การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้สารละลายเบนโทไนท์เป็นสารผสมเพิ่ม

SOIL IMPROVEMENT

BY USING BENTONITE SOLUTION AS ADMIXTURE

โดย

นายพรชัย	พรมพลอย	35104284
นายพีรสุต	อินทร์ใหญ่	35104304
นายเอกพงศ์	ตันติการพานิช	35104570

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

วัน เดือน ปี 1 ธ.ค. 2540
เลขทะเบียน 037190
เลขเรียกหนังสือ T 58383 พ331ก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037190

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

(อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

อาจารย์ศิลปชัย จานสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของดินมีความสำคัญมาก เพราะต้องนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับดิน โดยอาจใช้รองรับน้ำหนักโครงสร้าง เช่น รองรับน้ำหนักอาคารบ้านเรือน เขื่อน สนามบิน หรือใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน

แต่ในบางครั้งเราอาจจะประสบปัญหาเกี่ยวกับสภาพดินในสถานที่ก่อสร้างนั้นๆ มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้งาน เช่น การก่อสร้างถนนในท้องที่หนึ่งซึ่งมีวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งปริมาณมาก แต่มีคุณสมบัติด้อยในความสามารถในการบดอัดและการรับกำลังจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ในโครงงานพิเศษนี้ได้เลือกใช้สารละลาย Bentonite เป็นสารผสมเพิ่ม โดยใช้ค่า CBR เป็นดัชนีชี้ถึงคุณสมบัติของดินภายหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างและมีความสะดวกในการก่อสร้างมากขึ้น

ABSTRACT

Studying in soil properties is very important. Because we use it's to design the structures for support dead load and live load of a structure or used as material in highway construction.

But sometimes we face the problem about soil properties in the site that not have enough engineering's property for bringing it to use. Example in highway construction in the local where has a lot of construction material but poor properties in compaction and bearing ability. So that necessary to improve soil property making it suitable for bringing it to use.

This special project selected bentonite solution as admixture by using CBR measure soil property after improving quality. That is interesting method helping save cost and easy to use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ก็เพราะความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ที่ได้ให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของโครงงานพิเศษฉบับนี้ ขอขอบคุณ บริษัท Power-p ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่อง Bentonite และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่เอื้ออำนวยในการใช้ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำปรึกษาและให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด

ท้ายสุดนี้บุคคลที่จะกล่าวถึงในพระคุณของท่านก็คือบิดาและมารดา ผู้ซึ่งเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียนและคอยช่วยเหลือสนับสนุนจนกระทั่งประสบความสำเร็จจนบัดนี้

นายพรชัย พรมพลอย
นายพีรสุต อินทร์ใหญ่
นายเอกพงศ์ ดันติการพานิช

นักศึกษาผู้ประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
- วัตถุประสงค์	1
- ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	1
- ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	1
- วิธีที่ใช้ในการศึกษา	2
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
- Bentonite	3
- คุณสมบัติพื้นฐานของดิน	7
- การจำแนกประเภทของดิน	16
- การบดอัดดิน	26
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
- Atterberg's Limits	35
- การหาขนาดเม็ดดิน	45
- การบดอัดดิน	57
- California Bearing Ratio (CBR)	64
บทที่ 4 วิธีการทดสอบ	73
บทที่ 5 ผลการทดสอบ	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบ	
- วิเคราะห์ผลการทดสอบ	83
- การนำไปใช้งานและข้อเสนอแนะ	86
บทที่ 7 ภาคผนวก	
- ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Atterberg's Limits	92
- ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลการทดสอบ Sieve Analysis	94
- ภาคผนวก ค แสดงข้อมูลการทดสอบการบดอัดดิน	95
- ภาคผนวก ง แสดงข้อมูลการทดสอบค่า CBR	123
- ภาคผนวก จ รูปแสดงอุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบ	137
- ภาคผนวก ฉ รูปแสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบการบดอัดดิน	139
- ภาคผนวก ช รูปแสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบค่า CBR	141
บรรณานุกรม	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.2.1	ขนาดของเม็ดดิน	8
ตารางที่ 2.2.2	อัตราส่วนช่องว่างของดินพวกกรวด-ทราย	13
ตารางที่ 2.3.1	การจำแนกประเภทของเม็ดดินตามขนาดของเม็ดดิน	17
ตารางที่ 2.3.2	มาตรฐานการจำแนกประเภทดินลูกรัง	24
ตารางที่ 2.4.1	การพิจารณาเลือกใช้เครื่องจักรในการบดอัดดิน	29
ตารางที่ 3.1.1	ค่า N และ $(N/25)^{0.12}$	44
ตารางที่ 3.2.1	ลักษณะของดินที่มีขนาดคละ	47
ตารางที่ 3.2.2	ความหนืดของน้ำที่อุณภูมิต่างๆ	47
ตารางที่ 3.2.3	ค่าคงที่ K_2	50
ตารางที่ 3.2.4	น้ำหนักตัวอย่างดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง	53
ตารางที่ 3.3.1	แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบและพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor	58
ตารางที่ 3.4.1	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ CBR	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1.1	Montmorillonite และ Bentonite Clay Mineral	3
รูปที่ 2.1.2	(a) Illite และ (b) Vermiculite Clay Mineral	4
รูปที่ 2.1.3	ขนาดสัมพัทธ์, ศักยภาพในการดูดซึม, ขนาดเม็ดดินและผิวของ Montmorillonite, Illonite และ Kaolinite	6
รูปที่ 2.2.1	ผังแสดงส่วนประกอบของดิน	8
รูปที่ 2.2.2	เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน	9
รูปที่ 2.2.3	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด	10
รูปที่ 2.2.4	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด	11
รูปที่ 2.2.5	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นเส้น	11
รูปที่ 2.2.6	โครงสร้างของเม็ดดินแบบเม็ดเดี่ยว	12
รูปที่ 2.2.7	สภาพการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน	12
รูปที่ 2.2.8	โครงสร้างของเม็ดดินแบบรวงผึ้ง	13
รูปที่ 2.2.9	โครงสร้างแบบระเกะระกะ	14
รูปที่ 2.2.10	โครงสร้างของดินเหนียวแบบเป็นระเบียบ	14
รูปที่ 2.2.11	สถานะภาพของดินเหนียว	15
รูปที่ 2.3.1	การแบ่งขนาดของเม็ดดินของกรมช่างสหรัฐ	18
รูปที่ 2.3.2	ตะแกรงขนาดต่างๆ	19
รูปที่ 2.3.3	แผนภูมิความเหนียว	20
รูปที่ 2.3.4	สถานะภาพของดิน	21
รูปที่ 2.3.5	Liquid Limit Apparatus	21
รูปที่ 2.3.6	Grooving Tool	21
รูปที่ 2.3.7	ผลการทดสอบ Liquid Limit	22
รูปที่ 2.3.8	สภาพ Shrinkage Limit	23
รูปที่ 2.4.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Standard Proctor	27
รูปที่ 2.4.2	Compaction Curve	28
รูปที่ 2.4.3	อุปกรณ์การทดสอบความหนาแน่นดินในสนาม	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 3.1.1	สถานะภาพต่างๆ ของดินเหนียว	36
รูปที่ 3.1.2	เครื่องมือเคาะหาค่า Liquid Limit	37
รูปที่ 3.1.3	การเคลื่อนตัวของดินบริเวณรอยบาก	38
รูปที่ 3.1.4	การทดสอบหาค่า Plastic Limit	
รูปที่ 3.1.5	การหดตัวของมวลดิน	39
รูปที่ 3.1.6	เครื่องมือหาค่า Shrikage Limit	41
รูปที่ 3.2.1	กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน	36
รูปที่ 3.2.2	การตกตะกอนของเม็ดดิน	49
รูปที่ 3.2.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง R_c และ h	52
รูปที่ 3.2.4	เครื่องมือใช้ทดลองหาขนาดเม็ดดินโดยการตกตะกอน	54
รูปที่ 3.2.5	การเขย่ากระบอกตกตะกอนและการหย่อนไฮโดรมิเตอร์	54
รูปที่ 3.2.6	เครื่องมือใช้ทดลองหาขนาดเม็ดดินโดยการร่อน	56
รูปที่ 3.3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และ % ความชื้น ของ Standard Proctor และ Modified Proctor	58
รูปที่ 3.3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการบดอัด	59
รูปที่ 3.4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR, K, R และ Bearing Value	65
รูปที่ 3.4.2	อุปกรณ์ทดสอบค่า CBR	67
รูปที่ 3.4.3	การกดตัวอย่าง CBR	69
รูปที่ 3.4.4	แสดงการเตรียมตัวอย่าง CBR เพื่อแช่น้ำ	69
รูปที่ 3.4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

การศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของดินมีความสำคัญมากเพราะต้องนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับดินโดยอาจใช้ดินนั้นรองรับน้ำหนักของโครงสร้าง เช่น รองรับน้ำหนักอาคาร, เขื่อน, สนามบิน เป็นต้น หรืออาจจะใช้ทำเป็นวัสดุก่อสร้างเช่น ใช้เป็นวัสดุทำถนนเป็นต้น

แต่ในบางครั้ง เราอาจจะประสบปัญหาเกี่ยวกับสภาพดินในสถานที่ก่อสร้างนั้นๆ มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้งานเช่น ดินในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างมีความสามารถในการรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างได้น้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อให้ดินมีความสามารถในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ในโครงงานพิเศษนี้ ได้เลือกศึกษาการใช้สารละลาย bentonite เป็นสารผสมเพิ่มโดยใช้ค่า CBR เป็นดัชนีชี้ถึงคุณสมบัติของดินภายหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมาก เนื่องจากสารละลาย bentonite นั้นจะช่วยทำให้ดินจับตัวกันได้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อหาปริมาณ bentonite ที่ใช้ผสมนี้ในปริมาณที่เหมาะสมใน การบดอัดเพื่อให้มีความหนาแน่นสูงสุด

2. หาค่า CBR ของตัวอย่างดินที่ผสมสารละลาย bentonite แต่ละกรณีเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านการรับกำลังของดิน

3. นำผลที่ได้จากการทดลองมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติในด้านความสามารถในการบดอัดและการรับแรงของดินให้ดีขึ้น

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ในการบดอัดดินเพื่อให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดินนั้นจำเป็นจะต้องใช้น้ำในปริมาณที่เหมาะสมในการผสมเพื่อบดอัดดินเพื่อให้ดินมีความหนาแน่นสูงและบดอัดได้ง่าย ซึ่งในโครงงานนี้จะทำการทดสอบเพื่อหาปริมาณสารละลาย bentonite ที่ผสมในการบดอัดดินเพื่อเปรียบเทียบกับการบดอัดดินโดยวิธีธรรมดา เนื่องจากสารละลาย bentonite นั้นจะช่วยทำให้ดินจับตัวกันได้ดีขึ้นซึ่งอาจจะอาศัยคุณสมบัติข้อนี้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินซึ่งมีความสามารถในการบดอัดได้ไม่ดี ให้มีคุณสมบัติในการบดอัดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

โครงงานนี้จะนำดินตัวอย่างมาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของดินที่ทำการบดอัดแบบ modified proctor test และค่า CBR ของดินที่ทำการบดอัดดินด้วยการผสมน้ำในปริมาณที่เหมาะสมและการบดอัดดินที่ผสมสารละลาย bentonite ที่ความเข้มข้นต่างๆกันเพื่อที่จะวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายเบนโทไนท์ที่เหมาะสมซึ่งจะนำมาเป็นแนวทางไปใช้งานจริงได้

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

ทำการทดลองดังนี้

1. นำตัวอย่างดินเหนียวและดินลูกรังมาทำการทดสอบหาค่า Atterberg's limit และหาขนาดของเม็ดดินเพื่อจำแนกประเภทดินตัวอย่างในทางวิศวกรรม

2. นำดินตัวอย่างมาบดอัดด้วยวิธีแบบ modified proctor test เพื่อหาความชื้นที่เหมาะสม (optimum water content)ในการบดอัดโดยใช้น้ำผสม 100% และใช้สารละลายเบนโทไนท์ที่ความเข้มข้น 1%, 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% โดยน้ำหนัก เพื่อหาค่าความชื้นที่เหมาะสมในแต่ละตัวอย่างทดสอบ

3. ทำการทดลองหาค่า CBR แบบ Unsoaked และแบบ Soaked ของตัวอย่างทดสอบที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ โดยในแต่ละค่าความเข้มข้นจะใช้ค่าละ 2 ตัวอย่างนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ดินที่ผสมสารละลาย bentonite ในปริมาณที่เหมาะสมมีคุณสมบัติในด้านการรับกำลังสูงขึ้น

2. ดินที่ผสมสารละลาย bentonite จะมีความสามารถในการบดอัดดีขึ้น

3. สามารถนำแนวทางนี้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้นในด้านความสามารถในการรับกำลังและความสามารถในการบดอัดให้ดีขึ้นในงานจริงได้

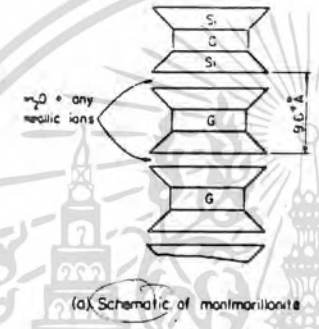
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

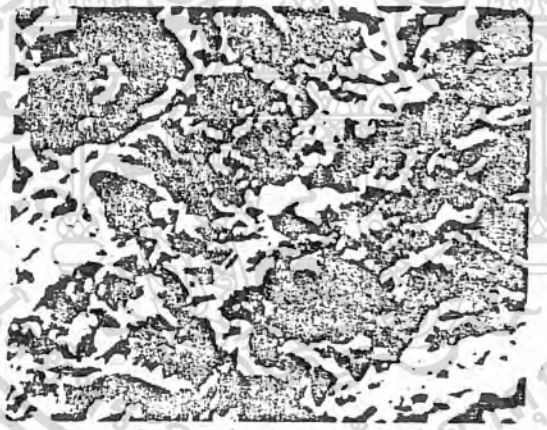
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BENTONITE

เบนโทไนท์เป็นดินเหนียวชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากเถ้าของภูเขาไฟ (Volcanic Ash) ส่วนประกอบทางเคมีเป็นสาร Hydrous Aluminum Silicate ซึ่งอยู่ในพวก Montmorillonite และมีสารอื่นปนอยู่เล็กน้อย เบนโทไนท์มีสารอื่นปนอยู่เล็กน้อย เบนโทไนท์มีความละเอียดสูงมากและเบนโทไนท์ที่มีคุณสมบัติดีจะต้องมีเม็ดดินซึ่งมีขนาดเท่ากับสารแขวนลอย (Colloid) อยู่ถึง 90 %



(a) Schematic of montmorillonite



(b)

Montmorillonite เป็นชื่อของแร่ธาตุดินเหนียว (Clay Mineral) ที่พบที่เมือง Montmorillonite ในประเทศฝรั่งเศษ ซึ่งมีสูตรทางเคมีโดยทั่วไปดังนี้

$$(OH)_4 \; Si_8 \; Al_4 O_{20} \cdot nH_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในแฟอมของ nH_2O ค่า n คือจำนวนชั้นภายในที่ดูดซับน้ำเอาไว้ " Smectite " คือชื่อที่ใช้เรียกแร่ธาตุดินเหนียวของกลุ่มนี้

แร่ธาตุดินเหนียว montmorillnite ประกอบด้วยหน่วยที่มีลักษณะเป็นแผ่นดังรูปที่ 5 - 12 ซึ่งมีอยู่ตามแถบต่างๆของโลก เช่น สหรัฐอเมริกา , ยุโรปตะวันตก , แอฟริกา , ญี่ปุ่น และ นิวซีแลนด์ ตามปกติสายแร่ของเบนโทไนท์จะเป็น Soft Rock โดยทำให้แตกแล้วตากให้แห้งแล้วนำไปป่นเช่นเดียวกับผงซีเมนต์

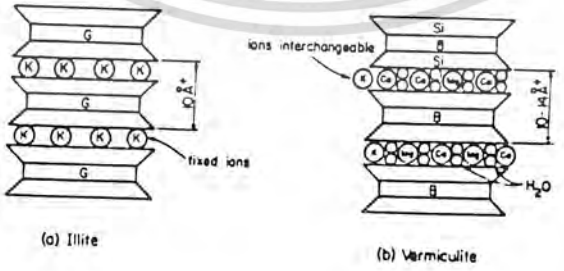
คุณสมบัติโดยทั่วไปของแร่ธาตุดินเหนียว

Hydration

อนุภาคของดินเหนียวเกือบทั้งหมดจะประกอบด้วยน้ำ เช่น ชั้นของน้ำที่อยู่รอบๆโมเลกุลของดินเหนียวที่เรียกว่า " absorbed water " ชั้นของน้ำนี้จะประกอบด้วยสองโมเลกุลบางๆ เป็นอย่างน้อยซึ่งเรียกว่า " diffuse layer " ชั้นของน้ำนี้ยึดติดอย่างมั่นคงและประกอบด้วยไอออนของโลหะ การกระจายตัวของไอออนบวกจากแร่ธาตุดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นตามระยะส่วนที่อยู่ข้างนอกจากผิวของอนุภาคดินเหนียวไปยังชั้นที่ดูดซับน้ำไว้

ผลกระทบจากสิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวกใกล้กับอนุภาคของแร่ธาตุดินเหนียวและเกิดประจุไฟฟ้าลบที่ระยะไกลจากอนุภาคออกไปมาก การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าบวกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติคล้ายกับการกระจายตัวโมเลกุลของน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิงที่อิสระของน้ำและสภาพแวดล้อม น้ำนี้จะมีแรงดึงดูดอย่างมั่นคงซึ่งมีพฤติกรรมเป็นของแข็งมากกว่าที่จะเป็นของเหลวและมีนักวิจัยบางท่านรายงานไว้ว่าน้ำมีความหนาแน่น

$\rho_w \rightarrow 1.4 \text{ g / cm}^3$



รูปที่ 2.1.2 (a) Illite และ (b) vermiculite clay minerals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นของน้ำนี้อาจจะสูญเสียไปที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 60 ถึง 100 องศาเซลเซียสและจะลดค่า natural plastic ของดินลง โดยบางส่วนของน้ำนี้อาจจะสูญเสียไปโดย air drying โดยทั่วไปแล้วถ้าชั้นของน้ำถูกทำให้ออกไปที่อุณหภูมิต่ำแล้วคุณสมบัติ plasticity อาจจะปกคลุมโดยการผสมกับน้ำในปริมาณที่เพียงพอและ curing ไว้ 24 ถึง 48 ชั่วโมง ถ้า Hydration เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นคุณสมบัติ plasticity จะถูกทำให้ต่ำลงอย่างถาวร

แร่ธาตุดินเหนียวมีแรงดึงดูดที่เพียงพอที่จะดูด H^+ ไอออน ซึ่งชั้นของน้ำจะมีขนาด 400 A° ขึ้นไป สามารถล้อมรอบอนุภาคได้ ดังรูปที่ 5 - 13 รูปนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่าง Kaonite และ Montmorillnite ในรูปของปริมาณความชื้นและค่า Liquid Limit ที่เป็นไปได้

Activity

ที่ขอบๆของทุกๆ clay mineral จะมีประจุลบล้วนๆซึ่งผลอันนี้จะทำให้เกิดการสมดุลประจุโดยการดึงดูด การดึงดูดนี้จะส่งผลทำให้เกิดการขาดประจุและอาจเกี่ยวพันถึง Activity ของดินเหนียว activity อาจจะถูกนิยามได้ดังนี้

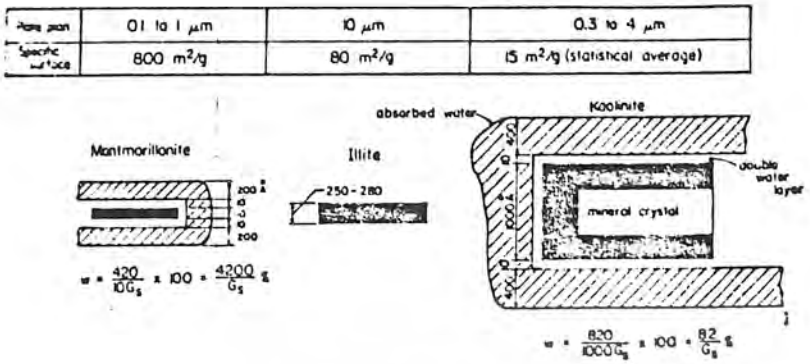
$$\text{Activity} = \frac{\text{plasticity index } I_p}{\text{percent clay}}$$

ซึ่ง percent clay จะถูกทำให้เป็น soil friction < 2 μm Activity จะเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นศักย์สัมพัทธ์ (relative potentail water content) ซึ่งแสดงในรูปที่ 5 -13 ค่าของ activity ของแต่ละชนิดจะอยู่บนพื้นฐานของสมการที่ค่าดังต่อไปนี้

Kaolinite	0.4 - 0.5
Illite	0.5 - 1.0
Montmorillonite	1.0 - 7.0

ทุกๆ activity ถูกนิยามโดยตัวเลขในสมการที่ 5 - 3 ตัวที่บ่งบอกค่าในทางปฏิบัติของ activity ที่ดีกว่าคือ shrinkage limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.3 ขนาดสัมพัทธ์ , สัดขะคาพในการลูดซับ , ระยะช่วงสัมพัทธ์ของปริมาณความชื้น , ขนาดเม็ดดินและสีของ montmorillonite , illenite และ kaolinite

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุในเทอมของ millequivalents ต่อ 100 กรัมของดินเหนียวถูกใช้เป็นค่าบ่งชี้ของ activity ตัวอย่างเช่น 1 meq ของ Na_2 / 100 g = 0.031 percent Na_2O ความสามารถในการแลกเปลี่ยนของแร่ธาตุดินเหนียวจำนวนมากจะเป็นดังนี้

Clay	Exchange capacity , meq/100 g
Kaolinite	3 - 5
Halloysite	10 - 40
Illite	10 - 40
Vermiculite	100 - 150
Montmorillonite	80 - 150

ในทางปฏิบัติดินเหนียวสามารถมี activity เหล่านั้นในเทอมของคุณลักษณะทาง plasticity โดยการแทนที่ของ metallic ions ของอันดับที่สูงกว่า ดังต่อไปนี้

$$L_i < N_a < NH_4 < K < M_g < R_b < C_a < C_o < A_l$$

ตามที่กล่าวใน scale C_a จะแทนที่ N_a หรือ M_g ได้ง่ายมากกว่าทั้ง N_a หรือ M_g จะแทนที่ C_a ดังนั้นจากจุดนี้จะทำให้เกิดความสามารถในการแลกเปลี่ยนที่มากกว่าประจุที่มากกว่า (ในบางรูปแบบของตัวผสม) เพื่อส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง activity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ความหมายของดิน

ดินเกิดจากการกัดกร่อน ผุพัง และแตกสลายของหินต่างๆโดยธรรมชาติ ทั้งจากฤทธิพลของดินฟ้าอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความกดดัน แรงดึงดูดของโลก และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี แล้วมีการเปลี่ยนแปลงพัดพา โดยตัวกลางต่างๆ เช่น ลม น้ำ ธารน้ำแข็ง เป็นต้น นำไปตกตะกอนในที่ต่างๆกลายเป็นชั้นดินขึ้นมา ทำให้คุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นและแต่ละแห่งแตกต่างกันไปไม่เหมือนกัน

วิศวกรได้แบ่งวัสดุที่ตกตะกอนทับถมกันเป็นผิวโลกออกเป็นดินและหิน ดินคือส่วนที่ตะกอนทับถมกันไม่แน่น เช่น กรวด(Gravel) ทราย(Sand) ตะกอนทราย(Silt) ดินเหนียว(Clay) หรือส่วนผสมของสิ่งเหล่านี้ ซึ่งอาจเป็นพวกที่มีความเชื่อมแน่นหรือไม่มีความเชื่อมแน่นก็ได้

Residual soil คือ ดินส่วนที่ยังไม่ถูกเคลื่อนย้ายหรืออยู่ไม่ห่างจากแหล่งกำเนิด

Top soil คือ ดินส่วนที่อยู่บนผิวซึ่งอาจจะเกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังและการสลายตัวของพวกพืชและสัตว์ที่ล้มตายทับถมกันเป็นเวลานาน จะมีสารอินทรีย์(Organic matter)สูง และมีหน่วยน้ำหนักต่ำ ดังนั้นโดยปกติจะต้องขุดออกหรือไม่นำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม

ส่วนประกอบของดิน

ดินประกอบด้วยเนื้อดินหรือเม็ดดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งในช่องว่างอาจจะเต็มไปด้วยน้ำหรืออากาศ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเป็นทั้งน้ำหรืออากาศปนกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ดินประกอบด้วย

1. **ของแข็ง** คือ เนื้อดินหรือเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นแร่ธาตุต่างๆ
2. **ของเหลว** ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นแร่ธาตุต่างๆ
3. **ก๊าซ** ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นอากาศ

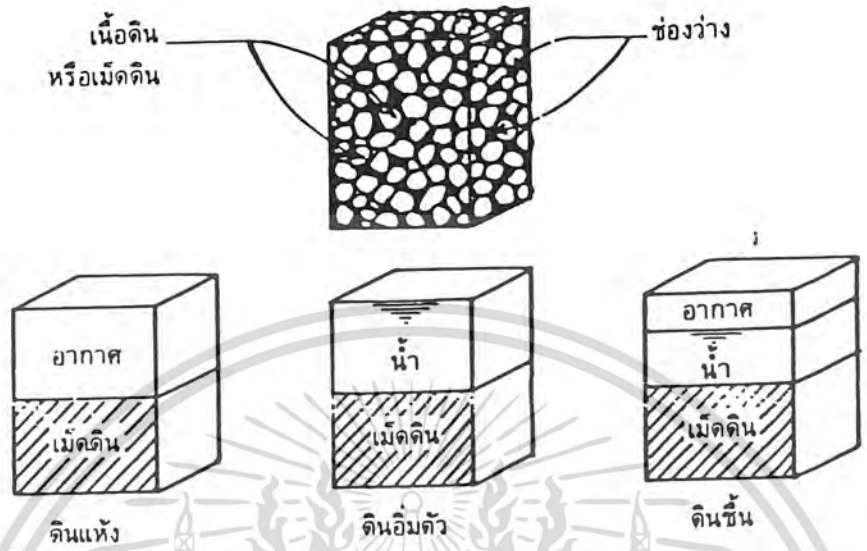
ถ้าช่องว่างเต็มไปด้วยอากาศ เรียกว่า ดินแห้ง (Dry soil)

ถ้าช่องว่างเต็มไปด้วยน้ำ เรียกว่า ดินอิ่มตัว (Saturated soil)

ถ้าช่องว่างมีทั้งน้ำและอากาศ เรียกว่า ดินชื้นหรือดินเปียก (Partially saturated soil หรือ Moist soil หรือ Wet soil)

ส่วนต่างๆที่ประกอบเป็นดินนี้ สามารถเขียนเป็นรูปผังได้ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.1 สัดแสดงส่วนประกอบของเม็ดดิน

ขนาดของเม็ดดิน

เม็ดดินมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดหยาบ (Coarse grained) เช่น พวกหิน (Boulder หรือ Cobble) กรวด และทราย จนถึงขนาดละเอียด (Fine grained) เช่น พวกตะกอนทราย ดินเหนียว และพวกแขวนลอย (Colloids) การแบ่งขนาดของเม็ดดินเหล่านี้ แต่ละสถาบันจะกำหนดขึ้นมาและใช้เป็นมาตรฐาน ซึ่งแตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างในตาราง

ตารางที่ 2.2.1 แสดงขนาดของเม็ดดิน

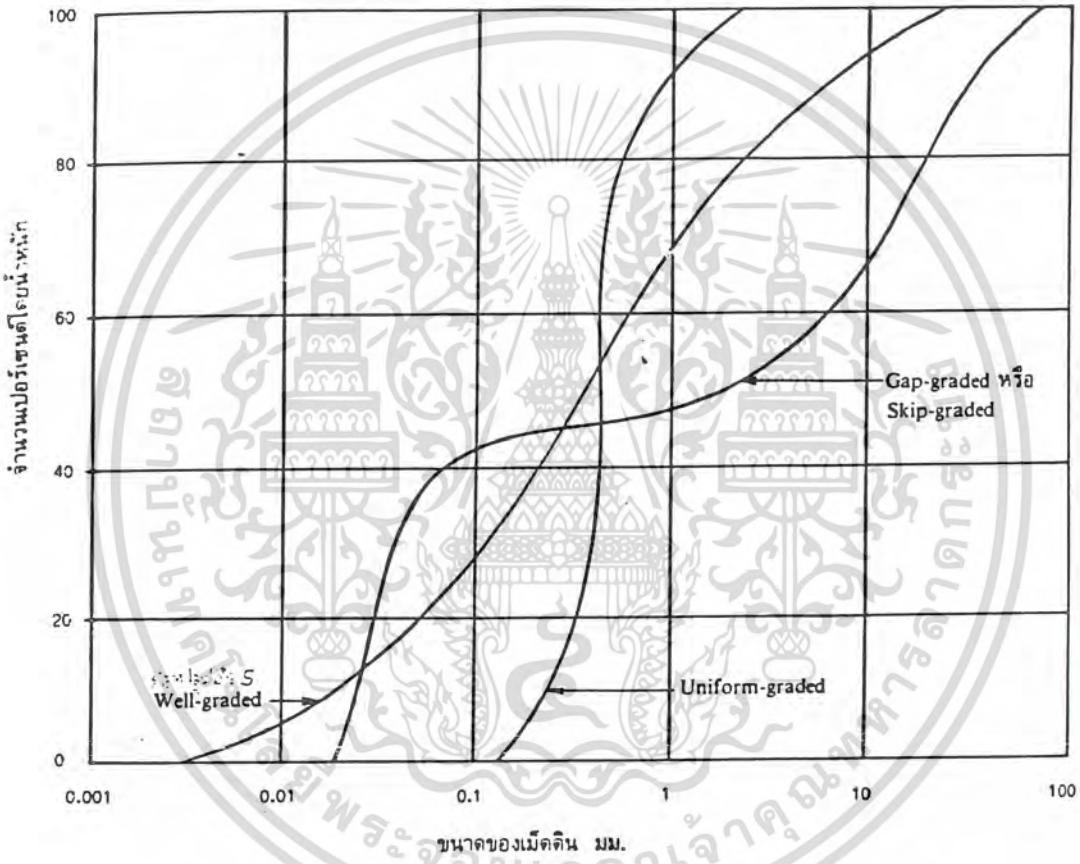
ชนิดของดิน	ช่วงของขนาดเม็ดดิน มม.
หิน	ใหญ่กว่า 75 (3")
กรวดหยาบ	75–19 ($\frac{3}{4}$")
กรวดละเอียด	19–4.75 (# 4)
ทรายหยาบ	4.75–2 (# 10)
ทรายปานกลาง	2–0.425 (# 40)
ทรายละเอียด	0.425–0.075 (# 200)
ตะกอนทราย	0.075–0.005 หรือ 0.002
ดินเหนียว	0.005 หรือ 0.002–0.001
แขวนลอย	เล็กกว่า 0.001

ตัวเลขใน ( ) หมายถึง ขนาดตะแกรงมาตรฐานสหรัฐฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของเม็ดดิน

ดังกล่าวมาแล้วว่า ขนาดของเม็ดดินมีหลายขนาดตั้งแต่ใหญ่ไปจนถึงเล็ก และในดินตัวอย่างหนึ่งๆนั้น อาจจะประกอบไปด้วยเม็ดดินขนาดต่างๆกันหลายขนาดรวมกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงหาว่าดินในแต่ละตัวอย่างมีขนาดไหน อย่างละเท่าไร จากการคำนวณเป็นน้ำหนัก แล้วนำมาเขียนเส้นสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินกับจำนวนเปอร์เซนต์ เรียกว่า เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ดังรูป



รูปที่ 2.2.2 เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

จากรูปจะเห็นว่า การกระจายตัวของเม็ดดินมีหลายแบบ อาจแบ่งได้ดังนี้

Well graded เม็ดดินมีขนาดต่างๆกัน คละกันอย่างเหมาะสม ตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็ก

Poorly graded แบ่งย่อยได้เป็น

Uniform graded เม็ดดินมีขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่

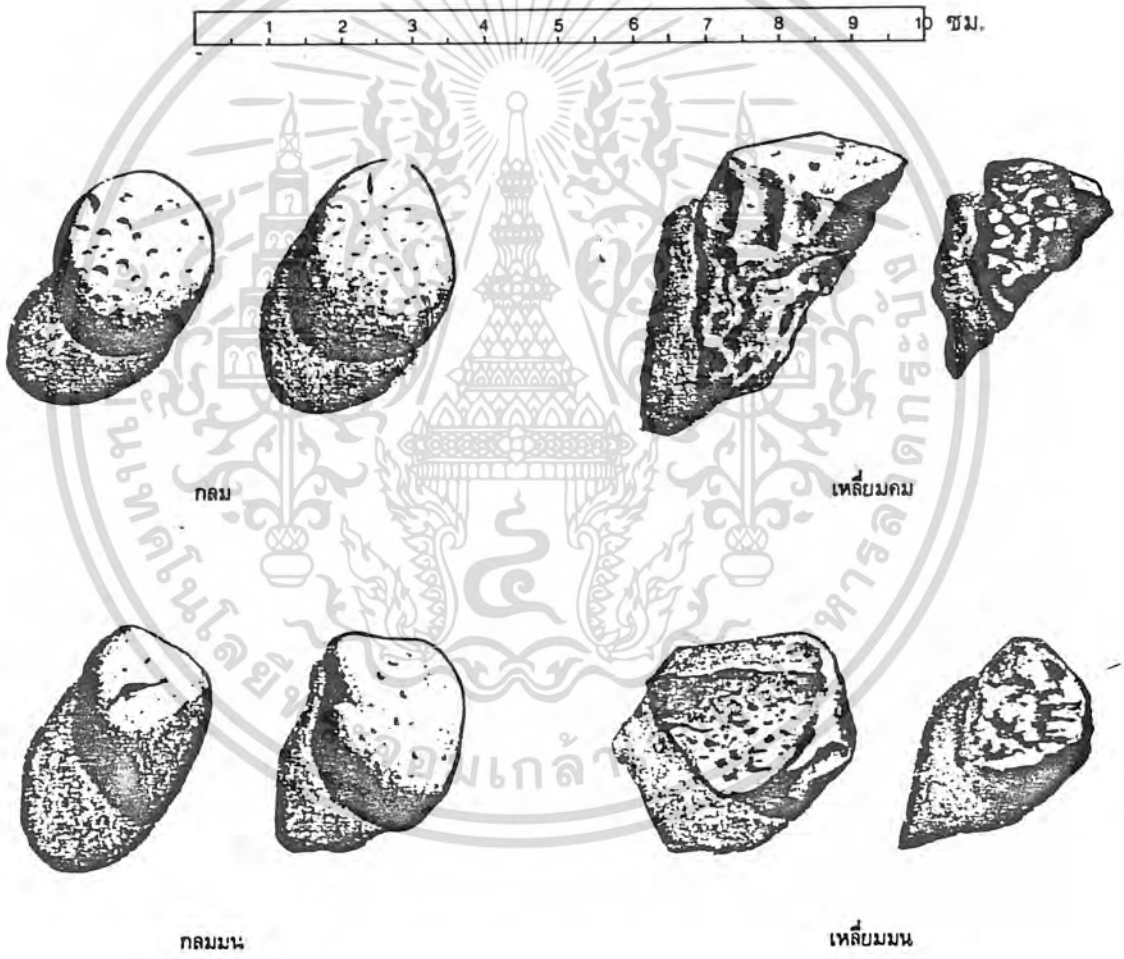
Gap graded หรือ **Skip graded** มีขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ขนาดปานกลางมีน้อยมากหรือไม่มี หรือขนาดใดขนาดหนึ่งหรือมากกว่าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของเม็ดดิน

เนื่องจากเม็ดดินประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆมารวมตัวกัน ดังนั้นจึงมีรูปร่างต่างกันออกไป รูปร่างของเม็ดดินจะมีอิทธิพลทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินเปลี่ยนไป โดยทั่วไปส่วนใหญ่รูปร่างของเม็ดดินจะเป็นดังนี้

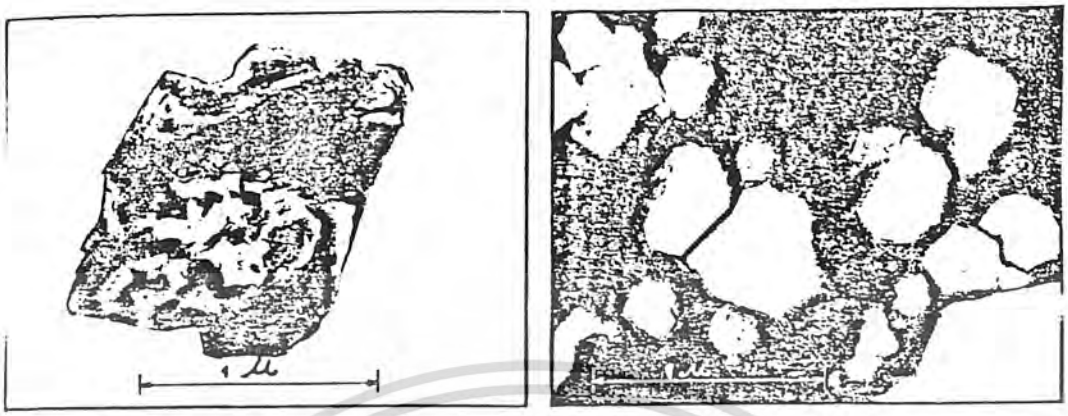
1. เป็นก้อนหรือเป็นเม็ด (Bulky หรือ Equidimension grains) อาจมีลักษณะกลม กลมมน เหลี่ยมมน และเหลี่ยมคม ดังรูป ได้แก่ ดินพวกเม็ดหยาบ เช่น กรวด ทราย ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวก Quartz และ Feldspar ดินที่ประกอบด้วยรูปร่างของเม็ดดินชนิดนี้สามารถจะรับน้ำหนักได้มากและยุบตัวน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ารูปร่างเป็นแบบเหลี่ยมคม แรงสั่นสะเทือนทำให้มันอัดตัวกันแน่นได้ง่าย



รูปที่ 2.2.3 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด

2. เป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด (Flakey หรือ Plate-like grains) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนและบางคล้ายใบไม้ ดังรูป ได้แก่พวกเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทราย ดินเหนียว ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุพวก Mica และ Clay minerals บางชนิด เช่น Kaolinite ดินที่ประกอบด้วยรูปร่างของเม็ดดินชนิดนี้จะถูกอัดและยุบตัวได้ง่ายภายใต้น้ำหนักคงที่ คล้ายใบไม้แห้งหรือกระดาษหลวมๆในตระกร้า แต่จะมั่นคงต่อแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือนมากกว่า

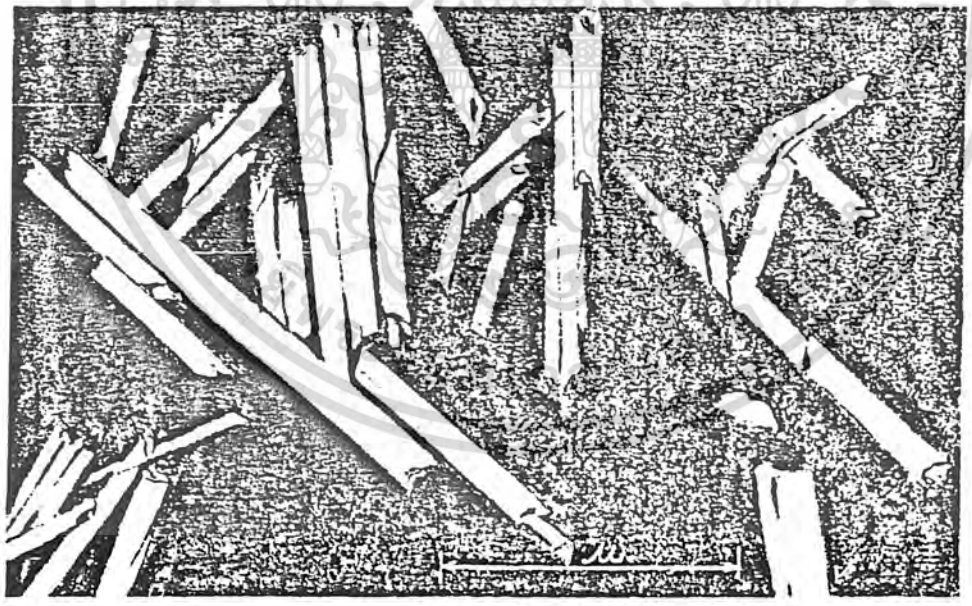
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Mica Kaolinite

รูปที่ 2.2.4 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด

3. เป็นเส้น (Elongated **หรือ** Needle-like grains) **มีลักษณะยาวคล้ายเข็ม ดังรูป ส่วนมากจะเป็นรูปร่าง ของพวก** Clay mineral **ชนิด** Halloysite **พวกใยหิน ขี้เถ้าภูเขาไฟบางชนิด และพวกอินทรีย์สาร เช่น** Peat



Halloysite

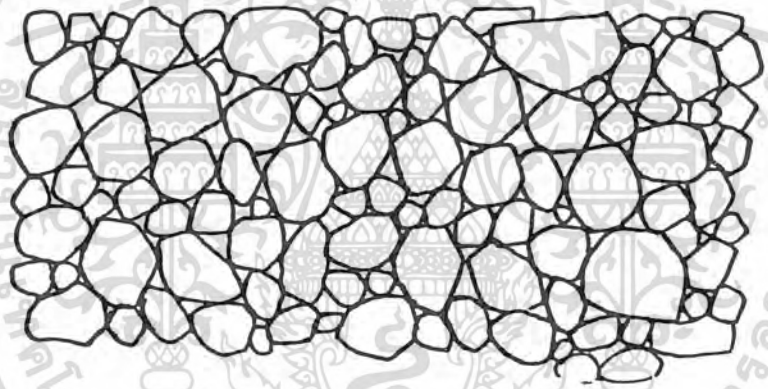
รูปที่ 2.2.5 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของดิน

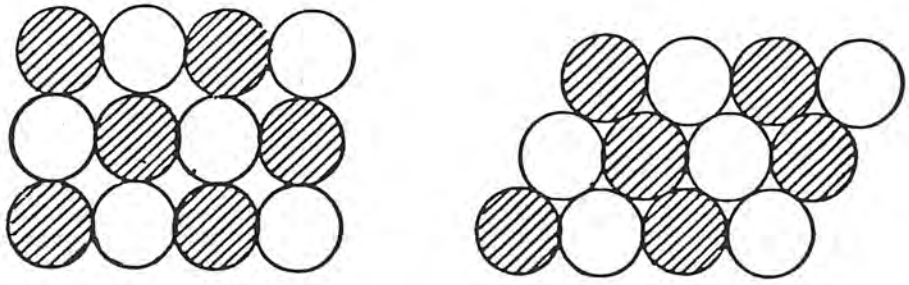
โครงสร้างของดินก็คือการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน โครงสร้างของดินตามธรรมชาติ จะเป็นผลมาจากแรงดึงดูดระหว่างการตกตะกอน แรงดึงดูดที่ผิวของเม็ดดิน และแรงดึงดูดของโลก ซึ่งจะขึ้นกับขนาดของรูปร่างของเม็ดดิน รวมทั้งแร่ธาตุที่ประกอบกันเป็นเม็ดดิน ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณสมบัติของเม็ดดินเป็นอย่างมาก สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. โครงสร้างเม็ดเดี่ยว (Single-grained structure) ส่วนใหญ่เป็นโครสร้างของพวกทรายหรือตะกอนทรายที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.02 มม. เม็ดดินพวกนี้เมื่อตกตะกอนทับถมกันแล้วจะเรียงตัวกันเป็นแบบเม็ดต่อเม็ดซ้อนกันอยู่ดังรูป โดยปกติจะอยู่ในสถาพหลวมๆ เมื่อรับน้ำหนักหรือการสั่นสะเทือนเม็ดดินเหล่านี้จะขยับตัวและอยู่ในสภาพแน่น ดังนั้นการทรุดตัวจะเกิดขึ้นได้ทันทีที่ได้รับน้ำหนัก และการทรุดตัวต่อไปจะน้อยมากหรือไม่มี



รูปที่ 2.2.6 โครงสร้างของดินแบบเม็ดเดี่ยว

อัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) ของโครงสร้างของดินชนิดนี้จะมีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงตัวของเม็ดดินว่าอยู่ในสภาพใด เช่น อยู่ในสภาพหลวมแบบดังรูป ก. อัตราส่วนช่องว่างมากและถ้าอยู่ในสภาพแน่นแบบรูป ข. จะมีอัตราส่วนช่องว่างน้อย



(ก) สภาพหลวม (ข) สภาพแน่น

รูปที่ 2.2.7 สภาพการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน

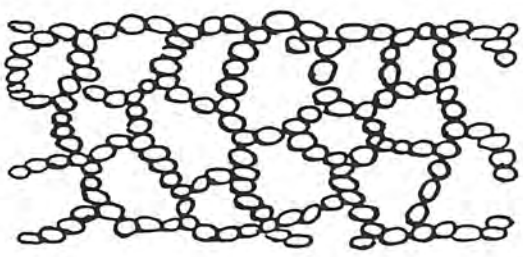
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราส่วนช่องว่างของดินพวกกรวด - ทราย (Granular soils) ดูได้จากตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2.2 อัตราส่วนช่องว่างของดินพวก กรวด-ทราย

ชนิดของดิน	อัตราส่วนช่องว่าง (e)	
	มากที่สุด	น้อยที่สุด
กรวด	0.60	0.30
ทรายหยาบ หรือทรายที่มีขนาดคละกันดี	0.75	0.35
ทรายละเอียด	0.85	0.40
ทรายที่มีเม็ดขนาดเดียวกัน	0.85	0.50
ทราย Ottawa มาตรฐาน	0.80	0.50
ทรายที่มีกรวดปน	0.70	0.20
ทรายที่มีตะกอนทรายปน	1.00	0.40
กรวดและทรายที่มีตะกอนทรายปน	0.85	0.15
กรวดที่มีทรายและตะกอนทรายปน ซึ่งมีขนาดคละกันดี	0.65	0.25
ทรายและตะกอนทรายพวก Mica	1.25	0.80

2. โครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Honeycomb structure) เป็นโครงสร้างของพวกตะกอนทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 0.02 มม. เม็ดดินพวกนี้จะตกตะกอนและเกาะติดกันเป็นรูปโค้งและเกาะติดกันเป็นรูปโค้งและเกาะเกี่ยวกันเป็นวงติดกันเป็นแบบรวงผึ้งดังรูป โครงสร้างแบบนี้จะมีอัตราส่วนช่องว่างสูงมากและรับน้ำหนักได้จำกัด ถ้าน้ำหนักที่กระทำมากพอที่จะทำลายรูปร่างของเม็ดดินที่เกาะเกี่ยวกันนี้ได้ โครงสร้างของเม็ดดินก็จะเปลี่ยนไปคล้ายกับเป็นดครงสร้างแบบเม็ดเดี่ยว และอัตราส่วนช่องว่างก็จะลดลงอย่างมาก ดังนั้นอาคารที่สร้างบนโครงสร้างของดินชนิดนี้อาจจะพังทลายลงได้ เนื่องจากการลดลงของปริมาตรดินเมื่อโครงสร้างถูกทำลาย ทำให้เกิดการทรุดตัวอย่างมาก



รูปที่ 2.2.8 โครงสร้างของดินแบบรวงผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.โครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculent structure) เป็นโครงสร้างของดินพวกดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนในน้ำทะเล และผลลัพธ์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินทำให้เม็ดดินตกตะกอนและทับถมกันนั้นจัดเรียงตัวแบบ Edge-to-face เม็ดดินจะยึดติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างผิวที่จุดสัมผัสได้เป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ ดังรูป ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของดินชนิดนี้มักจะไม่มั่นคง มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ จุดสัมผัสอาจจะแตกหรือหลุด โครงสร้างบางส่วนอาจจะถูกทำลายหรือหลุดไป ทำให้เกิดการขุบตัวลง ช่องว่างจะลดลง ดินก็จะทรุดตัว

รูปที่ 2.2.9 โครงสร้างแบบระเกะระกะ

4. โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed structure) เป็นโครงสร้างของดินพวกดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืด แต่ผลลัพธ์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินทำให้เม็ดดินขณะตกตะกอนทับถมกันเกิดการเกิดการจัดเรียงตัวแบบ Face-to-face ได้เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ ดังรูป หรือเป็นโครงสร้างของดินเหนียวแบบระเกะระกะ เมื่อถูกน้ำหนักหรือแรงกระทำก็จะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

รูปที่ 2.2.10 โครงสร้างของดินเหนียวแบบเป็นระเบียบ

สถานภาพของดิน

ดินพวกเม็ดละเอียดโดยเฉพาะดินเหนียว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามจำนวนน้ำที่อยู่ในดิน และจำนวนน้ำในดินนี้จะมีความสำคัญต่อสภาพของดิน เพราะจะทำให้ดินอยู่ในสภาพต่างๆกัน เช่น ดินอาจมีสถานภาพเป็นของเหลว (Liquid state) เมื่อมีน้ำมากจนกระทั่งทั้งเนื้อดินมีลักษณะคล้ายของเหลวข้น ไม่สามารถทรงรูปอยู่ได้ และเมื่อปริมาณน้ำลดลงดินก็จะมีสถานภาพเป็นพลาสติก (Plastic state) มีลักษณะเหนียวสามารถปั้นเป็นรูปต่างๆได้ง่ายโดยไม่มีรอยแตกร้าว และเมื่อปริมาณน้ำลดลงอีก ดินก็จะมีสภาพเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง (Semi-solid state)เปราะ ปั้นเป็นรูปต่างๆได้ยาก มักจะมีรอยแตกร้าว จนในที่สุดอาจมีสถานภาพเป็นของแข็ง (Solid state)

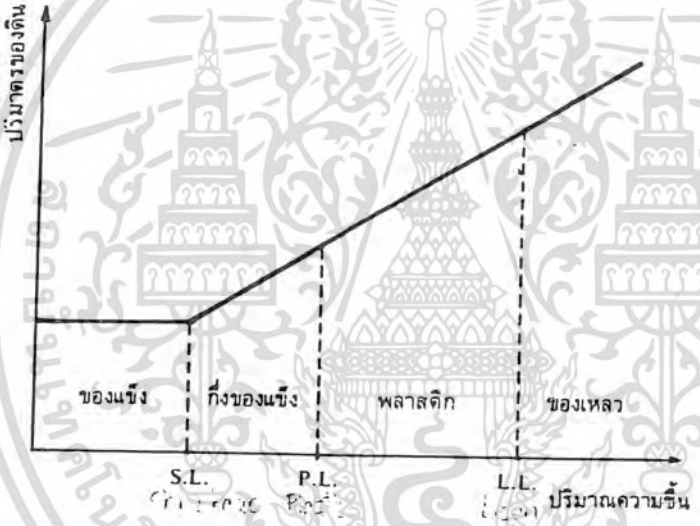
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีปริมาณน้ำน้อยมากหรือไม่มีเลย ปริมาณน้ำที่จุดแบ่งสถานภาพต่างๆของดินนี้เรียกว่า **Consistency Limits** หรือ **Atterberg's Limits** ได้แก่

1. Liquid Limit (L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลวเป็นพลาสติก หรือ คือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของดินเอง

2. Plastic Limit (P.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถถูกคลึงเป็นเส้นกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว

3. Shrinkage Limit (S.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากวัสดุกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำอีกต่อไปก็ไม่ทำให้ลินหดตัวหรือลดปริมาตรลง



รูปที่ 2.2.11 สถานภาพของดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกประเภทของดิน

ดินเป็นส่วนที่ประกอบด้วยสิ่งต่างๆหลายอย่าง เช่น กรวด ทราย ตะกอนทราย ดินเหนียว สารอินทรีย์ เป็นต้น และคุณสมบัติของดินจะขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆดังกล่าวเหล่านี้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีการจำแนกประเภทของดิน เพื่อบ่งถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของดินแต่ละประเภท โดยจัดให้ดินมีลักษณะคล้ายกัน มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน อยู่ในพวกเดียวกัน

ดินสามารถถูกจำแนกประเภทออกเป็นหลายลักษณะ เช่น จำแนกประเภทตามลักษณะสภาพทางธรณีวิทยา ตามปริมาณแร่ธาตุที่ประกอบอยู่ ตามขนาดของเม็ดดิน ตามคุณสมบัติความเหนียว (Plasticity)ของดิน ซึ่งการจำแนกประเภทของดินตามขนาดของเม็ดดินและคุณสมบัติความเหนียวของดินนี้ จะถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดในทางวิศวกรรม

การจำแนกประเภทของดินในทางวิศวกรรมโยธามีหลายระบบ การที่จะเลือกใช้ระบบไหน ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานถนน ใช้ระบบการจำแนกประเภทดินของ **AASHTO** งานสนามบิน ใช้ระบบการจำแนกประเภทดินของ **FAA** และงานวิศวกรรมทั่วๆไป ใช้ระบบการจำแนกประเภทดินของ **Unified** เป็นต้น

การจำแนกประเภทดินตามขนาดของเม็ดดิน

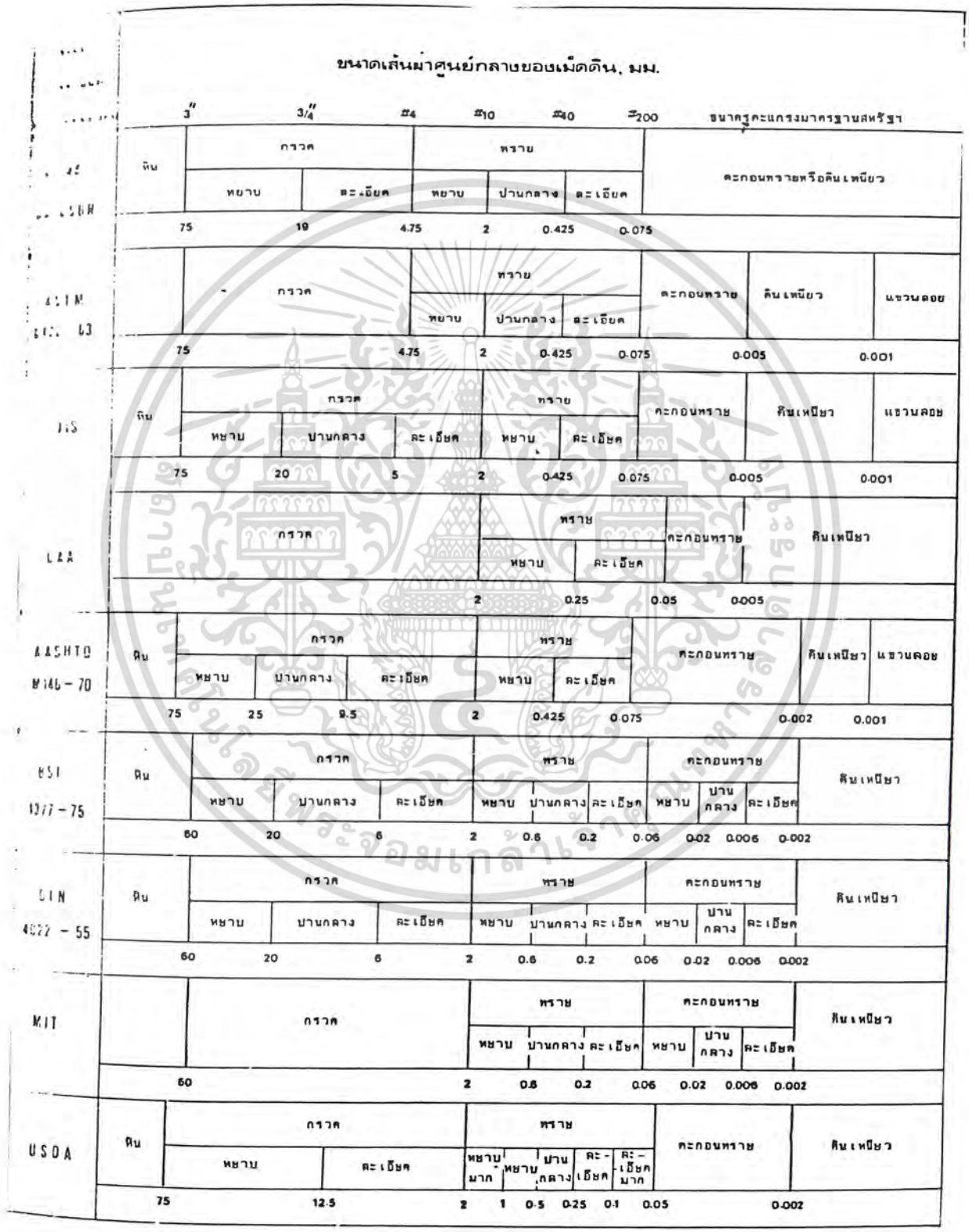
ดินจะถูกแบ่งออกเป็นดินพวกเม็ดหยาบ เช่น หิน กรวด ทราย และดินพวกเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทราย ดินเหนียว วัสดุแขวนลอย เป็นต้น สำหรับดินพวกเม็ดหยาบ จะหาขนาดได้ด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆกัน ส่วนดินพวกเม็ดละเอียด หาขนาดได้ด้วยวิธีวัดอัตราการตกตะกอนในน้ำ

การจำแนกประเภทของดินตามขนาดของเม็ดดินนี้ มีหลายมาตรฐาน แล้วแต่แต่ละสถาบันจะกำหนดขึ้นมา ซึ่งมีการแบ่งขนาดของเม็ดดินแต่ประเภทแตกต่างกันออกไป ดังตารางต่อไปนี้

USBR	=	United State Bureau of Reclamation
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
JIS	=	Japanese Industrial Standard
CAA	=	Civil Aeronautics Administration
AASHTO	=	American Association of State Highway and Transportation Officials
BSI	=	British Standard Institution
DIN	=	Deutsh Industric Norm
MIT	=	Massachusette Institute of Technology
USDA	=	United State Department of Agriculture

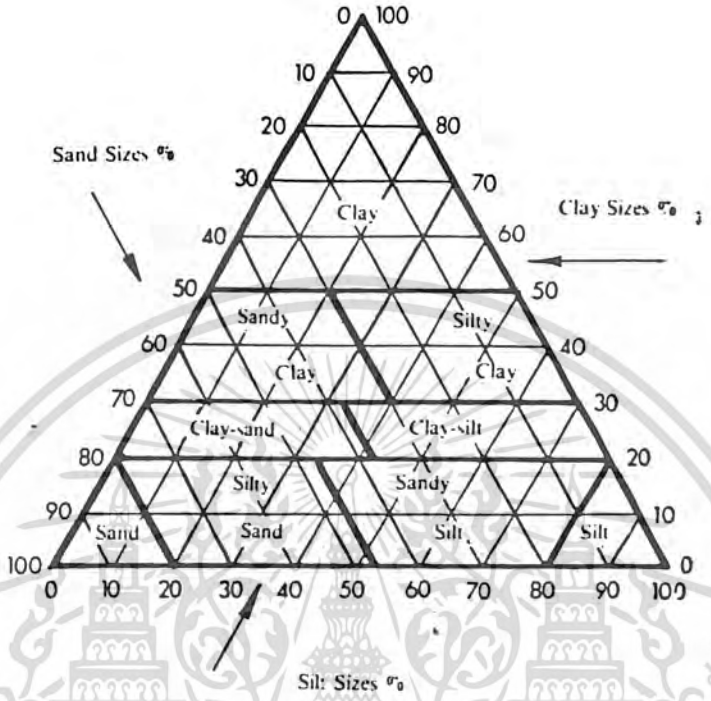
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3.1 การจำแนกประเภทของเม็ดดินตามขนาดของเม็ดดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ บางสถาบันยังมีการจำแนกประเภทของดินตามขนาดของเม็ดดิน โดยอาศัยรูปสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.3.1



รูปที่ 2.3.1 การแบ่งขนาดของเนื้อดินของกรมทางหลวง

การจำแนกประเภทของดิน โดยอาศัยขนาดของเม็ดดินอย่างเดียวนี้ มีประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรมน้อยมาก เพราะคุณสมบัติของดินนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของเม็ดดินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเหนียวของดินด้วย

การหาขนาดของเม็ดดิน

โดยวิธีร่อนด้วยตะแกรง (Sieve analysis หรือ Mechanical analysis)

วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดหยาบ เช่น กรวด ทราย เป็นต้น ทำได้โดยการนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงไปในตะแกรงมาตรฐาน แล้วเขย่า ตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด จัดเป็นชั้นๆดังรูป ให้ขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ข้างบนและขนาดที่เล็กที่สุดอยู่ข้างล่าง ขนาดเล็กที่สุดซึ่งเป็นตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งมีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 0.075 มม. เมื่อร่อนและนำมาชั่งแล้วก็จะคำนวณหาส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่างๆเป็นเปอร์เ.ซนต์กับน้ำหนักทั้งหมดได้ดังต่อไปนี้

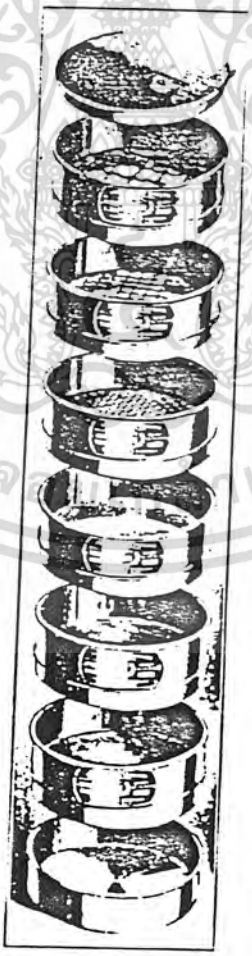
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง = $\frac{\text{หนักของดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของดินทั้งหมด}} \times 100$

เปอร์เซนต์ค้างสะสม = ผลบวกของเปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า

เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Passing หรือ Finer หรือ % Smaller)

= 100 - เปอร์เซนต์ค้างสะสม



รูปที่ 2.3.2 ตะแกรงขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกประเภทของดินตามคุณสมบัติความเหนียวของดิน

สำหรับดินเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทรายและดินเหนียวเนื่องจากมีขนาดเม็ดเล็กมากและมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามจำนวนน้ำหรือปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน ดังนั้นบางระบบจึงนิยมจำแนกดิน ตามประเภทคุณสมบัติความเหนียวของดิน

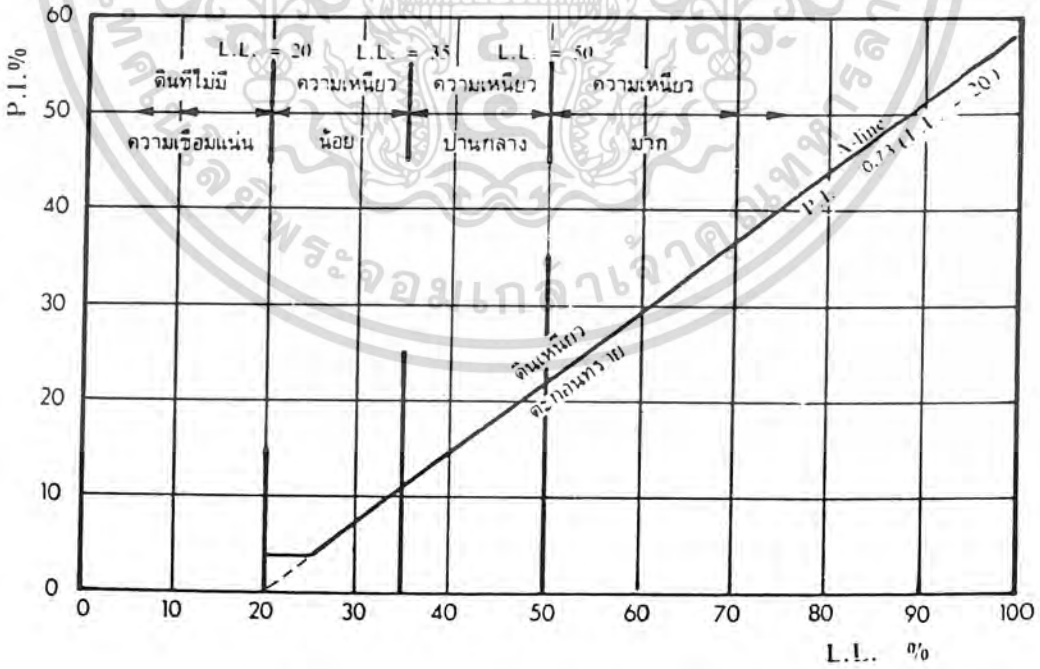
ในการจำแนกประเภทดินตามลักษณะนี้จะต้องหาค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index , P.I.) และ Liquid Limit (L.L.) ของดินแล้วนำไปเขียนจุดในแผนภูมิความเหนียว (Plasticity Chart) ดังในรูปที่ 2.5

ดินพวกเม็ดละเอียด จะถูกแบ่ง ตามสภาพความเหนียว ดังนี้

ความเหนียวน้อย	มีค่า L.L.	น้อยกว่า 35%
ความเหนียวปานกลาง	มีค่า L.L.	อยู่ระหว่าง 35% - 50%
ความเหนียวมาก	มีค่า L.L.	มากกว่า 50%

ส่วนการจำแนกประเภทดินเหนียวและตะกอนทรายนั้นจะใช้สมการ **P.I. = 0.73 (L.L. - 20)** ซึ่งเป็นเส้นตรงเรียกว่า **A - line** (รูปที่ 2.5) โดยดินเหนียวจะอยู่เหนือเส้น A และตะกอนทรายจะอยู่ใต้เส้น A

ดังนั้นเมื่อนำค่า P.I. และ L.L. ของดินที่จะจำแนกประเภทไปเขียนจุดลงในแผนภูมิความเหนียวถ้าจุดอยู่เหนือเส้น A ก็เป็น **ดินเหนียว** ถ้าจุดอยู่ใต้เส้น A ก็เป็น **ตะกอนทราย**

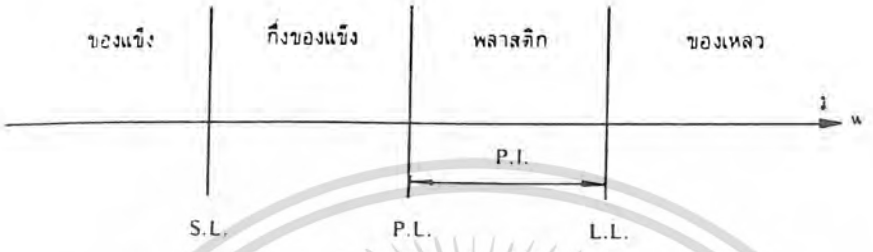


รูปที่ 2.3.3 แผนภูมิความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาจุดแบ่งสถานภาพของดิน

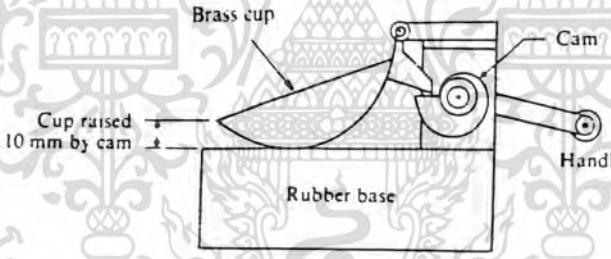
จุดแบ่งสถานภาพของดิน (Atterberg ' s Limits) ได้แก่ Liquid Limit , Plastic Limit , Shrinkage Limit ดังในรูปที่ 2.6 สามารถหาได้ดังนี้



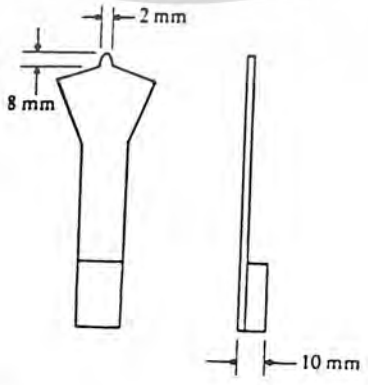
รูปที่ 2.3.4 สถานภาพของดิน

การหา Liquid Limit (L.L.)

หาได้โดยใช้เครื่องมือของ Casagrande ที่เรียกว่า Liquid limit apparatus ดังในรูป

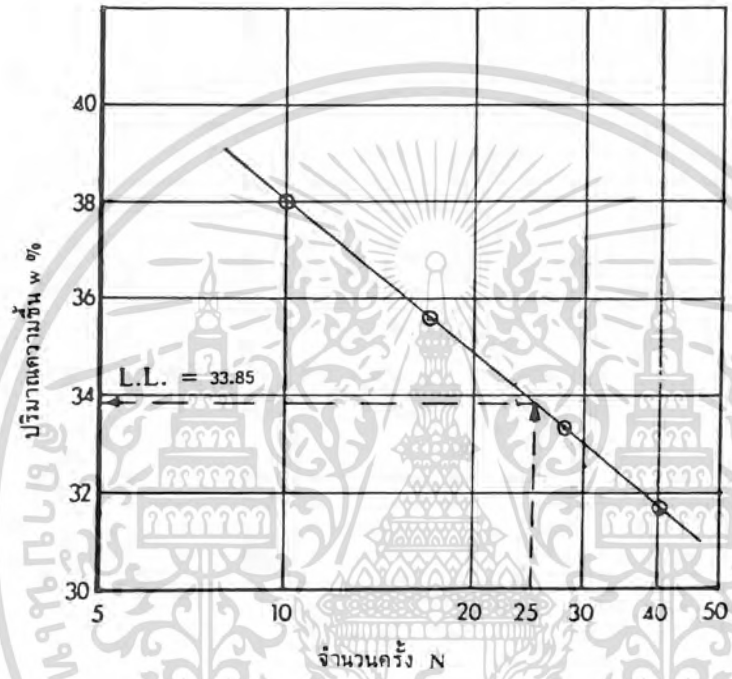


รูปที่ 2.3.5 Liquid limit apparatus



รูปที่ 2.3.6 Grooving tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.7 กราฟหาค่า Liquid Limit

นำดินเปียกมาใส่ในถ้วยทองเหลือง ปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วแบ่งดินออกเป็น 2 ส่วนด้วย Grooving tool (ดังในรูปที่ 2.3.6) หมุนให้ถ้วยยกกระแทกกับฐานบนเครื่องมือด้วยความเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที ระยะที่ตกกระแทกเท่ากับ 10 มม. จนกระทั่งดินที่แบ่งไว้ 2 ส่วนเคลื่อนเข้ามาติดกันเป็นระยะทาง 12.5 มม. บันทึกจำนวนครั้งที่ตกกระแทกและนำดินนั้นไปหาความชื้น ทำซ้ำเช่นนี้ 4 - 5 ครั้ง โดยให้ดินมีปริมาณความชื้นต่างๆกันแล้วนำผลไปเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งกับปริมาณความชื้นในกระดาษ Semi - log จะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ปริมาณความชื้นที่ 25 ครั้ง คือค่า **Liquid Limit** ของดินนั้น

การหา Plastic Limit (P.L.)

หาได้โดยนำดินชิ้นมาคลึงด้วยฝ่ามือบนแผ่นกระจก จนเป็นเส้นด้ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 มม. แล้วเริ่มเกิดรอยร้าวพอดี ปริมาณความชื้นที่จุดนั้นคือค่า **Plastic Limit** ของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรรชนีความเหนียว (Plasticity Index , P.I.)

ช่วงของปริมาณน้ำในดินซึ่งดินมีสถานภาพเป็นพลาสติก เรียกว่า **ดรรชนีความเหนียว** มีค่าเท่ากับผลต่างของ Liquid Limit กับ Plastic Limit เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

ดรรชนีความเหลว (Liquidity Index , L.I.)

อัตราส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณน้ำในดินตามธรรมชาติกับค่า Plastic Limit ต่อ Plasticity Index เรียกว่า **ดรรชนีความเหลว** เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

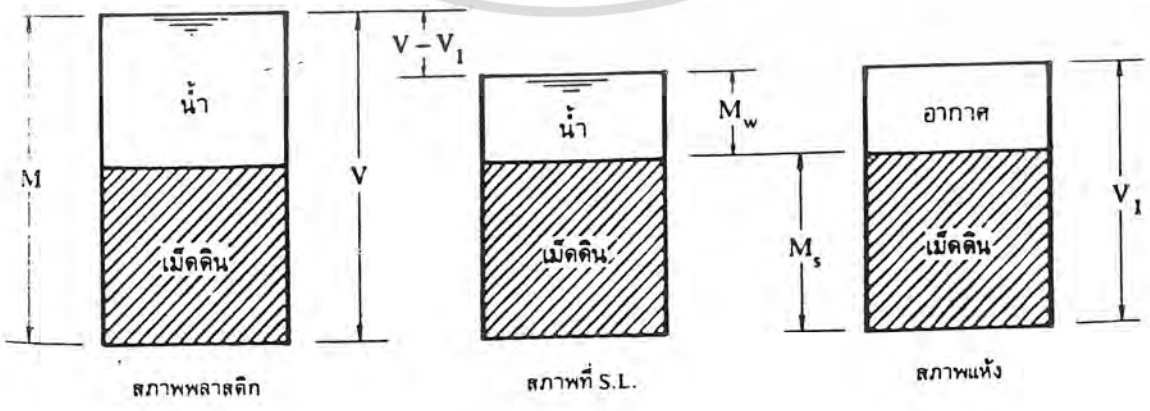
$$L.I. = \frac{W_n - P.L.}{P.I.} = \frac{W_n - P.L.}{L.L. - P.L.}$$

ในเมื่อ W_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ

จากสมการด้านบน จะเห็นว่าถ้า W_n = L.L. ค่า L.I. = 1 ถ้า W_n = P.L. ค่า L.I. = 0 ดังนั้นสำหรับดินในธรรมชาติซึ่งอยู่ในสภาพเป็นพลาสติก (L.L. >= W_n >= P.L.) ค่า L.I. จะแปรระหว่าง 1 และ 0 สำหรับดินในธรรมชาติซึ่งมีค่า W_n > L.L. จะมีค่า L. L. > 1 ถ้าอยู่ในสภาพ Undisturbed ดินนี้จะสามารถอยู่ได้มั่นคงแต่ถ้าถูกรบกวนหรือถูกกระทบทันทีทันใดดินนี้จะกลายสภาพเป็นของเหลวไหลไปได้เหมือนโคลน เรียกว่า **Quick clay** หรือ **Sensitive clay**

การหา Shrinkage Limit (S.L.)

นำดินมาผสมน้ำจนอยู่ในสภาพเป็นพลาสติก แล้วทำเป็นก้อนทรงกลมแบน ชั่งหาน้ำหนักของมวลได้เท่ากับ M และวัดปริมาตรในปรอทได้เท่ากับ V แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ซ. ชั่งหาน้ำหนักและวัดปริมาตรได้เท่ากับ M_s และ V_1 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3.8 จะเห็นว่าดินเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นสภาพแห้งนั้นจะต้องผ่านสภาพที่เป็น Shrinkage Limit ก่อน โดยที่มีการสูญเสียความชื้นอีกต่อไปหลังจาก Shrinkage Limit แล้ว ปริมาตรดินก็ไม่ลดลง ดังนั้นปริมาณความชื้นในดินที่สภาพ Shrinkage Limit หาได้จากสมการ

$$W = M_w / M_s$$

มวลของน้ำในตอนแรก $= M - M_s$

ที่ S.L. ปริมาตรลดลง $= V - V_1$

มวลของน้ำลดลง $= (V - V_1)\rho_w$

ดังนั้นที่ S.L. $M_w = (M - M_s) - (V - V_1)\rho_w$

แทนค่าในสมการที่ (1) จะได้

$$S.L. = \frac{(M - M_s) - (V - V_1)\rho_w}{M_s}$$

มาตรฐานขนาดเม็ดดินที่ใช้เป็นวัสดุดินถม

วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุดินถมทางต้องใช้ดินที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ขนาดของเม็ดดินจะต้องมีขนาดดังต่อไปนี้

ขนาดของตะแกรง มาตรฐานของสหรัฐ (SIEVE SIZE)	เปอร์เซนต์ผ่านโดยน้ำหนัก (% Passing Wt.) ขนาด (GRADING)					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
No.10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

ตารางที่ 2.3.2 มาตรฐานการจำแนกดินที่ใช้เป็นวัสดุดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. LIQUID LIMIT ไม่เกินกว่า 35

3. PLASTICITY INDEX ไม่เกินกว่า 11

4. PERCENTAGE OF WEAR ไม่เกินกว่า 50

5. ในการก่อสร้างโดยทั่วไปต้องบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 95 % ของ standard proctor density compaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดอัดดิน

การบดอัดดิน

Compaction เป็นการบดอัดดินให้แน่นขึ้นโดยการใช้เครื่องมือกล (mechanical means), หรือใช้แรงกระแทก เพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้เม็ดดินเรียงตัวอัดกันแน่นขึ้น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อยลง ความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักดินจึงสูงขึ้น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อยลง การไหลซึมผ่านของน้ำและการทรุดตัวของดินน้อยลง

ส่วน Consolidation นั้น เป็นการขุบหรืออัดตัวของเม็ดดินโดยอาศัยธรรมชาติภายใต้น้ำหนักคงที่กระทำเป็นเวลานาน เช่น ใช้ดินถมทับ เพื่อให้น้ำในดินหนีออกไป ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจึงลดลง ปริมาตรของมวลดินจึงลดลง ทำให้ดินแน่นขึ้น

การบดอัดสามารถทำได้ทั้งดินที่อยู่ตามธรรมชาติเดิม หรืออาจขุดจากที่แห่งหนึ่งแล้วนำไปบดอัดในที่อีกแห่งหนึ่ง ในปัจจุบัน การบดอัดดินนับว่าเป็นเรื่องสำคัญมากที่สุด เพราะงานก่อสร้างทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นงานก่อสร้างอาคารพาณิชย์หรือที่พักอาศัย งานการทาง สนามบิน หรือเขื่อนดินต้องมีการถมดินและบดอัดดิน เพื่อให้ดินมีกำลังต้านทานแรงเฉือนมากขึ้น และทำให้น้ำไหลซึมผ่านดินได้น้อยลง ทั้งนี้เพื่อให้การทรุดตัวในอนาคตน้อยลง

การบดอัดดินในสภาพสนามสามารถทำได้ 3 วิธี คือ (ก) โดยการบดไปมา (Rolling) ได้แก่การใช้รถบดล้อยาง (pneumatic-tired roller) รถบดล้อเหล็ก (smooth-wheel roller) หรือ รถบดตีนแกะ (sheep foot roller) เป็นต้น (ข) โดยการกระทุ้ง (ramming หรือ impact) ได้แก่การใช้สามเกลอ (dropping weight type) กบกระโดด (internal combustion type) เป็นต้น และ (ค) โดยการสั่นหรือเขย่า (vibration) ด้วยเครื่องมือสั่นสะเทือน

การเลือกใช้วิธีบดอัดดิน เช่น ใช้รถบดอัดล้อเหล็กกับดินประเภทหินย่อย กรวด และทราย หรือใช้ได้กับดินที่มีความเชื่อมแน่นปานกลาง (moderately cohesive soils) ใช้รถบดตีนแกะกับดินที่มีความเชื่อมแน่น (cohesive soil) แต่ไม่เหมาะกับดินที่มีเม็ดหยาบและไม่มีความเชื่อมแน่น ใช้รถบดล้อยางกับดินพวกทราย กรวด หรือดินที่มีความเชื่อมแน่น ใช้สามเกลอหรือกบกระโดดกับบริเวณที่ไม่กว้างมากนัก ใช้การสั่นสะเทือนกับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่น ทราย เป็นต้น

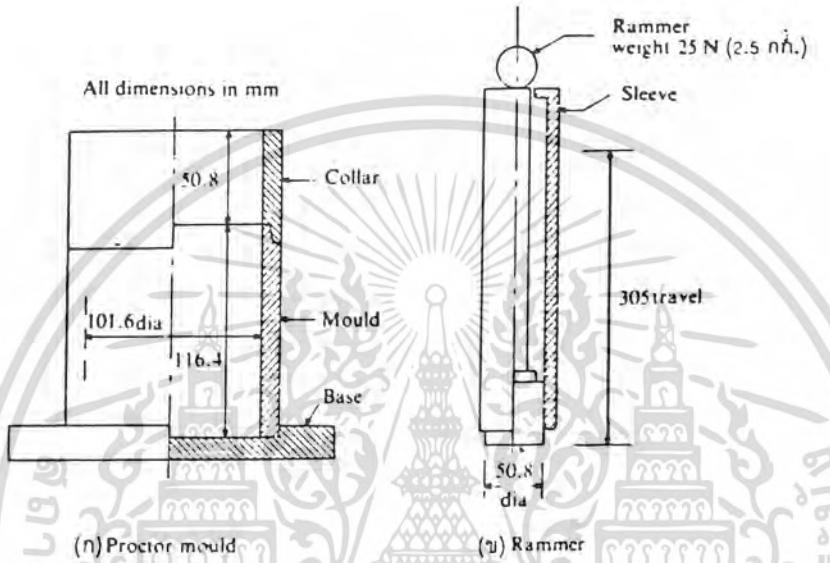
สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งของการบดอัด คือ จำนวนเที่ยวของการบดอัดและความหนาของชั้นดิน โดยทั่วไปความหนาของชั้นดินจะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 12 นิ้ว ในบางครั้งจะต้องมีการทดลองดูว่าการบดอัดที่เหมาะสมจะต้องบดอัดกี่เที่ยว

การบดอัดในห้องปฏิบัติการ อาจทำได้โดยวิธีการต่างๆกัน แต่ที่นิยม คือ วิธี Standard Proctor Test และวิธี Modified Proctor Test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นแห้งของเม็ดดิน (dry density) ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งของเม็ดดินสูงที่สุด เรียกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content : O.M.C.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Proctor Test

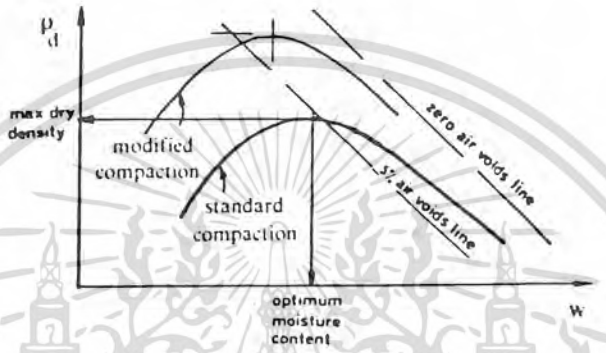
วิธีนี้ค้นพบโดยนาย Proctor (1933) ในการก่อสร้างเขื่อนดิน ในมลรัฐคาลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนำดินแห้งตัวอย่าง (ที่ลอดผ่านตะแกรงขนาด 3/4") ประมาณ 2 1/2 กิโลกรัมผสมกับน้ำปริมาณหนึ่งและคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วนำไปบดอัดในแบบทรงกระบอกกลวง ดังรูป ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว สูง 4.59 นิ้ว มี



ความจุคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 1/30 ลูกบาศก์ฟุต (0.945 ลิตร) บรรจุดินเป็นจำนวน 3 ชั้น กระทุ้งหรือกระแทกชั้นละ 25 ครั้งด้วยลูกตุ้มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5 ปอนด์ โดยยกสูงเหนือดิน 12 นิ้ว แล้วปล่อยให้ตกลงมา เมื่อทำการกระทุ้งเสร็จแล้ว ก็ปาดหน้าให้เรียบเสมอกันกับระดับของแบบทรงกระบอกนั้น นำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นของดิน และปริมาณน้ำในมวลดิน ทำการทดลองซ้ำอีกโดยวิธีเดียวกัน แต่เพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ผสมขึ้นอีก (ประมาณ 2 เปอร์เซนต์) จนกระทั่งน้ำหนักของดินเปียกที่อยู่ภายในแบบมีค่ามากที่สุดและเริ่มลดลง จากนั้นนำค่าของปริมาณน้ำในดินและความหนาแน่นของดินที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ โดยให้แกน x เป็นแกนของปริมาณน้ำในมวลดิน และแกน y เป็นแกนของความหนาแน่นของเม็ดดิน จะได้เส้นสัมพันธ์ดังแสดงในรูป ซึ่งจะเห็นว่าความหนาแน่นของเม็ดดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำในมวลดินที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด แล้วค่าความหนาแน่นของเม็ดดินจึงเริ่มลดลงตามค่าของปริมาณน้ำในมวลดินที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำในมวลดินที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเรียกว่า Optimum Moisture Content (O.M.C.) ถ้าปริมาณน้ำในมวลดินน้อยกว่า O.M.C. น้ำจะไม่สามารถคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ ดินจึงยังคงมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินอยู่มาก ดังนั้นความหนาแน่นของเม็ดดินจึงยังไม่มากที่สุด แต่ถ้าปริมาณน้ำในมวลดินมากเกินกว่าค่าของ O.M.C. น้ำจะไปละลายดินและอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินหมด ทำให้ในมวลดินหนึ่งๆจะมีน้ำอยู่มากและมีเนื้อดินอยู่น้อย ความหนาแน่นของเม็ดดินจึงน้อยลงไป ฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำในมวลดินต้องพอดีไปแทรกเป็นตัวประสานให้ดินรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จึงจะได้ความหนาแน่นของเม็ดดินมากที่สุด



ตารางแสดงค่าปริมาณที่เหมาะสมที่สุด และความหนาแน่นแห้งของมวลดินต่างๆที่จำแนกตามระบบ Unified เมื่อบดอัดดินตาม Standard Proctor Test ในตารางดังกล่าวยังให้คุณลักษณะการบดอัดและการใช้เครื่องมือบดอัด รวมทั้งค่า CBR ในสนาม

ค่าของ Optimum Moisture Content และค่าความหนาแน่นของดินที่ได้ตามวิธีทดลอง Standard Proctor Test อาจคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$O.M.C. = SL*B/A + k2$$

และ

$$\text{Standard Proctor's Density} = \frac{100125 * k2}{SL(B/A - 1) + 100/SR}$$

ในเมื่อ SL = Shrinkage Limit

SR = Shrinkage Ratio

$$k1 = \frac{104.0 - 0.67\ PI}{100}$$

$$k2 = 0.33\ PI - 4.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของดิน	กลุ่มของดิน	ระดับขั้นของความแน่น	การถมดินและการถมดิน ๆ						ดินฐานรากถาวรหรือหนา	
			เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัด	จำนวนเที่ยว	ความหนาแต่ละชั้น, มม.	จำนวนน้ำที่ผสม, %	γ dry กน./ม.^{3}	การควบคุมในสนาม	วิธีการบดอัด	การควบคุมในสนาม
น้ำไหลซึมผ่านได้หรือระบายน้ำได้สะดวก	GW GP SW SP	95 ถึง 105 เปอร์เซนต์ของการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน หรือ 70 ถึง 85 เปอร์เซนต์ของความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D_r)	รถบดล้อยางหรือเครื่องจักรแบบสั่นสะเทือน รถบดล้อยาง รถแทร็คเตอร์ตีนตะขาบ เครื่องกระทุ้งด้วยมือ (หนัก >45 กก.)	ตามต้องการ 2-5 2-5 ตามต้องการ	ตามต้องการ 300 200 <150	อิ่มตัวโดยให้น้ำท่วม	17-21	ทดสอบความหนาแน่นในสนาม ณ จุดต่าง ๆ โดยวิธีสุ่ม (Random)	ไม่สามารถทำได้ยกเว้นชั้นที่อยู่ใกล้ผิวดิน	
		90 ถึง 95 เปอร์เซนต์ของการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน หรือ 60 ถึง 70 เปอร์เซนต์ของความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D_r)	รถบดล้อยาง รถแทร็คเตอร์ตีนตะขาบ เครื่องกระทุ้งด้วยมือ	2-5 1-2 ตามต้องการ	350 250 <200	อิ่มตัวโดยให้น้ำท่วม	16-20	ทดสอบความหนาแน่นในสนาม ณ จุดต่าง ๆ โดยวิธีสุ่ม	- Vibroflotation - Compaction piles - Sand piles - Explosives - และวิธีผิวดิน	- ตัวอย่างคงสภาพจากหลุมเจาะหรือบ่อทดลอง (Test pits) - SPT ก่อนและหลังการบดอัด
น้ำไหลซึมผ่านได้บ้าง ถึงน้ำไหลซึมผ่านไม่ได้	GM GC SM SC	95 ถึง 105 เปอร์เซนต์ของการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน	รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ เครื่องกระทุ้งด้วยมือ	2-5 4-8 ตามต้องการ	200 150 <100	ณ จุดความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดสอบความแน่นในห้องปฏิบัติการ	16-20	ทดสอบความหนาแน่นในสนาม ณ จุดต่างๆ โดยวิธีสุ่ม	- ถมทำ Preload - ลดระดับน้ำใต้ดิน - โดยทั่วไปใช้ทฤษฎีของการยุบอัดตัวของดินมาประยุกต์	
	ML CL OL MH CH OH	90 ถึง 95 เปอร์เซนต์ของการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน	รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ รถแทร็คเตอร์ตีนตะขาบ เครื่องกระทุ้งด้วยมือ	2-4 4-8 2-4 ตามต้องการ	250 200 150 <150		13-19			

หมายเหตุ 1. รถบดล้อยางความดันสัมผัส (Tire pressures) ประมาณ 550-700 กน./ม.^{2}

2. รถบดตีนแกะความดันหนาม (Foot pressures) อยู่ในเกณฑ์ 1,700–3,500 กน./ม.^{2}

3. รถแทร็คเตอร์ตีนตะขาบน้ำหนักจะต้องสูงกว่า 85 กน. และความดันสายพาน (Track pressures) จะต้องมากกว่า 45 กน./ม.^{2}

A = เปอร์เซนต์ของดินที่รอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4

B = เปอร์เซนต์ของดินที่รอดผ่านตะแกรงเบอร์ 40

PI = Plasticity Index

พลังงานที่ใช้บดอัดดิน (Compaction Energy)

พลังงานที่ใช้บดอัดดินที่บอกเป็นค่าของพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของดิน คำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน} = \frac{\text{น.น.ของลูกตุ้ม x ความสูงที่ยกขึ้น x จำนวนการกระทุ้ง x จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของดิน}}$$

ดังนั้นในการทำ Standard Procter Test ใช้พลังงานบดอัดดินเท่ากับ

$$\frac{5.5 \times 1 \times 25 \times 3}{1/30} = 12,400 \text{ ฟุต-ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต}$$

พลังงานที่ใช้บดอัดดินมีผลต่อค่าความหนาแน่นของเม็ดดิน และปริมาณน้ำในมวลดิน ถ้าใช้พลังงานมากขึ้น หรือการบดอัดมากขึ้น ค่าความหนาแน่นของเม็ดดินจะสูงขึ้น และ Optimum Moisture Content จะลดลง ดังรูป อย่างไรก็ดี ความหนาแน่นของเม็ดดินที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานที่ใช้ สิ่งที่ควรระวัง คือ การใช้พลังงานบดอัดดินมากเกินไปอาจทำให้ไม่ได้ค่าความหนาแน่นมากสุดก็ได้ เมื่อบดอัด 15 ครั้งได้ความหนาแน่นสูงสุด แต่เมื่อบดอัด 25 ครั้ง จะได้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นก็จริง แต่มิใช่ค่าสูงสุดและถ้าเพิ่มปริมาณน้ำอีกก็จะไม่มีวันได้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเลย เพราะกราฟจะตกลงเรื่อยๆ

เส้นดินอิ่มตัว (Saturation Line) หรือเส้นปริมาณอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Voids Line)

เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของเม็ดดินที่จะได้ เมื่อไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินเลย นั่นคือหลังจากที่บดอัดดินแล้วจะได้ดินที่มีความอิ่มตัว (saturated) ซึ่งในทางปฏิบัติจริงทั้งในห้องปฏิบัติการณ์หรือในสนามสามารถทำได้ โดยปกติแล้ว จะมีอากาศเหลืออยู่ประมาณ 5 % นั่นคือมีดีกรีของความอิ่มตัว 95%

เส้นสัมพันธ์ระหว่างน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของเม็ดดินที่มีดีกรีของความอิ่มตัวต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_d = \frac{G\,\gamma_w}{1 + mG/S}$$

ในเมื่อ γ_d = ความหนาแน่นของเม็ดดิน

γ_w = หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นของน้ำ

G = ความถ่วงจำเพาะ

m = ปริมาณน้ำในมวลดิน

S = ดีกรีของความอิ่มตัว

เมื่อให้ S = 100% จะเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d กับ m ได้ ซึ่งเรียกว่าเส้นดินอิ่มตัวหรือเส้นปริมาณอากาศเป็นศูนย์

Modified Proctor Test

เมื่อต้องการให้ดินมีกำลังรับน้ำหนักได้ดีขึ้น เช่น การก่อสร้างถนนทางหลวงหรือสนามบิน ก็ต้องบดอัดดินให้แน่นมากขึ้นอีก โดยใช้วิธี Modified Proctor Test ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานของทางการสหรัฐอเมริกา ในบางครั้งเรียกชื่อว่า Modified AASHTO Test วิธีการก็ทำคล้ายกับวิธี Standard Proctor Test ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่บดอัดดินซึ่งรอดผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว ในแบบทรงกระบอกกรวงซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว สูง 4.59 นิ้ว มีความจุ 1/30 ลูกบาศก์ฟุต เป็นจำนวน 5 ชั้น ในแต่ละชั้นกระทุ้งหรือกระแทก 25 ครั้ง ด้วยลูกตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูงเหนือดิน 18 นิ้ว แล้วปล่อยลงมา พลังงานที่ใช้บดอัดดินมีค่าเท่ากับ 56,300 ฟุต-ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งประมาณ 4 1/2 เท่าของ Standard Proctor Test และจะได้เส้นสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของเม็ดดินดังรูป ซึ่งจะเห็นว่าถ้าใช้ดินตัวอย่างชนิดเดียวกัน เส้นสัมพันธ์นี้จะอยู่เหนือเส้นสัมพันธ์ที่ได้จากวิธี Standard Proctor Test และจุดที่ให้ค่าความหนาแน่นของเม็ดดินมากที่สุดจะอยู่ค่อนไปทางซ้ายมือ นั่นคือเมื่อใช้พลังงานในการบดอัดดินมากขึ้น และ O.M.C. มีค่าลดลง

California Bearing Ratio (CBR)

เป็นวิธีการที่เสนอโดยกรมทางหลวงของมลรัฐคาลิฟอร์เนียร์ ประเทสสหรัฐอเมริกาเพื่อวัดหากำลังรับน้ำหนักของดิน ผลที่ได้ออกมาเป็นค่าเปรียบเทียบ วิธีการทดลองทำโดยการบรรจุดินตัวอย่างลงในแบบโลหะรูปทรงกระบอกกรวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว สูง 5 นิ้ว แล้วบดอัดดินด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว แต่เนื่องจากแบบทรงกระบอกนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงต้องใช้พลังงานบดอัดเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ค่ากำลังของดินเท่ากับวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modified Proctor Test ฉะนั้นจึงใช้ลูกตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูงเหนือดิน 18 นิ้ว แล้วปล่อยลงมา ทำการกระทุ้งดิน เป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 55 ครั้ง หลังจากบดอัดแล้วนำไปแช่น้ำเพื่อให้ดินอยู่ในสภาพเปียกโชกเป็นเวลา 4 วัน โดยมีแผ่นน้ำหนัก (surcharge) วางทับอยู่ทั้งนี้เพื่อให้เหมือนกับสภาพจริงเมื่อมีน้ำท่วมถนน วัดการบวมตัวของดินตลอดทั้ง 4 วัน เมื่อแช่น้ำครบ 4 วันแล้วนำขึ้นมาทดลองกดดินด้วยฐานรูปกลม (plunger) ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ให้จมลงในดินเป็นระยะ 0.1 นิ้ว แล้วเปรียบเทียบแรงที่ใช้กดดินนี้ กับแรงกดที่ทำให้ฐานขนาดเดียวกันนั้นจมลงในหินย่อยมาตรฐานที่บดอัดแล้วเป็นระยะเท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า California Bearing Ratio หรือ CBR ถ้าค่า CBR สูง แสดงว่าดินตัวอย่างมีกำลังรับน้ำหนักได้มาก ซึ่งถ้าได้ค่า CBR เท่ากับ 100 ก็แสดงว่าดินตัวอย่างดีมากมีกำลังรับน้ำหนักได้เท่ากับหินย่อยมาตรฐาน

ค่ากำลังของดินที่วัดหาได้โดยวิธีนี้เป็นประโยชน์มากกับงานการทาง สนามบิน เขื่อนดิน เพราะเป็นการวัดที่ได้ผลรวดเร็วและสะดวกต่อการปฏิบัติ สามารถกระทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม

วิธีควบคุมการบดอัดดินในสนาม

เมื่อควบคุมปริมาณน้ำในมวลดินให้อยู่ในขอบเขตตามต้องการ จะทำให้ดินมีความแน่นตัวดี ทำให้ดินทรุดตัวได้ยากเข้า การควบคุมน้ำในดินเหนียวทำได้ยาก วิธีหนึ่งที่ทำได้คือแผ่ชั้นดินเหนียวออกให้บางพอควร หรือเมื่อตอนแห้งตัวทำการกระทุ้งให้แน่น สำหรับพวกทรายนั้นต้องบังคับและป้องกันไม่ให้เลื่อนตัวหนีได้และให้ระบายน้ำได้ดี ถ้าเป็นกรวดก็ควรบดด้วยรถบดทับให้ช่องระหว่างเม็ดดินชิดกันที่สุด

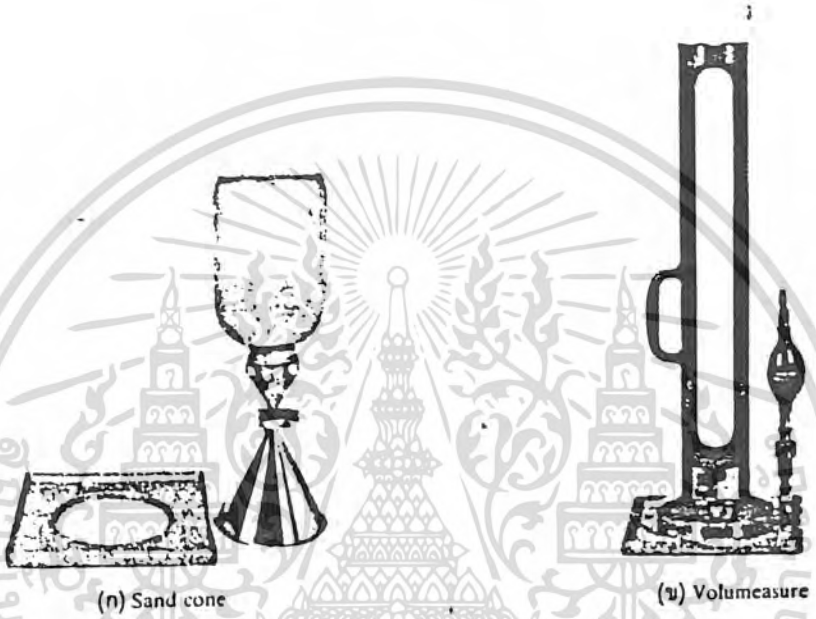
การควบคุมการบดอัดดินในสนามให้ได้ผลตามที่ต้องการนั้นจะต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบและหาปริมาณน้ำในมวลดินที่ได้รับการบดอัดแล้ว และความหนาแน่นของเม็ดดิน การควบคุมในขณะที่งานกำลังดำเนินอยู่ ควรใช้วิธีทดสอบที่ให้ผลเร็วและสะดวกต่อการปฏิบัติ

วิธีการตรวจสอบหาปริมาณน้ำในมวลดินให้ได้ผลเร็วได้แก่ วิธีใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ และวิธีใช้ Proctor Needle ในสนามนิยมใช้วิธีหลังเพราะสะดวกต่อการปฏิบัติและสามารถใช้ในการตรวจสอบความหนาแน่นของเม็ดดินก็ได้ เครื่องมือประกอบด้วยหัวเข็ม (needle point) ซึ่งมีขนาดหน้าตัดต่างๆกัน ตั้งแต่ 0.01 ตารางนิ้ว ถึง 1.0 ตารางนิ้ว ตามประเภทของดินที่ทดสอบ หัวเข็มนี้ติดอยู่กับก้านเข็ม (needle shank) ซึ่งแบ่งขีดไว้เพื่อวัดระยะที่เข็มจม ส่วนบนมีขดสปริงอยู่ในกระบอก เมื่อนำไปกดลงบนดินให้เข็มจมลงระยะหนึ่ง ก็อ่านค่าของแรงกดจากสเกลที่ติดอยู่กับด้านส่วนบน แล้วนำไปเปรียบเทียบหาปริมาณน้ำในมวลดินจากกราฟที่ได้จากการทดลองกับดินชนิดเดียวกันในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการตรวจสอบหาความหนาแน่นของเม็ดดิน นิยมวิธีการแทนที่ด้วยทราย (sand replacement method) กล่าวคือขุดดินตรงจุดที่ต้องการทดสอบออก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ลึก 5 นิ้ว) แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของมวลดิน ส่วนวิธีวัดปริมาตรของมวลดินที่ขุดออกนั้นทำได้โดยเททรายที่ทราบหน่วยน้ำหนักจากขวดแก้วที่วัดปริมาตรได้ (graduated container) ลงไปในหลุมที่ขุดดินออก เมื่อทราบน้ำหนักของทรายทั้งก่อนและหลังทำการทดสอบ ก็จะรู้น้ำหนักของทรายที่เทลงหลุมนั้น ทำให้ทราบปริมาตรของมวลดิน ก็คำนวณหาความหนาแน่นของมวลดินได้ นำดินที่ขุดออกไปหาปริมาณน้ำในมวลดิน ก็จะคำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดดินได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความหนาแน่นของเม็ดดิน} = \frac{\text{ความหนาแน่นของมวลดิน}}{1 + \text{ปริมาณน้ำในมวลดิน}}$$



(ก) Sand cone (ข) Volumeasure

รูปการทดสอบความหนาแน่นดินในสนาม

เปอร์เซนต์ของการบดอัดดิน (Degree of Compaction)

การบดอัดดินตามสภาพจริงในสนามไม่สามารถทำให้ดินแน่นได้ตามความหนาแน่นของเม็ดดินที่ต้องการ ฉะนั้นการบดอัดดินควรบอกเป็นเปอร์เซนต์ของการบดอัดดิน (degree of compaction) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างดินที่ต้องการในสนามกับค่าความหนาแน่นของดินมากที่สุดที่ต้องการตามมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

$$\text{เปอร์เซนต์ของการบดอัดดิน} = \frac{\gamma_d \text{ (ตามสภาพสนาม)} \times 100}{\gamma_d \text{ (ตามมาตรฐาน)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานการทางต้องการเปอร์เซนต์ของการบดอัดดินประมาณ 90 และ 100 เปอร์เซนต์ ของความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองตามวิธี Standard Proctor Test ส่วนในงานก่อสร้างเขื่อนดินต้องการเปอร์เซนต์การบดอัดดินประมาณ 85 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองตามวิธี Modified Proctor Test

การปรับปรุงคุณภาพของดิน (Stabilization of Soil)

เป็นการทำเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้นโดยการเอาดินอีกประเภทหนึ่ง เช่นใช้กรวดหรือทรายมาผสมร่วมกับดินเดิม หรือโดยใช้สารเคมี เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ผสมลงไป ตัวอย่างเช่น ถนนที่ทำด้วยดินผสมซีเมนต์ ทำให้รับน้ำหนักของยวดยานได้มากขึ้น มีความแข็งแรงและคงทน อย่างไรก็ตาม ดินบางชนิดมีสารเคมีปนอยู่สูงหรือมีแร่ธาตุเช่นกำมะถันปนอยู่ การนำซีเมนต์มาผสมจะไม่ทำให้ดินที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้นเลย ปริมาตรของปูนขาวหรือซีเมนต์ที่ผสมจะแปรตามเนื้อดิน การผสมปูนขาวหรือซีเมนต์ มีการปฏิบัติอยู่ 3 วิธี

1) วิธีผสมรวม : การผสมดินกับตัวทำให้เสถียร ณ ที่แห่งเดียวกัน แล้วขนย้ายไปใช้ในที่ต่างๆกัน ในวิธีนี้จะต้องใช้เครื่องผสมด้วย

2) วิธีผสมบนดิน : ผสมดินกับตัวทำให้เสถียรในบ่อยืม แล้วขนย้ายและนำไปใช้งาน. บางวิธีใส่ตัวทำให้เสถียรลงไปในดินด้วยการตอกเหมือนเสาเข็ม ให้ทำปฏิกริยากับดิน บางวิธีโรยตัวทำให้เสถียรบนดิน แล้วคลุกกับดิน

3) วิธีผสมในที่ : เป็นวิธีที่เกลี่ยดินออกไปกว้าง ในบริเวณที่ก่อสร้าง และโรยตัวทำให้เสถียรบนผิวดิน แล้วผสม , บางวิธีใช้คราดดินในที่แล้วผสมกับตัวทำให้เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATTERBERG 'S LIMITS

อ้างอิง : ASTM D 423 - 66

ASTM D 424 - 59

ASTM D 427 - 61

บทนำ

มวลดินอาจเปลี่ยนแปลงสถานภาพ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไปได้มากขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น (Water Content) ในตัวมวลดินเอง โดยเฉพาะในมวลดินที่มีส่วนของเม็ดดินเม็ดเล็กอยู่มาก เรียกว่า ดินเหนียว (Cohesive Soil) แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินมักเกิดจากสนามประจุไฟฟ้าโดยรอบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ดังนั้น คุณสมบัติของดินทางฟิสิกส์ของดินในลักษณะนี้จะไวต่อความชื้นมาก ไม่เหมือนกับมวลดินที่มีเม็ดขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil หรือ Cohesionless Soil)

ความชื้นในมวลดิน ณ จุดขณะเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า "ลิมิต" (limit) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้นๆ นอกจากจะใช้บ่งคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว ยังใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่าง เช่น การทรุดตัวของดิน

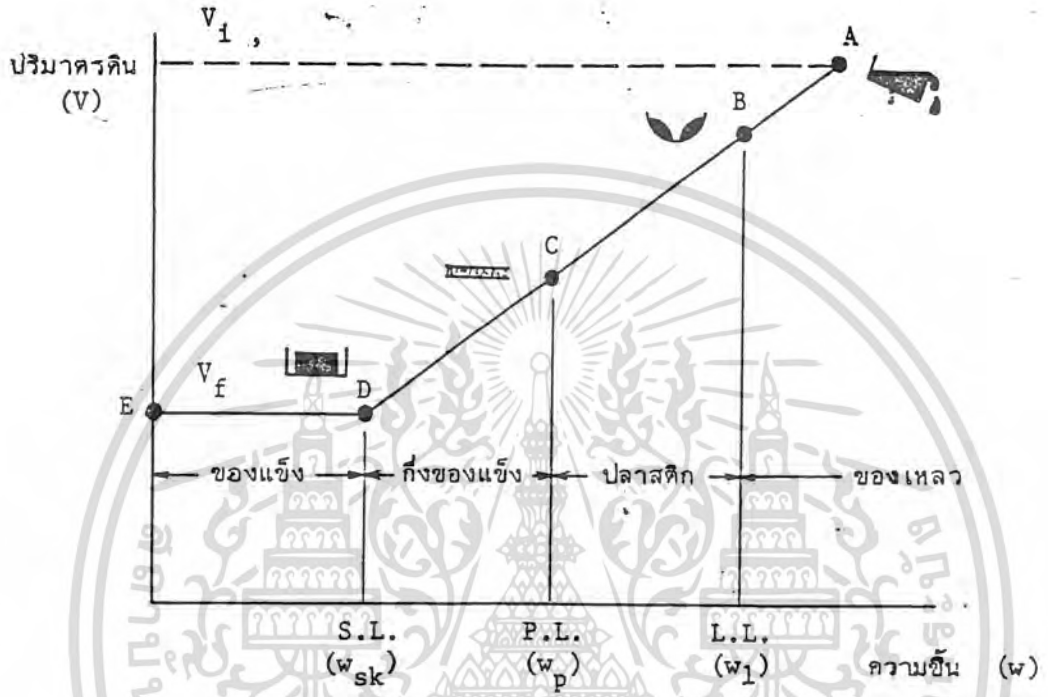
ทฤษฎี

จุดเปลี่ยนสถานภาพ หรือ ลิมิตของมวลดิน ถูกเสนอขึ้นใช้เป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาว สวีเดน ชื่อ A. Atterberg โดยมีอยู่ด้วยกัน 5 ลิมิต คือ Cohesion limit , Sticky limit , Shrinkage limit , Plastic limit , และ Liquid limit แต่ภายหลังนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านปฐพีกลศาสตร์เพียงสามลิมิตสุดท้ายเท่านั้น

ถ้าเรานำดินเหนียวมาผสมน้ำจนมีความชื้นสูง ดินจะมีสภาพคล้ายของเหลว เช่น ที่จุด A ในรูป ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาตรของมวลดินอิ่มตัว และความชื้นในดิน จากจุด A ถ้าเราทำให้ความชื้นค่อยๆลดลงไป ปริมาตรของมวลดินก็จะลดลงเป็นปฏิภาคกัน มวลดินจะเปลี่ยนสภาพไป จากของเหลวเป็นพลาสติก , กึ่งของแข็ง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Liquid Limit (w_L หรือ L.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพ จากของเหลว (Viscous Fluid) ไปเป็นสารหนืดตัว ในสถานะภาพพลาสติก (Plastic State) ที่จุด B



รูปที่ 3.1.1 สถานภาพต่างๆของมวลดินเหนียว

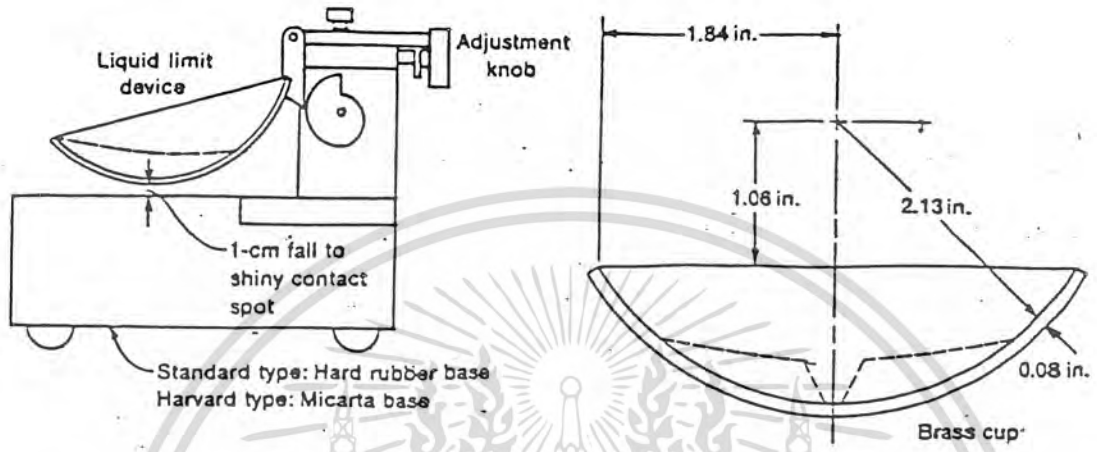
2. Plastic Limit (w_p หรือ P.L.) คือความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพ จาก พลาสติก เป็น กึ่งของแข็ง (Semi-solid State) ที่จุด C

3. Shrinkage Limit (w_{sk} หรือ S.L.) คือความชื้น ณ.ที่จุด D ซึ่งดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็ง และจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว แต่เมื่อความชื้นยิ่งลดลงไป ฟองอากาศจะเริ่มแทรงเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่ในดินเลย ณ.จุด E

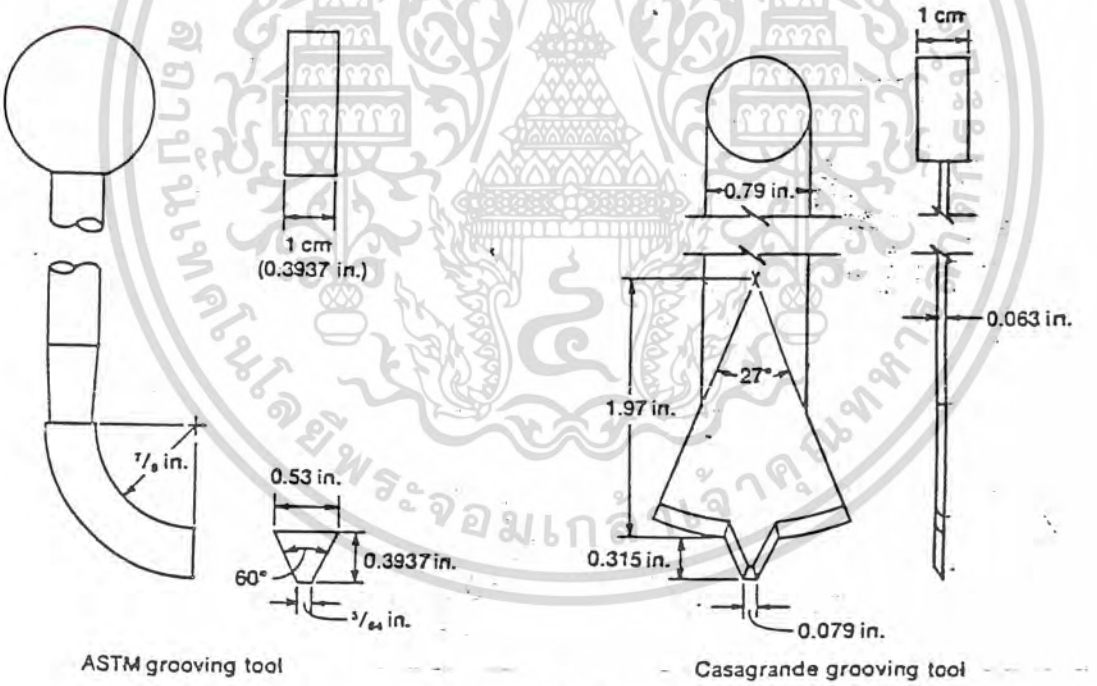
ค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติก เรียกว่า Plastic Index (P.L. หรือ I_p) คือผลต่างของ L.L. และ P.L. มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดิน และยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญมากใช้มากในการจำแนกมวลดิน

การหาค่าที่ความชื้นที่ลิมิตต่างๆมีวิธีการที่เฉพาะและใช้กันแพร่หลาย คือ Liquid Limit คือความชื้นของมวลดินที่ เมื่อเตรียมดินลงในที่เคาะ (Liquid limit device) โดยมีรอยบากมาตรฐาน แล้วเคาะได้ 25 ครั้ง รอยบากนั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(*a*) Construction details and dimensions of the Liquid limit device.



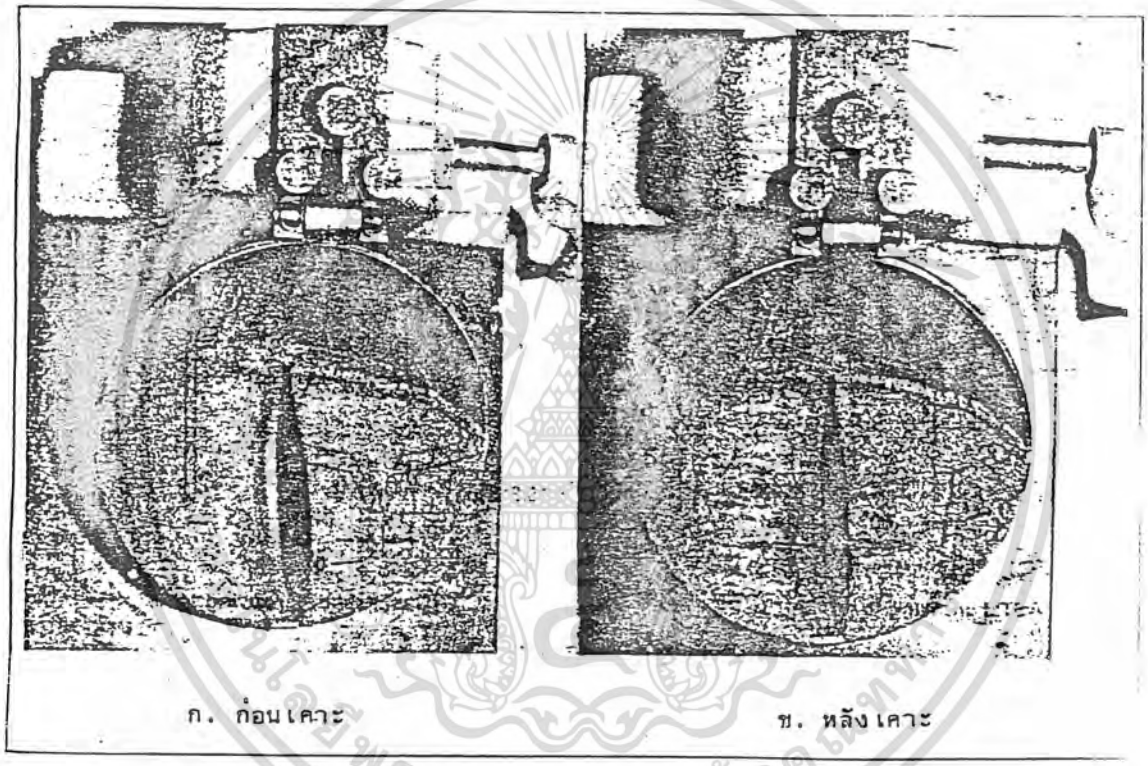
(*b*) Grooving tools

รูปที่ 3.1.2 เครื่องมือเจาะหาค่า Liquid Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนมาบรรจบกันความยาวประมาณ 1 ซ.ม.พอดี ซึ่ง A. Cassagrande ได้ให้ความเห็นไว้ว่า เท่ากับความชื้น ณ.จุดที่กำลังของดินเท่ากับ 25 กรัม/ตร.ซ.ม. โดยเปรียบเทียบไว้ว่า การเคาะแต่ละครั้งเท่ากับแรงเฉือนที่กระทำต่อมวลดินมีค่าประมาณ 1 กรัม/ตร.ซ.ม.

Plastic limit คือความชื้นในมวลดิน ซึ่งเมื่อถูกปั้นเป็นเส้นยาวและมีขนาด 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วจะมีรอยแตกปริรอบผิวดินเกิดขึ้นพอดี ซึ่งในการปฏิบัติจริงทำได้ยากพอสมควร ต้องอาศัยความชำนาญ กว่าจะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

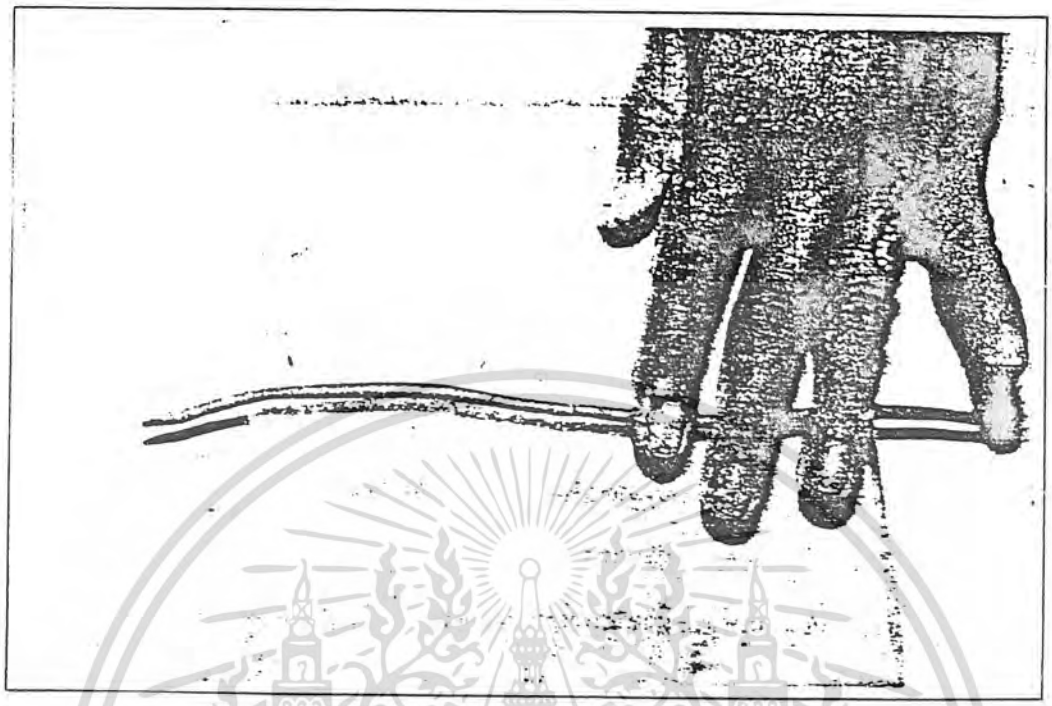


รูปที่ 3.1.3 การเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณรอยแยก

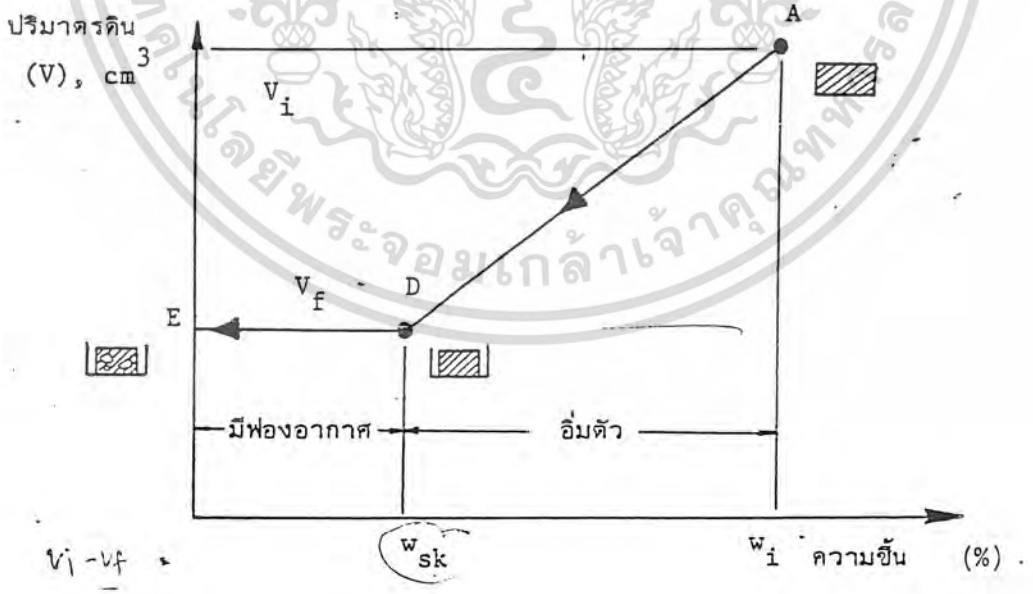
สำหรับ Shrinkage limit ดังที่เคยกล่าวเอาไว้ข้างต้นแล้วว่า เป็นความชื้น ณ.จุดที่มวลดินจะไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรอีกแล้ว

$$w_{sk} = w_i - \frac{(Vi - Vf)\gamma_d \times 100}{w_s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.4 การทดสอบหาค่า Plastic Limit



รูปที่ 3.1.5 การหดตัวของมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ w_i = ความชื้นเมื่อเริ่มการทดลอง ที่ A

Vi = ปริมาตรดินเมื่อเริ่มการทดลอง ที่ A

Vf = ปริมาตรดินเมื่อแห้ง ที่ E หรือ D

w_s = น้ำหนักแห้งของมวลดิน

วิธีการทดลอง

ก. Liquid Limit

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 สักประมาณ 200 กรัม (ในบางกรณีอาจใช้ตัวอย่างดินเปียกเลยก็ได้ถ้าแน่ใจว่าหมดเล็กกว่า เบอร์ 40) แบ่งประมาณ 50 กรัม ไว้ทำ Shrinkage limit ส่วนที่เหลือใช้ทำ Liquid Limit และ Plastic Limit

2. นำตัวอย่างที่ร่อนแล้วผสมน้ำให้เข้ากัน โดยมีความข้นเหลวขนาดปูนฉาบ (ระวังอย่าให้เหลวเกินไปจะทำให้แห้งยาก) ใช้มีดปาด (Spatula) ตักปาดลงบนถ้วยทองเหลือง โดยความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซ.ม. แล้วบากโดยเครื่องมือบาก (Grooving Tool) ให้เป็นรอยบากตรงกลาง

3. เคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งส่วนของดินตอนล่างเคลื่อนเข้าบรรจบกัน 1 ซ.ม. แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งของการเคาะไว้

4. ปาดแต่งดินอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำ ถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือห่างไม่เกิน 2 ครั้ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำดินบริเวณรอยบากไปหาปริมาณความชื้น (การเคาะครั้งแรกจำนวนการเคาะควรประมาณ 40 - 50 ครั้ง ถ้ามากกว่าให้เพิ่มน้ำอีก แต่ถ้าน้อยกว่าให้ทำให้แห้งลง

5. ผสมน้ำเพิ่มในดิน แล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งของการเคาะน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง แล้วนำไปหาความชื้น ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 4 ค่า (จำนวนการเคาะครั้งสุดท้ายควรอยู่ประมาณ 5 ถึง 10 ครั้ง)

6. เมื่อได้ข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และความชื้น นำไปเขียนลงในกราฟ ควรจะได้จุดที่อยู่ในแนวเส้นตรง ลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

7. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ในแกนราบลากเส้นตัดกราฟในข้อ 6 จากจุดตัดเส้นขนานแนวราบตัดค่าความชื้น (w) ในแกนดิ่ง ค่าความชื้นนั้นคือ "Liquid Limit" (w_L หรือ L.L.)

ข. Plastic Limit

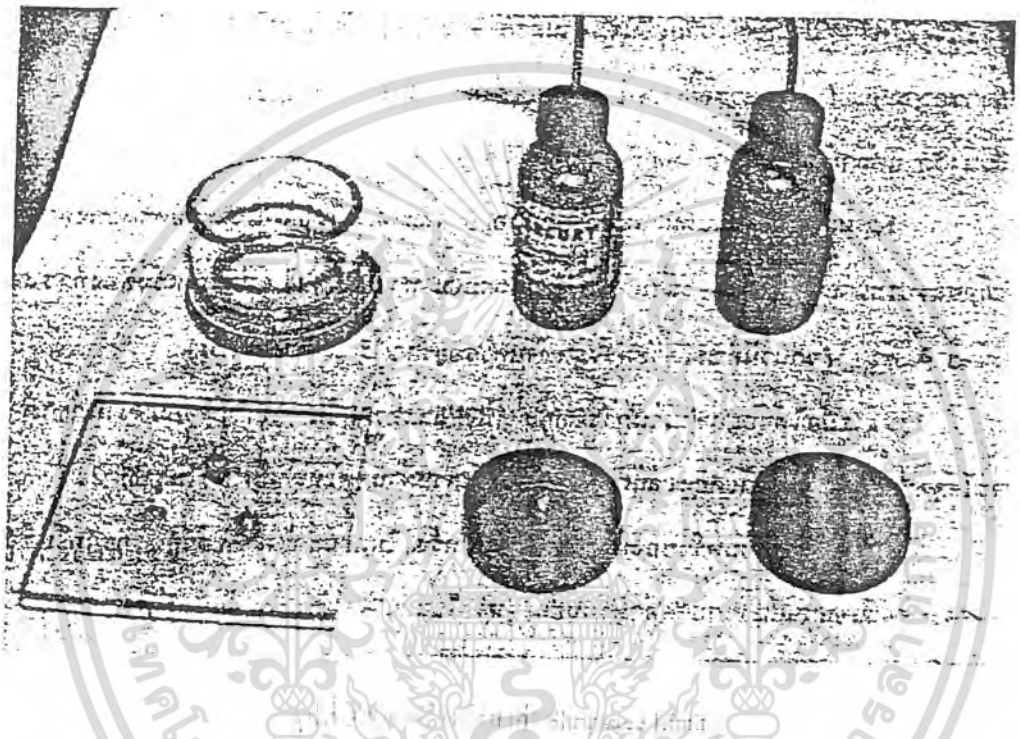
1. ดินที่เหลือจากการทดลอง Liquid Limit นำมาผึ่งให้หมาดๆแล้วนำมาปั้นคลึงเป็นแท่งขาวขนาดประมาณ 1 ซ.ม. เสียก่อน แล้วค่อยๆคลึงให้เล็กลงจนกระทั่งผิวเริ่มแตกปริโดยรอบ

2. ถ้าขนาดของแท่งดินขณะที่แตกใหญ่กว่า 1 หุน (1/8 นิ้ว) แสดงว่าแห้งไป ให้เติมน้ำอีก แล้วปั้นใหม่ ถ้าขนาดเล็กกว่า 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วยังไม่แตก แสดงว่าดินเปียกไปให้ผึ่งให้แห้งอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในกรณีที่รอยแตกเกิดขึ้น เมื่อแท่งดินมีขนาด 1 หุน (1/8 นิ้ว) ให้นำแท่งดินไปอบหาความชื้น คือ "Plastic Limit" (น้ำหนักดินที่ใช้ในการหาความชื้นควรจะมากกว่า 10 กรัมขึ้นไป เพื่อป้องกันความผิดพลาดขณะชั่ง

4. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย



ค. Shrinkage Limit

1. นำตัวอย่างดินมาผสมน้ำ ใช้มีดปาด (Spatular) รวมผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีความเหลวมากกว่าเมื่อครั้งทำ Liquid Limit (คล้ายเนยเหลว)

2. ชั่งถ้วยเหล็กสำหรับหา Shrinkage แล้วจารบีภายในบางๆเพื่อไม่ให้ดินติดในขณะแห้ง

3. ตักดินใส่ในถ้วยประมาณ 1/3 แล้วเคาะลงกับพื้นโต๊ะ เพื่อไล่ฟองอากาศในมวลดินออกจนหมด แล้วเติมดินชั้นที่ 2 และ 3 โดยมีการเคาะไล่ฟองอากาศเหมือนครั้งแรก

4. ใช้มีดปาด แต่งหน้าให้เรียบเสมอขอบถ้วยเหล็ก เช็ดเศษดินที่เปื้อนอยู่ภายนอกออกให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

5. ปล่อยดินที่อยู่ในถ้วยเหล็กให้แห้งโดยปล่อยทิ้งไว้ในห้องทดลอง 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำเข้าเตาอบจนแห้งสนิท จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง สังเกตุว่ามวลดินจะหดลงเล็กกว่าเดิม แล้วเป็นก้อนเดียว (ถ้านำตัวอย่างดินเข้าเตาอบเร็วเกินไปดินจะแตกออกเป็นก้อนยากต่อการหาปริมาตรภายหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำก้อนดินที่อบแห้งแล้วมาหาปริมาตรโดยแทนที่ปรอท ชั่งถ้วยที่มีปรอทเต็ม (ใช้แผ่นพลาสติกกดไล่ปรอทให้เสมอขอบ)

7. นำก้อนดินแห้งใส่ในปรอท ดินจะลอยอยู่ในปรอท กดดินให้จมลงโดยใช้แผ่นพลาสติก ปรอทที่มีปริมาตรเท่ากับดินจะถูกไล่ที่ล้นออกไป ชั่งปรอทส่วนที่เหลือนำไปคำนวณหาปริมาตรก้อนดินได้

การคำนวณ

1. Liquid Limit (w_L) อ่านค่าได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง

2. Plastic Limit (w_p) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่หาได้ 2 ครั้ง

3. Plasticity Index (I_p) = $w_L - w_p$

4. Flow Index (I_f) คือความชันของเส้นกราฟ (Flow Curve)

$$I_f = \frac{w_1 - w_2}{\log N_2/N_1}$$

w_1 = ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 1 (ค่ามาก)

N_1 = จำนวนการเคาะที่จุด 1

w_2 = ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 2 (ค่าน้อย)

N_2 = จำนวนการเคาะที่จุด 2

5. Toughness Index (I_t) = $\frac{\text{Plasticity Index } (I_p)}{\text{Flow Index } (I_f)}$

6. Liquidity Index (I_l) = $\frac{w_n - w_p}{I_p}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ w_n = ความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content)

7. Activity of Clay (A_c) = $\dfrac{I_p}{\%\ \text{Clay ขนาดเล็กกว่า No.200}}$

8. Shrinkage Limit (w_{sk}) = $\dfrac{w_i - (V_i - V_f)\gamma_w \times 100}{w_s}$

9. การคำนวณหา Liquid Limit โดยการเคาะครั้งเดียว ดดยจำนวนครั้งของการเคาะจะต้องอยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 ครั้ง

$$w_L = w_N (N/25)^{0.12}$$

เมื่อ w_L = ความชื้นของมวลดินที่เคาะ N ครั้ง ($20 < N < 30$)

ตารางค่า N และ $(N/25)^{0.12}$ แสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1.1 ค่า N และ $(N/25)^{0.12}$

No. of blow,N	$(\frac{N}{25})^{0.12}$
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดเม็ดดิน

อ้างอิง : ASTM D 422 - 63

บทนำ

มวลดินหนึ่งคิวบิคฟุต อาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 ซ.ม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 ม.ม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil) ส่วนดินที่มีขนาดเล็กมาก ก็จะเรียกว่า ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดของเม็ดดินก็ยังมีอิทธิพลกับ ความซึมน้ำ (Permeability) , การรับแรง (Strength) , อัตราการทรุดตัว (Rate Of Consolidation) และอื่นๆอีกมาก

การหาขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่างๆกัน มักใช้ดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 ม.ม. ขึ้นไป วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือ หลอดดูด (pipette) วัดการตกตะกอน เหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 ม.ม. ถึง 0.0002 ม.ม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

ทฤษฎี

การกระจายของขนาดของเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินในสเกล ลอกการิทึม (Logaritmic Scale) และเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูป

ขนาดที่ระบุในกราฟที่แท้จริงแล้วเป็นเพียง ขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส แต่ขนาดของเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่างๆกัน เช่น ยาวรี , แผ่น , กลม หรืออื่นๆได้
2. ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของเม็ดดินเอง และผนังของภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้องทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดเม็ดดิน

อ้างอิง : ASTM D 422 - 63

บทนำ

มวลดินหนึ่งคิวบิคฟุต อาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 ซ.ม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 ม.ม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil) ส่วนดินที่มีขนาดเล็กมาก ก็จะเรียกว่า ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดของเม็ดดินก็ยังมีอิทธิพลกับ ความซึมน้ำ (Permeability) , การรับแรง (Strength) , อัตราการทรุดตัว (Rate Of Consolidation) และอื่นๆอีกมาก

การหาขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่างๆกัน มักใช้ดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 ม.ม. ขึ้นไป วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือ หลอดดูด (pipette) วัดการตกตะกอน เหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 ม.ม. ถึง 0.0002 ม.ม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

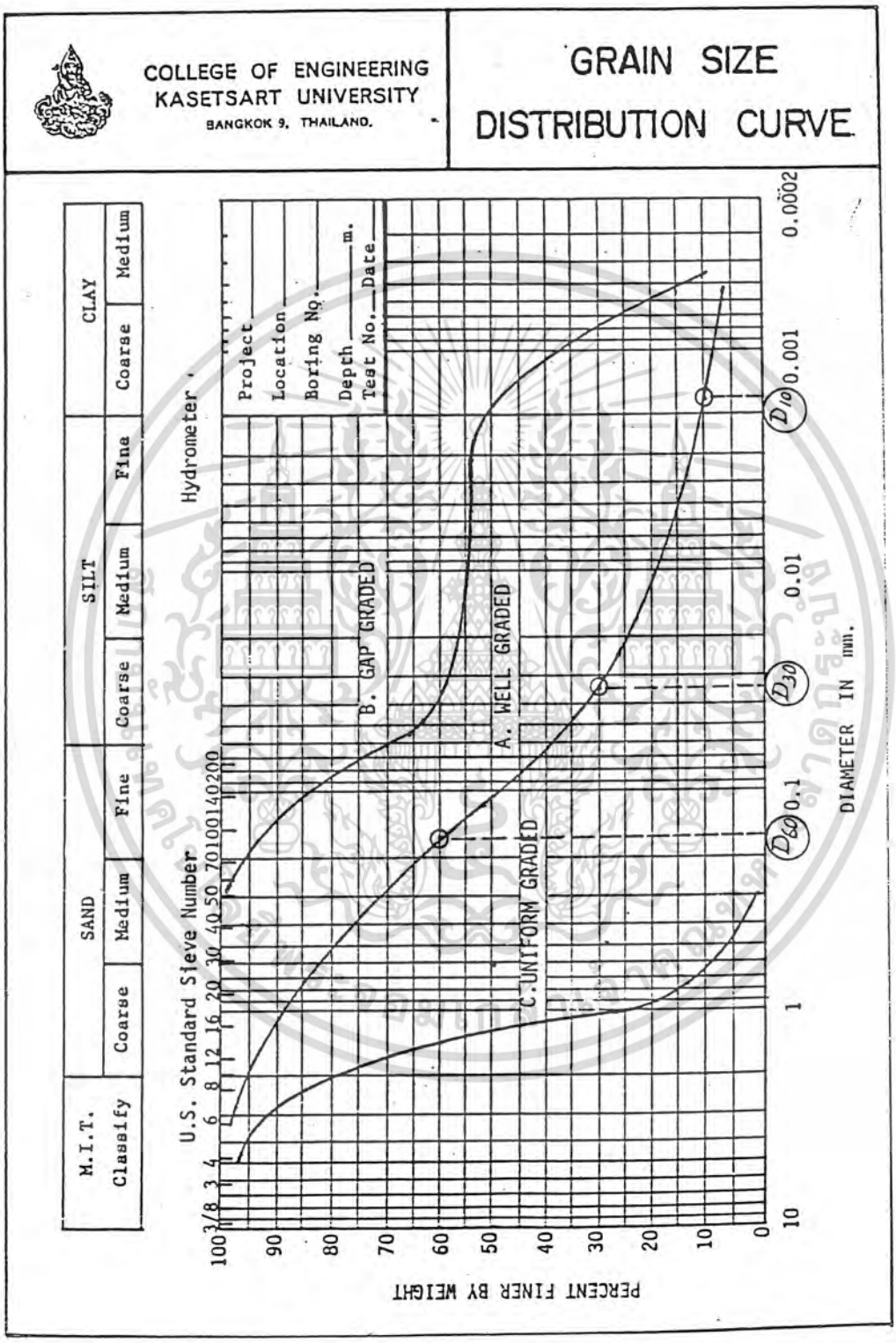
ทฤษฎี

การกระจายของขนาดของเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินในสเกล ลอกการิทึม (Logaritmic Scale) และเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูป

ขนาดที่ระบุในกราฟที่แท้จริงแล้วเป็นเพียง ขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส แต่ขนาดของเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่างๆกัน เช่น ยาวรี , แผ่น , กลม หรืออื่นๆได้
2. ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของเม็ดดินเอง และผนังของภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้องทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.1 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปร่างของดินเหนียวมักเป็นแผ่น มิใช่ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจึงคล้ายการตกของใบไม้หล่นจากต้น จึงทำให้การคำนวณความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง

4. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการตกตะกอน ถือเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งความจริงดินแต่ละชนิดอาจมีธาตุสารต่างๆไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากก็ได้

ลักษณะของกราฟการกระจายของเม็ดดิน ดังแสดงในรูปแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ 2 จำพวกใหญ่ๆด้วยกัน คือ

1. ดินที่มีขนาดเม็ดคละกันดี (Well Graded Soil) คือดินที่มีขนาดต่างๆคละกันดี โดยพิจารณาจากช่วงของกราฟ เรียกว่า **Coefficient of Uniformity**

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

และความโค้งงอของเส้นกราฟ เรียกว่า **Coefficient of Concavity**

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

เมื่อ D_i = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินที่มี i เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักมีขนาดเล็กกว่านี้ เช่น D_{60} ในกราฟ A=0.17 ม.ม.

ดินจะมีคุณสมบัติคละกันเมื่อมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.2.1

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

ตารางที่ 3.2.1 ลักษณะของดินที่มีขนาดเม็ดคละ

สำหรับกราฟ A Cu = 94 , Cc = 1.58 จึงเป็นลักษณะของทรายที่มีขนาดของเม็ดคละกันดี (Sand Well Graded)

2. ดินที่ไม่มีขนาดเม็ดคละ (Poorly Graded Soil) จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) เช่นในกราฟ B จะเห็นว่าขนาดระหว่าง 0.0025 ถึง 0.017 ม.ม. หายไป กราฟจึงเป็นเส้นระนาบ

ข. ดินที่มีเม็ดขนาดเดียว (Uniform Graded) เช่นในกราฟ C จะเห็นว่าขนาดของเม็ดดินระหว่าง 1.0 ถึง 2.0 ม.ม. มีถึง 55%

วิธีการหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีตกตะกอน อาศัยทฤษฎีของ Stoke ที่ว่า ความเร็วในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ด, ความหนาแน่นของของเหลว , ความหนืดของของเหลว และขนาดของเม็ดดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} \cdot D^2$$

เมื่อ γ_s = ความหนาแน่นของเม็ดดิน

γ_w = ความหนาแน่นของของเหลว

μ = ความหนืดของของเหลว (Viscosity) ดังแสดงในตาราง

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน

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	7.21	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

ตารางที่ 3.2.2 ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูป เมื่อเวลาผ่านไป t เม็ดดินที่ตกตะกอนลงมาอยู่ที่ความลึก h จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังในสมการเหนือระยะ h ขึ้นไปจะมีแต่เฉพาะ

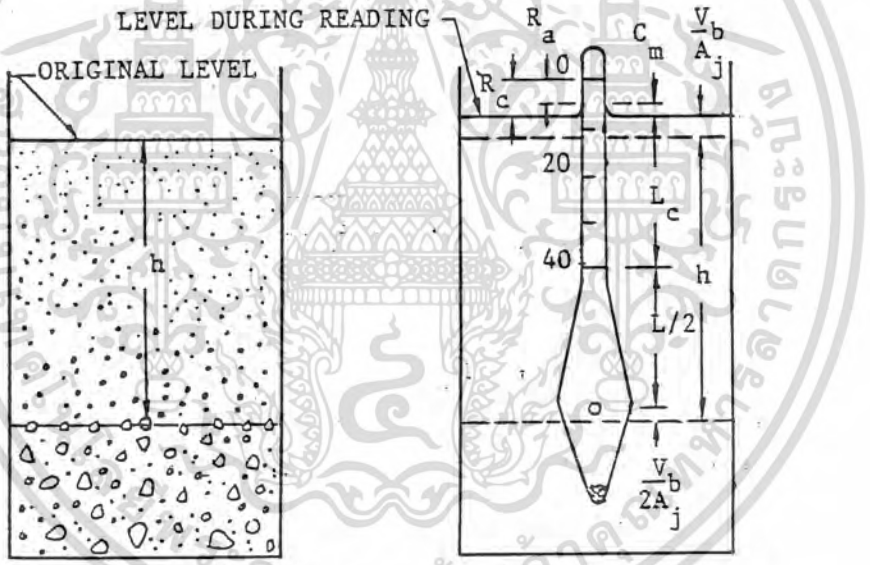
$$D = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{h}{t}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า D ในสมการ 4.2 ทั้งนั้น เพราะเม็ดใหญ่กว่านี้ได้ตกตะกอนลงมาข้างล่างแล้ว ฉะนั้น ที่ระยะ h นี้ ความเข้มข้นหรืออัตราของขนาดที่เล็กกว่า D ในสารผสมจะยังไม่เปลี่ยนแปลง คงเหมือนกับที่จุดใดๆเมื่อเริ่มตกตะกอน ดังนั้นเปอร์เซนต์ของขนาดเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า D จะเท่ากับ

$$\%\ F = \frac{\text{น้ำหนักของเม็ดดินต่อ ล.บ.ซ.ม. ที่ความลึก h ที่เวลา t}}{\text{น้ำหนักของเม็ดดินต่อ ล.บ.ซ.ม. ของส่วนผสมเริ่มต้น}} \times 100$$

$$= \frac{W_d}{W_{sol}} \times 100$$



เมื่อเราจุ่ม Hydrometer ไปวัดก็จะอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของสารผสมนั้น

$$1 + \frac{Rc}{1000} = 1 + \text{น้ำหนักเม็ดดินชั่งในน้ำ / ล.บ.ซ.ม.}$$

$$= 1 + W_d \cdot \left(\frac{G - 1}{G}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \quad W_d = \frac{Rc}{1000} \cdot \frac{G}{(G-1)}$$

เมื่อ Rc = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (ส่วนที่เกิน 1.000 เป็นจำนวนเต็ม) แทนค่า W_d ในสมการ 4.4 ลงในสมการ 4.3

$$\% F = \frac{1}{10} \cdot \frac{Rc}{W_{sol}} \cdot \frac{G}{(G-1)}$$

ในกรณีที่ใช้กระบอกตกตะกอนขนาด 1000 ล.บ.ซ.ม. สมการที่ 4.5 อาจจะหาอยู่ในค่าของน้ำหนักดินแห้งในสารผสม , W_s ได้ดังนี้

$$\% F = \frac{100}{W} \cdot \frac{G}{(G-1)} \cdot Rc = K_1 \cdot Rc$$

สำหรับสมการที่ 4.2 เทอมค่าคงที่เฉพาะกรณี (μ , γ_s , γ_w) อาจรวมเป็นค่าคงที่ K_2 ได้คือ

$$D = K_2 \sqrt{h/t}$$

โดย $K_2 = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w}}$

Temperature, deg C	Specific Gravity of Soil Particles								
	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	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

ตารางที่ 2.2.3 ค่าของที่ K_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านค่า Rc มักมีปัญหาที่จะต้องปรับแก้ คือ

1. Meniscus Correction , Cm คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านจริงและค่าที่ควรจะอ่านที่ระดับท้องน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เพราะส่วนผสมมีลักษณะขุ่นการอ่านที่ระดับท้องน้ำทำไม่ได้ จึงต้องอ่านที่ส่วนบนของ Meniscus แทน การอ่านค่า Cm ทำได้โดยอ่านในน้ำเปล่า

2. Temperature Correction , Ct ค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ในน้ำเปล่ากับค่า 1.000 จริงเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้จากการอ่านค่าในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิเท่ากับส่วนผสม

$$\therefore \quad R_c = R_a + C_m + C_T$$

เมื่อ R_a = ค่าที่อ่านในระหว่างการทดลอง

C_m = Meniscus Correction

C_T = Temperature Correction

การหาความสัมพันธ์ของ R_c และ h สามารถหาได้โดยการหากราฟความสัมพันธ์ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ

ก. ช่วงแรกของการอ่านค่า 0 - 2 นาที เพราะในช่วงนี้จะไม่มีการยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกวัด

$$h = \frac{L}{2} + \left(1 - \frac{R_c}{40}\right) . L_s$$

เมื่อ L = ความยาวของตัวกระเปราะไฮโดรมิเตอร์จากปลายถึงขีด 40 (ASTM 151H)

Ls = ความยาวของก้านไฮโดรมิเตอร์จากขีด 0 ถึง 40 (ASTM 151H)

ข. ช่วงการอ่านที่นานกว่า 2 นาที ในช่วงนี้จะยกไฮโดรมิเตอร์ออกหลังจากการอ่านค่าจึงมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารผสมที่จุดกึ่งกลางของกระเปาะความสูงจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ $\frac{V_b}{2A_j}$

$$\therefore \quad h = \frac{L}{2} + \left(1 - \frac{R_c}{40}\right) . L_s - \frac{V_b}{2A_j}$$

เมื่อ V_b = ปริมาตรของกระเปาะหาได้จากการแทนที่น้ำ, ล.บ.ซ.ม.

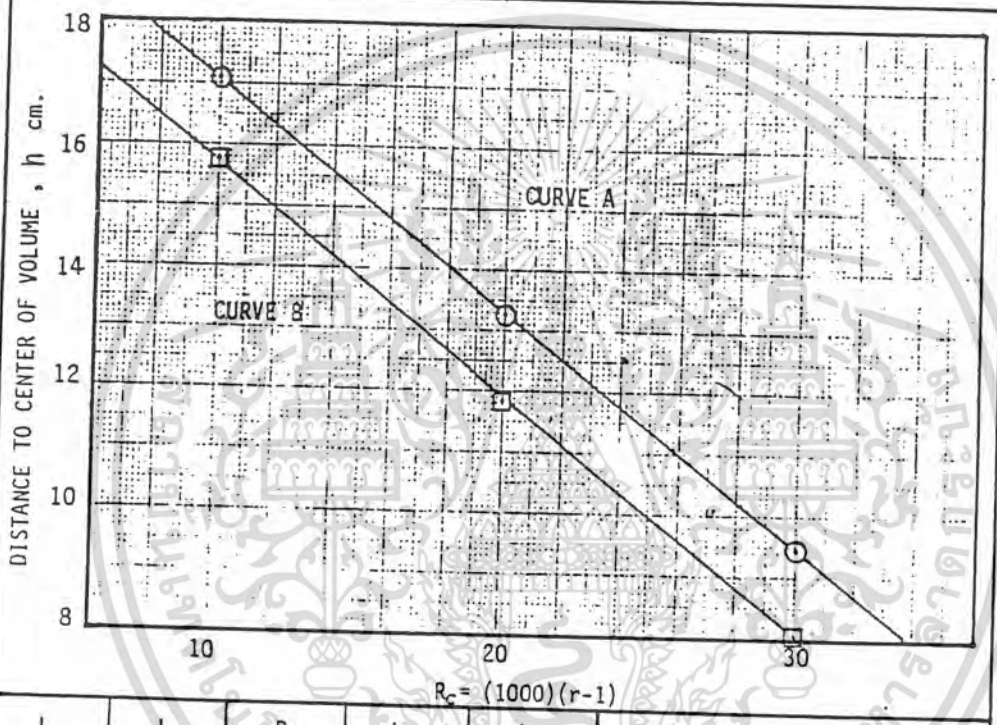
A_j = พื้นที่หน้าตัดของกระบอกตกตะกอน, ต.ร.ซ.ม.

ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของ Rc และ h แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

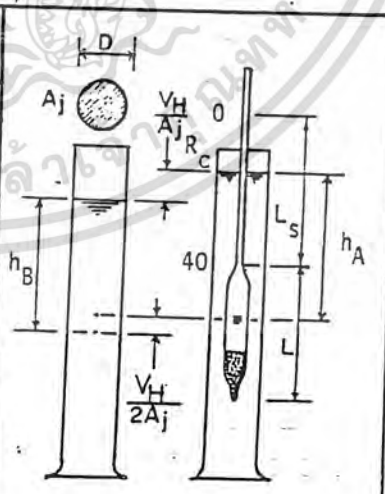
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLLEGE OF ENGINEERING
KASETSART UNIVERSITY
BANGKOK 9, THAILAND.

HYDROMETER CALIBRATION



L cm.	L_s cm.	R_c	h_A cm.	h_B cm.
16.10	12.07	10.0	17.10	15.77
16.10	12.07	20.0	13.25	11.82
16.10	12.07	30.0	9.45	8.02



DIAMETER OF HYDROMETER JAR, D	cm.	5.86
CROSS-SECTIONAL AREA OF JAR, A_j	$cm.^2$	26.97
INITIAL GRADUATEE CYLINDER READING, V_1	$cm.^3$	810
AFTER HYDROMETER IMMERSION READING, V_2	$cm.^3$	887
VOLUME OF HYDROMETER, $V_H = V_2 - V_1$	$cm.^3$	77
WEIGHT OF HYDROMETER, W_H	gm.	76.29
MINIMUM HYDROMETER READING, r_H		
VOLUME OF HYDROMETER, $V_H = W_H \div r_H$	$cm.^3$	

PLOT CURVE A: R vs h FIRST 2 min.	HYDROMETER NO. K1985
PLOT CURVE B: R vs h - $V_H/2A_j$ AFTER 2 min.	HYDROMETER JAR NO. 1

รูปที่ 3.2.3 กราฟความสัมพันธ์ของ R_c และ h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

ก. วิธีร่อนผ่านตะแกรง

น้ำหนักดินแห้งที่พอดีจะใช้ในการทดลองนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ดังแสดงในตาราง และขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

ขนาด เม็ดใหญ่ที่สุด, (นิ้ว)	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย, กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

ตารางที่ 3.2.4 น้ำหนักตัวอย่างดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

1. ชั่งตะแกรงทุกๆขนาดที่ใช้โดยตาช่างอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบ โดยมีขนาดละเอียดถึง เบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง

2. ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ๆให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้เม็ดดินแตก

3. นำตัวอย่างดินที่อบชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด โดยมีฝาปิดด้านบน และมีถาด (PAN) รองด้านล่าง รวมเป็นเถาของตะแกรง นำไปเข้าเครื่องเขย่า (Sive Shaker) เขย่านานอย่างน้อย 10 นาที

4. ชั่งทั้งดินที่ยังค้างอยู่ในตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาค่า %F ดังแสดงในรูปที่ 4.5

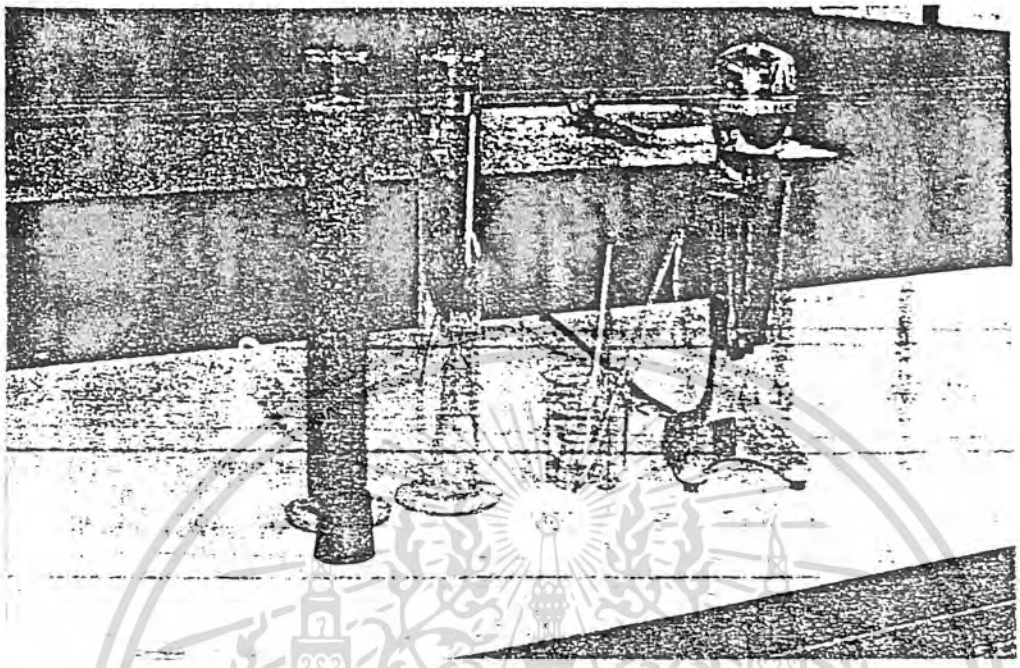
ข. วิธีตกตะกอน

ก่อนทำผู้ทดลองควรจะลองจุ่มไฮโดรมิเตอร์ในลักษณะที่ถูกต้องเสียก่อน โดยจับก้านไฮโดรมิเตอร์ทั้งสองมือ แล้วค่อยหย่อนลงในกระบอกตกตะกอน จนใกล้เคียงตำแหน่งที่ไฮโดรมิเตอร์จะลอยตัวได้จึงค่อยๆปล่อย ถ้าปล่อยสูงเกินไปจะทำให้ไฮโดรมิเตอร์จมลงไปกระทบก้นกระบอก เกิดแตกหักเสียหายได้

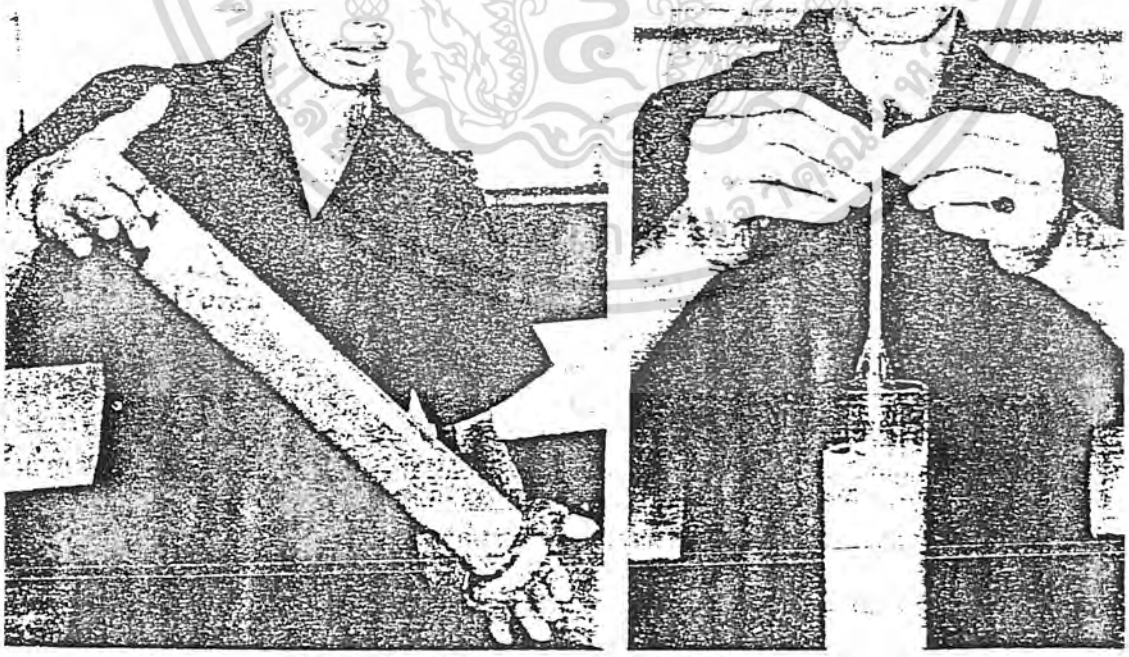
การหาความสัมพันธ์ของ Rc และ h จะทำได้โดยการวัดขนาดของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (L) , ความยาวก้านจาก1.000 ถึง 1.040 (Ls) , ปริมาณกระเปาะ (Vb) โดยอ่านจากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบองตวงและอ่านระดับน้ำที่เปลี่ยนไป , พื้นที่หน้าตัดของกระบอกตกตะกอน (Aj) แล้วนำไปคำนวณเขียนกราฟดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น สำหรับขั้นตอนการทดลองทำได้ดังนี้

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่นและน้ำยา Dispersing Agent (4% สารละลาย Sodium hexa meta phosphate) จนได้น้ำผสมประมาณ 300 - 500 ล.บ.ซ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.4 เครื่องมือใช้หาขนาดเม็ดดินโดยการลอกตะกอน



รูปที่ 3.2.5 การเขย่ากระบอกลอกตะกอนและการหย่อนไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้าระมาณ 10 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ล.บ.ซ.ม.

3. ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้างๆอีก 1 กระบอกไว้เพื่ออ่านค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิและเช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ได้ใช้วัด

4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลง เริ่มจับเวลาทันที

5. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปอ่านค่า Ra ที่เวลา 0.25 , 0.5 , 1 และ 2 นาที โดยไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออก จนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออก แล้วเขย่ากระบอกใหม่

6. วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้ววัด R1 ที่ 2 , 5 , 10 , 20 , ... ฯลฯ จนไฮโดรมิเตอร์อ่านค่าประมาณ 8 ถึง 15 ขีด ซึ่งอาจกินเวลาถึง 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการอ่านให้วัดอุณหภูมิอย่างน้อยทุกๆ 1 ช.ม.

7. เมื่อทดลองเสร็จแล้ว เทส่วนผสมลงในถาดนำเข้าเตาอบเพื่อหาค่าน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

การคำนวณผล

ก. การร่อนผ่านตะแกรง

1. เปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง = $\frac{\text{น.น. ดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น.น. ดินทั้งหมด}} \times 100$

2. เปอร์เซนต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า

3. เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Finer) = 100 - เปอร์เซนต์ค้างสะสม

ข. การตกตะกอน

1. ขนาดของเม็ดดิน (D) = $K_2 \sqrt{h / t}$

เมื่อ K = ค่าอ่านได้จากตารางที่ 4.3

h = ระยะตกตะกอน (ช.ม.) อ่านได้จากกราฟรูปที่ 4.3

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

2. เปอร์เซนต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (% Finer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%F = \frac{100}{W_s}\left(\frac{G}{G-1}\right) \cdot R_c$$

W_s = น้ำหนักดินแห้งในส่วนผสม (กรัม)

G = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

R_c = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์หลังจากแก้ไขแล้ว (ขีด)

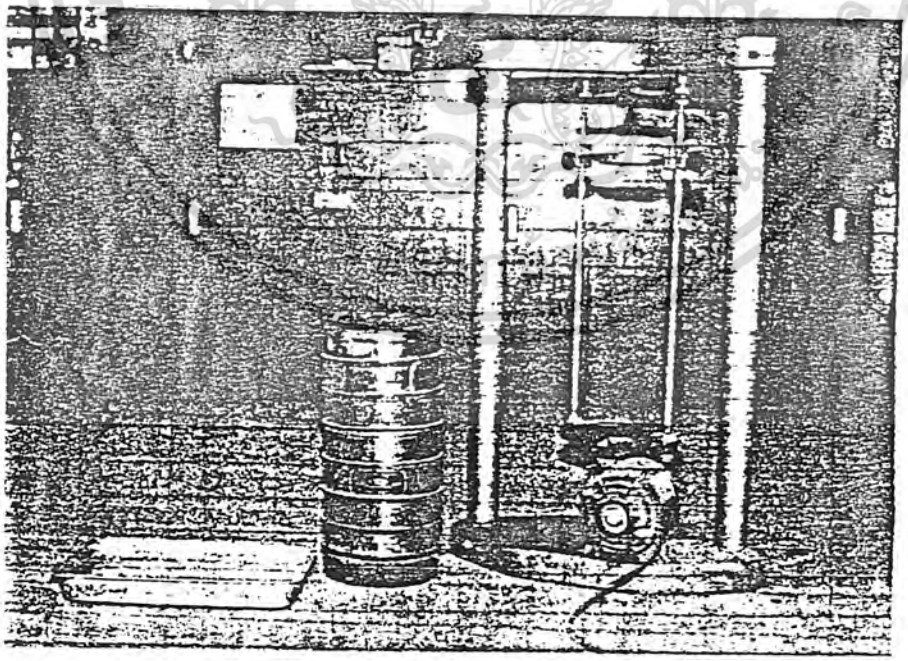
ค. การคำนวณผลรวม

ในบางกรณีการหาขนาดของเม็ดดินทำต่อจากการร่อน แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาทดลองโดยวิธีตกตะกอนต่อ ในลักษณะนี้ ต้องคำนวณผลจากการร่อนก่อน แล้วนำ % F_{200} ของตะแกรงเบอร์ 200 มาใช้คำนวณในการตกตะกอน คือ

เปอร์เซนต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า

$$\%F = \frac{100}{W_s}\left(\frac{G}{G-1}\right) \cdot R_c\,(F_{200})$$

เมื่อ F_{200} คือ %F ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200



รูปที่ 3.2.6 เครื่องมือใช้ทดลองหาขนาดเม็ดดินโดยการร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดอัดดิน

อ้างอิง : ASTM D 698 - 70

ASTM D 1557 - 70

บทนำ

ในสมัยก่อนเมื่อการก่อสร้างยังไม่ได้พัฒนาไปมาก การประดิษฐ์เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดดินยังมีไม่มาก งานก่อสร้างที่เกี่ยวกับงานดิน เช่น ถนน ทางรถไฟ หลังจากการขุด ถมแล้วก็ต้องปล่อยทิ้งไว้ 3 ถึง 5 ปี เพื่อรอให้มีการทรุดตัวแน่นก่อนที่จะมีการวางหมอนรถไฟ หรือลงผิวจราจร

การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึม ผ่านของน้ำ (permeability) ของดิน เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ (Sheep Foot Rollers) รถบดชนิดสั่นกระแทก (Vibrating Roller) เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดิน หรือวัสดุที่จะบดอัด

ทฤษฎี

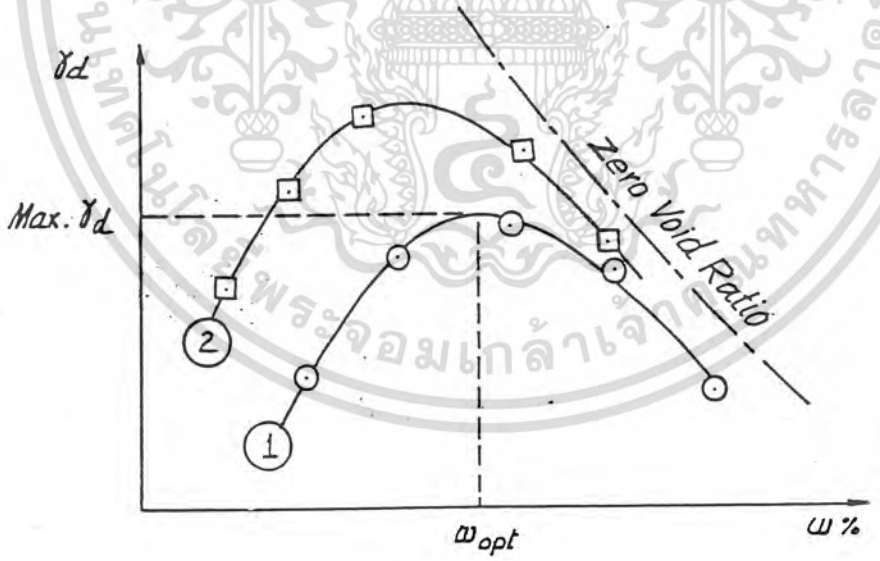
วิธีบดอัดดินให้ได้ความแน่น (Density) สูงตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของ การใช้งานจะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น แต่ถ้าน้ำมีอยู่มากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบ ๆ มวลดิน ทำให้อนุของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกันหรือถ้ามีน้ำอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดดินเบียดชิดกันเท่าที่ควร ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว RR. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความแน่น (Density) ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้การทดสอบการบดอัดดินในการก่อสร้าง โดยทั่วไปว่าเป็นวิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน (Runway) เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ในปัจจุบัน ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงาน (Energy) ที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการ กำหนดวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่า วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ

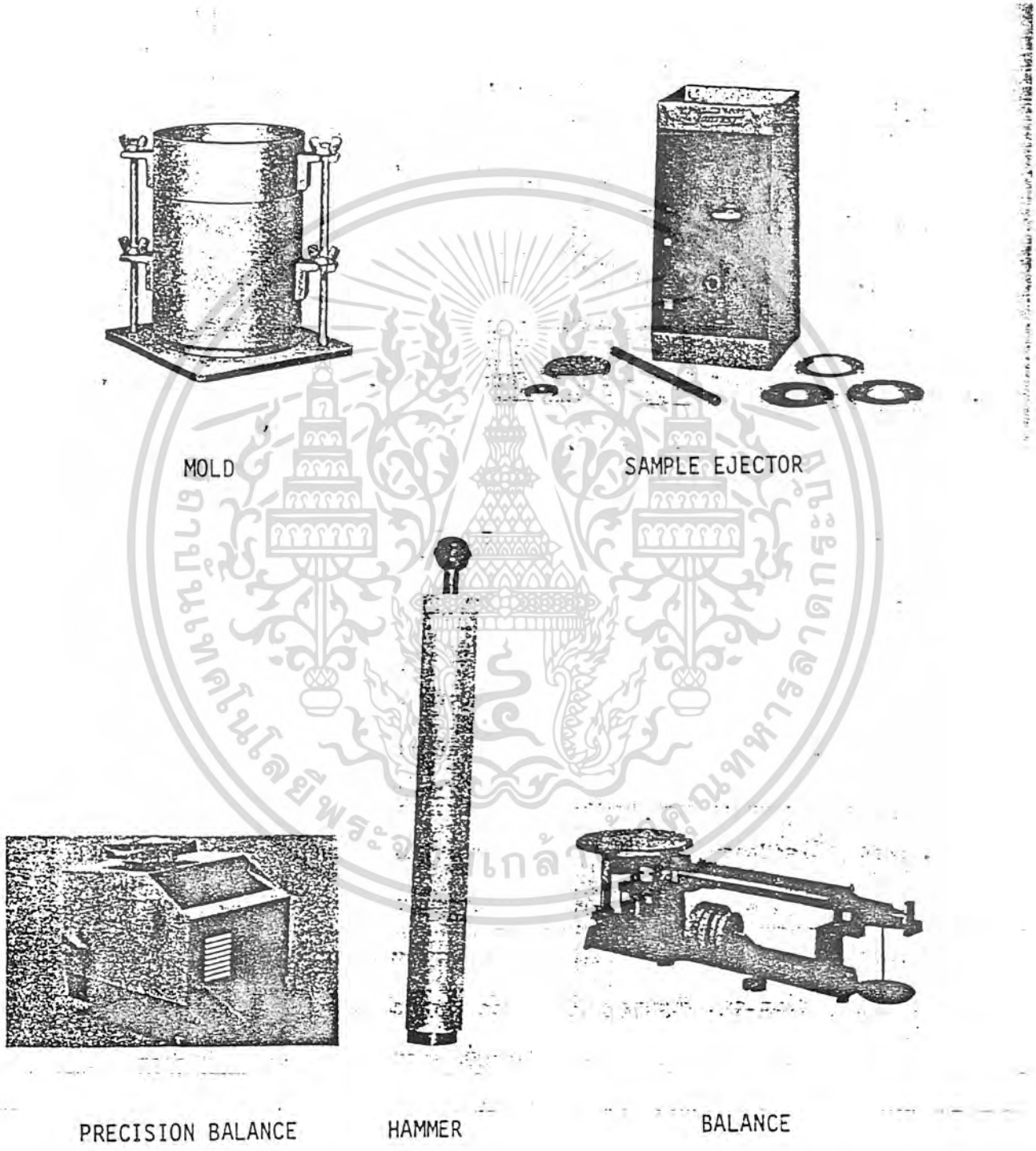
Standard Proctor และ Modified Proctor

Test	Mold size	Wt. of hammer (lb.)	No.of layer	Height of drop (in.)	No.of blow per layer	Energy/ vol ft. - lb./fft.- lb./ cu.ft
Standard Proctor	ϕ 4.0"x4.6"	5.5	3	12	25	12,400
	ϕ 6.0'x5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified Proctor	ϕ 6.0"x5.0"	10	5	18	56	56,000
	ϕ 4.0"x4.6"	10	5	18	25	56,800



รูปที่ 3.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ Standard Proctor (1) และ Modified Proctor (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2 เครื่องมือใช้ในการทดลองการบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบดอัดดินในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐาน ในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป จะทำได้โดยนำเอาวัสดุที่จะใช้บดอัดในสนามเข้ามาผึ่งให้แห้ง แล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำเข้าไปในปริมาตรที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้ในการบดอัด) โดยวิธีการที่จะพูดถึงรายละเอียดภายหลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ อย่างน้อย 4 ถึง 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของ ความหนาแน่นของดินแห้งกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นมีจุดยอด ซึ่งเรียกว่า "ความหนาแน่นสูงสุด" (Maximum Dry Density) และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า "ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด" (Optimum Water Content) ดังแสดงในรูปที่ 1 (1)

ถ้าเอาพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นในดินชนิดเดียวกัน เส้นกราฟการบดอัด จะขยับสูงขึ้น ดังในรูปที่ 1 (2) จะสามารถสังเกตุลักษณะพิเศษสองประการ คือค่า γ_d ของ Modified Proctor จะสูงกว่า γ_d ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด γ_d สูงสุด ซึ่งเรียกว่าความชื้นเหมาะสม (Optimum moisture content) ก็จะลดลงด้วยขณะที่ γ_d เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องทดลอง

1. mold ϕ4"x4.6" with collar 2.5 in high
   (Standard Proctor)
   mold ϕ6"x5.0" with collar 2.5 in high
   (Modified Proctor)
2. hammer ϕ2" Weight 5.5 lb. (Standard Proctor)
   hammer ϕ2" Weight 10.0 lb. (Modified Proctor)
3. ตะแกรงร่อน เบอร์ 4 (Standard Proctor)
   ตะแกรงร่อน เบอร์ 3/4 นิ้ว (Modified Proctor)
4. ฆ้อนยาง, แปรงอ่อนใช้ปัดดิน
5. ช้อนตักดิน
6. บรรทัดเหล็กปาดดิน
7. ถาดผสมดิน
8. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
9. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
10. เตาอบอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส
11. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน
12. เครื่องดันตัวอย่างดินออกจาก Mold (jack)
13. กระบอกตวงน้ำ มีขีดแบ่งปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อให้ขนาดของ เม็ดดินและขนาดของ mold ที่ใช้ทดลองมีส่วนสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม ดินตัวอย่างที่จะใช้จำเป็นต้องร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดดังนี้

Standard Proctor test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการ หรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

Modified Proctor test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการ หรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4"

ดินที่มีขนาดโตกว่าเบอร์ 3/4" จะต้องทิ้งไปและดินที่ทิ้งไปนี้จะต้องชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน วิธีที่สะดวกในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทำ Modified Proctor test ก็โดยการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นกอง ๆ โดยวิธี Quartering แต่ละกองให้มีน้ำหนักประมาณ 6 กก. ร่อนดินกองแรกผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" และร่อนดินอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4" และเบอร์ 4 ชั่งดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" ที่จดไว้นำไปผสมกับดินกองแรกเพื่อทดลองต่อไป

วิธีทำการทดลอง Standard Proctor ใช้ mold ϕ4"x4.6"

1.วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold

2.ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

3.ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อย่างน้อย 4 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4 % คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอกันตลอด

4.ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้จำนวน 3 ชั้นเท่า ๆ กัน เมื่อ compact เสร็จแล้ว ชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นส่วนบนของ mold เล็กน้อย ประมาณ 1-2 ซม.

5.ใช้ hammer ขนาด 5.5 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง

6.เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออก และอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base plate ออกนำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7.ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและอบในเตาอบ เพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

8.เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีก จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำการทดลอง Modified Proctor ใช้ mold ϕ6"x5"

1.วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold

2.ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

3.ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อย่างน้อย 7 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอกันตลอด

4.ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar ,base plate และ spacer disc เรียบร้อยแล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้นเท่า ๆ กัน เมื่อ compact เสร็จแล้ว ชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นส่วนบนของ mold เล็กน้อย ประมาณ 1 ซม.

5.ใช้ hammer ขนาด 10 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 56 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง

6.เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold ถอด base plate ออกนำ mold ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7.ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 500 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและอบในเตาอบ เพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

8.เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีก จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

การคำนวณ

1.Wet density ของดิน $= \frac{\text{Wet Weight}}{\text{Volume of mold}}$ lb. / cu.ft.

2.Dry density (γ_d) $= \frac{W}{V(1+w)}$ lb. / cu.ft.

W = น้ำหนักดิน (Wet weight) ใน mold

V = ปริมาตรของ mold

w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (water content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1.หาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content) และ dry density โดยการนำค่า dry density มา plot ในแกนตั้งและ water content (%) ในแกนนอน

2.หาค่า optimum moisture content จาก curve ในข้อ 1.

3.หาค่า Max. γ_d จาก curve ในข้อ 1.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช

อ้างอิง : ASTM D 1883 - 67

บทนำ

ในปี ค.ศ. 1929 California Division of Highway ได้กำหนดวิธีทดสอบจำแนกคุณสมบัติของดิน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนน และในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จำเป็นต้องพัฒนาการสร้างสนามบิน เพื่อรับกับเครื่องบินรบ ซึ่งน้ำหนักบรรทุกอาวุธยุทธภัณฑ์หนักเพิ่มขึ้นมาก หน่วยทหารช่างของสหรัฐอเมริกาได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ CBR มาใช้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิ่งของสนามบิน และวิธีการดังกล่าวก็เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันโดยทั่วไป

ทฤษฎี

CBR. Test เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum moisture content) โดยการใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร. นิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Unit load มาตราฐานที่ได้จากการทดลองกด Piston ขนาดเดียวกันนี้บนหินที่ Compact แน่นที่ความลึกของ Penetration เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า "เปอร์เซ็นต์ CBR." เทียบอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Standard unit load เขียนเป็นสมการของอัตราส่วนได้ดังนี้

$$\text{CBR.} = \frac{\text{test unit load}}{\text{Standard unit load}} \times 100\%$$

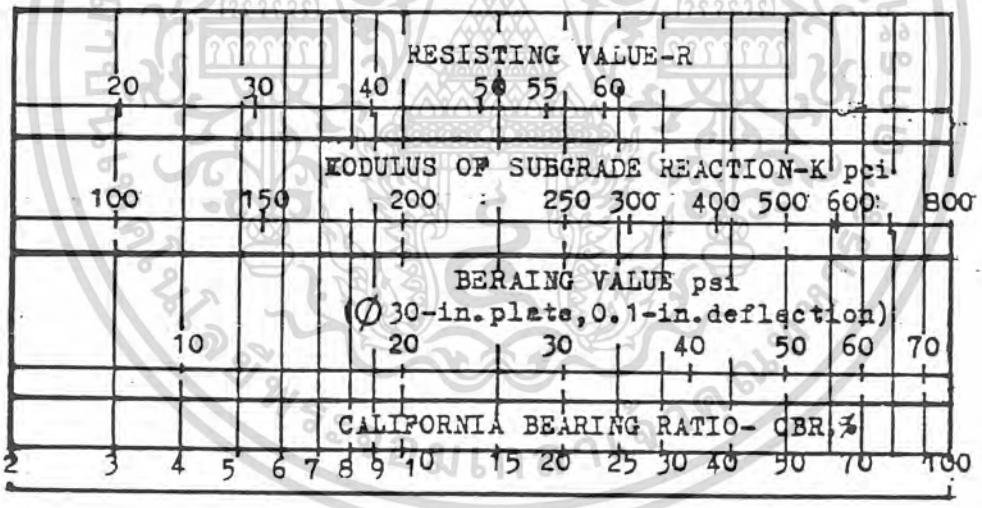
ค่า Standard unit load ซึ่งได้จากการทดลองกดท่อนเหล็กกลมตัน (piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว บนหินคลุกมาตรฐานบดอัดแน่นขนาดต่าง ๆ กันหลายขนาดมีค่ามาตรฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Penetration	Unit load
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

ค่า% CBR โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลปรากฏออกมาว่า % CBR ของแรงกดที่ความลึก 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ความลึก 0.1 นิ้ว การทดลองควรจะต้องกระทำซ้ำอีกครั้ง ซึ่งถ้าค่า % CBR ที่ได้มายังเป็นไปในรูปเดิมก็ให้ใช้ค่า % CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่า CBR นำมาใช้ประโยชน์ ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (flexible pavement) โดยกำหนดความหนาจาก Design charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตได้อีกด้วย



รูปที่ 3.4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR , K , R และ Bearing Value

จากค่า CBR ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าว ๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นดินถม ชั้นรองพื้นทาง (subbase) หรือชั้นพื้นทาง (base) ดังตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4.1 แสดงความสัมพันธ์ของ % CBR และการใช้งาน

% CBR	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
0 - 3	very poor	subgrade
3 - 7	poor to fair	subgrade
7 - 20	fair	subbase
20 - 50	good	subbase, base
50 - 80	very good	base
〉80	exellent	base

การทดลอง CBR ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามจากตัวอย่างดินที่บดอัดแน่นตามวิธีการของ Standard หรือ Modified Proctor ดินตัวอย่างที่เตรียมสำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการจะต้องเตรียมขึ้น 2 ชุด ชุดหนึ่งใช้กดทดลองหาค่า Penetration ทันทีหลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จ อีกชุดหนึ่งจะต้องแช่น้ำไว้ 96 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอมน้ำจนอิ่มตัว และเพื่อจุดประสงค์จะวัดหาอัตราการบวมตัวของดินด้วย ในระหว่างที่ทำการแช่น้ำอยู่จะต้องมีน้ำหนักกดทับดินตัวอย่าง (Surcharge) ไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ หรือเท่ากับน้ำหนักของพื้นทางและผิวจราจร เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อจะหาค่า CBR ที่ควรจะเกิดขึ้นจริง ๆ ในสนาม กล่าวคือในหน้าฝนระดับน้ำใต้ดินจะสูงจนทำให้ดินที่รองรับถนนอยู่อิ่มตัวและอัตราการบวมตัวของดินที่จะมาใช้ในการก่อสร้างจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติ และความเหมาะสมในการใช้งานของวัสดุนั้น ๆ

การทดลอง CBR ในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.แบบ (mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อม Collar สูง 2.5 นิ้ว และ Base plate สำหรับยึด Mold และ Collar

2.Spacer Disc สูง 2.5 นิ้ว

3.Hammer หนัก 10 lb.

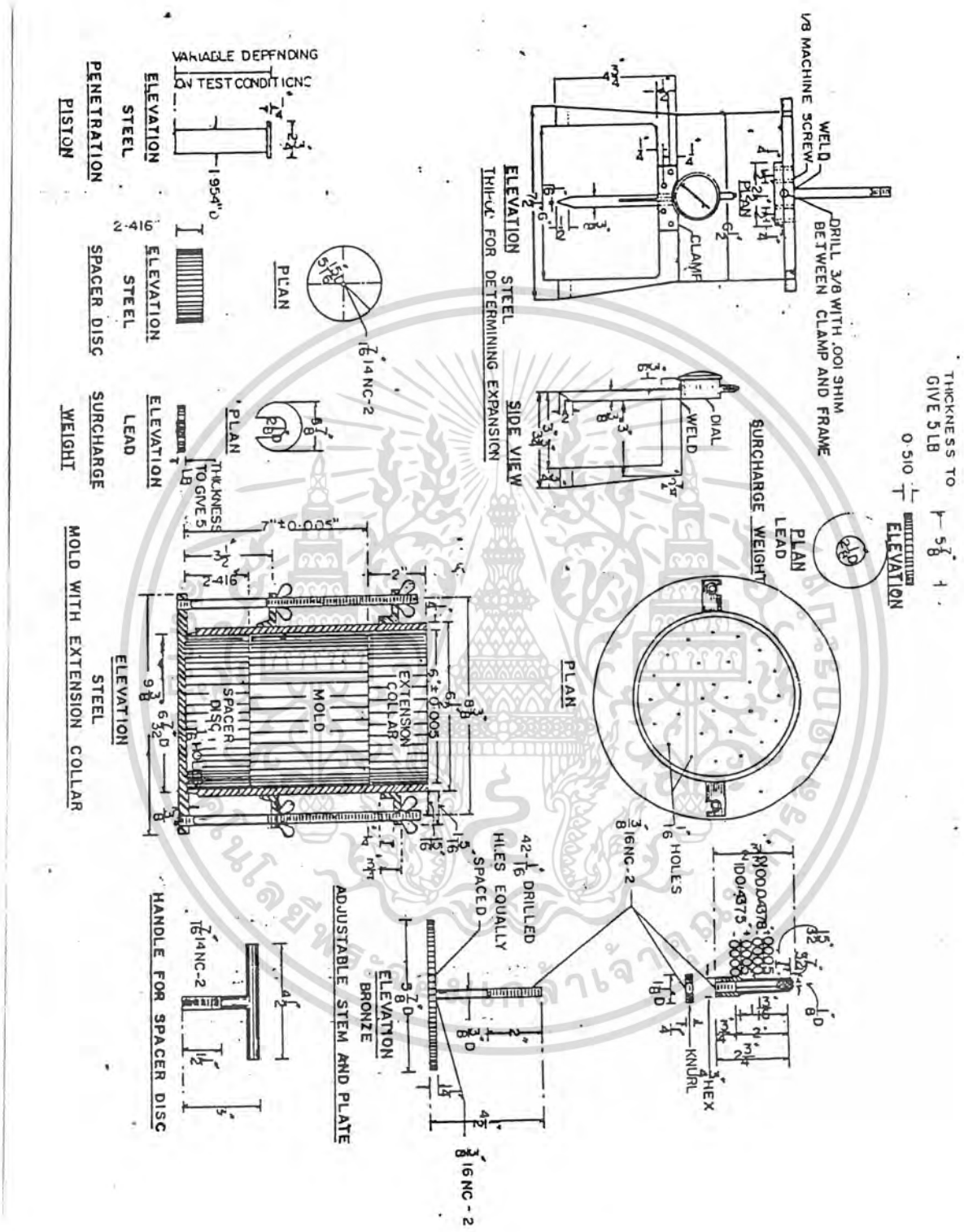
4.Swelling Plate พร้อมขายึดมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

5.สามขา (Tripod) สำหรับยึด Dial indicator เพื่อวัดอัตราการบวมของดินเมื่อแช่น้ำ

6.Dial indicator วัดได้ 1 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว

7.น้ำหนักถ่วงทับ (Surcharge Weight) หนักแผ่นละ 5 ปอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.2 อุปกรณ์ทดสอบ CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.Penetration piston เนื้อที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว

9.Loading device แบบ Hydraulic jack หรือ Screw jack มีอุปกรณ์รับแรงได้ 10,000 ปอนด์

10.ถังน้ำแช่ดินพร้อม Mold

11.ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 4 และ 3/4 นิ้ว

12.เครื่องชั่ง ถาดตลุกดิน Straight edge กระบอกตวงน้ำ

การเตรียมตัวอย่างดิน

1.ดินตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดลองจะต้องปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (air dry) แบ่งดินออกเป็นกองตามวิธี Quartering แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" ให้ทิ้งไปและชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน

2.หาจุด Optimum moisture content โดยวิธี Modified Proctor method

วิธีทำการทดลอง

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (Unsoaked CBR test)

1.ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 ปอนด์ หรือ 6 กก. และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (initial water content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง

2.เตรียม Mold ไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนัก Mold (เฉพาะ Mold ไม่รวม Base plate)

3.ประกอบ Mold เข้ากับ Base plate spacer (ขนาด ϕ 6"x2") ใช้กระดาษกรอง ϕ 6" ปูทับบน Spacer เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก

4.กระทุ้งดินอัดแน่นใน Mold ตามวิธี Compaction test ASTM D 1557 optimum moisture content ± 2 %

5.หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอด Collar ออกใช้ไม้บรรทัดเหล็ก (Straight edge) ปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold พร้อมกับซ่อมแต่ผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปาก Mold

6.ถอด Base plate และ Spacer disc ออกนำ Mold และดินไปชั่งน้ำหนักเพื่อหา Wet density

7.เอากระดาษกรองวางบน Base plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็กประกอบ Mold ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับ Base plate โดยให้ปาก Mold ด้านที่มีดินเสมอปากวางบน Base plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4.3 การกดตัวอย่าง CBR

รูปที่ 3.4.4 การเตรียมตัวอย่าง CBR เพื่อแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นต่อไปสำหรับ Unsoaked sample ทำข้อ 8 - 11

8.วางแผ่นเหล็ก Surcharge อย่างน้อย 1 ปอนด์ ลงบนดินตัวอย่างใน Mold

9.จัดวาง Mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดลองซึ่งมี Piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร. นิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน Mold แตะสัมผัสกับ Piston ดังกล่าว จัดเข็ม Dial gage ที่จะใช้วัด Penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์

10.จัดการ Load ในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ Penetration 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 และ 0.500 นิ้ว

11.เสร็จแล้วถอด Mold ออกจากเครื่องกดทดลองเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม (fine grained soil) หรือประมาณ 500 กรัม (coarse grained soil) นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content)

สำหรับตัวอย่างดินที่มีการแช่น้ำ (Soaked sample) ทำข้อ 12 - 18 เพิ่มเติม

12.ว่างแผ่นเหล็ก Surcharge หนัก 10 ปอนด์ ลงบนดินตัวอย่างใส่ Swell plate สำหรับวัดอัตราการบวมตัวของดิน ซึ่งมีด้ามขันเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่กลาง Plate ก่อนวางแผ่นเหล็ก Surcharge ลงบนดินตัวอย่างจะต้องเอากระดาษกรองวางคั่นใต้แผ่น Surcharge เสียก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว

13.แช่ Mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 12. นี้ ในภาชนะที่เตรียมไว้ให้น้ำท่วม Surcharge ประมาณ 1 นิ้ว ใช้ Dial gage อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับ Tripod แล้ววางบนปาก Mold จัดให้ปลายของ Dial gage แตะสัมผัสกับก้าน Swelling plate เพื่อวัดหาค่าการบวมตัวของดินต่อไป

14.แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัวจาก Dial gauge ทุกวันจนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่อาจจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

15.หลังจากแช่ครบ 4 วันแล้ว ยก Mold ออกจากน้ำและวางตะแคง Mold เพื่อรินน้ำทิ้ง และปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก Mold จนหมด

16.นำ Mold พร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก

17.ทำการทดลองตามวิธีข้อ 9 - ข้อ 10

18.เก็บดินตัวอย่างจาก Soaked sample ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

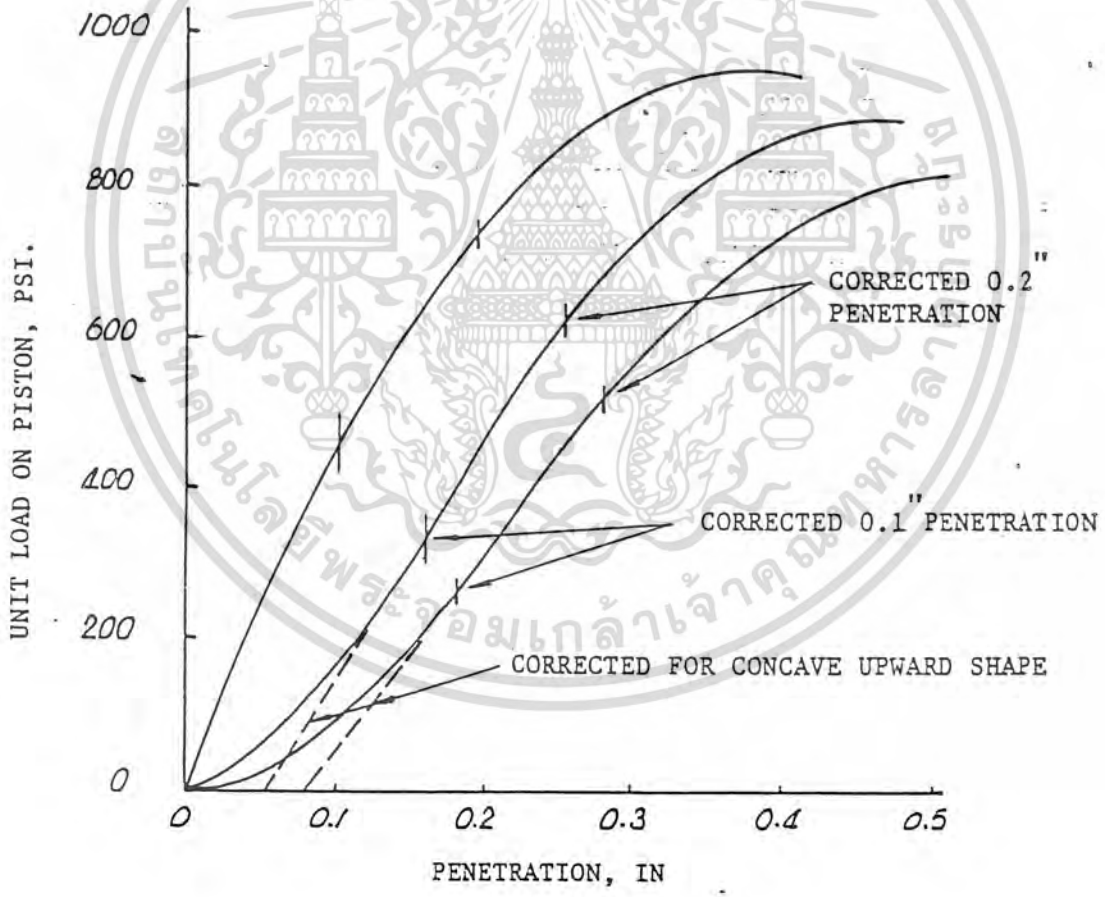
การคำนวณผลการทดลอง

1.คำนวณหาหน่วยแรงกดโดยสมการ

$$\text{Test unit load} = \frac{\text{penetration load}}{3} \text{ psi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.เขียนกราฟระหว่าง Test unit load ในแกนตั้งกับ Penetration ในแกนนอนจากค่าที่ได้ทั้ง Unsoaked และ Soaked sample ลงในกระดาษกราฟแผ่นเดียวกัน โดยปกติแล้ว จะได้รูป Curve โค้งคว่ำผ่านจุด Origin แต่บางครั้งอาจจะปรากฏว่า Curve ที่ได้มีรัศมีลักษณะโค้งคว่ำหงายในช่วงแรก ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการแก้ไขให้ได้ค่าที่ถูกต้องด้วยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับ Curve ตรงส่วนที่มี Origin ใหม่และ Origin ใหม่นี้จะต้องอยู่ทางด้านขวาของ Origin เดิมเสมอ เรียกว่า "Initial Correction"



รูปที่ ๒.๒ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและระยะยอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.อ่านค่า Test unit load จากกราฟที่ 0.1 และ 0.2 นิ้วจากกราฟ และคำนวณหาค่า % CBR

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{test unit load}}{\text{Standard unit load}} \times 100\ \%$$

4.คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและ Dry density ของดินตัวอย่างทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

การทดสอบคุณสมบัติของดิน

1. การทดสอบ Atterberg's limit

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียว ตามมาตรฐาน ASTM D 423 - 66 และ ASTM D 424 - 59 (Liquid Limit และ Plastic Limit)

2. การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน (Grain size analysis)

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM D 422 - 63

3. การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction test)

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวและดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 - 70 (วิธี Modified Proctor โดยใช้ ขนาด mold ϕ 4.0 " x 4.6" , น้ำหนักของ hammer 10 lb จำนวนชั้นการบดอัด 5 ชั้น และ จำนวนการบดอัดในแต่ละชั้นเท่ากับ 25 ครั้ง) โดยการใช้น้ำผสมดินเพื่อการบดอัด

4. การทดสอบหาค่า C.B.R. (California Bearing Ratio)

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวและดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 - 67 โดยการใช้น้ำผสมดินเพื่อการบดอัด

การทดสอบคุณสมบัติของดินที่ ผสมเบนโทไนท์

1. การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction test)

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวและดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 - 70 (วิธี Modified Proctor โดยใช้ขนาด mold ϕ 4.0 " x 4.6" , น้ำหนักของ hammer 10 lb จำนวนชั้นการบดอัด 5 ชั้น และ จำนวนการบดอัดในแต่ละชั้นเท่ากับ 25 ครั้ง) โดยใช้น้ำ + เบนโทไนท์ ในการบดอัดดิน

2. การทดสอบหาค่า C.B.R. (California Bearing Ratio)

ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวและดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 - 67 เช่นเดียวกับการทดสอบดินล้วนๆ โดยใช้น้ำ + เบนโทไนท์ ความเข้มข้น 1 - 6 % ผสมแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

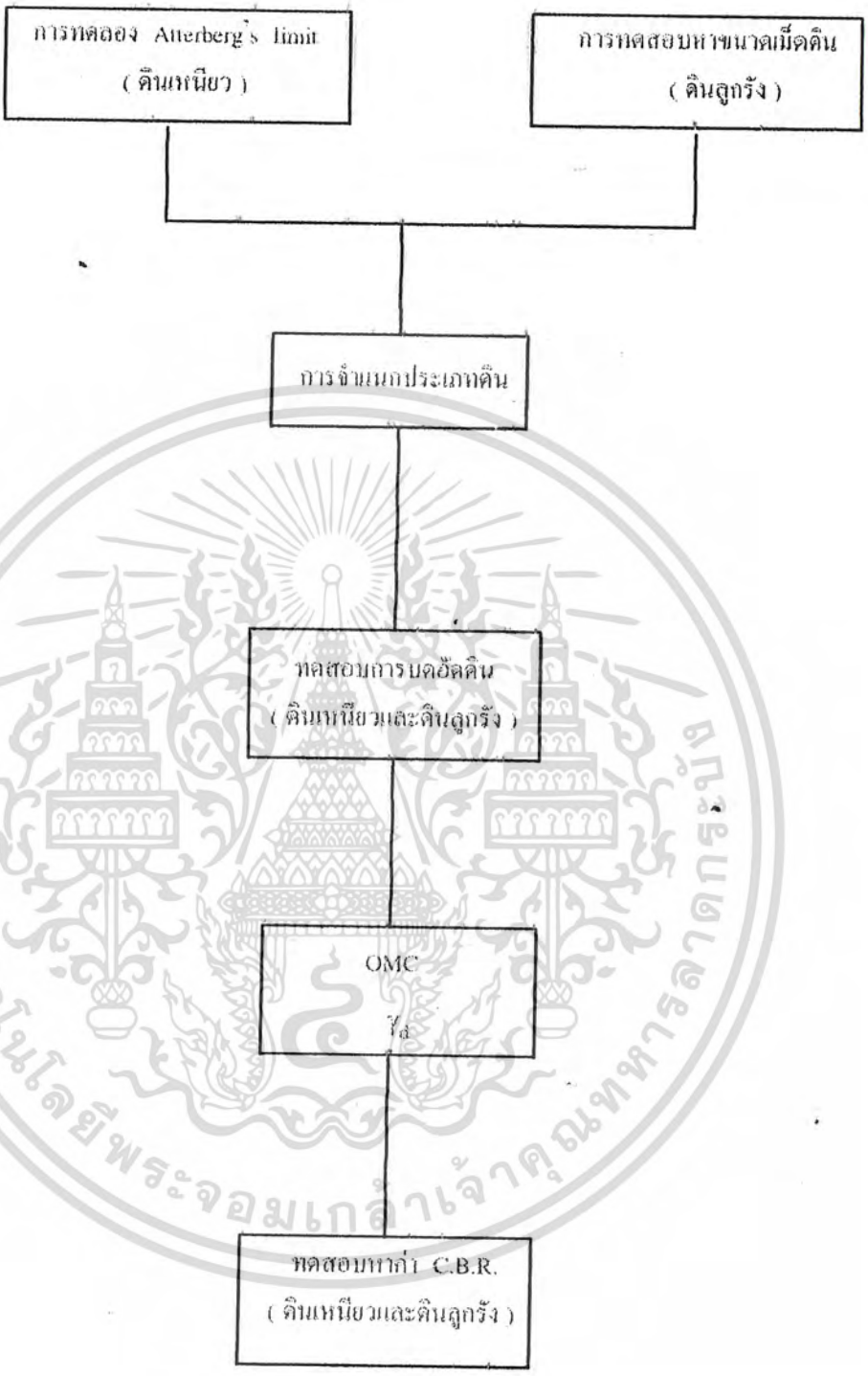


Chart แสดงลำดับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

ดินเหนียว

ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมีดังต่อไปนี้

ATTERBERG 'S LIMITS

Liquid Limit = 77.00

Plastic Limit = 31.80

Plastic Index = 45.19

SOIL CLASSIFICATION

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวได้ค่า atterberg 's limits และนำมาจำแนกชนิดของดินตามวิธี ASSHTO ได้ค่าดังนี้

ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 = 89% > 35%

∴เป็นวัสดุเม็ดละเอียด

L.L. = 77.00 > 40

P.L. = 31.80 > 10

∴เป็นดินเหนียว A-7

และพิจารณาจากแผนภูมิความเหนียว P.I. = 45.19 จะได้ว่าเป็นดินเหนียว A-7-5

การคำนวณ Group Index ดังต่อไปนี้

a = 40

b = 40

c = 20

d = 20

∴G.I. = 0.2(40) + 0.005(40)(20) + 0.01(40)(20)

= 20

จะได้ว่าเป็นดินเหนียว A-7-5(20) #

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

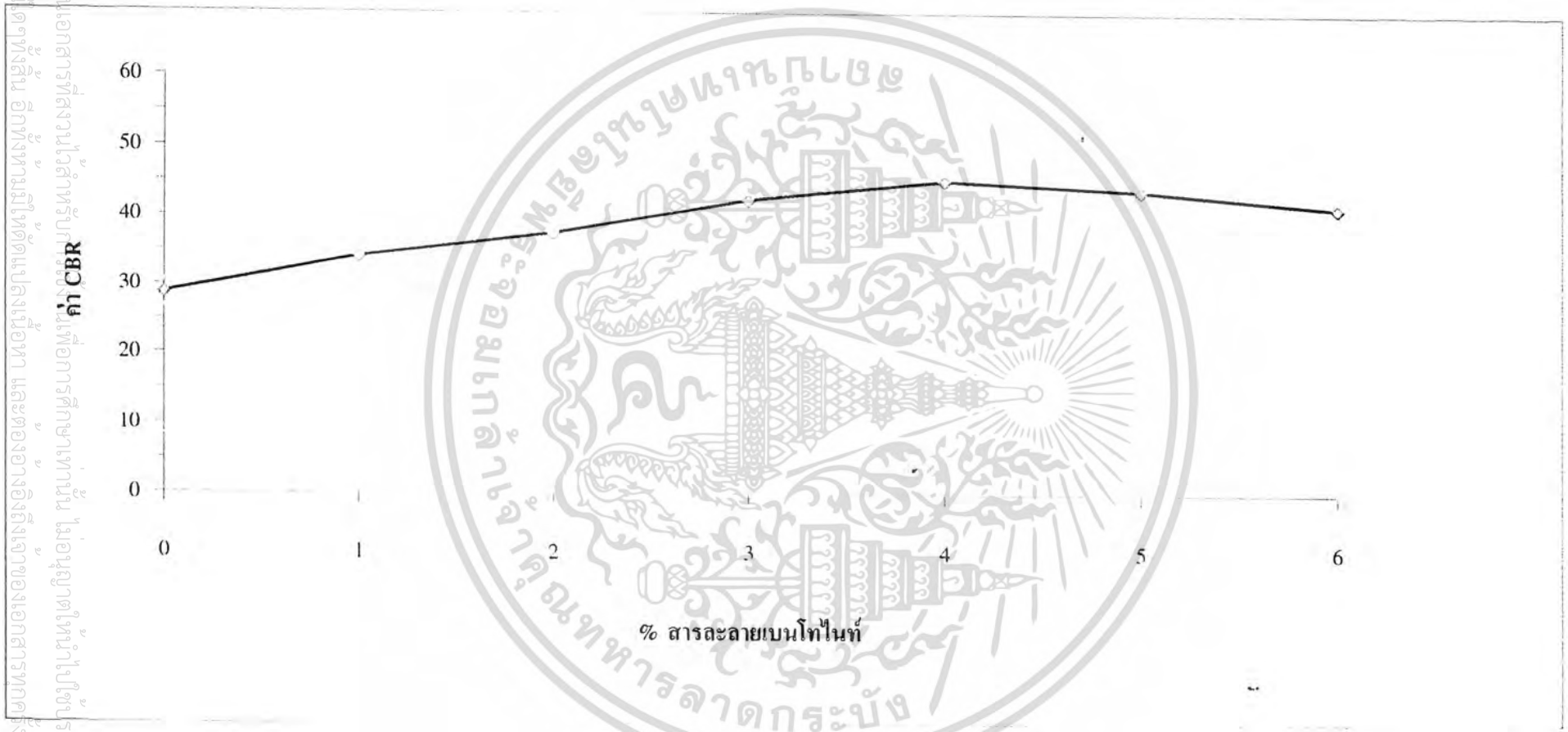
COMPACTION

Percent of Bentonite Solution	γ_d max	O.M.C.
0	105.8	17.7
1	106.0	17.1
2	104.1	16.7
3	104.1	18.5
4	103.7	16.9
5	101.2	19.8
6	102.7	19.2

CBR

Percent of Bentonite Solution	Average %CBR		% Swell
	Unsoaked	Soaked	Soaked
0	28.87	5.49	0.183
1	34.17	4.36	0.194
2	37.62	2.72	0.207
3	42.50	1.96	0.226
4	57.65	3.47	0.249
5	43.93	2.34	0.322
6	41.49	1.39	0.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารละลายเบนโทไนท์กับค่า CBR ของดินเหนียว

ตารางเปรียบเทียบค่าต่างๆ เมื่อผสมสารละลาย bentonite กับไม่ผสมสารละลาย bentonite สำหรับดินหนืด

Percent of Bentonite Solution	Average %CBR		% Swell
	Unsoaked	Soaked	Soaked
0	0.00	0.00	0.00
1	18.36	-20.58	6.01
2	30.31	-50.46	13.11
3	47.21	-64.30	23.50
4	99.69	-36.79	36.07
5	52.16	-57.38	75.96
6	43.71	-74.68	79.23

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินลูกรัง

ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมีดังต่อไปนี้

SIEVE ANALYSIS

Sive No.	Percent Finer %
2"	100
1"	100
3/8"	95.66
No.10	69.54
No.40	25.38
No.200	5.14
Pan	0

ตารางที่ 5.3

SOIL CLASSIFICATION

จาก sieve analysis สามารถแบ่งเกรดตามมาตรฐานของขนาดเม็ดดินที่ใช้เป็นวัสดุดินถม

ขนาดของตะแกรงมาตรฐานของสหรัฐ (SIEVE SIZE)	เปอร์เซนต์ผ่านโดยน้ำหนัก (% Passing Wt.) ขนาด (GRADING)					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
No.10	15-40	20-45	25-45	40-70	40-100	55-100
No.40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

ตารางที่ 5.4

∴เป็นดินลูกรังเกรด D #

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

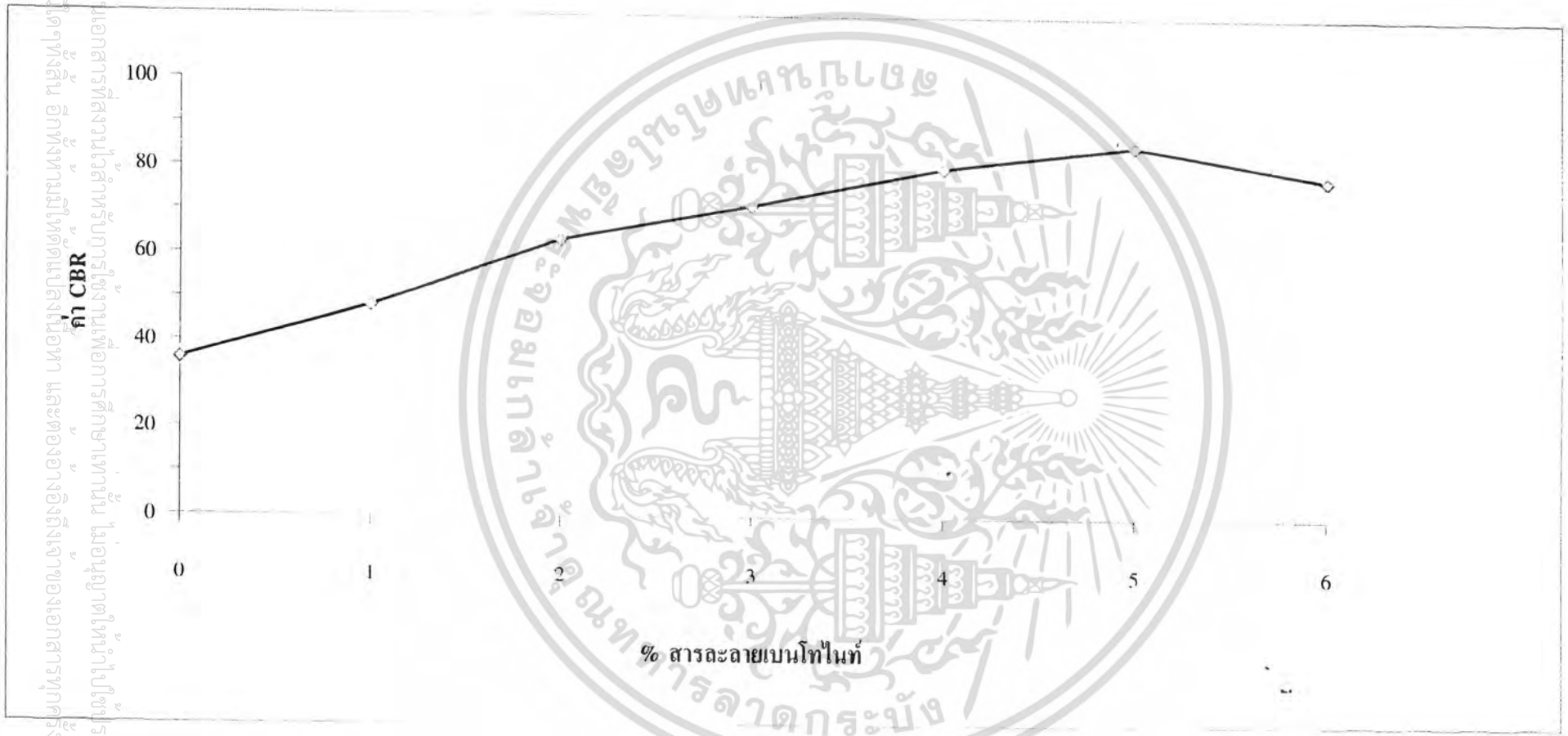
COMPACTION

Percent of Bentonite Solution	γ_d max	O.M.C.
0	122.5	12.0
1	124.6	10.8
2	127.3	10.7
3	125.3	12.1
4	123.5	11.9
5	124.8	10.8
6	125.8	10.7

CBR

Percent of Bentonite Solution	Average %CBR		% Swell
	Unsoaked	Soaked	Soaked
0	35.89	1.47	0.006
1	48.31	2.25	0.014
2	71.59	2.85	0.019
3	71.54	2.91	0.100
4	80.44	2.02	0.142
5	85.76	2.86	0.148
6	78.12	1.56	0.157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารละลายเบนโทไนท์กับค่า CBR ของดินลูกรัง

ตารางแสดงค่าต่างๆ ที่ผสมสารละลาย bentonite กับไม่ผสมสารละลาย bentonite ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Percent of Bentonite Solution	Average %CBR		% Swell
	Unsoaked	Soaked	Soaked
0	0.00	0.00	0.00
1	34.61	53.06	133.33
2	99.47	93.88	216.67
3	99.33	97.96	1566.67
4	125.24	37.41	2266.67
5	138.95	94.56	2366.67
6	117.67	6.12	2576.67

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดสอบ

วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบ

1. ผลการวิเคราะห์แยกประเภทของดิน

ดินเหนียว

มีค่า Liquid Limit เท่ากับ 77%

มีค่า Plastic Limit เท่ากับ 31.8%

มีค่า Plastic Index เท่ากับ 45.19%

จากค่า Atterberg 's limit ข้างบนนี้นำมาจำแนกประเภทของดินตามวิธี AASHTO จะได้ว่าดินที่นำมาทำการทดลองเป็นดินเหนียวอยู่ในกลุ่ม A-7-5 (20)

ดินลูกรัง

จากการทดสอบค่า Sieve Analysis พบว่า

Sive No.	Percent Finer %
2"	100
1"	100
3/8"	95.66
No.10	69.54
No.40	25.38
No.200	5.14
Pan	0

จากการวิเคราะห์การแยกประเภทของดินตามมาตรฐานของกรมทางหลวงจะได้ว่าดินที่นำมาทดสอบเป็นดินลูกรังเกรด D (มีคุณภาพไม่ดี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์การบดอัด

ดินเหนียว

จากผลการทดสอบการบดอัดดินเหนียว ดังในตารางที่ 5.1 พบว่าเมื่อผสมสารละลาย bentonite เข้าไปในการบดอัด จะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดน้อยกว่าเมื่อไม่ได้ผสมสารละลาย bentonite แต่การลดลงของความหนาแน่นแห้งสูงสุดไม่แปรผกผันโดยตรงกับปริมาณสารละลาย bentonite ที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าขึ้นๆลงๆแต่มีค่าใกล้เคียงกัน

การลดลงของความหนาแน่นแห้งสูงสุดสันนิษฐานว่าเกิดจากการเข้าไปแทรกตัวของ bentonite ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้เม็ดดินไม่อัดชิดกันเต็มที่ น้ำหนักดินโดยรวมจึงลดลงส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง

ดินลูกรัง

จากผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังดังในตารางที่ 5.5 เมื่อผสมสารละลาย bentonite เข้าไปในการบดอัดจะทำให้มีความหนาแน่นแห้งสูงกว่าเมื่อไม่ได้ผสมสารละลาย bentonite เลย แต่การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นแห้งสูงสุดไม่แปรผันโดยตรงกับปริมาณสารละลาย bentonite ที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าขึ้นๆลงๆ แต่มีค่าใกล้เคียงกัน

3. ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่า CBR

ดินเหนียว

ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำเมื่อยังไม่ผสมสารละลาย bentonite มีค่า 28.87% เมื่อผสมสารละลาย bentonite ค่า CBR จะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเข้มข้นของสารละลาย bentonite 4%

ส่วนค่า CBR แบบแช่น้ำเมื่อยังไม่ผสมสารละลายbentonite มีค่า 5.49% แต่เมื่อผสมสารละลายbentonite ค่า CBR จะลดลง

ค่า CBR ในกรณีแช่น้ำพบว่าค่า CBR มีค่าลดลงแต่แบบไม่แช่น้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อผสมสารละลาย bentonite ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ สันนิษฐานว่าน้ำทำให้ bentonite ที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดินเกิดการพองตัวเนื่องจากสารละลาย bentonite เป็น colloid ซึ่งมีคุณสมบัติการพองตัวสูงทำให้ดินไม่แน่นและเกิดการบวมตัวทำให้ค่า CBR ลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่าดินเหนียวที่ผสมสารละลายbentonite มีการบวมตัวสูงถึงแม้ว่าจะให้กำลังมากขึ้นก็ตาม

ดินลูกรัง

ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำเมื่อยังไม้ผสมสารละลาย bentonite มีค่า 35.89% แต่เมื่อผสมสารละลาย bentonite ค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 85.76% ที่ความเข้มข้นของสารละลาย bentonite 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า CBR แบบแช่น้ำเมื่อยังไม่ผสมสารละลาย bentonite มีค่า 1.47% เมื่อผสมสารละลาย bentonite ค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2.91% ที่ความเข้มข้นของสารละลาย bentonite 3%

สันนิษฐานว่าดินลูกรังซึ่งมี angle of friction ต้านการพองตัวของ bentonite จึงทำให้เกิดการพองตัวแต่ไม่มากนักจึงทำให้ค่า CBR เพิ่มขึ้นแต่ไม่สูงมากนัก

นอกจากนี้ยังพบว่าดินเหนียวที่ผสมสารละลายbentonite มีการบวมตัวสูงถึงแม้ว่าจะให้กำลังมากขึ้นก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การนำไปใช้งานและข้อเสนอแนะ

เมื่อผสมสารละลาย bentonite เข้าไปจะทำให้ค่า CBR สูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การบวมตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการใช้งานจริงในการผสมสารละลาย bentonite กับวัสดุหรือดินที่มีคุณภาพต่ำและทำการบดอัดเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้นจึงควรพิจารณาถึงผลทางด้านการบวมตัวควบคู่ไปด้วย กล่าวคือ ในหน้าฝนระดับน้ำใต้ดินจะสูงจนทำให้ดินที่รองรับโครงสร้าง เช่น ถนน เกิดการอิ่มตัว และถ้าเกิดการบวมตัวสูงอาจทำให้ความแข็งแรงลดลงและเกิดความเสียหายขึ้นได้

การเจือจางลงของ bentonite เมื่อเวลาผ่านไปนานๆสำหรับดินที่ผสมสารละลาย bentonite เมื่อถูกน้ำหรือน้ำซึมผ่านได้ อาจจะทำให้ bentonite ละลายออกไปด้วยทำให้ความแข็งแรงลดลงหรืออาจเกิดการเสื่อมสภาพเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ

โครงสร้างที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษในการนำดินมาผสมกับสารละลาย bentonite และนำมาทำการบดอัดเพื่อทำโครงสร้าง ควรพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างที่ถูกน้ำบ่อยหรือเกิดการไหลซึมของน้ำผ่านได้ เช่น เขื่อน อาจจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษเพราะอาจจะเกิดความเสียหายได้ในอนาคต ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าโครงสร้างที่ถูกน้ำมากอาจไม่เหมาะสมที่จะนำดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมสารละลาย bentonite และนำมาเป็นส่วนของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้สารละลายเบนโทไนท์ผสมดินเหนียว

เบนโทไนท์ ราคากิโลกรัมละ 6.50 บาท

ดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความหนาแน่นแห้ง = 1692.8 kg/m^3

∴ ปริมาณเบนโทไนท์ที่ใช้ต่อดินเหนียว 1 m^3 = % เบนโทไนท์ x OMC x นน.ดินเหนียว

ปริมาณเบนโทไนท์ที่ใช้ต่อดินเหนียว 1 m^3

สารละลายเบนโทไนท์ 1 % โดยน้ำหนัก	=	0.01 x 0.171 x 1692.8	=	2.89 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 2 % โดยน้ำหนัก	=	0.02 x 0.167 x 1692.8	=	5.65 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 3 % โดยน้ำหนัก	=	0.03 x 0.185 x 1692.8	=	9.40 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 4 % โดยน้ำหนัก	=	0.04 x 0.169 x 1692.8	=	11.44 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 5 % โดยน้ำหนัก	=	0.05 x 0.198 x 1692.8	=	16.76 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 6 % โดยน้ำหนัก	=	0.06 x 0.192 x 1692.8	=	19.50 kg

ราคาค่าเบนโทไนท์ต่อดินเหนียว 1 m^3

สารละลายเบนโทไนท์ 1 % โดยน้ำหนัก	=	2.89 x 6.50	=	18.79 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 2 % โดยน้ำหนัก	=	5.65 x 6.50	=	36.73 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 3 % โดยน้ำหนัก	=	9.40 x 6.50	=	61.10 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 4 % โดยน้ำหนัก	=	11.44 x 6.50	=	74.36 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 5 % โดยน้ำหนัก	=	16.76 x 6.50	=	108.94 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 6 % โดยน้ำหนัก	=	19.50 x 6.50	=	126.75 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซนต์ของสารละลายเบนโทไนท์	% CBR	ปริมาณของเบนโทไนท์/ ดิน 1 ม^3	ราคาของเบนโทไนท์
0	28.87	0	0
1	34.17	2.89	18.79
2	37.62	5.65	36.73
3	42.50	9.40	61.10
4	57.05	11.44	74.36
5	43.93	16.76	108.94
6	41.49	19.50	126.75

ตารางแสดงค่า CBR , ปริมาณเบนโทไนท์และราคาเบนโทไนท์ต่อดินเหนียว 1 ลบ.ม.

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้สารละลายเบนโทไนท์ผสมดินลูกรัง

เบนโทไนท์ ราคากิโลกรัมละ 6.50 บาท

ดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความหนาแน่นแห้ง = 1960 kg/m^3

∴ ปริมาณเบนโทไนท์ที่ใช้ต่อดินลูกรัง 1 m^3 = % เบนโทไนท์ x OMC x นน.ดินลูกรัง

ปริมาณเบนโทไนท์ที่ใช้ต่อดินลูกรัง 1 m^3

สารละลายเบนโทไนท์ 1 % โดยน้ำหนัก	=	0.01 x 0.108 x 1960	=	2.12 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 2 % โดยน้ำหนัก	=	0.02 x 0.107 x 1960	=	4.19 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 3 % โดยน้ำหนัก	=	0.03 x 0.121 x 1960	=	7.12 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 4 % โดยน้ำหนัก	=	0.04 x 0.119 x 1960	=	9.33 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 5 % โดยน้ำหนัก	=	0.05 x 0.108 x 1960	=	10.58 kg
สารละลายเบนโทไนท์ 6 % โดยน้ำหนัก	=	0.06 x 0.107 x 1960	=	12.58 kg

ราคาค่าเบนโทไนท์ต่อดินลูกรัง 1 m^3

สารละลายเบนโทไนท์ 1 % โดยน้ำหนัก	=	2.12 x 6.50	=	13.78 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 2 % โดยน้ำหนัก	=	4.19 x 6.50	=	27.24 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 3 % โดยน้ำหนัก	=	7.12 x 6.50	=	46.28 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 4 % โดยน้ำหนัก	=	9.33 x 6.50	=	60.65 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 5 % โดยน้ำหนัก	=	10.58 x 6.50	=	68.77 บาท
สารละลายเบนโทไนท์ 6 % โดยน้ำหนัก	=	12.58 x 6.50	=	81.77 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซนต์ของสารละลายเบนโทไนท์	% CBR	ปริมาณของเบนโทไนท์/ ดิน 1 ม^3	ราคาของเบนโทไนท์
0	35.89	0	0
1	48.31	2.12	13.78
2	71.59	4.19	27.24
3	71.54	7.12	46.28
4	80.44	9.33	60.65
5	85.76	10.58	68.77
6	78.12	12.58	81.77

ตารางแสดงค่า CBR , ปริมาณเบนโทไนท์และราคาเบนโทไนท์ต่อดินถูกรัง 1 ลบ.ม.

ตัวอย่างการวิเคราะห์การใช้ดินลูกรังผสมเบนโทไนท์แทนหินคลุก

หินคลุกในงานถนนที่จะใช้ทำวัสดุชั้นพื้นทางจะต้องมีค่า CBR > 80 % ซึ่งถ้าเราจะนำดินลูกรังมาปรับปรุงคุณภาพให้ใช้แทนหินคลุกจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังให้มีค่า CBR > 80 % ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.6 แล้วจะเห็นว่าดินลูกรังที่ผสมสารละลายเบนโทไนท์ 5 % จะให้ค่า CBR = 85.76 %

ถ้าต้องการจะปรับปรุงดินลูกรังโดยผสมสารละลายเบนโทไนท์ 5 % เพื่อใช้แทนหินคลุกจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของเบนโทไนท์เพิ่มขึ้นอีก 68.77 บาท/ ดินลูกรัง 1 $ม^3$

จากราคาดินลูกรังและหินคลุกตามท้องตลาดในปัจจุบัน มีราคาดังต่อไปนี้

หินคลุก	1 $ม^3$	ราคา	250	บาท
ดินลูกรัง	1 $ม^3$	ราคา	140	บาท
ค่าเบนโทไนท์			68.77	บาท
∴ รวมราคาดินลูกรัง + เบนโทไนท์			**208.77**	บาท

เมื่อเปรียบเทียบราคาดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 5 % กับหินคลุกแล้วพบว่าราคาของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 5 % มีราคาถูกกว่าหินคลุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แสดงข้อมูลการทดสอบ ATTERBERG 'S LIMITS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

Project	Soil Compaction	Boring No.	
Location		Sample No.	
Soil Description	ดินเหนียว	Depth	
Tested by		Date	11 ธ.ค. 38
Checked by		Date	12 ธ.ค. 38

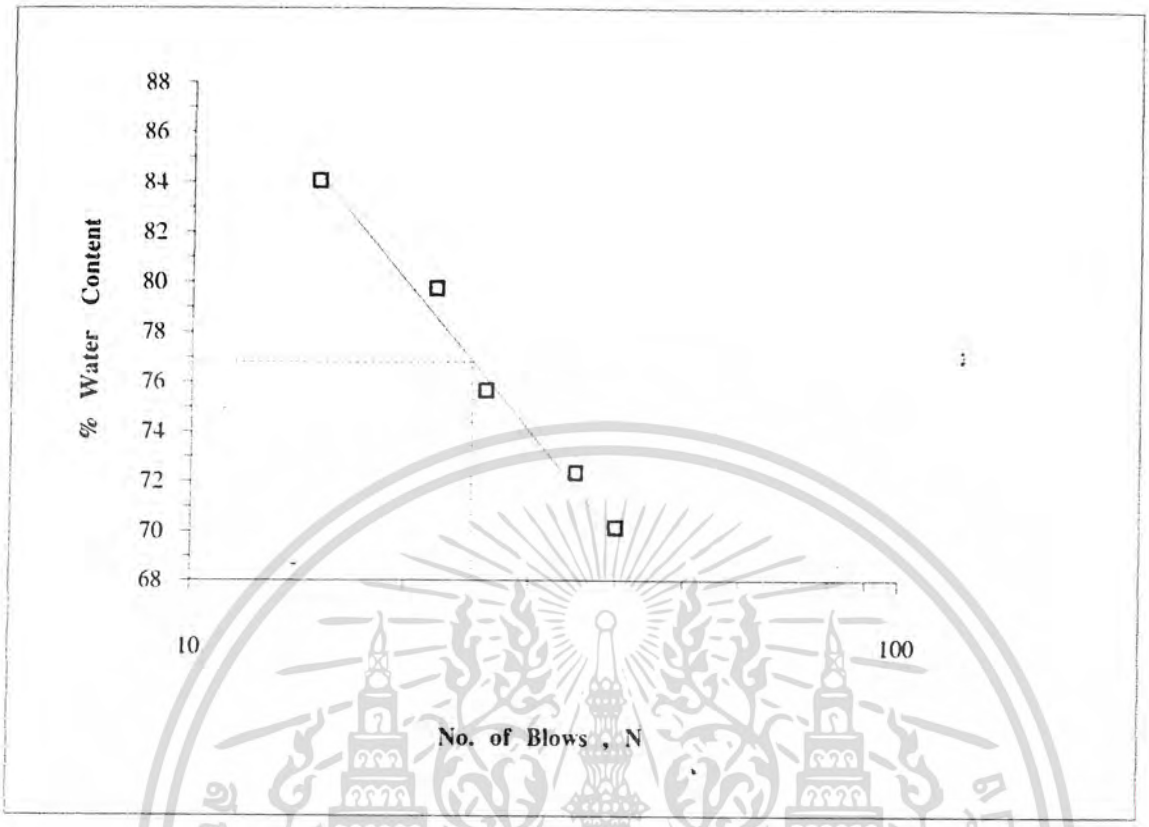
LIQUID LIMIT TEST

No. of Blows , N	40	35	26	22	15
Can No.	11	17	25	20	3
Wet Soil + Can , gm.	39.2	40.5	37.9	39.5	37.0
Dry Soil + Can , gm.	33.1	33.7	32.0	32.8	31.2
Wt . of Can , gm.	24.4	24.3	24.2	24.4	24.3
Wt . of Water , gm.	6.1	6.8	5.9	6.7	5.8
Wt . of Dry Soil , gm.	8.7	9.4	7.8	8.4	6.9
% Water Content	70.11	72.34	75.64	79.76	84.06

PLASTIC LIMIT TEST

Can No.	5	15			
Wet Soil + Can , gm.	29.7	30.6			
Dry Soil + Can , gm.	28.4	29.1			
Wt . of Can , gm.	24.3	24.4			
Wt . of Water , gm.	1.3	1.5			
Wt . of Dry Soil , gm.	4.1	4.7			
% Water Content	31.71	31.91			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LIQUID LIMIT = 77

PLASTIC LIMIT = 31.81

P.I. = 45.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงข้อมูลการทดสอบ SIEVE ANALYSIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE ANALYSIS

Project	Soil Compaction	Soil Sample	ดินลูกรัง
Location		Test No.	
Boring No.		Depth	
Tested by		Date	29/3/39
Checked by		Date	29/3/39

Container No.		-
Weight of Container + Dry Soil	gm.	-
Weight of Container	gm.	-
Weight of Dry Soil	gm.	1500

Sieve No.	Sieve Opening mm.	Weight Sieve gm.	Weight Sieve + Soil gm.	Weight Soil Retained gm.	Cumulative Retained gm.	Cumulative Retained %	Percent Finer %
2"	50	718	718	0	0	0	100
1"	25	725	725	0	0	0	100
3/8"	9.375	501	566	65	65	4.34	95.66
No. 10	2.00	436	827	391	456	30.46	69.54
No. 40	0.425	355	1016	661	1117	74.62	25.38
No. 200	0.075	340	643	303	1420	94.86	5.14
Pan	-	383	460	77	1497	100	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แสดงข้อมูลการทดสอบการบดอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	11 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

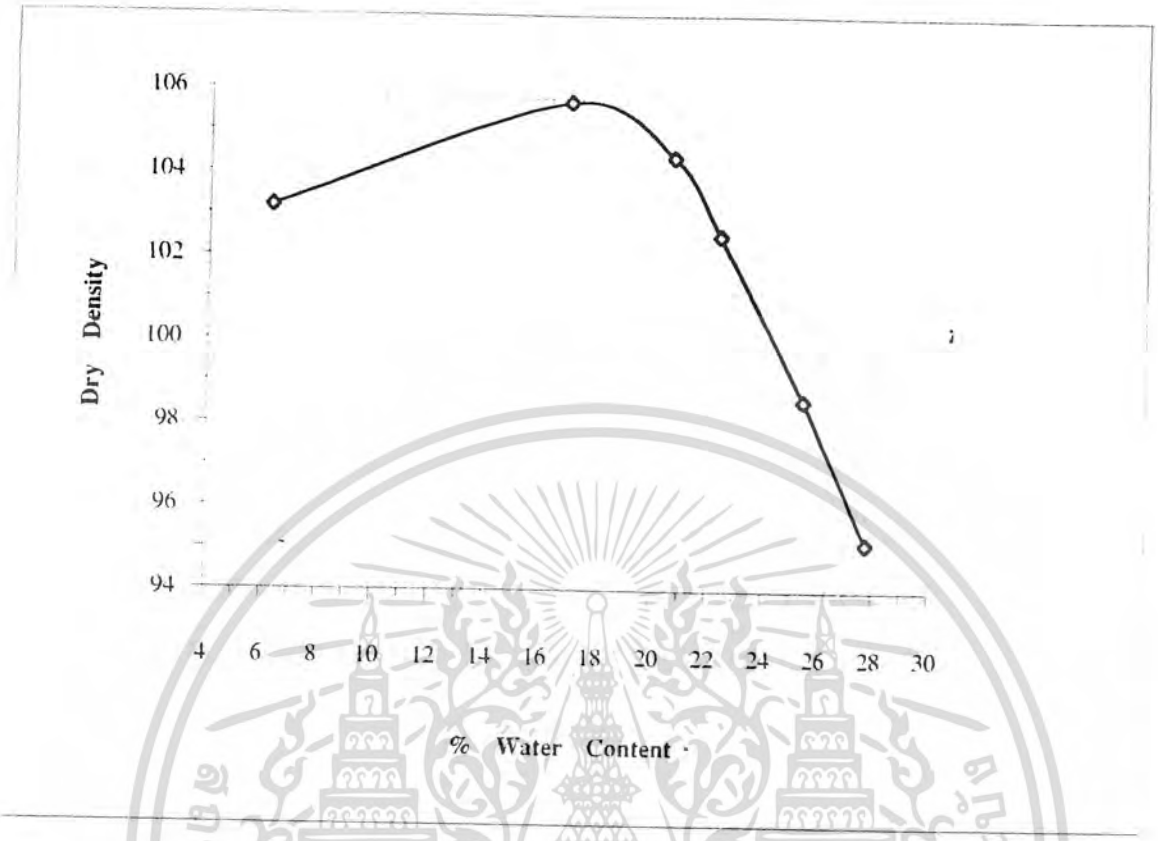
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3706	3917	3953	3945	3918	3887
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1664	1875	1911	1903	1876	1845
Wet density	pcf.	109.66	123.57	125.94	125.41	123.63	121.59
Dry density	pcf.	103.19	105.68	104.38	102.50	98.57	95.14

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	92.0	91.3	86.7	94.9	89.8	95.0
Weight can + dry soil	g.	88.0	81.6	76.0	82.0	76.5	79.6
Weight water , Ww	g.	4.0	9.7	10.7	12.9	13.3	15.4
Weight can	g.	24.2	24.3	24.2	24.3	24.2	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	63.8	57.3	51.8	57.7	52.3	55.4
Water content , w	%	6.27	16.93	20.66	22.36	25.43	27.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว

Maximum Dry Density	=	105.8	pcf
Optimum Moisture Content	=	17.7	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 1%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

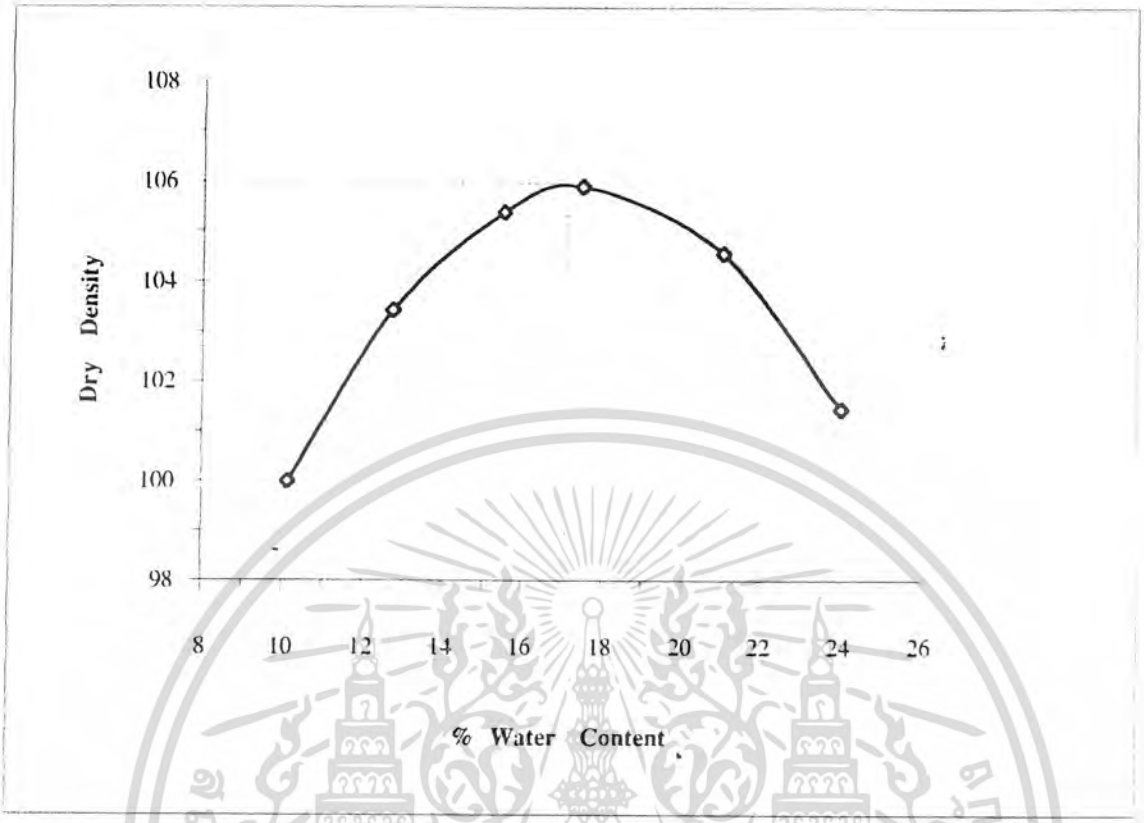
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3713	3811	3889	3930	3962	3951
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1671	1769	1847	1888	1920	1909
Wet density	pcf.	110.12	116.58	121.72	124.42	126.53	125.81
Dry density	pcf.	99.99	103.42	105.39	105.91	104.57	101.44

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	89.4	93.4	95.0	82.1	84.8	71.7
Weight can + dry soil	g.	83.4	85.6	85.5	73.5	74.3	62.5
Weight water , Ww	g.	6.0	7.8	9.5	8.6	10.5	9.2
Weight can	g.	24.2	24.3	24.2	24.3	24.3	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	59.2	61.3	61.3	49.2	50.0	38.3
Water content , w	%	10.14	12.72	15.50	17.48	21.00	24.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว + เบนโทไนท์ 1%

Maximum Dry Density	=	106	pcf
Optimum Moisture Content	=	17.1	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 2%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

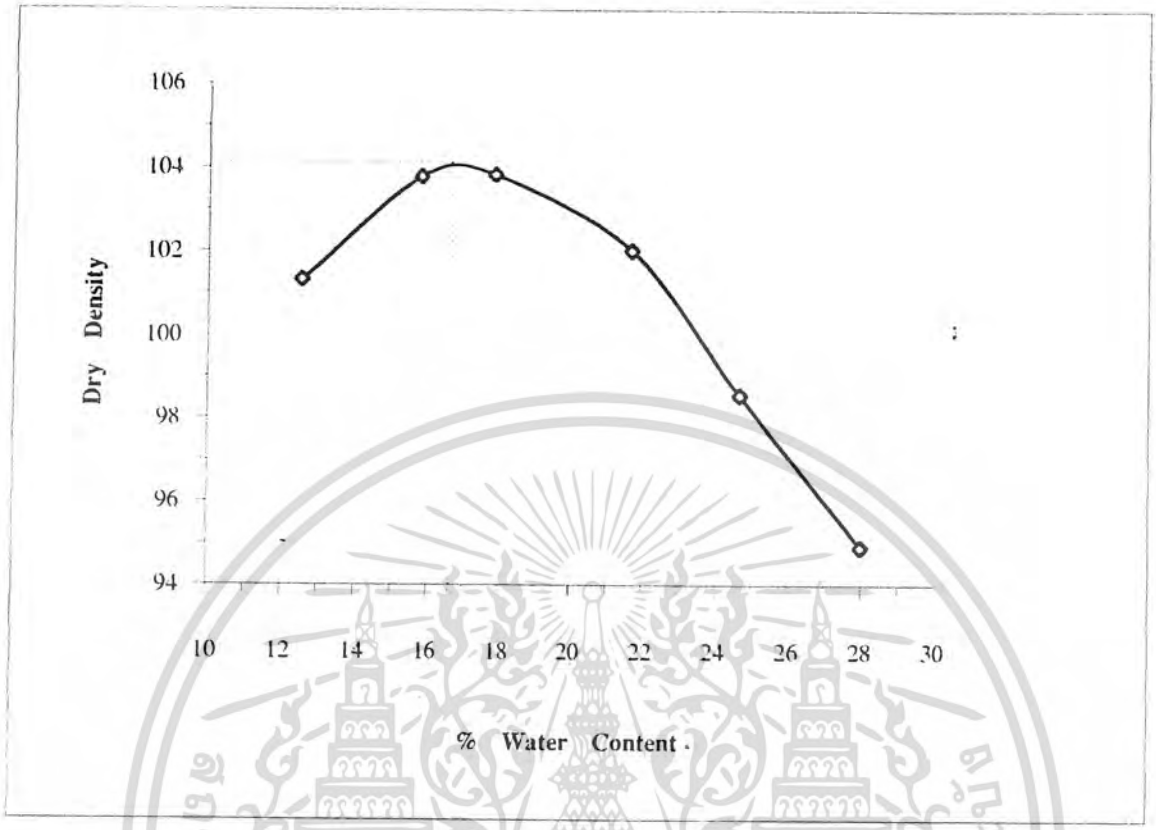
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3772	3865	3898	3925	3906	3885
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1730	1823	1856	1883	1864	1843
Wet density	pcf.	114.01	120.14	122.32	124.10	122.84	121.46
Dry density	pcf.	101.31	103.78	103.83	102.00	98.55	94.90

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	279.8	272.2	284.3	254.4	272.5	292.7
Weight can + dry soil	g.	271.1	262.6	271.8	245.0	258.5	272.8
Weight water , Ww	g.	8.7	9.6	12.5	9.4	14.0	19.9
Weight can	g.	201.7	201.7	201.6	201.6	201.7	201.7
Weight dry soil , Ws	g.	69.4	60.9	70.2	43.4	56.8	71.1
Water content , w	%	12.54	15.76	17.81	21.66	24.65	27.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว + เบนโทไนท์ 2%

Maximum Dry Density	=	104.1	pcf
Optimum Moisture Content	=	16.7	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 3%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	13 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

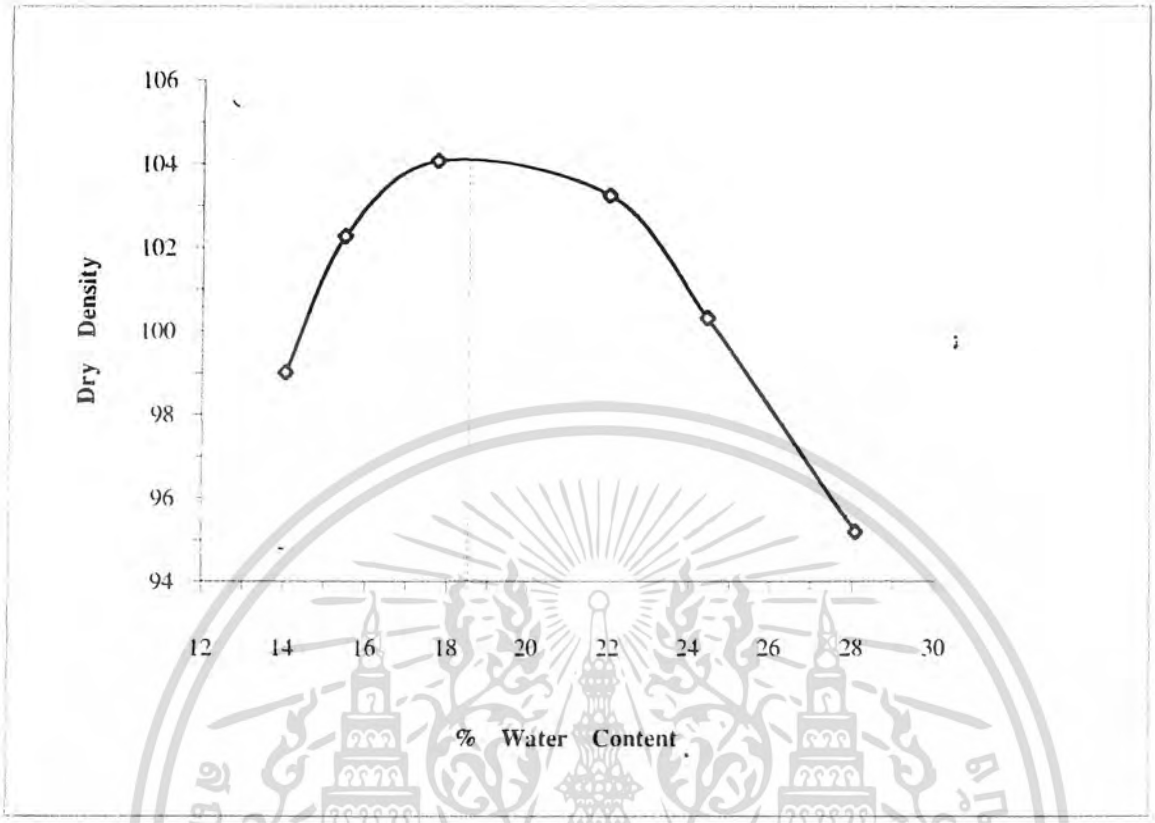
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3755	3834	3901	3953	3936	3892
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1713	1792	1859	1911	1894	1850
Wet density	pcf.	112.89	118.10	122.51	125.94	124.82	121.92
Dry density	pcf.	99.00	102.28	104.06	103.23	100.31	95.19

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	258.4	253.2	258.7	249.3	245.3	242.5
Weight can + dry soil	g.	251.3	246.3	250.1	240.7	236.6	233.4
Weight water , Ww	g.	7.1	6.9	8.6	8.6	8.7	9.1
Weight can	g.	200.7	201.7	201.6	201.6	201.0	201.0
Weight dry soil , Ws	g.	50.6	44.6	48.5	39.1	35.6	32.4
Water content , w	%	14.03	15.47	17.73	21.99	24.44	28.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว + เบนโทไนท์ 3%

Maximum Dry Density	=	104.1	pcf
Optimum Moisture Content	=	18.5	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 4%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	9 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

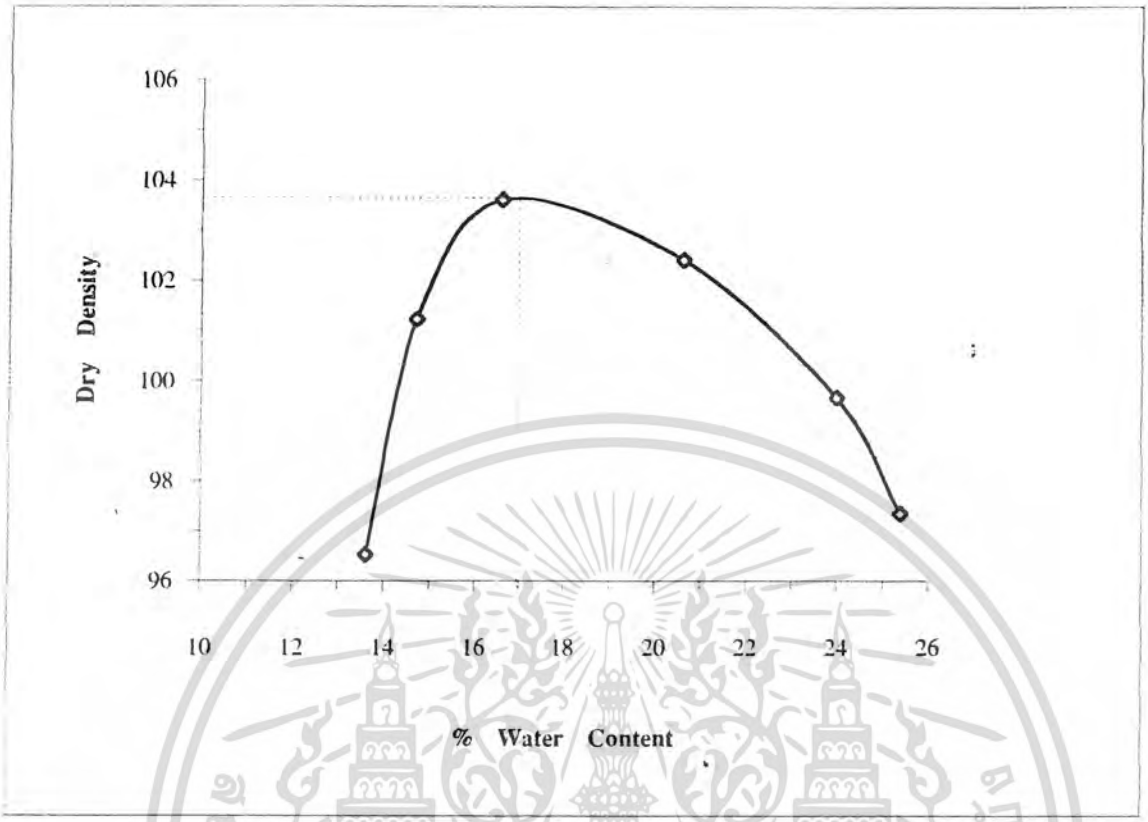
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3706	3804	3875	3916	3917	3894
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1664	1762	1833	1874	1875	1852
Wet density	pcf.	109.66	116.12	120.80	123.50	123.57	122.05
Dry density	pcf.	96.53	101.24	103.62	102.41	99.67	97.35

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	55.1	68.0	69.2	64.7	63.6	66.2
Weight can + dry soil	g.	51.4	62.4	62.8	57.8	56.0	57.7
Weight water , Ww	g.	3.7	5.6	6.4	6.9	7.6	8.5
Weight can	g.	24.2	24.3	24.2	24.3	24.3	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	27.2	38.1	38.6	33.5	31.7	33.5
Water content , w	%	13.60	14.70	16.58	20.60	23.97	25.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว + เบนโทไนท์ 4%

Maximum Dry Density	=	103.7	pcf
Optimum Moisture Content	=	16.9	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 5%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	10 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

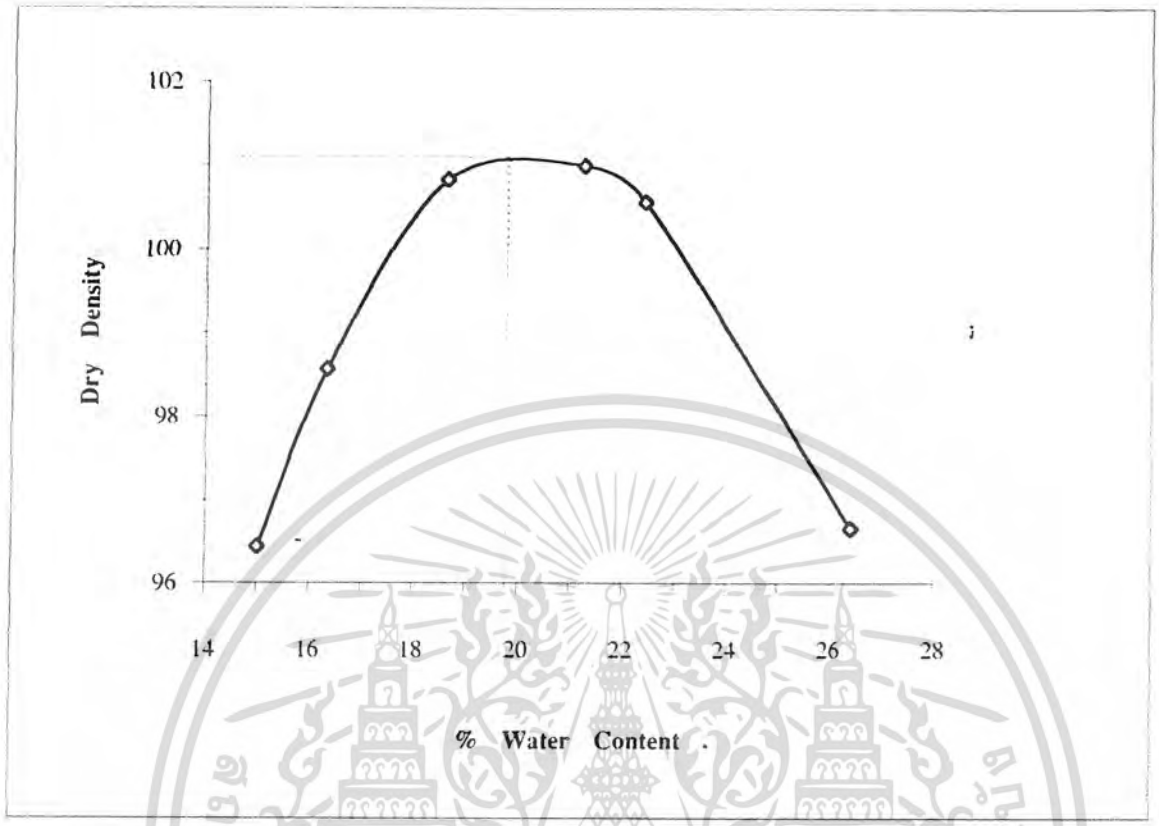
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3725	3782	3857	3900	3910	3896
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1683	1740	1815	1858	1868	1854
Wet density	pcf.	110.91	114.67	119.61	122.45	123.11	122.18
Dry density	pcf.	96.44	98.57	100.83	101.00	100.56	96.66

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	263.1	265.8	257.1	266.1	271.6	273.4
Weight can + dry soil	g.	255.1	256.8	248.4	254.8	258.8	258.4
Weight water , Ww	g.	8.0	9.0	8.7	11.3	12.8	15.0
Weight can	g.	201.8	201.7	201.7	201.6	201.7	201.6
Weight dry soil , Ws	g.	53.3	55.1	46.7	53.2	57.1	56.8
Water content , w	%	15.01	16.33	18.63	21.24	22.42	26.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินเหนียว + เบนโทไนท์ 5%

Maximum Dry Density	=	101.2	pcf
Optimum Moisture Content	=	19.8	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 6%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

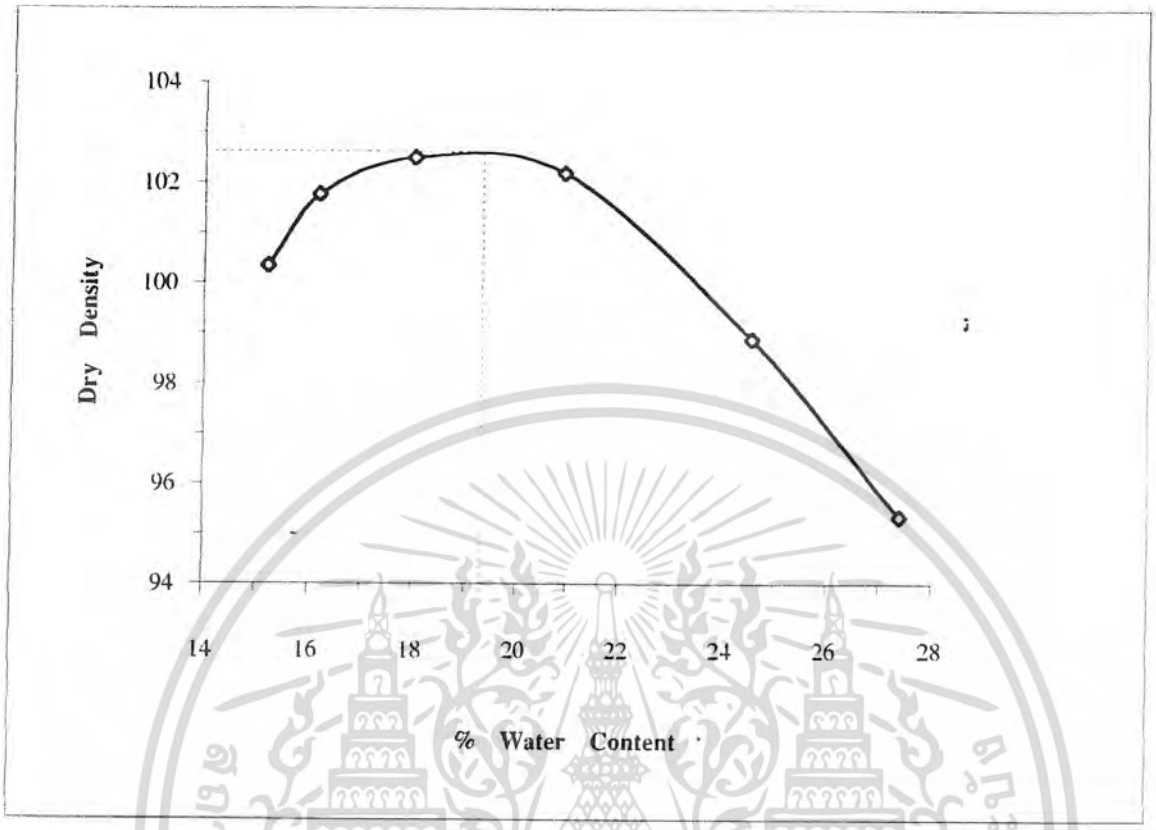
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3796	3836	3877	3917	3911	3885
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1754	1794	1835	1875	1869	1843
Wet density	pcf.	115.59	118.23	120.93	123.57	123.17	121.46
Dry density	pcf.	100.34	101.77	102.50	102.19	98.89	95.34

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	53.1	63.8	51.1	53.1	59.2	52.3
Weight can + dry soil	g.	49.3	58.3	47.0	48.1	52.3	46.3
Weight water , Ww	g.	3.8	5.5	4.1	5	6.9	6.0
Weight can	g.	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2	24.4
Weight dry soil , Ws	g.	25.0	34.0	22.8	23.9	28.1	21.9
Water content , w	%	15.20	16.18	17.98	20.92	24.56	27.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของลินเหนียว + เบนโทไนท์ 6%

Maximum Dry Density	=	102.7	pcf
Optimum Moisture Content	=	19.2	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ลูกรัง	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	11 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

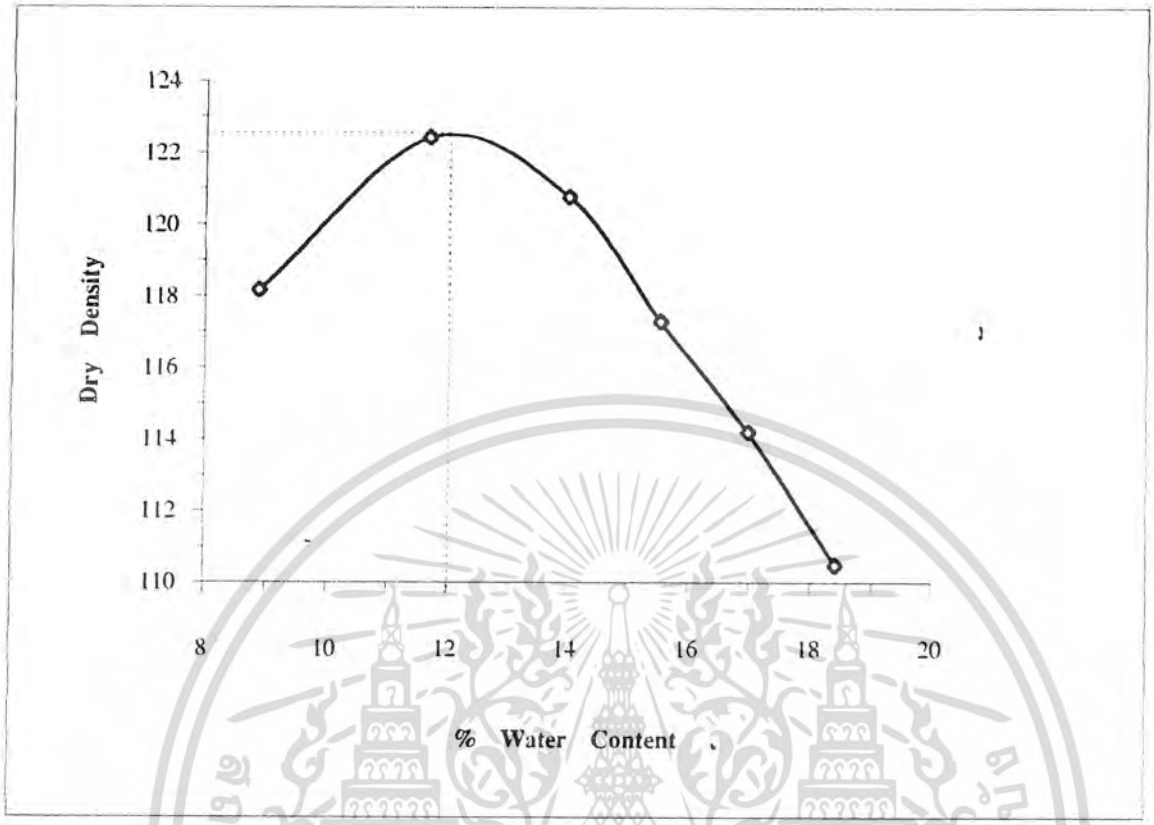
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3994	4116	4131	4098	4069	4027
Weight *mold*	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1952	2074	2089	2056	2027	1985
Wet density	pcf.	128.64	136.68	137.67	135.50	133.59	130.82
Dry density	pcf.	118.16	122.41	120.76	117.29	114.20	110.49

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	242.2	244.8	252.3	239.3	246.3	264.7
Weight can + dry soil	g.	238.9	240.3	246.0	234.1	239.8	254.8
Weight water , Ww	g.	3.3	4.5	6.3	5.2	6.5	9.9
Weight can	g.	201.7	201.7	201.0	200.6	201.5	201.0
Weight dry soil , Ws	g.	37.2	38.6	45.0	33.5	38.3	53.8
Water content , w	%	8.87	11.66	14.00	15.52	16.97	18.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง

Maximum Dry Density	=	122.5	pcf
Optimum Moisture Content	=	12	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 1%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

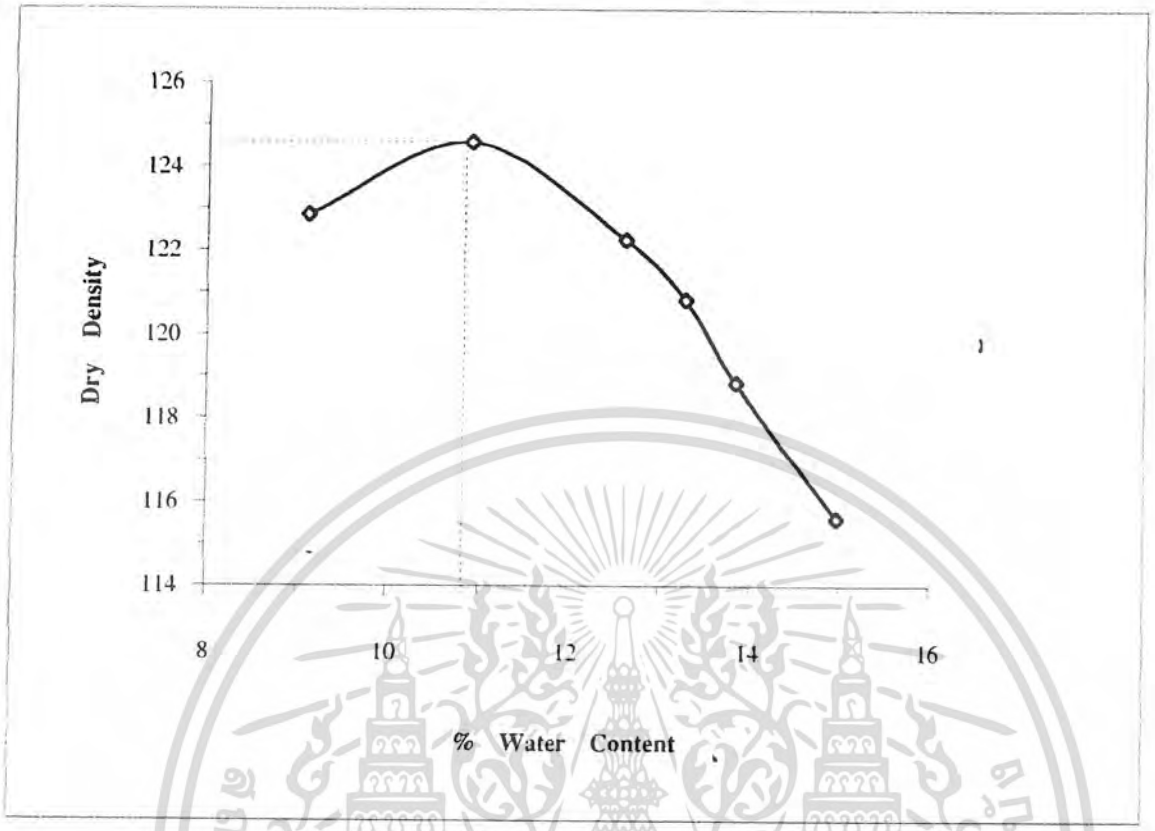
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	4076	4138	4131	4119	4095	4059
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	2034	2096	2089	2077	2053	2017
Wet density	pcf.	134.05	138.13	137.67	136.88	135.30	132.93
Dry density	pcf.	122.85	124.57	122.26	120.83	118.85	115.61

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	71.1	46.7	62.6	66.0	67.9	69.6
Weight can + dry soil	g.	67.2	44.5	58.3	61.1	62.6	63.7
Weight water , Ww	g.	3.9	2.2	4.3	4.9	5.3	5.9
Weight can	g.	24.4	24.3	24.2	24.2	24.3	24.3
Weight dry soil , Ws	g.	42.8	20.2	34.1	36.9	38.3	39.4
Water content , w	%	9.11	10.89	12.61	13.28	13.84	14.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 1%

Maximum Dry Density	=	124.6	pcf
Optimum Moisture Content	=	10.8	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 2%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

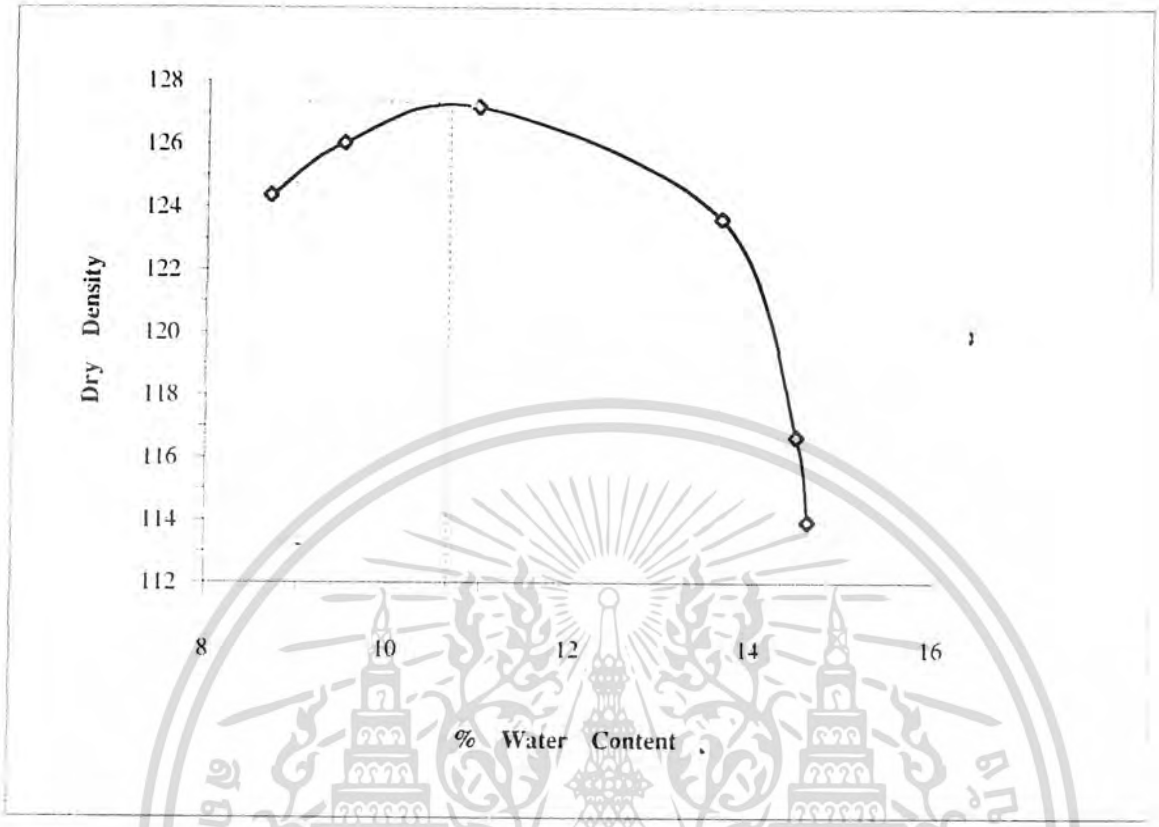
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	4093	4136	4183	4174	4069	4024
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	2051	2094	2141	2132	2027	1982
Wet density	pcf.	135.17	138.00	141.10	140.51	133.59	130.62
Dry density	pcf.	124.37	126.05	127.18	123.62	116.66	113.94

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	243.1	267.5	224.0	248.2	260.1	258.1
Weight can + dry soil	g.	239.8	261.8	221.8	242.6	252.7	250.9
Weight water , Ww	g.	3.3	5.7	2.2	5.6	7.4	7.2
Weight can	g.	201.8	201.7	201.7	201.6	201.7	201.7
Weight dry soil , Ws	g.	38.0	60.1	20.1	41.0	51.0	49.2
Water content , w	%	8.68	9.48	10.95	13.66	14.51	14.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 2%

Maximum Dry Density	=	127.3	pcf
Optimum Moisture Content	=	10.7	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 3%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	13 ธ.ค. 38
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

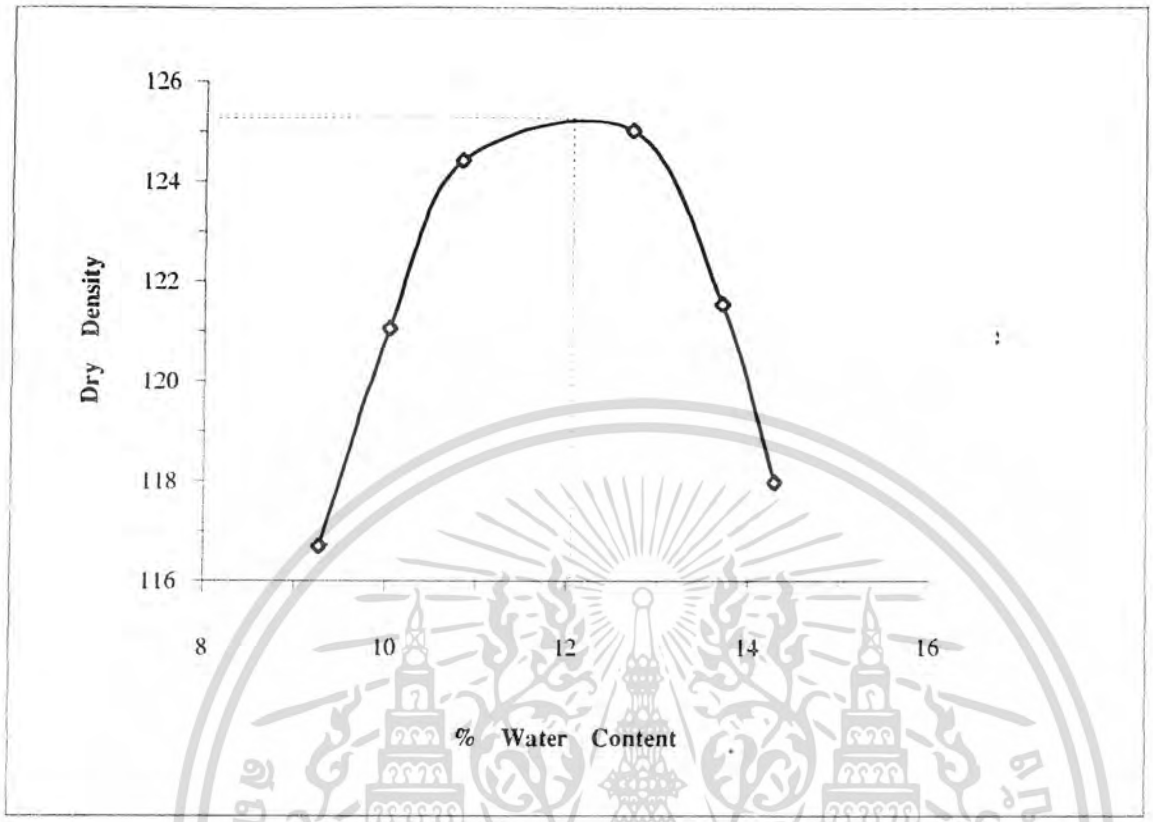
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3977	4063	4134	4180	4139	4088
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1935	2021	2092	2138	2097	2046
Wet density	pcf.	127.52	133.19	137.87	140.90	138.20	134.84
Dry density	pcf.	116.70	121.05	124.41	125.02	121.55	117.98

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	57.3	63.8	49.8	58.8	57.4	65.8
Weight can + dry soil	g.	54.5	60.2	47.3	54.9	53.4	60.6
Weight water , Ww	g.	2.8	3.6	2.5	3.9	4.0	5.2
Weight can	g.	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	30.2	35.9	23.1	30.7	29.2	36.4
Water content , w	%	9.27	10.03	10.82	12.70	13.70	14.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 3%

Maximum Dry Density	125.3	pcf
Optimum Moisture Content	12.1	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 4%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	9 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

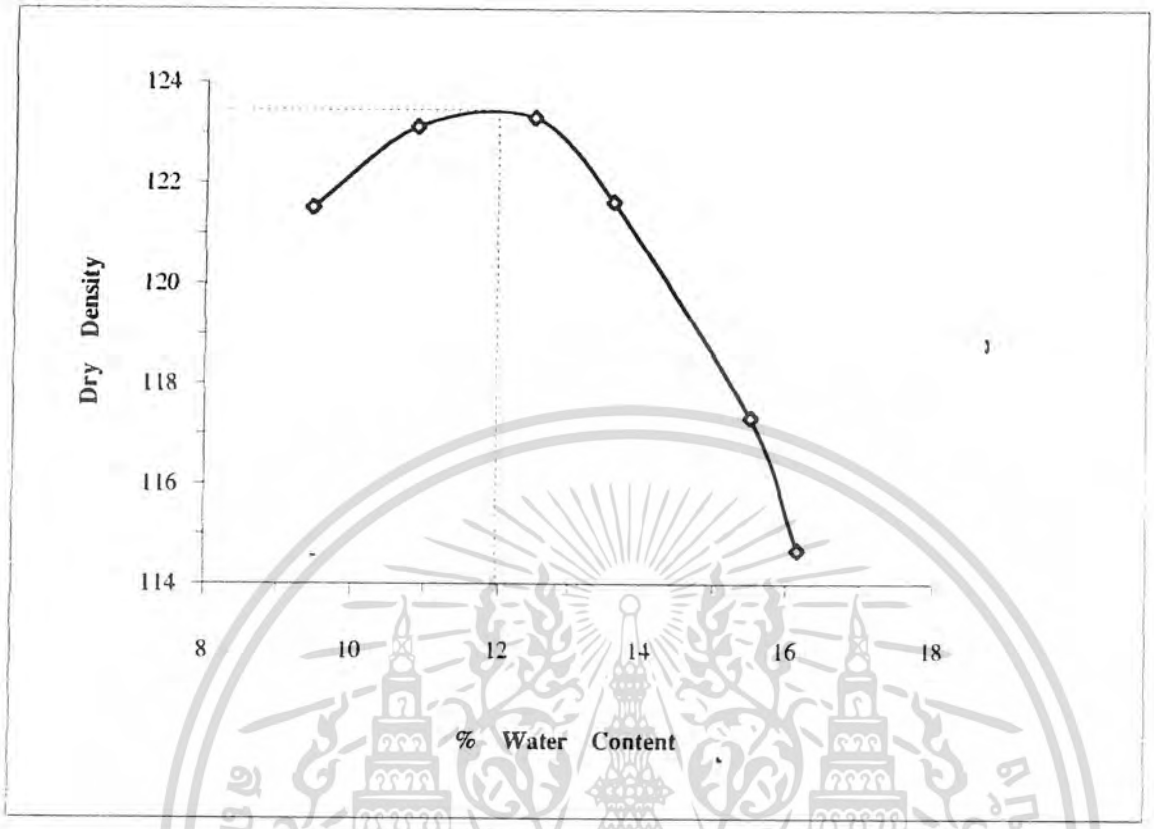
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	4060	4113	4146	4138	4098	4063
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	2018	2071	2104	2096	2056	2021
Wet density	pcf.	132.99	136.49	138.66	138.13	135.50	133.19
Dry density	pcf.	121.51	123.12	123.30	121.61	117.32	114.67

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	58.0	48.8	55.8	63.5	74.9	65.2
Weight can + dry soil	g.	55.1	46.4	52.3	58.8	68.1	59.5
Weight water , Ww	g.	2.9	2.4	3.5	4.7	6.8	5.7
Weight can	g.	24.4	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	30.7	22.1	28.1	34.6	43.9	35.3
Water content , w	%	9.45	10.86	12.46	13.58	15.49	16.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 4%

Maximum Dry Density	=	123.5	pcf
Optimum Moisture Content	=	11.9	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 5%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	10 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

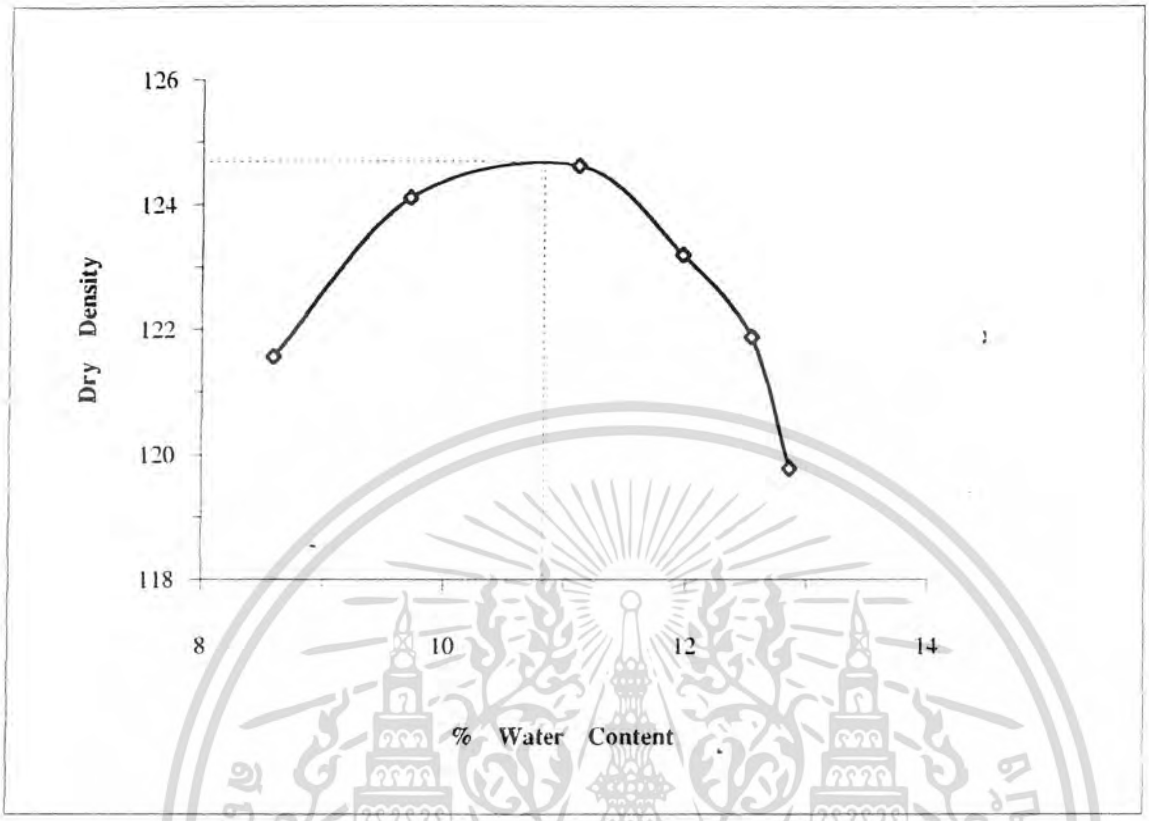
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	4045	4108	4143	4135	4123	4093
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	2003	2066	2101	2093	2081	2051
Wet density	pcf.	132.00	136.16	138.46	137.93	137.14	135.17
Dry density	pcf.	121.56	124.10	124.62	123.19	121.87	119.77

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	63.5	70.6	68.2	85.0	63.7	71.6
Weight can + dry soil	g.	60.4	66.5	63.8	78.5	59.3	66.2
Weight water , Ww	g.	3.1	4.1	4.4	6.5	4.4	5.4
Weight can	g.	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	36.1	42.2	39.6	54.3	35.1	42.0
Water content , w	%	8.59	9.72	11.11	11.97	12.54	12.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 5%

Maximum Dry Density	=	124.8	pcf
Optimum Moisture Content	=	10.8	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPACTION TEST

Soil Sample	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 6%	Test No.	
Project	Soil Compaction	Date	12 ม.ค. 39
Sample From		Tested by	
Location		Type Test	Modified Proctor
Sample No.		Mold Volume	0.033452 CU.FT.

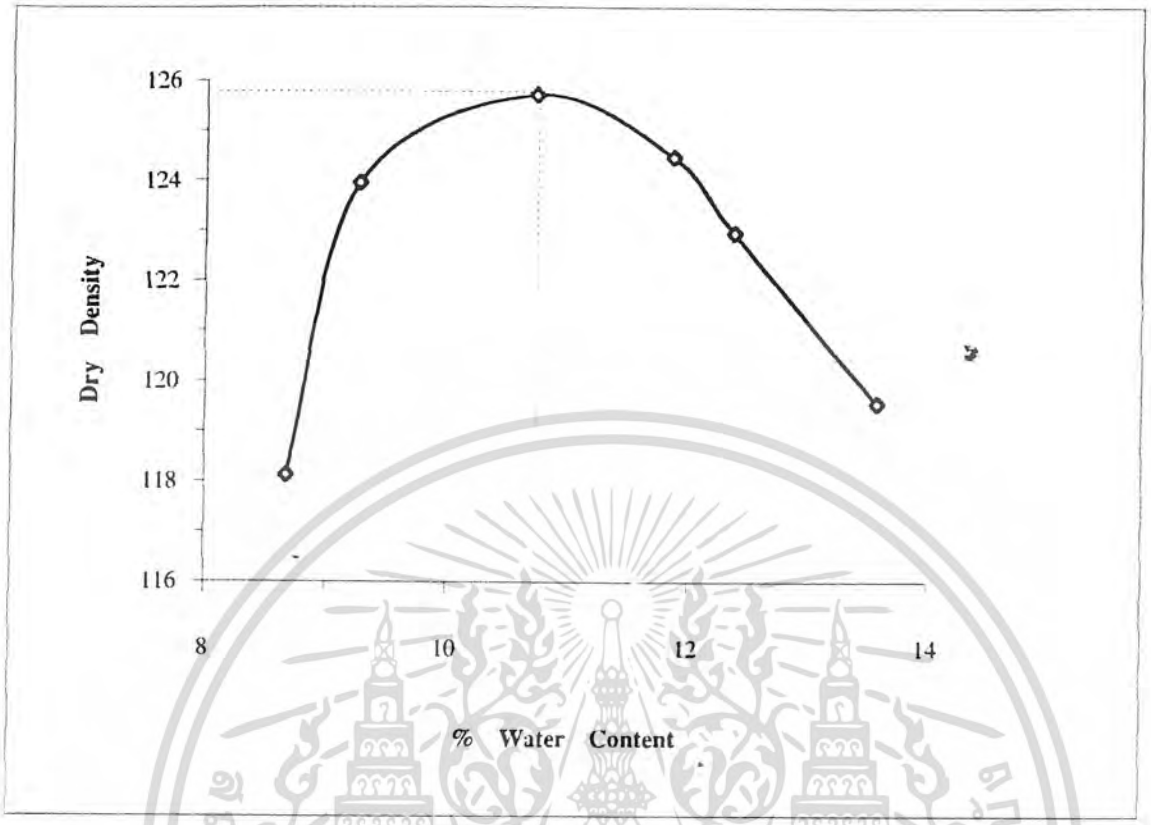
DENSITY

Trial No.		1	2	3	4	5	6
Weight mold + compacted soil	g.	3990	4097	4154	4155	4139	4103
Weight mold	g.	2042	2042	2042	2042	2042	2042
Weight compacted soil	g.	1948	2055	2112	2113	2097	2061
Wet density	pcf.	128.38	135.43	139.19	139.25	138.20	135.83
Dry density	pcf.	118.13	123.95	125.71	124.48	122.97	119.58

WATER CONTENT

Weight can + wet soil	g.	50.7	52.6	68.7	63.8	71.4	63.5
Weight can + dry soil	g.	48.6	50.2	64.4	59.6	66.2	58.8
Weight water , Ww	g.	2.1	2.4	4.3	4.2	5.2	4.7
Weight can	g.	24.4	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2
Weight dry soil , Ws	g.	24.2	25.9	40.1	35.4	42.0	34.6
Water content , w	%	8.68	9.27	10.72	11.86	12.38	13.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 6%

Maximum Dry Density	=	125.8	pcf
Optimum Moisture Content	=	10.7	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

แสดงข้อมูลการทดสอบค่า CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินเหนียว	
Location		Volume Mold	0.08181	cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108	g
Type of Compaction	Modified	Date	19/12/38	

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8683	8713	8758	8739
Weight of container + wet soil	g	351.3	349.9	367.4	375.1
Weight of container + dry soil	g	329.6	328.3	342.7	349.5
Weight of container	g	200.7	201.0	201.7	201.6
% Water Content		16.83	16.97	17.52	17.31
Wet Density	pcf	233.99	234.79	236.01	235.50
Dry Density	pcf	200.27	200.73	200.83	200.75
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9058	_	9034
Weight of container + wet soil	g	_	353.8	_	365.8
Weight of container + dry soil	g	_	325.3	_	334.0
Weight of container	g	_	201.7	_	200.7
% Water Content		_	23.06	_	23.86
% Absorption		_	96.19	_	96.73

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
20/12/38	16:20			74	0.074			68	0.068
21/12/38	16:20			117	0.117			109	0.109
22/12/38	16:20			155	0.155			142	0.142
23/12/38	16:20			187.5	0.1875			178	0.178

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	109.82	36.61	79.53	26.51	128.76	42.92	90.89	30.30
0.05	257.52	85.84	113.61	37.87	242.37	80.79	124.97	41.66
0.075	492.31	164.10	136.33	45.44	530.18	176.73	143.91	47.97
0.100	681.66	227.22	151.48	50.49	742.25	247.42	177.99	59.33
0.150	946.75	315.58	159.05	53.02	1018.70	339.57	204.50	68.17
0.200	1211.84	403.95	177.99	59.33	1386.04	462.01	231.01	77.00
0.250	1590.54	530.18	196.92	65.64	1745.81	581.94	257.52	85.84
0.300	2007.11	669.04	212.07	70.69	2113.15	704.38	284.03	94.68
0.400	2385.81	795.27	246.16	82.05	2480.49	826.83	306.75	102.25
0.500	2575.16	858.39	284.03	94.68	2734.21	911.40	321.90	107.30
0.600	2802.38	934.13	318.11	106.04	2923.56	974.52	340.83	113.61
% C . B . R .	26.93		5.05		30.80		5.93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 1%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	8/1/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8639	8684	8701	8746
Weight of container + wet soil	g	369.6	335.7	355.7	369.3
Weight of container + dry soil	g	343.2	315.2	332.6	345.1
Weight of container	g	201.0	200.7	200.6	201.6
% Water Content		18.57	17.90	17.50	16.86
Wet Density	pcf	232.80	234.01	234.47	235.68
Dry Density	pcf	196.35	198.48	199.55	201.67
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	8986	_	9019
Weight of container + wet soil	g	_	347.4	_	379.4
Weight of container + dry soil	g	_	318.7	_	346.7
Weight of container	g	_	201.6	_	200.7
% Water Content		_	24.51	_	22.40
% Absorption		_	96.64	_	96.97

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
9/1/39	15:15			92	0.092			84	0.084
10/1/39	15:15			127	0.127			106	0.106
11/1/39	15:15			172	0.172			158	0.158
12/1/39	15:15			203	0.203			185	0.185

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	162.84	54.28	90.89	30.30	189.35	63.12	75.74	25.25
0.05	367.34	122.45	102.25	34.08	393.85	131.28	94.68	31.56
0.075	568.05	189.35	106.04	35.35	621.07	207.02	121.18	40.39
0.100	848.29	282.76	113.61	37.87	958.11	319.37	147.69	49.23
0.150	1120.95	373.65	136.33	45.44	1189.12	396.37	174.20	58.07
0.200	1461.78	487.26	155.27	51.76	1613.26	537.75	212.07	70.69
0.250	1590.54	530.18	174.20	58.07	1806.40	602.13	253.73	84.58
0.300	1787.46	595.82	196.92	65.64	2082.85	694.28	287.81	95.94
0.400	2135.87	711.96	219.65	73.22	2416.11	805.37	325.68	108.56
0.500	2400.96	800.32	238.58	79.53	2791.02	930.34	374.91	124.97
0.600	2613.03	871.01	253.73	84.58	3150.78	1050.26	397.64	132.55
% C . B . R .	32.48		3.79		35.85		4.92	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินหน้าง - ถนนไทโนที่ 2ข
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	19/1/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8582	8589	8535	8560
Weight of container + wet soil	g	405.1	395.7	374.9	394.6
Weight of container + dry soil	g	375.5	368.2	348.6	366.2
Weight of container	g	200.6	201.0	200.6	201.6
% Water Content		16.92	16.45	17.77	17.25
Wet Density	pcf	231.26	231.45	230.00	230.67
Dry Density	pcf	197.79	198.76	195.29	196.73
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	8946	_	8989
Weight of container + wet soil	g	_	336.8	_	345.6
Weight of container + dry soil	g	_	308.6	_	314.1
Weight of container	g	_	201.0	_	200.7
% Water Content		_	26.21	_	27.78
% Absorption		_	96.01	_	95.23

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
20/1/39	14:50			108	0.108			120.5	0.121
21/1/39	14:50			137.5	0.138			152	0.152
22/1/39	14:50			167	0.167			189.5	0.190
23/1/39	14:50			197.5	0.198			215	0.215

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	280.24	93.41	60.59	20.20	215.86	71.95	41.66	13.89
0.05	522.61	174.20	71.95	23.98	431.72	143.91	49.23	16.41
0.075	734.68	244.89	79.53	26.51	640.00	213.33	60.59	20.20
0.100	1022.49	340.83	90.89	30.30	954.32	318.11	71.95	23.98
0.150	1287.58	429.19	106.04	35.35	1204.27	401.42	75.74	25.25
0.200	1787.46	595.82	121.18	40.39	1598.11	532.70	98.46	32.82
0.250	2128.29	709.43	132.55	44.18	2090.42	696.81	117.40	39.13
0.300	2484.27	828.09	143.91	47.97	2385.81	795.27	140.12	46.71
0.400	2764.51	921.50	166.63	55.54	2696.34	898.78	166.63	55.54
0.500	2900.84	966.95	193.14	64.38	2931.14	977.05	177.99	59.33
0.600	3044.75	1014.92	219.65	73.22	3234.10	1078.03	185.56	61.85
% C . B . R .	39.72		3.03		35.51		2.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินหน้าเขา + เถ้าโรงไฟฟ้า 3%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	30/1/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8613	8586	8719	8766
Weight of container + wet soil	g	385.2	377.3	392.3	385.5
Weight of container + dry soil	g	358.0	351.6	361.7	356.6
Weight of container	g	201.0	201.6	200.6	201.6
% Water Content		17.32	17.13	18.99	18.65
Wet Density	pcf	232.10	231.37	234.96	236.22
Dry Density	pcf	197.83	197.53	197.45	199.10
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	8831	_	9036
Weight of container + wet soil	g	_	407.9	_	387.7
Weight of container + dry soil	g	_	364.1	_	352.8
Weight of container	g	_	201.1	_	200.7
% Water Content		_	26.87	_	22.95
% Absorption		_	97.23	_	97.01

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
31/1/39	17:00			127.5	0.128			145	0.145
1/2/39	17:00			168.5	0.169			173	0.173
2/2/39	17:00			186	0.186			208	0.208
3/2/39	17:00			216	0.216			235	0.235

C . B . R . LOAD TEST DATA :								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	355.98	118.66	41.66	13.89	412.78	137.59	26.51	8.84
0.05	651.36	217.12	53.02	17.67	598.35	199.45	34.08	11.36
0.075	901.31	300.44	60.59	20.20	746.04	248.68	45.44	15.15
0.100	1181.54	393.85	68.17	22.72	1014.92	338.31	49.23	16.41
0.150	1613.26	537.75	79.53	26.51	1420.13	473.38	53.02	17.67
0.200	2037.41	679.14	90.89	30.30	1787.46	595.82	64.38	21.46
0.250	2287.35	762.45	102.25	34.08	2173.74	724.58	79.53	26.51
0.300	2654.69	884.90	113.61	37.87	2488.06	829.35	98.46	32.82
0.400	2976.58	992.19	136.33	45.44	2862.97	954.32	117.40	39.13
0.500	3241.67	1080.56	170.42	56.81	3082.62	1027.54	136.33	45.44
0.600	3340.13	1113.38	189.35	63.12	3476.47	1158.82	159.05	53.02
% C . B . R .	45.28		2.27		39.72		1.64	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินเหนียว + เบนโทไนท์ 4%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	9/2/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8426	8464	8483	8517
Weight of container + wet soil	g	441.9	425.7	396.2	412.5
Weight of container + dry soil	g	404.4	391.5	367.1	381.5
Weight of container	g	201.7	201.6	200.6	201.0
% Water Content		18.50	18.01	17.48	17.17
Wet Density	pcf	227.06	228.08	228.60	229.51
Dry Density	pcf	191.61	193.28	194.59	195.87
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	–	8781	–	8813
Weight of container + wet soil	g	–	451.5	–	425.6
Weight of container + dry soil	g	–	405.8	–	385.6
Weight of container	g	–	201.0	–	200.7
% Water Content		–	22.31	–	21.63
% Absorption		–	96.39	–	96.64

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
10/2/39	16:00			175	0.175			159.5	0.160
11/2/39	16:00			197	0.197			176	0.176
12/2/39	16:00			224	0.224			205	0.205
13/2/39	16:00			258	0.258			238.5	0.239

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	492.31	164.10	56.81	18.94	545.33	181.78	94.68	31.56
0.05	893.73	297.91	64.38	21.46	954.32	318.11	106.04	35.35
0.075	1295.15	431.72	75.74	25.25	1431.49	477.16	117.40	39.13
0.100	1620.84	540.28	87.10	29.03	1772.32	590.77	121.18	40.39
0.150	2120.72	706.91	98.46	32.82	2166.16	722.05	132.55	44.18
0.200	2529.72	843.24	124.97	41.66	2620.60	873.53	147.69	49.23
0.250	2840.25	946.75	140.12	46.71	2794.81	931.60	166.63	55.54
0.300	3105.34	1035.11	162.84	54.28	3264.39	1088.13	189.35	63.12
0.400	3529.48	1176.49	181.78	60.59	3476.47	1158.82	215.86	71.95
0.500	3893.04	1297.68	200.71	66.90	3768.07	1256.02	242.37	80.79
0.600	4173.27	1391.09	223.43	74.48	4044.52	1348.17	276.45	92.15
% C . B . R .	56.22		2.90		59.08		4.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินถมบ่อ + แกนไทในท์ 5%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	17/2/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8443	8496	8545	8594
Weight of container + wet soil	g	434.1	376.7	402.3	389.6
Weight of container + dry soil	g	396.6	348.3	368.2	358.3
Weight of container	g	201.0	201.7	200.6	201.6
% Water Content		19.17	19.37	20.35	19.97
Wet Density	pcf	227.52	228.95	230.27	231.59
Dry Density	pcf	190.92	191.79	191.34	193.03
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	8826	_	8909
Weight of container + wet soil	g	_	434.5	_	403.5
Weight of container + dry soil	g	_	391.3	_	368.8
Weight of container	g	_	201.8	_	200.7
% Water Content		_	22.80	_	20.64
% Absorption		_	96.26	_	96.46

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
18/2/39	16:20			205	0.205			186	0.186
19/2/39	16:20			257	0.257			249	0.249
20/2/39	16:20			285	0.285			267.5	0.268
21/2/39	16:20			330.5	0.331			312.5	0.313

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	355.98	118.66	34.08	11.36	405.21	135.07	26.51	8.84
0.05	681.66	227.22	45.44	15.15	742.25	247.42	41.66	13.89
0.075	954.32	318.11	56.81	18.94	1098.23	366.08	60.59	20.20
0.100	1196.69	398.90	64.38	21.46	1245.92	415.31	75.74	25.25
0.150	1605.69	535.23	83.31	27.77	1779.89	593.30	90.89	30.30
0.200	1901.07	633.69	94.68	31.56	2052.55	684.18	102.25	34.08
0.250	2113.15	704.38	106.04	35.35	2291.14	763.71	117.40	39.13
0.300	2279.77	759.92	113.61	37.87	2464.58	821.53	128.76	42.92
0.400	2506.99	835.66	132.55	44.18	2620.60	873.53	155.27	51.76
0.500	2506.99	835.66	159.05	53.02	2783.45	927.82	174.20	58.07
0.600	2506.99	835.66	181.78	60.59	2772.08	924.03	200.71	66.90
% C . B . R .		**42.25**		**2.15**		**45.61**		**2.52**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินถมบ่อ + ถนนโทโนก๋อง
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	12/3/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8497	8536	8439	8460
Weight of container + wet soil	g	385.6	423.6	390.1	395.3
Weight of container + dry soil	g	355.4	387.7	357.4	362.6
Weight of container	g	200.5	201.0	200.6	201.6
% Water Content		19.50	19.23	20.85	20.31
Wet Density	pcf	228.97	230.02	227.41	227.98
Dry Density	pcf	191.62	192.93	188.17	189.49
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	–	8832	–	8804
Weight of container + wet soil	g	–	389.6	–	423.6
Weight of container + dry soil	g	–	354.8	–	379.4
Weight of container	g	–	201.7	–	201.5
% Water Content		–	22.73	–	24.85
% Absorption		–	96.65	–	96.09

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
13/3/39	12:50			197	0.197			224	0.224
14/3/39	12:50			235	0.235			262	0.262
15/3/39	12:50			268.5	0.269			294	0.294
16/3/39	12:50			316	0.316			340	0.340

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	329.47	109.82	11.36	3.79	242.37	80.79	15.15	5.05
0.05	719.53	239.84	22.72	7.57	560.48	186.83	26.51	8.84
0.075	939.18	313.06	37.87	12.62	787.70	262.57	34.08	11.36
0.100	1272.43	424.14	45.44	15.15	1064.15	354.72	37.87	12.62
0.150	1594.33	531.44	60.59	20.20	1423.91	474.64	41.66	13.89
0.200	1954.09	651.36	64.38	21.46	1779.89	593.30	56.81	18.94
0.250	2329.01	776.34	71.95	23.98	2188.89	729.63	68.17	22.72
0.300	2590.31	863.44	75.74	25.25	2279.77	759.92	79.53	26.51
0.400	2635.75	878.58	83.31	27.77	2423.68	807.89	87.10	29.03
0.500	2688.77	896.26	94.68	31.56	2506.99	835.66	102.25	34.08
0.600	2722.85	907.62	98.46	32.82	2506.99	835.66	121.18	40.39
% C . B . R .	43.42		1.51		39.55		1.26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง	
Location		Volume Mold	0.08181	cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108	g
Type of Compaction	Modified	Date	25/12/38	

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9137	8978	9016	9156
Weight of container + wet soil	g	394.4	390.7	389.8	372.3
Weight of container + dry soil	g	373.2	369.4	370.5	354.2
Weight of container	g	201.1	201.7	200.6	201.6
% Water Content		12.32	12.70	11.36	11.86
Wet Density	pcf	246.22	241.94	242.96	246.73
Dry Density	pcf	219.22	214.67	218.18	220.57
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9342	_	9486
Weight of container + wet soil	g	_	378.6	_	385.1
Weight of container + dry soil	g	_	351.7	_	356.0
Weight of container	g	_	201.7	_	200.7
% Water Content		_	17.93	_	18.74
% Absorption		_	96.10	_	96.52

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
26/12/38	16:30			0.5	0.001			1	0.001
27/12/38	16:30			1.5	0.002			2.5	0.003
28/12/38	16:30			3	0.003			4.5	0.005
29/12/38	16:30			5	0.005			6.5	0.007

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	113.61	37.87	11.36	3.79	124.97	41.66	15.15	5.05
0.05	348.40	116.13	22.72	7.57	363.55	121.18	18.94	6.31
0.075	560.48	186.83	37.87	12.62	545.33	181.78	26.51	8.84
0.100	893.73	297.91	45.44	15.15	795.27	265.09	37.87	12.62
0.150	1333.02	444.34	60.59	20.20	1200.48	400.16	53.02	17.67
0.200	1704.15	568.05	64.38	21.46	1526.16	508.72	64.38	21.46
0.250	2007.11	669.04	71.95	23.98	1882.14	627.38	68.17	22.72
0.300	2226.76	742.25	75.74	25.25	2166.16	722.05	71.95	23.98
0.400	2635.75	878.58	83.31	27.77	2567.59	855.86	79.53	26.51
0.500	2931.14	977.05	94.68	31.56	2840.25	946.75	83.31	27.77
0.600	3211.38	1070.46	98.46	32.82	3052.32	1017.44	94.68	31.56
% C . B . R .	37.87		1.51		33.91		1.43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง + แกนโทไนท์ 1 %
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	15/1/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9051	9083	9008	9063
Weight of container + wet soil	g	410.3	387.0	393.6	376.5
Weight of container + dry soil	g	389.3	368.7	373.5	359.7
Weight of container	g	201.7	201.7	200.6	201.6
% Water Content		11.19	10.96	11.63	10.63
Wet Density	pcf	243.90	244.77	242.74	244.23
Dry Density	pcf	219.35	220.59	217.46	220.77
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9358	_	9402
Weight of container + wet soil	g	_	390.4	_	382.3
Weight of container + dry soil	g	_	356.5	_	351.7
Weight of container	g	_	200.6	_	201.7
% Water Content		_	21.74	_	20.40
% Absorption		_	97.06	_	96.39

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
16/1/39	16:00			3	0.003			4.5	0.005
17/1/39	16:00			6.5	0.007			8	0.008
18/1/39	16:00			8.5	0.009			12	0.012
19/1/39	16:00			11.5	0.012			15.5	0.016

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	246.16	82.05	18.94	6.31	212.07	70.69	15.15	5.05
0.05	590.77	196.92	37.87	12.62	515.03	171.68	37.87	12.62
0.075	939.18	313.06	53.02	17.67	882.37	294.12	49.23	16.41
0.100	1333.02	444.34	71.95	23.98	1234.56	411.52	60.59	20.20
0.150	1795.04	598.35	83.31	27.77	1639.77	546.59	79.53	26.51
0.200	2257.05	752.35	102.25	34.08	2090.42	696.81	94.68	31.56
0.250	2620.60	873.53	124.97	41.66	2435.04	811.68	109.82	36.61
0.300	3006.88	1002.29	136.33	45.44	2798.59	932.86	121.18	40.39
0.400	3552.21	1184.07	151.48	50.49	3150.78	1050.26	140.12	46.71
0.500	4105.11	1368.37	174.20	58.07	3688.54	1229.51	155.27	51.76
0.600	4529.25	1509.75	189.35	63.12	4267.95	1422.65	174.20	58.07
% C . B . R .	**50.16**		**2.40**		**46.45**		**2.10**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ลิมูกรัง + แกนโทไนท์ 2%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	23/1/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9049	9107	9128	9057
Weight of container + wet soil	g	436.9	457.1	428.4	417.5
Weight of container + dry soil	g	413.2	431.8	407.3	398.7
Weight of container	g	201.7	201.7	200.6	201.6
% Water Content		11.21	11.00	10.21	9.54
Wet Density	pcf	243.85	245.41	245.98	244.06
Dry Density	pcf	219.28	221.10	223.19	222.81
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9432	_	9376
Weight of container + wet soil	g	_	392.6	_	414.6
Weight of container + dry soil	g	_	361.1	_	378.4
Weight of container	g	_	200.4	_	201.7
% Water Content		_	19.60	_	20.49
% Absorption		_	96.55	_	96.60

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
24/1/39	16:45			12.5	0.013			11	0.011
25/1/39	16:45			16	0.016			12.5	0.013
26/1/39	16:45			17.5	0.018			15	0.015
27/1/39	16:45			19.5	0.020			17	0.017

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	310.53	103.51	26.51	8.84	284.03	94.68	18.94	6.31
0.05	840.71	280.24	49.23	16.41	954.32	318.11	41.66	13.89
0.075	1378.47	459.49	60.59	20.20	1363.32	454.44	60.59	20.20
0.100	1855.63	618.54	75.74	25.25	1802.61	600.87	87.10	29.03
0.150	2575.16	858.39	102.25	34.08	2643.33	881.11	106.04	35.35
0.200	3135.64	1045.21	121.18	40.39	3298.48	1099.49	132.55	44.18
0.250	3279.54	1093.18	136.33	45.44	3544.63	1181.54	147.69	49.23
0.300	3953.63	1317.88	143.91	47.97	4139.19	1379.73	155.27	51.76
0.400	4483.81	1494.60	181.78	60.59	4642.86	1547.62	162.84	54.28
0.500	4885.23	1628.41	204.50	68.17	5059.43	1686.48	174.20	58.07
0.600	5195.76	1731.92	231.01	77.00	5051.86	1683.95	181.78	60.59
% C . B . R .	69.68		2.69		73.30		2.95	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง - ถนนโพธิ์ทอง 3
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	5/2/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9006	8991	8879	8985
Weight of container + wet soil	g	408.2	289.3	361.3	378.0
Weight of container + dry soil	g	385.7	280.1	342.6	358.1
Weight of container	g	200.7	201.7	200.6	201.6
% Water Content		12.16	11.73	13.17	12.72
Wet Density	pcf	242.69	242.29	239.27	242.12
Dry Density	pcf	216.37	216.84	211.43	214.81
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	-	9261	-	9287
Weight of container + wet soil	g	-	398.6	-	385.9
Weight of container + dry soil	g	-	366.4	-	356.0
Weight of container	g	-	201.7	-	200.7
% Water Content		-	19.55	-	19.25
% Absorption		-	97.08	-	96.75

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
6/2/39	15:45			36	0.036			43.5	0.044
7/2/39	15:45			61.5	0.062			70.5	0.071
8/2/39	15:45			83	0.083			89	0.089
9/2/39	15:45			92	0.092			108	0.108

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	212.07	70.69	34.08	11.36	246.16	82.05	15.15	5.05
0.05	1249.71	416.57	68.17	22.72	1393.62	464.54	26.51	8.84
0.075	1651.13	550.38	90.89	30.30	1779.89	593.30	37.87	12.62
0.100	1999.54	666.51	113.61	37.87	2105.57	701.86	49.23	16.41
0.150	2878.12	959.37	136.33	45.44	2783.45	927.82	71.95	23.98
0.200	3279.54	1093.18	151.48	50.49	3003.09	1001.03	90.89	30.30
0.250	3718.83	1239.61	174.20	58.07	3548.42	1182.81	117.40	39.13
0.300	4105.11	1368.37	189.35	63.12	3832.44	1277.48	136.33	45.44
0.400	4445.94	1481.98	219.65	73.22	4142.98	1380.99	151.48	50.49
0.500	4832.21	1610.74	242.37	80.79	4533.04	1511.01	174.20	58.07
0.600	4892.80	1630.93	246.16	82.05	4828.43	1609.48	200.71	66.90
% C . B . R .	72.88		3.79		70.19		2.02	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง + เกนโทไนท์ 4%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	13/2/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9042	8982	9169	9256
Weight of container + wet soil	g	483.4	487.3	412.1	441.7
Weight of container + dry soil	g	455.6	460.2	388.4	415.6
Weight of container	g	201.0	200.7	200.6	201.6
% Water Content		10.92	10.44	12.62	12.20
Wet Density	pcf	243.66	242.04	247.08	249.43
Dry Density	pcf	219.67	219.16	219.40	222.31
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9328	_	9487
Weight of container + wet soil	g	_	416.9	_	398.2
Weight of container + dry soil	g	_	381.4	_	362.8
Weight of container	g	_	200.7	_	201.0
% Water Content		_	19.65	_	21.88
% Absorption		_	96.29	_	97.57

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
14/2/39	15:00			76	0.076			79.5	0.080
15/2/39	15:00			103.5	0.104			113	0.113
16/2/39	15:00			126.5	0.127			120.5	0.121
17/2/39	15:00			145	0.145			138	0.138

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	549.12	183.04	15.15	5.05	446.87	148.96	26.51	8.84
0.05	1408.76	469.59	26.51	8.84	1333.02	444.34	34.08	11.36
0.075	2026.05	675.35	37.87	12.62	1832.91	610.97	45.44	15.15
0.100	2457.76	819.25	49.23	16.41	2249.48	749.83	60.59	20.20
0.150	2957.65	985.88	71.95	23.98	2900.84	966.95	79.53	26.51
0.200	3465.11	1155.04	83.31	27.77	3552.21	1184.07	98.46	32.82
0.250	3771.85	1257.28	102.25	34.08	3999.07	1333.02	124.97	41.66
0.300	4044.52	1348.17	124.97	41.66	4445.94	1481.98	140.12	46.71
0.400	4525.47	1508.49	143.91	47.97	4900.38	1633.46	159.05	53.02
0.500	4885.23	1628.41	155.27	51.76	5195.76	1731.92	181.78	60.59
0.600	5351.03	1783.68	159.05	53.02	5597.19	1865.73	208.29	69.43
% C . B . R .	81.93		1.85		78.94		2.19	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง + เบนโทไนท์ 5%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	5/3/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	9121	9098	9236	9297
Weight of container + wet soil	g	467.0	489.2	443.5	416.2
Weight of container + dry soil	g	443.7	464.3	418.6	394.6
Weight of container	g	200.6	200.7	200.6	201.6
% Water Content		9.58	9.45	11.42	11.19
Wet Density	pcf	245.79	245.17	248.89	250.53
Dry Density	pcf	224.29	224.01	223.37	225.32
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	_	9437	_	9529
Weight of container + wet soil	g	_	498.8	_	478.2
Weight of container + dry soil	g	_	451.3	_	434.4
Weight of container	g	_	201.5	_	200.7
% Water Content		_	19.02	_	18.74
% Absorption		_	96.41	_	97.57

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
6/3/39	14:45			95	0.095			74	0.074
7/3/39	14:45			112.5	0.113			98.5	0.099
8/3/39	14:45			137	0.137			110	0.110
9/3/39	14:45			153	0.153			142	0.142

C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION . in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	575.62	191.87	26.51	8.84	492.31	164.10	37.87	12.62
0.05	1378.47	459.49	41.66	13.89	1317.88	439.29	53.02	17.67
0.075	2014.68	671.56	56.81	18.94	1999.54	666.51	64.38	21.46
0.100	2484.27	828.09	68.17	22.72	2635.75	878.58	79.53	26.51
0.150	3218.95	1072.98	98.46	32.82	3317.41	1105.80	109.82	36.61
0.200	3764.28	1254.76	121.18	40.39	3889.25	1296.42	136.33	45.44
0.250	4241.44	1413.81	143.91	47.97	4483.81	1494.60	159.05	53.02
0.300	4597.42	1532.47	162.84	54.28	4813.28	1604.43	185.56	61.85
0.400	5142.75	1714.25	196.92	65.64	5362.39	1787.46	223.43	74.48
0.500	5430.56	1810.19	234.79	78.26	5491.15	1830.38	249.94	83.31
0.600	5263.93	1754.64	265.09	88.36	5506.30	1835.43	284.03	94.68
% C . B . R .	83.65		2.69		87.86		3.03	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C . B . R . TEST

Project	Soil Compaction	Soil Description	ดินลูกรัง + แกนโทไนท์ 0%
Location		Volume Mold	0.08181 cu . ft .
Boring No.		Weight Mold	4108 g
Type of Compaction	Modified	Date	25/3/39

SAMPLE NO .		1		2	
BEFORE SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	8876	8985	9056	9156
Weight of container + wet soil	g	394.9	402.8	380.6	397.8
Weight of container + dry soil	g	374.5	382.0	369.7	380.4
Weight of container	g	201.7	200.6	200.6	201.6
% Water Content		11.81	11.47	9.99	9.73
Wet Density	pcf	239.19	242.12	244.04	246.73
Dry Density	pcf	213.93	217.22	221.86	224.85
AFTER SOAKING					
Weight of mold + compaction soil	g	–	9266	–	9405
Weight of container + wet soil	g	–	389.7	–	379.3
Weight of container + dry soil	g	–	361.2	–	351.2
Weight of container	g	–	201.7	–	200.1
% Water Content		–	17.87	–	18.07
% Absorption		–	96.97	–	97.35

SWELLING DATA : SAMPLE NO.		1				2			
DATE	TIME	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell	Gage	% Swell
26/3/39	15:30			112	0.112			89.5	0.090
27/3/39	15:30			136	0.136			114	0.114
28/3/39	15:30			149.5	0.150			132.5	0.133
29/3/39	15:30			168	0.168			145	0.145

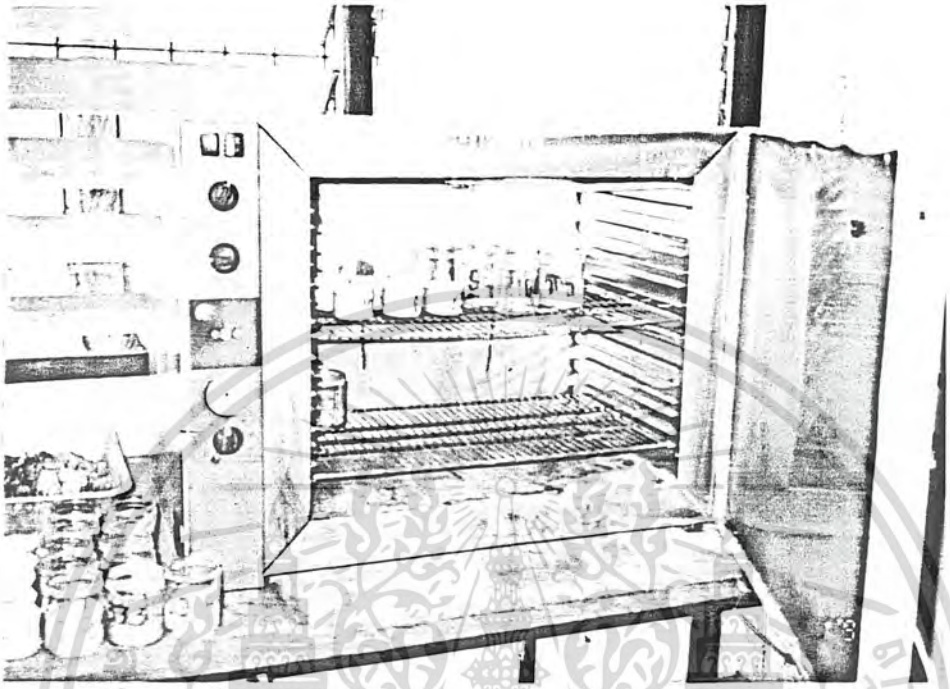
C . B . R . LOAD TEST DATA								
PENETRATION , in.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.
0.025	643.79	214.60	11.36	3.79	734.68	244.89	15.15	5.05
0.05	1268.65	422.88	22.72	7.57	1408.76	469.59	30.30	10.10
0.075	1832.91	610.97	34.08	11.36	1938.94	646.31	37.87	12.62
0.100	2253.27	751.09	41.66	13.89	2370.66	790.22	45.44	15.15
0.150	2915.99	972.00	56.81	18.94	3120.49	1040.16	60.59	20.20
0.200	3378.00	1126.00	68.17	22.72	3650.67	1216.89	71.95	23.98
0.250	3908.18	1302.73	79.53	26.51	4089.96	1363.32	83.31	27.77
0.300	4154.34	1384.78	87.10	29.03	4438.36	1479.45	102.25	34.08
0.400	4756.47	1585.49	98.46	32.82	4983.69	1661.23	117.40	39.13
0.500	5222.27	1740.76	113.61	37.87	5324.52	1774.84	140.12	46.71
0.600	5366.18	1788.73	132.55	44.18	5347.24	1782.41	151.48	50.49
% C . B . R .	75.11		1.51		81.13		1.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

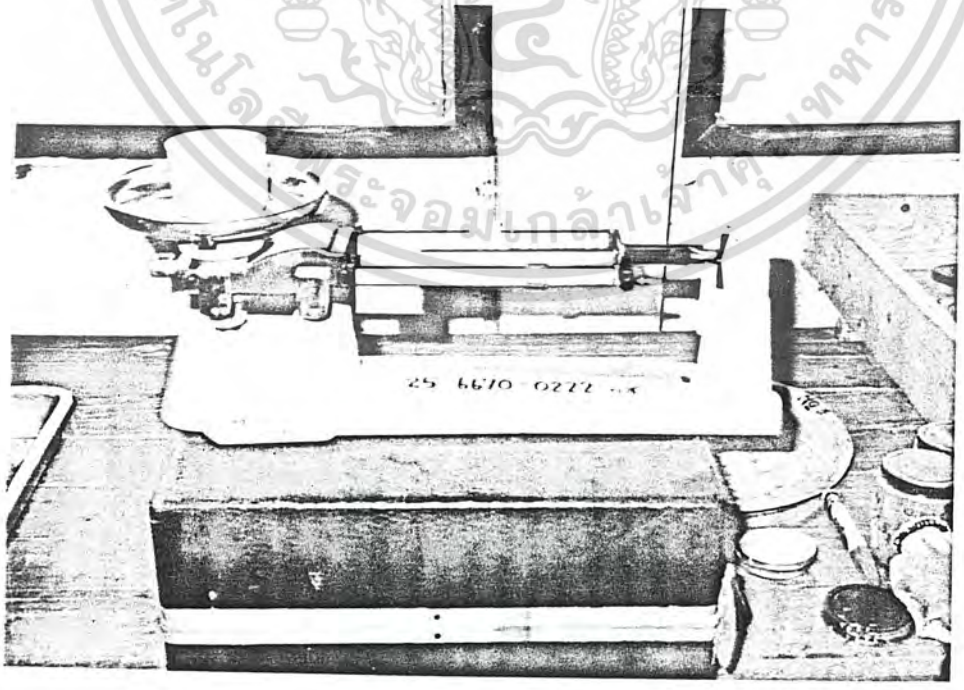
ภาคผนวก จ

รูปแสดงอุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

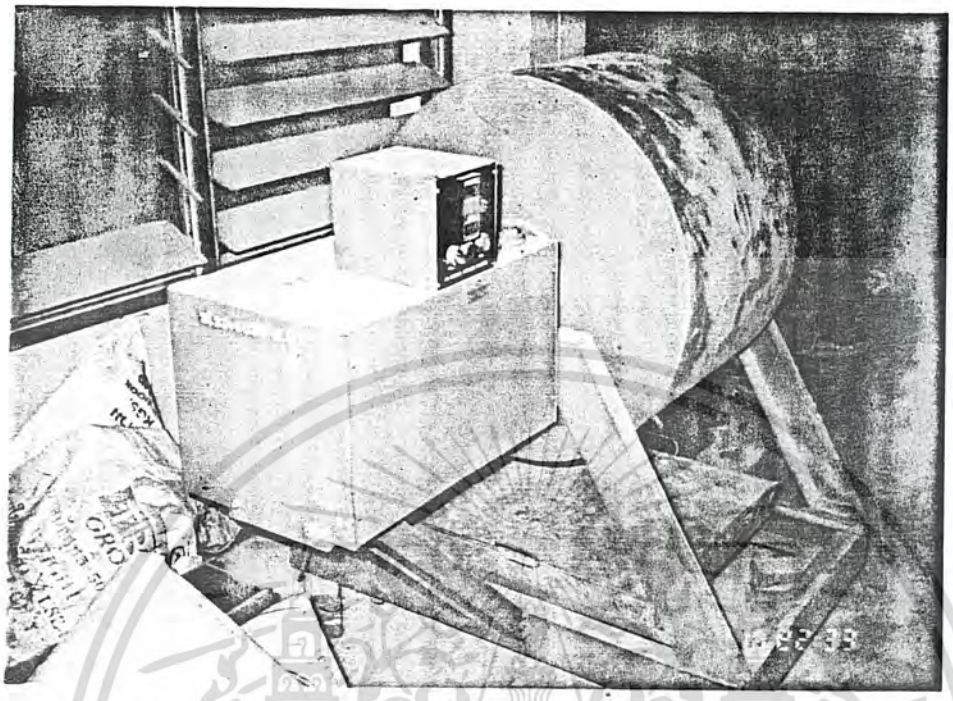


ตู้อบตัวอย่างดิน



เครื่องชั่งตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องย่อยขนาดดิน

เครื่องผสมดินกับสารละลาย Bentonite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รูปแสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบการบดอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง Modified Proctor ใช้ mold ขนาด ϕ 4" x 4.6"

ใช้ Hammer ขนาด 10 lb. compact ดินใน mold จำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้งเมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

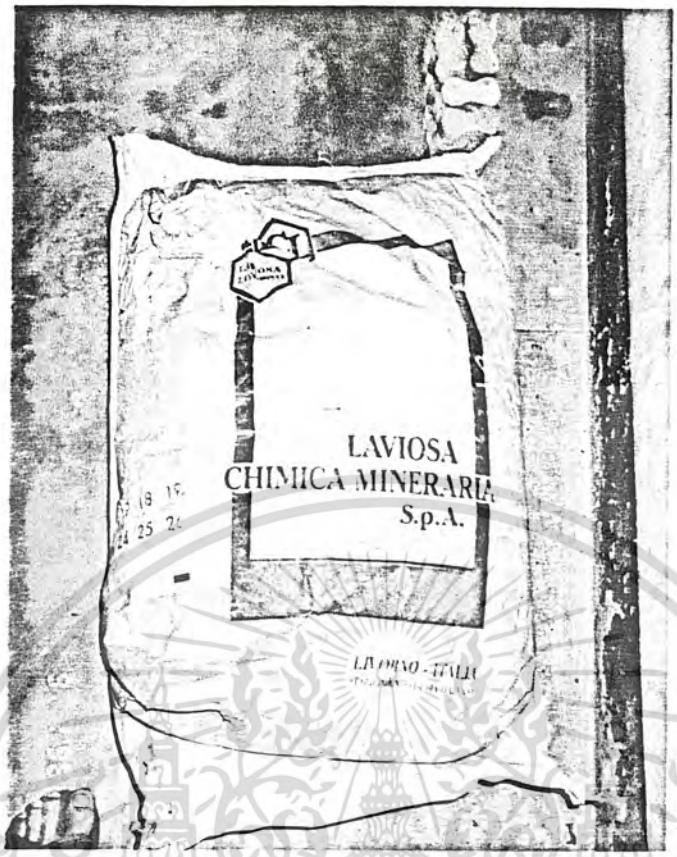
การปาดดินส่วนที่อยู่เหนือปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก mold

ถอด base plate ออกนำ mold ไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
รูปแสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ CBR

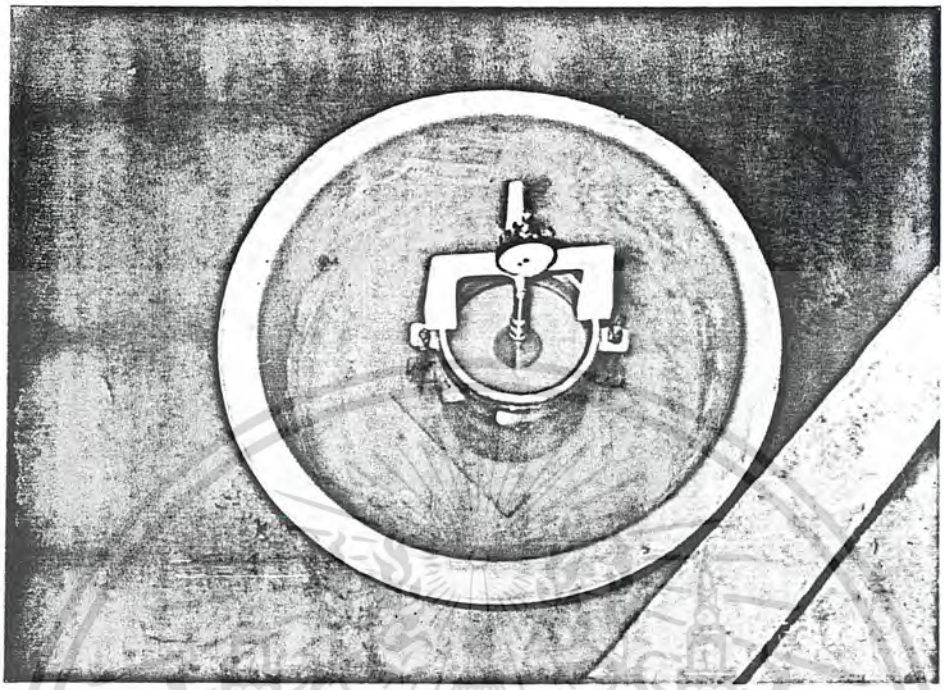
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Bentonite

การเตรียมสารละลาย Bentonite

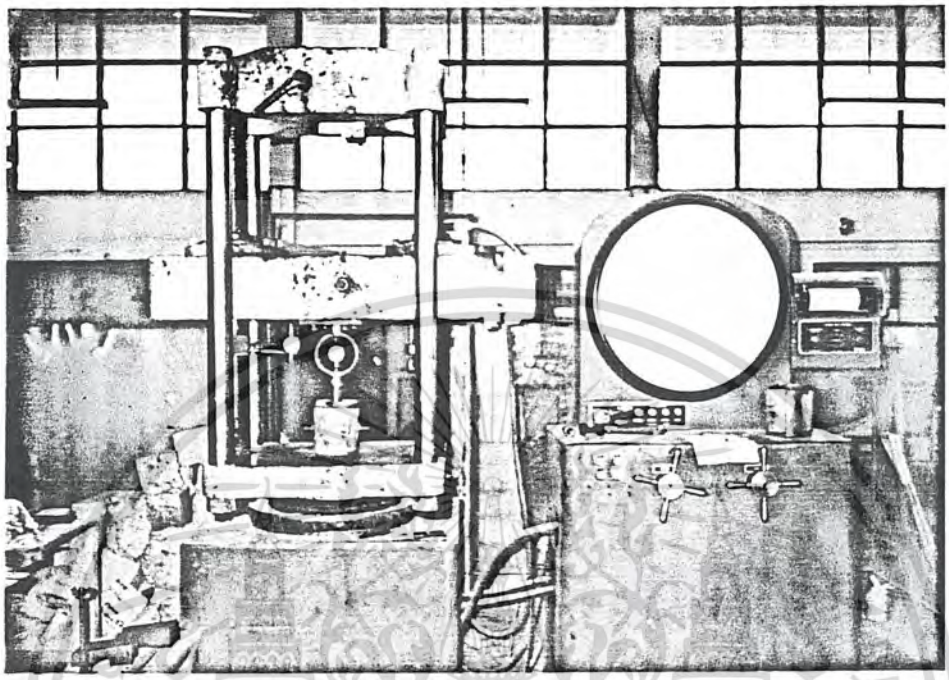
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



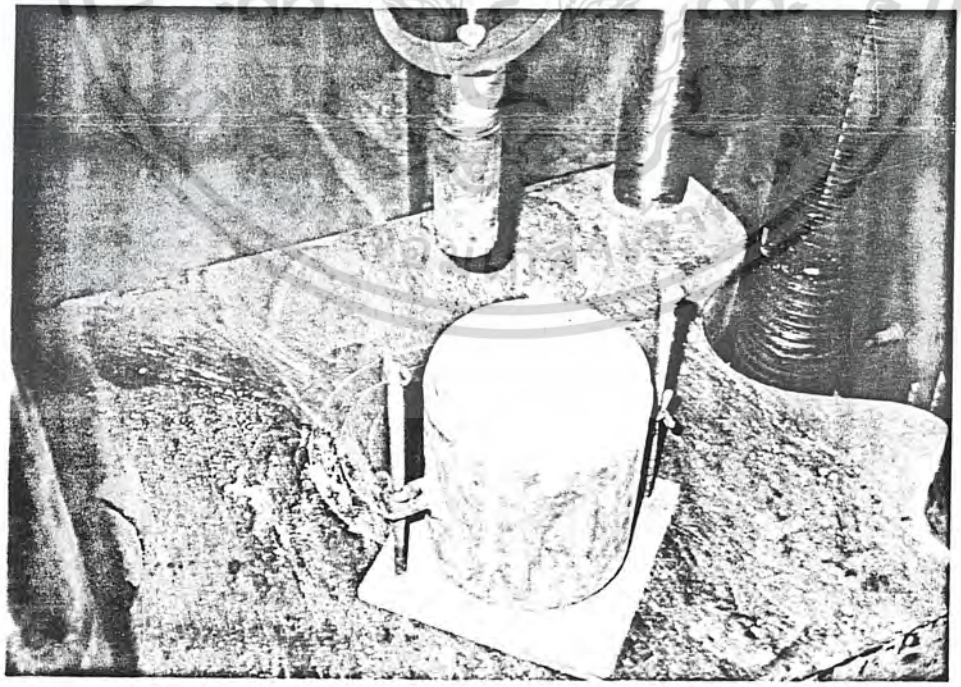
การนำดินตัวอย่างแช่น้ำ

การชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบค่า C.B.R.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบค่า C.B.R.



ดินตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบค่า C.B.R. แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ ; ดร.วรากร ไม้เรียง , อ.จิรพัฒน์ โชติกไกร , อ.ประทีป ดวงเดือน
2. ปฐพีกลศาสตร์ ; ศ. วัฒนา ธรรมมงคล , ศ. ดร. วินิต ช่อวิเชียร
3. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก ; ผศ. มานะ อภิพัฒนะมนตรี
4. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม ; มณเฑียร กังศศิเทียม
5. เอกสารเกี่ยวกับ bentonite ; บริษัท Power-P
6. เอกสารฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้