

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อหาปริมาณน้ำในดิน
กรณีศึกษาสำหรับงานแผ่นดินถล่ม

(Application of Electromagnetic Wave Technology for
Determination of Soil Moisture Content Case Study for Landslides)



โดย
นาย นที ธรรมรัตน์
นาย ภูมิศักดิ์ สมจันทร์

ศษว.
๙๖1527
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61374
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

.b..... 11๕๕๑๕๑๗
.i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC WAVE TECHNOLOGY FOR DETERMINING
OF SOIL MOISTURE CONTENT CASE STUDY FOR LANDSLIDES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อหาปริมาณน้ำในดิน
กรณีศึกษาสำหรับงานแผ่นดินถล่ม

นักศึกษา นายณที ธรรมรัตน์ รหัสประจำตัว 44010730
นายภูมิศักดิ์ สมจันทร์ รหัสประจำตัว 44010793

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว
ผศ. ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว ผศ. ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ดร. อูมา ศีบุญเรือง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อหาปริมาณน้ำในดิน กรณีศึกษาสำหรับงานแผ่นดินถล่ม APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC WAVE TECHNOLOGY FOR DETERMINING OF SOIL MOISTURE CONTENT CASE STUDY FOR LANDSLIDES		
นักศึกษา	นายณที ธรรมรัตน์	รหัสประจำตัว	44010730
	นายภูมิศักดิ์ สมจันทร์	รหัสประจำตัว	44010793
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว ผศ. ดร. สุัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2547		

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของลาดไหล่เขา (slope) สำหรับระบบการเตือนภัยด้านแผ่นดินถล่ม ทำได้โดยวิธีการสำรวจภูมิประเทศหรือทำการขุดเจาะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน วิธีการสำรวจภูมิประเทศเก็บข้อมูลทางภาคสนามเป็นการตรวจวัดค่า ณ เวลาใด ๆ ซึ่งกระทำไม่บ่อย และมีการใช้งบประมาณสำหรับค่าเครื่องมือต่างๆ การดำเนินการติดตั้งและการบำรุงรักษาจำนวนมาก เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินจากสถานะดินแห้งเป็นมวลดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ ณ บริเวณลาดไหล่เขา และเป็นวิธีหนึ่งที่มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการข้างต้นในด้านเป็นการตรวจวัดอยู่ในที่ได้อย่างต่อเนื่องและส่งผลระยะไกลได้ ดังนั้นการศึกษาจึงประกอบด้วยการพัฒนาชุด TDR อย่างง่ายรุ่นลาดกระบังนมิต 1 ประกอบกับการค้นคว้าข้อมูลดินพร้อมทดสอบหาค่าคงที่ของการนำไฟฟ้าของดินที่มีปัญหาด้านแผ่นดินถล่ม ชนิดกลุ่ม SM-SP โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (Dielectric Constant, K) กับปริมาณความชื้นของดิน ตามหลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ค่า K เป็นค่าคุณลักษณะเฉพาะของชนิดและลักษณะดิน การศึกษาได้พัฒนาเครื่องมือให้กำเนิดและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ความถี่ต่างๆ ผลที่ได้แสดงถึงค่า K ซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณความชื้นในมวลดิน และมีค่า K ของดินแห้ง ถึงดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำอยู่ระหว่าง 5 - 56 จึงมีโอกาที่จะพัฒนาเครื่องมือดังกล่าวให้สามารถส่งสัญญาณเตือนภัยเพื่อเป็นระบบการเตือนภัยด้านแผ่นดินถล่มได้ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC WAVE TECHNOLOGY FOR
DETERMINING OF SOIL MOISTURE CONTENT CASE STUDY FOR
LANDSLIDES

Name : NATEE THAMMARAT
PUMISAK SOMJAN

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : UBA SIRIKAEW
As. Prof. SUCHATVEE SUWANSAWAT

Abstract

In general, to measure the movement of the soil slope, the topographical survey and installation of the instruments were used for the landslide warning system. The field topographical surveying will be carried out at a certain amount of time. It is a high cost of the set of equipments, operations, installations and maintenance. Electromagnetic Technology was applied for determining of water content of dried or saturated soil mass, at the slope. The advantage of the electromagnetic technology is an in situ technique, continuously measuring and remote transferring system. The study consisted of the development of a simple TDR, namely Ladkrabang Neramit I, and to determine the relationship of the Dielectric constant (K) of soil include with its engineering properties from the collected data. The K value refers to a specific type and condition of soil mass, as a basis for EM theory. There were variation of the EM frequency and the receiver cathodes. The result shows that the higher content of water the more value of K. The value of K is in the range of 5-56. There is a possibility to develop those of equipments for the landslide warning system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์อุเบะ ศิริแก้ว และ ผศ. ดร. สุวัชรวิทย์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำสั่งสอนและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการดำเนินงาน พร้อมทั้งประสบการณ์นอกเหนือจาก เนื้อหาที่ทำการศึกษา จวบจนโครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณนายเนรมิต จิรกาญจน์ไพศาล ที่ช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงาน พร้อมทั้งคำชี้แนะอันเป็นการเอื้อประโยชน์ให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อทำการสอบโครงการพิเศษ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะ และคำสั่งสอนอันเป็นประโยชน์ทั้งในการเรียนและการทำงานต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกด้านด้วยความเต็มใจอย่างยิ่งตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและให้กำลังใจมาตลอดจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด

ท้ายสุดขอกล่าวคำขอบคุณทุกสิ่งทีภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบให้โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอกาสในการศึกษาตลอดหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตอันถือเป็นเกียรติสูงสุดสำหรับผู้จัดทำ

นายธนัท ธรรมรัตน์
นาย ภูมิศักดิ์ สมจันทร์
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและที่มาของงานวิจัย	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	1.4. ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
	1.5.1. ทั่วไป	2
	1.5.2. จำนวนตัวอย่างทดสอบ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. บทนำ	3
	2.2. เครื่องมือและอุปกรณ์	4
	2.3. ขั้นตอนการวัดและบันทึกผล	5
	2.3.1. การประยุกต์ใช้และการแสดงผลของเครื่องมือ	5
	2.3.2. สูตรที่ใช้ในการแปลงหน่วย	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.3. ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำในดิน	8
2.4.	การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis) ASTM D-422	8
2.4.1.	อุปกรณ์	8
2.4.2.	วิธีการทดสอบ Sieve Analysis	9
2.5.	การจำแนกประเภทของดิน	10
2.5.1.	การจำแนกประเภทของดินแบบ Unified	10
2.6.	การบดอัดดิน (Compaction test) ASTM D698-78	14
2.6.1.	พฤติกรรมของดินเมื่อถูกบดอัด	14
2.6.2.	อุปกรณ์	15
2.6.3.	วิธีการทดสอบ	15
2.6.3.1.	การเตรียมตัวอย่างดิน	15
2.6.3.2.	ขั้นตอนการทดสอบ	16
2.7.	ลักษณะของดิน	16
2.7.1.	ดินบดอัด	17
2.7.2.	ดินเกษตร	18
2.7.3.	ดินที่มีความลาดชัน	20
2.7.3.1.	แบบของการพังทลาย (Types of Failures)	20
2.7.3.2.	วิธีวิเคราะห์หาเสถียรภาพของความลาด	21
2.7.3.3.	Circular Arc Method	23
2.7.3.4.	Slice Method	23
2.7.3.5.	๑_Circle Method	24
2.7.5.6.	ประเภทของแผ่นดินถล่ม	25
2.7.5.7.	แผ่นดินถล่มในประเทศไทย	25
2.7.5.8.	ลำดับเหตุการณ์ของการเกิดแผ่นดินถล่ม	26
2.7.5.9.	ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุของการเกิดแผ่นดินถล่ม	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.8. การเตรียมการบรรเทาภัยสำหรับประชาชน	26
	2.9. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินไม่อิมตัว	27
	2.9.1. บทบาทของดินไม่อิมตัวต่อความมั่นคงของลาดดิน	27
	2.9.2. ทฤษฎีของหน่วยแรงประสิทธิผลของดินไม่อิมตัว	27
3	วิธีการศึกษา	
	3.1. ดินที่ใช้ในการทดสอบ	29
	3.2. ลักษณะของชั้นตัวอย่างที่จะทำการศึกษา	30
	3.3. วิธีการดำเนินการทดสอบ	30
	3.3.1. วิธีการคัดเลือกตัวอย่าง	30
	3.3.2. วิธีการทดสอบดินที่มีความลาดชัน	31
	3.3.3. วิธีการหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, O.M.C.)	31
	3.3.4. วิธีการวิเคราะห์และสรุปผล	32
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์	
	4.1. การออกแบบความยาวแท่งโลหะนำสัญญาณ	33
	4.1.1. การทดลองครั้งที่ 1	33
	4.1.2. การทดลองครั้งที่ 2	33
	4.2. คุณสมบัติด้านวิศวกรรมพื้นฐานของดิน	36
	4.2.1. ดินบดอัด	36
	4.2.2. ดินเกษตร	36
	4.2.3. ความลาดชันของดิน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	สรุปผลการทดสอบเครื่องมือ	
	5.1. การทำงานของ TDR รุ่นเนรมิต 1	37
	5.1.1. การกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	37
	5.1.2. การส่งสัญญาณและการตรวจวัด	37
	บรรณานุกรม	38
	ภาคผนวก ก.	ผก1
	ภาคผนวก ข.	ผข1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงค่าคงที่ในการนำไฟฟ้า	3
2.2.	Unified Soil Classification	12
2.3.	ความเหมาะสมของดินที่จะนำไปใช้งาน	19
3.1.	ขั้นตอนและวิธีการทำงาน	29
4.1.	แสดงผลการทดลองเครื่อง TDR	35
ผ.ก.1.	ข้อมูลดินบดอัด	ผก2
ผ.ก.2.	การหาค่า O.M.C จากตัวอย่างดินบดอัด 3 ชนิด	ผก4
ผ.ก.3.	ข้อมูลดินเกษตร	ผก7
ผ.ก.4.	ข้อมูลของดินลาดชัน	ผก7
ผ.ก.5.	ผลการทดสอบกำลังรับแรงของดิน	ผก7
ผ.ก.6.	คุณสมบัติของดินตัวอย่างเชิงวิศวกรรม	ผก8
ผ.ก.7.	การทดสอบหาค่า O.M.C ของทราย (SP)	ผก9
ผ.ข.1.	ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 0-10%	ผข2
ผ.ข.2.	ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 10-11%	ผข6
ผ.ข.3.	ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 11-12%	ผข16
ผ.ข.4.	ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 12-15%	ผข21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (Water Content) และค่าคงที่ในการนำไฟฟ้า (Dielectric Constant)	4
2.2.	เครื่องมือชุดวัดค่าปริมาณน้ำในดิน	5
2.3.	ตัวอย่างคลื่นที่แสดงผลบนจอ LCD ของ	6
2.4.	รูปแบบแสดงการควบคุมและส่งผ่านข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์	7
2.5.	เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน (Sieve Shaker)	9
2.6.	Types of Failure	21
2.7.	Circular Arc Method	22
2.8.	Slice Method	23
2.9.	๘_Circle Method	24
4.1.	เครื่องออสซิลโลสโคป	34
4.2.	Calibration cell และการเทียบ Probe ลงในดิน	34
4.3.	แผงวงจร TDR รุ่นลาดกระบังนมรมิต 1	34
ผ.ก.1.	กราฟแสดงผลข้อมูลทรายบดอัด	ผก6
ผ.ก.2.	กราฟการทดสอบทรายถม	ผก10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

การหาค่าปริมาณน้ำในดิน (Water content) ทางด้านงานวิศวกรรมนั้น สามารถทำการทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Testing) รวมทั้งการทดสอบในภาคสนาม (Field Density Testing) ซึ่งการหาค่า Water Content นี้วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยการหาตามมาตรฐาน ASTM หรืออาจจะใช้วิธี Gravimeter ในการช่วยหา ในส่วนการทดสอบในภาคสนามนั้นก็สามารถใช้เครื่อง Tensiometer ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อกำหนดแตกต่างกันออกไป สำหรับการศึกษาคอร์สงานพิเศษครั้งนี้จะเป็นการศึกษาเครื่องมือที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) หาปริมาณน้ำในดินได้ทันทีโดยการทดสอบในสนามและมีราคาถูก ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า Time Domain Reflectometry System

1.2. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เรื่องของปริมาณความชื้นในดิน (Water content) ในงานวิศวกรรมปฐพีนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นปัจจัยและตัวแปรหลักในด้านพฤติกรรมทางกลศาสตร์ของดิน ยกเช่น การทรุดตัว (Consolidation) การรับแรง (Strength & Capacity) เสถียรภาพ (stability) คุณสมบัติทางชลศาสตร์ (Hydraulic Property) และการขยายตัวของดิน (Expansive soil) การหาปริมาณความชื้นของดินโดยทั่วไปจะใช้การอบดินให้แห้งซึ่งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีทางธรณีฟิสิกส์ โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อวัดค่าปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำในดิน ซึ่งทั้งสะดวก รวดเร็ว และรักษาสภาพธรรมชาติไม่ให้เกิดการทำลายเนื่องจากเทคโนโลยีการสำรวจวัดข้อมูลในภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Time Domain Reflectometry System) สำหรับหาค่าปริมาณน้ำในดิน (% water content)
2. เพื่อศึกษางานดินด้านวิศวกรรมต่างๆ ได้แก่ งานด้านการบดอัด งานด้านการเกษตร งานด้านการป้องกันพังทลายของดิน
3. เพื่อหาค่า Dielectric Constant งานด้านการป้องกันการพังทลายของดิน

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1. การวัดค่า Dielectric Constant โดยการใช้เครื่องมือ Simple TDR
2. ศึกษาค่าในกลุ่มดินที่มีความลาดชัน
3. ศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dielectric Constant กับค่าความหนาแน่นของดินที่แห้งเมื่อมีค่า %water content เดียวกัน

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1. ทั่วไป

ศึกษาเครื่อง TDR และขึ้นตัวอย่างภายใต้ขอบเขตของงาน โดยทำการทดสอบขึ้นตัวอย่างที่มีค่า %water content ต่างๆกันเพื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างค่า K_u กับค่า %water content ของดินในกลุ่มที่จะศึกษา ขั้นตอนการดำเนินงานมีรายละเอียดแสดงในบทที่ 3

1.5.2. จำนวนตัวอย่างทดสอบ

ทำการทดสอบกับทราย โดยหาค่า %water content จำนวน 4 ค่า คือ 5%, 10%, 15% และ 18% ค่าละ 2 ตัวอย่างต่อหนึ่งชนิดของดินรวมตัวอย่างทั้งหมดเป็น 8 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. บทนำ

ทฤษฎีทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม และสาขาที่เกี่ยวข้อง การใช้เทคโนโลยีทางการสื่อสาร คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของแหล่งกำเนิด สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการวัดปริมาณน้ำใต้ดิน เรียกว่า Time Domain Reflectometry (TDR) วัสดุต่างๆ จะมีค่าคงที่ในการนำไฟฟ้า (Dielectric Constant) ของตัวนำและฉนวนประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. แสดงค่าคงที่ในการนำไฟฟ้า

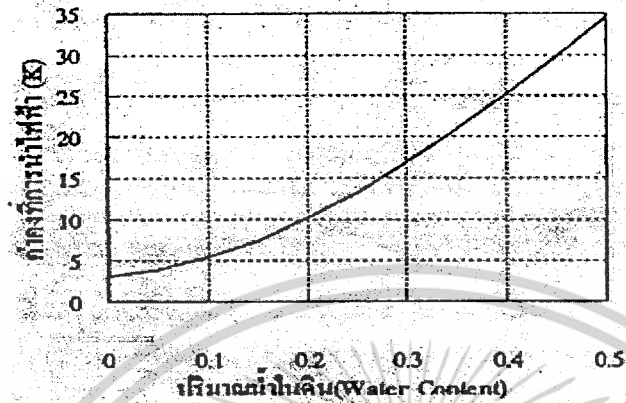
ตัวนำหรือฉนวน	ค่าคงที่การนำไฟฟ้า
อากาศ	1
น้ำ	78
เม็ดดิน, หิน	4
กระดาษ	3.5
พลาสติก (PVC)	3.3
น้ำมัน	4.5
แก้ว	4.5

ที่มา : ผศ.ดร. สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

จากตารางแสดงค่าคงที่ในการนำไฟฟ้าจะเห็นได้ว่า ค่าคงที่การนำไฟฟ้าของอากาศและวัสดุที่เป็นฉนวนจะมีค่าน้อยมาก ($K = 1-4.5$) ขณะที่น้ำมีค่าสูงถึง 78 จากคุณสมบัตินี้เองที่ถูกนำมาใช้ในการวัด Water Content ในดิน เนื่องจากค่าคงที่การนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับสัดส่วนของน้ำในดิน เช่น ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำในดินสูงขึ้น คุณสมบัติดังกล่าวนี้ Prof. Clark Topp แห่งสถาบันเทคโนโลยีด้านดินและวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ได้ทำการทดลองถึงกว่าพันตัวอย่างกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

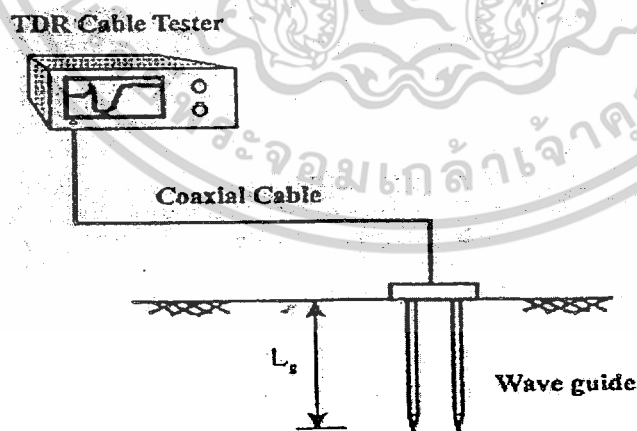
ดินหลากหลายประเภทปรากฏว่าปริมาณน้ำในดิน (Water Content) มีความสัมพันธ์ตรงกับค่าการนำไฟฟ้า โดยมีได้แปรผันตามชนิด ขนาดและประเภทของดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1.



รูปที่ 2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (Water Content) และค่าคงที่การนำไฟฟ้า (Dielectric Constant) (ผศ.ดร. สุัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

2.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

การวัดปริมาณน้ำในดินด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้เพียงอุปกรณ์ที่สามารถหาได้โดยทั่วไป มีอุปกรณ์ประกอบแสดงเป็นเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 2.2. หน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นดังนี้



รูปที่ 2.2. เครื่องมือชุดวัดค่าปริมาณน้ำในดิน (ผศ.ดร. สุัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

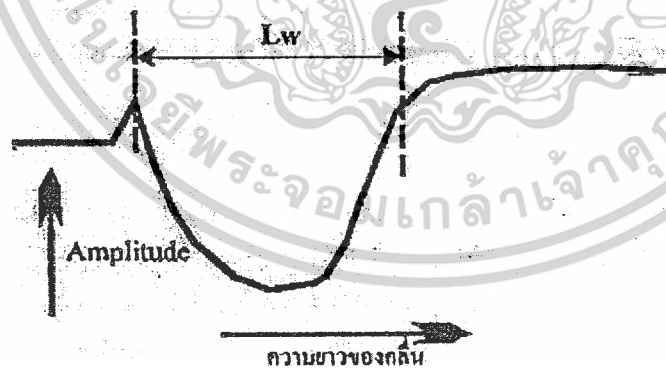
1. เครื่องตรวจสอบสายเคเบิลหรือเครื่องกำเนิด (TDR Cable Tester) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในงานสื่อสารโทรคมนาคม เป็นชุดรับและส่งสัญญาณ
2. สายเคเบิลส่งสัญญาณ (Coaxial Cable) หรือสายส่งโทรศัพท์ เป็นตัวนำส่งสัญญาณ
3. แท่งโลหะนำสัญญาณ (Wave Guide) เป็นเว็วลวดเหล็กหรือแท่งโลหะนำสัญญาณ เชื่อมต่อกับสายเคเบิลส่งสัญญาณลงสู่พื้นดินแล้วรับผลความสามารถในการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของชั้นดินกลับสู่สายสัญญาณ

2.3. ขั้นตอนการวัดและบันทึกผล

การวัดและบันทึกผลสามารถกระทำได้ง่าย เพียงสอดหรือแท่งโลหะนำสัญญาณ (Wave Guide) ลงดินหรือบริเวณที่ต้องการจะวัดปริมาณน้ำในดิน จากนั้นเปิดเครื่องตรวจสอบสายเคเบิล คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งไปตามสายเคเบิล ผ่านแท่งโลหะนำสัญญาณ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1. การประยุกต์ใช้และการแสดงผลของเครื่องมือ

ลักษณะของคลื่นจะสะท้อนกลับมายังเครื่องกำเนิดและแสดงบนจอ LCD จากลักษณะของคลื่นนี้เองที่เราสามารถนำไปเป็นค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (Electric Constant, K) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.3. และ นำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปแทนค่าในสมการ (2.1.)

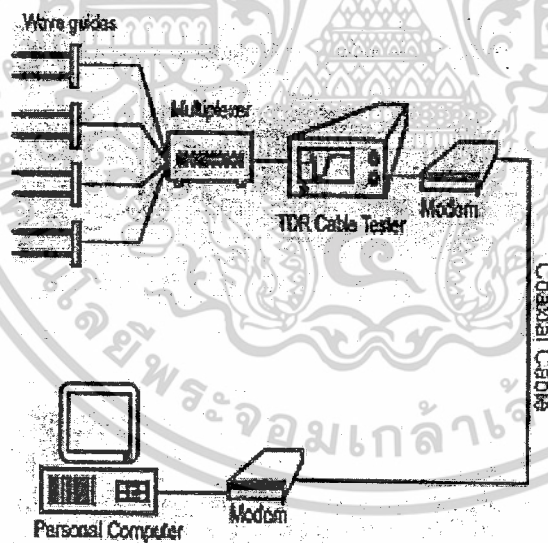


รูป 2.3. ตัวอย่างคลื่นที่แสดงบนจอ LCD (ผศ.ดร. สุ��ชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

$$K = \frac{L_w^2}{L_g^2} \quad (2.1.)$$

- เมื่อ K = ค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า
 L_w = ความยาวคลื่น
 L_g = ความยาวของแท่งโลหะนำสัญญาณ

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเป็นค่าปริมาณน้ำในดินจากกราฟรูปที่ 2.3. มีความถูกต้องแม่นยำสูงสะดวกและรวดเร็ว วิธีดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือ เป็นการตรวจวัดค่าปริมาณความชื้นในดินได้ดีกว่าการสำรวจดินแบบเก่าโดยสิ้นเชิง ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีผลงานการประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมต่างๆ มากมาย เช่น งานปรับปรุงคุณภาพดิน งานก่อสร้างถนน งานฐานราก และงานทางด้านชลศาสตร์ นอกจากนี้แล้วข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ สามารถตรวจวัดได้ในหลายพื้นที่พร้อมๆกันโดยใช้การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) และยังสามารถวัดในระยะเวลาไกลไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมได้อีกด้วย โดยใช้เครื่องโมเด็ม (Modem) แปลงข้อมูลและส่งผ่านสายส่งโทรศัพท์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุม ดังรูปที่ 2.4.



รูปที่ 2.4. รูปแบบการควบคุมและส่งผ่านข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ (ผศ.ดร. สุ��วีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

2.3.2. สูตรที่ใช้ในการแปลงหน่วย

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w , γ_d และ γ แปลงจากหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาตร ดังสมการ (2.2.) ถึง (2.8.)

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{V} \quad (2.2.)$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.3)$$

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4.) $W_w = w \times W_s$ แทนในสมการ (2.2.)

$$\gamma = \frac{W_s}{V} (1+w) \quad (2.5.)$$

$$\gamma = \gamma_d (1+w) \quad (2.6.)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (2.7)$$

สมการแปลงจากหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาตร (หาค่า %w)

$$\%w = \frac{W_w}{W_s} \times \frac{G_s}{(1-n)} \times 100 \quad (2.8.)$$

2.3.3. ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content)

1. นำตัวอย่างดินที่ต้องการหาปริมาณน้ำมาชั่งน้ำหนัก (W_w)
2. นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างดินที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนัก (W_d)
4. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

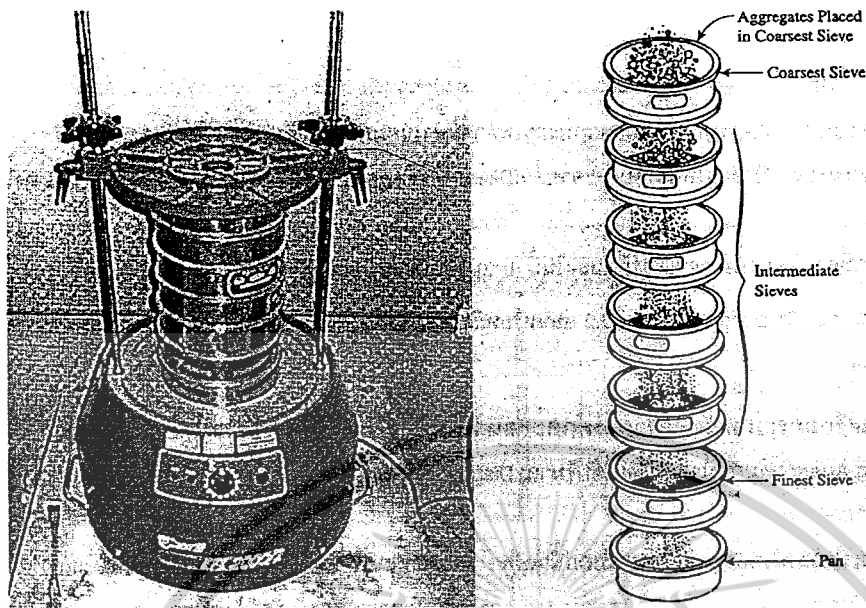
$$\%w = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \quad (2.9.)$$

2.4. การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis) ASTM D-422

เลือกใช้การหาขนาดเม็ดดิน โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงหยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ข้างบนตะแกรง แต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น เพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลม หรือลูกบาศก์ แต่จะเป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติ

2.4.1. อุปกรณ์

1. Sieve Analysis
2. ถาดใส่ตัวอย่างดิน (Mixing Pan)
3. ตะแกรงร่อน (Sieve)
4. เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน (Sieve Shaker)
5. เครื่องชั่งขนาด 2 กก. อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
6. กล่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)
7. แปลงทำความสะอาดตะแกรง (แปลงลวดสำหรับตะแกรงหยาบและแปลง)
8. ขนสำหรับตะแกรงละเอียด
9. ค้อนยาง มือตักดิน (Soil Scoop)



รูปที่ 2.5. เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน (Sieve Shaker)

2.4.2. วิธีการทดลอง Sieve Analysis

1. ทำการเลือกตะแกรงจากใหญ่ไปหาตะแกรงขนาดเล็กลงไปประมาณครึ่งเท่า ซึ่งอาจเป็นตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 เบอร์ 200 และถาดรับ - ฝาปิด ตามลำดับ
2. ใช้แปรงลวดทำความสะอาดตะแกรงขนหยาบ และตะแกรงขนาดเล็กด้วยแปรงขนอ่อน เพื่อป้องกันน้ำหนักผิดพลาด นำตะแกรงแต่ละอันชั่งน้ำหนักไว้
3. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ มีขนาดพอเพียง ควรมีความแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบ จะได้ไม่เปลี่ยนน้ำหนัก
4. ใส่ตัวอย่างดินลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด ปิดฝาด้านบน และรองด้วยถาด (PAN) ด้านล่าง แล้วใช้เครื่องเขย่า (Sieve Shaker) ประมาณ 10 นาที
5. แยกตะแกรงแต่ละอันออกจากเครื่องเขย่าแล้วทำการชั่งจะเป็นน้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
6. เพราะฉะนั้นจะได้น้ำหนักของดินที่ค้างแต่ละตะแกรง โดยนำ (น.น.ตะแกรง + น.น.ดินที่ค้าง) - น.น.ตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน⁹ ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. การจำแนกประเภทของดิน

ดินแยกออกเป็นดินเม็ดหยาบที่ไม่มีความเชื่อมโยงแน่น ดินเม็ดละเอียดที่มีความเชื่อมโยงแน่น และดินที่มีสารอินทรีย์ การหาขนาดของดินเม็ดหยาบที่ไม่มีความเชื่อมโยงแน่นเพื่อ แบ่งย่อยออกเป็นกรวดทราย ทรายเม็ดป่น ใช้วิธีผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน ส่วนดินเม็ดละเอียดที่มีความเชื่อมโยงแน่นเพื่อแบ่งย่อยเป็นดินเหนียว สารแขวนลอยคล้ายวุ้นก็ใช้วิธีวัดอัตราการตกตะกอนในน้ำ

การจำแนกประเภทของดินโดยใช้ขนาดของเม็ดดินเป็นเกณฑ์นี้ ในแต่ละองค์การก็มีการจำแนกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละงาน เช่น งานถนน (AASHO) งานสร้างสนามบิน (FAA) งานวิศวกรรมอื่นๆ (Unified) เป็นต้น โดยทั่วไปขนาดเม็ดดินที่โตกว่า 2.00 มม. จัดเป็นพวกกรวด ส่วนขนาดเม็ดดินที่อยู่ระหว่าง 0.05-2.00 มม. จัดเป็นพวกทราย ขนาดเม็ดดินที่เล็กลงไปอยู่ระหว่าง 0.02-0.05 มม. จัดเป็นพวกทรายเม็ดป่น พวกดินเหนียวเป็นพวกเม็ดละเอียดมากมีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม.

2.5.1. การจำแนกประเภทของดินแบบ Unified

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกประเภทของดินแบบ unified เพื่อใช้กับงานวิศวกรรมด้านต่าง ๆ การจำแนกนี้ตัดแปลงมาจากการจำแนกประเภทของดินตามคาซากรานด์ โดยอาศัยขนาดของเม็ดดินและสภาพความเหลวของดินเป็นเกณฑ์พิจารณา

เมื่อพิจารณาตามขนาดของเม็ดดิน จะแบ่งดินออกเป็น ดินเม็ดหยาบ กับ ดินเม็ดละเอียด โดยใช้อักษรตัวแรกกำกับชื่อกลุ่มดินต่าง ๆ ดังนี้

ดินเม็ดหยาบเป็นพวกที่ข้างบนตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50% ได้แก่ กรวด (G) ทราย (S) ดินเม็ดละเอียดเป็นพวกที่ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50% ได้แก่ ตะกอนทรายอนินทรีย์และทรายเม็ดละเอียด (M) ดินเหนียวอนินทรีย์ (C) ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวอินทรีย์ (O) ดินโคลนหรือดินเลนสีค่าและดินอินทรีย์สูง (Pt) ในการจำแนกดินเม็ดหยาบออกเป็นกรวดหรือทรายให้พิจารณาที่ตะแกรงเบอร์ 4 ถ้ามีส่วนที่ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้มากกว่า 50% ถือว่าเป็นทราย

ในแต่ละกลุ่มข้างต้นยังแบ่งย่อยลงไปได้อีกโดยใช้ส่วนขนาดละเอียดและสถานภาพความเหลวที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นเกณฑ์ ดังอธิบายในตารางที่ 2.1 และใช้อักษรย่อตัวต่อไป

กำกับชื่อของกลุ่ม ดังนี้ ขนาดคละดีมีดินเม็ดละเอียดปนน้อยกว่า 12% (W) ขนาดคละไม่ดีมีดินเม็ดละเอียดปนน้อยกว่า 12% (P) มีดินเหนียวปนมากกว่า 12% (C) มีตะกอนทรายปนมากกว่า 12% (M) มีพิกัดความเหลวน้อยกว่า 50% (L) มีพิกัดความเหลวมากกว่า 50% (H)

ตารางที่ 2.2. แสดงความเหมาะสมของดินที่จะนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมตามการจำแนกประเภทของดินแบบ unified



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2. Unified Soil Classification

Major divisions	Group symbols	Typical names	Laboratory classification criteria	
Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size) Coarse-grained soils (More than half of coarse fraction is larger than No. 200 sieve size)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for GW	
	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines		
	GM	Silty gravels, gravel-sand mixtures	Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 Above "A" line with PI between 4 and 7 are border-line cases requiring use of dual symbols Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7	
	GC	Clayey gravels, gravel-sand mixtures		
	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for SW	
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines		
	SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 Limits plotting in hatched zone with PI between 4 and 7 are border-line cases requiring use of dual symbols Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7	
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures		
	Silts and clays (Liquid limit less than 50) Fine-grained soils (Liquid limit greater than 50)	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	
		CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
OL		Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
MH		Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts		
CH		Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
OH		Organic clays of medium to high plasticity, organic silts		
PI	Peat and other highly organic soils			

* Division of GM and SM groups into subdivisions of d and u are for roads and airfields only. Subdivision is based on Atterberg limits; suffix d used when LL is 28 or less and the PI is 6 or less; suffix u used when LL is greater than 28.
 † Borderline classifications, used for soils possessing characteristics of two groups, are designated by combinations of group symbols. For example: GW-GC, well-graded gravel-sand mixture with clay binder.

ที่มา : วัฒนา ชรรวมงคล วินิต ช่อวิเชียร (พ.ศ. 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 12 ปี การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. ความเหมาะสมของดินที่จะนำไปใช้งาน

การจำแนกประเภท		การใช้น้ำจืด	การไถนงาน ฐานราก รับแรงยกทาน	การไถนงานป้องกัน น้ำซึม	การไถนงาน ถนน ทำรั้วร่องท่อน ให้ผิวลาดยาง
กลุ่มดิน	คำอธิบาย				
GW	กรวดหรือกรวดผสมทราย มีหลายขนาดตะกอนที่มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	เสียบมาก ใช้ทำเขื่อนหรือทำนบตรงส่วนที่ให้น้ำซึมผ่านได้	ดี	ห้ามถนนลดความเร็วของน้ำซึม	ดี
GP	กรวดหรือกรวดผสมทราย ขนาดเดียวกัน มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	เสียบมาก ใช้ทำตัวเขื่อนหรือทำนบในส่วนที่ให้น้ำซึมผ่านได้	ดี	ห้ามถนนลดความเร็วของน้ำซึม	เลวหรือดี
GM	กรวดปนตะกอนทราย กรวดปนทรายและตะกอนทรายที่มีขนาดเดียวกัน	เสียบมาก ไม่ค่อยเหมาะ กับส่วนที่น้ำซึมได้ ใช้ทำกันดินน้ำซึม หรือลดอุณหภูมิ	ดี	ใช้สำหรับปลายนลาดเขื่อนด้านใต้ น้ำ บางครั้งไม่จำเป็น	พอใช้หรือดี
GC	กรวดปนดินเหนียว กรวด ทราย และดินเหนียว ปนตะกอน มีเม็ดขนาดเดียว	ค่อนข้างเสียบ ใช้ทำกันดินน้ำซึม	ดี	ไม่จำเป็น	ไม่ดี
SW	ทรายหลายขนาดตะกอน, ทรายปนกรวด มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	เสียบมาก ใช้ทำส่วนที่ให้น้ำซึมผ่านได้ แต่ต้องป้องกันความลาดของเขื่อน	ดี	ใช้ลดอุณหภูมิปลายเขื่อนด้านเหนือน้ำ และปลายนลาดเขื่อนด้านใต้ น้ำ	ไม่ดี
SP	ทรายที่มีขนาดเดียวกัน, ทรายปนกรวด มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	เสียบมาก ใช้สำหรับเขื่อนที่มีความลาดไม่มาก	ดีไม่ขึ้นกับความหนาแน่น	ใช้ลดอุณหภูมิปลายเขื่อนด้านเหนือน้ำ และปลายนลาดเขื่อนด้านใต้ น้ำ	ไม่ดีหรือไม่เหมาะสม
SM	ทรายปนตะกอนทราย ทรายปนตะกอนทรายที่มีขนาดเดียวกัน	ค่อนข้างเสียบ ไม่ค่อยเหมาะกับส่วนที่น้ำซึมได้ ใช้ทำกันดินน้ำซึม	ดีไม่ขึ้นกับความหนาแน่น	ใช้ลดอุณหภูมิปลายเขื่อนด้านเหนือน้ำ และปลายนลาดเขื่อนด้านใต้ น้ำ	ไม่ดี
SC	ทรายปนดินเหนียว ของผสมของทรายกับดินเหนียวมีขนาดเดียวกัน	ค่อนข้างเสียบ ใช้ทำกันดินสำหรับเขื่อนกันน้ำท่วม	อาจดีหรือเลว	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
ML	ตะกอนทรายอินทรีย์, ทรายละเอียดมาก, ดินเหนียว, ทรายละเอียดปนตะกอนทราย หรือดินเหนียวมีสภาพพลาสติกเล็กน้อย	เสียบภาพไม่ดี ใช้เป็นดินถมถ้าปรับได้ถูกต้อง	เดี๋ยวมาก อาจเกิดการเคลื่อนตัว	ใช้สำหรับปลายนลาดเขื่อนด้านใต้ น้ำ บางครั้งไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
CL	ดินเหนียวอินทรีย์ มีสภาพพลาสติกต่ำกว่าปกติ ดินเหนียวปนกรวดหรือปนทรายหรือปนตะกอนทราย, ดินเหนียวมีความหนืดเล็กน้อย	เสียบ, เหมาะสำหรับทำนบกันน้ำซึม	อาจดีหรือเลว	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
OL	ตะกอนทรายอินทรีย์ มีสภาพพลาสติกเล็กน้อยและดินเหนียวปนตะกอนทราย	ไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นดินถม	อาจดีหรือเลว อาจเกิดการทรุดตัวมาก	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
MH	ตะกอนทรายอินทรีย์, ดินเหนียวปนทรายหรือตะกอนทราย มีไม่มากหรือดินเบาผสม	ขาดเสถียรภาพ ใช้ทำกันดินโดยวิธีลดความชื้น ไม่เหมาะที่จะใช้รับรถบรรทุก	ต่ำ	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
CH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีสภาพพลาสติกมาก ดินเหนียวมีความหนืดสูง	ค่อนข้างเสียบสำหรับความลาดไม่มาก ใช้ทำกันเขื่อน	อาจดีหรือเลว	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
OH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีสภาพพลาสติกสูงกว่าปกติ, ตะกอนทราย อินทรีย์	ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นดินถม	ต่ำมาก	ไม่จำเป็น	ไม่เหมาะสม
Pt	คัลและดินอินทรีย์สูงอื่น ๆ	ไม่ใช้ในงานก่อสร้าง	เอาออกจากถิ่นฐานรากและไม่นำมาใช้		ไม่เหมาะสม

ที่มา : วัฒนา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร (พ.ศ. 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 13 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. การบดอัดดิน (Compaction) ASTM D 698-78

งานส่วนใหญ่ทางด้านวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน จะใช้ดินเป็นวัสดุถม (fill material) ทั้งสิ้น และส่วนใหญ่จะทำการบดอัดดินเพื่อให้ดินแน่นขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ 1. ช่วยลดการทรุดตัวของชั้นดินในระยะยาว (decrease future settlements) 2. เพิ่มความสามารถทางด้านกำลังของดิน (increase shear strength) ทำให้ดินรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น และ 3. ลดความชื้นน้ำของดิน (increase permeability) การบดอัดดินจะใช้ รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดดินแกะ (Sheep Foot Rollers) และรถบดชนิดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) เป็นต้น การควบคุมปริมาณการอัดตัวของดิน ในสนามเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงมีการทดลองการบดอัดดินในห้อง Lab เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมและเปรียบเทียบกับกรบดอัดดินในสนาม

2.6.1. พฤติกรรมของดินเมื่อถูกบดอัด

การบดอัดดินคือการทำให้เม็ดดิน (soil particles) ถูกบีบอัดให้เข้าใกล้กันมากที่สุด เป็นผลให้ลดปริมาณช่องอากาศ (air voids) ในมวลดิน โดยที่ปริมาณน้ำ (water content) ในมวลดินไม่ลดลงหรือลดลงน้อยมาก ในการบดอัดดิน เราไม่สามารถทำให้ช่องอากาศหมดไปจากมวลดินได้ แต่สามารถทำให้ช่องอากาศในปริมาณน้อยโดยใช้วิธีการและควบคุมการบดอัดอย่างดี

ในขณะที่มวลดินมีปริมาณความชื้น (moisture content) อยู่ต่ำ ในเม็ดดินจะมี film น้ำบาง ๆ (film of water) ล้อมรอบอยู่ เมื่อมวลดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น film น้ำจะหนาขึ้นมีผลทำให้เม็ดดิน silt ด้ระหว่งกันได้ดีขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “lubrication” มีผลอย่างมากในดินเม็ดละเอียด (fine-grained soils) ส่วนในดินเม็ดหยาบ (coarse particle) film น้ำนี้จะมีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจาก film น้ำมีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดดิน เมื่อเราทำการบดอัดดิน film น้ำ จะมีส่วนช่วยอย่างมากให้อุณหภูมิของดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน อากาศบางส่วนจะถูกแทนที่ หน่วยน้ำหนักของดินจะมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสูงสุด ๆ หนึ่งและทำการบดอัด ปริมาณอากาศส่วนใหญ่จะถูกไล่ออกจากมวลดิน ปริมาณช่องอากาศที่เหลืออยู่จะมีปริมาณน้อย เม็ดดินจะถูกอัดเข้าใกล้กันมากที่สุด หน่วยน้ำหนักดินจะมากที่สุด (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นในมวลดินขณะนี้เรียกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ,OMC) ถ้าเราเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นอีกจากจุดนี้ น้ำในมวลดินจะเป็นน้ำส่วนเกิน (excess water) ปริมาณน้ำที่มากเกินไปนี้จะทำให้เกิดแรงผลักรหว่างเม็ดดิน (soil particles) ขึ้น อากาศในมวลดินจะลดลงน้อยมากหรือไม่ลดลงเลย ปริมาณความชื้นในมวลดิน (Moisture Content) จะเพิ่มขึ้น

จากพฤติกรรมของดินดังกล่าว RR.Proctor (1993) ได้กำหนดวิธีการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความหนาแน่นของดินจากการบดอัดในห้องปฏิบัติการขึ้นมา ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Process Test) ซึ่งเหมาะกับการทดสอบดินในงานวิศวกรรมโยธาทั่วไป เช่น งานถนน สนามบิน เขื่อน ดิน ฯลฯ

2.6.2. อุปกรณ์

1. แบบอัดดิน (Compaction Mold) เส้นผ่านศูนย์กลาง 4" × 4.6" พร้อมปลอก (collar) และแผ่นฐาน (Base Plate) ตู้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2" หนัก 5.5lb ระยะเวลา 12"
2. แบบอัดดิน (Compaction Mold) เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว × 5 นิ้ว พร้อมปลอก (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plate) ตู้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 10 ปอนด์ ระยะเวลา 18 นิ้ว
3. ตะแกรงขนาดเบอร์ 4 และขนาด 3/4 นิ้ว
4. ค้อนยาง แปรงอ่อนใช้ปัดดิน
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge) ขนาด 30 ซม.
7. ถาดผสมดิน (Mixing Bottle)
8. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
9. กระบอกตวงน้ำ (Graduate Cylinder)
10. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
11. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

2.6.3. วิธีการทดลอง

2.6.3.1. การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบควรแห้งพอดี แต่ถ้าดินตัวอย่างชื้นเกินไปให้ผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 °F (60 °C) จากนั้นก็ใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออก หากเป็นพวกดิน

ลูกรังหรือกรวดพยายามอย่าทุบก้อนดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียดหรือใช้เครื่องมือบด

2. แบ่งตัวอย่างดิน โดยวิธี Quartering หรือแยกด้วยกลองแยกดินเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดิน
3. พิจารณานขนาดเม็ดดิน เพื่อเลือกตัวอย่างดินที่จะทดสอบกับ Mold คนละขนาดเนื่องจากไม่เป็นการเหมาะสมหากใช้ดินขนาดเม็ดใหญ่บดอัดใน Mold เล็ก ๆ การทดสอบการบดอัดด้วยวิธี Standard Proctor Test ต้องร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงมาทดสอบ
4. แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 5 kg. สำหรับทดสอบ
5. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (O.M.C.) ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.6.3.2. ขั้นตอนการทดสอบ

การบดอัดด้วยวิธี Standard Proctor Test มีดังนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ Mold ด้วยเวอร์เนียแล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรของ Mold
2. ชั่งน้ำหนักของ Mold ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ประกอบ Mold, collar และ base plate เข้าด้วยกัน แล้วนำไปวางบนพื้นคอนกรีตที่แข็งและเรียบ
4. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กิโลกรัม มาผสมน้ำให้มีความชื้นที่ต้องการ จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันพยายามให้ทุกส่วนในดินมีปริมาณชื้นเท่ากัน
5. ใช้ช้อนตักดินตักดินใส่ใน Mold ทีละชั้น โดยประมาณดินให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆกัน แล้วใช้ Rammer 5.5 lb บดอัดดินแต่ละชั้นๆละ 25 ครั้ง
6. นำเครื่อง TDR มาวัดค่า %water content แล้วบันทึกผล
7. ถอด collar ของ Mold ออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอบนขอบ Mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดด้านนอก Mold แล้วถอด base plate ออก นำ Mold บรรจูดินไปชั่งให้ละเอียด 0.1 กรัม
8. ดันตัวอย่างดินออกจาก Mold ด้วยเครื่องดันดินหรือกระแทกแรงๆ ด้วยตุ้ม นำตัวอย่างบริเวณกลางตัวอย่างอย่างน้อย 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น โดยการนำไปชั่งแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบ
9. นำค่าที่บันทึกทั้งหมดมาหาค่า %water content

2.7. ลักษณะของดิน

ความสำคัญของงานดินที่มีการศึกษาสัมพันธ์กับ TDR มี 3 ชนิดได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1. ดินบดอัด

งานส่วนใหญ่ทางด้านวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน จะใช้ดินเป็นวัสดุถม (fill material) ทั้งสิ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะทำการบดอัดดินเพื่อให้ดินแน่นขึ้น โดยมีจุดประสงค์หลัก 3 ประการคือ

1. ช่วยลดการทรุดตัวของชั้นดินในระยะยาว (Decrease Future Settlement)
2. เพิ่มความสามารถทางด้านกำลังของดิน (Increase Shear Strength) ทำให้ดินรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น
3. ลดความชื้นน้ำของดิน (Decrease Permeability)

การบดอัดดินจะใช้รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ (Sheep foot Rollers) และรถบดชนิดคันสะเทือน (Vibrating Rollers) เป็นต้น การควบคุมการอัดตัวของดินในสนามเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงมีการทดลองการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมและเปรียบเทียบกับการบดอัดดินในสนาม

ลักษณะของดินที่ถูกบดให้แน่นขึ้น โดยใช้เครื่องมือกล Mechanical Means หรือการใช้แรงกระแทกเพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้เกิดความหนาแน่น หรือหน่วยน้ำหนักของเม็ดดินสูงขึ้น ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำและการพังทลายของดินน้อยลง

สิ่งสำคัญประการหนึ่งของการบดอัดคือ จำนวนเที่ยวของการบดอัดและความหนาแน่นของชั้นดิน โดยทั่ว ๆ ไป ความหนาของชั้นดินจะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 12 นิ้ว ในบางครั้งอาจต้องมีการทดลองดูว่าการบดอัดที่เหมาะสมควรบดอัดกี่เที่ยว

ขั้นตอนการทดสอบทำได้ในห้องปฏิบัติการ มีหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่นิยมก็คือ วิธี Standard Proctor Test และวิธี Modified Proctor Test เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นแห้งของเม็ดดิน (Dry Density) ปริมาณน้ำในมวลดินทำให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดดินสูงสุด เรียกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content : O.M.C)

61374

2.7.2. ดินเกษตร

การศึกษาเนื้อดินด้านเกษตร ถือว่าเป็นเรื่องสำคัญไม่แพ้กัน เนื่องมาจากว่าประชากรส่วนใหญ่ในประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรมซึ่งเป็นรายได้หลักของประเทศ เนื่องมาจากสามารถประยุกต์ความรู้ที่ได้จากการทดสอบ เพื่อพัฒนาคุณภาพดินให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งดินเพื่อการเกษตรมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งแบ่งออกตามลักษณะของพืช ดังนี้

1. ดินนา (Flooded Soils, Submerged Soil , Paddy Soils) คือดินที่ใช้ประโยชน์สำหรับการปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ เป็นดินราบลุ่ม มีน้ำขัง มีการระบายน้ำไม่ค่อยดี และมีลักษณะเหนียว
2. ดินไร่ (Upland Soils) เป็นดินที่มีความหมายตรงข้ามกับดินนา เป็นดินที่ไม่มีน้ำขัง อยู่ที่ราบสูง หรือพื้นที่มีดอน มีลาดชัน บนผิวดินจะมีอินทรีย์วัตถุหนาประมาณ 0 - 2 เซนติเมตร

หากการศึกษาเรื่องเกี่ยวกับดินเกษตรทางด้านวิศวกรรมจะมีผลต่อประชากร เนื้อดินเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงอนุภาคของดิน ซึ่งดินอาจจะมีขนาดปานกลางหรือเนื้อดินที่ละเอียดแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคดิน เพราะว่าเนื้อดินนั้นเป็นการรวมถึงอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดิน ดังนั้นจึงทำให้มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช ในการพิจารณาถึงการจำแนกเนื้อดินว่ามีความหยาบละเอียดเพียงใดนั้น มีขั้นตอน และวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่ 2 ระบบ ซึ่งนั่นก็คือระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) กับระบบของสมาคมปฐพีศาสตร์นานาชาติ (ISSS) ดังตารางต่อไปนี้ ที่จะแบ่งออกให้เห็นอย่างกว้างๆถึงอนุภาคของดินทราย (Sand) อนุภาคของทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคของดินเหนียว (Clay) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอนุภาคของดินทรายจะมีขนาดใหญ่สุด ในขณะที่อนุภาคของดินเหนียวมีขนาดเล็กที่สุด

ตารางที่ 2.4. ขนาดของอนุภาคของดินในระบบ USDA และ ISSS (Soil Survey Staff 1975)

อนุภาคของดิน	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	
	USDA	ISSS
ทราย (Sand)	2.0 - 0.05	2.0 - 0.02
ทรายหยาบมาก (Very Coarse Sand)	2.0 - 1.0	-
ทรายหยาบ (Coarse Sand)	1.0 - 0.5	2.0 - 0.2
ทรายหยาบปานกลาง (Medium Sand)	0.5 - 0.25	2.0 - 0.2
ทรายละเอียด (Fine Sand)	0.25 - 0.10	0.2 - 0.02
ทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand)	0.1 - 0.05	-
ทรายแป้ง (Silt)	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
เหนียว (Clay)	0.002	

หมายเหตุ USDA = United State Department of Agriculture

ISSS = International Soil Science Society

ที่มา : เกษมศรี ชับซ้อน (พ.ศ. 2541)

แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์เนื้อเพื่อการเกษตรนั้น ที่นิยมใช้กันแพร่หลายก็คือวิธีการสัมผัส (feel method) ซึ่งอาศัยความรู้สึกและสายตาและประสาทที่ได้จากนิ้วมือกับดินที่มีความชื้นพอเหมาะ นำมาดูกับนิ้วมือก็พอบอกได้ว่าดินชนิดนี้เป็นดินชนิดใด เช่น เมื่อเกิดความรู้สึกหมายมือก็แสดงว่าดินนั้นเป็นดินที่ค่อนข้างหยาบ แต่ถ้าดินนั้นมีความรู้สึกเหนียวติดมือก็แสดงว่าดินนั้นค่อนข้างละเอียด ซึ่งการใช้ความรู้สึกบอก

ประเภทของดินนั้น ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่สูงมาก แต่สำหรับการวิเคราะห์เนื้อดินให้ได้ความถูกต้องที่แท้จริงก็คือการเก็บตัวอย่างของดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีก็คือ วิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer method) ซึ่งเป็นวิธีหาความหนาแน่นของสารที่สามารถแขวนลอยอยู่ในของเหลวได้โดยใช้เครื่องไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) เป็นตัววัดสารแขวนลอยนั้น นาย

เกษมศรี ชับซ้อน กล่าวว่าการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยความรู้สึกสัมผัสด้วยมือ และประสบการณ์การปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา มีขั้นตอนกว้างๆ ดังนี้

1. ใช้ดินประมาณ 3 - 5 กรัม หรือ 4 ชั้น โตะ ซึ่งสามารถปั้นเป็นก้อนทรงกลมได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว
2. ค่อยๆหยดน้ำลงไปบนดินจนทำให้ดินเหนียวและสามารถติดมือได้
3. ทำการปั้นดินด้วยนิ้วมือตามขั้นตอน และสามารถบอกระเภทเนื้อดินได้

2.7.3. ดินที่มีความลาดชัน

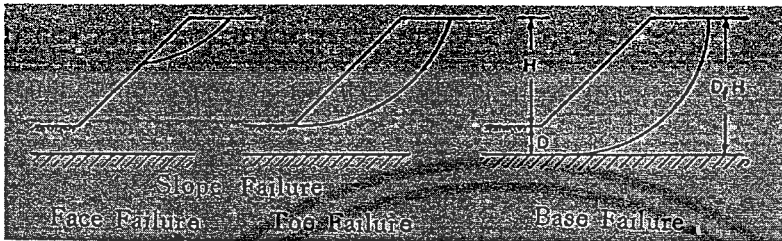
ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแผ่นดินลาดชันเป็นจำนวนมาก และประสบปัญหาการศึกษาเรื่องนี้จึงเป็นอีกเรื่องที่สำคัญอันเนื่องมาจาก หากเราสามารถวัดค่า %Water Content ของดินชนิดนี้ได้ก็จะสามารถช่วยลดปัญหาแผ่นดินถล่มได้เช่นกัน

แผ่นดินถล่ม (Land Slides) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการสึกกร่อนชนิดหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อบริเวณพื้นที่ที่เป็นเนินสูงหรือภูเขาที่มีความลาดชันมาก ตามปกติเมื่อของสิ่งใดอยู่ต่างระดับกัน ธรรมชาติย่อมปรับให้อยู่ในภาวะสมดุลเสมอ โดย นาย วัฒนา ธรรมมงคล และ นาย วินิต ช่อวิเชียร (พ.ศ. 2532) กล่าวในหนังสือปฐพีกลศาสตร์ว่า จะมีแรงเกิดขึ้นเพื่อดันให้ส่วนที่อยู่ในระดับเหนือกว่าไหลลงไปยังส่วนที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ฉะนั้น เมื่อดินอยู่ต่างระดับกัน ก็จะมีแรงกระทำให้ดินที่อยู่ระดับเหนือกว่าไหลหรือไหลไปสู่ระดับที่ต่ำกว่า แต่เนื่องจากภายในมวลดินเองก็มีแรงต้านทานต่อแรงกระทำนี้ ดังนั้นคราบไคที่แรงต้านทานมีค่ามากกว่าแรงที่กระทำ ดินก็จะไม่เลื่อนไหลหรือไหลลง แรงที่กระทำนี้ (เช่นแรงดึงดูดของโลก แรงที่เกิดจากการซึมของน้ำ) ซึ่งพยายามทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เรียกว่า disturbing force หรือ actuating force ส่วนแรงต้านทานต่อการเลื่อนไหล (เช่น แรงเสียดทาน แรงยึดเหนี่ยว และกำลังต้านแรงเฉือนของดิน) เรียกว่า resisting force

2.7.3.1. แบบของการพังทลาย (Types of Failures)

การพังทลายของดินที่มีความเอียงลาด เกิดขึ้นในลักษณะที่ดินเคลื่อนตัวเป็นแนวโค้ง (rotational slide) เนื่องจากโมเมนต์ของน้ำหนักของดินที่กระทำมีค่าสูงกว่าโมเมนต์ที่ได้จากแรงต้านทานของดินต่อการเลื่อนไหล ลักษณะการพังทลายมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ดังรูปที่ 2.6. คือ

1. Base Failure
2. Toe Failure
3. Slope or Face Failure



รูปที่ 2.6. Types of Failures (วัฒนา ชรรรมงคล วินิต ช่อวิเชียร พ.ศ. 2532)

ส่วนปลอดภัยของความลาด แบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ

1. ส่วนปลอดภัย F_u ซึ่งใช้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินหรือความสูงของความลาดเป็นหลัก โดยสมมุติว่าแรงเสียดทานเกิดขึ้นเต็มที่ก่อนมีการพังทลาย ดังนั้น F_u จึงเป็นอัตราส่วนของส่วนที่มีการยึดเหนี่ยวต่อส่วนที่จะทำให้เกิดความมั่นคง
2. ส่วนปลอดภัย F_s ซึ่งใช้กำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินเป็นหลัก ฉะนั้น F_s จึงเป็นอัตราส่วนของกำลังต้านทานต่อแรงเฉือนตามแนวหรือระนาบที่ดินพัง

ถ้าส่วนปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าใกล้จะถึงจุดอันตราย ที่ดินจะเริ่มเคลื่อนตัว ถ้าจะให้ดินทรงตัวอยู่ได้ ส่วนปลอดภัยต้องมีความมากกว่า 1 แต่ในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาความแตกต่างระหว่างสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณ รวมทั้งความผิดพลาดของค่าคงที่ที่ใช้กับค่าที่แท้จริงของชั้นดินด้วย ปกติใช้ $F \geq 1.20$

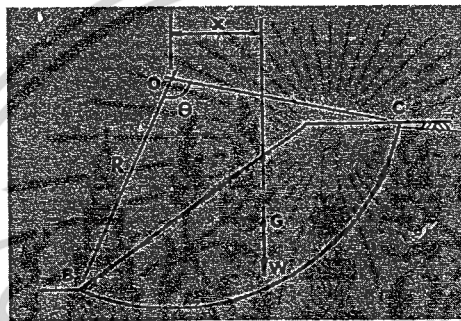
2.7.3.2. วิธีวิเคราะห์หาเสถียรภาพของความลาด

วิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ต่อไปนี้ทำโดยการเขียนรูปใช้กับดินประเภทต่าง ๆ โดยสมมุติว่าไม่มีความดันของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องและค่ากำลังต้านทานต่างๆ ของดินคิดแบบหน่วยแรงรวมและให้ดินเคลื่อนตัวพังทลายเป็นแนวโค้งของวงกลม

1. Circular Arc Method สำหรับดินที่มี $\phi = 0$
2. Slice Method สำหรับดินที่มี c และหรือ ϕ
3. ϕ -circle method หรือ friction circle method

2.7.3.3. Circular Arc Method

ใช้สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น ($\phi = 0$) เช่นดินเหนียว ในกรณีนี้ เสถียรภาพของความลาดซึ่งขึ้นอยู่กับค่ากำลังต้านทานของดินเหนียว (ที่อิ่มตัว) จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวของดินเหนียว



รูปที่ 2.7. Circular Arc Method (วัฒนา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร พ.ศ. 2532)

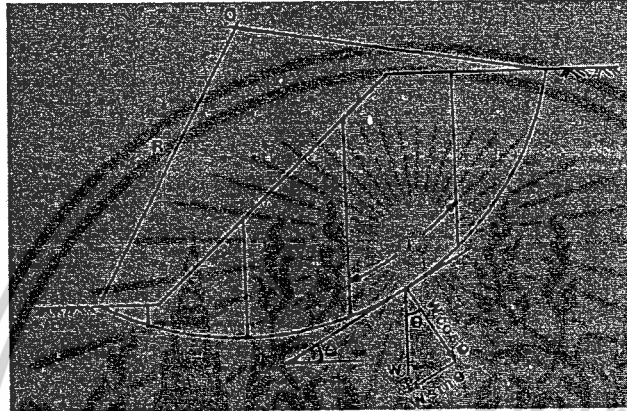
1. พิจารณาเลือกส่วนโค้งของวงกลม BC ซึ่งเป็นระนาบที่คิดว่าดินจะพังตามแนวนี้ โดยมี O เป็นจุดศูนย์กลาง รัศมีมีความโค้งเท่ากับ R
2. ให้ W เป็นน้ำหนักของดินที่จะพังลงมาตามแนว BC ซึ่งกระทำที่จุดศูนย์กลางของดินส่วนนี้ดังรูปที่ 2.7.
3. โมเมนต์รอบจุด O เนื่องจากน้ำหนักของดินที่จะพังลงมา $= Wx$
4. โมเมนต์ต้านทานรอบจุด O เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวตามแนว BC $= (c)(l)(R)$
5. ในเมื่อ c เป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของดิน และ l เป็นความยาวของส่วนโค้ง BC
6. เมื่อดินเริ่มพังทลาย

$$\begin{aligned}
 & \text{โมเมนต์ที่กระทำ} = \text{โมเมนต์ที่ต้านทาน} \\
 \text{ดังนั้น} & \quad Wx = cR \\
 \text{แทนค่า } l = \phi R \text{ จะได้} & \quad Wx = cR2\phi \\
 \text{ส่วนปลอดภัยของความลาด} & \quad F = \text{โมเมนต์ที่ต้านทาน} / \text{โมเมนต์ที่กระทำ} \\
 & \quad = \frac{cR2\phi}{Wx} \tag{2.10.}
 \end{aligned}$$

2.7.3.4. Slice Method

ใช้สำหรับดินประเภทที่มีแรงยึดเหนี่ยวและหรือแรงเสียดทาน

เลือกส่วนโค้งของวงกลมขึ้นมา แล้วแบ่งส่วนโค้งออกเป็นชั้นหรือส่วนเล็ก ๆ ตามแนวตั้งดังรูป 2.8 ให้มีความหนาเท่า ๆ กัน



รูปที่ 2.8. Slice Method (วิชา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร พ.ศ. 2532)

แตกแรงที่กระทำเนื่องจากน้ำหนักของดินที่จะพัง ตามแนวที่เลือกขึ้นมาออกเป็น 2 แนว ดังแสดงในรูป ให้ l เป็นความยาวของโค้งวงกลมของชั้นเล็ก ๆ ที่พิจารณาหาโมเมนต์รอบจุด O จะได้

$$\text{โมเมนต์ที่กระทำ} = (W \sin \theta)(R)$$

$$\text{โมเมนต์ที่ต้านทาน} = R \{cl + (W \cos \theta) \tan \phi\}$$

รวมโมเมนต์ของแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน แล้วคำนวณหาส่วนปลอดภัยของความลาด

$$F = \text{ผลรวมของโมเมนต์ที่ต้านทาน} / \text{ผลรวมของโมเมนต์ที่กระทำ}$$

$$= \frac{\sum cl + W \cos \theta \tan \phi}{\sum W \sin \theta} \quad (2.11.)$$

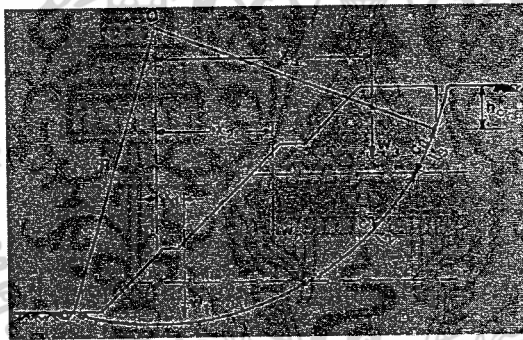
ส่วนโค้งของวงกลมที่ให้ค่าส่วนปลอดภัยน้อยที่สุด จะเป็นแนวที่ดินพังทลาย

2.7.3.5. θ _Circle Method

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ จะคิดมวลรวมดินที่จะพังทลายตามแนวโค้งทั้งหมดเป็นก้อนเดียว โดยที่

1. แรงกระทำได้จากน้ำหนักของมวลดินที่จะพังทลาย
2. แรงต้านทานได้จากแรงยึดเหนี่ยวตามแนวโค้งที่เลือก และจากแรงลัพธ์ของแรงปฏิกิริยาของดิน N

ในขณะที่ดินเริ่มพิบัติ สมมติว่าแรงปฏิกิริยา N_1, N_2, N_3, \dots เอียงทำมุม θ กับเส้นตั้งฉากกับเส้นสัมผัสส่วนโค้งของวงกลม ในเมื่อ θ เป็นมุมเสียดทานภายในของดิน ฉะนั้นเส้น OD ซึ่งลากจากจุด O ไปตั้งฉากกับแนวของแรง N_1, N_2, N_3, \dots จะมีค่าเท่ากับ $R \sin \theta$ เสมอ นั่นคือแนวของแรง N_1, N_2, N_3 , สัมผัสกับวงกลม (θ _Circle) ที่มีศูนย์กลางที่จุด O รัศมี $R \sin \theta$ ฉะนั้นแนวของแรงลัพธ์ N ก็จะสัมผัสกับวงกลมนี้ด้วย



รูปที่ 2.9. θ _Circle Method (วัฒนา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร พ.ศ. 2532)

ให้แรง C เป็นแรงลัพธ์ของแรงยึดเหนี่ยวของดินตามแนวโค้ง ABC โดยมีแนวของแรง C ขนานกับคอร์ด AC และห่างจากจุด O เป็นระยะ m ในที่นี้ $m = (R) (\text{ส่วนโค้ง} ABC) / (\text{คอร์ด} AC)$

ถ้า W เป็นน้ำหนักของส่วนที่พังทลาย กระทำที่จุดศูนย์กลาง ดังรูปที่ 2.9. และจากจุดตัดของแรง W กับแรง C ลากเส้นสัมผัสจากจุดนี้ไปยังวงกลม (θ _Circle) ที่กล่าว จะได้แรง N ซึ่งเป็นแรงลัพธ์ของแรงปฏิกิริยาที่ตั้งฉากกับแรงเสียดทานบนระนาบ AC เขียนสามเหลี่ยมของแรงโดยใช้น้ำหนัก W และแนวของ N และ C วัดหาค่า ตามมาตราส่วนที่ใช้ดังนี้

$$\text{หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง } c_1 = \frac{c}{AC} \quad (2.12.)$$

$$\text{ส่วนปลอดภัยของความลาด } F = \frac{c}{c_1} \quad (2.13.)$$

2.7.3.6. ประเภทของแผ่นดินถล่ม

แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนตัวได้ 3 ชนิด คือ

1. แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างแผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างช้าๆ เรียกว่า Creep เช่น Surficial Creep
2. แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วเรียกว่า Slide หรือ Flow เช่น Surficial Slide
3. แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างฉับพลัน เรียกว่า Rock Fall

แบ่งตามลักษณะของวัสดุที่ร่วงหล่นลงมาได้ 3 ชนิด คือ

1. แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของผิวน้ำดินของภูเขา
2. แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของวัสดุที่ยังไม่แข็งตัว
3. แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นหิน

2.7.3.7. แผ่นดินถล่มในประเทศไทย

แผ่นดินถล่มในประเทศไทย ส่วนใหญ่มักเกิดภายหลังฝนตกหนักมากบริเวณภูเขาซึ่งเป็นต้นน้ำลำธาร บริเวณตอนบนของประเทศ โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องมาจากพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนผ่านในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม ในขณะที่ภาคใต้จะเกิดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปัจจัยที่ส่งเสริมความรุนแรงของแผ่นดินถล่ม

1. ปริมาณฝนที่ตกบนภูเขา
2. ความลาดชันของภูเขา
3. ความสมบูรณ์ของป่าไม้
4. ลักษณะทางธรณีวิทยาของภูเขา

2.7.3.8. ลำดับเหตุการณ์ของการเกิดแผ่นดินถล่ม

เมื่อฝนตกหนักน้ำซึมลงไปดินอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ดิน อิ่มน้ำ แรงยึดเกาะระหว่างมวลดินจะลดลง ระดับน้ำใต้ผิวดินสูงขึ้นจะทำให้แรงต้านทานการเลื่อนไหล ของดินลดลง เมื่อน้ำใต้ผิวดินมีระดับสูงก็จะไหลภายในช่องว่างของดิน ลงตามความชันของลาดเขา เมื่อมีการเปลี่ยนความชัน ก็จะเกิดเป็นน้ำผุด และเป็นจุดแรกที่มีการเลื่อนไหลของดิน เมื่อเกิดดินเลื่อนไหลแล้วก็จะเกิดต่อเนื่องขึ้นไปตามลาดเขา

2.7.3.9. ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุของการเกิดแผ่นดินถล่ม

1. ลักษณะของดินที่เกิดจากการผุพังของหินบนลาดเขา
2. ลาดเขาที่มีความลาดชันมาก (มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์)
3. มีการเปลี่ยนแปลงสภาพป่า

หมายเหตุ จากปัจจัยที่สำคัญและได้ถูกกระตุ้นโดยปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักมาก เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดภัยพิบัติแผ่นดินถล่ม

2.8. การเตรียมการบรรเทาภัยสำหรับประชาชน

1. ให้คอยรับฟังข่าวพยากรณ์อากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อเตรียมการรับมือ
2. เปิดดูแผนที่และรายชื่อหมู่บ้านพื้นที่เสี่ยงภัยที่รับผิดชอบบน website กรมฯ (ระบบเตือนภัย) แล้วเข้าไปตรวจสอบตามรายชื่อหมู่บ้านดังกล่าว พร้อมแจ้งเตือนประชาชน
3. เมื่อเกิดฝนตกหนักให้เข้าไปยังหมู่บ้านที่มีปัญหาเพื่อสำรวจ และจัดทำรายงานผ่าน web (ระบบเตือนภัย) ต่อไป
4. ก่อนเกิดเหตุให้เจ้าหน้าที่ออกตรวจสอบพื้นที่เสี่ยงภัย และแจ้งเตือนประชาชนในหมู่บ้านเสี่ยงภัยให้ระวังตัว

2.9. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินไม่อิ่มตัว

2.9.1. บทบาทของดินไม่อิ่มตัวต่อความมั่นคงของลาดดิน

ลาดดินไหลเขา โดยเฉพาะมวลดินที่อยู่ส่วนบนเหนือกว่าระดับน้ำใต้ดินจะอยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัว ดังนั้น จะมีความดันน้ำที่เป็นลบ (Negative Pore Pressure) เนื่องแรงดึงดูดของความชื้นที่เกาะอยู่ระหว่างเม็ดดิน โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ซึ่งจะเป็นตัวการที่เพิ่มความแข็งแรงของดิน ดังนั้นจะสังเกตเห็นว่าลาดดินตัดใหม่จะยังมั่นคงอยู่ได้แม้จะมีความชันมากดังแสดงในรูปที่ 2 แต่เมื่อมีฝนตกหรือระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นความดันที่เป็นลบนี้อาจหายไปและอาจกลับเป็นความดันน้ำที่เป็นบวก (Positive Pore Pressure) ดังนั้นลาดดินดังกล่าวจะเกิดการพังทลายได้ในช่วงที่มีฝนตกหนักและความชื้นในมวลดินสูงขึ้น

Fredlund and Rahardjo (1993) ได้ตั้งเป็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของลาดดินธรรมชาติที่ไม่อิ่มตัวไว้ดังนี้

1. ความดันน้ำในมวลดินจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ในขณะที่ฝนตกเป็นระยะเวลานานๆและจะสามารถทำนายค่าความดันดังกล่าวได้อย่างไร
2. ตำแหน่งของผิวที่มีโอกาสพิบัติจะเปลี่ยนแปลงไปจากผลของฝนตกหรือไม่
3. ถ้าไม่นำความดันน้ำที่เป็นลบมาคิดจะมีผลต่อการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินหรือไม่
4. อัตราส่วนปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและฤดูกาลอย่างไร
5. จะมีการเคลื่อนตัวด้านข้างของลาดดินที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำหรือไม่

2.9.2. ทฤษฎีของหน่วยแรงประสิทธิผลของดินไม่อิ่มตัว

ตามทฤษฎีของหน่วยแรงประสิทธิผลของ Terzaghi (1943) กำลังรับแรงเฉือนของดินอิ่มตัวที่อยู่ใต้ระดับน้ำจะขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผลที่ส่งผ่านในเนื้อดินและความเหนียวของดิน

$$\tau = c + (\sigma + u) \tan \phi \quad (2.14.)$$

เมื่อ τ = Effective shear strength

c = Cohesion

σ = Total stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน²⁷เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

u = Pore pressure

θ = Angle of internal friction

ส่วนของชั้นดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (Vadose zone) จะประกอบทั้งดินอิ่มตัว (Capillary saturated zone) และดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated zone)

เมื่อพิจารณาความแข็งแรงประสิทธิผลของดินที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมวลดินก็จะประกอบด้วยเนื้อดิน (Solid) น้ำ (Water) อากาศ (Air) และผิวหนังที่กั้นระหว่างน้ำและอากาศ (Contractile skin) ดังนั้นแรงดันในโพรงระหว่างเม็ดดินจึงประกอบด้วยแรงดันของทั้งน้ำ (u_w) (u_a) ผสมอยู่ด้วยกัน Bishop (1959) เสนอสมการกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินไม่อิ่มตัวในรูปแบบเดียวกันของ Terzaghi ไว้ดังนี้

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \theta + (u_a - u_w) [x(\tan \theta)] \quad (2.15.)$$

เมื่อ τ = shear strength of unsaturated soil
 c' = effective cohesion
 θ = angle of frictional resistance
 $(\sigma - u_a)$ = net normal stress
 $(u_a - u_w)$ = matric suction
 x = a parameter dependent on the degree of saturation

ค่าของ x จะแปรผันตามความชื้นในดิน เมื่อดินอิ่มตัว $x = 1$ และดินแห้ง $x = 0$ ในขณะที่ Fredlund et al. (1978) เสนอความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนของดินเป็นเทอมที่เกี่ยวข้องกับความเหนียว แรงเสียดทาน net normal stress และแรงเสียดทานจาก matric suction เป็น

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \theta' + (u_a - u_w) \tan \theta^b \quad (2.16.)$$

เมื่อ $\tan \theta'$ = ความเสียดทานจาก net normal stress

$\tan \theta^b$ = ความเสียดทานจาก matric suction

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนและวิธีการทำงาน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1. ขั้นตอนและวิธีการทำงาน

รายการ	ระยะเวลา										
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1. เก็บรวบรวมข้อมูล											
1) การทำงานของเครื่องมือ											
ทฤษฎีการหาค่าต่าง ๆ											
ที่ใช้ในการวิเคราะห์											
2) ศึกษาการทดสอบด้วยวิธี											
Compaction Test											
แบบ Standard Procter test											
2. ทำการคัดเลือกชิ้นตัวอย่าง											
ให้อยู่ในเกณฑ์การทดสอบ											
3. ทำการทดสอบหาปริมาณน้ำในดิน											
1) หาค่าจากการทดลอง											
ตามมาตรฐาน ASTM											
2) หาค่าจากเครื่องมือ TDR											
4. นำผลการทดลองมาวิเคราะห์											
เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก											
Lab กับค่าที่ได้จากเครื่อง											
5. อภิปรายหา สรุปงาน และเขียนรายงาน											

3.1. ดินที่ใช้ในการทดสอบ

สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างของดินเพื่อทำการทดสอบ ผู้ศึกษาได้ค้นคว้าหาข้อมูล และคัดสุ่มชนิดของดินที่ใกล้เคียงที่สุดตามลักษณะของดินทั้ง 3 ลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นดินบดอัด ดินเกษตร ดินลาดชันเนื่องจากว่าการที่จะนำดินจากสถานที่จริงมาทำการทดสอบนั้นค่อนข้างลำบาก อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากหลักเกณฑ์ในการเลือกชนิดของดินค่อนข้างหลากหลาย เพราะการทำงานแต่ละพื้นที่นั้นจะใช้ดินต่างชนิดกัน สำหรับดินบดอัดที่นำมาใช้ในการทดสอบผู้ศึกษาได้คัดมาจากพื้นที่บริเวณลาดกระบัง ส่วนดินเกษตรผู้ศึกษาได้คัดเลือกชนิดของดินตามลักษณะของพืชที่จะศึกษา ซึ่งก็คือการศึกษาดินเหนียวที่ใช้ในการปลูกข้าว จากจังหวัดราชบุรี และชัยนาท และสุดท้ายสำหรับการศึกษาเรื่องความลาดชันของดิน ผู้ศึกษาเลือกใช้ดินที่มีผู้ทำการศึกษามาจากมหาวิทยาลัยเกษตร ศาสตร์ที่ได้ศึกษาไว้แล้วที่เขาแหลม จ. ภูเก็ต

3.2. ลักษณะของดินตัวอย่างที่จะทำการศึกษา

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทั่วไปทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของดิน (Engineering Properties of Soil) คือการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทั่วไปของดิน เพื่อหาค่า K และ ค่า % water content

1. ดินบดอัด เป็นดินที่เก็บตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง โดยการสุ่มเลือกชนิดที่ใกล้เคียงกับสถานที่จริงมากที่สุดเนื่องจากว่าการที่จะนำดินจากสถานที่จริงมาทำการทดสอบนั้นค่อนข้างลำบาก อันเนื่องมาจากหลักเกณฑ์ในการเลือกชนิดของดินค่อนข้างหลากหลาย เนื่องจากการทำงานแต่ละพื้นที่นั้นจะใช้ดินต่างชนิดกัน
2. ดินเกษตร ผู้ศึกษาได้คัดเลือกชนิดของดินตามลักษณะของพืชที่จะศึกษา ซึ่งก็คือการศึกษาดินเหนียวที่ใช้ในการปลูกข้าว เพราะข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากที่สุด หากน้ำในดินมีน้อยก็จะทำให้ต้นข้าวตายได้ ซึ่งแหล่งข้อมูลของดินคือที่ จ.ราชบุรี และ จ.ชัยนาท
3. ดินลาดชัน ผู้ศึกษาเลือกชนิดของดินที่จะทำการศึกษาเป็นที่มีขนาดความละเอียดใกล้เคียงกับผู้ที่ได้เคยทำการศึกษาที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทำการศึกษาไว้แล้วคือดินจากเขาแหลม จ.ภูเก็ต

3.3. วิธีการดำเนินการทดสอบ

3.3.1. วิธีการคัดเลือกตัวอย่าง

คัดเลือกดินตัวอย่างที่มีขนาดความละเอียดของดิน (Sieve Analysis) ใกล้เคียงกับข้อมูลของผู้ที่ได้ทำการศึกษามาจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งทำการสำรวจดินเพื่อมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ดินที่มีลักษณะเป็น SM

3.3.2. วิธีการทดสอบดินที่มีความลาดชัน

มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างของดินที่จะทำการทดสอบ ซึ่งดินที่จะนำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้ควรจะเป็นดินที่แห้งพอดี แต่ถ้าหากดินตัวอย่างชื้นเกินไปให้นำไปผึ่งในห้อง ปฏิบัติการ หรืออบในอุณหภูมิที่ไม่เกิน 140 °F (60 °C) จากนั้นก็ใช้ก้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออก และถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งดินให้แห้งแล้วทุบดินให้แตกละเอียด หรือใช้เครื่องบด
2. นำดินตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการทดลองมาหาขนาดความละเอียดของเม็ดดิน ด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดต่าง ๆ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้รวบรวมมาดังตารางภาคผนวก ก. เปรียบเทียบเพื่อดูลักษณะดินว่าใกล้เคียงกับที่ใช้งานจริงหรือไม่
3. จากนั้นก็ทำการทดสอบหาค่า K ได้ด้วยเครื่อง TDR ดังหัวข้อ 2.3.
4. เมื่อได้ค่า K เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็นำดินไปอบหาค่า %Water Content ในห้องปฏิบัติการ
5. นำค่า K และ %Water Content ที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์

3.3.3. วิธีการหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ,O.M.C.)

ทำการ Compaction ดินตัวอย่างที่จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 698-78 เพื่อหาความเหมาะสมของช่วงที่จะทำการทดสอบเครื่องมือ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.6.

3.3.4. วิธีการวัดและบันทึกผล

การวัดและบันทึกผลสามารถทำได้โดยสอดแท่งโลหะนำสัญญาณ (Wave Guide) ลงดินหรือบริเวณที่ต้องการจะวัดปริมาณน้ำในดิน จากนั้นเปิดเครื่องตรวจสอบสายเคเบิล คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งไปตามสายเคเบิล ผ่านแท่งโลหะนำสัญญาณ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ลักษณะของคลื่นจะสะท้อนกลับมายังเครื่องกำเนิดและแสดงบนจอ LCD จากลักษณะของคลื่นนี้เองที่เราสามารถนำไปค่าคงที่การนำไฟฟ้า (Electric Constant, K) ดังแสดงในรูป ค. และ นำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปแทนค่าในสมการที่ (2.8.)

3.4. วิธีการวิเคราะห์และสรุปผล

วิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาได้ เปรียบเทียบกับลักษณะการใช้งานจริงของเครื่องมือ ดูความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

สรุปผลจากการศึกษาลักษณะการใช้งานจริงของเครื่องมือ หาลักษณะงานที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องมือ



บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1. การออกแบบความยาวแท่งโลหะนำสัญญาณ

ทำการออกแบบความยาวแท่งโลหะนำสัญญาณจากความถี่ที่วงจรสามารถผลิตได้ โดยทำการ Trial and Error เพื่อให้ได้ค่าความยาวของแท่งโลหะนำสัญญาณที่เหมาะสมกับค่า K_u มากที่สุด

4.1.1. การทดลองครั้งที่ 1

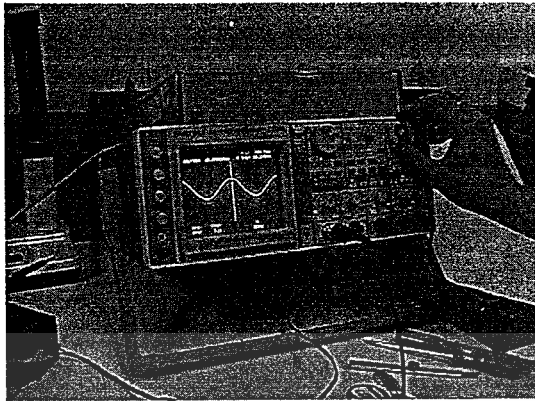
การทดลองเครื่องมือครั้งที่ 1 ใช้เครื่อง Oscilloscope ขนาด 300 MHz แบบดิจิทัลในการอ่านค่าความถี่คลื่น ทดสอบกับ Calibration cell ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 10 ซม. โดยใช้ความยาวแท่งโลหะนำสัญญาณเท่ากับ 9.5 เซนติเมตร ปรากฏว่าผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี และเมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาจุดบกพร่องของการทดลองพบว่าความผิดพลาดของการทดลองเกิดขึ้นเนื่องจากแผงวงจร Oscillator

เพราะฉะนั้น จึงได้ทำการออกแบบวงจร Oscillator ใหม่ เป็นวงจรเวอร์ชัน 2 โดยลดจำนวนตัวเก็บประจุซึ่งเป็นตัวที่สร้างคลื่นรบกวนสัญญาณที่ส่งออกจากแผงวงจร

4.1.2. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองเครื่องมือครั้งที่ 2 ใช้เครื่อง Oscilloscope ขนาด 100 MHz แบบอนาล็อกในการอ่านค่าความถี่คลื่น ทดสอบกับ Calibration cell ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร โดยใช้ความยาวแท่งโลหะนำสัญญาณเท่ากับ 25 เซนติเมตร ดังรูปได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1. เครื่องออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.2. Calibration cell และการเสียบ Probe ลงในดิน



รูปที่ 4.3. แผงวงจร TDR รุ่นลาดกระบังเนรมิต 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้³⁴เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. แสดงผลการทดลองเครื่อง TDR

การทดสอบชุด TDR รุ่นเนรมิต 1

การทดลองครั้งที่ 1

Des. K	v_p	Rods's l. (m)	f. (MHz)	wave l.	%w	K
24.59	6E+07	0.25	48.8	1.24	6.22	24.59
29.05	6E+07	0.25	41.3	1.35	9.31	29.06
38.00	5E+07	0.25	31.6	1.54	9.89	37.95
56.08	4E+07	0.25	21.4	1.87	16.37	56.07

การทดลองครั้งที่ 2

Des. K	v_p	Rods's l. (m)	req. (MHz)	wave l.	%w	K
28.00	6E+07	0.25	42.8	1.32	8.21	28.07
35.10	5E+07	0.25	34.2	1.48	9.52	35.08
45.30	4E+07	0.25	26.5	1.68	13.20	45.27
51.70	4E+07	0.25	23.2	1.80	14.86	51.75

การทดลองครั้งที่ 3

Des. K	v_p	Rods's l. (m)	req. (MHz)	wave l.	%w	K
25.25	6E+07	0.25	48.5	1.23	6.13	24.24
32.35	5E+07	0.25	37.1	1.42	9.12	32.34
38.45	5E+07	0.25	31.2	1.55	10.25	38.47
51.05	4E+07	0.25	23.5	1.79	15.55	51.08

การทดลองครั้งที่ 4

Des. K	v_p	Rods's l. (m)	req. (MHz)	wave l.	%w	K
28.25	6E+07	0.25	42.5	1.33	8.39	28.22
40.70	5E+07	0.25	29.5	1.59	10.10	40.66
52.00	4E+07	0.25	23.1	1.80	15.35	51.90
56.60	4E+07	0.25	21.2	1.88	17.23	56.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 35 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. คุณสมบัติด้านวิศวกรรมพื้นฐานของดิน

วิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลดินที่รวบรวมมาได้ ตามประเภทของดินดังนี้

4.2.1. ดินบดอัด

ข้อมูลที่ได้จากกองควบคุมการก่อสร้างกรุงเทพฯ เป็นข้อมูลดินที่ใช้ในงานบดอัดถนนคันทาง ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่า O.M.C. กับ Maximum Dry Density ซึ่งข้อมูลมีจำนวนมาก และมาจากหลากหลายที่ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า งานบดอัดแต่ละหน้างานมีลักษณะของดินที่หลากหลาย ยกแก่การ สร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่า K_u กับ %W ขึ้นมา เนื่องจากดินที่นำมาบดอัดที่ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันมีขนาดความละเอียดที่ต่างกันหรือใกล้เคียงกัน ลักษณะการนำไฟฟ้าของดินแต่ละชนิดก็ต่างกัน ดูได้จากปริมาณน้ำที่ทำให้ดินอัดแน่นที่สุดเมื่อถูกบดอัดยังมีค่าที่แตกต่างกัน ดังข้อมูลจากห้องปฏิบัติการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ตารางที่ ผ.ก.1. ถึง ผ.ก.3.)

4.2.2. ดินเกษตร

ชนิดของดินที่จะทำการศึกษาเป็นดินเหนียว ข้อมูลที่มีจะบอกถึงส่วนประกอบทางเคมีและทางกายภาพของดินเหนียว ส่วนที่จำเป็นต่อการศึกษาคือ ข้อมูลทางกายภาพ สำหรับหาอัตราส่วนความละเอียดของดินเพื่อนำมาใช้เป็นดินตัวอย่าง

4.2.3. ความลาดชันของดิน

ลักษณะของข้อมูลดินที่มีความลาดชัน แสดงขนาดละเอียดและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับความต้านทานแรงเฉือน เพื่อที่จะนำไปเป็นในการคัดเลือกตัวอย่างทดสอบตัวอย่างทดสอบต่อไป โดยที่เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความต้านทานแรงเฉือนในดินจะมีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบเครื่องมือ

5.1. การทำงานของ TDR รุ่นเนรมิต 1

5.1.1. การกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำในดินของ TDR รุ่นเนรมิต 1 อยู่ในช่วงความถี่ 0 - 100 MHz. โดยชุดวงจรกำเนิดคลื่นใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง 3 - 12 V. และกินกระแสเพียง 1.5 mA.

5.1.2. การส่งสัญญาณและการตรวจวัด

การส่งคลื่นสัญญาณลงในดินผ่านทางสาย coaxial เชื่อมต่อกับแท่งโลหะนำสัญญาณขนาด 25 เซนติเมตร และใช้โพรบตรวจจับการสะท้อนกลับของคลื่น โดยอ่านค่าความถี่ของคลื่นด้วยออสซิลโลสโคปขนาด 100 MHz.

ผลจากการทดสอบ TDR รุ่นเนรมิต 1 ค่าที่ได้มีความละเอียดน้อยเนื่องจากออสซิลโลสโคปที่ใช้มีค่าความละเอียดต่ำ การส่งและรับสัญญาณสะท้อนกลับมีการรบกวนสูงเนื่องจากวงจรกำเนิดคลื่นเป็นอยู่ในชุดการทดลองที่ใช้แผงวงจรเนกประสงค์ การเชื่อมต่อระหว่างสายนำสัญญาณและแท่งโลหะนำสัญญาณไม่ดีพอ อีกทั้งช่วงคลื่นที่ใช้ในการทดสอบสามารถถูกรบกวนได้โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ในอากาศ เช่น คลื่นวิทยุ FM คลื่นโทรทัศน์ในช่วง VHF ซึ่งเป็นเรื่องที่ตรวจสอบได้ยาก การจะพัฒนาให้เครื่องมือทำงานได้โดยได้รับการรบกวนจากคลื่นภายนอกน้อยที่สุดจำเป็นต้องเพิ่มความถี่ของสัญญาณ แต่ในปัจจุบันออสซิลโลสโคปที่ใช้วัดสัญญาณที่นำเข้าไปใช้งานในประเทศไทยไม่สามารถที่จะอ่านค่าคลื่นความถี่ที่มีความถี่สูงได้ จำเป็นต้องสั่งนำเข้าเป็นพิเศษและเป็นเงินจำนวนมาก ซึ่งการพัฒนาในขั้นต่อไปจะได้ทำการแก้ไขปัญหาในจุดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- มณเฑียร กังศศิเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 9. สมาคมศิษย์เก่ากรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สง่า ตั้งชวาล, 2535. ธรณีวิศวกรรมขั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษมศรี ชับซ็อน, 2541. ปฐพีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. นานาส์พิมพ์.
- สุพจน์ ศรีนิล แหลมทอง เหล่าคงถาวร ชลธิ เร่บ้านเกาะ, 2544. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์.
- ผศ. ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์. งานวิจัยเรื่อง การหาปริมาณความชื้นของดินโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สรวุฑ จริตงาม. กลศาสตร์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชานเมืองการพิมพ์.
- A.C. WALTHAM BSc, DIC, PhD. FOUNDATIONS OF ENGINEERING Geology. First Edition, 1994. Blackie Academic & Professional. New York.
- ผศ. แหลมทอง เหล่าคงถาวร. ข้อมูลการทดสอบดินบดอัด.
- กองควบคุมการก่อสร้าง. ข้อมูลการทดสอบดินบดอัด.
- วัฒนา ธรรมมงคล วินิต ช่อวิเชียร. ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 6.
- วรากร ไม้เรียง นงลักษณ์ ไทยเลียมอารีย์. ความแข็งแรงของดินอ่อนไม่อิ่มตัวเพื่อการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขา.



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.1. ข้อมูลดินบดอัด

ทรายถม					
Sieve No.	W. Sieve (g.)	W. Sieve+Soil (g.)	Soil (g.)	Cum. Retain (%)	Percent Finer (%)
4	508.38	515.04	6.66	1.03	98.97
8	700.22	768.15	67.93	10.50	88.47
16	655.59	841.44	185.85	28.71	59.76
30	599.64	735.9	136.26	21.05	38.71
50	573.15	687.81	114.66	17.72	20.99
100	523.09	608.67	85.58	13.22	7.77
200	509.36	552.24	42.88	6.63	1.15
PAN	374.81	382.23	7.42	1.15	0.00
			647.24	100.00	

หาขนาดความคละจากดินบดอัด ปริมาณ 647.24 กรัม

Soil Classification : SP

ทรายถม 1					
Sieve No.	W. Sieve (g.)	W. Sieve+Soil (g.)	Soil (g.)	Cum. Retain (%)	Percent Finer (%)
4	745.99	745.99	0	0	100
8	699.33	705.37	6.04	1.208	98.792
16	610.95	687.85	76.9	15.38	83.412
30	599.04	750.29	151.25	30.25	53.162
50	560.01	691.32	131.31	26.262	26.9
100	525.49	597.14	71.65	14.33	12.57
200	507.24	537.32	30.08	6.016	6.554
PAN	384.03	416.8	32.77	6.554	0
			500	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขนาดความคละจากดินบดอัด ปริมาณ 500 กรัม

Soil Classification : SP

ทรายถม 2					
Sieve No.	W. Sieve (g.)	W. Sieve+Soil (g.)	Soil (g.)	Cum. Retain (%)	Percent Finer (%)
4	745.99	745.99	0	0	100
8	699.33	700.1	0.77	0.154	99.846
16	610.95	663.74	52.79	10.558	89.288
30	599.04	804.29	205.25	41.05	48.238
50	560.01	761.59	201.58	40.316	7.922
100	525.49	545.26	19.77	3.954	3.968
200	507.24	516.52	9.28	1.856	2.112
PAN	384.03	394.59	10.56	2.112	0
			500	100	

หาขนาดความคละจากดินบดอัด ปริมาณ 647.24 กรัม

Soil Classification : SP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้^{พ.ก.3}ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.2. การหาค่า O.M.C จากตัวอย่างดินบดอัด 3 ชนิด

การหาค่า O.M.C ของทราย 1

we mold	comp soil	mold v.	gram mar sat	w soil	d soil	we.water	we contai.	1+w	water content	%w	max Dry den
2035	4110	948.86	2.19	130.9	126.6	4.3	24.6	1.04	0.042	4.22	2.10
2035	4180	948.86	2.26	148.2	143.5	4.7	24.7	1.04	0.040	3.96	2.17
2035	4295	948.86	2.38	167.9	160.2	7.7	24.5	1.06	0.057	5.67	2.25
2035	4260	948.86	2.34	163.5	154.5	9	24.8	1.07	0.069	6.94	2.19
2035	4145	948.86	2.22	187.5	174.9	12.6	24.7	1.08	0.084	8.39	2.05

ความหนาแน่นสูงสุด 2.25 g/cm³

O.M.C 5.90%

การหาค่า O.M.C ของทรายถม

we mold	comp soil	mold v.	gram mar sat	w soil	d soil	we.water	we contai.	1+w	water content	%w	max Dry dens.
2045	3873	948.8	1.93	137.49	132.9	4.54	9.44	1.04	0.037	3.68	1.86
2045	4130	948.8	2.20	128.1	119.7	8.36	9.41	1.08	0.076	7.58	2.04
2045	4140	948.8	2.21	124.56	114.1	10.45	9.41	1.10	0.100	9.98	2.01
2045	4100	948.8	2.17	148.35	132.4	15.93	9.37	1.13	0.129	12.9	1.92
2045	4030	948.8	2.09	166.11	144.8	21.28	9.44	1.16	0.157	15.7	1.81

ความหนาแน่นสูงสุด 2.05 g/cm³

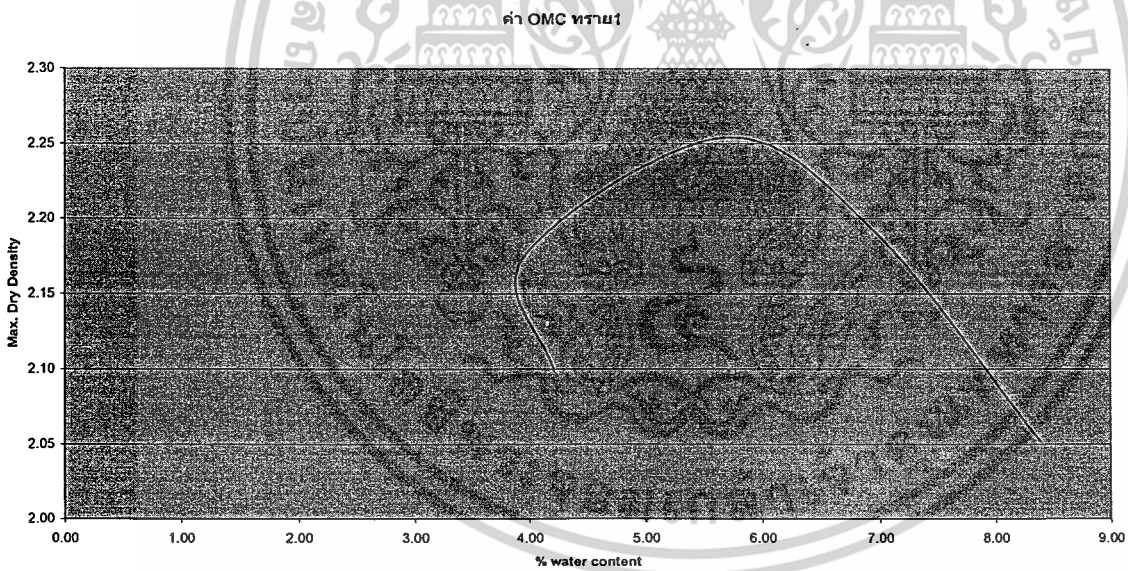
O.M.C 8.20%

การหาค่า O.M.C ของทราย 2

We mold	comp soil	mold v.	gram mar sat	w soil	d soil	we. water	we contai.	l+w	water content	%w	max Dry den
2035	3750	948.86	1.81	148	141.8	6.2	24.4	1.05	0.053	5.28	1.72
2035	3805	948.86	1.87	166.4	157	9.4	24.3	1.07	0.071	7.08	1.74
2035	3865	948.86	1.93	173.6	160.9	12.7	24.6	1.09	0.093	9.32	1.76
2035	3900	948.86	1.97	178.5	162.8	15.7	24.5	1.11	0.114	11.35	1.77
2035	3810	948.86	1.87	180.5	162.4	18.1	25	1.13	0.132	13.17	1.65

ความหนาแน่นสูงสุด 1.768 g/cm³

O.M.C 10.20%

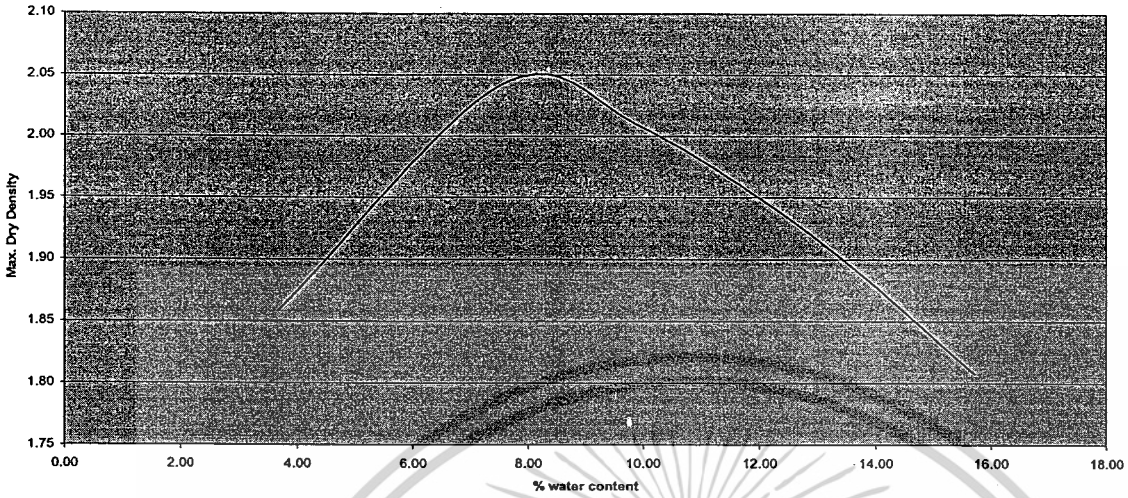


ความหนาแน่นสูงสุด 2.25 g/cm³

O.M.C 5.90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

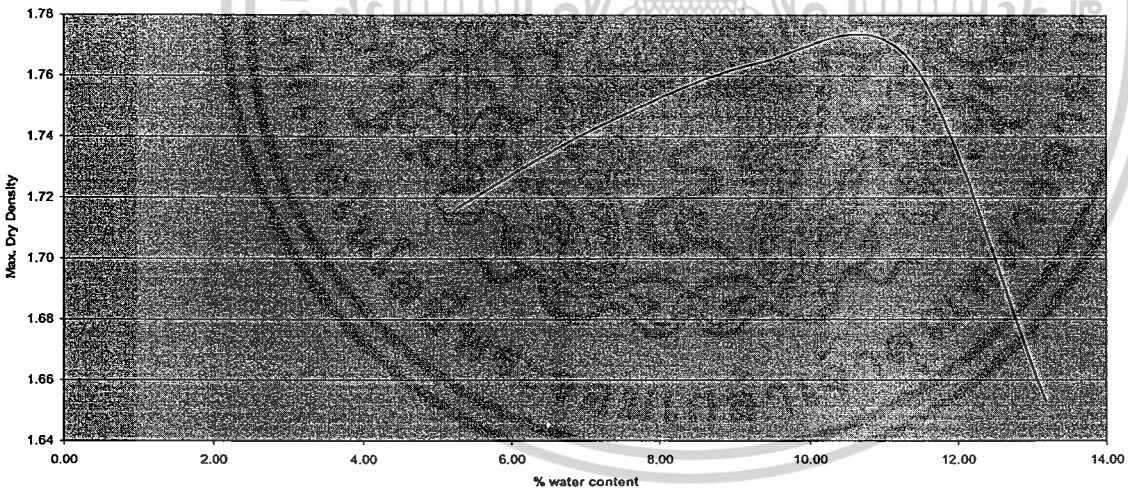
ค่า OMC ทราบณ



ความหนาแน่นสูงสุด 2.05 g/cm³

O.M.C 8.20%

ค่า OMC ทราบณ



ความหนาแน่นสูงสุด 1.768 g/cm³

O.M.C 10.20%

รูปที่ ผ.ก.1. กราฟแสดงผลข้อมูลทรายบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.3. ข้อมูลดินเกษตร

ข้อมูลดินเกษตร										
Soil series	PH+	EC+	CEC	Ca+Mg	Na	ESP	OM+	Sand	Silt	Clay
		(mmhos cm-1)	---	(cmol kg- 1)---	---	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Rajburi	4.9	0.87	20.3	15.8	0.63	3.1	-	14.8	26.8	584
Rajburi	6.9	0.33	20.3	17.2	0.5	2.5	1.4	8	31.8	602
Chainat	6.6	0.5	15.9	12.1	1.7	10.7	1.2	36.3	19.7	440
Chainat	6.8	0.27	21	16.3	0.7	3.3	1.7	39.5	27.9	326

ตารางที่ ผ.ก.4. ข้อมูลของดินลาดชั้น

แบ่งชั้นดินสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงของดิน							
Location	Depth (m)	USCS	γ (t/m^3)	Gs	Atterberg's Limits		
					LL	PL	PI
KML01	0 - 1.50	ML	1.800	2.612	47.04	31.59	15.44
KML02	1.50 - 8.00	SM	1.779	2.607	Non Plastic		
PT01	0 - 2.20	SM	1.653	2.646	35.69	29.28	6.40
PT02	2.20 - 8.00	SM	1.667	2.638	31.75	28.60	3.15

ตารางที่ ผ.ก.5. ผลการทดสอบกำลังรับแรงของดิน

ผลการทดสอบกำลังรับแรงของดิน แบบ Multi-stage Direct Shear ที่ระดับความอึ้มตัวต่าง ๆ												
% Sr	30		40		50		60		70		80	
Location	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ
KML01					1.300	50.03			0.986	43.96	0.227	31.46
KML02	1.600	29.35	1.080	40.72			0.542	32.70			0.425	34.27
PT01	1.079	13.64	0.608	33.91	0.346	33.96	0.201	34.38	0.154	35.20	0.046	36.94
PT02	0.404	33.36			0.289	35.07					0.157	36.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.6. คุณสมบัติของดินตัวอย่างเชิงวิศวกรรม

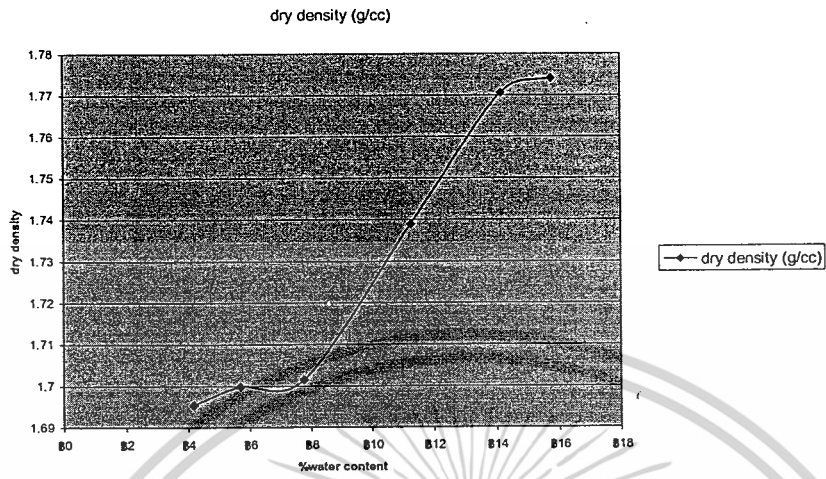
ทรายถมจากร้านพิซิตฯ รับของวันที่ 30 มีนาคม 2548 เวลา 15:00 น.				
ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง+น้ำหนักดิน(g)	น้ำหนักดิน (g)	% คงค้าง
4	383.89	385.43	1.54	0.155948
8	760.52	794.32	33.8	3.42275
16	691.8	774.4	82.6	8.364472
30	640.15	770.21	130.06	13.1705
50	604.75	870.04	265.29	26.86454
#100	560.45	917.92	357.47	36.19913
#200	513.51	622.78	109.27	11.0652
pan	506.14	513.62	7.48	0.757461
			987.51	

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 1.7 เมื่อจำแนกด้วยวิธี Unified Soil Classification พบว่า ดินทรายที่นำมาทำการทดสอบ จัดเป็นดินทรายประเภท SP หรือ SW เนื่องจากขนาดผลมีดินเม็ดละเอียดปนน้อยกว่า 12%

ตารางที่ ผ.ภ.7. การทดสอบหาค่า O.M.C ของทราย (SP)

Compaction Test (SP)						
	2	3	4	5	6	7
Density						
weight mold+compacted soil (g.)	3629	3659	3696	3797	3883	3915
weight mold (g.)	1870	1870	1870	1870	1870	1870
weight compaction soil (g.)	1759	1789	1826	1927	2013	2045
wet density (g/cc)	1.766	1.7965	1.8337	1.9351	2.021	2.054
dry density (g/cc)	1.70	1.70	1.70	1.74	1.77	1.77
Water Content						
Contaniner Number	G1-2	G1-3	G1-4	1	27	11
Weight of container+wet soil (g.)	66.35	60.03	99.79	72.06	74.37	65.22
weight of container+dry soil (g.)	64.49	57.74	94.33	66.75	67.51	58.71
weight of water (W_w)(g.)	1.86	2.29	5.46	5.31	6.86	6.51
weight of cotainer (g.)	20.06	17.5	24.1	19.7	19.1	17.4
weight of drysoil (W_s) (g.)	44.43	40.24	70.23	47.05	48.41	41.31
Water Content	4.19	5.69	7.77	11.29	14.17	15.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.2. กราฟการทดสอบทรายถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1. ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 0-10%

ชื่อบริษัท บริษัท ชีโน-ไทยเอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

โครงการ โครงการก่อสร้างปรับปรุงถนนรามคำแหง (สุขาภิบาล 3) ฯ

โครงสร้างทางชั้น คันทาง
ชนิดของวัสดุ ทรายถม (ทรายบก)
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.25 t/m³
วันที่ทดสอบ 26/3/2544
O.M.C. 7.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	7.20	7.30	7.30	7.20	7.20	7.30	7.30
DRY DENSITY (PCF)	128.50	128.50	128.30	128.50	128.50	128.40	128.40
PERCENT COMPACTION	96.10	96.00	95.90	96.00	96.00	96.00	96.00
TEST NO.	8	9	10	11	12	13	
MOISTURE CONTENT (%)	7.20	7.10	7.20	7.10	7.10	7.30	
DRY DENSITY (PCF)	128.50	128.60	128.50	128.60	128.70	128.40	
PERCENT COMPACTION	96.00	96.10	96.00	96.10	96.20	95.90	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น คันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราชม (ทรายบก)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.25 t/m³
 วันที่ทดสอบ 29/3/2544
 O.M.C. 7.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	7.30	7.20	7.30	7.20	7.10	7.10	7.20
DRY DENSITY (PCF)	128.40	128.40	128.40	128.50	128.70	128.70	128.50
PERCENT COMPACTION	96.00	96.00	96.00	96.00	96.20	96.20	96.10
TEST NO.	8	9	10	11	12	13	
MOISTURE CONTENT (%)	7.30	7.20	10.00	7.20	7.20	7.30	
DRY DENSITY (PCF)	128.60	128.40	128.10	128.60	128.60	128.40	
PERCENT COMPACTION	96.10	96.00	95.70	96.10	96.10	96.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น คัมทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม (ทรายบก)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.25 t/m³
 วันที่ทดสอบ 30/3/2544
 O.M.C. 7.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	7.20	7.10	7.10	7.30	7.20	7.30	7.30
DRY DENSITY (PCF)	128.50	128.60	128.70	128.40	128.50	128.30	128.50
PERCENT COMPACTION	96.00	96.10	96.20	96.00	96.00	95.90	96.10
TEST NO.	8	9	10	11	12	13	14
MOISTURE CONTENT (%)	7.20	7.10	7.30	7.30	7.20	7.20	7.30
DRY DENSITY (PCF)	128.40	128.70	128.40	128.40	128.60	128.50	128.40
PERCENT COMPACTION	96.00	96.20	96.00	95.90	96.10	96.00	96.00

พช4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบริษัท บริษัท เสริมสวางก่อสร้าง จำกัด

โครงการ ถนนรามคำแหง-ศรีนครินทร์ (ผ่านซอยรามคำแหง 24)

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมข้างท่อระบายน้ำ
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.94 t/m^3
วันที่ทดสอบ 22/2/2544
O.M.C. 9.80%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.10	9.30
DRY DENSITY (PCF)	111.70	110.60
PERCENT COMPACTION	97.10	96.20

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมข้างท่อระบายน้ำ
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.94 t/m^3
วันที่ทดสอบ 22/2/2544
O.M.C. 9.80%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.00	9.10
DRY DENSITY (PCF)	110.60	110.20	110.90
PERCENT COMPACTION	96.20	95.80	96.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.2. ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 10-11%

ชื่อบริษัท บริษัท เสริมสวงก่อสร้าง จำกัด

โครงการ ถนนรามคำแหง-ศรีนครินทร์ (ผ่านซอยรามคำแหง 24)

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมกันทาง

ชนิดของวัสดุ ทราย

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.90 t/m³

วันที่ทดสอบ 20/2/2544

O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.30	9.50	9.50
DRY DENSITY (PCF)	112.50	111.50	111.30	112.40
PERCENT COMPACTION	99.60	98.60	98.50	99.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.90 t/m³
 วันที่ทดสอบ 22/2/2544
 O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	9.20
DRY DENSITY (PCF)	110.00	109.80
PERCENT COMPACTION	97.30	97.20

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.90 t/m³
 วันที่ทดสอบ 23/2/2544
 O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.00	9.10
DRY DENSITY (PCF)	110.90	110.00
PERCENT COMPACTION	98.10	97.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราชมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราชม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.90 t/m³
 วันที่ทดสอบ 24/2/2544
 O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	9.10	10.00	9.50	9.20	8.80	9.00	9.50
DRY DENSITY (PCF)	110.30	108.30	109.50	109.90	110.40	109.20	109.50
PERCENT COMPACTION	97.60	95.80	96.90	97.30	97.70	96.60	96.90

โครงสร้างทางชั้น ทราชมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราชม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.90 t/m³
 วันที่ทดสอบ 26/2/2544
 O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	9.10
DRY DENSITY (PCF)	109.30	109.80
PERCENT COMPACTION	96.70	97.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบริษัท บริษัท เสริมสวงนก่อสร้าง จำกัด

โครงการ ถนนรามคำแหง-ศรีนครินทร์ (ผ่านซอยรามคำแหง 24)

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมข้างท่อระบายน้ำ
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.94 t/m³
วันที่ทดสอบ 27/2/2544
O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.00
DRY DENSITY (PCF)	108.90	110.30
PERCENT COMPACTION	96.40	97.60

โครงสร้างทางชั้น ทรายถมข้างท่อระบายน้ำ
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.94 t/m³
วันที่ทดสอบ 26/3/2544
O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.00	9.70
DRY DENSITY (PCF)	109.80	109.30	109.50
PERCENT COMPACTION	97.20	96.80	96.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราयถมข้างท่อระบายน้ำ
 ชนิดของวัสดุ ทราย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.94 t/m³
 วันที่ทดสอบ 27/3/2544
 O.M.C. 11.00%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.10	9.20
DRY DENSITY (PCF)	110.00	109.70
PERCENT COMPACTION	97.30	97.10

ชื่อบริษัท บริษัท ซีโน-ไทยเอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

โครงการ โครงการก่อสร้างปรับปรุงถนนรามคำแหง (สุขาภิบาล 3) ฯ

โครงสร้างทางชั้น คันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม (ทรายแม่น้ำ)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.92 t/m³
 วันที่ทดสอบ 2/3/2544
 O.M.C. 10.50%

TEST NO.	1	2	3	4	5
MOISTURE CONTENT (%)	9.30	9.20	9.20	9.60	9.10
DRY DENSITY (PCF)	109.70	109.90	109.70	109.50	109.90
PERCENT COMPACTION	96.00	96.10	96.00	95.80	96.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST NO.	6	7	8	9	10
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.30	9.20	9.20	9.10
DRY DENSITY (PCF)	109.70	109.70	109.80	109.70	110.00
PERCENT COMPACTION	96.00	96.00	96.10	96.00	96.20

โครงสร้างทางชั้น

ทรายข้างท้อ

ชนิดของวัสดุ

ทรายถม (ทรายแม่น้ำ)

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด

1.88 t/m³

วันที่ทดสอบ

2/3/2544

O.M.C.

10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	8.90	8.80	8.80	8.80
DRY DENSITY (PCF)	112.50	112.40	112.60	112.70	112.40
PERCENT COMPACTION	96.20	96.10	96.20	96.30	96.10
TEST NO.	6	7	8	9	10
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	9.00	9.00	9.00	8.90
DRY DENSITY (PCF)	112.50	112.30	112.30	112.40	112.60
PERCENT COMPACTION	96.20	95.90	96.00	96.00	96.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราบข้างต่อ
 ชนิดของวัสดุ ทราบถม (ทราบแม่น้ำ)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 6/3/2544
 O.M.C. 10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
MOISTURE CONTENT (%)	8.80	8.90	8.80	8.70	8.80	8.90	8.90	8.70
DRY DENSITY (PCF)	113.00	112.80	112.30	113.00	112.40	112.80	112.20	112.50
PERCENT COMPACTION	96.60	96.50	96.00	96.60	96.10	96.40	95.90	96.10

ชื่อบริษัท บริษัท ซีโน-ไทยเอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน)

โครงการ โครงการก่อสร้างปรับปรุงถนนรามคำแหง (สุขาภิบาล 3) ฯ

โครงสร้างทางชั้น คั่นทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราบถม (ทราบแม่น้ำ)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 26/3/2544
 O.M.C. 10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5
MOISTURE CONTENT (%)	8.80	8.90	8.80	8.80	8.90
DRY DENSITY (PCF)	112.30	112.30	112.40	112.50	112.30
PERCENT COMPACTION	96.00	96.00	96.10	96.10	96.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST NO.	6	7	8	9	10
MOISTURE CONTENT (%)	8.80	8.80	8.90	8.80	8.80
DRY DENSITY (PCF)	112.40	112.40	112.40	112.30	112.50
PERCENT COMPACTION	96.10	96.10	96.10	96.00	96.10

โครงสร้างทางชั้น

คันทาง

ชนิดของวัสดุ

ทรายถม (ทรายแม่น้ำ)

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด

1.88 t/m³

วันที่ทดสอบ

27/3/2544

O.M.C.

10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5
MOISTURE CONTENT (%)	8.80	8.80	8.90	8.90	8.80
DRY DENSITY (PCF)	112.30	112.40	112.30	112.20	112.40
PERCENT COMPACTION	96.00	96.00	96.00	95.90	96.10
TEST NO.	6	7	8	9	10
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	8.80	8.80	8.90	8.90
DRY DENSITY (PCF)	112.30	112.50	112.40	112.40	112.30
PERCENT COMPACTION	96.00	96.10	96.10	96.00	96.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น คั่นทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม (ทรายแม่น้ำ)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 30/3/2544
 O.M.C. 10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	8.70	8.80	8.70	8.90	8.70	8.90	8.80
DRY DENSITY (PCF)	112.60	112.40	112.60	112.30	112.60	112.50	112.60
PERCENT COMPACTION	96.20	96.00	96.30	96.00	96.30	96.10	96.20

โครงสร้างทางชั้น คั่นทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม (ทรายแม่น้ำ)
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 31/3/2544
 O.M.C. 10.80%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6	7
MOISTURE CONTENT (%)	8.70	8.70	8.80	8.70	8.90	8.90	8.80
DRY DENSITY (PCF)	112.40	112.40	112.30	112.50	112.30	112.40	112.30
PERCENT COMPACTION	96.10	96.10	96.00	96.20	96.00	96.10	96.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อบริษัท ห้างฯ อุดมศิลป์สการ

โครงการ ถนนจันทบูรเบกษาจากถนนพหลโยธินถึงถนนเลียบคลองสอง

โครงสร้างทางชั้น ดินเดิมทางเท้า

ชนิดของวัสดุ ทราบ+หิน+ดิน

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.02 t/m³

วันที่ทดสอบ 5/3/2544

O.M.C. 10.70%

TEST NO.	1	2	3	4	5
MOISTURE CONTENT (%)	9.10	8.50	8.70	8.00	8.60
DRY DENSITY (PCF)	115.70	114.60	115.20	114.30	114.90
PERCENT COMPACTION	96.40	95.50	96.00	95.20	95.80
TEST NO.	6	7	8	9	
MOISTURE CONTENT (%)	9.00	8.30	8.60	7.90	
DRY DENSITY (PCF)	115.40	114.50	115.00	114.10	
PERCENT COMPACTION	96.20	95.40	95.80	95.10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พข15

ตารางที่ ผ.ข.3 ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 11-12%

ชื่อบริษัท บริษัท เสริมสงวนก่อสร้าง จำกัด

โครงการ ถนนรามคำแหง-ศรีนครินทร์ (ผ่านซอยรามคำแหง 24)

โครงสร้างทางชั้น ทราียมข้างท่อระบายน้ำ

ชนิดของวัสดุ ทราียม

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³

วันที่ทดสอบ 24/2/2544

O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	8.90	9.50	9.30
DRY DENSITY (PCF)	111.90	112.60	111.70
PERCENT COMPACTION	96.00	96.70	95.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราয়ถมข้างท่อระบายน้ำ
 ชนิดของวัสดุ ทราয়
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
 วันที่ทดสอบ 26/2/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.20
DRY DENSITY (PCF)	111.70	112.80
PERCENT COMPACTION	95.90	96.80

โครงสร้างทางชั้น ทราয়ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราয়
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
 วันที่ทดสอบ 27/2/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3	4	5	6
MOISTURE CONTENT (%)	9.00	9.10	8.90	9.20	9.20	9.60
DRY DENSITY (PCF)	111.80	112.50	111.10	112.50	111.70	112.10
PERCENT COMPACTION	96.00	96.60	95.40	96.60	95.80	96.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราชมข้างท่อระบายน้ำ
 ชนิดของวัสดุ ทราย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
 วันที่ทดสอบ 26/3/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	9.40	9.40	9.30
DRY DENSITY (PCF)	111.30	111.60	112.60
PERCENT COMPACTION	95.60	95.80	96.60

โครงสร้างทางชั้น ทราชมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.902355 t/m³
 วันที่ทดสอบ 27/3/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	8.90	9.30	9.40
DRY DENSITY (PCF)	111.80	113.00	113.40	111.40
PERCENT COMPACTION	96.00	97.00	97.40	95.70

ชื่อบริษัท บริษัท เสริมสงวนก่อสร้าง จำกัด

โครงการ ถนนรามคำแหง-ศรีนครินทร์ (ผ่านซอยรามคำแหง 24)

โครงสร้างทางชั้น ทรายมคันทาง
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
วันที่ทดสอบ 27/3/2544
O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	9.60	9.60	9.20
DRY DENSITY (PCF)	111.10	112.20	111.80
PERCENT COMPACTION	95.40	96.30	95.90

โครงสร้างทางชั้น ทรายมข้างท่อระบายน้ำ
ชนิดของวัสดุ ทราย
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
วันที่ทดสอบ 27/3/2544
O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	9.60	9.50
DRY DENSITY (PCF)	111.20	112.40
PERCENT COMPACTION	95.40	96.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ทราวมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทราวย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
 วันที่ทดสอบ 30/3/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	9.20	9.00	9.00
DRY DENSITY (PCF)	112.40	111.60	112.80
PERCENT COMPACTION	96.50	95.80	96.80

โครงสร้างทางชั้น ทราวมข้างที่ระบายน้ำ
 ชนิดของวัสดุ ทราวย
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.96 t/m³
 วันที่ทดสอบ 30/3/2544
 O.M.C. 11.20%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	9.50	9.40	9.00	9.00
DRY DENSITY (PCF)	111.30	112.20	112.50	112.80
PERCENT COMPACTION	95.50	96.30	96.60	96.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ^{พ.ร.บ. 20}ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.4 ข้อมูลดินบดอัด O.M.C 12-15%

ชื่อบริษัท บริษัท ยูนิคเอ็นจิเนียริงแอนด์คอนสตรัคชั่น จำกัด , หจก.นภาก่อสร้าง
โครงการ ก่อสร้างปรับปรุงถนนรามคำแหง-พัฒนาการ(ผ่านซอยถาวรวิรัช 1)

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
ชนิดของวัสดุ ทรายถม
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
วันที่ทดสอบ 30/3/2544
O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2
MOISTURE CONTENT (%)	11.20	11.50
DRY DENSITY (PCF)	107.00	106.80
PERCENT COMPACTION	95.80	95.60

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 31/3/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	11.50	11.10	11.30
DRY DENSITY (PCF)	107.10	106.70	106.90
PERCENT COMPACTION	95.90	95.50	95.70

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 2/4/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	11.50	11.10	11.30
DRY DENSITY (PCF)	107.30	106.60	106.90
PERCENT COMPACTION	96.00	95.40	95.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 3/4/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	11.00	11.40	11.30	11.30
DRY DENSITY (PCF)	107.00	107.40	107.90	107.20
PERCENT COMPACTION	95.80	96.20	96.60	96.00

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 5/4/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	11.40	11.70	11.60	11.40
DRY DENSITY (PCF)	106.50	107.00	106.70	106.40
PERCENT COMPACTION	95.30	95.80	95.50	95.20

ชื่อบริษัท บริษัท ยูนิคเอ็นจิเนียริ่งแอนด์คอนสตรัคชั่น จำกัด , หจก.นภาก่อสร้าง
 โครงการ ก่อสร้างปรับปรุงถนนรามคำแหง-พัฒนาการ(ผ่านซอยถาวรวิรัช 1)

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 6/4/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3
MOISTURE CONTENT (%)	11.30	109.00	11.10
DRY DENSITY (PCF)	107.70	106.70	107.20
PERCENT COMPACTION	96.40	95.60	95.90

โครงสร้างทางชั้น ถมคันทาง
 ชนิดของวัสดุ ทรายถม
 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 1.88 t/m³
 วันที่ทดสอบ 7/4/2544
 O.M.C. 14.30%

TEST NO.	1	2	3	4
MOISTURE CONTENT (%)	10.30	10.70	10.20	10.50
DRY DENSITY (PCF)	107.00	107.70	106.70	107.40
PERCENT COMPACTION	95.80	96.40	95.50	96.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้