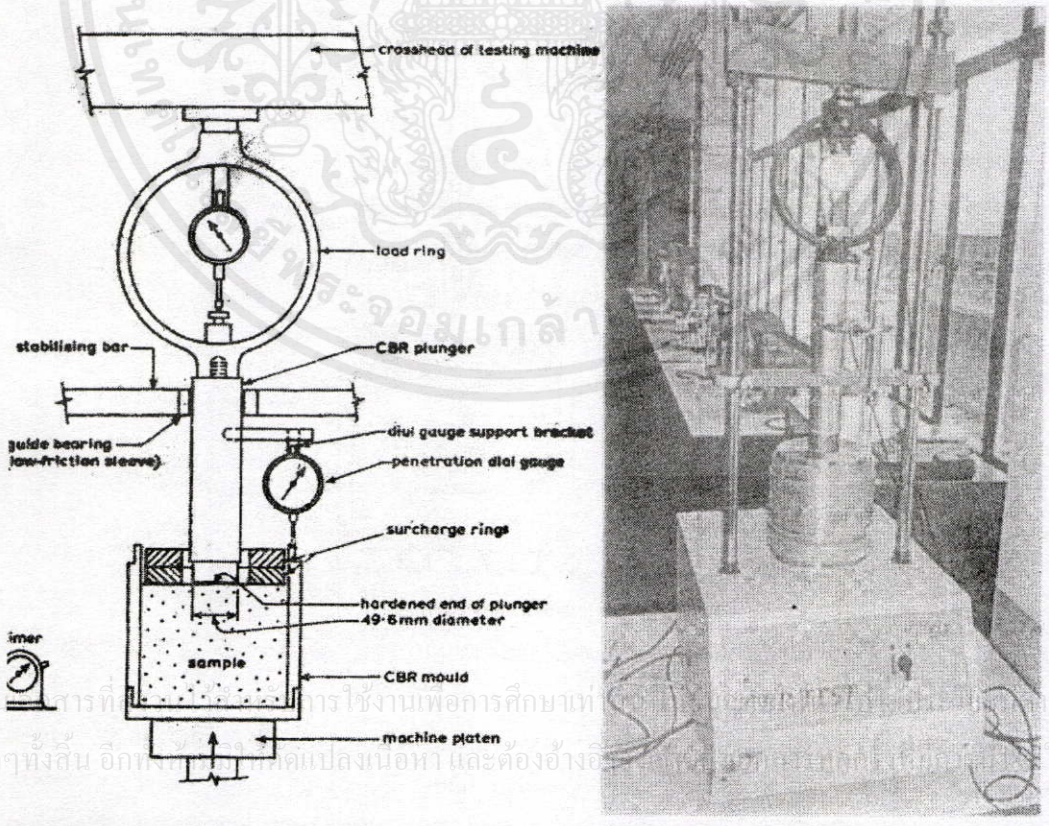
1. จัดวางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) อย่างน้อย 10 lb ลงบนตัวอย่างดินใน Mold

2. จัดวาง Mold พร้อมตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งมี Piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่โดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินใน Mold แตะสัมผัสกับ Piston ดังกล่าว

3. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดการยุบตัวเข้ากับ Piston หรือฐานของ Proving Ring จัดปลายของ Dial Gauge ให้ชนเสมอขอบ Mold จากนั้นปรับมาตรหน้าปัดของ Dial Gauge และ Proving Ring ให้เป็น 0

4. เริ่มกดทอสอบโดยใส่แรงกดในอัตรา 0.05 นิ้ว/นาที พร้อมกับอ่านค่า Load ที่ตรงกับการยุบตัว (Penetration) 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.225, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.500 จึงหยุด

5. นำ Mold ออกจากเครื่องทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 g สำหรับดินชนิด Fine Grained Soil หรือประมาณ 500 g สำหรับดินชนิด Coarse Grained Soil เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น



(ก) (ข)

รูปที่ 6.10 (ก),(ข) แสดงการเตรียมเครื่องมือเพื่อทำการกดตัวอย่าง [(ก)Edit from Head Vol.2 ,1988]

เอกสารนี้เป็นการที่ [illegible] การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง [illegible]

2.7.6 การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

$$\text{Test Unit Stress} = \frac{\text{Test Unit Load (lb)}}{3\ (\text{in}^2)} \quad \text{psi}$$

Test Unit Load = R x K

เมื่อ R = ค่าอ่านบน Dial Gauge ของ Proving Ring ,ขีด(0.0001" หรือ 0.002 mm)

K = ค่าคงที่ของ Proving Ring ,lb ต่อขีด หรือ kg ต่อขีด

2. Plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Test Unit Stress กับค่า Penetration จากทั้งตัวอย่างดินแบบ Unsoaked และ Soaked Sample ลงบนกราฟเดียวกัน พร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีปรับแก้ข้างต้น

3. อ่านค่า Test Unit Stress จากกราฟที่ค่า Penetration 0.1" และ 0.2" และคำนวณหาค่า CBR

$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Test}} \times 100 \quad (\%)$$

ค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration 0.1" และ 0.2" แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

ปกติค่า CBR ที่ 0.1" ควรจะมีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.2" ถ้าค่า CBR ที่ 0.2" มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1" จะต้องทำการทดสอบใหม่หากทดสอบใหม่ยังได้ค่า CBR ที่ 0.2" มากกว่าค่า CBR ที่ 0.1" ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2"

4. คำนวณการบวมตัว (Swell)

$$\text{ค่าการบวมตัว} = \frac{\text{ค่าบวมตัวระหว่างแช่น้ำความสูงของตัวอย่าง}}{} \times 100 \quad (\%)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการทราบค่าการบวมตัวที่ระยะเวลาต่างๆ ควร Plot กราฟความสัมพันธ์ค่าบวมตัวต่อเวลาด้วย

5. คำนวณหาความหนาแน่นของดินแห้ง (Dry Density) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ของแต่ละตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบการบดอัดดิน

6. คำนวณค่าซึมซับได้ (Absorption)

$$\text{ค่าซึมซับได้} = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \qquad (\%)$$

$$= \frac{W_a(100 + w)}{W} \qquad (\%)$$

เมื่อ W_a= น้ำหนักน้ำซึมซับ ,g

W_S = น้ำหนักดินแห้ง ,g

W = น้ำหนักดินชื้น ,g

w = ความชื้น ,%

7.หากต้องการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่า CBR ให้ทำการทดสอบตัวอย่างอีก 4 ตัวอย่าง (แบบ Soaked และ Unsoaked Sample อย่างละ 2 ตัวอย่าง) โดยให้การบดอัดใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่า Optimum Moisture Content และอีกหนึ่งตัวอย่างใช้ปริมาณน้ำมากกว่า Optimum Moisture Content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT T.P. ROAD
SOIL DESCRIPTION COMPACT SOIL
LOCATION T.P.
TEST BY KANOON

OWNER _____
SAMPLE DEPTH 1.2 m
TEST NO. CBR-1
DATE JUNE 10,1999

COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:

MOLD NO.	M-1	M-2			
COMPACTION TYPE	MODIFIED PROCTOR	MODIFIED PROCTOR			
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15.2	15.2			
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5	11.4			
VOLUME OF SAMPLE ,cm^3	2085.71	2067.58			
WT OF MOLD ,g	7124	7160			
WT OF MOLD + WET SOIL ,g	11764.65	11695			
WT WET SOIL ,g	4640.65	4535			
WT DRY SOIL ,g	4418.55	4398.52			
WET DENSITY ,T/m^3	2.225	2.193			
WATER CONTENT ,%	5.07	3.10			
DRY DENSITY ,T/m^3	2.118	2.127			

AFTER SOAKING:		SWELL DATA:			
MOLD NO.	M-1	MOLD NO.		M-1	
SURCHARGE ,lb	10	DATE	ELAPSE TIME	SWELLING(mm)	%SWELL
INITIAL WT WET SOIL+MOLD+BASE ,g	12305.90	JUNE 10,1999	0 hr.	0	0.00
FINAL WT WET SOIL+MOLD+BASE ,g	12414.11		24 hr.	0.095	0.08
WT OF MOLD + BASE PLATE ,g	7665.25		48 hr.	0.110	0.10
INITIAL WT OF WET SOIL ,g	4640.65		72 hr.	0.110	0.10
WT OF WATER ABSORBED ,g	108.21				
% WATER ABSORBED	2.45				

CBR LOAD TEST DATA:

PENETRATION ,in	MOLD NO. M-1		MOLD NO. M-2	
	TYPE SOAKED		TYPE UNSOAKED	
	DATE	JUNE 14,1999	DATE	JUNE 10,1999
	DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)
0.000	0	0	0	0
0.025	69	43	199	125.00
0.050	137	86	400	251
0.075	194	122	561	352
0.100	314	197	723	454
0.150	405	254	978	614
0.200	529	332.00	1134	712
0.250	645	405	1359	853
0.300	754	473	1496	939
0.400	876	550.00	1670	1048
0.500	1062	666.67	1776	1115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269874
fax:7392409

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT _____ OWNER _____
SOIL DESCRIPTION _____ SAMPLE DEPTH _____
LOCATION _____ TEST NO. _____
TEST BY _____ DATE _____

COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:

MOLD NO.					
COMPACTION TYPE					
DIAMETER OF SAMPLE ,cm					
HEIGHT OF SAMPLE ,cm					
VOLUME OF SAMPLE ,cm^3					
WT. OF MOLD ,g					
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g					
WT. WET SOIL ,g					
WT. DRY SOIL ,g					
WET DENSITY ,T/m^3					
WATER CONTENT ,%					
DRY DENSITY ,T/m^3					

AFTER SOAKING:		SWELL DATA:			
MOLD NO.		MOLD NO.			
SURCHARGE ,lb		DATE	ELAPSE TIME	SWELLING(mm)	%SWELL
INITIAL WT. WET SOIL+MOLD+BASE ,g					
FINAL WT. WET SOIL+MOLD+BASE ,g					
WT. OF MOLD + BASE PLATE ,g					
INTIAL WT. OF WET SOIL ,g					
WT. OF WATER ABSORBED ,g					
% WATER ABSORBED					

CBR LOAD TEST DATA:

PENETRATION ,in	MOLD NO. _____		MOLD NO. _____		
	TYPE _____		TYPE _____		
	DATE:		DATE:		
	DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3268974
fax:7392409

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT I.P. ROAD

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION COMPACT SOIL

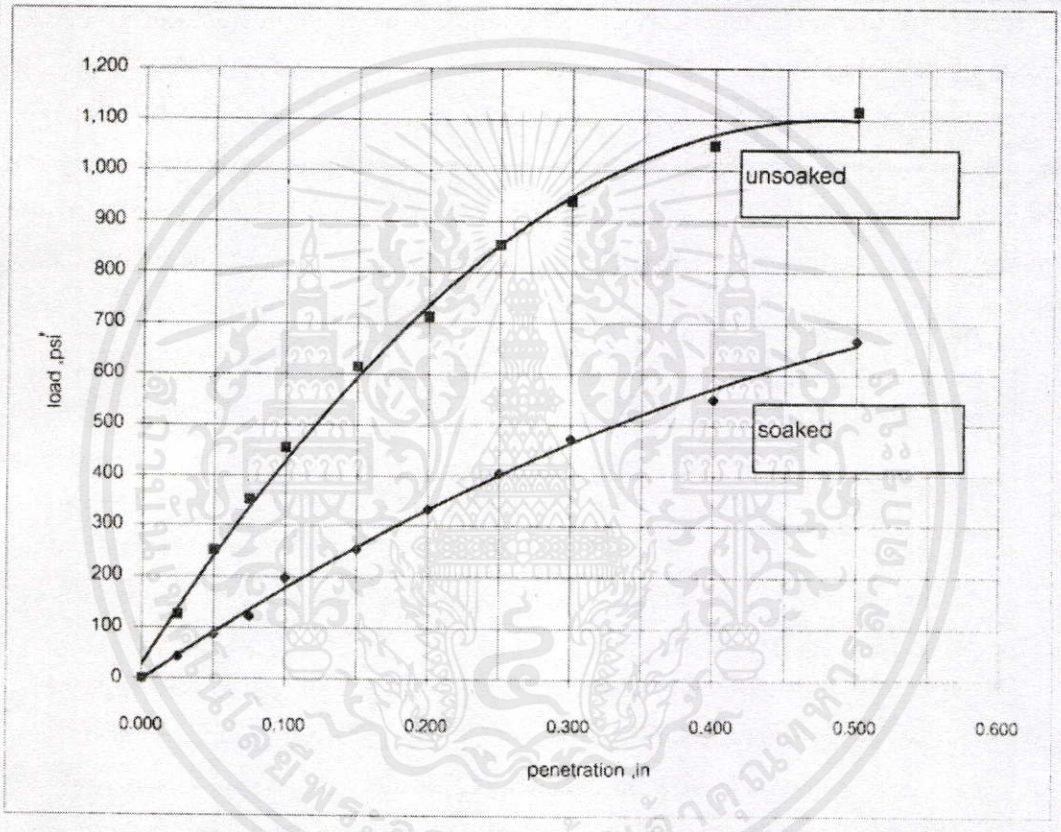
SAMPLE DEPTH 1.2 m

LOCATION I.P.

TEST NO. CBR-1

TEST BY KANOON

DATE JUNE 10-14,1999



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
soaked sample:	19.70	22.13	test again
unsoaked sample:	45.40	47.47	test again

remark:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

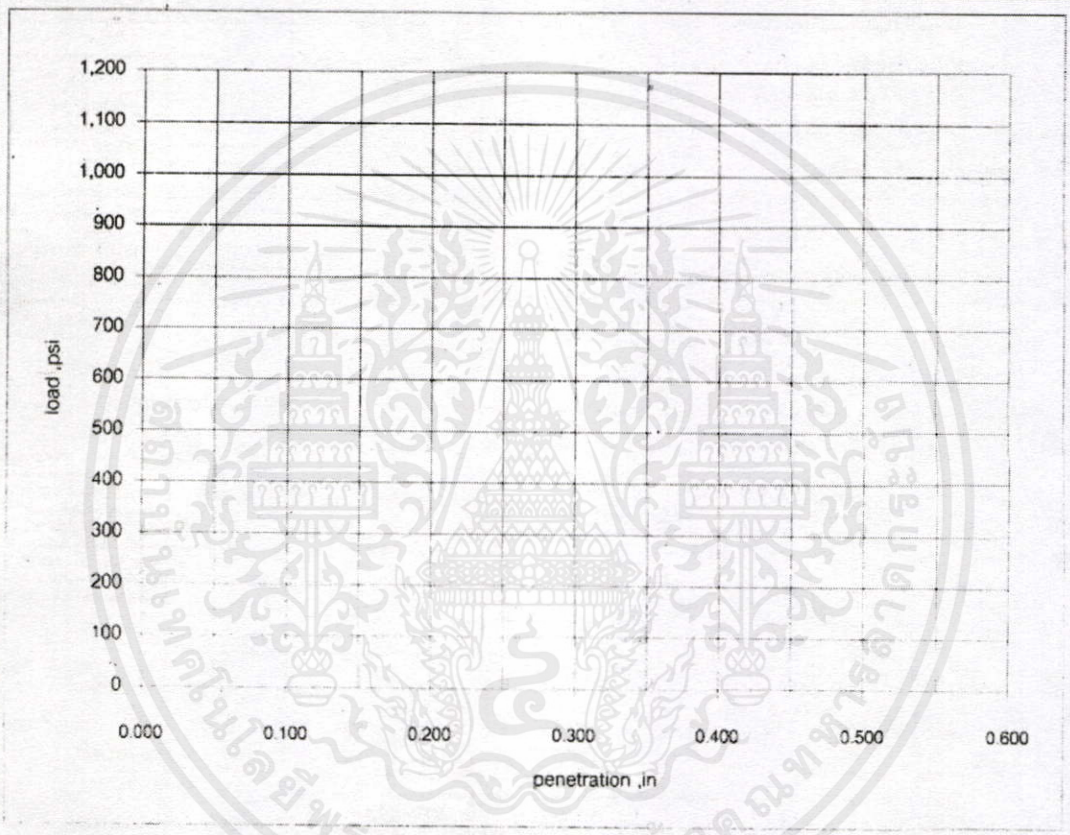
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ SAMPLE DEPTH _____

LOCATION _____ TEST NO. _____

TEST BY _____ DATE _____



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
soaked sample:			
unsoaked sample:			

remark:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (FIELD DENSITY TEST)

2.8.1 อ้างอิง

ASTM D 1556 , D 2167

2.8.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม

2.8.3 ทฤษฎี

ในการบดอัดดินในสนามเช่น งาน ถนน สนามบิน หรืองานเขื่อน จะต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นในดินรวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการบดอัดให้ใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ(ดูรายระเอียดในเรื่องการบดอัดดิน) เพื่อให้ดินมีความหนาแน่นตามที่เราต้องการ ในการหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามเป็นการทดสอบเพื่อดูว่าดินได้ความหนาแน่นตามมาตรฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยถือว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการเป็นค่าความหนาแน่นมาตรฐาน 100 % ส่วนค่าความหนาแน่นในสนามที่ได้จากการทดลองนี้ จะนำไปเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นในห้องทดลอง เรียกว่าเปอร์เซ็นต์บดอัดหรือค่าบดอัดสัมพัทธ์ (Relative Compaction) ข้อกำหนดรายละเอียด (Specification) จะกำหนดเปอร์เซ็นต์บดอัดของงานแต่ละงานไว้ เช่น เปอร์เซ็นต์การบดอัดสำหรับงานบดอัดชั้นรองพื้นทาง (Sub base) ของถนนจะต้องไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) เป็นต้น

การหาความหนาแน่นของดินในสนามทำได้หลายวิธี แบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. Disturbed Specimen Methods ได้แก่วิธี Oil Replacement Method, Sand Replacement Method และ Water Balloon Method

2. Undisturbed Specimen Methods ได้แก่วิธี Core-Cuter Method, Water Displacement Method

3. Nuclear Method

ในการทดลองนี้จะกล่าวถึงวิธี Sand Replacement Method และวิธี Water Balloon Method เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแทนที่ด้วยทราย (Sand Replacement Method or Sand Cone Method)

วิธีการหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยใช้วิธี Sand Replacement Method หรือวิธีหาความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone) ทำได้โดยการขุดดินบริเวณที่บดอัดเสร็จแล้ว และนำมวลดินที่ขุดออกมาไปชั่งหาน้ำหนัก แล้วหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุด แต่เราไม่สามารถวัดปริมาตรของหลุมได้โดยตรง เราจึงใช้วิธีการนำทรายที่รู้ความหนาแน่นใส่ลงไปในหลุม ปริมาตรของทรายที่ลงไปแทนที่ดินในหลุม ก็คือปริมาตรของหลุมนั่นเอง

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักของดินชื้นที่ขุดจากหลุมทดสอบ}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$$

และเมื่อนำดินที่ขุดจากหลุมไปหาปริมาณความชื้น จะสามารถหาหน่วยน้ำหนักแห้งของดินได้จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{(1+w)}$$

เมื่อ w = ความชื้นของดิน , เปอร์เซ็นต์/100

วิธีการแทนที่ด้วยบอลลูนน้ำ (“Water Balloon Method)

โดยหลักในการหาความหนาแน่นของดินในสนามแล้วเหมือนกันกับวิธี Sand Cone คือนำมวลดินขุดออกมาชั่งหาน้ำหนัก ก็เป็นน้ำหนักดินชื้นที่อยู่ในหลุม ต่างกันตรงที่การหาปริมาตรของหลุมทดสอบที่สะดวกและรวดเร็วกว่า ในการทดสอบอาศัยการบีบลูกยางเพื่ออัดลม ความดันจากลมจะไปอัดน้ำในกระบอกแก้ว และน้ำในกระบอกแก้วจะถูกอัดลงไปในบอลลูนยางเข้าไปในหลุมทดสอบที่ขุดไว้ใต้ base plate ความดันลมที่เราบีบจากลูกยางนี้จะทำให้บอลลูนน้ำแนบกับผนังดินที่ขุดในหลุมทดสอบมากขึ้น ทำให้ปริมาตรที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น ปริมาตรของหลุมทดสอบก็คือปริมาตรของน้ำในกระบอกแก้วที่ลดระดับลงนั่นเอง โดยดูจากสเกลบอกปริมาตรข้างกระบอกแก้วนั้น

ในการหาความหนาแน่นของดินด้วยบอลลูนน้ำนั้นไม่ควรใช้กับดินที่มีลักษณะเม็ดแหลมคม เนื่องจากอาจแทงทะลุบอลลูนได้ และไม่ควรใช้กับดินที่มีเม็ดใหญ่เพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากผนังยางจะไม่แนบโดยตลอดปริมาตรหลุม นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงขนาดของหลุมที่จะหาปริมาตรด้วยเนื่องจากปริมาตรที่จำกัดของบอลลูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำออกเผยแพร่ต่อในรูปแบบอื่นใด ครั้งที่มีการ ใช้

ในการทดสอบทั้งสองวิธีนั้นเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของดินมีความถูกต้องมากขึ้น ASTM จึงได้แนะนำปริมาตรของหลุมและปริมาณดินตัวอย่างดินที่เหมาะสมสำหรับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดิน

ซึ่งจะช่วยให้ค่าปริมาตรของหลุมมีความถูกต้องมากขึ้น (หากตัวอย่างดินที่ทดสอบมีดินขนาดเม็ดใหญ่อยู่มากจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ใหญ่กว่าดินที่มีขนาดเล็ก เพราะฉะนั้นหากเราขุดโดยมีปริมาตรหลุมที่เล็กจะทำให้ความหนาแน่นของดินที่หาได้คลาดเคลื่อน)

ตารางที่ 7.1 แสดงปริมาตรของหลุมและปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทดสอบ

ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินตามขนาดตะแกรง	ปริมาตรของหลุมอย่างน้อย $cm^3(ft^3)$	น้ำหนักของดินอย่างน้อยที่จะนำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (g)
No.4	700 (0.025)	100
12 mm	1400 (0.050)	250
25 mm	2100 (0.075)	500
50 mm	2800 (0.100)	1000

2.7.4 อุปกรณ์

วิธี Sand Cone Method

1. Sand-Cone apparatus พร้อมแผ่นรอง (Base Plate)

2. Ottawa sand หรือทรายที่มีเม็ดกลมและมีขนาดเท่าๆกัน (หากไม่มีทราย Ottawa สามารถใช้ทรายปกติที่ร่อนผ่านตะแกรง No.20 และค้างบน No.40 ผ่านการล้างและอบแห้ง แทนก็ได้)

3. แปรงปัดเศษดิน

4. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 g

5. อุปกรณ์ขุดดิน (สิ่วเจาะดิน ค้อน ช้อนตักดิน)

6. ถาดหรือภาชนะใส่ดิน และกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

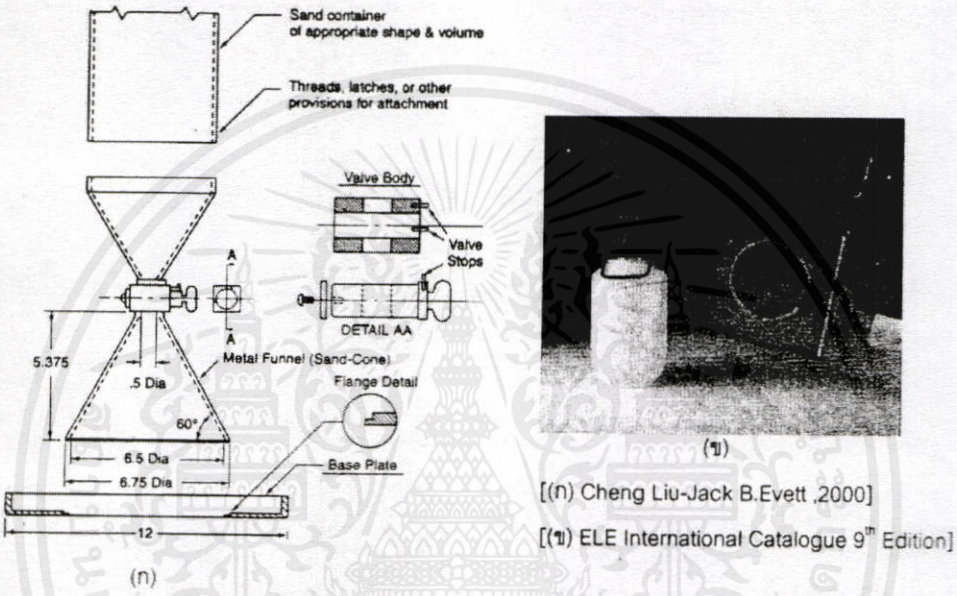
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Water Balloon Method

1.เครื่องมือหาความหนาแน่นในสนามแบบบอลลูนยาง พร้อมแผ่นรอง (Base Plate)

2.เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 g

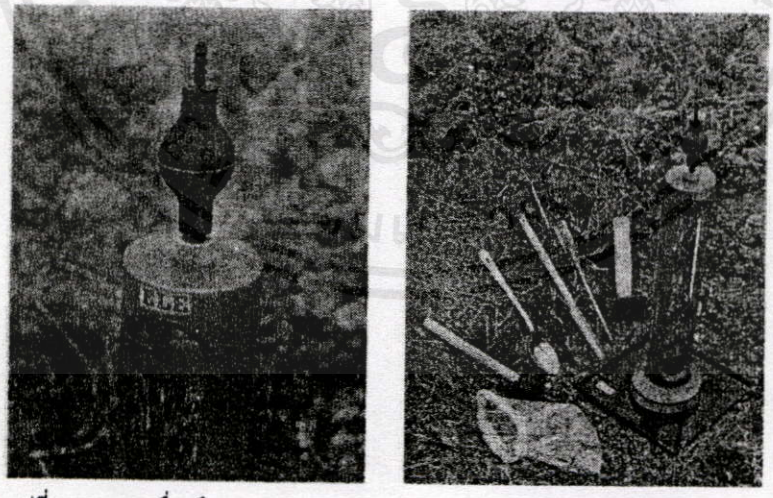
3.ถาดหรือภาชนะใส่ดิน และกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน



[(ก) Cheng Liu-Jack B.Evett ,2000]

[(ข) ELE International Catalogue 9th Edition]

รูปที่ 7.1 (ก),(ข) แสดงเครื่องมือ Sand Cone



รูปที่ 7.2 แสดงเครื่องมือ Water Balloon (ELE International Catalogue 9th Edition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง Sand Cone Method

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือขั้นตอนการ Calibrate และขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการ Calibrate

การ Calibrate หาน้ำหนักของทรายในกรวยและในแผ่น base plate

1. ประกอบกรวยเข้ากับขวด วางขวดให้กรวยหงายขึ้น เปิดวาล์วแล้วเททรายลงในขวดผ่านกรวย โดยเทให้ทรายไหลโดยอิสระและสม่ำเสมอ เทจนกระทั่งทรายอยู่ประมาณค่อนขวด นำไปชั่งน้ำหนัก ทรายในขวด + ขวด + กรวย (Wa)

2. เลือกพื้นที่ราบเรียบ แล้ววาง Base plate ลง จากนั้นคว่ำขวดให้กรวยวางลงบน base plate

3. เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงสู่กรวยอย่างอิสระ และปิดวาล์วเมื่อทรายหยุดไหล

4. นำขวดและทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น ทรายที่เหลือในขวด+ขวด+กรวย (Wb)

5. หาน้ำหนักทรายในกรวยและในแผ่น base plate (W3) ได้จาก W3 = Wa-Wb

6. ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

การ Calibrate หาน้ำหนักทรายในขวด

1. ชั่งน้ำหนักของขวดเปล่า บันทึกค่าเป็น Wc

2. ประกอบกรวยเข้ากับขวด วางขวดให้กรวยหงายขึ้น เปิดวาล์วแล้วเททรายลงในขวดผ่านกรวย โดยเทให้ทรายไหลโดยอิสระและสม่ำเสมอ เทจนกระทั่งทรายเต็มขวด หมุนเอากรวยออกแล้วปาดทรายบนปากขวดให้เรียบ

3. นำขวดบรรจุทรายไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น Wd

4. น้ำหนักทรายในขวด =Wd-Wc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Calibrate หาปริมาตรทรายในขวด

1. เติมน้ำลงในขวดจนล้นท่วมขึ้นปากขวด

2. เช็ดภายนอกขวดให้แห้ง วัดอุณหภูมิ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักขวด + น้ำ

3. หาน้ำหนักน้ำในขวด W โดยนำน้ำหนักขวดเปล่าหักออกจากน้ำหนักขวด + น้ำ

4. คำนวณหาปริมาตรขวด จากสมการ

ปริมาตรของขวด = WT cm^3

เมื่อ W = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (g)

T = ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักน้ำหนึ่งกรัม ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 7.2

5.จากค่าปริมาตรของขวดและน้ำหนักทรายในขวด สามารถคำนวณหาความหนาแน่นของทราย ได้จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของทราย} = \frac{\text{น้ำหนักของทรายในขวด}}{\text{ปริมาตรของขวด}} \quad g/cm^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 แสดงปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนักน้ำหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักน้ำหนึ่งกรัม
°C	°F	cm^3/g
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ใส่ทรายในขวดจนเกือบเต็มขวด นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมกรวย บันทึกค่าเป็น W1

2. เตรียมผิวดินที่จะทำการทดสอบให้เรียบ

3. วาง base plate ลงและตอกตะปูยึด base plate กับพื้นดินที่จะทดสอบ

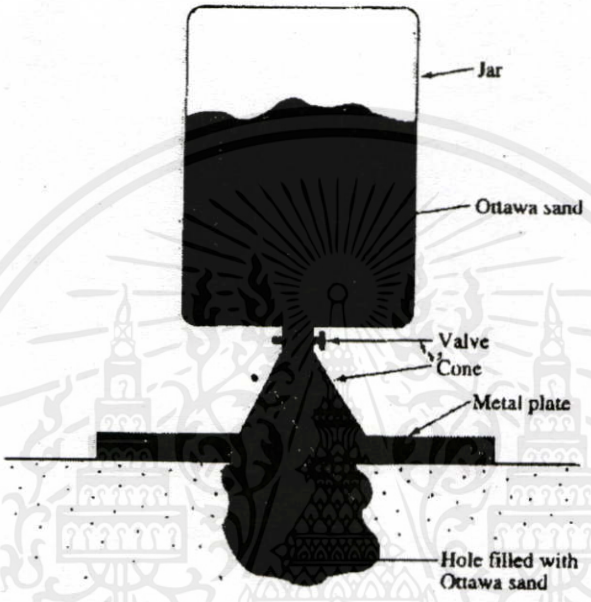
4. ขุดดินให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของ base plate โดยขุดลึกตามปริมาตรของหลุมที่ต้องการ(ปริมาตรของหลุมควรพอเหมาะสำหรับขนาดเม็ดดินที่ทำการทดสอบ) พยายามขุดหลุมให้เป็นทรงกลม ใช้แปรงปัดเศษดินบน Base Plate จากข้างหลุมและจากก้นหลุมให้หมด

5. นำดินที่ขุดขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น Wt นำตัวอย่างดินไปหาความชื้น (w) โดยปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาความชื้นมีค่าอย่างน้อยตามตารางที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำขวดบรรจุทรายที่เตรียมไว้มาคว่ำลงบน base plate เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงในหลุมอย่างอิสระ จนกระทั่งทรายหยุดไหล จึงปิดวาล์ว แล้วนำทรายที่เหลือในขวดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W2

7. เก็บทรายในหลุมขึ้นมา แล้วนำไปร่อนทำความสะอาดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 7.3 แสดงการทดสอบด้วยวิธี Sand Cone (BRAJA M.DAS,1993)

วิธีการทดลอง Water Balloon Method

1. ทำการประกอบชุดทดสอบ water balloon apparatus โดยเติมน้ำในกระบอกแก้วให้ระดับน้ำเกือบเต็ม หรืออาจให้ต่ำกว่าขีดศูนย์ของกระบอกแก้วเล็กน้อย

2. เลือกพื้นที่ราบเรียบ แล้ววาง Base Plate ลง จากนั้นวาง water balloon apparatus ลงบน base plate ทำการบีบลูกยางอัดลมให้ลมดันลงบนผิวน้ำ และนำไปดันบอลลูนยางแนบกับแผ่น base plate และพื้นที่วาง ทำการจดระดับน้ำไว้ (V1) จากนั้นกลับลูกยางเอาด้านที่เกิดแรงดูด (suction) ประกอบ และบีบลูกยางทำให้เกิดแรงดูดดึงน้ำ และ balloon ยางขึ้นมาเก็บในกระบอกแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เตรียมผิวดินที่จะทำการทดสอบให้เรียบ

4. วาง base plate ลงและตอกตะปูยึด base plate กับพื้นดินที่จะทดสอบ

5. ขุดดินให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของ base plate โดยขุดลึกตามปริมาตรของหลุมที่ต้องการ(ปริมาตรของหลุมควรพอเหมาะสำหรับขนาดเม็ดดินที่ทำการทดสอบ) พยายามขุดหลุมให้เป็นทรงกลม ใช้แปรงปัดเศษดินบน Base Plate จากข้างหลุมและจากก้นหลุมให้หมด

6. นำดินที่ขุดขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น Wt นำตัวอย่างดินไปหาความชื้น (w) โดยปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาความชื้นมีค่าอย่างน้อยตามตารางที่ 7.1

7. วางชุดทดสอบ water balloon ลงบน base plate ประกอบลูกบีบยางโดยใช้ด้านที่เกิดแรงดัน จากนั้นทำการบีบอัดลมเพื่อให้เกิดแรงดันน้ำไปดันบอลลูนให้ผนังบอลลูนแนบกับหลุมขุด ทำการอ่านค่าระดับน้ำที่ได้ (V2) และในขณะที่อัดความดันให้กับบอลลูนนั้นต้องคอยกดชุดทดสอบ water balloon ให้แนบกับ base plate ด้วยไม่ให้ลอยขึ้นได้

8. กลับลูกบีบยางเป็นด้านดูด และทำการบีบดึงระดับน้ำและบอลลูนขึ้น สังเกตให้บอลลูนกลับมาอยู่ในกระบอกแก้วตามเดิมมิฉะนั้นจะทำให้บอลลูนยางฉีกขาดได้ ในขณะเคลื่อนย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 การคำนวณผล

1.หน่วยน้ำหนักดินแห้งและดินเปียก

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักของดินชื้นที่ขุดจากหลุมทดสอบ}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad ,g/cm^3$$

$$= \frac{W_t}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad ,g/cm^3$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad ,g/cm^3$$

$$= \frac{\gamma_{wet}}{(1+w)} \quad ,g/cm^3$$

เมื่อ γ_{wet} = หน่วยน้ำหนักดินเปียก (wet unit weight)

γ_{dry} = หน่วยน้ำหนักดินแห้ง (dry unit weight)

w = ความชื้นของดิน (water content) , เปอร์เซ็นต์/100

ปริมาตรของหลุมหาได้จากวิธี Sand Cone และวิธี Water Balloon

ปริมาตรของหลุมจากวิธี Sand Cone Method

ปริมาตรของหลุมที่ขุด = $\frac{\text{น้ำหนักของทรายในหลุม (g)}}{\text{ความหนาแน่นของทราย (g/cm}^3\text{)}}$,cm^3

น้ำหนักของทรายในหลุม= W1 – W2 –W 3 ,g

เมื่อ W1 = น้ำหนักทรายในขวด + กรวย

W2 = นำหนักทรายที่เหลือในขวดหลังทดสอบ + กรวย ,g

W3 = น้ำหนักทรายในกรวยและในแผ่น base plate ,g

ความหนาแน่นของทราย = $\frac{\text{น้ำหนักของทรายในขวด}}{\text{ปริมาตรของขวด}}$,g/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของหลุมจากวิธี Water Balloon Method

ปริมาตรของหลุมที่ขุด = V2– V1 cm^3

เมื่อ: V1 = ปริมาตรก่อนการทดสอบ , cm^3

V2 = ปริมาตรหลังการทดสอบ , cm^3

2. Relative compaction, RC

$$\text{Relative compaction, RC} = \frac{\gamma_{df}}{\gamma_{dL}} \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อ γ_{df} = หน่วยน้ำหนักดินในสนาม (dry unit weight in field)(จากการทดสอบ Field Density)

γ_{dL} = หน่วยน้ำหนักดินในห้องทดลอง (dry unit weight in laboratory)(จากการทดสอบ Compaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

FIELD DENSITY TEST(SAND CONE CALIBRATION)

PROJECT GEO-TEST OWNER _____

SOIL DESCRIPTION FINE GRAVEL SOIL TEST BY KANOON

LOCATION CV BUILDING DATE JUNE 10,1999

WEIGHT OF SAND IN CONE AND BASE PLATE				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
INTIAL WT. OF SAND + JAR + CONE ,g	5632	5635	5633	
FINAL WT. OF SAND + JAR + CONE ,g	3813.00	3812.00	3811	
WT. OF SAND IN CONE AND BASE PLATE ,g	1819.00	1823.00	1822.00	
AVERAGE	1821.33			

WEIGHT OF SAND IN JAR				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
WT. OF JAR ,g	1626	1628	1627	
WT. OF JAR + SAND ,g	7744	7745	7743	
WT. OF SAND IN JAR ,g	6118	6117	6116	
AVERAGE	6117.00			

VOLUME OF WATER IN JAR				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
WT. OF JAR ,g	1626	1628	1627	
WT. OF JAR + WATER ,g	5577	5576	5576	
WT. OF WATER (W) ,g	3951	3948	3949	
WATER TEMPERATURE ,C	30	30	30	
(T) FROM TABLE 7.2 ,cm^3/g	1.00435	1.00435	1.00435	
VOLUME OF WATER IN JAR WxT ,cm^3	3968.19	3965.17	3966.18	
AVERAGE	3966.51			

DENSITY OF SAND = $\frac{\text{WT. OF SAND IN JAR}}{\text{VOLUME OF WATER IN JAR}}$ = 1.542 g/cm^3

REMARK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

FIELD DENSITY TEST(SAND CONE CALIBRATION)

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ TEST BY _____

LOCATION _____ DATE _____

WEIGHT OF SAND IN CONE AND BASE PLATE				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
INTIAL WT. OF SAND + JAR + CONE ,g				
FINAL WT. OF SAND + JAR + CONE ,g				
WT. OF SAND IN CONE AND BASE PLATE ,g				
AVERAGE				

WEIGHT OF SAND IN JAR				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
WT. OF JAR ,g				
WT. OF JAR + SAND ,g				
WT. OF SAND IN JAR ,g				
AVERAGE				

VOLUME OF WATER IN JAR				
DETERMINATION NO.	1	2	3	
WT. OF JAR ,g				
WT. OF JAR + WATER ,g				
WT. OF WATER (W) ,g				
WATER TEMPERATURE ,C				
(T) FROM TABLE 7.2 $,cm^3/g$				
VOLUME OF WATER IN JAR WxT $,cm^3$				
AVERAGE				

DENSITY OF SAND = $\frac{\text{WT. OF SAND IN JAR}}{\text{VOLUME OF WATER IN JAR}}$ = _____ g/cm^3

REMARK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

FIELD DENSITY TEST

PROJECT GEO-TEST
OWNER _____
SOIL DESCRIPTION FINE GRAVEL SOIL
TEST BY KANOON
LOCATION CV BUILDING
DATE JUNE 10,1999

WEIGHT OF WET SOIL (W_1)				
Test Hole No.	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4
WT. of Wet Soil + Pan ,g	1725.30	1854.52		
WT. of Pan ,g	488.50	475.12		
WT. of Wet Soil (W_1) ,g	1236.80	1379.40		
WATER CONTENT				
Can No.	C-1	C-2		
WT. of Wet Soil + Can ,g	354.21	295.48		
WT. of Dry Soil + Can ,g	334.56	286.26		
WT. of Can ,g	102.42	98.52		
WT. of Water ,g	19.65	9.22		
WT. of Dry Soil ,g	232.14	187.74		
% WATER CONTENT	8.46	4.91		
VOLUME OF HOLE				
VOLUME FROM SAND CONE METHOD				
Initial WT. of Sand + Jar + Cone (W_1) ,g	7314.00			
Final WT. of Sand + Jar + Cone (W_2) ,g	4272.00			
WT. of Sand in Cone and Base Plate(W_3) ,g	1821.33			
WT. Of Sand in Hole = W_1- W_2- W_3 ,g	1220.67			
Density of Sand ,g/cm^3	1.542			
Volume of Hole = wt.sand/density ,cm^3	791.53			
VOLUME FROM WATER BALLOON METHOD				
Initial Reading (V_1) ,cm^3		330		
Final Reading (V_2) ,cm^3		1280		
Volume of Hole = V_2-V_1 ,cm^3		950		
Correction Factor				
Corrected Volume of Hole ,cm^3				
SUMMARY				
Wet Unit Weight in Field ,g/cm^3	1.56	1.45		
Dry Unit Weight in Field ,g/cm^3	1.44	1.38		
Dry Unit Weight in Laboratory ,g/cm^3				
Relative Compaction				

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

FIELD DENSITY TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ TEST BY _____

LOCATION _____ DATE _____

WEIGHT OF WET SOIL (W_1)				
Test Hole No.	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4
WT. of Wet Soil + Pan ,g				
WT. of Pan ,g				
WT. of Wet Soil (W_1) ,g				

WATER CONTENT				
Can No.				
WT. of Wet Soil + Can ,g				
WT. of Dry Soil + Can ,g				
WT. of Can ,g				
WT. of Water ,g				
WT. of Dry Soil ,g				
% WATER CONTENT				

VOLUME OF HOLE				
VOLUME FROM SAND CONE METHOD				
Initial WT. of Sand + Jar + Cone (W_1) ,g				
Final WT. of Sand + Jar + Cone (W_2) ,g				
WT. of Sand in Cone and Base Plate(W_3) ,g				
WT. Of Sand in Hole = W_1- W_2- W_3 ,g				
Density of Sand ,g/cm^3				
Volume of Hole = wt.sand/density ,cm^3				
VOLUME FROM WATER BALLOON METHOD				
Initial Reading (V_1) ,cm^3				
Final Reading (V_2) ,cm^3				
Volume of Hole = V_2-V_1 ,cm^3				
Correction Factor				
Corrected Volume of Hole ,cm^3				

SUMMARY				
Wet Unit Weight in Field ,g/cm^3				
Dry Unit Weight in Field ,g/cm^3				
Dry Unit Weight in Laboratory ,g/cm^3				
Relative Compaction				

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (UNCONFINED COMPRESSIVE TEST)

2.9.1 อ้างอิง

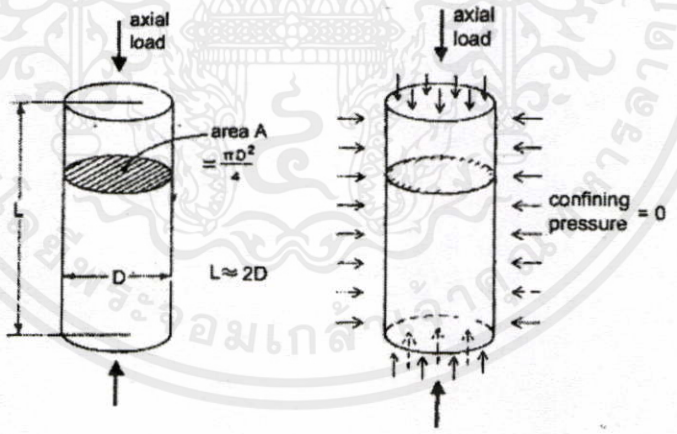
ASTM D 2166

2.9.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าเรื่องเฉือนของดินเหนียวแบบไม่มีแรงดันด้านข้างและไม่ระบายน้ำ

2.9.3 ทฤษฎี

การหากำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Unconfined Compression Test เป็นการเฉือนตัวอย่างดินโดยไม่มีแรงดันดินด้านข้างกระทำต่อผิวมวลตัวอย่าง (Confining Pressure) ทำให้สภาพของดินตัวอย่างที่ทดสอบไม่เหมือนกับสภาพดินในธรรมชาติ ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยวิธีนี้จึงเป็นค่าประมาณเท่านั้น แต่วิธีการทดสอบ Unconfined Compression Test สามารถปฏิบัติได้รวดเร็วและประหยัด จึงเป็นวิธีที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย หากเราต้องการได้ตัวอย่างดินมีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะในธรรมชาติมากที่สุดต้องทดสอบด้วยวิธี Triaxial Test



รูปที่ 11.1 แสดง Model การทดสอบ Unconfined Compression Test (Head Vol.2 ,1988)

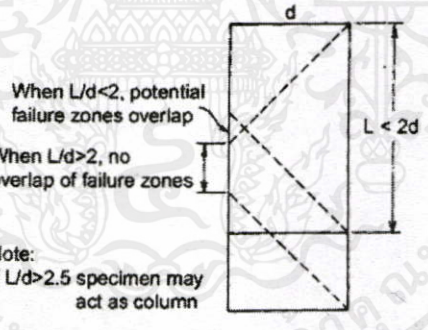
การทดสอบกระทำโดยใส่แรงตามแนวแกน (Axial Load) ให้กับผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างโดยไม่มีแรงดันด้านข้าง จนตัวอย่างวิบัติปกติจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที การทดสอบจะเป็นแบบ Undrained Test เนื่องจากระยะเวลาจากเริ่มใส่ Load จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติใช้เวลาน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่น้ำ (pore water) จะไหลออกจากตัวอย่างดินและปริมาณของความชื้นในตัวอย่างยังคงเดิม เราอาจเรียกการทดสอบแบบนี้ว่า Quick Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

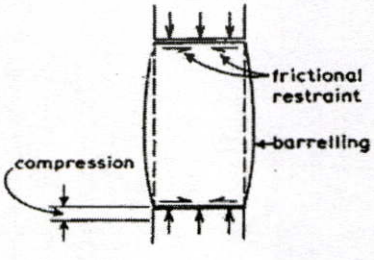
กินที่นำมาทดสอบจะเป็นดินแบบมีความเชื่อมแน่น(Cohesive Soil) พวกดินเหนียว เราจะไม่ใช้วิธี Unconfined Test กับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non-cohesive Soil) พวกดินตะกอน (silt) หรือดินที่มีทรายปน (Sandy Clay) เนื่องจากเราไม่สามารถตั้งตัวอย่างในแท่นทดสอบได้เพราะดินจะหลุดร่อนออกมาก่อนและค่าแรงเฉือนที่ได้ก็ต่ำเกินไป ควรจะทดสอบด้วยวิธี Direct Shear แทน

ความสูงของตัวอย่างดินที่เหมาะสมในการทดสอบความจะมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2:1 หากความสูงน้อยกว่านี้จะเกิดผลกระทบจากการตัดกันของระนาบพังทลาย (45°) ดังรูปที่ 11.2 และหากตัวอย่างมีความสูงมากเกินไป ผลกระทบจากการแอ่นตัว (Buckling)เนื่องจากความชะลูดมีอิทธิพลต่อการวิบัติของตัวอย่างดินทำให้แรงอัดที่ได้ไม่ใช้แรงอัดที่แท้จริง ปกติความสูงของตัวอย่างควรอยู่ในช่วง $2 < L/d < 2.5$

การถูกจำกัดการขยายตัวเนื่องจากแรงเสียดทานที่ผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างดิน ดังรูปที่ 11.3 ก็มีผลกระทบเช่นกัน โดยการทดสอบอาจทาด้วย grease บนแผ่นพลาสติกแล้วค่อยนำมาวางปิดหัวท้ายตัวอย่างก่อนนำไปทำการทดสอบ



รูปที่ 11.2 แสดงระยะที่ทำให้เกิดผลกระทบจากระนาบพังทลาย (JOSEPH E. BOWLES ,1992)
(ผลกระทบของความสูงตัวอย่างมีผลทั้งการทดสอบ unconfined, triaxial และอื่นๆ)



รูปที่ 11.3 แสดงผลของแรงเสียดทานที่หัวท้ายของตัวอย่าง (Head Vol.2 ,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

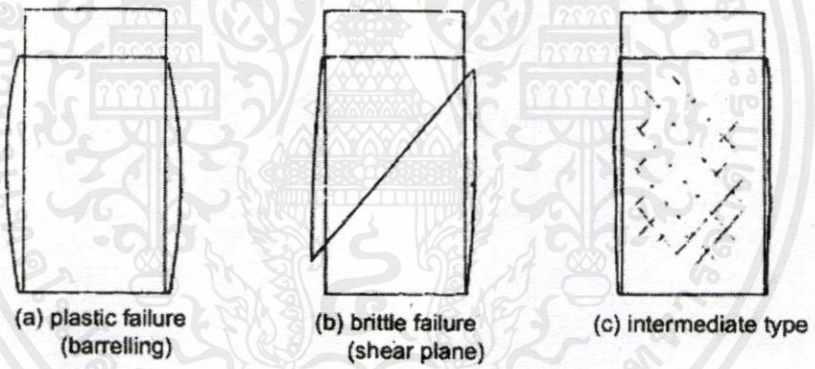
การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด ใช้อัตราแรงกระทำแรงเฉือนประมาณ 0.5-2% ของความสูงของตัวอย่างทดสอบต่อนาที แต่โดยปกติจะใช้อัตราประมาณ 2% ต่อนาที ในการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวทั่วไป

ปกติจะไม่ถือว่าตัวอย่างดินนั้นเกิดการวิบัติ เมื่อตัวอย่างไม่สามารถรับ stress หรือแรงกดได้มากขึ้น เป็นจุดที่แรงแบกทานมากที่สุด หรือมีการยุบตัว (Strain) ประมาณ 20% ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างดินมี 3 ชนิดดังรูป 11.4 คือ

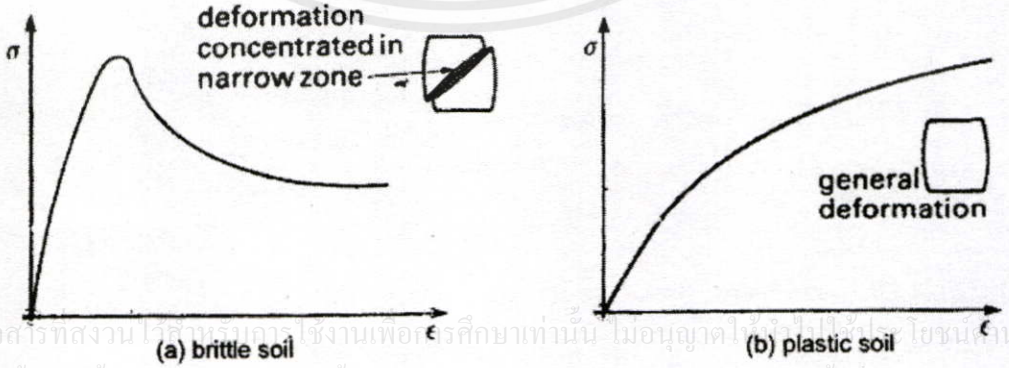
1. การวิบัติแบบพลาสติก (Plastic Failure) ตัวอย่างดินจะป่องออกด้านข้างโดยไม่มีรอยแยก

2. การวิบัติแบบเปราะ (Brittle Failure) จะสังเกตเห็นรอยระนาบเฉือนได้ชัดเจนบนตัวอย่างดิน

3. การวิบัติแบบผสม คือมีลักษณะเป็นทั้งแบบพลาสติกและแบบเปราะ



รูปที่ 11.4 แสดงลักษณะการ Fail ของดิน (Head Vol.2 ,1988)

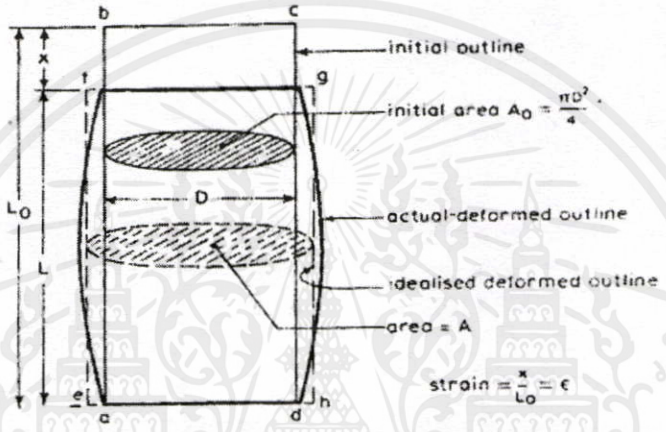


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11.5 กราฟ stress-strain ของ brittle soil และ plastic soil (ductile soil) (Head Vol.3 ,1988)

การปรับแก้พื้นที่หน้าตัด (Area Correction)

เนื่องจากเมื่อตัวอย่างดินถูกแรงกดจะทำให้มีการป่องด้านข้าง (barreling) เกิดขึ้น เพราะฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินจะไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ ด้วยสมมุติฐานที่ว่าในการทดสอบแบบ Undrained Test จะไม่มีน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินและถ้าตัวอย่างดินนั้นอิ่มตัวด้วยน้ำมวลดินและน้ำจะไม่สามารถถูกบีบอัดได้ (incompressible) ดังนั้นปริมาตรของดินจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง การป่องด้านข้างของตัวอย่างดินจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดของพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 11.6 แสดงผลของการป่องของตัวอย่างดินจากการกดทดสอบและการปรับแก้ (Head Vol.2 ,1988)

จากรูปที่ 11.6 เราจะให้ตัวอย่างดินเริ่มต้นมีขนาดเท่ากับ abcd และจะป่องขึ้นเมื่อรับแรงกด เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์เราจะสมมุติให้ดินมีขนาด efgh หลังจากรับแรงกด

จากสมมุติฐานที่ว่าตัวอย่างดินปริมาตรคงที่

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$A_0 L_0 = AL = A(L_0 - x)$$

หรือ

$$A = \frac{A_0 L_0}{L_0 - x} = \frac{A_0}{1 - \frac{x}{L_0}}$$

แต่เนื่องจาก $\frac{x}{L_0}$ **เท่า Strain,** ε

เพราะฉะนั้น

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

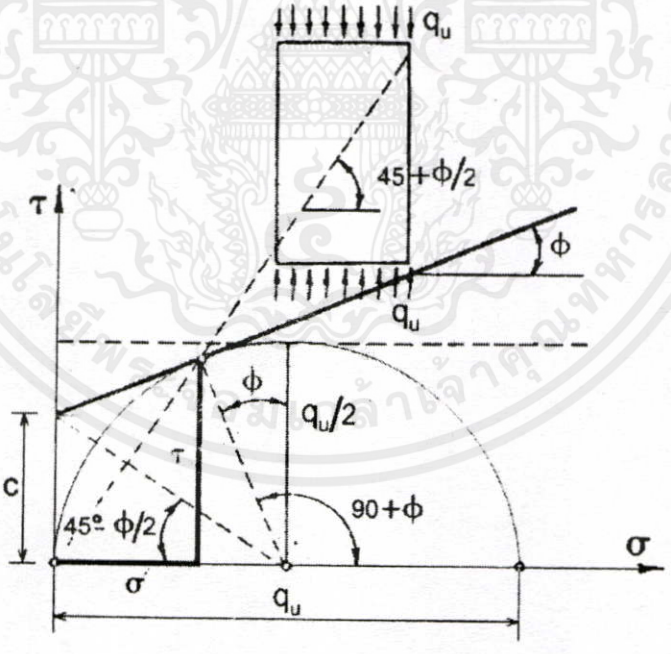
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินขณะทำการทดสอบ

A_0= พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินเริ่มต้น

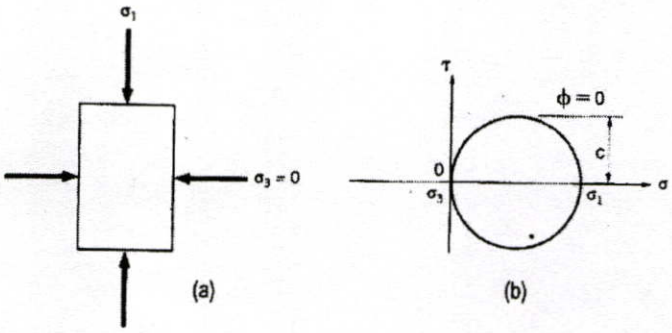
Mohr's Circle กับการทดสอบ Unconfined Compression Test

ในรูปที่ 11.7 แสดงผัง Mohr's Circle ของการทดสอบ Unconfined Compression Test ซึ่งเมื่อเรากระทำแรงกดกับตัวอย่างดินจน Fail ที่ Stress = qu (Stress ที่ทำให้ตัวอย่างดิน Fail) ระนาบพังจะลายของดินทำมุม 45 + /2 กับแกนนอนแล้ว ก็จะเขียน Mohr's Circle ได้ดังรูป และสามารถหากำลังรับแรงเฉือนได้ตามสมการ แต่ปกติแล้วเมื่อทำการทดสอบกับดินเหนียวระนาบพังทลาย (failure plane) จะทำมุมประมาณ 45 องศา กับระนาบ ค่ามุม ซึ่งจะเขียน Mohr's Circle ได้ดังรูปที่ 10.8(b) และจะได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ Undrained Shear Strength , เมื่อ (Undrained Shear Strength คือ แรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเนื่องจากน้ำไม่สามารถไหลออกจากตัวอย่างดินได้ทันเนื่องจากอัตราการกดตัวอย่างที่เร็ว ซึ่งเราถือว่าตัวอย่างดินยังมี Water Content เท่าเดิม)



รูปที่ 11.7 แสดง Mohr's circle ของการทดสอบ Unconfined Compression Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง model การทดสอบ Unconfined และ Mohr's circle ของดินเหนียว

ความไวตัวของดิน (Sensitivity)

$$\text{ความไวตัวของดิน (Sensitivity)} = \frac{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Clay)}}{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินแปลงสภาพ (Remoulded Clay)}}$$

ความไวตัวของดินจะเป็นการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed) เทียบกับตัวอย่างที่ถูกรบกวนแล้ว (Remoulded) ซึ่งจะแสดงถึงว่าเมื่อดินนั้นถูกรบกวนแล้วกำลังจะลดลงมากเพียงใดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ยังไม่ถูกรบกวน ซึ่งหากดินมีค่า Sensitivity สูง ก็จะต้องมีความระมัดระวังในการก่อสร้างหากดินถูกรบกวน เช่นการสั่นสะเทือนจากการขุดเจาะ น้ำหนักผ่านจากรถบรรทุก แล้วค่ากำลังจะลดลงอย่างมากซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

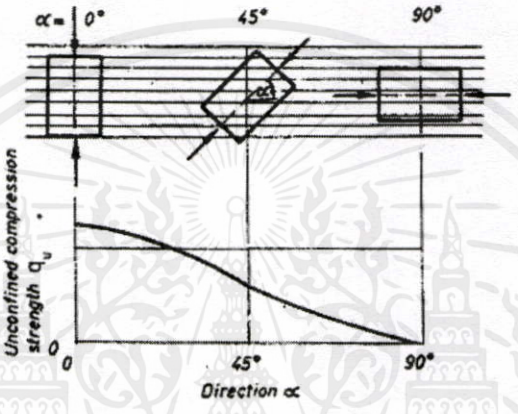
ตารางที่ 11.1 แสดงการจำแนกลักษณะของดินจากผลการทดสอบ Unconfined Compression Test (Peck ,1974)

Cohesive Soil (ดินเหนียว)		
ความแข็ง	SPT-N,Blows/foot	Unconfined Shear Strength $S_u = q_u/2$
Very soft	< 2	< 1.25 t/m^2
Soft	2 - 4	1.25 – 2.50 t/m^2
Medium	4 - 8	2.50 – 5.00 t/m^2
Stiff	8 - 15	5.00 – 10.00 t/m^2
Very Stiff	15 - 30	10.00 – 20.00 t/m^2
Hard	> 30	> 20.00 t/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของแนวการทดสอบตัวอย่างดินกับสภาพในสนาม

รูปที่ 11.9 แสดงถึงการนำตัวอย่างดินหรือการแต่งตัวอย่างดินที่ทำให้แนวของตัวอย่างดินหมุนทำมุมต่างๆ กับลักษณะของชั้นดินในสนามซึ่งอาจเป็นชั้นดินตามธรรมชาติหรือจากการบดอัดเป็นชั้นๆ ของการก่อสร้าง แล้วนำมาทำการทดสอบ Unconfined ซึ่งจะส่งผลกระทบถึงกำลังรับแรงกดของตัวอย่างที่ตำแหน่งที่ดิน fail ดังความสัมพันธ์ในกราฟ เพราะฉะนั้นในการนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบต้องพิจารณาถึงลักษณะของระนาบการเฉือนในสนามด้วยว่าเป็นลักษณะใด



รูปที่ 11.9 ผลของแนวการกดตัวอย่างกับลักษณะชั้นดินในธรรมชาติต่อกำลังรับแรงกดของดิน

2.9.4 อุปกรณ์

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)

2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

3. มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) อ่านละเอียด 0.025 mm. หรือ 0.001 นิ้ว หรือตัวแปรงสัญญาณอ่านความเครียด (Displacement transducer)

4. แผ่นพลาสติกประกบหัวท้ายตัวอย่าง 2 แผ่น และ grease หรืออาจใช้ Wax paper

5. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน

6. เครื่องชั่ง

7. อุปกรณ์หาความชื้นของดิน (Water content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

ตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample)

1.นำตัวอย่างดินคงสภาพวางบนโครงแต่งตัวอย่างโดยให้ดินที่วางมีความยาวกว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย จากนั้นทำการแต่งตัวอย่างดิน โดยหมุนตัวอย่างดินแล้วใช้เลื่อยลวดแต่งดินทำการปาดตัวอย่างดินให้เป็นทรงกลมเรียบ

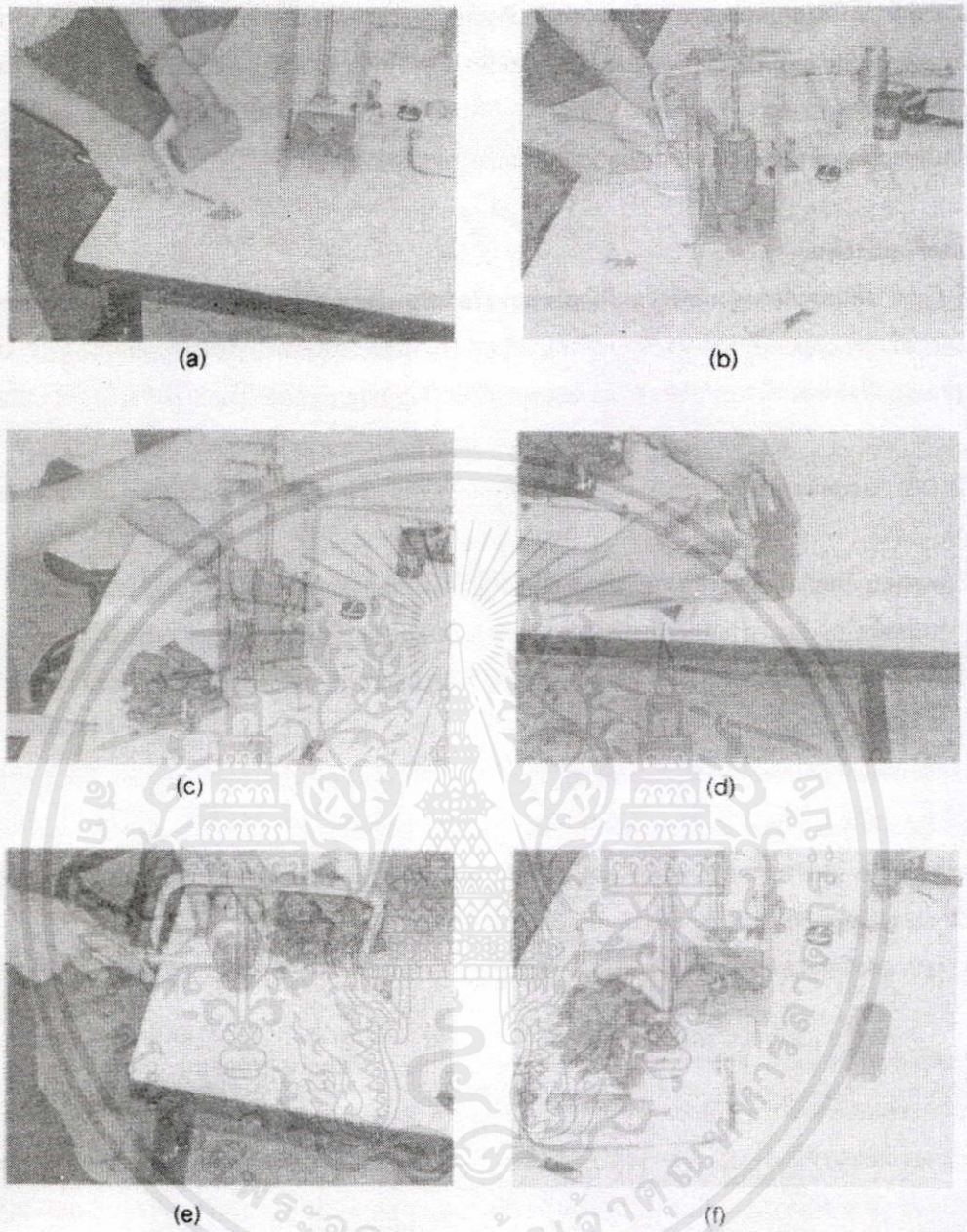
2.นำตัวอย่างดินที่ได้ใส่ลงในแบบผ่า (Spilt Former) ที่มีขนาดเท่ากับตัวอย่างดิน จากนั้นใช้เลื่อยเส้นลวดตัดปลายทั้งสองที่ขอบแบบผ่า จะได้ขนาดตัวอย่างตามขนาดคือ L/d ประมาณ 2.0 และจะทำให้ปลายที่ตัดได้แนวฉาก

3. นำเศษดินที่เหลือไม่น้อยกว่า 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น

4. ใช้เวอร์เนียวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (วัดที่ด้านบน กลาง และล่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย) และความสูง โดยวัดประมาณ 2-3 ครั้งรอบตัวอย่าง

5. นำตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนัก หากเป็นดินอ่อนควรใช้แบบผ่า (Split Former) จับตัวอย่างและชั่งพร้อมกับตัวอย่างเลยเพื่อป้องกันการถูกรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11.11 แสดงการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบ

(a) นำตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพที่ห่อด้วยกระดาษฟรอยด์และชุบด้วยขี้ผึ้งพาราฟินมาแกะ

(b) นำตัวอย่างตั้งบนโครงแต่งตัวอย่างแล้วใช้เลื่อยแต่งดินทำการแต่งดิน

(c) ตัวอย่างดินเมื่อแต่งได้กลมดีแล้ว

(d) วางตัวอย่างดินบนแบบผ่า (Split Former)

(e) ตัดปลายตัวอย่างดินให้ได้ฉาก

(f) ตัวอย่างดินที่แต่งเรียบร้อยพร้อมนำไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแปรสภาพ (Remolded Sample)

1. นำตัวอย่างดินคงสภาพที่ทดสอบแล้วรวมกับดินที่เหลือในการแต่งตัวอย่างก่อนหน้านี้ มาบีบ ขยำ ให้เข้ากันแล้วใส่ลงในแบบผ่าจนเต็ม แบบผ่าควรทา grease ไว้หล่อลื่นเพื่อสะดวกในการนำตัวอย่างดินออก เวลาใส่ดินลงในแบบผ่าพยายามอย่าให้มีโพรงอากาศ

2. ตัดปลายทั้งสองที่ขอบแบบผ่า เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้น

การทดสอบกดตัวอย่างดิน

1. ตั้งตัวอย่างดินตรงกลางฐานเครื่องกดที่มีแผ่นพลาสติก grease บางๆรองอยู่ ถอดแบบผ่า (Split Former) ออก นำแผ่นพลาสติก grease อีกแผ่นวางทับบนตัวอย่างดิน ปรับแป้นกดของเครื่องให้สัมผัสตัวอย่างพอดี (เราใส่แผ่นพลาสติกทา grease เพื่อลดผลกระทบจาก frictional restraint หรืออาจใช้กระดาษเคลือบขี้ผึ้ง Wax paper ประกบบนล่างแทนก็ได้)

2. จัด Dial Gauge โดยให้ปลายสัมผัสกับแป้นฐานของเครื่องกด ปรับหน้าปัด Proving Ring และ Dial Gauge ให้เท่ากับ 0

3. เริ่มทดสอบ โดยกดตัวอย่างดินด้วยอัตรา 0.5-2% ของความสูงของตัวอย่างต่อนาที โดยตั้งระบบเฟืองเกียร์ให้ได้อัตราตามกำหนดหรือใกล้เคียง หากเป็นเครื่องทดสอบแบบหมุนด้วยมือ ควรฝึกหมุนให้อัตราคงที่

4. บันทึกค่าแรงกดจาก Proving Ring ทุกๆ ค่าการยุบตัว 0.1-0.25mm. (หากตัวอย่างเป็นดินเปราะควรอ่านค่าให้ถี่ขึ้น)

5. ใส่แรงกดจนค่าแรงกดเริ่มลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน ให้บันทึกผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือน (Failure Plane) บนตัวอย่างดินชัดเจน แล้วหยุดการทดสอบ หรือทดสอบจนถึงค่าความเครียด = 20% จึงหยุดทดสอบ เพราะหากเป็นดินที่มีความยืดหยุ่นมากๆ (Very Plastic Soils) จะไม่สามารถสังเกตเห็นแนวเฉือนได้เนื่องจากดินมีคุณสมบัติเป็น plastic เราจะถือว่าดินนี้วิบัติที่ค่า Strain = 20%

6. วาดรูปแสดงลักษณะตัวอย่างดินที่วิบัติ และวัดมุมที่รอยเฉือนกระทำกับแนวระนาบ (หากเป็นการวิบัติแบบ Brittle Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำตัวอย่างขึ้นชั่งและนำดินบางส่วนเข้าตู้อบเพื่อหาปริมาณความชื้นหลังการทดสอบ

8. ทำการทดสอบแบบเดียวกันกับตัวอย่างดินแปลงสภาพ (Remolded) แต่สามารถอ่านค่าโดยใช้ช่วงที่มากขึ้นได้โดยอ่านค่าแรงกดจาก Proving Ring ทุกๆการยุบตัว 1.0-2.0 mm. จนตัวอย่างวิบัติ แต่โดยปกติตัวอย่างดินจะไม่วิบัติแบบ Britten Failure แต่จะป่องด้านข้างเป็นการวิบัติแบบ Plastic Failure ในกรณีนี้อ่านค่ายุบตัวจนถึงค่า Strain = 20% จึงหยุดการทดสอบ

หมายเหตุ : ในการหาค่าแรงกดและการยุบตัวของตัวอย่างดินเราอาจจะใช้ตัวแปลงสัญญาณทั้ง Load transducer และ Displacement transducer แทนการอ่านบนหน้าปัดของ Proving และ Dial Gauge ที่วัดการยุบตัว

2.9.6 การคำนวณผล

1.พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนทดสอบ

$$A_0 = \frac{A_t + 2A_m + A_b}{4} \quad ,cm^2$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างเริ่มต้น(เฉลี่ย) ,cm^2

A_t = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่างดิน ,cm^2

A_m = พื้นที่หน้าตัดตรงของตัวอย่างดิน ,cm^2

A_b = พื้นที่หน้าตัดด้านล่างของตัวอย่างดิน ,cm^2

2.ความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} x100 \quad ,\%$$

เมื่อ ΔH = ค่ายุบตัวของตัวอย่างดินตามแนวแกนจาก dial gauge ,mm

H = ความสูงตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ,mm

ε = ความเครียดตามแนวแกน

3.ปรับแก้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างระหว่างการทดสอบ

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

ε = ความเครียดตามแนวแกน ,เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.หน่วยแรงกดบนตัวอย่างดิน (Axial Stress)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{R \cdot K}{A} \quad ,kg/cm^2$$

$$= \frac{R \cdot K}{A} \times 98.07 \quad ,kN/m^2$$

เมื่อ P = แรงกด = R·K ,kg หรือ lb

R = ค่าอ่านบน Dial Gauge ของ Proving Ring ,ขีด

K = ค่าคงที่ของ Proving Ring ,lb ต่อขีด หรือ kg ต่อขีด

5.เขียนกราฟความเค้น (σ) ในแนวแกนตั้งต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด (ε) ในแกนนอน เพื่อหา

-ค่าความเค้นสูงสุด (σ)max เป็นค่าแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, q_u)

-ค่าความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุด (วิบัติ) , ε_f

6.ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained Shear Strength ,S_u) หรือค่า Cohesion,c

$$S_u = \frac{1}{2} q_u = c$$

7.ค่าความไวของดิน (Sensitivity)

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Clay)}}{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินแปลงสภาพ (Remoulded Clay)}}$$

$$= \frac{S_u \text{ (Undisturbed Sample)}}{S_u \text{ (Remolded Sample)}}$$

8.วิเคราะห์ผลของความหนาแน่นและปริมาณความชื้น(water content) ของตัวอย่างดินว่ามีผลอย่างไรกับค่า S_u

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

Unconfined Compression Test

PROJECT GEO-TEST
OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY
BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING
SAMPLE DEPTH 1.8 m

TEST NO. UC-1
SAMPLE NO. ST01

TEST BY K.K.noon
DATE JULY 24,1999

PROVING RING:

Proving ring No.	138596	Proving ring constant (K) =	0.164 kg/DIV.
Loading Rate	0.800 mm/min		

SAMPLE DATA:

SAMPLE DIAMETER	,mm	35	WEIGHT OF SAMPLE	,g	142.55
SAMPLE AREA A_s	,cm^2	9.62	WATER CONTENT	,%	36.7
SAMPLE HEIGHT (L_0)	,mm	70	WET UNIT WEIGHT	,g/cm^3	2.12
SAMPLE VOLUME	,cm^3	67.35	DRY UNIT WEIGHT	,g/cm^3	1.55

UNCONFINED TEST RESULT:

Deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Load Proving Ring Reading(Div)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0	9.62	0	0.00	0.00
20	0.20	0.29	9.66	4	0.68	0.07
40	0.40	0.57	9.68	8	1.35	0.14
60	0.60	0.86	9.70	11	1.84	0.19
80	0.80	1.14	9.73	14	2.24	0.23
100	1.00	1.43	9.76	15	2.54	0.26
120	1.20	1.71	9.79	17	2.74	0.28
140	1.40	2.00	9.82	18	3.02	0.31
160	1.60	2.29	9.85	19	3.18	0.32
180	1.80	2.57	9.87	20	3.24	0.33
200	2.00	2.86	9.90	20	3.30	0.33
220	2.20	3.14	9.93	20	3.31	0.33
240	2.40	3.43	9.96	20	3.34	0.34
260	2.60	3.71	9.99	20	3.33	0.33
280	2.80	4.00	10.02	20	3.26	0.33
300	3.00	4.29	10.05	20	3.25	0.32
320	3.20	4.57	10.08	20	3.20	0.32
340	3.40	4.86	10.11	19	3.16	0.31
360	3.60	5.14	10.14	19	3.12	0.31
380	3.80	5.43	10.17	19	3.09	0.3034
400	4.00	5.71	10.20	19	3.05	0.2989

Unconfined Compressive Strength (q_u) = 0.31 ksc Undrained Shear Strength = Cohesion = $q_u/2$ = 0.15 ksc

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

Unconfined Compression Test

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

PROVING RING:

Proving ring No. _____	Proving ring constant (K) = _____
Loading Rate _____	

SAMPLE DATA:

SAMPLE DIAMETER ,mm		WEIGHT OF SAMPLE ,g	
SAMPLE AREA ,cm^2		WATER CONTENT ,%	
SAMPLE HEIGHT (L_0) ,mm		WET UNIT WEIGHT ,g/cm^3	
SAMPLE VOLUME ,cm^3		DRY UNIT WEIGHT ,g/cm^3	

UNCONFINED TEST RESULT:

Deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Load Proving Ring Reading(Div)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

Unconfined Compressive Strength (q_u) = _____ Undrained Shear Strength = Cohesion = $q_u/2$ = _____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

Unconfined Compression Test

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

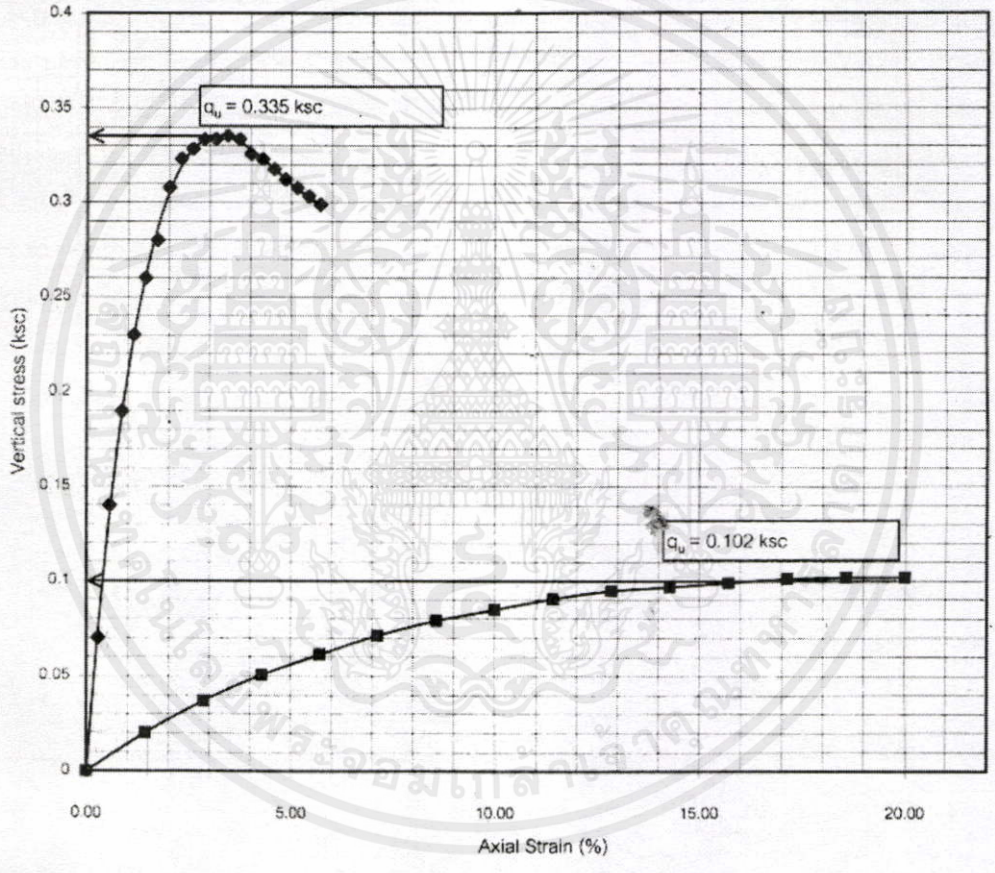
SAMPLE DEPTH 1.8 m

TEST NO. UC-1

SAMPLE NO. ST01

TEST BY K.K.noon

DATE JULY 24,1999



Description	Undisturbed	Rebounded	Failure Mode (Undisturbed)
Undrained Shear Strength ($S_u=q_u/2$) ,ksc	0.168	0.051	
Water Content ,%	36.7	36.1	
Wet Unit Weight ,g/cm^3	2.12	2.10	
Wet Unit Weight ,g/cm^3	1.55	1.51	
Strain at Failure ,%	3.50	20	
Sensitivity	3.28		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONTACT:
civiloffice:7392410-1
civil shop:3269974
fax:7392409

Unconfined Compression Test

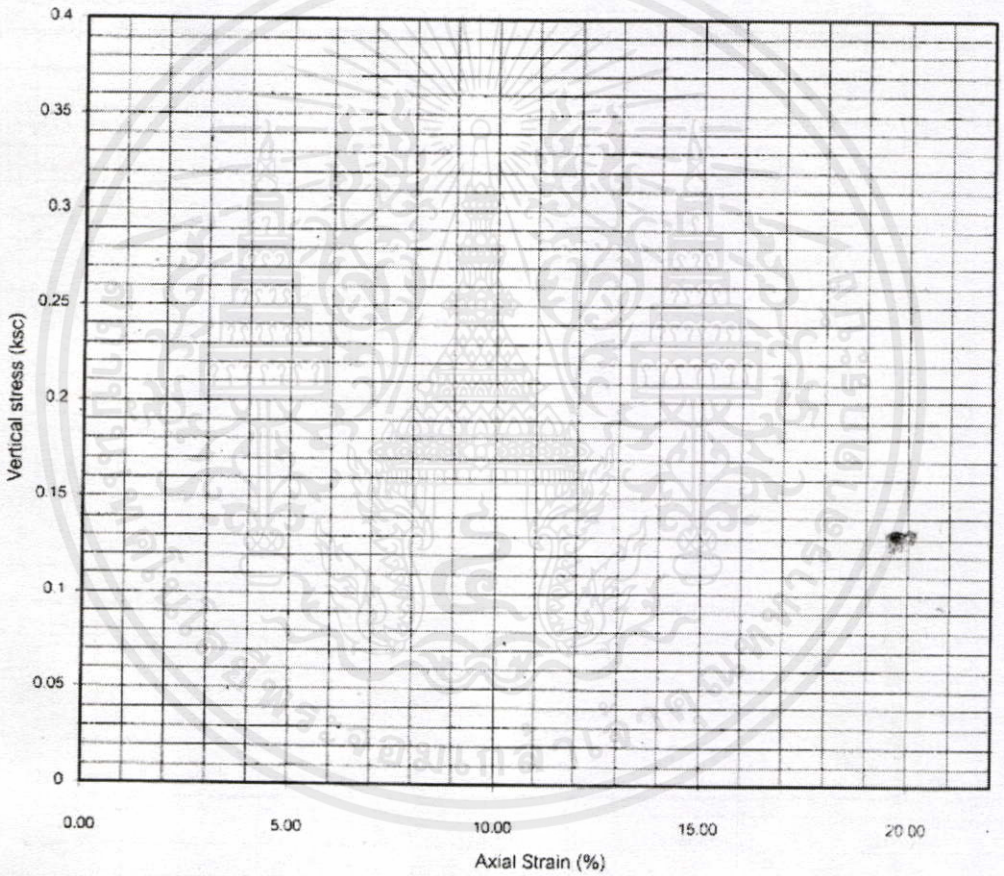
PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____



Description	Undisturbed	Rebounded	Failure Mode (Undisturbed)
Undrained Shear Strength ($S_u=q_u/2$) ,ksc			
Water Content ,%			
Wet Unit Weight ,g/cm^3			
Wet Unit Weight ,g/cm^3			
Strain at Failure ,%			
Sensitivity			

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนงานและขั้นตอนดำเนินงาน

ในการศึกษาและจัดทำคู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ระบบออนไลน์ ส่วนที่ 1 จะดำเนินการตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 มีการแบ่งการทำงานเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นในการทำโครงการ

ศึกษาทฤษฎีในการปฏิบัติการส่วนที่ 1 คือ

- การสำรวจขั้นดินเบื้องต้น (SOIL EXPLORATION)
- การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)
- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (SPECIFICGRAVITY OF SOIL)
- การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIXE ANALYSIS)
- การบดอัดดิน (COMPACTION)
- แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)
- การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (FIELD DENSITY TEST)
- การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (UNCONFINED COMPRESSION TEST)

รวมทั้งโปรแกรมต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น Dreamweaver, CS5, Vegas Pro11, Photoshop CS5, Excel

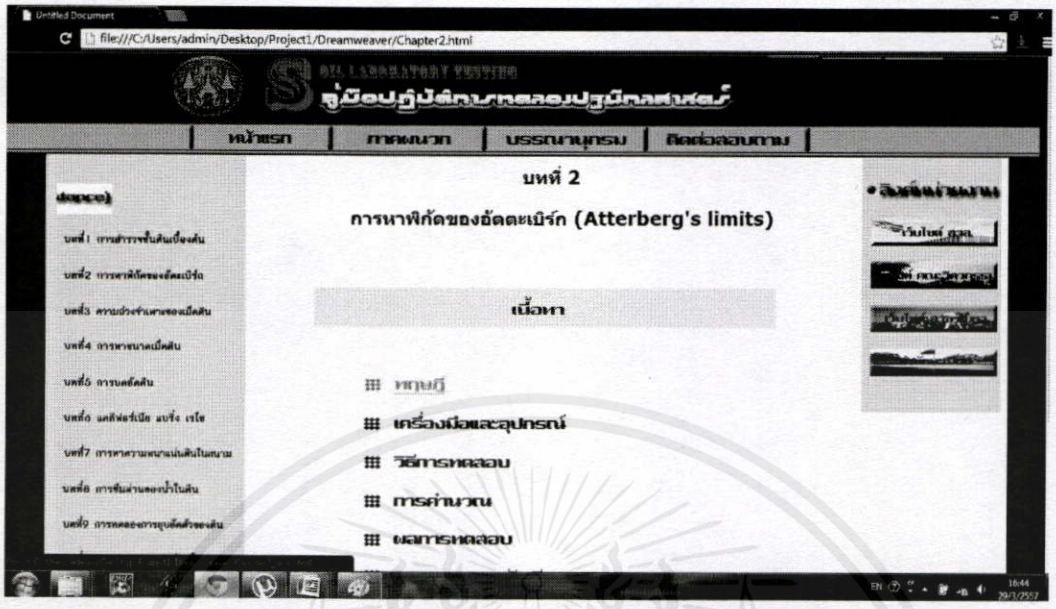
3.2 วางแผนการดำเนินดำเนินการ

3.2.1 รวบรวมข้อมูลและออกแบบหน้าต่างเว็บไซต์

- ศึกษาและเก็บรวบรวมหน้าต่างเว็บไซต์จากการประกวด The best design website in the world

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วางเค้าโครงและออกแบบหน้าต่างเว็บไซต์



รูปที่ 3.1 แสดงการวางเค้าโครงของเว็บไซต์

3.2.2 การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์แต่ละการปฏิบัติการ

- การหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก (Atterberg's limit)

รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาพิกัดของอัตตะเบิร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

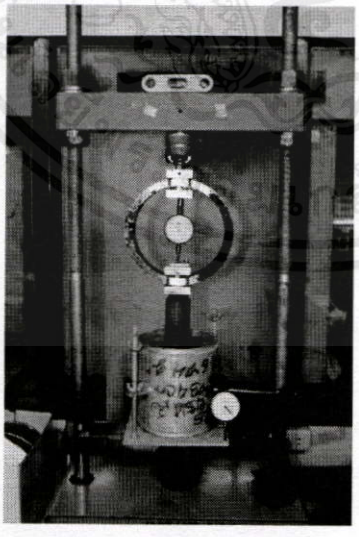
- การหาขนาดเม็ดดิน (Grain size analysis)

รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์การหาขนาดเม็ดดิน

- การบดอัดดิน (Compaction)

รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์การบดอัดดิน

- แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California bearing ratio : CBR)



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์ แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field density test)

รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์การหาความหนาแน่นของดินในสนาม

3.3 การบันทึกขั้นตอนเป็นวีดิโอ

- อุปกรณ์และเครื่องมือ

โปรแกรมตัดต่อ

กล้องบันทึกวีดีทัศน์

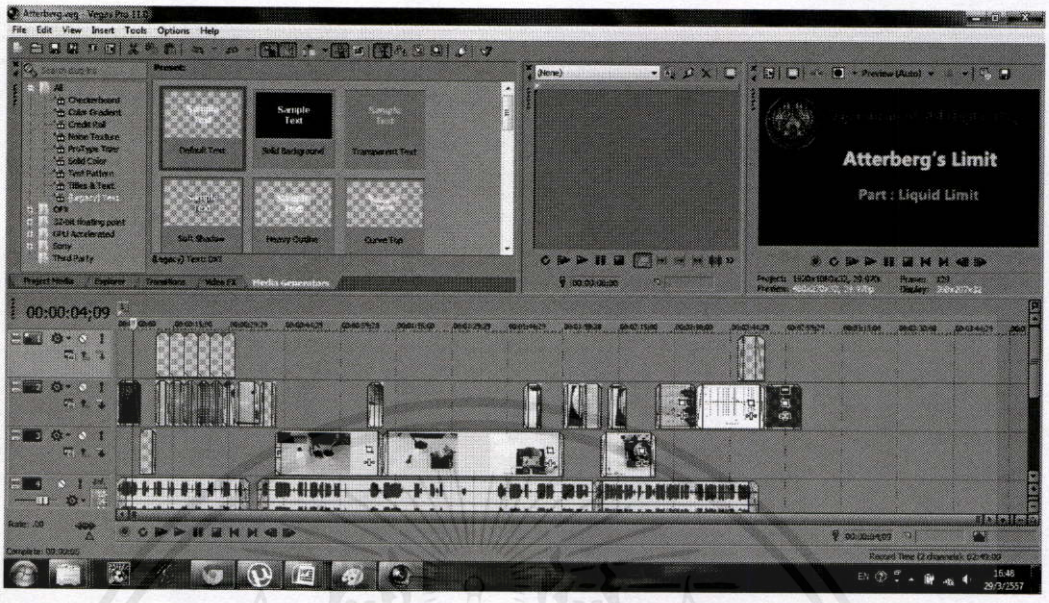
ไมโครโฟน

ขาตั้งกล้อง

รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือในการจัดทำวีดีโอ

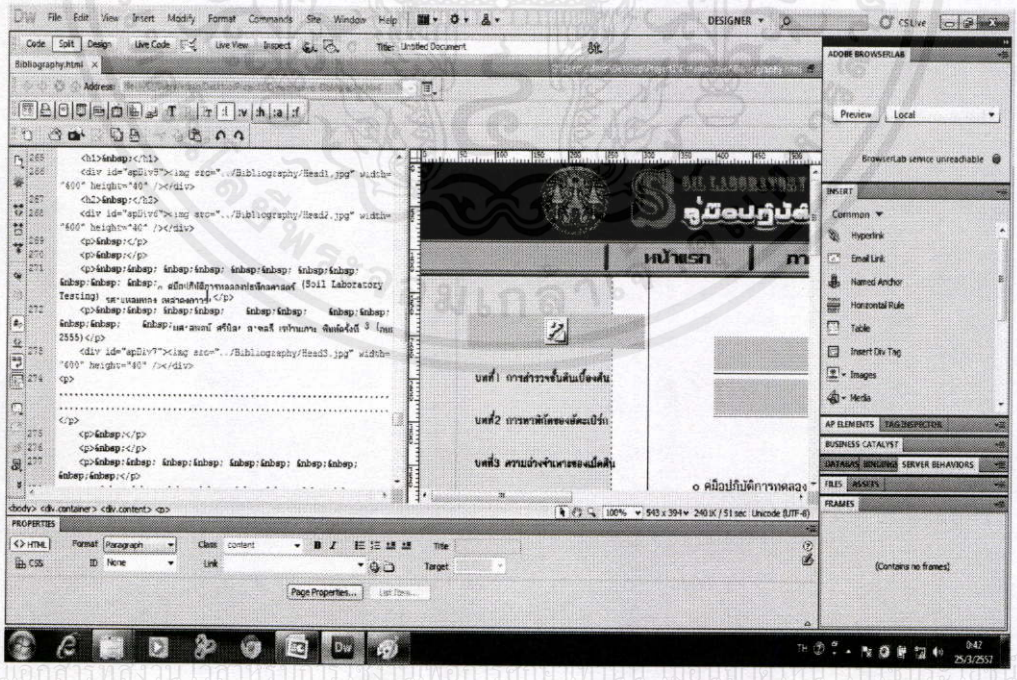
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการปฏิบัติแต่ละการปฏิบัติการพร้อมบันทึกเป็นวีดีโอ



รูปที่ 3.7 แสดงหน้าตาโปรแกรมที่ใช้ตัดต่อวีดีโอ

3.4 การทำเว็บไซต์



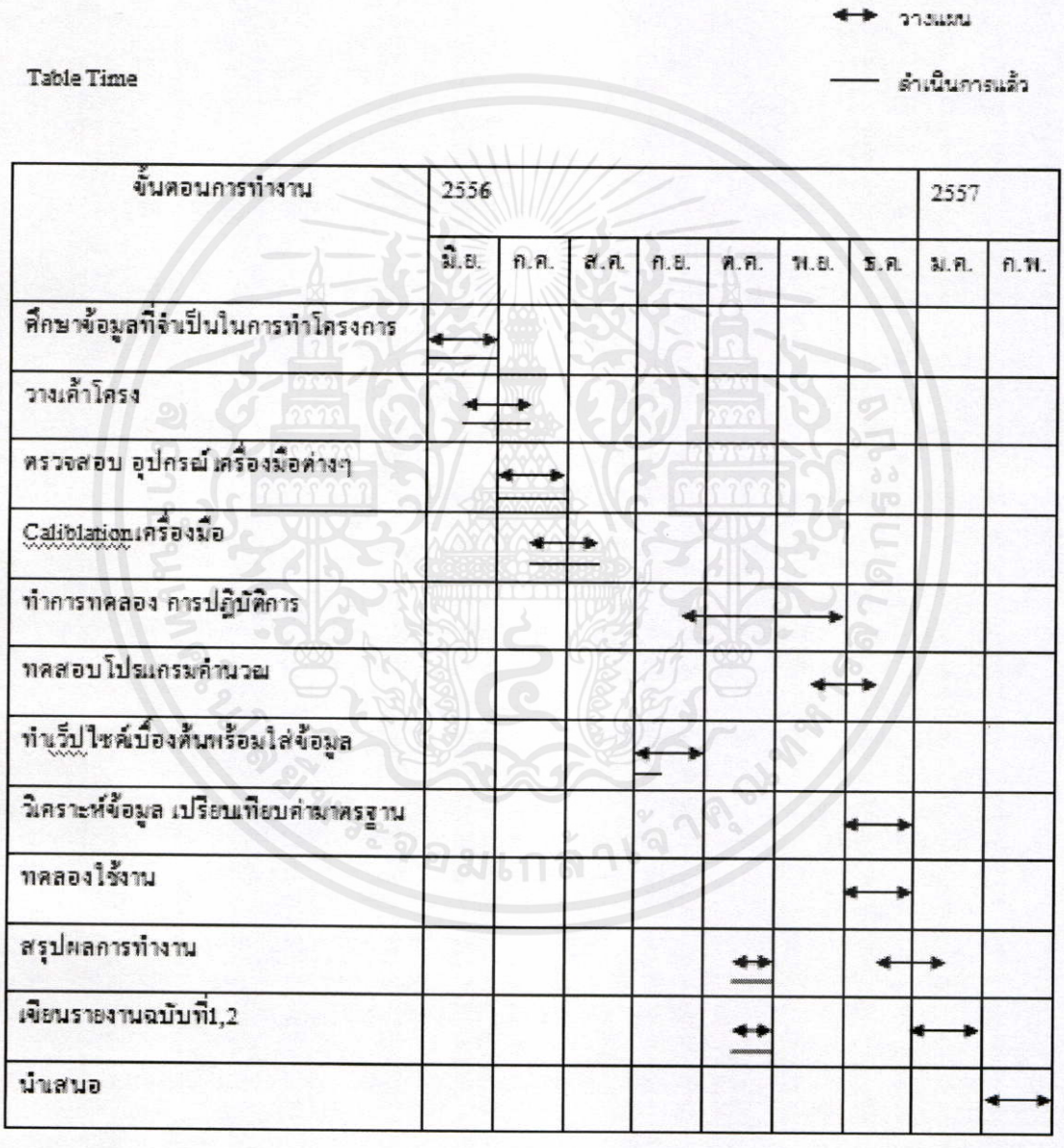
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดงหน้าตาโปรแกรมทำเว็บไซต์

3.5 จัดทำรายงานผลการศึกษา

จัดทำรายงานผลการวิเคราะห์ต่างๆ เพื่อนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา โครงการ

3.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ



รูปที่ 3.9 แสดงแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1 ผลสรุปจากแบบสอบถาม

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้บริการ

1. เพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.1 ชาย	42	84
1.2 หญิง	8	16
รวม	50	100

ตารางที่ 4.1 แสดงเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

2. สถานะผู้ตอบแบบสอบถาม

สถานะ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
นักศึกษา	40	80
อาจารย์	2	4
บุคคลทั่วไป	8	16
อื่นๆ	-	0

ตารางที่ 4.2 แสดงสถานะของผู้ตอบแบบสอบถาม

3. สังกัดผู้ตอบแบบสอบถาม

สังกัด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง	42	84
หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง	8	16

ตารางที่ 4.3 แสดงสังกัดของผู้ตอบแบบสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วุฒิการศึกษาผู้ตอบแบบสอบถาม

วุฒิการศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ต่ำกว่าปริญญาตรี	0	0
ปริญญาตรี	47	94
สูงกว่าปริญญาตรี	3	6

ตารางที่ 4.4 แสดงวุฒิการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม

5.อายุผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ต่ำกว่า20ปี	40	80
20-40ปี	6	12
41ปีขึ้นไป	4	8

ตารางที่ 4.5 แสดงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อคู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์

ความพึงพอใจต่อการ	ระดับความพึงพอใจ (จำนวนคน)						
	5	4	3	2	1	ค่าเฉลี่ย	ระดับ
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ							
1.1 ด้านทฤษฎีการทดลอง	0	28	72	0	0	3.28	ปานกลาง
1.2 ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์	72	24	4	0	0	4.68	มากที่สุด
1.3 ด้านวิธีการทดลอง	68	32	0	0	0	4.68	มากที่สุด
1.4 ด้านวิธีการคำนวณ	4	52	44	0	0	3.60	มาก
2. การเข้าถึง							
2.1 ความสะดวกในการค้นหาข้อมูล	68	20	12	0	0	4.56	มากที่สุด
2.2 ความรวดเร็วในการค้นหาข้อมูล	60	32	8	0	0	4.52	มากที่สุด

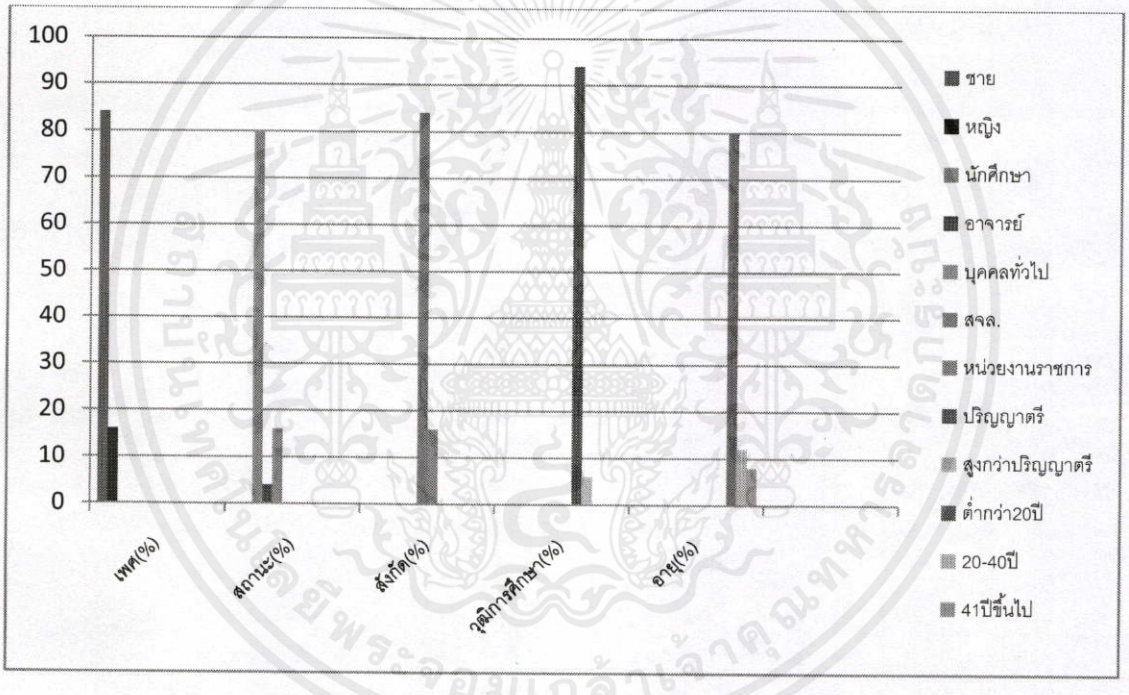
ตารางที่ 4.6 แสดงความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์การแปรค่าระดับความพึงพอใจ

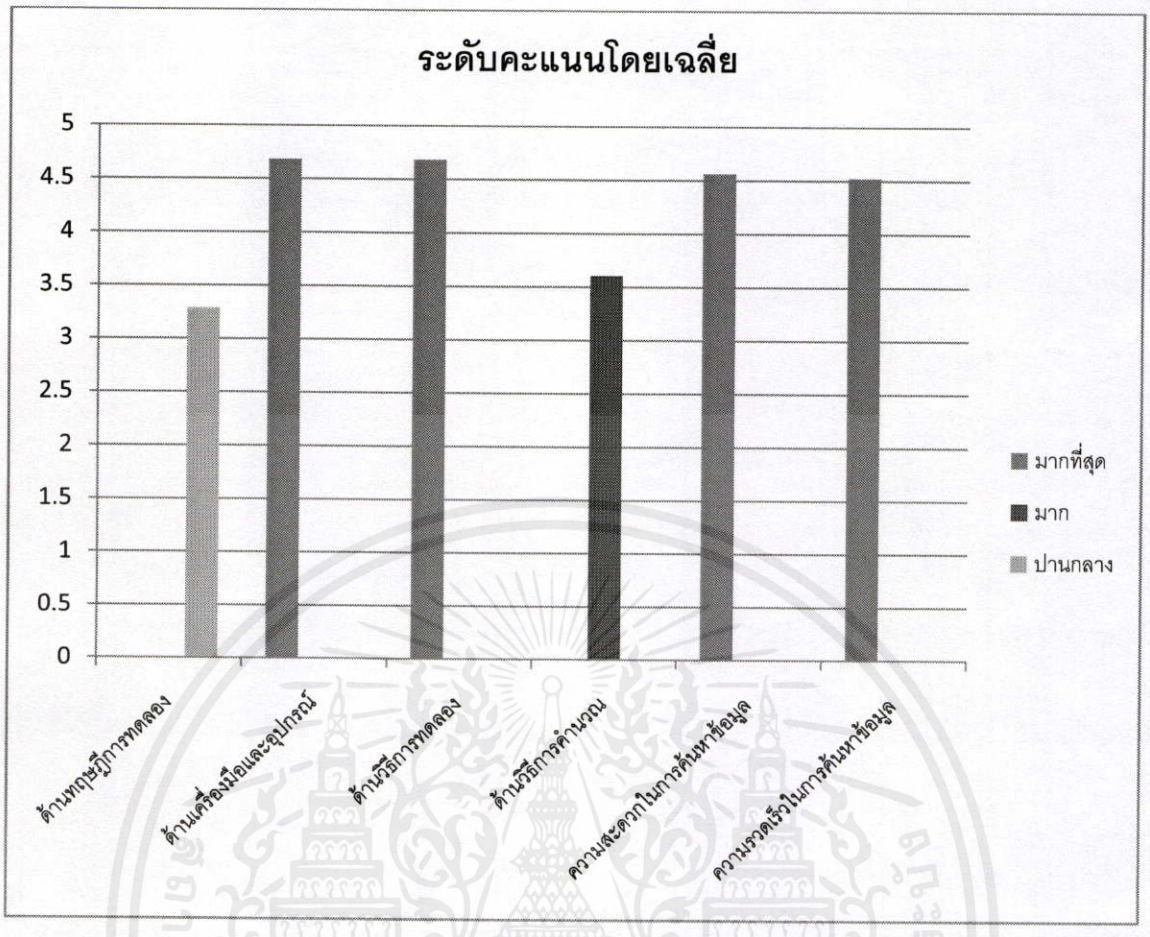
ค่าเฉลี่ย	แปลค่า
4.51-5.00	มากที่สุด
3.51-4.50	มาก
2.51-3.50	ปานกลาง
1.51-2.50	น้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.7 แสดงเกณฑ์การแปรค่าระดับความพึงพอใจ



รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์สถานะของผู้ตอบแบบสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงระดับคะแนนโดยเฉลี่ยของผู้ตอบแบบสอบถาม

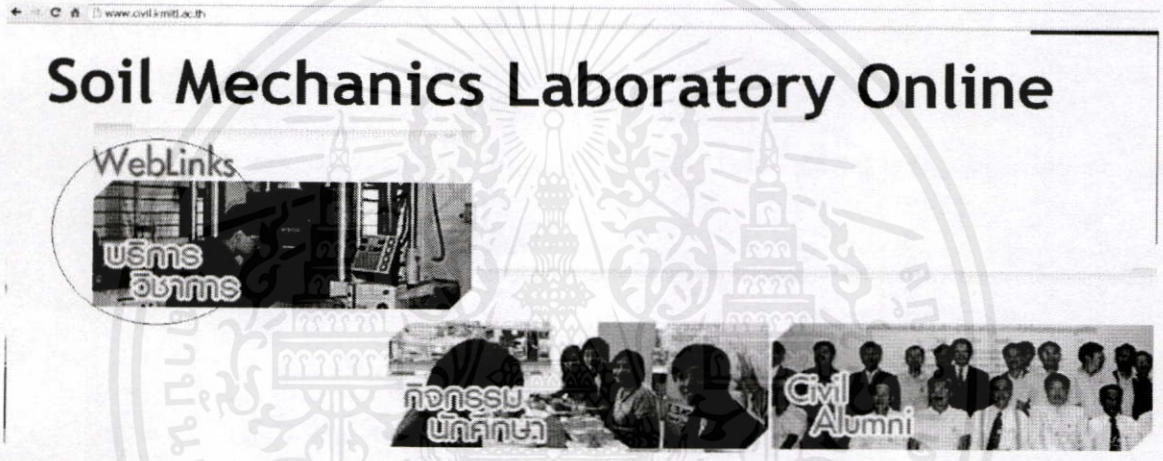
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาจัดทำคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติการ และจัดทำเว็บไซต์ เป็นไปตามวัตถุประสงค์เรียบร้อยแล้ว คงเพียงการทดสอบใช้งานจริงโดยเข้าในเว็บไซต์ของสาขาวิชา www.civil.kmitl.ac.th



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างหน้าเว็บไซต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ตอนแรกจะทำโปรแกรมคำนวณอย่างง่าย

แต่อาจจะเกิดปัญหา : นักศึกษาที่ทำการเรียนวิชานี้อยู่จะได้ไม่คำนวณ จึงไม่มีโปรแกรมการคำนวณ มีแต่แบบฟอร์มให้

2. ควรจะมีการต่อยอดเป็นเว็บ Application ในการทดลองหน้างาน เช่น การทดลองหาความหนาแน่นของดิน เพื่อหา water content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ผศ.สุพจน์ ศรีนิล, รศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และ อ.ชลธี เร่บ้านเกาะ. (2549). **คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

แบบสำรวจความพึงพอใจ

แบบสอบถามคู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำชี้แจง แบบสอบถาม

1. เพื่อให้ผู้จัดได้มีโอกาสรับทราบผลการดำเนินงานของตนเอง และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงโครงการวิจัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. โปรดเติมเครื่องหมาย ✓ และกรอกข้อความให้สมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. สถานะ
   ☐ นักศึกษา ☐ อาจารย์
   ☐ บุคคลทั่วไป ☐ โปรดระบุ .....
3. สังกัดคณะ/สำนัก /สถาบัน /หน่วยงาน
   .....
4. วุฒิการศึกษา ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ สูงกว่าปริญญาตรี
5. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 2040 ปี ☐ 41ปีขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจ

ระดับ 5 = มากที่สุดหรือดีมาก 4 = มากหรือดี 3 = ปานกลางหรือพอใช้ 2 = น้อยหรือต่ำกว่ามาตรฐาน 1 = น้อยที่สุดหรือต้องปรับปรุงแก้ไข

รายละเอียด	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ					
1.1 ด้านทฤษฎีการทดลอง					
1.2 ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์					
1.3 ด้านวิธีการทดลอง					
1.4 ด้านวิธีการคำนวณ					
2. การเข้าถึง					
2.1 ความสะดวกในการค้นหาข้อมูล					
2.2 ความรวดเร็วในการค้นหาข้อมูล					

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

3.1 สิ่งที่ท่านพึงพอใจในคู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์

.....

.....

.....

.....

3.2 สิ่งที่เสนอแนะนำไปพัฒนาการคู่มือปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ออนไลน์

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้