

การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ประกอบการเรียนการสอน

Soil Mechanics Laboratory



โดย
นายพลศิริ วรรณศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42359
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil Mechanics Laboratory Movie



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

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ประกอบการเรียนการสอน Soil Mechanics

Laboratory

นักศึกษา นายพลศิริ วรรษศ รหัสประจำตัว 39014360

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

ลายมือชื่อ

อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

อ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์

อ.อุบะ ศิริแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ประกอบการเรียนการสอน Soil Mechanics Laboratory

นักศึกษา นายพลศิริ วรรณศ รหัส 39014360

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

พ.ศ. 2542

บทคัดย่อ

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติดินในด้านต่าง ๆ เป็นเรื่องยากและต้องอาศัยประสบการณ์การทำงาน ซึ่งการศึกษาจากหนังสือและตำราเรียนต้องใช้เวลานานในการทำ ความเข้าใจ เนื่องจากได้รับรู้เพียงแค่ภาพนิ่งและตัวอักษรเท่านั้น หากมีสื่อการเรียนการสอนที่ประกอบไปด้วยเสียง ภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวก็จะช่วยให้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติดินได้ ชัดเจนและรวดเร็วยิ่งขึ้น

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ข้อมูล ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติดินจัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Macromedia Flash 4.0 มีการนำเสนอข้อมูลโดยใช้ภาพ เสียง และมัลติมีเดียเข้ามาประกอบการนำเสนอในรูปแบบของโปรแกรมสำเร็จรูป สามารถนำมาใช้เป็น แหล่งค้นคว้าหาข้อมูลและใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับนักเรียน นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจ โดยที่ โปรแกรมนี้มีรูปแบบการใช้งานง่ายและสามารถทำการโต้ตอบกับผู้ใช้งาน ซึ่งในโปรแกรมได้มีการ รวบรวมข้อมูลและจัดแบ่งหมวดหมู่เป็นหัวข้อต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : SOIL MECHANICS LABORATORY MOVIE
Name : MR.PONSIRI VORAYOS
Field : CONSTRUCTION ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Advisor : MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

ABSTRACT

Comprehension in Soil property testing is difficult and needs working experience. Studying from books spends a lot of time to make clearly understanding because we get only pictures and text. Studying media with sounds, pictures and animation will help us make more quickly and clearly understanding in testing methodology and data analysis.

The objective of this project is to be the distribution channel of the information, knowledge and in sight about Soil Mechanics Laboratory . This project is setup by using Macromedia Flash 4.0 and presents the information by pictures, sounds, and multimedias. We wish this project can be used as knowledge base and learning Soil Mechanics Laboratory for students or interested people. This program is easy to use and user-interactive.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ คุณความดีขอมอบให้แก่บุคคลผู้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนแนะนำ
ในด้านต่างๆต่อผู้จัดทำดังนี้

อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษา และให้คำชี้แนะและให้ข้อมูล
เพื่อนๆภาคโยธาที่รวบรวมข้อมูลมาจากบริษัทต่างๆ

ตลอดจนเพื่อนๆห้อง 6 และเพื่อนที่ภาควิชาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และที่
ขาดเสียมิได้คือบุพการีผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอวนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ซ
	สารบัญภาพ	ญ
1	บทนำ	
	1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
	1.2. ทฤษฎีและความเป็นมาของโครงการ	1
	1.3. ขอบเขตของโครงการ	1
	1.4. เหตุที่จัดทำโครงการ	2
	1.5. เนื้อหาของโครงการโดยสังเขป	2
	1.5.1. ด้าน Soil Mechanics Laboratory	2
	1.5.2. ด้าน Program Computer	2
	1.6. ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
	1.7. วางรูปแบบการนำเสนอ	4
	1.8. ผลที่จะได้รับเมื่อโครงการเสร็จสมบูรณ์	5
	1.9. ความเป็นไปได้ของการจัดทำโครงการ	5
	1.9.1. วิธีการและขั้นตอนการทำงาน	5
	1.9.2. แหล่งข้อมูลต่างๆ	5
	1.9.3. งบประมาณ	5
	1.9.4. ปัญหาด้านอื่นๆ	6

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	การจัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์	
	2.1. ความหมายของสื่อการเรียนการสอน	7
	2.2. การพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์	7
	2.3. ความหมายของสื่อการสอน CAI	8
	2.4. รูปแบบของสื่อการสอน CAI	8
	2.5. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว	10
3	การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน Soil Mechanics Laboratory	
	3.1. การศึกษาระบบการเรียนการสอนในปัจจุบันและการกำหนดแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน	13
	3.1.1. ขั้นตอนในการศึกษา	13
	3.1.2. การศึกษาและวิเคราะห์สื่อการเรียนการสอนที่มีในปัจจุบัน	14
	3.1.2.1. วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์	14
	3.1.2.2. วิธีการวิเคราะห์	16
	3.1.3. สรุปแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน	17
	3.2. การพิจารณาเลือกใช้โปรแกรม	18
	3.3. วางแผนและจัดทำสื่อการเรียนการสอนด้วยโปรแกรมที่เลือก	20
4	สถาปัตยกรรมของโปรแกรม Soil Mechanics Laboratory	
	4.1. การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม	22
	4.2. การออกแบบฟังก์ชันต่าง ๆ ของโปรแกรม	24
5	สรุปผลงาน	
	5.1. สรุปผลงาน	26
	5.2. ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข	27

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	28
	ภาคผนวก	
	การสำรวจชั้นดินเบื้องต้น (Soil Exploration)	29
	ATTERBERG'S LIMITS	37
	ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)	43
	การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIZE ANALYSIS)	47
	การจำแนกดินทางวิศวกรรม	56
	การบดอัดดิน (COMPACTION)	62
	แคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซ (CBR)	67
	การหาความแน่นของดินในสนาม (Field Density Test)	74
	ความซึมน้ำของดิน (Soil Permeability Test)	80
	Direct Shear Test	86
	Unconfined Compression Test	91
	Triaxial Test	97
	Consolidation Test	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
1.1.	แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน	4
3.1.	แสดงขั้นตอนการจัดทำสื่ออิเล็กทรอนิกส์	21
4.1.	แสดงหน้าจอหลัก	22
4.2.	แสดงหน้าจอย่อย	23
ผ-1	แสดงรูปส่วนมือสำหรับเจาะสำรวจดิน	32
ผ-2	แสดงการเจาะเก็บตัวอย่างดินในระดับดินด้วยส่วนมือ	34
ผ-3	แสดง เครื่องเจาะแบบมาตรฐาน	35
ผ-4	แสดงเครื่องเจาะแบบหมุน	35
ผ-5	แสดงเครื่องเจาะแบบไฮดรอลิก	36
ผ-6	แสดงเครื่องมือเจาะหาค่า Liquid Limit	38
ผ-7	แสดงเครื่องมือ Shrinkage Limit	39
ผ-8	แสดงกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน	48
ผ-9	แสดงการตกตะกอนของเม็ดดิน	51
ผ-10	แสดงอุปกรณ์ไฮโดรมิเตอร์	53
ผ-11	แสดงแบบหล่อดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.586 นิ้ว	63
ผ-12	แสดงรูปก้อนบดอัด ขนาด 5.5 ปอนด์ ระยะตก 12 นิ้ว	64
ผ-13	แสดงอุปกรณ์ทดสอบ CBR	69
ผ-14	แสดงเครื่องกดตัวอย่าง	70
ผ-15	แสดงเครื่องมือทดสอบความหนาแน่นในสนาม	76
ผ-16	แสดงการทดสอบความชื้นน้ำโดยวิธีความดันคงที่	82
ผ-17	แสดงการทดสอบความชื้นน้ำโดยวิธีความดันเปลี่ยน	83
ผ-18	แสดงแผงเครื่องมือทดสอบการซึมผ่าน	84
ผ-19	แสดงการเคลื่อนตัวและแรงต้านทาน	86
ผ-20	แสดงเครื่องมือใช้ทดสอบ Direct Shear Test	88
ผ-21	แสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test	92

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
ผ-22	แสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test	92
ผ-23	แสดงรูป Triaxial Cell	98
ผ-24	แสดง Consolidation Process	105
ผ-25	แสดง Consolidation Apparatus	106
ผ-26	แสดงที่บรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว สูง 0.75 นิ้ว	106



บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการประกอบการเรียนการสอนเกี่ยวกับการทดสอบทางด้าน Soil Mechanics Laboratory
2. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทางด้าน Soil Mechanics Laboratory
3. ยกระดับการเรียนการสอนในส่วนของ Soil Mechanics Laboratory ให้มีมาตรฐานที่ดี

1.2 ทฤษฎีและความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อบุคคลในวงการต่างๆ ในวงการศึกษาก็เช่นกัน มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยประกอบการเรียนการสอน แต่ก็ยังขาดการพัฒนาและเผยแพร่

ดังนั้นทางกลุ่มของผู้จัดทำ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้พัฒนาสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และในที่นี่จะมุ่งเน้นทางด้าน Soil Mechanics Laboratory

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการทดสอบและวิธีการใช้เครื่องทดสอบทาง Soil Mechanics Laboratory โดยทำการศึกษาอย่างละเอียด

1.4 เหตุที่จัดทำโครงการ

1. เพื่อยกระดับการเรียนการสอนในปัจจุบันให้มีมาตรฐานและมีความทันสมัยมากขึ้น
2. เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและสร้างภาพดึงดูดในการเรียนการสอนมากขึ้น เนื่องจากการสอนในห้องเรียนโดยอาจารย์เป็นผู้สอนนั้น บางครั้งนักศึกษาอาจเกิดความเบื่อหน่ายได้
3. เพื่อประหยัดเวลาในการเรียนการสอน เนื่องจากการเรียนทางคอมพิวเตอร์สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ไม่เย็นช่อ
4. เพื่อความสะดวก เนื่องจากสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง ทั้งนี้หากเกิดความไม่เข้าใจขึ้นก็สามารถนำแผ่น Disk นั้นไปศึกษาและทบทวนได้ด้วยตนเอง

1.5 เนื้อหาของโครงการโดยสังเขป

5.1 ด้าน Soil Mechanics Laboratory โดยการทดลองที่สนใจจะนำเสนอ ได้แก่

- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)
- การหาขนาดเม็ดดิน(GRAIN SIZE ANALYSIS)
- แคลิฟอร์เนียเบริงเรโซ(California Bearing Ratio : CBR)
- การหาความแน่นของดินในสนาม(Field Density Test) เป็นต้น

สำหรับในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบต่างๆ ทางภาควิชาได้จัดเตรียมไว้

ให้เรียบร้อยแล้ว

5.2 ด้าน Program Computer ที่ใช้ในการสอน คือ

- Macromedia Flash 4.0
- เนื่องจาก Macromedia Flash 4.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำ Animation เราจึงสามารถที่จะนำโปรแกรมดังกล่าว มาใช้ในการนำเสนอข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับ Soil Mechanics Laboratory ได้ โดยข้อมูลดังกล่าว นั้น จะถูกนำเสนอออกทางหน้าจอ Computer อย่างเป็นลำดับตามที่เราได้จัดทำไว้ นอกจากนี้

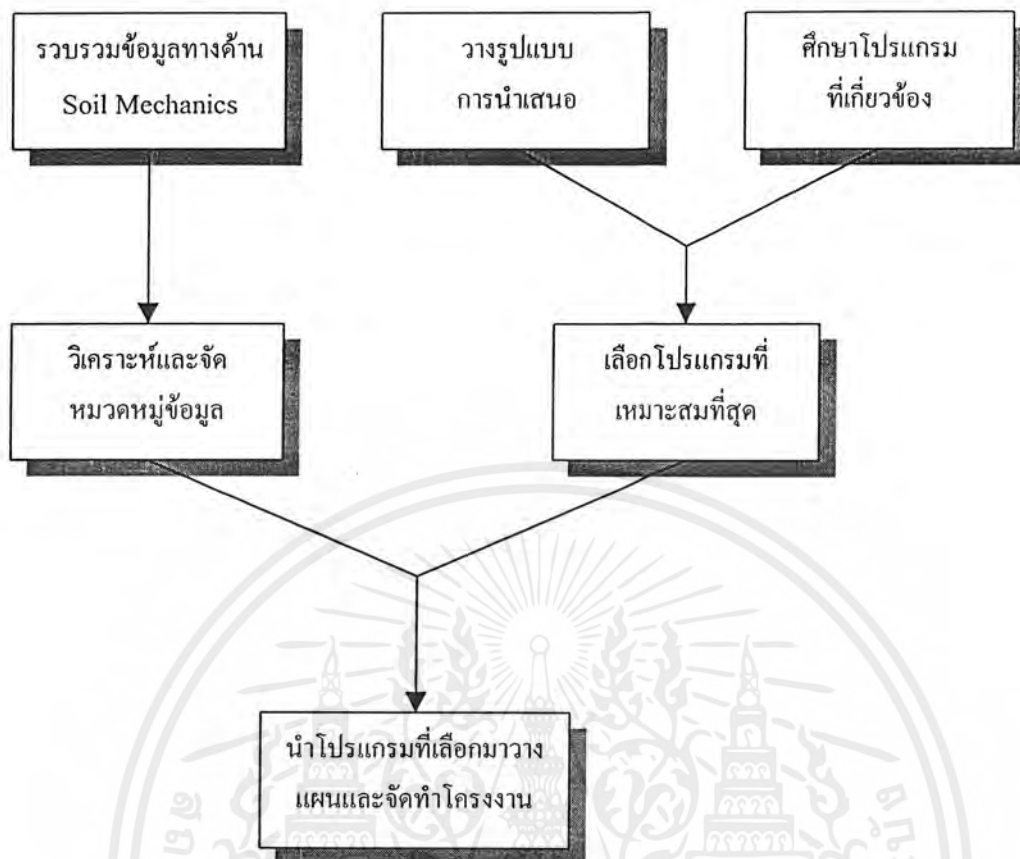
Macromedia Flash 4.0 ยังเป็นโปรแกรมที่มี Option และลูกเล่นต่างๆ มากมาย เช่น การบันทึกเสียง การสร้างภาพ Animation ให้สามารถเคลื่อนไหวได้ เป็นต้น

และที่สำคัญ โปรแกรม Macromedia Flash 4.0 เป็นโปรแกรมที่เรียนรู้และนำมาใช้งานได้ง่าย เมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่นๆ แล่นี่จึงเป็นเหตุผลที่เลือกใช้โปรแกรม Macromedia Flash 4.0

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนหลักๆ ดังรูปที่ 1.1

1. รวบรวมข้อมูลทางด้าน Soil Mechanics Laboratory
2. วิเคราะห์และจัดหมวดหมู่ของข้อมูล
3. วางรูปแบบการนำเสนอ
4. ศึกษาโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง
5. เลือกโปรแกรมที่เหมาะสมที่สุด
6. นำโปรแกรมที่เลือกมาทำการวางแผนและจัดทำโครงงาน



รูป 1.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน

1.7วางรูปแบบการนำเสนอ

รูปแบบหน้าจอนำเสนอ ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- น่าสนใจและสวยงาม
- เป็นสัดส่วน
- ควรมีรูปภาพประกอบข้อความ
- มีรูปแบบการใช้งานง่าย และมีฟังก์ชันต่างๆอย่างเพียงพอ

1.8 ผลที่จะได้รับเมื่อโครงการเสร็จสมบูรณ์

1. ลดปัญหาต่างๆ ในการเรียนการสอนที่มีผลมาจากข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในห้องเรียน
2. เป็นประโยชน์ต่อภาควิชาเป็นอย่างมาก เนื่องจากวิชา Soil Mechanics Laboratory เป็นวิชาที่นักศึกษาชั้นปีที่ 3 ต้องเรียน และยังเป็นวิชาบังคับ กว. อีกด้วยซึ่งจะทำให้มาตรฐานการเรียนการสอนของภาควิชาทันสมัยมากยิ่งขึ้น

1.9 ความเป็นไปได้ของการจัดทำโครงการ

9.1 วิธีการและขั้นตอนการทำงาน

คิดว่าไม่มีปัญหามากนัก เนื่องจาก ขั้นตอนการทำงานและวิธีการใช้เครื่องทดสอบต่างๆ ตลอดจนการเขียนข้อมูลลงในโปรแกรม Computer เพื่อนำเสนอนั้น เป็นสิ่งที่สามารถศึกษากันได้ และคิดว่าคงไม่ยากจนเกินไป

9.2 แหล่งข้อมูลต่างๆ

จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการจากแผนผังที่ผ่านมา คิดว่าไม่มีปัญหามากนักที่จะหาได้ครบตามที่กล่าวมา ซึ่งในส่วนของการออกดูสถานที่จริงและการขอเอกสารประกอบจากหน่วยงานของรัฐและเอกชนคิดว่าคงได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานนั้นๆ เป็นอย่างดี

9.3 งบประมาณ

จากโครงการที่กล่าวมา คิดว่าค่าใช้จ่ายต่างๆ นั้นไม่สูงมากนัก เนื่องจากเครื่องทดสอบต่างๆ ตลอดจนเครื่อง Computer นั้นทางภาควิชา ก็จัดเตรียมไว้ให้พร้อมหมดแล้ว นอกจากนี้ในส่วนของตำราและหนังสือต่างๆ ทางอาจารย์ที่ปรึกษา ก็ได้จัดเตรียมไว้ให้และสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากห้องสมุดในหลายๆ แห่ง ซึ่งก็ไม่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายใดๆ เลย จะเสียก็ในส่วนของการเดินทางของการดูงานนอกสถานที่และการเดินทางไปยังหน่วยงานต่างๆ ทั้งของรัฐและเอกชน และอาจจะมีในส่วนของการดำเนินงานโครงการและจัดทำโครงการบ้าง ซึ่งก็คิดว่าคงไม่มากเท่าใดนัก อีกทั้งทางภาคก็ยังมี การจัดเตรียมงบการทำงานให้กลุ่มละ 3,000 บาทเป็นการรองรับจะเห็นได้ว่า ปัญหาด้านงบประมาณก็หมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 ปัญหาด้านอื่นๆ

จากปัญหาหลักที่กล่าวมา ก็คิดว่าคงไม่มีปัญหาอะไร ส่วนปัญหาย่อยๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการทำงานนั้นก็คงจะไม่หนักหนามากนัก คิดว่าแก้ปัญหาได้ และโครงการจะเสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาที่กำหนด



บทที่ 2

การจัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์

2.1 ความหมายของสื่อการสอน

คำว่า สื่อการสอน (Media) หมายถึง สิ่งใดก็ตามไม่ว่าจะเป็น วัสดุ (Software) อุปกรณ์ (Hardware) หรือแม้แต่วิธีการ (Techniques or Method) ที่เป็นตัวกลางในกระบวนการเรียนการสอน เพื่อให้ให้นักเรียนบรรลุผลตามจุดมุ่งหมายของการเรียนที่ตั้งไว้ (สร้างงานมัลติมีเดียอย่างสมบูรณ์แบบ โดยใช้ MACROMEDIA Flash 4.0, SUCCESS MEDIA CO.,LTD)

2.2 การพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบันการใช้คอมพิวเตอร์เป็นที่แพร่หลายอย่างมากในทุกวงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถาบันการศึกษา มีการใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการเรียนการสอน หรือเป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูล เพราะคอมพิวเตอร์สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก มีระบบจัดการข้อมูลที่ดี และยังมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายอีกด้วย ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์จะมุ่งไปยังคอมพิวเตอร์ โดยการพัฒนาคอมพิวเตอร์ให้เป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อด้อยอยู่บ้าง ดังต่อไปนี้

ข้อดี

- มีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้ จึงเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทาง
- ทำให้สื่อการเรียนการสอนเป็นมัลติมีเดียมากขึ้น ทำให้สื่อมีความน่าสนใจ
- มีการจัดเก็บข้อมูลเป็นสัดส่วน จัดเก็บง่าย และใช้พื้นที่น้อย
- สามารถพัฒนาข้อมูล และแก้ไขปรับปรุงได้ง่าย
- รองรับระบบการศึกษาในอนาคต เช่น ระบบเรียนทางไกล
- สามารถใช้งานร่วมกับระบบ database เพื่อสร้างเป็นระบบการเรียนการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ได้(CAI) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป
- มีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการสำรองได้ง่าย
- สามารถเผยแพร่ได้ง่าย

ข้อด้อย

- ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ในการนำเสนอ ถ้าไม่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ก็ไม่สามารถนำเสนอได้
- พื้นที่การนำเสนอจำกัดอยู่แค่บนหน้าจอเล็ก ๆ เท่านั้น จึงมองเห็นได้ไม่ทั่วถึง ยกเว้นว่าจะใช้อุปกรณ์อื่นช่วย เช่น โปรเจคเตอร์ แต่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง
- ความทนทานของสื่อ ขึ้นอยู่กับรูปแบบในการจัดเก็บข้อมูล ถ้าเป็นฟลอปปีดิสก์ ก็ชำรุดได้ง่าย แต่ถ้าเป็นคอมแพคดิสก์ก็มีความทนทานมากกว่า
- ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่มีความรู้ทางคอมพิวเตอร์จะไม่สามารถใช้ได้เต็มที่

2.3 ความหมายของสื่อการสอน CAI (Computer Assisted Instruction Media)

คำว่า CAI ย่อมาจาก Computer Assisted Instruction แปลตรงๆ ตามศัพท์ คือ คอมพิวเตอร์ช่วยการสอน พุฒให้เข้าใจความและก็มี ความหมายลึกก็คือ การนำคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งเข้ามาช่วยในการเรียนการสอนของนักศึกษาและผู้สอน โดยมีผู้สอนหรือผู้มีความรู้เป็นผู้ผลิตสื่อขึ้นมาแล้ว นำไปให้นักศึกษาได้เรียนโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางในการนำกระบวนการเรียนการสอนของผู้สอนไปสู่ นักศึกษา (สร้างงานมัลติมีเดียอย่างสมบูรณ์แบบ โดยใช้ MACROMEDIA Flash 4.0, SUCCESS MEDIA CO.,LTD)

2.4 รูปแบบของสื่อการสอน CAI

คำว่ารูปแบบ หมายถึง แบบแผนหรือแนวปฏิบัติ หรือข้อกำหนดที่สามารถปรับเข้ากับสภาวะจริง (สร้างงานมัลติมีเดียอย่างสมบูรณ์แบบ โดยใช้ MACROMEDIA Flash 4.0, SUCCESS MEDIA CO.,LTD) การสร้างสื่อ CAI ควรทำให้บรรลุผลตามจุดหมายมากที่สุดจึงจะเป็นสื่อการสอนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ที่ผู้สอนทำอยู่แล้ว สามารถนำมาทำสื่อ CAI ได้ เช่น

1. บทเรียนสำเร็จรูป หรือบทเรียน โปรแกรม
2. ชุดการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บทเรียนโมดูล (Module)
4. บัตรคำ แผนภูมิ หรือสื่ออะไรก็ได้ที่ผู้สอนผลิตอยู่แล้ว

สื่อต่างๆ เหล่านี้อาจผู้สอนก็ทำกันปกติแล้ว แต่จะจัดทำในกระดาษแล้วทำเป็นรูปเล่ม แต่ถ้าเรานำมาประยุกต์ ปรับปรุง แล้วให้เรียนกันในคอมพิวเตอร์ก็สามารถเป็นสื่อ CAI ได้แล้ว ส่วนรูปแบบที่นิยมในการสร้างสื่อ CAI เป็นดังนี้

1. การนำเสนอเนื้อหา (Knowledge Presentation)

การสร้างเนื้อหาต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์ หรือความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ส่วนเนื้อหาไม่ควรมีเฉพาะข้อความเพียงอย่างเดียว แต่เนื้อหาควรจะมีสิ่งต่อไปนี้ด้วย เช่น มีภาพประกอบ มีเสียง หรือมีภาพยนตร์ประกอบด้วยถึงจะเรียกว่าเนื้อหาที่ดีและเหมาะสมกับความสามารถของสื่อการสอนแบบคอมพิวเตอร์

2. การโต้ตอบกับผู้เรียน (Interactivity)

โดยปกติการสอนที่ดี ควรเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้แสดงความคิดเห็นโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนได้ ฉะนั้นสื่อ CAI ที่ดีควรให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการคิดแก้ปัญหา นั่นคือ มีการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับสื่อ CAI ซึ่งปัจจุบัน โปรแกรมที่ใช้สร้างสื่อ CAI สามารถสร้างการโต้ตอบดังกล่าวได้และทำได้ดีเสียด้วย

3. การวัดและประเมินผล (Evaluation)

หลังจากผู้เรียนได้เรียนเนื้อหาหรือได้ใช้สื่อ CAI แล้ว สิ่งที่คุณเรียนจะบอกผู้สอนได้ว่าเขาไปรู้จุดมุ่งหมายที่ต้องการหรือไม่ นอกจากการสังเกต สัมภาษณ์พูดคุยแล้ว สิ่งที่ดีได้เป็นรูปธรรมก็คือ แบบทดสอบหรือข้อสอบหลังจากใช้สื่อ CAI แล้ว อาจไม่ใช่วิธีการวัดผลที่ดีที่สุด แต่ก็ถือว่าเป็นที่นิยมกัน ส่วนวิธีทดสอบผู้สอนจะใช้แบบไหนก็ได้แต่ขอให้ยึดหลักการวัดผลดังนี้

- วัดได้ตรงวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- ใช้เครื่องมือที่ดี ส่วนมากที่นิยมคือ ข้อสอบหรือแบบทดสอบ แต่อย่าไปยึดเป็นรูปแบบตายตัว จะเป็นเครื่องมืออะไรก็ได้ แต่ขอให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารให้เราเข้าใจว่าเขารู้เรื่องในสิ่งที่เราสอน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการสร้างสถานการณ์แล้วให้วิเคราะห์หาสาเหตุแก้ปัญหา นี่ก็ถือว่าเป็นเครื่องมือที่ดีแล้ว ไม่จำเป็นต้องซื้อทดสอบหรือแบบทดสอบเสมอไป

- ใช้ผลการวัดให้คุ้มค่า ควรวัดผลเพื่อค้นหาและพัฒนาผู้เรียนเป็นหลัก

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

ภาพเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของระบบการสื่อสารด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากภาพแต่ละภาพนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลสารสนเทศมากมาย เราจึงนิยมนำภาพมาประกอบการแสดงผลโดยทั่วไปแล้วภาพที่มองเห็นนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ภาพนิ่ง(Picture) กับภาพเคลื่อนไหว (Motion Picture หรือ Animation)

ภาพนิ่ง

ภาพนิ่ง หมายถึง ภาพที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ เป็นได้ทั้งภาพเขียน ภาพถ่าย หรือภาพที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ (การสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบ GIF Animation, บริษัท โอเอวัน จำกัด)

ส่วนประกอบของภาพ

ภาพแต่ละภาพล้วนแต่ประกอบไปด้วยเส้นที่ลากไปมาเป็นรูปทรง ลายเส้นนั้นที่มีที่มาจาก จุด (Dot หรือที่ทางคอมพิวเตอร์เรียก พิกเซล (Pixel) วางตัวเรียงต่อกัน เส้นที่หนาจะมีจำนวนจุดหนาแน่นมาก ภายในจุดหรือ พิกเซลนั้นมีองค์ประกอบที่ใช้ในการแสดงสี รูปทรง ฟอรัมเมตของภาพ เราเรียกองค์ประกอบ ของพิกเซลว่า บิต (Bit ย่อมาจากคำว่า Binary Digit ประกอบไปด้วยตัวเลข 2 คือ 0 หรือ 1) จึงนิยมเรียกภาพคอมพิวเตอร์ ที่สร้างว่า ภาพบิตแมป (Bit map)

ภาพบิตแมปนั้น มีอยู่หลายชื่อ เช่น ราสเตอร์ (Raster) หรือเพ้นไทป์ (Paint-type) และมีอยู่หลายฟอร์แมต เช่น BMP, PCX, GIF, JPEG แต่ไม่ว่าจะอยู่ในชื่อใด นิยมเรียกรวมๆ กันว่าบิตแมป

ข้อดีของภาพบิตแมปคือ มีความเร็วในการแสดงภาพสูง สามารถโหลดภาพเข้าสู่หน่วยความจำได้โดยตรง ใช้ทรัพยากรของเครื่องน้อยกว่า และที่สำคัญคือ ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานมาก ดังนั้น เราจึงพบเห็นภาพบิตแมปที่อยู่ในฟอร์แมตต่างๆ มากมาย และสำหรับการสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบ GIF Animation นั้น ก็ใช้ภาพบิตแมปเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากภาพบิตแมปแล้ว ยังมีภาพอีกประเภทหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานบนคอมพิวเตอร์ คือ เวกเตอร์ (Vector) โดยเวกเตอร์นั้นแตกต่างจากบิตแมปตรงที่ภายในภาพนั้นไม่ได้เกิดจากจุดหรือพิกเซล แต่ประกอบไปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จำนวนมากมาย

ภาพแบบเวกเตอร์จะถูกสร้างขึ้นมาจากเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม ไม่สามารถทำการระบายสี หรือทำซ้ำ หรือทำเทคนิคพิเศษใดๆ ได้เหมือนภาพแบบบิตแมป ส่วนมากจึงใช้ภาพเวกเตอร์กับงานวาดภาพลายเส้น หรือภาพคลิปปาร์ต

เวกเตอร์นั้นมีข้อดีที่เหนือกว่าบิตแมปตรงที่มีความละเอียดของภาพในการแสดงสูงมาก ไม่ว่าภาพนั้นจะถูกย่อหรือขยายเป็นขนาดเท่าใดก็ตาม ก็ไม่ทำให้ภาพนั้นผิดเพี้ยนไปได้ เพราะสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการสร้างภาพ จะทำการคำนวณสเกลภาพใหม่ทุกครั้ง ภาพที่ได้ไม่ว่าจะเป็นขนาดเท่าใด จึงมีความเหมือนกันทุกขนาดภาพ แต่ถ้าเป็นบิตแมปเพียงแต่ขยายขนาดของภาพให้ใหญ่ขึ้นกว่าขนาดปกติ สิ่งหนึ่งที่ขยายใหญ่ตามไปด้วยคือขนาดของจุด ดังนั้นภาพบิตแมปที่ขยายใหญ่ขึ้นจึงมีความผิดเพี้ยนของภาพสูง ภาพที่ได้จึงมีความหยาบมาก

ข้อเสียของภาพแบบเวกเตอร์อยู่ที่การแสดงผลที่ช้ามาก เพราะทุกครั้งที่มีการแสดงผล ต้องมีการเรนเดอร์ภาพใหม่ ยิ่งภาพที่มีความละเอียดสูง กว่าที่จะแสดงผลออกมาได้ต้องใช้เวลานาน

ดังนั้น จึงควรเป็นเรื่องจำเป็นที่เราต้องทราบถึงชนิดของภาพที่นำมาสร้าง เพื่อที่จะได้สร้างภาพที่มีความสวยงาม เหมาะสมกับงานที่ใช้

องค์ประกอบของภาพ

การทำให้ภาพที่ปรากฏบนจอภาพมีความน่าสนใจนั้นเป็นสิ่งสำคัญและทำได้ยาก เพราะต้องอาศัยศิลปะในการจัดองค์ประกอบต่างๆของภาพให้เหมาะสม เพื่อให้ภาพเกิดความสมดุลย์ และมีคุณค่า ซึ่งมีหลักการจัดภาพดังนี้

1. จัดภาพให้ดูสมดุลย์ ภาพที่เห็นแล้วดูไม่แข็งกระด้าง ดูแล้วมีมิติ มีความลึก โดยการเลือกมุม ความสูง-ต่ำ ฉากหน้า และฉากหลัง
2. การวางฉากหน้าและฉากหลัง ทำให้ภาพดูลึก แต่ไม่ควรลึกมากเกินไป
3. ภาพที่เป็นสี่เหลี่ยม ทรงกลม ไม่ควรจัดวางให้อยู่ในมุมเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ภาพเส้นของส่วนสูงของพื้นที่ เช่น ทางลาดชันควรจัดให้เห็นเส้นทางว่าโค้งด้วย
5. ไม่วางสิ่งสำคัญไว้หลังสิ่งที่สำคัญเช่นกัน เพราะทำให้ความสำคัญของสิ่งที่วางลดลงไป
6. ภาพที่มีเส้นระดับตัดกลาง เช่น ขอบน้ำ ขอบดิน ควรทำให้จุดตัดที่มีจุดสนใจอยู่ที่ไกลมาก โดยจัดวางแนวเส้นขอบไว้ที่ $\frac{1}{3}$ จากกรอบเฟรมด้านล่างของภาพ
7. ภาพอาคาร บ้านเรือนที่มีขนาดสูงใหญ่ ควรวางมุมให้พอควร
8. ภาพวิวและภาพใกล้เคียงกัน ไม่ควรให้จุดสนใจอยู่ในแนวเดียวกัน จุดสนใจควรอยู่มุมของภาพในเส้นทะแยง
9. การเคลื่อนไหวในท่าที่ เช่น ใบหน้าของคน ควรอยู่ในกรอบด้านข้าง ด้านใดด้านหนึ่ง
10. ภาพมุมสูงที่มีการเคลื่อนไหว สิ่งที่เคลื่อนไหวควรอยู่บริเวณมุม เพื่อวิ่งมายังมุมตรงกันข้ามในลักษณะคล้ายทะแยง ให้มุมด้านหน้าว่างไว้
11. การเน้นภาพ อาจทำให้ส่วนของภาพเป็นสีอ่อน ขอบภาพเป็นสีเข้ม และหาจากหน้าเป็นมุม เป็นเส้นโค้ง เพื่อดึงภาพเข้าสู่ภาพเข้าสู่จุดสนใจ ที่เป็นศูนย์กลางของภาพ
12. ไม่ควรปล่อยให้พื้นที่ว่างมากเกินไป
13. ใช้ฉากหน้าทำให้ภาพดูลึก

ภาพเคลื่อนไหว

ภาพเคลื่อนไหวหรือภาพอนิเมชันนั้น เป็นภาพที่เกิดจากภาพนิ่งที่มีคุณสมบัติต่างกัน เพราะภาพที่ปรากฏบนจอภาพนั้นสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ทำให้ภาพเคลื่อนไหวสามารถสื่อความหมายได้ดีกว่าภาพนิ่งทั่วไปมากนัก ภาพเคลื่อนไหวจึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการอธิบาย แนะนำ สาธิต แสดงขั้นตอนการทำงานด้วยภาพที่เคลื่อนไหวได้ ซึ่งเป็นเรื่องที่เข้าใจยากถ้าอธิบายเหตุการณ์เดียวกันด้วยภาพนิ่ง หรือข้อความประกอบ (การสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบ GIF Animation, บริษัท โอเอวัน จำกัด)

อีกทั้งภาพที่เคลื่อนไหวได้นั้นมีแรงดึงดูดสายตา ใจ ของผู้ที่พบเห็นได้อย่างไม่ยากนัก จึงนิยมนำมาใช้ในการสร้างเป็นโลโก แบนเนอร์

ด้วยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัย การสร้างภาพเคลื่อนไหวไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป เพราะปัจจุบันมีโปรแกรมการสร้างภาพนิ่งและเคลื่อนไหวจำนวนมาก แต่ละโปรแกรมล้วนแล้วแต่มีประสิทธิภาพในการสร้างงานให้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ยากอย่างที่คิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน

Soil Mechanics Laboratory

ในบทนี้เราจะทำการศึกษาระบบการเรียนการสอนในปัจจุบันที่มีอยู่ว่ามีลักษณะอย่างไร หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์หาความบกพร่องในจุดใดบ้าง และจะทำการแก้ไขได้อย่างไรบ้าง ซึ่งหลังจากทำการแก้ไขและพัฒนาแล้วเราจะได้อสื่อการเรียนการสอนระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งเป็นจุดประสงค์สำคัญในส่วนการทำงานในบทนี้

3.1 การศึกษาระบบการเรียนการสอนในปัจจุบันและการกำหนดแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน

เราจะทำการศึกษาถึงจุดเด่นจุดด้อยของสื่อการเรียนการสอนแต่ละประเภทที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แล้วกำหนดเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์ โดยต้องคงจุดเด่นเอาไว้ แก้ไขจุดด้อย และเพิ่มเติมคุณสมบัติบางประการที่จำเป็นเข้าไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้อสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นจุดประสงค์สำคัญในการทำงานของบทนี้ หากยังไม่กำหนดคุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ต้องการเอาไว้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแล้วการพัฒนาก็จะเป็นไปอย่างไร้ทิศทาง และส่งผลให้อสื่อการเรียนการสอนที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพตามไปด้วย

3.1.1 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- ศึกษาถึงการเรียนการสอนที่มีในปัจจุบัน
- วิเคราะห์จุดเด่นจุดด้อยของสื่อแต่ละชนิด และคุณสมบัติที่ควรมีเพิ่มเติม
- กำหนดเป็นคุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่จะพัฒนา

3.1.2 การศึกษาและวิเคราะห์สื่อการเรียนการสอนที่มีในปัจจุบัน

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบในปัจจุบันเพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอน มีวัตถุประสงค์เพื่อบอกถึงความต้องการของระบบการเรียนการสอนที่จะพัฒนาขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นการวิเคราะห์ว่าควรมีอะไรเพิ่มเติมในระบบปัจจุบัน และควรปรับปรุงระบบการเรียนการสอนปัจจุบันในจุดใดบ้าง เป็นต้นว่า มีสื่ออะไรบ้างที่ต้องการ สื่อดังกล่าวต้องการโดยใคร เมื่อไร ที่ไหน ในรูปแบบอะไร และอย่างไร ซึ่งในการที่จะสามารถวิเคราะห์ความต้องการต่างๆได้เราจำเป็นต้องทราบวัตถุประสงค์ของการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน ซึ่งวัตถุประสงค์ของการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนคือ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อสนองตอบต่อความต้องการใหม่ เพื่อนำความคิดและเทคโนโลยีใหม่มาใช้ และเพื่อปรับปรุงระบบการเรียนการสอนปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบการเรียนการสอนจึงต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบการเรียนการสอนดังกล่าวด้วย

3.1.2.1 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์

การศึกษาหาข้อมูลของระบบการเรียนการสอนปัจจุบันเพื่อการวิเคราะห์ จะมีวิธีการต่างๆที่ผู้วิเคราะห์สามารถนำมาใช้ได้ โดยที่ในการใช้วิธีการเพื่อหาข้อมูล ผู้วิเคราะห์ระบบอาจเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับลักษณะของระบบการเรียนการสอนปัจจุบันที่เข้าไปทำการวิเคราะห์ หรืออาจใช้วิธีการหลายๆอย่างประกอบกันก็ได้

การหาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ระบบสื่อการเรียนการสอนในปัจจุบัน เพื่อจะได้ทราบว่าผู้สอนและผู้เรียนมีความต้องการสื่อแบบใดหรือลักษณะใด มีวิธีการที่สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

1. การสัมภาษณ์
2. การใช้แบบสอบถาม
3. การสังเกตจากการเรียนการสอน

3.1.2.1.1 การสัมภาษณ์

การสัมภาษณ์เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการติดต่อสื่อสาร 2 ด้าน ผู้วิเคราะห์ระบบการเรียนการสอนสามารถที่จะอธิบายให้เข้าใจถึงวัตถุประสงค์และข้อมูลที่ต้องการได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะสอบถามปัญหาระหว่างกันได้ทันทีในกรณีที่มีข้อสงสัยเกิดขึ้น

ในการสัมภาษณ์ผู้วิเคราะห์ระบบการเรียนการสอนสามารถที่จะสัมภาษณ์ผู้สอนและผู้เรียนในทุกระดับการศึกษา เพื่อสอบถามถึงความต้องการ ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเรียนการสอน ตลอดจนความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน

3.1.2.1.2 การใช้แบบสอบถาม

การใช้แบบสอบถามเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ระบบการเรียนการสอน การใช้แบบสอบถามมีข้อจำกัดหลายประการ ดังนั้นการใช้วิธีการนี้จึงต้องมีความรอบคอบเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นการติดต่อสื่อสารทางเดียว ซึ่งในกรณีที่คำตอบไม่ชัดเจนจะไม่สามารถที่จะทำความเข้าใจได้ทันทีเหมือนกับการสัมภาษณ์ อย่างไรก็ตาม การใช้แบบสอบถามจะใช้ในกรณีที่แหล่งข้อมูลอยู่ห่างไกลและมีหลายแหล่ง ต้องใช้เวลาและเสียค่าใช้จ่ายมากหากต้องเดินทางไปยังแหล่งข้อมูลเหล่านั้น นอกจากนี้การใช้แบบสอบถามยังสามารถใช้ตรวจสอบข้อมูลลักษณะเดียวกันที่ได้จากแหล่งอื่น

3.1.2.1.3 การสังเกตจากการเรียนการสอน

การสังเกตจากการเรียนการสอนเป็นวิธีการอีกประการหนึ่งที่ผู้วิเคราะห์ระบบสามารถนำไปใช้เพื่อหาข้อมูล โดยการสังเกตในระหว่างการเรียนการสอนเพื่อพิจารณาว่าผู้สอนสอนอย่างไรบ้าง ผู้เรียนมีการเรียนรู้หรือไม่ มีประสิทธิภาพเพียงใด ซึ่งการสังเกตการเรียนการสอนจะใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับจากสัมภาษณ์ หรือใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อวางแผนงานในการสัมภาษณ์

3.1.2.2 วิธีการวิเคราะห์

หลังจากที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากผู้สอนและนักศึกษาแล้ว เราจะนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนต้องการ

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนต้องการได้แก่

1. สามารถดึงดูดความสนใจจากผู้ฟัง(นักศึกษา)ได้ ทำให้การเรียนการสอนน่าสนใจ น่าติดตามมากขึ้น
2. สื่อการเรียนการสอนควรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพื่อให้ง่ายต่อการขนย้ายและการจัดเก็บ และสะดวกในการสลับสับเปลี่ยนสื่อการเรียนการสอนแต่ละชิ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเรียนการสอนแต่ละครั้งมักจะใช้สื่อการเรียนการสอนมากกว่า 1 ชิ้น การที่มีสื่อที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จึงไม่สะดวกต่อการสลับเปลี่ยนในระหว่างการเรียนการสอน
3. ปรับปรุงและพัฒนาได้ง่าย เป็นไปได้ยากมากที่สื่อการเรียนการสอนซึ่งทำขึ้นในครั้งแรกจะสมบูรณ์ครบถ้วน มักต้องมีการแก้ไขปรับปรุง เพื่อเพิ่มประเด็นที่ตกหล่นไปหรือบกพร่องไม่สมบูรณ์ หรือบางครั้งข้อมูลในสื่อเป็นข้อมูลที่เก่าเกินไป และได้มีข้อมูลที่ใหม่กว่าออกมาเผยแพร่ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สื่อการเรียนการสอนทันสมัยทันต่อเหตุการณ์
4. มีความแข็งแรงทนทาน ด้วยเหตุที่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขสื่อการเรียนการสอนให้ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขแต่ละครั้งย่อมสร้างความเสียหายให้แก่ตัวสื่อการเรียนการสอนบ้างไม่มากก็น้อย ดังนั้นสื่อการเรียนการสอนจึงต้องมีความแข็งแรงทนทานเพื่อรองรับการแก้ไขปรับปรุงเหล่านั้น สื่อการเรียนการสอนที่บอบบางไม่แข็งแรงทนทานจะทำให้การปรับปรุงแก้ไขทำได้ยาก ต้องการความประณีตสูง ประกอบกับในการใช้งานสื่อการเรียนการสอนจำเป็นจะต้องเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง จึงเป็นเหตุให้สื่อชำรุดเสียหายจากการกระแทกหรือตกหล่น

5. ค่าใช้จ่ายต่ำ ถึงแม้ว่าจะสามารถสร้างสื่อการเรียนการสอนที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น ได้ครบถ้วนสมบูรณ์ แต่หากต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงเกินความจำเป็นแล้ว ก็คงไม่อาจนำสื่อนั้นมาใช้ในการ เรียนการสอนจริงได้ คุณภาพของสื่อการเรียนการสอนเป็นสิ่งจำเป็นแต่ก็ต้องตั้งอยู่บนค่าใช้จ่ายที่สมเหตุ สมผลด้วยเช่นกัน

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องการ

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องการ ได้แก่

1. เข้าใจง่าย และสื่อความหมายชัดเจน เมื่อเห็นแล้วสามารถเข้าใจถึงสิ่งที่ต้องการจะบอก ได้ทันทีไม่ต้องตีความ การใช้ภาพเข้าช่วยแทนการใช้ตัวอักษรจะทำให้สื่อมีความสวยงาม น่าสนใจ และ เข้าใจได้ง่ายขึ้น

2. ควรมีขนาดพอเหมาะและมองเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าสื่อจะถูกจัดทำขึ้นมาดีเพียงใด แต่ หากมีขนาดเล็กมองเห็นได้ไม่ชัดเจนแล้ว คุณค่าของสื่อจะลดลงไปมาก

3. กระชับไม่เยิ่นเย้อ มีจุดเด่นจุดเน้น การมีจุดเด่นจุดเน้นในสื่อการเรียนการสอนจัดเป็น สิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงสิ่งที่ต้องการจะสื่อได้เร็วขึ้น การใช้ภาพแทนตัวอักษรจะช่วยให้การสื่อ ความหมายกระชับขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสวยงามและความน่าสนใจ สื่อการเรียนการสอนที่เยิ่นเย้อ และไม่มีจุดเน้นจะทำให้เกิดความเบื่อหน่ายและไม่ใส่ใจกับเนื้อหาสาระที่ต้องการจะสื่อถึงอีกด้วย

3.1.3 สรุปแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน

แนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนที่ต้องการได้แก่

1. มีความสวยงามน่าสนใจ เน้นการใช้ภาพในการสื่อความหมาย
2. เนื้อหากระชับไม่เยิ่นเย้อ
3. ทำการจัดเก็บง่ายและขนย้ายสะดวก
4. มีความแข็งแรงทนทาน
5. ทำการปรับปรุงและพัฒนาได้ง่าย
6. มีค่าใช้จ่ายต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อสรุปข้างต้น จึงเลือกสร้างสื่อด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า สื่อการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถสนองตอบความต้องการดังกล่าวข้างต้นได้ คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์ที่ควรมี ได้แก่

1. สนับสนุนมัลติมีเดีย (เสียง, ภาพนิ่ง, ภาพเคลื่อนไหว)
2. จัดเก็บง่าย โดยเขียนข้อมูลลงบนแผ่นซีดี หรือในฮาร์ดดิสก์
3. ปรับพัฒนาง่ายและสะดวก อาศัยเพียงอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เท่านั้น

3.2 การพิจารณาเลือกใช้โปรแกรม

เราจะทำการศึกษาโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง โดยจะแบ่งรูปแบบของโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. โปรแกรมที่สามารถนำมาใช้พัฒนาสื่อการเรียนการสอนได้ มี 3 โปรแกรมด้วยกันดังนี้
 - Macromedia Flash 4.0
 - Macromedia Freehand 8.0
 - Powerpoint 97
2. โปรแกรมที่ใช้สร้างมัลติมีเดียเพื่อช่วยให้สื่อการเรียนการสอนมีความน่าสนใจ
 - Adobe Photoshop 5.5
 - Recorder
 - Audiograbber

เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกโปรแกรม

การเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมที่สุด มีเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกโปรแกรมมาพัฒนาสื่อการเรียนการสอน ดังนี้

1. ตอบสนองรูปแบบการนำเสนอที่ต้องการได้
2. สนับสนุนมัลติมีเดีย
3. มีรูปแบบการโต้ตอบที่หลากหลาย
4. comply เป็น .EXE ได้
5. ใช้งานง่าย

จากเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของทุกโปรแกรมทั้งโปรแกรมที่จะนำมาใช้พัฒนาสื่อและโปรแกรมที่ใช้สร้างมัลติมีเดียแล้ว พบว่าโปรแกรมที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้พัฒนาสื่อคือ โปรแกรม Macromedia Flash 4.0 และโปรแกรมที่จะนำมาใช้สร้างมัลติมีเดียจะใช้ทั้งโปรแกรม Adobe Photoshop 5.5, Recorder, Audiograbber ทั้งนี้ที่เลือกโปรแกรม Macromedia Flash 4.0 เพราะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ครบถ้วนดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

หลังจากที่ได้มีการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆของโปรแกรมที่เกี่ยวข้องแล้ว พบว่าโปรแกรม Macromedia Flash มีความเหมาะสมที่สุดดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

ลักษณะของ Macromedia Flash 4.0

Macromedia Flash เป็นโปรแกรมนำเสนอในเชิงทางด้าน Multimedia ซึ่งเหมาะสมในการทำภาพเคลื่อนไหว 2 มิติ ที่สามารถแสดงผลงานได้ง่ายและขนาด file มีขนาดเล็กมากจึงสามารถนำมาเป็นสื่อการสอนไปทั่วโลกได้โดยผ่านทาง Internet

ลักษณะของโปรแกรม Macromedia Flash 4.0 จะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ผู้สร้างผลงานกับผู้ใช้ผลงาน สำหรับผู้ใช้ไม่ยุ่งยากเพียงแต่เล่นโปรแกรมไปตามเนื้อหาที่นำเสนอ ส่วนผู้สร้างโปรแกรมจะยุ่งยากและต้องใช้จินตนาการมาก เพื่อที่จะวางเนื้อหา หรือนำเสนอรูปแบบอย่างมีศิลปะและมีเทคนิคในการนำเสนอให้น่าสนใจ

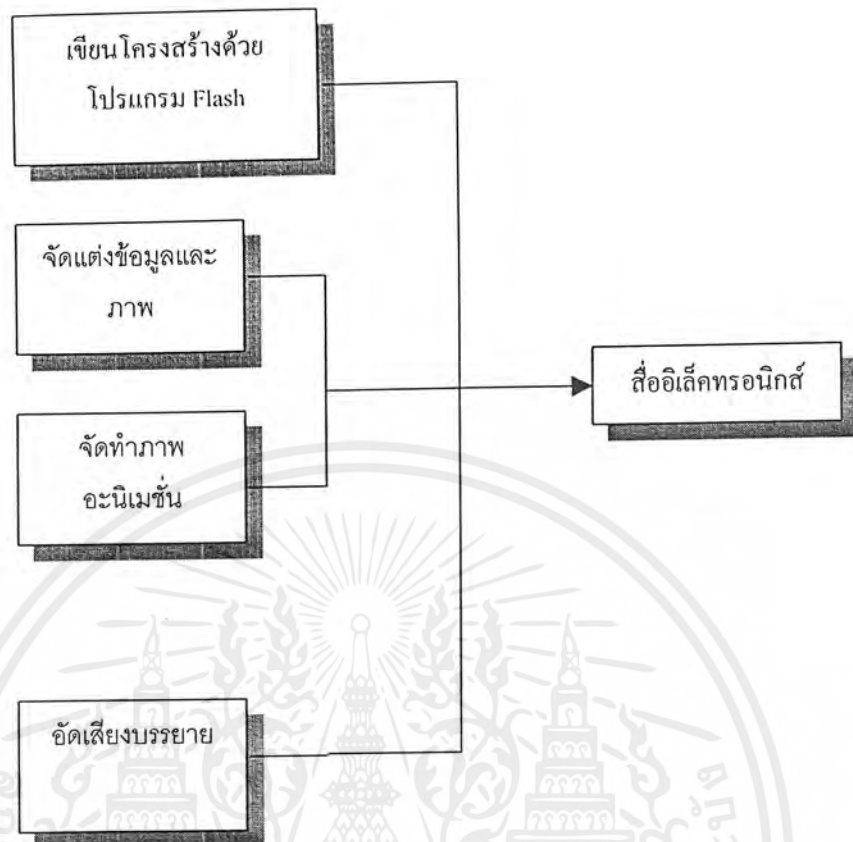
หลักการของการสร้างหรือการนำเสนอของโปรแกรม Macromedia Flash 4.0 ก็จะมี Timeline เพื่อวางเนื้อหาจากซ้ายไปขวา ถ้าเนื้อหาแตกสาขาก็จะวางเนื้อหาไปยังอีก Scene ต่อไป เมื่อสร้างเสร็จแล้วในส่วนของผู้ใช้ก็จะเล่นเนื้อหาไปตามลำดับตามที่ผู้สร้างกำหนดไว้ แต่ก็สามารถแก้ไขเนื้อหาได้โดยทำการแทรกเนื้อหาเข้าไประหว่าง Keyframe นั้นๆ

ทั้งนี้โปรแกรม Macromedia Flash 4.0 สามารถที่จะตอบสนองรูปแบบการนำเสนอที่ต้องการ สนับสนุนมัลติมีเดีย มีรูปแบบการโต้ตอบที่หลากหลาย สามารถ comply เป็น .EXE ได้ และ .html ซึ่งสามารถเผยแพร่ไปยังทั่วโลกได้อีกด้วย

3.4 วางแผนและจัดทำสื่อการเรียนการสอนด้วยโปรแกรมที่เลือก

หลังจากเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมจะนำมาทำสื่ออิเล็กทรอนิกส์ได้แล้ว ขั้นตอนต่อมาจะทำการวางแผนและจัดทำสื่อการเรียนการสอนด้วยโปรแกรมที่เลือก ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ดังนี้

1. เขียน โครงสร้างสื่ออิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาด้วย โปรแกรม Macromedia Flash 4.0
2. จัดแต่งข้อมูลและภาพที่จะนำมาเป็นเนื้อหาของสื่ออิเล็กทรอนิกส์
3. ออกแบบและจัดทำอะนิเมชัน
4. อัปเดตเสียงบรรยาย
5. นำข้อมูล ภาพนิ่ง ภาพอะนิเมชันและเสียงมาประกอบกันเป็นสื่อการเรียนการสอน



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการจัดทำสื่ออิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 4

สถาปัตยกรรมของโปรแกรม

Soil Mechanics Laboratory

ในบทที่แล้วที่ได้ทำการดำเนินการออกแบบสื่อการเรียนการสอนแบบใหม่แล้ว ในบทนี้เราจะทำการออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม ฟังก์ชันต่างๆ และจะทำการออกแบบหน้าจอการนำเสนอให้มีความน่าสนใจ และหลังจากที่ได้ออกแบบเสร็จแล้วเราจะนำมาพัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพได้

4.1 การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม

การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการพัฒนาโปรแกรม เพราะโครงสร้างเป็นรากฐานทั้งหมดของโปรแกรม โครงสร้างของโปรแกรมจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของโปรแกรม รูปแบบการใช้งาน และความเข้าใจของผู้ใช้

โครงสร้างโปรแกรมของสื่ออิเล็กทรอนิกส์นี้ แบ่งเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 8 การหาความแน่นของดินในสนาม : ASTM D 1556 - 64
(Field Density Test) : ASTM D 2167 - 66

บทนำ

ทฤษฎี

อุปกรณ์

การสอบเทียบเครื่องมือ

วิธีการทดลอง

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์และคำนวณ

MAIN

โดยฟังก์ชันต่างๆที่มีใน โปรแกรมนี้ ได้แก่

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| - ปุ่มบทนำ | ไปที่หน้าจอบทนำ |
| - ปุ่มทฤษฎี | ไปที่หน้าจอทฤษฎี |
| - ปุ่มอุปกรณ์ | ไปที่หน้าจออุปกรณ์ |
| - ปุ่มการสอบเทียบเครื่องมือ | ไปยังหน้าจอการสอบเทียบเครื่องมือ |
| - ปุ่มวิธีการทดลอง | ไปที่หน้าจอวิธีการทดลอง |
| - ปุ่มผลการทดลอง | ไปยังหน้าจอผลการทดลอง |

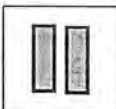
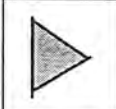
**การทดลองที่ 8 การหาความแน่นของดินในสนาม : ASTM D 1556 - 64
(Field Density Test) : ASTM D 2167 - 66**

ทฤษฎี

การหาความแน่นของดิน คือ การหาน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว
หารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา และการที่จะหาปริมาตรของหลุมที่กล่าวนี้อาจเป็น
คือวัดหรือใช้วัสดุที่รู้ความแน่น (Density) และความถ่วงจำเพาะแน่นอนแล้วไปแทนที่ในหลุม
ที่ขุดดินขึ้นมา ซึ่งการทดสอบดังกล่าวอาจกระทำได้โดยวิธีใช้ทรายมาตรฐาน (Sand Cone
Method)



โดยฟังก์ชันต่างๆที่มีในโปรแกรมนี้ ได้แก่

- | | | |
|--------|---|-----------------------|
| - ปุ่ม |  | ไปยังหน้าจอแรก |
| - ปุ่ม |  | ไปยัง Scene ที่แล้ว |
| - ปุ่ม |  | ไปยัง Scene ต่อไป |
| - ปุ่ม |  | ทำการหยุดเล่นชั่วคราว |
| - ปุ่ม |  | ทำการเล่นต่อไป |

4.2 การออกแบบหน้าจอในการนำเสนอ

หน้าจอในการนำเสนอนั้นก็เป็นส่วนที่สำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะหน้าจอกำหนดการนำเสนอจะเป็นตัวกำหนดความน่าสนใจของโปรแกรมที่มีต่อผู้ใช้

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหน้าจอ

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหน้าจอที่ปรากฏบนจอเทอร์มินัล ได้แก่

1. ขนาดของจอภาพ จอเทอร์มินัลที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายขนาด แต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ การแสดงของหน้าจอคอมพิวเตอร์จะอยู่ที่ 800 x 600 pixels การออกแบบหน้าจอให้มีขนาด 800 x 600 pixels จึงทำให้สามารถใช้ได้อย่างแพร่หลาย
2. ในการนำเสนอข้อมูล จะนำเสนอไปที่ละขั้นตอนตามลำดับก่อนหลังโดยจะมีตัวหนังสืออยู่ทางส่วนบน และภาพ Animation จะอยู่ทางข้างล่าง
3. พื้นหลังของการนำเสนอ (Background) ควรใช้สีโทนเรียบ ไม่ใช่ภาพหรือสีที่เด่นสะดุดตาจนทำให้ผู้ใช้เบนความสนใจไปจากสิ่งที่ต้องการนำเสนอ
4. หน้าจอกำหนดการนำเสนอจะต้องมีความน่าสนใจ สวยงาม และเป็นสัดส่วน โดยแบ่งแยกให้ชัดเจนว่าบริเวณใดของหน้าจอเป็นตำแหน่งของภาพหรือตำแหน่งของข้อความ

บทที่ 5

สรุปผลงาน

ในบทนี้เราจะทำการสรุปผลงาน และวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข รวมทั้งจะบอกถึงแนวทางในการพัฒนาต่อ เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจจะพัฒนาโปรแกรมนี้ต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลงาน

เราสามารถสรุปผลงานได้ดังต่อไปนี้

1. สื่อการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์ Soil Mechanics Laboratory ที่ได้มีเนื้อหากล่าวถึงการทดลองคือ ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL), การหาขนาดเม็ดดิน(GRAIN SIZE ANALYSIS), แคลิฟอร์เนียเบียร์เร โซ(California Bearing Ratio : CBR), การหาความแน่นของดินในสนาม(Field Density Test) เป็นต้น
2. ชิ้นงานที่ได้จะเน้นภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวในการสื่อความถึง Soil Mechanics Laboratory โดยมีเสียงบรรยายและเสียงดนตรีประกอบ
3. โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นจากหลาย ๆ ส่วนประกอบกันดังนี้
 - โครงสร้างของสื่ออิเล็กทรอนิกส์นี้สร้างโดยใช้โปรแกรม Macromedia Flash 4.0
 - ในส่วนการตกแต่งภาพนิ่งใช้โปรแกรม Adobe Photoshop 5.5
 - การสร้างภาพเคลื่อนไหว (Animation) ใช้โปรแกรม Macromedia Flash 4.0
 - การอัดเสียงบรรยายใช้โปรแกรม Sound Record ซึ่งเป็นโปรแกรมของ Window 98
 - การวาดภาพใช้โปรแกรม Macromedia Freehand 8.0

4. เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นที่เหมาะสมกับการใช้งาน

- Pentium Processor ขึ้นไป
- RAM 16 MB ขึ้นไป
- ระบบปฏิบัติการ Window 95, 98 หรือ Window NT 4.0
- CD-ROM สำหรับติดตั้งโปรแกรม
- มีที่ว่างในฮาร์ดดิสก์ 25 MB ขึ้นไป

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

การพัฒนาโปรแกรมสื่อการเรียนการสอนนี้สามารถพัฒนาไปได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์นั้นกำลังดำเนินไปในอนาคต ระบบการนำเสนอข้อมูลใหม่ ๆ ที่น่าสนใจย่อมเกิดขึ้น จากแนวโน้มในอนาคตอันใกล้นี้ทางคณะผู้จัดทำคาดว่าจะมีการใช้สื่อประเภทนี้ในการเรียนการสอนอย่างแพร่หลายมากขึ้น

แนวทางในการการพัฒนา มีดังนี้

1. ทำให้สื่อการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์นี้อยู่ในเว็บไซต์ ทำให้สนับสนุนระบบแลน (LAN) และอินเทอร์เน็ต (Internet)
2. พัฒนาเป็นระบบการเรียนการสอนแบบ CMI (Computer Managed Instruction) ซึ่งเป็นวิธีการบริหารการเรียนรู้โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ทำให้สถาบันการศึกษาและศูนย์อบรมสามารถสร้างหลักสูตรที่ใช้รูปแบบการสอนที่หลากหลายและประมวลผลของนักเรียนแต่ละคนได้ โดยจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์กลางที่ต่อกับเครื่องอื่น ๆ เป็นระบบเครือข่ายสำหรับการจัดการกับข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้แต่ละคน
3. เน้นภาพเคลื่อนไหวในการนำเสนอข้อมูลให้มากขึ้นและทำให้น่าสนใจขึ้น โดยทำเป็นภาพ 3 มิติ ที่มีมุมมองหลาย ๆ มุม เพื่อให้เข้าใจลึกซึ้งจะเป็น Movie มากขึ้น

บรรณานุกรม

- วรากร ไผ่เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร, ประทีป ดวงเดือน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน, ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติ, พิมพ์ครั้งที่ 2, มิถุนายน 2525
- สถาพร คูวิจิตรจารุ, ทดลองปฐพีกลศาสตร์, พิมพ์โดย Library Nine, พิมพ์ครั้งแรก กันยายน 2541
- ดร.ชัย มุกตพันธุ์, ดร.กาชุตี นากาฮาวา, ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรม, พิมพ์โดยสมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2526
- T.William Lambe, Soil Testing, John Wildy & Sons Inc, 1982, Printed in Singapore
- J.N.Mandal and D.G.Divshikar, Soil Testing in Civil Engineering, A.A. Balkema, 1995, Printed in USA. & Canada

การสำรวจชั้นดินเบื้องต้น (Soil Exploration)

อ้างอิง : ASTM D - 420

ASTM D - 1452

บทนำ

ชั้นดินมีความหมายทางวิศวกรรมโยธาได้ 2 ลักษณะ คือ

1. เป็นฐานราก รองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งสร้างขึ้นเหนือชั้นดิน
2. เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยนำมาเปลี่ยนคุณภาพให้ดีขึ้น ใช้ทำเขื่อน, คันดิน เป็นต้น

ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องทราบลักษณะและคุณสมบัติของชั้นดินซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญ ชั้นดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากกระบวนการกัดกร่อนผุพังของหิน จนกระทั่งมาทับถมกันด้วยพาของตัวกลางต่าง ๆ กัน เช่น กระแสน้ำ, ลม, ธารน้ำแข็ง เป็นต้น ดังนั้นลักษณะของชั้นดินจะแตกต่างกันออกไปจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง บางครั้งแค่เพียงระยะห่างกันเพียงไม่กี่สิบเมตร แม้แต่ ณ จุดเดียวกัน ชั้นดินที่ความลึกต่าง ๆ กันก็มีลักษณะต่างกันไป เนื่องจากเวลาการตกตะกอนหรือทับถมต่างกันไป และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ก็มีอิทธิพลด้วย

การสำรวจชั้นดินจะต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้งานด้วย เช่น งานถนนหรือสนามบิน การสำรวจจะกระทำเพียงต้น ๆ แต่งานฐานรากเสาเข็มต้องสำรวจลงไปลึกกว่าปลายเข็มที่คาดว่าจะใช้งาน สำหรับในบทนี้จะพูดถึงการสำรวจโดยวิธีเบื้องต้นโดยใช้ ส่วนมือ การเจาะล้าง (Wash Boring) และการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเปลือกบาง (Thin Walled Tube)

ทฤษฎี

การสำรวจชั้นดิน คือ กรรมวิธีการเจาะลงไปชั้นดิน, เก็บตัวอย่างดิน, ทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม, หยั่งชั้นดิน หรือใช้เทคนิคอื่น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่ง ลักษณะชั้นดินทั้งทางแนวดิ่ง และการเปลี่ยนแปลงทางแนวราบ เพื่อใช้ในการที่จะใช้ออกแบบหรือศึกษาทางด้านปฐพีกลศาสตร์ โดยแบ่งออกเป็น

1. วิธีทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysical Method)

อาศัยหลักทางฟิสิกส์เช่น วัดความต้านทานของชั้นดิน (Resistivity Survey) และวัดความเร็วของคลื่นผ่านชั้นดิน (Seismic Survey) ทั้งสองวิธีมักใช้ควบคู่กับการเจาะสำรวจ เพื่อเพิ่มข้อมูลเพิ่มเติมในระหว่างหลุมเจาะ

2. วิธีหยั่งชั้นดิน (Sounding Method)

มักเป็นการตอกหรือกดหัวโลหะผ่านก้นต่อ แล้ววัดแรงต้านทานของชั้นดิน เช่น การตอกทดสอบมาตรฐาน (Standard Penetration Test), Dutch Cone Penetration, Swedish Sounding เป็นต้น

3. วิธีเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil Boring)

การเจาะสำรวจมักจะทำควบคู่ไปกับการเก็บตัวอย่างดิน และการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม แต่จะกล่าวเพียง การเจาะโดยใช้สว่านมือ และการเจาะแบบฉีดล้างเท่านั้น

ก. การเจาะโดยใช้สว่านมือ (Hand Auger) เป็นการเจาะด้วยแรงคนโดยใช้สว่านมือและก้านเจาะลงใน ใต้ดินลักษณะต่าง ๆ กัน โดยก้านเจาะซึ่งยาวประมาณ 1 เมตร สามารถต่อให้ยาวหลายๆ ท่อนได้ เมื่อกดพร้อม ๆ กับหมุนมือถึงจนดินเข้ามาเต็มสว่านแล้วต้องดึงขึ้นมาเอาดินออก ดินส่วนนี้อาจจะใช้ในการจำแนกดิน ตามรายละเอียดในการทดลองต่อไปได้ การเจาะด้วยสว่านมืออาจทำได้ลึกถึง 6-10 เมตร ในดินเหนียวปานกลางที่ระดับน้ำใต้ดินไม่สูงนัก ในระหว่างการเจาะอาจเก็บตัวอย่างดิน ณ ระดับต่าง ๆ ได้ด้วย

ข. การเจาะโดยใช้การฉีดล้าง (Wash Boring) เป็นการเจาะชั้นดินโดยการสูบน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่หัวฉีดที่ก้นหลุมพร้อม ๆ กับกระแทกหรือหมุนหัวเจาะ ทำให้ดินก้นหลุมหลุดไหลตามน้ำขึ้นมาบนผิวดิน ลงในอ่างตกตะกอน แล้วสูบน้ำที่ใสนำไปใช้ได้ อีก วิธีนี้ต้องอาศัยสามขา (Tripod) เครื่องกว้าน (Motor และ Catch head) และปั้มน้ำ ในกรณีที่เจาะในชั้นของดินอ่อนหรือทราย จะต้องใช้ปลอกกันดินพัง (Casing) ด้วยโดยต่อเนื่องกัน ๆ การเจาะลักษณะนี้ในดินกรุงเทพฯ สามารถเจาะได้ลึกกว่า 20 เมตร

4. วิธีเก็บตัวอย่างดิน (Soil Sampling)

การเก็บตัวอย่างดินมักเป็นเรื่องละเอียดอ่อน และต้องการความระมัดระวังและความชำนาญที่จะให้ได้ตัวอย่างดินที่มีคุณภาพ ตัวอย่างดินมักแยกออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

ก. ตัวอย่างตัวแทน (Representative Sample) ได้แก่ เศษดินที่ถูกดึงเป่าขึ้นมาจากก้นหลุมหรือติดมากับใบสว่าน ตัวอย่างดินเหล่านี้มีคุณภาพต่ำ เพราะได้เปลี่ยนแปลงลักษณะไปจากที่เคยอยู่ในชั้นดินเดิมอย่างมาก เช่น ความชื้น หรือลักษณะการจับตัวของเม็ดดิน (Soil Structure) เปลี่ยนไป คงเหลือแต่สี, ขนาดของเม็ดดิน และธาตุสารในดินที่ยังคงเดิม ตัวอย่างประเภทนี้เกือบจะไม่มีประโยชน์ต่อการทดสอบในห้องทดลองเลย นอกจากการจำแนกดินด้วยตาเปล่า

ข. ตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากกระบอกผ่า (Split Spoon) ในการตอกทดสอบ หรือ กระบอกเปลือกบาง (Thin Wall หรือ Shelby Tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก จะได้ตัวอย่างดินที่มีการเปลี่ยนสภาพไปบ้าง เช่น มีการอัดแน่น หรือการจับตัวตาม

ธรรมชาติ ถูกทำลายเพราะแรงกระทำ แต่อาจใช้ในการทดลองได้บางอย่าง เช่น Atterberg's limit, การหาขนาดเม็ดดิน

ค. ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ได้แก่ตัวอย่างดินที่เก็บได้จาก กระจบอกลเปลือกบางที่มีขนาดตั้งแต่ 3 นิ้วขึ้นไป, กระจบอกลแบบลูกสูบ (Piston Sampler) หรือกระจบอกลเก็บตัวอย่างแบบ 2 ชั้น เป็นต้น ซึ่งมีการกระทำกระเทือนชั้นดินน้อยที่สุด คือ มีความชันคงที่ การจับตัวเหมือนธรรมชาติ เช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในชั้นดินเดิม ถือว่าเป็นตัวอย่างดินที่มีคุณภาพดีที่สุด และสามารถนำทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องทดลองได้เกือบทุกอย่าง

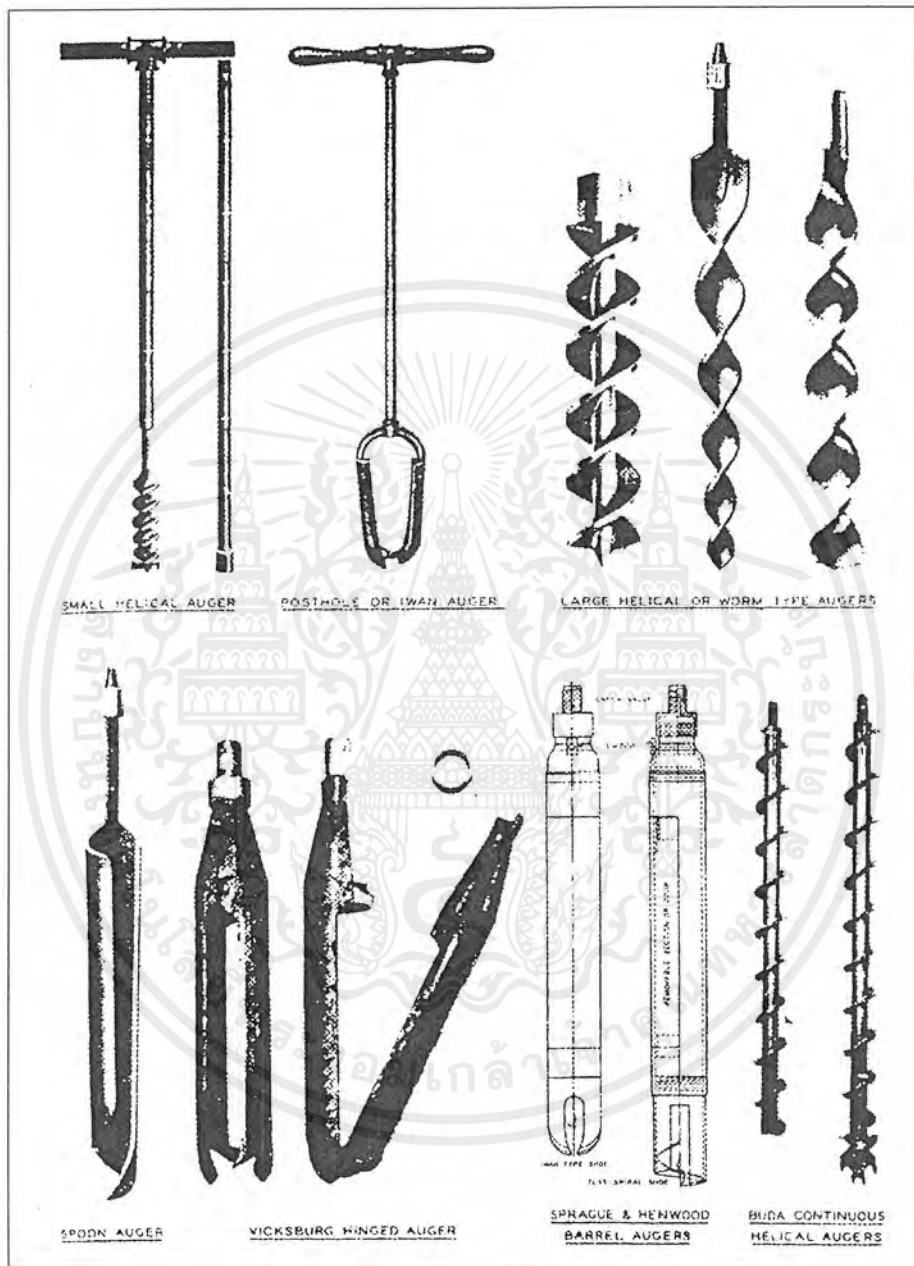
5. วิธีทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (Field test)

ในระหว่างการเจาะสำรวจชั้นดิน มักมีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนามไปพร้อม ๆ กัน เช่น การหากำลังความต้านทานของชั้นดิน, การหาค่าความชื้นน้ำ เป็นต้น ข้อดีของการทดสอบในสนามคือ ชั้นดินจะถูกรบกวนน้อยที่สุด เพราะยังคงอยู่ในที่ แต่ทดสอบโดยใช้เครื่องมืออย่างกะทัดรัดเหมือนในห้องทดลองทำได้ยาก ดังนั้น ผลการทดสอบที่ได้จึงเป็นค่าโดยประมาณเสียส่วนมาก ผู้นำผลไปใช้จะต้องพิจารณาใช้ให้เหมาะสม การทดสอบในหลุมเจาะที่ทำการกันเป็นส่วนมากได้แก่

ก. Vane Shear Test โดยใช้ใบมีด 4 แฉก เสียบลงในชั้นดิน แล้วบิดด้วยโมเมนต์บิด (Torque) จากผิวดินผ่านก้านต่อ ลงไปเลื่อนชั้นดิน เป็นรูปทรงกระจบอกลแล้วสามารถวัดแรงต้านทานของชั้นดินได้

ข. วัดการซึมน้ำ (Permeability Test) หรือความดันของน้ำใต้ดิน (Pore Water Pressure) โดยอาศัยการสูบน้ำออกแล้ววัดอัตราการไหลของน้ำเข้ามาแทนที่ในหลุมเจาะ หรือ ฟังเครื่องวัดที่เรียกว่า "Piezometer" เพื่อวัดแรงดันน้ำที่ระดับที่ต้องการ

รูปที่ ผ-1 ส่วนมือสำหรับเจาะสำรวจดิน



วิธีการสำรวจ

ก. เจาะโดยใช้สว่านมือ

1. เลือกตำแหน่งหลุมเจาะที่ต้องการ ถางหญ้าหรือทำความสะอาดผิวดินบริเวณหลุมเจาะเพื่อสะดวกในการทำงานถ้าสามารถทราบค่าระดับ (Elevation) ที่ผิวดิน ณ หลุมเจาะจะได้ข้อมูลที่ดี แต่ถ้าไม่ทราบให้ถือว่าผิวดินเป็นระดับ 0.00 ม.

2. เปิดปากหลุมโดยใช้จอบหรือเสียมนำโดยเฉพาะถ้าดินผิวน้ำแข็งหรือ มีเศษพง เศษอิฐอยู่มาก จนกระทั่งถึงผิวดินจริง

3. ใช้สว่านมือ โดยใช้คนอย่างน้อย 2 คนช่วยกันกดแล้วหมุน ถ้าเป็นสว่านแบบ Iwan ช่วงหนึ่งจะลงไปได้ประมาณ 20 ซม. ดินก็จะเต็มไปสว่าน นำขึ้นมาล้างดินออก โดยกองรวมกันไว้ที่หนึ่ง จะใช้ประโยชน์ในการดูความลึกของชั้นดินได้ภายหลัง

4. ใช้สว่านเจาะลงไปในลักษณะเดียวกัน โดยเสียดินนำไปกองต่อกันเป็นแถว จะทำให้เห็นความแตกต่างของชั้นดินได้ชัด บันทึกความลึกที่ชั้นดินเปลี่ยนไป สีและการจำแนกดินในชั้นต่าง ๆ ให้ชัดเจน ลงในแบบบันทึก “Boring Log”

5. เมื่อถึงระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน (เพื่อการศึกษาขอแนะนำให้เก็บตัวอย่างทุก ๆ ความลึก 1.50 ม.) นำกระบอกล็อกบางติดข้อต่อกับดินและก้านเจาะหย่อนลงก้นหลุม แล้วค่อย ๆ กดด้วยแรงคน (ถ้าดินแข็งให้ใช้คานงัดช่วย) จนกระบอกล็อกจมลงไปได้ประมาณ 50-60 ซม. ดินจะเข้าไปในกระบอกล็อกเพียงพอแล้ว หมุนก้านเจาะเวียนขวา 3 รอบ เป็นการเขี่ยตัวอย่างดินที่ปลายกระบอกล็อกให้ขาด แล้วจึงดึงกระบอกล็อกขึ้น

6. นำกระบอกล็อกดินมาล้างทำความสะอาดภายนอก แล้วอุดด้วย พาราฟิน กันความชื้นระเหยออกไป ปิดฉลาก ระบุตำแหน่งหลุมเจาะ, ความลึก, วันที่, และข้อมูลอื่นที่จำเป็น แล้ววางไว้ในที่ปลอดภัย เพื่อรวบรวมส่งไปห้องทดลอง

7. ใช้สว่านมือเจาะลงไปอีก แล้วเก็บตัวอย่างตามความลึกที่ต้องการ จนกระทั่งถึงระดับ 4 ถึง 6 เมตร จะทำงานไม่สะดวก เพราะก้านเจาะจะหนักเกินไปสำหรับแรงคนหรือมีน้ำใต้ดินเข้ามาในหลุม ทำให้เสียดินไม่ติดไปสว่าน จะต้องเปลี่ยนไปใช้การเจาะแบบฉีดล้าง หรือการเจาะแบบอื่น ๆ แทน

รูปที่ ผ-2 แสดงการเจาะเก็บตัวอย่างดินในระดับตื้นด้วยสว่านมือ



ข. เจาะแบบฉีดล้าง

อาจทำต่อจากการเจาะโดยใช้สว่านมือ หรือเจาะแต่เพียงลำพังก็ได้ โดยมีวิธีการข้อ 1 และ 2 เหมือนการเจาะโดยใช้สว่านมือ แล้วดำเนินการต่อไปดังนี้

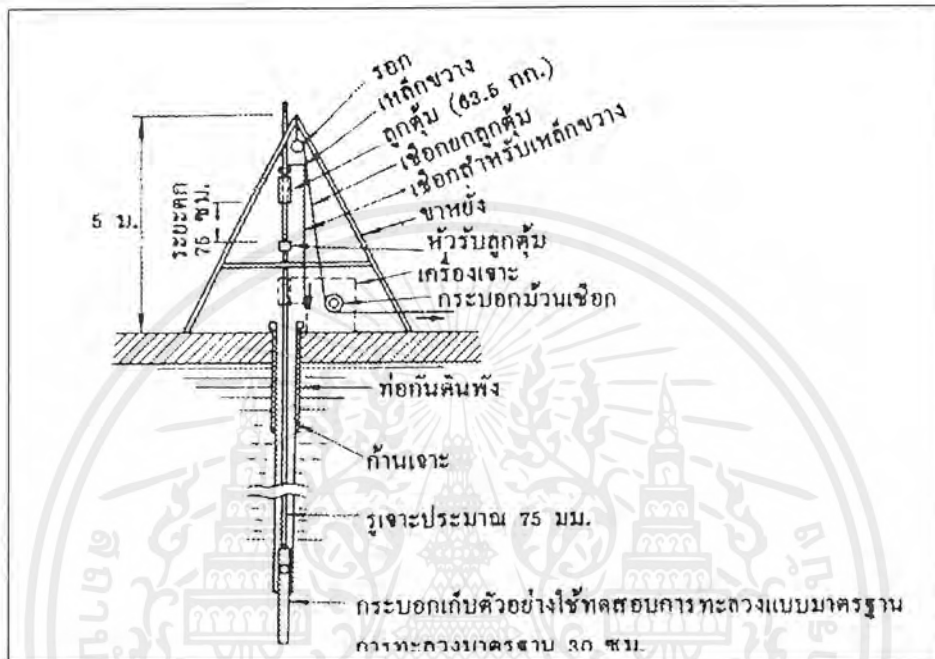
3. ตั้งสามขา โดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ตรงกับหลุมที่เตรียมไว้แล้ว ติดตั้งเครื่องกว้านและปั้มน้ำ ก้านเจาะและหัวต่อต่าง ๆ ควรเตรียมไว้ บริเวณใกล้ ๆ กันเพื่อสะดวกในการใช้งาน

4. ร้อยเชือกป่านมนิลาจากเครื่องกว้าน ผ่านรอกที่ปลายสามขา แล้วยึดไว้กับหัวท้าว (Swivel) ที่ปลายบนของก้านเจาะ สวมท่อน้ำจากปั้มเข้าปลายก้านเจาะ

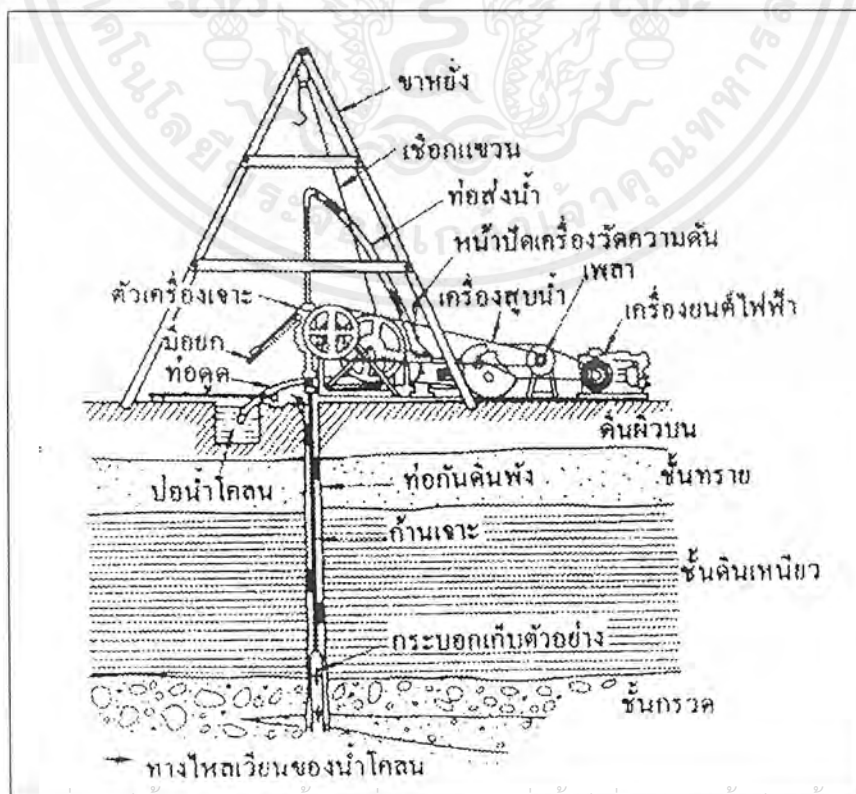
5. เริ่มปั้มน้ำผ่านก้านเจาะลงไปฉีดที่ปลายหัวเจาะ พร้อม ๆ กับใช้เครื่องกว้านยกหัวเจาะขึ้นลงเพื่อกระแทกดินที่ก้นหลุม จนเศษดินจะไหลตามน้ำขึ้นมาที่ปากหลุม แล้วปล่อยให้ไหลลงในบ่อตกตะกอน แล้วจึงสูบน้ำใสไปใช้ได้อีกครั้ง

6. เมื่อก้นหลุมลึกพอสมควร (ลึกกว่า 1.0 เมตร) ต้องใส่ปลอกเหล็กก้นดินพังลงไปเป็นท่อน ๆ (ท่อนละ 1.5 เมตร) ตามความจำเป็น เมื่อถึงความลึกที่ต้องการก็ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินดังข้อ 5 และ 6 ในการเจาะโดยใช้สว่านมือ

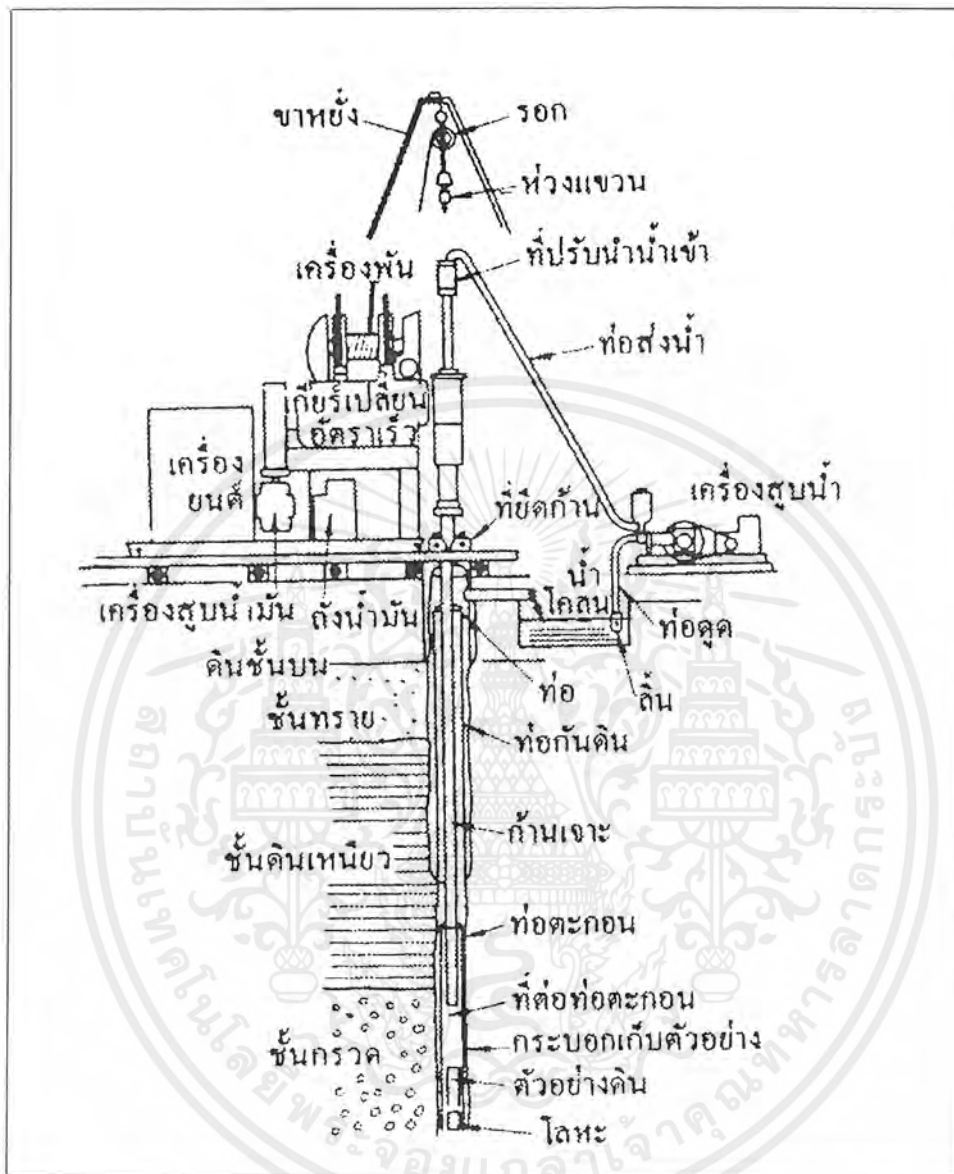
รูปที่ ผ-3 แสดง เครื่องเจาะแบบมาตรฐาน



รูปที่ ผ-4 แสดง เครื่องเจาะแบบหมุน



รูปที่ ผ-5 แสดงเครื่องเจาะแบบไฮดรอลิก



การบันทึกข้อมูล (Soil Boring Log)

ในระหว่างการเจาะสำรวจดินจะต้องมีรายละเอียดดังนี้

1. ตำแหน่งหลุมเจาะ, ระดับผิวดิน, หมายเลขหลุม
2. ผู้รับผิดชอบในการเจาะ (หัวหน้าชุดเจาะ), วันที่ทำการเจาะ
3. วิธีการเจาะ, วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 36 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองหาจุดเปลี่ยนสภาพ (ATTERBERG'S LIMITS)

อ้างอิง : ASTM D - 4138

บทนำ

มวลดินอาจเปลี่ยนแปลงสถานะภาพ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไปได้มากขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น (Water Content) ในตัวมวลดินเอง ความชื้น ในมวลดิน ณ จุดขณะเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า ลิมิต (limit) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้นๆ

ทฤษฎี

จุดเปลี่ยนสถานะภาพ หรือ ลิมิตของมวลดิน ถูกเสนอขึ้นใช้เป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ A. Atterberg โดยมีอยู่ด้วยกัน 5 ลิมิต แต่ภายหลังนำมาใช้ทางด้านปฐพีกลศาสตร์เพียง 3 ลิมิต

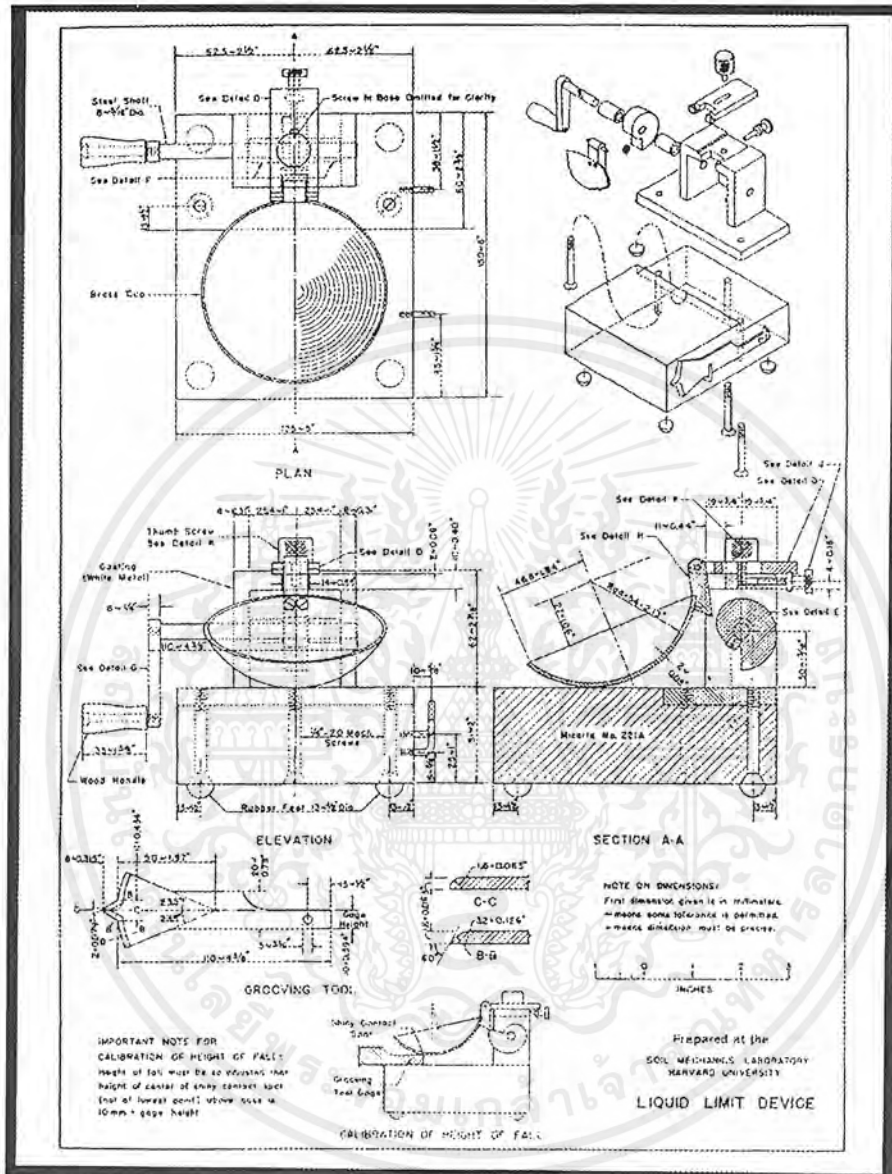
1. Liquid Limit (W_L , L.L.)
คือความชื้นในมวลดินขณะที่เริ่มเปลี่ยนสถานะภาพจากของเหลว (Viscous Fluid) ไปเป็นสารหนืดตัวในสถานะภาพพลาสติก (Plastic State) ที่จุด B
2. Plastic Limit (W_P , P.L.)
คือความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานะภาพจากพลาสติก เป็น กึ่งของแข็ง (Semi-solid State) ที่จุด C
3. Shrinkage Limit (W_{sk} , S.L.)
คือความชื้น ณ ที่จุด D ซึ่งดินเปลี่ยนสภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็งและจะ不会再หดตัวอีกต่อไปแล้ว แต่เมื่อความชื้นยังลดลงไป ฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสถานะไม่อิ่มตัวเกินขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย ณ ที่จุด E

ค่าความชื้นในสถานะภาพ พลาสติกของดิน เรียกว่า Plasticity Index (P.L. หรือ I_p) คือผลต่างของ L.L. และ P.L. มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดิน และยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานะภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน

การหาค่าความชื้นที่ลิมิตต่างๆ มีวิธีการเฉพาะซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันแพร่หลาย คือ Liquid Limit คือความชื้นของมวลดินที่ เมื่อเตรียมดินลงในถ้วยเคาะ (Liquid limit device) โดยมีรอยบากมาตรฐาน แล้วเคาะได้ 25 ครั้ง รอยบากนั้นจะเคลื่อนมาบรรจบกันยาวประมาณ 1 ซม.พอดี ซึ่ง A. Cassagrande ได้ให้ความเห็นไว้ว่า เท่ากับความชื้น ณ จุดที่กำลังของดินเท่ากับ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ พ-6 แสดงเครื่องมือเคาะหาค่า Liquid Limit



กรัม/ตร.ซม. โดยเปรียบเทียบไว้ว่า การเคาะแต่ละครั้ง เท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อมวลดินมีค่าประมาณ 1 กรัม/ตร.ซม.

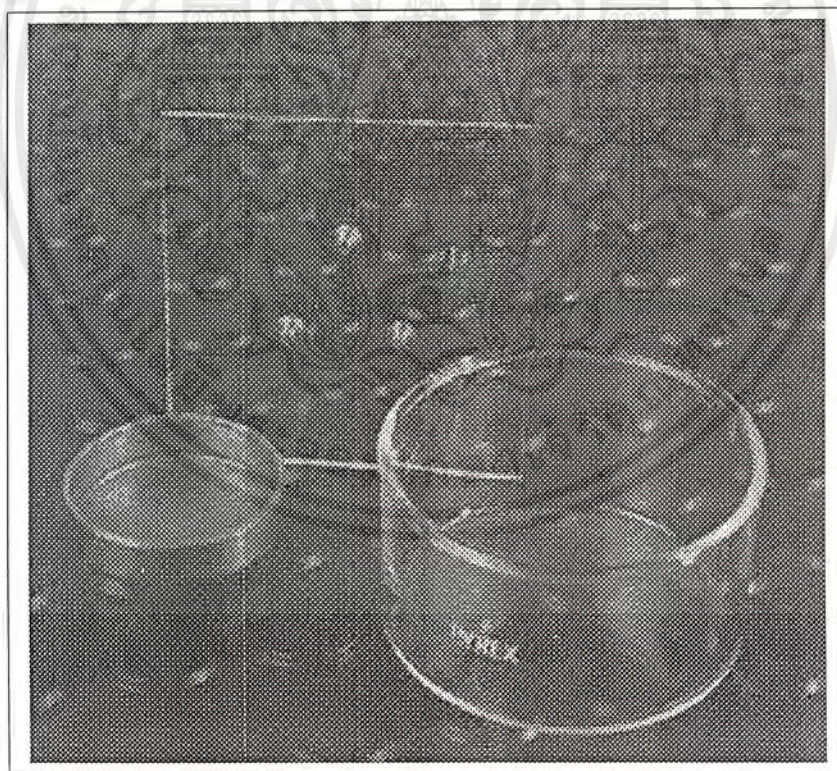
Plastic limit คือความชื้นในมวลดิน ซึ่งเมื่อถูกปั้นคลึงเป็นเส้นยาวและมีขนาด 1 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วจะมีรอยแตกปริโดยรอบผิวดินเกิดขึ้นพอดี ดังเช่นในรูปที่ 2.4 ซึ่งในการปฏิบัติจริงทำได้ยากพอสมควร ต้องอาศัยความชำนาญ กว่าที่จะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

สำหรับ Shrinkage limit ดังที่เคยกล่าวเอาไว้ข้างต้นแล้วว่า เป็นความชื้น ณ.จุดที่มวลดินจะไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรอีกแล้ว

การหดตัวของมวลดิน
$$s\% = W_i - \frac{(V_i - V_f) \gamma_w}{W_s} \times 100$$

เมื่อ w_i = ความชื้นเมื่อเริ่มการทดลองที่ A
 V_i = ปริมาตรดินเมื่อเริ่มการทดลองที่ A
 V_f = ปริมาตรดินเมื่อแห้ง ที่ E หรือ D
 W_s = น้ำหนักแห้งของมวลดิน

รูปที่ ผ-7 แสดงเครื่องมือการหา Shrinkage Limit



วิธีการทดลอง

A. Liquid Limit

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม แบ่ง 50 กรัม ไว้ทำ Shrinkage Limit ส่วนที่เหลือใช้ทำ Liquid Limit และ Plastic Limit
2. นำตัวอย่างผสมน้ำให้เข้ากัน โดยมีความชื้นเหลวขนาดปูนฉาบ ใช้มีดปาด (Spatula) ตักปาดลงบนถ้วยทองเหลือง โดยความหนาของดินตรงกลาง ประมาณ 1 ซม. แล้วบากโดยเครื่องมือบาก (Grooving Tool) ให้เป็นรอยบากตรงกลาง
3. เคาะถ้วยทองเหลือง ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้ง/ วินาที จนกระทั่งดินตอนล่างของรอยบากเคลื่อนเข้าบรรจบกัน 1 ซม. แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งของการเคาะ
4. ปาดแต่งดินอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือห่างกันไม่เกิน 2 ครั้งให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำดินบริเวณรอยบากไปหาปริมาณความชื้น
5. ผสมน้ำเพิ่มในดิน แล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งการเคาะน้อยลงประมาณ 10 ครั้งแล้วนำดินไปหาความชื้น ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งการเคาะอย่างน้อย 4 ค่า
6. เมื่อได้ข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และความชื้น นำไปเขียนลงในกราฟ ควรจะได้จุดที่อยู่ในแนวใกล้เคียงเส้นตรงลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น
7. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ในแกนราบลากเส้นตัดกราฟ จากจุดตัดลากเส้นขนานแนวราบตัดค่าความชื้น (W) ในแกนตั้ง ค่าความชื้นนั้นคือ Liquid Limit (W_L หรือ L.L.)

B. Plastic Limit

1. ดินที่เหลือจากการทดลอง Liquid Limit มาต่งให้มาดๆ แล้วนำมาปั้นเป็นแท่งยาวขนาดประมาณ 1 ซม. แล้วค่อยๆ คลึงให้เล็กลงจนกระทั่งผิวเริ่มแตกปริโดยรอบ
2. ถ้าขนาดของแท่งดิน ขณะที่แตกใหญ่กว่า 1 หุน ($1/8$ นิ้ว) แสดงว่าแห้งไปให้เติมน้ำอีก แล้วปั้นใหม่ ถ้าขนาดเล็กกว่า 1 หุน ($1/8$ นิ้ว) แล้วยังไม่แตก แสดงว่าเปียกไปให้ต่งให้แห้งอีก
3. ในกรณีที่รอยแตกเกิดขึ้น เมื่อแท่งดินมีขนาด 1 หุน ($1/8$ นิ้ว) ให้นำแท่งดินไปอบหาความชื้น คือ Plastic Limit
4. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

C. Shrinkage Limit

1. นำตัวอย่างดินมาผสมน้ำ ใช้มีดปาด ผสมน้ำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีความเหลวมากกว่าเมื่อครั้งทำ Liquid Limit
2. ชั่งถ้วยเหล็กสำหรับหา Shrinkage แล้วทาจาระบีภายในบางๆ เพื่อไม่ให้ดินติดขณะแห้ง
3. ตักดินใส่ในถ้วย 1/3 แล้วเคาะลงกับพื้นโต๊ะ เพื่อไล่ฟองอากาศในดินจนหมด แล้วเติมชั้นที่ 2 และ 3 โดยมีการเคาะไล่ฟองอากาศเหมือนชั้นแรก
4. ใช้มีดปาด แต่งผิวหน้าให้เรียบเสมอขอบถ้วย เช็ดเศษดินที่เปื้อนอยู่ภายนอกถ้วยออกให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
5. ปลดดินในถ้วยเหล็กให้แห้งโดยตากไว้ในห้องทดลอง 24 ชม. แล้วจึงนำเข้าเตาอบ จนแห้งสนิทจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
6. นำก้อนดินที่อบแห้งแล้วมาหาปริมาตรโดยแทนที่ปรอท ชั่งถ้วยซึ่งมีปรอทเต็ม (ใช้แผ่นพลาสติกกดไล่ปรอทให้เสมอขอบ)
7. นำก้อนดินแห้งใส่ในปรอท ดินจะลอยอยู่บนปรอท กดดินให้จมโดยใช้แผ่นพลาสติกปรอทที่มีปริมาตรเท่ากับก้อนดินจะถูกไล่กลืนออกไป ซึ่งปรอทส่วนที่เหลือนำไปคำนวณหาปริมาตรก้อนดินได้

การคำนวณ

1. Liquid Limit (w_L) อ่านได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง
2. Plastic Limit (w_p) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ทำได้ 2 ครั้ง
3. Plasticity Index (I_p) = $w_L - w_p$
4. Flow Index (I_f) คือ ความชันของเส้นกราฟ (Flow Curve)

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

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 $(I_L) = \frac{W_n - W_p}{I_p}$

เมื่อ w_n = ความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content)

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

8. Shrinkage limit $(W_{sk}) = \frac{W_i - (V_i - V_r) \gamma_w \times 100}{W_s}$

9. การคำนวณหา Liquid Limit โดยการเคาะครั้งเดียว โดยจำนวนครั้งของการเคาะจะต้องอยู่ในระหว่าง 20 ถึง 30 ครั้ง

$$L = W_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

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

ตารางแสดงค่า N และ $(N/25)^2$

No, of blow, N	$(N/25)^2$
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

ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)

อ้างอิง : ASTM D – 854

บทนำ

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คืออัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของเนื้อวัตถุนั้น ต่อ น้ำหนักที่อุณหภูมิ 4° C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น

ในมวลดิน จะประกอบด้วยธาตุสารหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุสารเหล่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจึงทำให้มีความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่า ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ก็จะทำให้มี ถ.พ.ต่ำ ถึงประมาณ 2.00 แต่ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70 สำหรับดินทั่ว ๆ ไป

ความถ่วงจำเพาะ จะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (Void Volume) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation), ความพรุน (Porosity) และอื่นๆ ได้ ทั้งยังจะทำให้คาดได้ว่ามวลดินนั้น ๆ ประกอบด้วยธาตุสารอะไรเป็นองค์ประกอบ

ทฤษฎี

การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ต่อไปจะเรียกว่า ถ.พ.) ทำได้โดยใช้ขวดหา ถ.พ. (Pycnometer) ซึ่งมี 2 ขนาดคือ ขวดดวงปากเล็ก (Volumetric Flask) ขนาด 100 - 500 ต.บ.ซ.ม. ซึ่งเหมาะสำหรับดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ และขวดจุกแก้วขนาด 25 - 100 ต.บ.ซ.ม. สำหรับดินเม็ดละเอียด แต่วิธีการทดลองส่วนใหญ่เหมือนกัน จึงขอกล่าวเฉพาะการใช้ขวดแบบแรกเท่านั้น

จากคำนิยาม ถ.พ.ของเม็ดดิน

$$(G) = \frac{\gamma \text{ (ดิน)}}{\gamma_w \text{ (น้ำ ที่ } 4^\circ\text{C)}}$$
$$\text{หรือ} = \frac{W_s / V}{W_w / V} \quad \text{-----} \quad 1$$

เมื่อ γ = ความหนาแน่นเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ (ไม่รวมช่องว่าง)

W_s = น้ำหนักเนื้อดิน

W_w = น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดินที่อุณหภูมิ 4° เซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเนื้อดินนั้นเราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง แต่น้ำหนักที่มีปริมาตรทำเนื่อดิน ทำได้โดยการนำมวลดินไปแทนที่น้ำ แต่จะมีปัญหาที่จะต้องแก้ไขคือ มักจะเกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ปนกับน้ำผสมดิน และน้ำหนักของน้ำในขวด ถ.พ. ที่ระดับขีดปากขวดจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิ จึงต้องมีเทคนิคการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ

1. กำจัดฟองอากาศโดยใช้ปั๊มดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump) หรือต้มไล่ฟองอากาศ และในขณะเดียวกันก็ใช้น้ำกลั่นที่ดูดฟองอากาศไว้ล่วงหน้าแล้ว (De-aired)
2. ชั่งน้ำหนักขวดมีน้ำเต็มที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกับการใช้งาน แล้วเขียนเป็นกราฟสำหรับปรับแก้ เรียกว่า “Calibration of Volumetric Flask”

ผลของการทดสอบหา ถ.พ. ของดิน จึงมักขึ้นอยู่กับความละเอียด พิถีพิถัน ของผู้ทดลองเป็นอย่างมาก จึงขอแสดงค่า ถ.พ. ของดินบางชนิด ไว้พอเป็นแนวทาง ในการพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ดังในตารางข้างล่าง

ตารางแสดงความถ่วงจำเพาะของดิน

ดินกรุงเทพฯ	2.60 – 2.72
ดินบางเขน	2.60 – 2.69
ดิน Iowa Loess	2.70
ทราย	2.65 – 2.67
ดินลูกรัง	2.70 – 3.00
ดินปนสารอินทรีย์	อาจต่ำกว่า 2.00

วิธีการทดลอง

- ก. การหากราฟสำหรับหาน้ำหนักน้ำและขวดที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อนำขวดหา ถ.พ. ใหม่มาใช้ หรือ เมื่อใช้ไปนานพอสมควร ควรจะต้องทำการหากราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดมีน้ำเต็ม และ อุณหภูมิ โดยทำได้ดังนี้

1. ล้างขวด ถ.พ. ให้สะอาด เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอขวด (อ่านระดับท้องน้ำ)
2. ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดด้วยปั๊มสุญญากาศ ประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด
3. เติมน้ำปรับระดับน้ำจนเสมอ ระดับที่คอขวดพอดี เช็ดภายนอกขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

4. วัดอุณหภูมิของน้ำภายในขวดให้ละเอียด โดยวัดที่หลายระดับ ถ้าอุณหภูมิต่างกันมาก ให้ตะแกงขวดแล้วกลิ้งไปมาเพื่อให้ผสมเข้ากันดี ทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอแล้วจึงบันทึกอุณหภูมิที่ถูกต้อง
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 โดยให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (20 ถึง 40 °C) ประมาณ 4 - 5 จุด เช่นที่ 20, 25, 30, 35, 40 °C เป็นต้น
6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็ม และอุณหภูมิ

ข. การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

1. นำดินตัวอย่างที่แห้งประมาณ 50 กรัม (ถ้าเป็นดินชื้นต้องผึ่งน้ำหนักความชื้น) ผสมน้ำกลั่น แล้วกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่น (Mixer Machine) โดยให้ส่วนผสมไม่เกิน 200 ล.บ.ช.ม.
2. เทส่วนผสมน้ำดินลงในขวดหา ถ.พ.ขนาด 250 ล.บ.ช.ม. แล้วใช้น้ำกลั่นล้างดินที่ติดในภาชนะผสมลงในขวด ถ.พ.ให้หมด ระวังอย่าให้ระดับน้ำเกินขีดวัดปริมาตรที่คอขวด
3. ดั้มไล่ฟองอากาศโดยการดั้มหรือดูดโดยปั๊มสูญญากาศ ประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด แล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงระดับขีดที่คอขวด แล้วปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง
4. ถ้าระดับน้ำลดลงอีกให้เติมให้เต็มถึงขีด แล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด
5. เทแล้วล้างส่วนผสมในขวด ถ.พ. ลงในภาคนำไปอบให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักดินที่แน่นอนอีกครั้ง

การคำนวณผลการทดลอง

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{W_s}{W_w} \text{ ที่ } 4^\circ\text{C} \quad (\text{เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน}) \\
 &= \frac{W_s}{[(W_s + W_2) - W_1] \cdot \frac{1}{G_T}} \\
 &= \frac{W_s G_T}{W_s + W_2 - W_1}
 \end{aligned}$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักดินอบแห้ง , กรัม
 W_2 = น้ำหนักขวดมีน้ำเต็มที่อุณหภูมิที่ทดลอง ($T^{\circ}C$) , กรัม ซึ่งอ่านได้จาก
 กราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดเติมน้ำกับอุณหภูมิ
 W_l = น้ำหนักขวดมีน้ำผสมดิน ที่อุณหภูมิที่ทดลอง ($T^{\circ}C$)
 G_T = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิที่ทดลอง ($T^{\circ}C$)



การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIZE ANALYSIS)

อ้างอิง : ASTM D - 422

บทนำ

มวลดินหนึ่งคิวบิกฟุต อาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง .0002 มม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเห็นียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก ก็จะเรียกว่า ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับ ความซึมน้ำ (Permeability), การรับแรง (Strength), อัตราการทรุดตัว (Rate of Consolidation) และอื่น ๆ อีกมาก

การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่าง ๆ กัน มักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม.ขึ้นไป วิธิตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือ หลอดดูด (pipette) วัดการตกตะกอน เหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 มม. ถึง 0.0002 มม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

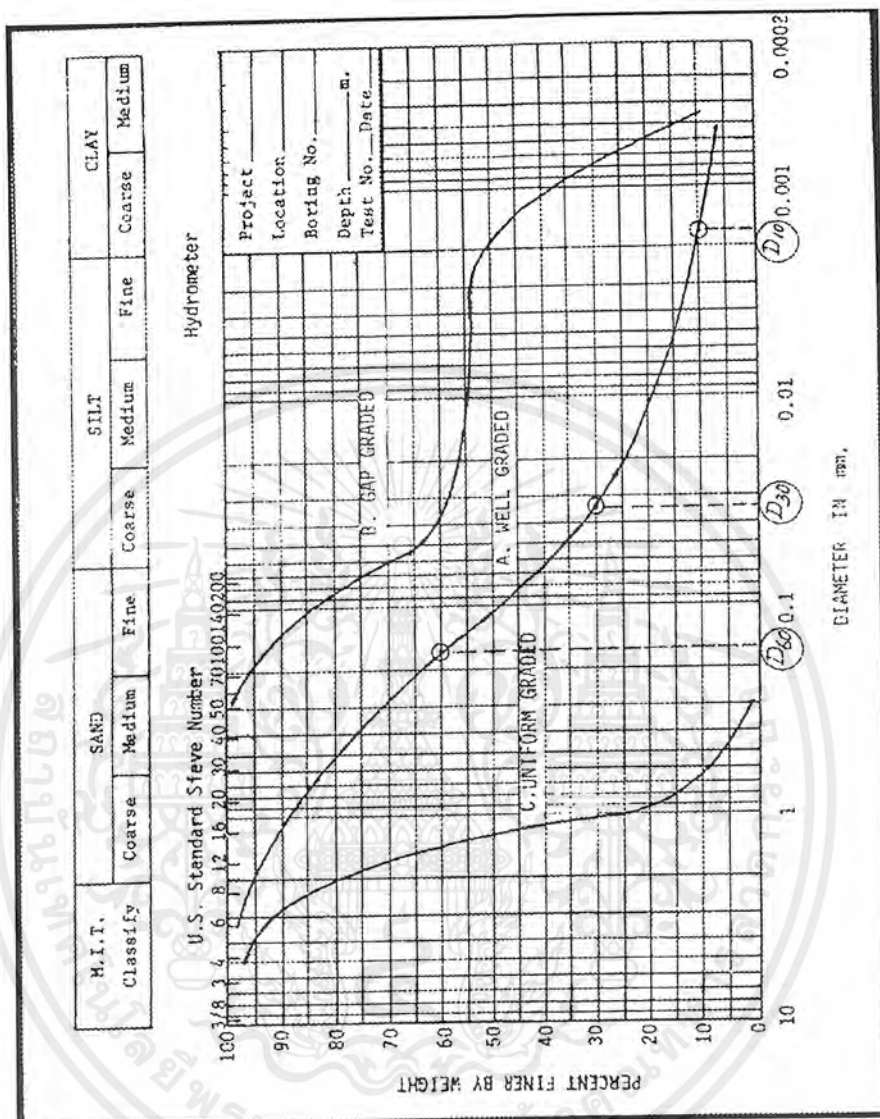
ทฤษฎี

การกระจายของขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดในสเกลลอการิทึม (Logarithmic Scale) และ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve)

ขนาดที่ระบุในกราฟนั้นแท้ที่จริงแล้วเป็นเพียง ขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้ เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ขนาดเม็ดดิน อาจมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ขาวรี, แผ่น, กลม หรืออื่น ๆ ได้
2. ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของ เม็ดดินเอง และผนังภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้อง ทำให้การตกตะกอนไม่เป็นอิสระอย่างแท้จริง

รูปที่ ผ-8 กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน



- รูปร่างของเม็ดดินเหนียวมักเป็นแผ่น มีใช้ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจึงจึงคล้ายไปไม่หล่นจากต้น จึงทำให้การคำนวณความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง
- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการคำนวณการตกตะกอน ถือเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งความจริงดินแต่ละเม็ดอาจจะมีธาตุสารไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากก็ได้

ลักษณะของกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน แบ่งเป็น 2 จำพวกใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

1. ดินที่มีขนาดเม็ดคละกัันดี (Well Graded Soil) คือ ดินมีเม็ดขนาดต่างๆ คละกัันดีโดยพิจารณาจากช่วงของกราฟ เรียกว่า Coefficient of Uniformity

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

และความโค้งของเส้นกราฟ เรียกว่า Coefficient of Concavity

เมื่อ D_i = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดินที่มี i เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักมีขนาดเล็กกว่านี้

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

เช่น D_{60} ในกราฟ A $\cong$ 0.17 มม.

ดินจะมีคุณสมบัติคละกัันดีเมื่อมีคุณสมบัติตามตาราง

ตารางแสดงลักษณะของดินที่มีขนาดเม็ดคละกัันดี

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

สำหรับในกราฟ 4.1 A $C_u = 94$, $C_c = 1.58$ จึงจะเป็นลักษณะของทรายที่มีขนาดเม็ดคละกัันดี (Sand Well Graded)

2. ดินที่ไม่มีขนาดเม็ดคละกัันดี (Poorly Graded Soil) แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

ก. ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) เช่นใน กราฟ ผ-8 B จะเห็นว่าขนาดระหว่าง .0025 - .017 มม. หายไป กราฟจึงเป็นเส้นระนาบ

ข. ดินที่มีเม็ดขนาดเดียว (Uniform Graded) เช่นในกราฟ ผ-8 C จะเห็นว่าขนาดของเม็ดระหว่าง 1.0 - 2.0 มม. มีถึง 55 %

วิธีการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีตกตะกอน อาศัย ทฤษฎีของ Stoke ที่ว่า ความเร็วในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของเม็ด, ความหนาแน่นของของเหลว, ความหนืดของของเหลว และขนาดของเม็ดดังความสัมพันธ์ ต่อไปนี้

เมื่อ	γ_s	=	ความหนาแน่นของเม็ดดิน
	γ_w	=	ความหนาแน่นของของเหลว
	μ	=	ความหนืดของของเหลว (Viscosity)
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน

ตารางแสดงค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

$t^{\circ}\text{C}$	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

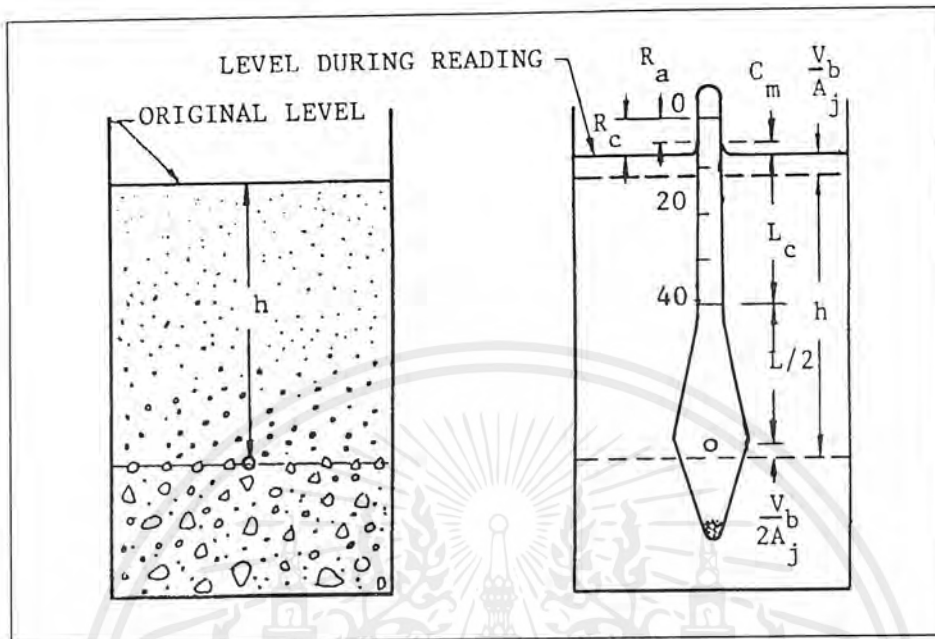
เมื่อเวลาผ่านไป t เม็ดดินที่ตกตะกอนลงมาอยู่ที่ความลึก h จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังในสามการที่ 4.2 เหนือระยะ h ขึ้นไปจะมีแต่เฉพาะ

$$D = \sqrt{\frac{18 \mu}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{h}{t}} \quad \text{---- (1)}$$

เม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า D ทั้งหมด เพราะเม็ดใหญ่กว่านี้ได้ตกตะกอนมาข้างล่างหมดแล้ว ฉะนั้นที่ระยะ h นี้ ความเข้มข้นหรืออัตราส่วนของเม็ดเล็กกว่า D ในสารผสมจะยังไม่เปลี่ยนแปลง คงเหมือนกับที่จุดใด ๆ เมื่อเริ่มการตกตะกอน ดังนั้น เปอร์เซนต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า D จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \%F &= \frac{\text{น้ำหนักของ เม็ดดินต่อ ล.บ.ช.ม. ที่ความลึก } h \text{ ที่เวลา } t}{\text{น้ำหนักของ เม็ดดินต่อ ล.บ.ช.ม. ของส่วนผสม เริ่มต้น}} \times 100 \\ &= \frac{W_d}{W_{sol}} \times 100 \end{aligned} \quad \text{---- (2)}$$

รูปที่ ผ-9 แสดงการตกตะกอนของเม็ดดิน



เมื่อเราจุ่ม Hydrometer ไปวัดก็จะอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของสารผสมนั้น

$$\begin{aligned}
 1 + \frac{R_c}{1000} &= 1 + \text{น้ำหนักเม็ดดินซึ่งน้ำ/ลบ.ชน.} \\
 &= 1 + W_d \times \frac{(G-1)}{G} \\
 \therefore W_d &= \frac{R_c}{1000} \cdot \left(\frac{G}{G-1} \right) \quad \text{---- (3)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ R_c = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (ส่วนที่เกิน 1.000 เป็นจำนวนเต็ม)

แทนค่า W_d ในสมการ 3 ลงในสมการ 2

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

ในกรณีที่ใช้กระบอกตกตะกอนขนาด 1000 ล.บ.ช.ม. อาจจะหาอยู่ในค่า ของน้ำหนักดินแห้งในสารผสม, W_s ได้ดังนี้

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

สำหรับสมการที่ 1 เทอมค่าคงที่เฉพาะกรณี (μ, γ_s, γ_w) อาจรวมเป็นค่าคงที่ K_2 ได้คือ

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

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

การอ่านค่า R_c มักมีปัญหาที่จะต้องปรับแก้ คือ

1. Meniscus Correction, C_m คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านจริงและค่าที่ควรอ่านที่ระดับท้องน้ำ ทั้งนี้เพราะส่วนผสมมีลักษณะขุ่นการอ่านที่ระดับท้องน้ำจะทำได้ จึงต้องอ่านที่ส่วนบนของ Meniscus แทน การหาค่า C_m ทำได้โดยอ่านในน้ำเปล่า
2. Temperature Correction, C_T คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ในน้ำเปล่า กับค่า 1000 จริง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้จากการอ่านค่าในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิเท่ากับส่วนผสม

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

เมื่อ R_a = ค่าที่อ่านในระหว่างการทดลอง

C_m = Meniscus Correction

C_T = Temperature Correction

การหาความสัมพันธ์ของ R_c และ h สามารถหาได้โดยการหากราฟความสัมพันธ์ ซึ่งมี 2

ลักษณะคือ

1. ช่วงแรกของการอ่านตั้งแต่ 0-2 นาที เพราะในช่วงนี้จะไม่มีการยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกวัด

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

เมื่อ L = ความยาวของตัวกระเปาะไฮโดรมิเตอร์จากปลายถึงขีด 40 (ASTM 151H)

L_s = ความยาวของก้านไฮโดรมิเตอร์จากขีด 0 ถึง 40 (ASTM 151H)

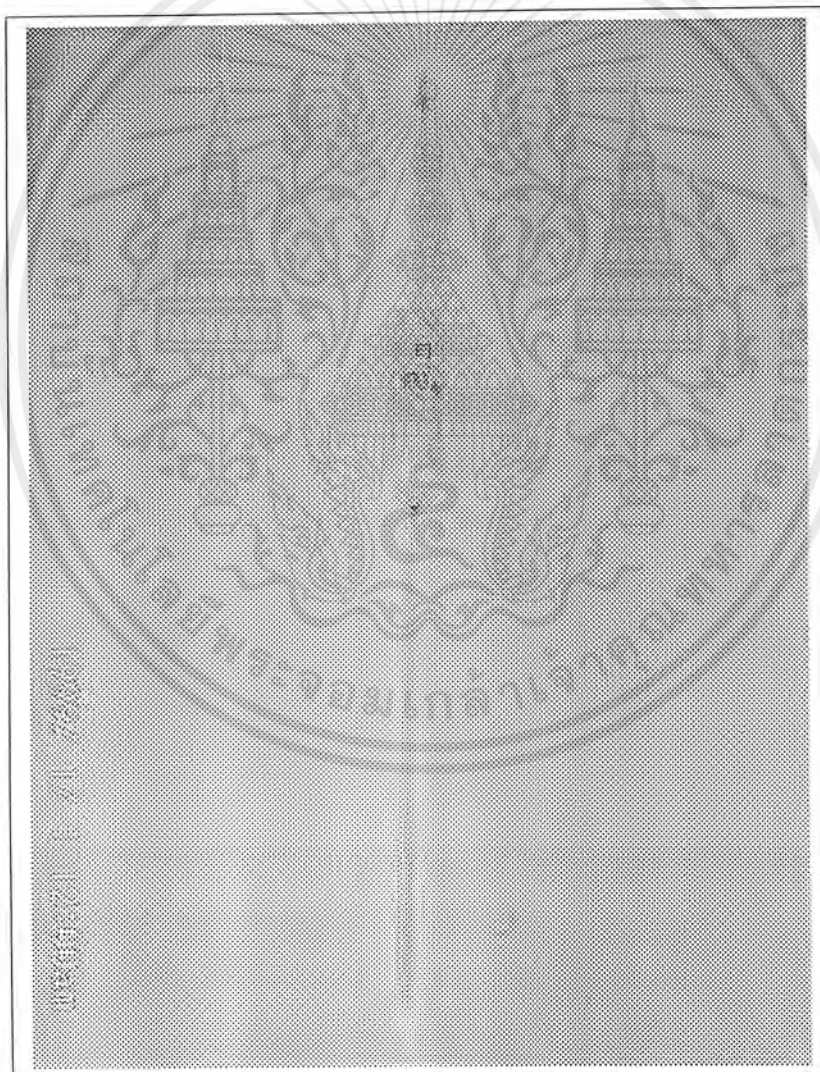
2. ช่วงการอ่านที่นานกว่า 2 นาฬิกา ในช่วงนี้จะชกไฮโดรมิเตอร์ภายหลังจากการอ่านจึงมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารผสมที่จุดกึ่งกลางของกระเปาะความสูงจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ $V_b / 2A_j$

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

เมื่อ V_b = ปริมาตรของกระเปาะหาได้จากการแทนที่น้ำ , ด.บ.ช.ม.

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

รูปที่ ผ-10 แสดงอุปกรณ์ไฮโดรมิเตอร์



วิธีการทดลอง

ก. วิธีร่อนผ่านตะแกรง

ตารางแสดงน้ำหนักตัวอย่างดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

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

1. ชั่งตะแกรงทุกๆ ขนาดที่ใช้ โดยตาชั่งอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบโดยมีขนาดละเอียดถึง เบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง
2. ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบ แยกดินเป็นเม็ดอิสระด้วยมืออย่าง
3. นำตัวอย่างดินที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปละเอียด โดยมีฝาปิดด้านบนและมีถาดรองด้านล่าง รวมเป็นถาดนำเข้าเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) เขย่านานอย่างน้อย 10 นาที
4. ชั่งทั้งดินที่ค้างอยู่ในแต่ละตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาค่า %F

ข. วิธีการตกตะกอน

ก่อนทำการทดลองผู้ทดลองควรลองจุ่มไฮโดรมิเตอร์ ในลักษณะที่ถูกต้องเสียก่อน โดยจับก้านไฮโดรมิเตอร์ทั้งสองมือ แล้วค่อยๆ หย่อนลงในกระบอกตกตะกอนจนใกล้เคียงตำแหน่งที่ไฮโดรมิเตอร์จะลอยตัวได้จึงค่อยๆ ปล่อย ถ้าปล่อยสูงเกินไปจะทำให้ไฮโดรมิเตอร์จมลงไปกระทบกับกระบอก เกิดแตกหักเสียหายได้

การหาความสัมพันธ์ของ R_u และ h จะทำได้โดยการวัดขนาดกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (L) ความกว้างจาก 1.00 ถึง 1.04 (L_u) ปริมาตรกระเปาะ (V_u) โดยอ่านจากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง แล้วอ่านระดับน้ำที่เปลี่ยนไปพื้นที่หน้าตัดของกระบอกตะกอน (A_u) แล้วนำไปคำนวณเขียนกราฟที่กล่าวไว้ข้างต้น

วิธีการตกตะกอน

1. นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่น และ น้ำยา Dispersing Agent (4% ของสารละลาย Sodium hexa meta phosphate) จนได้น้ำผสมประมาณ 300 - 500 ล.บ. ซม.
2. ปั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 10 นาที เพื่อให้เป็นเม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตะกอนใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมดเติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ล.บ. ซม.
3. ใส่ น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้างๆ อีกหนึ่งกระบอกไว้เพื่ออ่าน ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ
4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลงเริ่มจับเวลาทันที
5. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า R_u ที่เวลา 0.25, 0.5, 1 และ 2 นาที โดยไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออกจนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออก แล้วเขย่ากระบอกใหม่
6. วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้ววัด R_u ที่ 2, 5, 10, 20, ... ฯลฯ จนไฮโดรมิเตอร์อ่านประมาณ 8 ถึง 15 ซีด ซึ่งอาจกินเวลาถึง 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการอ่านให้วัดอุณหภูมิด้วยอย่างน้อยทุกๆ 1 ชั่วโมง
7. เมื่อทดสอบเสร็จแล้วเทส่วนผสมลงในภาชนะ นำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

การคำนวณผล

ก. การร่อนผ่านตะแกรง

1. เปอร์เซนต์ของดินที่ตกค้างบนตะแกรง =
$$\frac{\text{น.น.ดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น.น.ดินทั้งหมด}} \times 100$$
2. เปอร์เซนต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า
3. เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Finer) = 100 - เปอร์เซนต์ค้างสะสม

ข. การตกตะกอน

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

เมื่อ K_2 = ค่าอ่านได้จากตารางที่

h = ระยะตกตะกอน (ซ.ม.) อ่านได้จากกราฟรูปที่

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

2. เปอร์เซนต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (% Finer)

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

W_s = น้ำหนักดินแห้งในส่วนผสม (กรัม)

G = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

R_c = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์หลังจากแก้ไขแล้ว (ขีด)

ค. การคำนวณผลรวม

ในบางกรณีการหาขนาดเม็ดดินทำได้เนื่องจากการร่อน แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรง No. 200 มาทดสอบโดยวิธีตกตะกอนต่อ ในลักษณะนี้ต้องคำนวณผลจากการร่อนก่อน แล้วนำ %F200 ของตะแกรง No. 200 มาใช้คำนวณในการตกตะกอนคือ

เปอร์เซนต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า

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

เมื่อ F200 คือ %F ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรง No.200

การจำแนกดินทางวิศวกรรม (SOIL CLASSIFICATION)

อ้างอิง : ASTM D – 2487

ASTM D – 2488

บทนำ

ดินเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยสิ่งต่างๆ หลากอย่าง เช่น กรวด, ทราย, ดินเหนียว, อินทรีย์สาร เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ หินต้นกำเนิด, การกัดกร่อนผุพัง, การพัดพา และการตกตะกอนทับถม เพื่อที่จะจัดหมวดหมู่ของดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกันเข้าอยู่ในพวกเดียวกัน ตามวัตถุประสงค์ในการทำงาน การจำแนกประเภทของดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องกับดินอยู่หลายสาขาด้วยกัน การจำแนกประเภทดิน คือ แตกต่างกันไป แยกแยะวัตถุประสงค์ในการใช้งานในแต่ละสาขา เช่น ทางด้านเกษตรศาสตร์จะจำแนกดินตามความอุดมสมบูรณ์ของธาตุสารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ ทางด้านธรณีวิทยาอาศัยลักษณะหินต้นกำเนิด และการกัดกร่อนผุพัง เป็นปัจจัยในการจำแนกสำหรับทางวิศวกรรมโยธา พิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และกลศาสตร์ของดินเป็นหลัก เช่น ขนาดของเม็ดดิน, แรงยึดเกาะของมวลดิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยทางวิศวกรรมแต่ละหมวดหมู่ของดินที่จัดเข้าไว้จะมีอักษรย่อเฉพาะ ซึ่งจะเป็นที่เข้าใจได้โดยง่ายในหมู่วิศวกร หรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง

ในวงการวิศวกรรมโยธา การจำแนกดินมีหลายระบบขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานด้านถนน ใช้ระบบ AASHTO Classification ซึ่งจัดแบ่งดินตามความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน, งานสนามบิน ใช้ระบบของ FAA Classification และระบบ Unified Soil Classification ซึ่งใช้กับงานวิศวกรรมทั่วไปและนิยมแพร่หลายกว่าระบบอื่นๆ

ทฤษฎี

ในบทนี้จะขอก้าวถึงรายละเอียดการจำแนกดินเพียง 2 ระบบ คือ

1. ระบบ Unified Soil Classification
2. ระบบ AASHTO Classification

ซึ่งสองระบบอาศัยข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกคล้ายๆ กันคือ การกระจายและขนาดของเม็ดดิน,

ค่า Atterberg's limits (L.L., P.L., P.I.) สึกถล่มและการจับตัวของเม็ดดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่เจือปน ซึ่งรายละเอียดการทดสอบหาข้อมูลเหล่านี้ได้กล่าวไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 56 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงรายละเอียดการจำแนกดินระบบ Unified Soil Classification

Major Divisions	Group Symbols	Typical Names	Laboratory Classification Criteria
Coarse-grained soil (More than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
		GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
		GM ¹	Silty gravels, gravel-sand silt mixtures
		GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Sands (More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines
		SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines
		SM ¹	Silty sands, sand-silt mixtures
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures
		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
Fine-grained soil (More than half material is smaller than No. 200 sieve)	Silt and clays (Liquid limit less than 50)	MH	Inorganic silts, silty or clayey fine sands, silty or clayey fine sands, silty or clayey fine sands
		CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
		OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts
	Highly organic soil		
		Pe	Peat and other highly organic soils

Determine percentages of sand and gravel from grain size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size) soils are classified as follows:
 Loss than 5 per cent
 5 to 12 per cent
 13 to 20 per cent

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

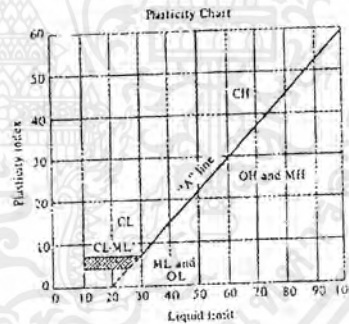
GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC

GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC
 GW GP SW SP GM GC SM SC



การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification

ใช้อักษรย่อ 2 ตัวทำให้จดจำง่าย และมีความหมายในตัวเอง เช่น G = Gravel (กรวด), S = Sand (ทราย), M = Silt (ดินทราย), C = Clay (ดินเหนียว), W = Well Grad (มีดีคละ), P = Poorly Grade (มีดีไม่คละ), H = High Liquid Limit (L.L.มีค่าสูง) L = Low Liquid Limit (L.L. มีค่าต่ำ) หรือ O = Organic (ดินมีอินทรียสารปนมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 57 องค์อ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะขนาดเม็ดดิน เป็นพวกเม็ดหยาบ ได้แก่ กรวด (Gravel) และทราย (Sand) และพวกเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) และดินทราย (Silt)
2. แบ่งย่อยตามลักษณะการกระจายของเม็ดสำหรับพวกเม็ดหยาบ เป็นพวกที่มีเม็ดละเอียดหลายขนาด (Well Graded) และเม็ดไม่ละเอียด เนื่องจากมีเม็ดขนาดเดียวกันมากหรือขนาดเม็ดขาดช่วง (Poorly Grade)
3. แบ่งย่อยตามค่า Atterberg's limits สำหรับพวกเม็ดละเอียด เรียกว่า Plasticity เช่น พวกมีค่า L.L. และ P.I. สูง เรียกว่า High Liquid Limit เป็นต้น

เมื่อถึงขั้นสุดท้าย จะมีอักษรย่อแทน 2 ตัว (ในกรณีถ้าถึงใช้ 4 ตัว) เช่น CH, GW, SP

หรือ GM-GC, ML-CL

การจำแนกโดยระบบ AASHTO Classification

ใช้อักษรย่อจาก A-1 ถึง A-7 โดยที่เรียงลำดับจากความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทาง คือ A-1 ถึง A-3 เหมาะสมมาก ส่วน A-4 ถึง A-7 พอใช้ถึงใช้ไม่ได้ นอกจากนั้นยังมีการแบ่งย่อยลงไปอีก สำหรับ กรุป A-1, A-2, A-7 เช่น A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-7, A-7-5 เป็นต้น

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามการกระจายของเม็ด
2. แบ่งตามค่า Atterberg's limits
3. แบ่งตามค่า Group Index (G.I.)

เมื่อถึงขั้นสุดท้ายจะมีอักษรต่อ 2 หรือ 3 ตัว และมีวงเล็บต่อท้ายด้วยค่า Group

Index เช่น A-1-a(0), A-3(O), A-7-b(12)

วิธีการจำแนก

เพื่อให้เป็นการง่ายต่อการเข้าใจในการจำแนกดินตามชั้นตอนต่างๆ จึงขอยกตัวอย่างข้อมูลจากการหาขนาดเม็ดดิน และ Atterberg's limit ตัก 3 ตัวอย่างคือ Soil A, B, C

ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลเพื่อการจำแนกดิน

ตะแกรงเบอร์	%FINER		
	SOIL A	SOIL B	SOIL C
4	61.0	99.2	48.2
10	35.9	94.0	32.0
40	8.9	91.0	15.1
200	1.5	51.2	5.7
LIQUID LIMIT	33.2	55.0	NONPLASTIC
PLASTIC LIMIT	26.4	20.0	NON PLASTIC
PLASTICITY INDEX	6.8	35.0	-

1. ระบบ Unified Soil Classification

Soil A

เมื่อพิจารณาข้อมูล จะจำแนกดิน Soil A ตามชั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาว่าเป็นดินเม็ดหยาบ เพราะขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มีเพียง 1.5% เท่านั้น
2. เป็นดินทราย (Sand) เพราะขนาดที่เล็กกว่า ตะแกรงเบอร์ 4 มีถึง 61.0%
3. เป็นดินทรายที่มีส่วนของเม็ดเล็ก (Fine) น้อย (น้อยกว่า 5% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) จึงเป็นจำพวก SW หรือ SP

4. พิจารณาการกระจายของเม็ดดิน

$$u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{3.50}{0.44} = 7.95 > 6$$

$$c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} = \frac{(1.7)^2}{(3.5)(.44)} = 1.88 \text{ อยู่ระหว่าง } 1 - 3$$

ดังนั้น ดินตัวอย่าง Soil A เป็น SW (Well graded sand, with little fine)

สำหรับ Soil B และ Soil C ได้รวมการจำแนกและเหตุผล

ตารางแสดงขั้นตอนการจำแนกตัวอย่างดิน SOIL B และ C โดยระบบ Unified Soil Classification

ขั้นตอนและเหตุผล	SOIL B	SOIL C
1.ดินเม็ดหยาบหรือละเอียด	ละเอียด	หยาบ
เหตุผล	%F(200) = 51.2 > 50	%F(200) = 5.7 < 50
2.ดินเม็ดหยาบเป็นกรวดหรือทราย	-	กรวด (G)
เหตุผล	-	%F(4) = 48.2 < 50
3.มีเม็ดละเอียด (FINE) มากหรือน้อย	-	ปานกลาง
เหตุผล	-	%F(200) อยู่ระหว่าง 5-12
4.การกระจายของเม็ดดีหรือไม่	-	กระจายดี (W)
เหตุผล	-	Cu=40>4, Cc=2.1ระหว่าง1-3
5.ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	-	Silt (M)
เหตุผล	-	ไม่มีความเหนียว (NP)
6.สัญลักษณ์ของดินเม็ดหยาบ	-	GW – GM
7.LIQUID LIMIT สูงหรือต่ำ	สูง	-
เหตุผล	L.L. = 55 > 50	-
8.อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	เหนือ A-line	-
เหตุผล	L.L. = 55, P.I = 35	-
9.สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	CH	-

2. ระบบ AASHO Classification

Soil A

โดยการนำข้อมูล ซึ่งมีมาตรฐาน การจำแนกดินในระบบนี้ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เป็นจำพวก Granular Material เพราะส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีเพียง 1.5% น้อยกว่า 35%
2. จากการกระจายของเม็ดดินทำให้ทราบว่า ตัวอย่างดินอาจจะอยู่ในจำพวก A-1 หรือ A-2 เนื่องจากข้อมูลส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10, 40 และ 200 สอดคล้องกัน
3. พิจารณาข้อมูลจาก Atterberg's limit ; L.L. = 33.2, P.I. = 6.8 ตรงกับคุณสมบัติของ จำพวก A-2-4 คือ L.L. ไม่เกิน 40, และ P.I. ไม่เกิน 10
4. หาค่า Group Index จากสมการข้างล่าง

$$G.I. = 0.2a + 0.005a.c + 0.01b.d$$

เมื่อ a = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 35 % แต่ต่ำกว่า 75% ใช้เลขจำนวนเต็ม

b = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 15% แต่ต่ำกว่า 55% ใช้เลขจำนวนเต็ม

c = ค่า L.L. ส่วนที่เกิน 40% แต่ต่ำกว่า 60% ใช้เลขจำนวนเต็ม

d = ค่า P.I. ส่วนที่เกิน 10% แต่ต่ำกว่า 30% ใช้เลขจำนวนเต็ม

5. สัญลักษณ์จากการจำแนก Soil A คือ A-2-4(0) โดยที่ตัวเลขในวงเล็บคือค่า Group Index

การบดอัดดิน (COMPACTION)

อ้างอิง : ASTM D – 698

ASTM D – 1557

บทนำ

ในสมัยก่อนเมื่อการก่อสร้างยังไม่ได้พัฒนามาก การประดิษฐ์เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดดินยังมีไม่มาก งานก่อสร้างที่เกี่ยวกับงานดิน เช่น ถนน ทางรถไฟ หลังจากการขุดถมแล้วก็ต้องปล่อยทิ้งไว้ 3 ถึง 5 ปี เพื่อรอให้มีการทรุดตัวแน่นก่อนที่จะมีการวางไม้หมอนรางรถไฟ หรือลงผิวจราจร

การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัวลดการซึมผ่านของน้ำ (permeability) ของดิน เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดอัดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ (Sheep Foot Rollers) รถบดชนิดตั่นกระแทก (Vibrating Roller) เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด

ทฤษฎี

วิธีการบดอัดดินให้ได้ความแน่น (Density) สูงตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของการใช้งานจะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น แต่ถ้ามีน้ำอยู่มากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆ มวลดิน ทำให้อนุของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกันหรือถ้าน้ำอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดเม็ดดินเบียดชิดกันเท่าที่ควร RR. Proctor ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ในปัจจุบันการขนส่งต้องบรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้กำหนดวิธีการทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นเรียกว่า วิธีการทดสอบแบบโมดิไฟด์ (Modified Proctor Test)

ในการทำการบดอัดในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้บดอัดในสนามเข้ามาฝังไว้แห้งแล้วค่อยๆ เพิ่มน้ำเข้าไปในปริมาณที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้บดอัด) โดยวิธีการที่จะพูดถึงรายละเอียดภายหลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อยๆ อย่างน้อย 4 ถึง 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 62 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นของดินแห้งกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นมีจุดยอด ซึ่งเรียกว่า ความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Water Content)

ถ้าอาพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นในดินเดียวกันเส้นกราฟการบดอัดจะขยับสูงขึ้นจะสามารถสังเกตลักษณะพิเศษสองประการ คือค่า γ_d ของ Modified Proctor จะสูงกว่า γ_d ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด γ_d สูงสุด ซึ่งเรียกว่า ความชื้นเหมาะสม (Optimum moisture content) ก็จะลดลงด้วยขณะที่ γ_d เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

ผ-11 แสดงแบบหล่อดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.586 นิ้ว



การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อให้ขนาดของเม็ดดินและขนาดของ mold ที่ใช้ทดลองมีส่วนสัมพันธ์กันเหมาะสม ดินตัวอย่างที่จะใช้จำเป็นต้องร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดดังนี้

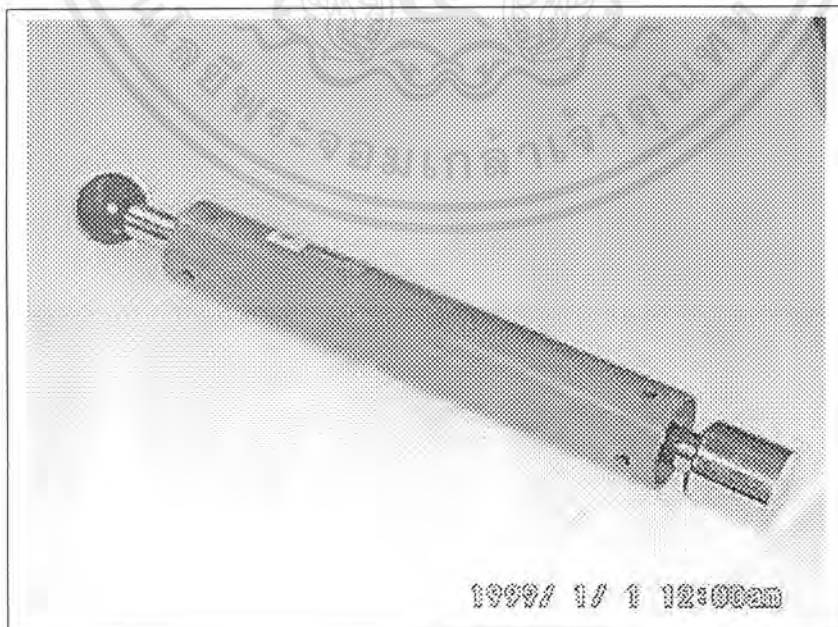
Standard Proctor Test

ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 F แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

Modified Proctor test

ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 F แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" และร่อนดินอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4" และเบอร์ 4 ชั่งดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" วิธีที่สะดวกในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทำ Modified Proctor test ก็โดยการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นกองๆ โดยวิธี Quartering แต่ละกองให้มีย่าน้ำหนัก 6 กก. ร่อนดินกองแรกผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" และร่อนดินอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4" และเบอร์ 4 ชั่งดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" ทั้งหมดให้นำไปผสมกับดินกองแรกเพื่อทดลองต่อไป

ผ-12 แสดงรูปปั้นบดอัด ขนาด 5.5 ปอนด์ ระยะตก 12 นิ้ว



1999/ 1/ 1 12:00am

วิธีการทดลอง Standard Proctor

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold
2. ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก.ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอขึ้นตลอด
4. ตัดดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆกันเมื่อ compact เสร็จแล้ว ชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นที่ส่วนบนของ mold เล็กน้อย ประมาณ 1-2 ซม.
5. ใช้ hammer ขนาด 5.5 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้นๆละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอดขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมopak mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base plate ออกนำไปชั่งน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง
7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่า 100 กรัมไปชั่งน้ำหนักและเข้าเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้ากันให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีกจนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลงและอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

วิธีการทดลอง Modified Proctor

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของดินใน mold
2. ชั่งน้ำหนักของตัว mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินที่เตรียมพร้อมไว้อย่างน้อย 7 กิโลกรัม ผสมน้ำลงไป 3-4 เปอร์เซ็นต์คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นในดินสม่ำเสมอขึ้นตลอด

4. ตัดดินใน mold ที่ประกอบด้วย collar, base plate และ spacer เรียบร้อยแล้วกะแบ่งปริมาณดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้นเท่าๆ กัน เมื่อ compact แล้วชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นที่ปาก mold เล็กน้อยประมาณ 1.0 ซม.
5. ใช้ hammer ขนาด 10 lb. Compact ดินใน mold ในแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 56 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความหนาแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอดขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กมาปาดดินส่วนที่อยู่เหนือปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอกับปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold ถอด base plate ออกนำ mold ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บตัวอย่างดินอย่างน้อย 500 กรัม ไปชั่งน้ำหนักแล้วเข้าเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% ลงไปคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลงและอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

การคำนวณ

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

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

W = น้ำหนักดิน (Wet Weight) ใน mold

V = ปริมาตรของ mold

w = เปอร์เซนต์ความชื้นของดิน (Water content)

ผลการทดลอง

1. หาคความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water content) และ dry density โดยการหาค่า dry density มา plot ในแกนตั้งและ water content (%) plot ในแกนนอน
2. หาค่า optimum moisture content จาก curve ในข้อ 1
3. หาค่า Max, γ_d จาก curve ในข้อ 1



แคลิฟอร์เนียเบริงเรโซ

(California Bearing Ratio : CBR)

อ้างอิง : ASTM D – 1883

บทนำ

ในปี ค.ศ. 1929 California Division of Highway ได้กำหนดวิธีทดสอบจำแนกคุณสมบัติของดินเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนนและในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จำเป็นต้องพัฒนาการก่อสร้างถนนbin เพื่อรับกับเครื่องบินรบ ซึ่งน้ำหนักบรรทุกอาจมากขึ้น หน่วยทหารช่างของสหรัฐอเมริกาได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ CBR มาใช้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิ่งของสนามบิน และเป็นที่ยอมรับและนิยมทั่วไป

ทฤษฎี

CBR Test เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยการใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Unit load มาตรฐานที่ได้จากการทดลองกด piston ขนาดเดียวกันนี้บนดินที่ compact แน่นที่ความลึกของ penetration เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า เปอร์เซนต์ CBR เทียบอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Standard unit load เขียนเป็นสมการของอัตราส่วนได้ดังนี้

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

ค่า standard unit load ซึ่งได้จากการทดลองกดท่อนเหล็กกลมตัน (piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว บนหินกลูมาตรฐานบดอัดแน่นขนาดต่างๆ กันหลายขนาดมีค่ามาตรฐานดังนี้

Penetration (in)	Unit load (Psi)
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 นำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก design charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตได้อีกด้วย

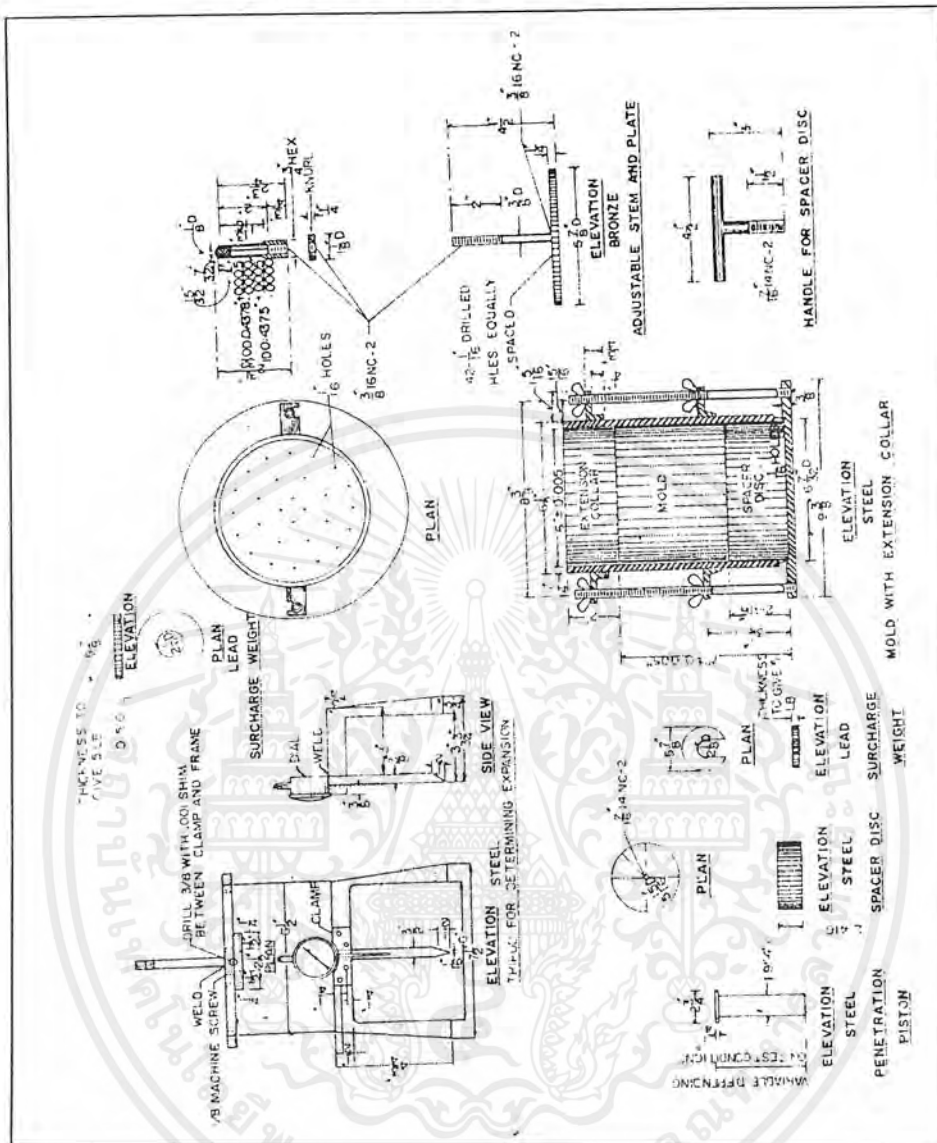
จากค่า CBR ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นดินถม ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (base) ดังตาราง

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของ % 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	Excellent	Base

การทดลอง CBR ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามจากตัวอย่างดินที่บดอัดแน่นตามวิธีการของ Standard หรือ Modified Proctor ดินตัวอย่างที่เตรียมสำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการจะต้องเตรียมขึ้น 2 ชุด ชุดหนึ่งใช้กดทดลองหาค่า penetration อิมตัว และเพื่อจุดประสงค์จะวัดหาอัตราการบวมตัวของดินด้วย ในระหว่างที่ทำการแช่น้ำอยู่จะต้องมีน้ำหนักกดทับบนดินตัวอย่าง (Surcharge) ไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ หรือเท่ากับน้ำหนักของพื้นทางและผิวจราจร เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็จะหาค่า CBR ที่ควรจะเป็นจริงจริงๆ ในสนามกล่าวคือในหน้าฝนระดับน้ำใต้ดินจะสูงจนทำให้ดินที่รองรับถนนอยู่ อิมตัวและอัตราการบวมตัวของดินที่จะมาใช้ในการก่อสร้างจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานของวัสดุนั้นๆ

รูปที่ ผ-13 แสดงอุปกรณ์ทดสอบ CBR



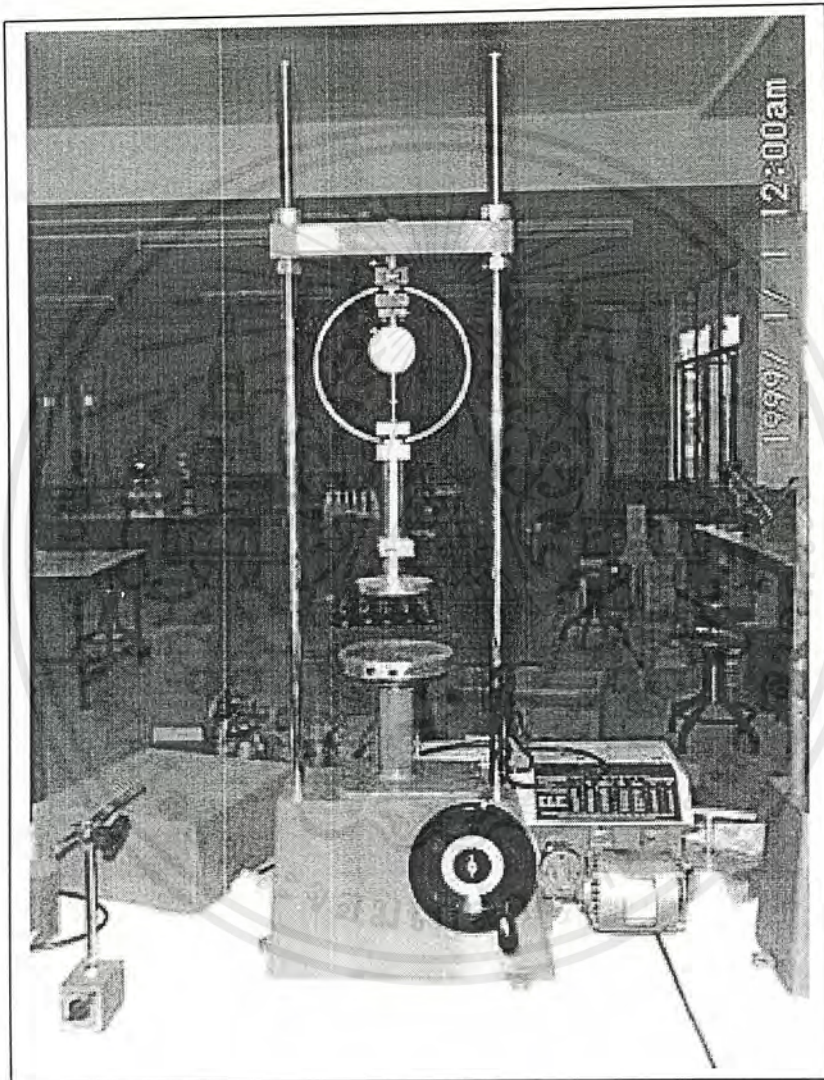
การเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำดินตัวอย่างมาปล่อยให้แห้ง (air dry) แบ่งดินออกเป็นกองๆ โดยวิธี Quartering แต่ละกองให้มียาน้ำหนัก 6 กก. ร่อนดินกองแรกผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" และร่อนดินอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4" และเบอร์ 4 ชั่งดินที่

ต่างบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ต่างบนตะแกรงเบอร์ 3/4" ที่จดไว้ นำไปผสมกับดินกองแรกเพื่อทดลองต่อไป

2. หาค่า Optimum moisture content โดยวิธี Modified Proctor Method

รูปที่ ผ-14 แสดงเครื่องกดตัวอย่าง



วิธีการทดลอง

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (Unsoaked CBR Test)

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหา % ของความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน (Initial water content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง
2. เตรียม mold ไว้ 2 ชุด ชั่งน้ำหนัก mold (เฉพาะ mold ไม่รวม base plate)
3. ประกอบ mold เข้ากับ base plate และ spacer (ขนาด 6"x2") ใช้กระดาษกรอง 6" ปูทับบน spacer เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก
4. กระทุ้งดินอัดแน่นใน mold ตามวิธี Compaction test (ASTM D 1557) optimum moisture content 2%
5. หลังการบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอด collar ออกใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกพร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปาก mold
6. ถอด base plate และ spacer disc ออกนำไปชั่งน้ำหนักดินใน mold เพื่อจะนำไปหา Wet density
7. เอากระดาษกรองวางบน base plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็ก ประกอบ mold ที่มีดินอัดแน่นเข้ากับ base plate โดยให้ปาก mold ด้านที่มีดินเสมopakวางบน base plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ด้านบน

ขั้นตอนต่อไปสำหรับ unsoaked sample ทำข้อ 8-11

8. วางแผ่นเหล็ก surcharge อย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใน mold
9. จัดวาง mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบซึ่งมี piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน mold แตะสัมผัสกับ piston ดังกล่าว จัดเข็ม dial gage ที่จะใช้วัด penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์
10. จัดการ load ในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ penetration 0, 0.025, 0.05, 0.75, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 และ 0.5 นิ้ว
11. เสร็จแล้วถอด mold ออกจากเครื่องทดสอบเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม (fine grained soil) หรือประมาณ 500 กรัม (coarse grained soil) นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content)

สำหรับตัวอย่างดินที่มีการแช่น้ำ (Soaked sample) ทำข้อ 12-18 เพิ่มเติม

12. วางแผ่นเหล็ก surcharge หน้า 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใส่ swell plate สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีด้านชั้นเกลียวขึ้นลง ได้ติดอยู่กลาง plate ก่อนวางแผ่นเหล็ก surcharge ลงบนดินตัวอย่างจะต้องเอากระดาษรองวางกันใต้แผ่น 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 gauge และสัมผัสกับก้าน swelling plate เพื่อวัดค่าการบวมตัวของดินต่อไป
14. แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัวจาก dial gauge ทุกวันจนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่อาจจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)
15. หลังจากแช่ครบ 4 วันแล้วยก mold ออกจากน้ำและวางตะแกรง mold เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก mold จนหมด
16. นำ mold พร้อมดินไปชั่งน้ำหนัก
17. ทำการทดลองตามวิธีข้อ 9 – 10
18. เก็บดินตัวอย่างจาก soaked sample ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณผลการทดลอง

1. คำนวณหาหน่วยแรงกดโดยสมการ :

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

2. เขียนกราฟระหว่าง Test unit load ในแกนตั้งกับ penetration ในแกนนอนจากค่าที่ได้ทั้ง unsoaked และ soaked sample ลงในกระดาษกราฟแผ่นเดียวกัน โดยปกติแล้วจะได้รูป curve โค้งคว่ำผ่านจุด origin แต่บางครั้งอาจจะปรากฏว่า curve ที่ได้มีรัศมีลักษณะโค้งหงายในช่วงแรก ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการแก้ไขให้ได้ค่าที่ถูกต้องด้วยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับ curve ตรงส่วนที่มี slope ชันที่สุด ไปตัดกับแกนนอนที่จุดนั้นเป็น origin ใหม่และ origin ใหม่จะต้องอยู่ทางด้านขวาของ origin เดิมเสมอ เรียกว่า Initial Correction
3. อ่านค่า test unit load และคำนวณหาค่า %CBR

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 72 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและ dry density ของดินตัวอย่างทั้งสอง



การหาความแน่นของดินในสนาม (Field Density Test)

อ้างอิง : ASTM D – 1556

ASTM D – 2167

บทนำ

การก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ จะต้องบดอัดด้วยเครื่องมือต่างๆ ตามชนิดและประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หลังจากบดอัดได้แล้วก็จะมีการตรวจสอบผลของการบดอัดนั้นว่า มีความแน่นสามารถรับน้ำหนักในตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบคำนวณไว้หรือไม่ เช่น งานชั้นรองพื้นทาง (subbase) ชั้นพื้นทาง (base) จะต้องบดอัดให้ได้ 100% Modified AASHO งานชั้นดินเดิม และดินถมจะต้องบดอัดให้ได้ 95% Modified AASHO การบดอัดนี้จะต้องมีการควบคุมความชื้นในดินและพลังงานที่จะใช้ในการบดอัดให้พอเพียงและประหยัด ถ้าจำนวนเที่ยวที่บดอัดมากเกินไป ก็จะสิ้นเปลืองทั้งค่าแรงงานและค่าน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ถ้าบดอัดน้อยไปก็จะได้ความแน่นที่ต้องการจะต้องกลับมาทำงานซ้ำอีก

ทฤษฎี

การหาความแน่นของดิน คือ การหาน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา และการที่จะหาปริมาตรของหลุมที่กล่าวนี้นี้ จำเป็นต้องวัดหรือใช้วัสดุที่รู้ความแน่น (Density) และความถ่วงจำเพาะแน่นอนแล้วไปแทนที่ในหลุมที่ขุดดินขึ้นมา ซึ่งการทดสอบดังกล่าวอาจกระทำได้โดยวิธีใช้ทรายมาตรฐาน (Sand Cone Method) ช่วยในการทดสอบหรือใช้น้ำ (Balloon Density Method) ทั้งสองวิธีนี้ก็อาศัยหลักอันเดียวกันคือ ชั้นแรกจะต้องขุดดินบริเวณที่จะทำการทดสอบให้เป็นหลุมเล็กๆ และนำดินที่ขุดออกมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา

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

และถ้าหาก W คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและ 74 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการปริมาตรของหลุมที่เจาะทดลอง และตัวอย่างดินที่เก็บไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินดังนี้

ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดิน	ปริมาตรของหลุม (ฟุต ³)	น้ำหนักของดิน (กรัม)
No.4	0.025	100
1/2 นิ้ว	0.05	250
1 นิ้ว	0.75	500
2 นิ้ว	0.10	1000

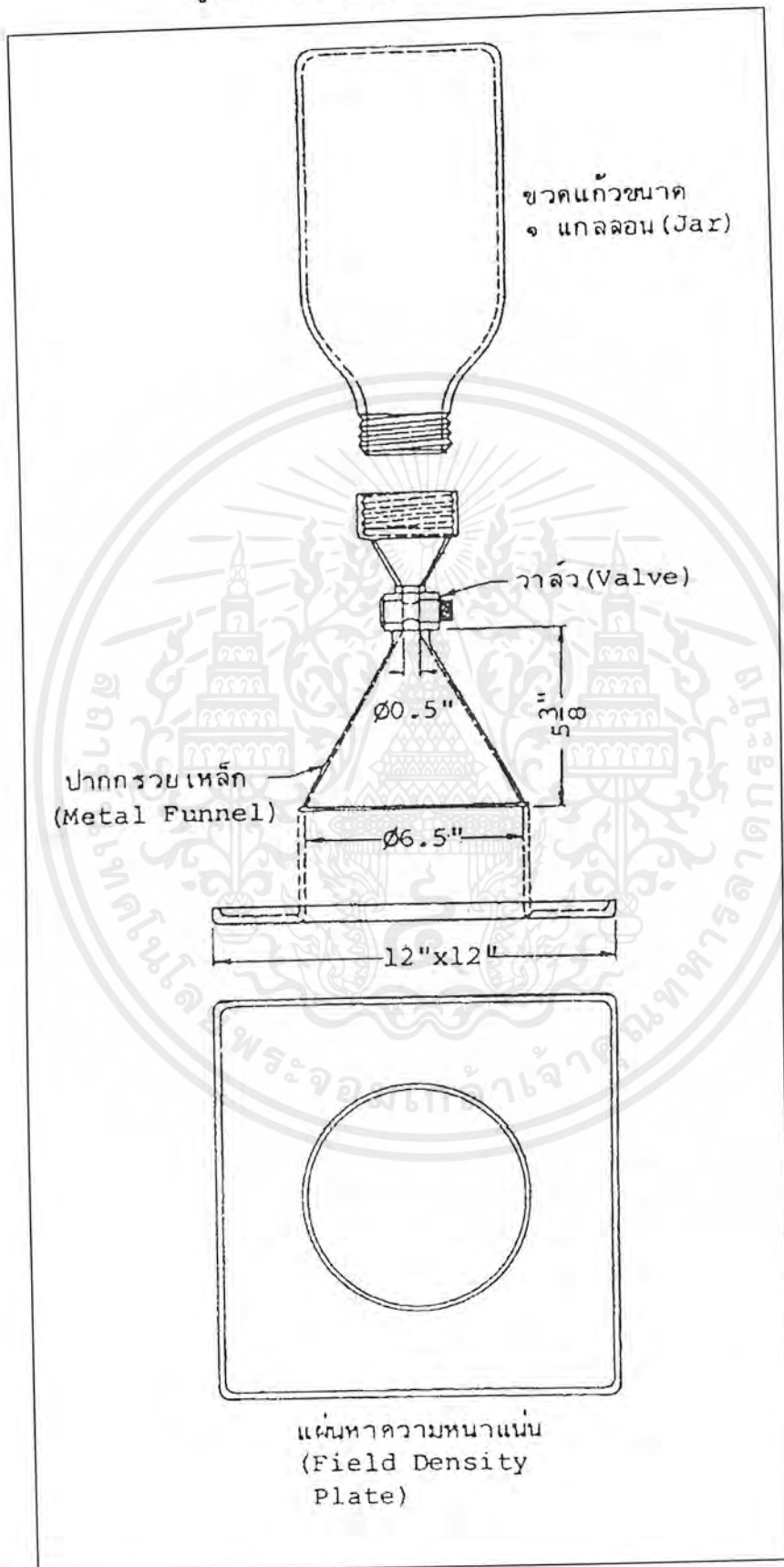
1. Sand Cone Method

วิธีนี้ใช้ทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ทรายที่ใช้คือ Ottawa sand ซึ่งมีเม็ดของทรายกลมและมีขนาดเท่าๆ กัน (Uniform) เพื่อให้ได้ผลของความหนาแน่นเท่ากันโดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดหยาบและเม็ดเล็ก (Segregation) ขณะทำการทดลองถ้าหากไม่มี Ottawa sand อาจจะใช้ทรายซึ่งร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 แต่ก้างบนตะแกรง No. 30 หรือทรายขนาดผ่านตะแกรง No. 30 แต่ก้างบนตะแกรง No. 40 แทนได้

การ Calibrate หาน้ำหนักของทรายในกรวย

1. ตวงทรายใส่ขวดอย่างน้อยก่อนขวด ปิดวาล์วตรงก้นกรวยนำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้
2. วางแผ่น base plate ลงบนพื้นราบซึ่งมีผิวเรียบ คำนวณให้กรวยวางบน base plate ในลักษณะเดียวกับที่จะออกไปทดลองในสนาม
3. เปิดวาล์ว ปล่อยให้ทรายในขวดไหลลงสู่กรวยอย่างอิสระและไม่ให้มีการตื้นหรือกระแทกในบริเวณใกล้ๆ ขวดจนทรายหยุดไหลก็ปิดวาล์ว
4. นำทรายในขวดที่เหลือไปชั่งหาน้ำหนัก ผลต่างระหว่างการชั่งครั้งแรกและครั้งหลังจะเป็นน้ำหนักของทรายที่อยู่ในกรวย
5. ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยมาเพื่อใช้ในการทดลองในสนามต่อไป

รูปที่ ผ-15 แสดงอุปกรณ์แสดงความแน่นในสนาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 76 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Calibrate Bulk Density ของทราย

1. ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมทราย
2. วางขวดเปล่าบนพื้นราบเปิดวาล์วของกรวยแล้วเททรายในขวดทางกรวย ปล่อยให้ทรายไหลลงขวดโดยสม่ำเสมอจนเต็มขวด แล้วปิดวาล์ว ห้ามมิให้มีการสั่นสะเทือนขณะเติมทรายในขวด
3. เททรายที่เหลือค้างในกรวยออกนำไปชั่งหาน้ำหนักของทรายในขวดโดยเอาน้ำหนักของขวดเปล่าพร้อมกรวยมาหักออกต้องทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาน้ำหนักของทรายในขวดโดยใช้ค่าเฉลี่ย

$$\text{Density ของทราย} = \frac{\text{น้ำหนักทรายในขวด}}{\text{ปริมาตรของขวด}} \text{ กรัม/ลบ.ซม.}$$

การ Calibrate หาปริมาตรของขวด

1. วางขวดบนพื้นราบ ปิดวาล์วกันกรวย แล้วเติมน้ำลงขวดจนน้ำล้นท่วมขึ้นเหนือวาล์ว
2. ปิดวาล์วแล้วเทน้ำส่วนที่อยู่เหนือวาล์วออก เช็ดขวดภายนอกให้แห้งนำไปชั่งหาน้ำหนักขวด + น้ำ หัก น้ำหนักขวดเปล่าออกก็จะได้น้ำหนักของน้ำในขวด
3. ทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาน้ำหนักเต็มขวดด้วยค่าเฉลี่ย
4. คำนวณหาปริมาตรของขวดดังนี้

$$V = WT$$

V = ปริมาตรของขวด (ซม.3)

W = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม)

T = ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาตรน้ำ (ซม. ³ /กรัม)
12	1.00038
14	1.00073
16	1.00103
18	1.00138
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435

วิธีการทดลอง

1. ตวงทรายใส่ขวดอย่างน้อยก่อนขวด ปิดขวดตรงก้นกรวยนำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้ (W1)
2. ปรับพื้นที่ๆ จะทำการทดลองให้เรียบวาง base plate ให้แน่น
3. ใช้สว่านเจาะดินจากรูกกลาง base plate ลึกประมาณ 10 ซม. แต่งให้ก้นหลุมมนคล้ายก้นกระทะ แต่งหลุมให้เรียบ ดินที่ขุดออกจากหลุมต้องเก็บใส่กระป๋องให้หมด ชั่งน้ำหนักไว้แล้วนำเข้าเตาอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
4. ถ้าวัดทรายลงบน base plate เสร็จแล้วเปิดขวดให้ทรายไหลลงอย่างอิสระจนเต็มแล้วปิดขวด เอาขวดทรายไปชั่งน้ำหนักของทรายที่เหลือ (W2) เก็บทรายสะอาดในหลุมกลับคืนใส่ในภาชนะที่เตรียมมาเพื่อไปทำความสะอาดและนำมาใช้ได้อีก

การคำนวณผลการทดลอง

1. น้ำหนักทรายที่แทนในหลุมได้จาก

$$\text{น้ำหนักทรายในหลุม} = W1 - W2$$
2. ปริมาตรของหลุมที่ขุด =
$$\frac{\text{น้ำหนักทรายในหลุม}}{\text{densityของหลุม}}$$
3.
$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่ขุดจากหลุม}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$$

$$4. \gamma_{\text{dry}} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$$

$$5. \text{ Zero air-voids density} = \frac{G \cdot \gamma_w}{1 + \frac{W \cdot G}{100}}$$

$$6. \text{ Percent air voids} = 100 \left(1 - \frac{\text{actual dry density}}{\text{Zero air - void density}} \right)$$

$$7. \text{ Percent Proctor density} = \frac{\text{actual dry density}}{\text{Proctor maximum dry density}} \times 100\%$$



ความซึมผ่านของดิน (Soil Permeability Test)

อ้างอิง : ASTM D – 2432

ASTM D – 4511

บทนำ

มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อน้ำที่มีความดันต่างกันระหว่าง 2 จุดในมวลดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านี้ ความสามารถที่มวลดินให้น้ำซึมผ่านไปได้นี้เรียกว่า ความซึมผ่านของดิน (Permeability), k ถ้ามวลดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่ายค่า k ก็จะสูง เรามักเรียกว่า Pervious Soil ถ้าน้ำซึมผ่านได้ยาก ค่า k ต่ำ เรียกว่า Impervious soil

ค่าความซึมผ่านของดิน เป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดินหลายอย่าง เช่น การรั่วซึมของน้ำที่เก็บกักโดยการปิดกั้นโดยเขื่อน, ความมั่นคงของลาดเขื่อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน, อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเกิดจากน้ำหนักสิ่งก่อสร้าง, ความมั่นคงและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อที่ขุดเพื่อก่อสร้างฐานราก และแม้กระทั่งปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้จากการเจาะน้ำบาดาล

ทฤษฎี

การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดินเป็นแบบ Laminar Flow ผ่านช่องแคบเดี่ยวระหว่างเม็ดดินในขณะเดียวกันแรงดันของน้ำก็จะเสียไปเพราะแรงเสียดทานของผิวช่องเม็ดดิน Darcy นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอกฎแห่งการไหลซึมไว้ว่า ความเร็วของการไหลซึมของของเหลวผ่านตัวกลางพรุน (เช่นมวลดิน) จะเป็นปฏิภาคกับไฮดรอลิกเกรเดียนต์ (Hydraulic Gradient)

$$V \propto I$$

หรือ $V = Ki$

เมื่อ v = ความเร็วของการไหลซึม (LT-1)

I = ไฮดรอลิก เกรเดียนต์

K = ความซึมผ่านของตัวกลาง ซึ่งเป็นค่าคงที่ (LT-1)

Δh = ความต่างของระดับน้ำ (Head Difference) ในช่วงความยาวของการซึม ΔL

สมการนี้นำไปใช้ในงานวิเคราะห์ปัญหาทางการไหลซึมของน้ำผ่านชั้นดินได้เกือบทุกแบบ สิ่งที่สำคัญคือ ค่าคงที่ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของชั้นดินที่เรียกว่า ค่าความซึมน้ำ (Permeability) ซึ่งจะขึ้นกับอิทธิพลของสิ่งต่อไปนี้

1. ขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน (Grain Size and Shape)

แต่ที่จริงแล้วค่าความซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากกว่า แต่คุณสมบัติทั้งสองของมวลดินมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เช่น ดินที่มีเม็ดเล็กบางและเป็นแผ่น ช่องว่างที่น้ำซึมผ่านก็มักจะมียลักษณะเช่นเดียวกัน Allen Hazen ได้เสนอว่าในทรายและกรวด ค่าความซึมน้ำสามารถสัมพันธ์กับขนาดเม็ดดังนี้

$$k = 100 D_{10}^2 \text{ ซม./วินาที}$$

เมื่อ D_{10} = ขนาดเม็ดเมื่อมี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นเม็ดที่เล็กกว่าที่ระบุ (ซ.ม.)

2. ความหนืดของของเหลวที่ซึมผ่าน (Viscosity of Pore Fluid)

ในทางวิศวกรรมโยธามักเกี่ยวข้องกับน้ำเท่านั้น แต่ความหนืดของน้ำก็อาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากอุณหภูมิ และมักจะยึดถือเอาความหนืดที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเกณฑ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดจะลดลงทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ดังนั้นค่าความซึมน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ อาจมีความสัมพันธ์กับที่ 20 °C ดังนี้

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

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

3. อัตราส่วนของช่องว่าง (Void Ratio)

คืออัตราส่วนของช่องว่างระหว่างดินต่อปริมาตรเม็ดดิน เช่นในทรายหลวม น้ำย่อมไหลสะดวกกว่าทรายอัดแน่น มีผู้พยายามค้นคว้าหาความสัมพันธ์ของค่าความซึมน้ำ กับ อัตราส่วนช่องว่าง เช่น

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

4. ความอิ่มตัวของมวลดิน (Degree of Saturation)

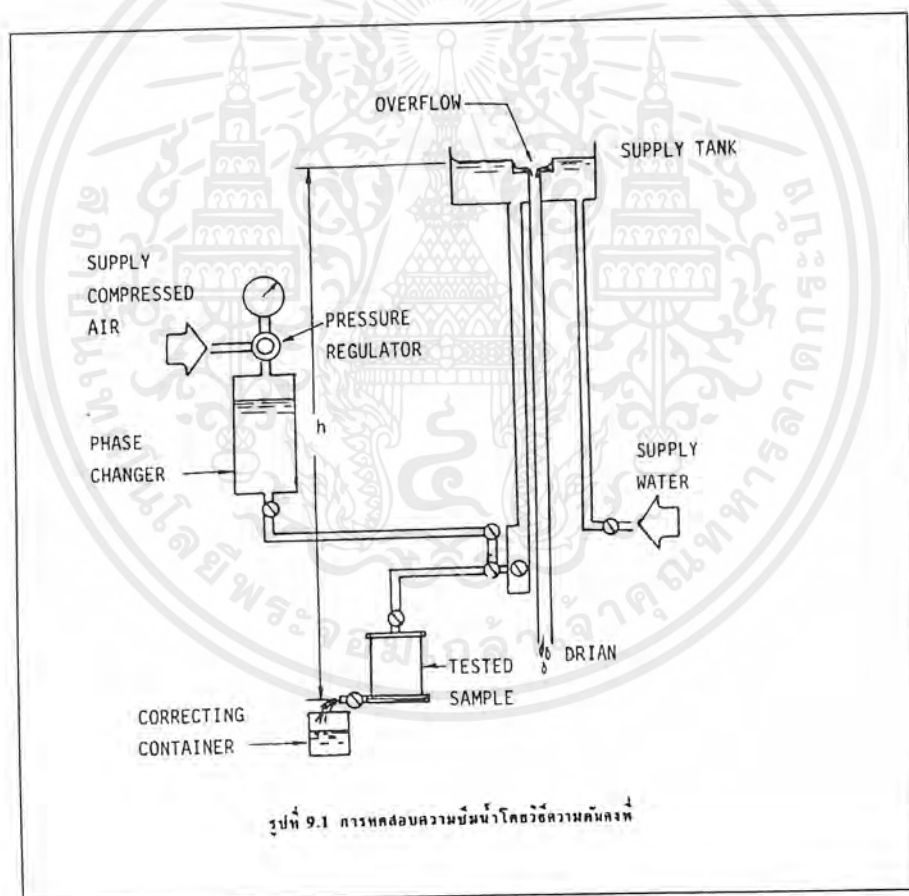
เมื่อมวลดินไม่อิ่มตัว (Partially Saturated Soil) ย่อมจะมีฟองอากาศคอยกั้นช่องว่างทำให้น้ำไหลซึมไม่สะดวก ดังนั้นในการทดลองในห้องปฏิบัติการจึงมักใช้ตัวอย่างดินที่อิ่มตัว เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลดังกล่าว

ในการทดลองหาค่าความซึมน้ำอาจทำได้หลายวิธี เช่น แบบความดันน้ำคงที่ (Constant head) หรือความดันน้ำเปลี่ยนแปลง (Variable head) หรือแม้แต่ทดสอบในสนาม ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการทดลองจึงมีส่วนสำคัญ ซึ่งพอจะแนะนำได้ดังนี้

ตารางแสดงวิธีทดสอบหาค่าซึมน้ำที่เหมาะสม

ลักษณะดิน	ช่วงค่าความซึมน้ำ (ซม./วินาที)	วิธีที่ควรใช้
ดินเหนียวคงสภาพ	$10^{-5} - 10^{-9}$	Variable head หรือ Consolidation
ดินทราย	$10^{-1} - 10^{-4}$	Constant head
ดินลูกรังบดอัด	$10^{-3} - 10^{-8}$	Constant head โดยใช้ความดัน
ดินเหนียวบดอัด	$10^{-4} - 10^{-9}$	Constant head

รูปที่ ผ-14 แสดงการทดสอบความซึมน้ำโดยวิธีความดันคงที่



ถ้าพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินเท่ากับ A ดังนั้นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดินจะเท่ากับ

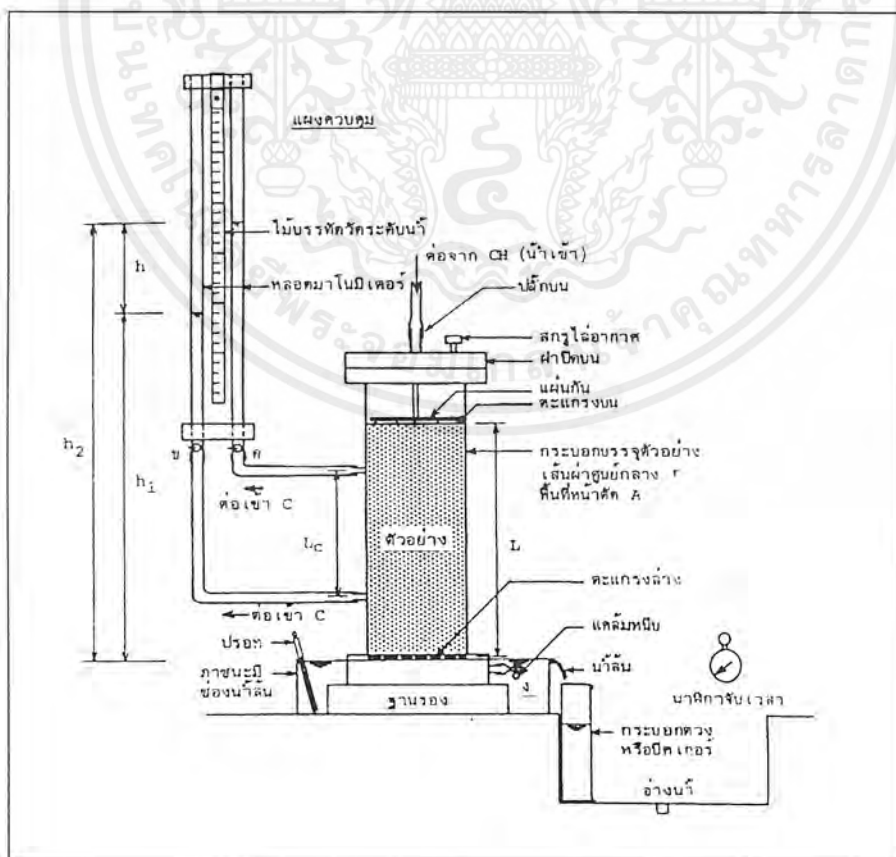
เมื่อ $k =$ ค่าความชื้นน้ำของตัวอย่างดิน ซึ่งต้องการทราบ

เมื่อแทนค่า l แล้วหาค่า k ในเทอมตัวแปรต่างๆ จะได้

ในกรณีที่ใช้ความดันเข้าช่วย

$$k = \frac{QL\gamma_w}{AP} \quad \text{--- (2)}$$

รูปที่ พ-15 แสดงการทดสอบความชื้นน้ำโดยวิธีความดันเปลี่ยน



โดยใช้ความดันจากความสูงระดับน้ำในหลอดแก้ว (Burette) ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด a และระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการทดลอง ถ้าเราพิจารณาในช่วงเวลาใดๆ dt โดยระดับน้ำในหลอดแก้วลดลง dh จากสมการ

$$q = kiA$$

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

$$k = \frac{aL}{AT} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

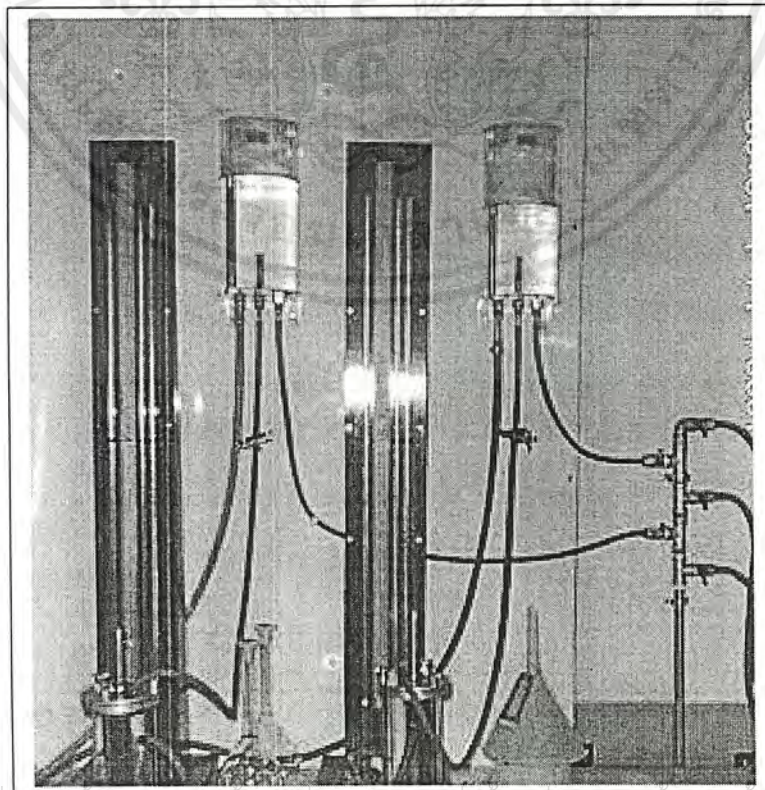
$$k = 2.3 \frac{aL}{AT} \log \frac{h_1}{h_2} \quad \text{--- (3)}$$

เมื่อ a, A = พื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้วและตัวอย่างดินตามลำดับ, ซม.2

L = ความยาวของตัวอย่างดิน, ซม.

h_1, h_2 = ระดับน้ำเมื่อเริ่มจับเวลาและระดับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 0 และ T วินาทีตามลำดับ, ซม.

รูปที่ ผ-18 แสดงแผนผังเครื่องมือทดลองการซึมผ่าน



วิธีการทดลอง

ก. วิธีใช้ความดันคงที่

1. เตรียมตัวอย่างดินใส่ในแบบ (Mold) สำหรับทดสอบ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของตัวอย่าง พร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างดินมาติดตั้งท่อน้ำเข้าและออก แล้วปล่อยน้ำเข้าและในขณะเดียวกันก็ระบายอากาศออกทางตอนบนของตัวอย่างดิน น้ำเริ่มระบายออกโดยไม่มีฟองอากาศออกแล้วปิดวาล์วระบาย
3. ปิดวาล์วระบบเมื่อไม่มีฟองอากาศออก ปล่อยตัวอย่างดินให้ชุ่มน้ำอย่างน้อย 12 ชม. สำหรับดินเหนียว แต่สำหรับตัวอย่างทรายหรือดินปนทรายอาจทำการทดสอบได้ทันที
4. เริ่มทำการทดลองโดยเปิดวาล์วทางน้ำออก แล้วจับเวลาเป็นวินาที เมื่อปริมาตรน้ำที่วัดจากกระบอกตวงได้ 100 ลบ.ซ.ม. (หรือ 10 หรือ 1000 ลบ.ซ.ม.แล้วแต่ค่าความชื้นน้ำ) จดบันทึกเวลาและอุณหภูมิ น้ำ ทำซ้ำกันอย่างน้อย 5 ครั้ง โดยข้อมูลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ข. วิธีใช้ความดันเปลี่ยน

วิธีเตรียมตัวอย่างดินและการทำให้ดินชุ่มน้ำให้ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 3 ของวิธีแรก แล้วจึงดำเนินการต่อไปนี้

5. ก่อนเริ่มทำการทดลองจกระดับน้ำเริ่มต้น (h_1) แล้วปิดวาล์วเปิดน้ำออกพร้อมจับเวลา จนกระทั่งระดับน้ำลดลงถึง h_2 (ซึ่งควรต่างจาก h_1 มากกว่า 10 ซม.) บันทึกเวลาเป็นวินาที และอุณหภูมิของน้ำ ทำซ้ำกันอย่างน้อย 5 ครั้ง โดยข้อมูลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

การคำนวณผลการทดลอง

นำข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง แทนค่าในสมการที่ 1, 2 ในกรณีของความดันคงที่ และสมการที่ 3 ในกรณีของความดันเปลี่ยนแปลง แล้วคำนวณหาค่าความชื้นน้ำ (k) ในหน่วยของ ซม. ต่อวินาที

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test)

อ้างอิง : ASTM D – 2434

ASTM D – 4511

บทนำ

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ กำลังหรือความแข็งแรงของมวลดิน (Soil Strength) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวิเคราะห์หรือออกแบบ ฐานราก, ผนังกันดิน, เขื่อนดิน และ สิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับดินและหินอีกหลายอย่างทางด้านปฐพีกลศาสตร์ เราถือว่ากำลังของดินคือความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน (Shearing Strength) ซึ่งแตกต่างจากเหล็กหรือคอนกรีต ซึ่งพิจารณาแรงดึงหรือแรงอัดเป็นสำคัญ

เมื่อมวลดินได้รับแรงกระทำไม่ว่าจะเป็นแรงจากภายนอกหรือ เนื่องจากน้ำหนักของมวลดินเอง ในระยะแรกมีการเคลื่อนตัวเล็กน้อยอยู่ในช่วงของ Elastic แต่เมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น การเคลื่อนตัวก็จะสูงขึ้นจนถึง ช่วงของ Ultimate โดยมีการเคลื่อนของดินส่วนหนึ่งเฉือนออกจากมวลดินอีกส่วนหนึ่ง เรียกว่า การเคลื่อนพัง (Shearing Failure)

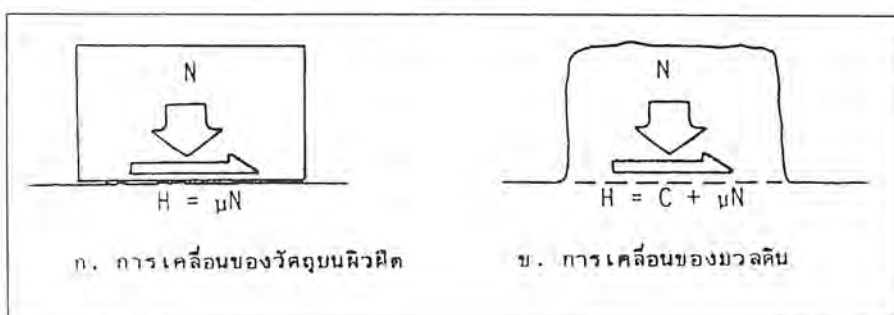
ในการวิเคราะห์ว่ามวลดินจะสามารถรับแรงต้านทานได้สูงสุดเท่าใด เช่น ฐานแผ่จะรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่าใด หรือเขื่อนจะก่อสร้างได้ลาดชันที่สุดเท่าใด จะต้องคำนวณได้จากความแข็งแรงของมวลดิน และลักษณะของสิ่งก่อสร้าง

ทฤษฎี

การเคลื่อนพังของมวลดินมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนของวัตถุบนผิวฝืด (Friction surface) ดัง

รูป 1

รูปที่ ผ-19 แสดงการเคลื่อนตัวและแรงต้านทาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต้องการดึงหรือดันน้ำให้วัตถุบนผิวฝืดในรูปให้เคลื่อนไปจะต้องใช้แรงดึงในแนวราบ (H) จะต้องใช้แรงอย่างน้อยเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) คูณด้วยแรงกดตั้งฉากผิว (N)

$$H = \mu N$$

แต่ในการที่เชื่อมมวลดิน 2 ส่วนออกจากกัน นอกจากแรงเนื่องจากความเสียดทานแล้ว ยังต้องมีแรงเกิดจากความเหนียวของมวลดิน (Cohesive Force), C เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว (Clay) แต่ไม่เกิดขึ้นใน Cohesionless Soil เช่น ทราย กรวด หิน เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นแรงเชื่อมจึงต้องมีอย่างน้อยเท่ากับ

$$H = C + \mu N$$

ถ้าเราจะเปลี่ยนสมการไปในรูปของความเข้มของแรงโดยเอาพื้นที่ผิวเฉือน (Shearing area) ไปหารสมการก็จะได้

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

$$\tau = \text{Shearing strength} = H/A$$

$$C = \text{Cohesion} = C/A$$

$$\sigma = \text{Normal stress} = N/A$$

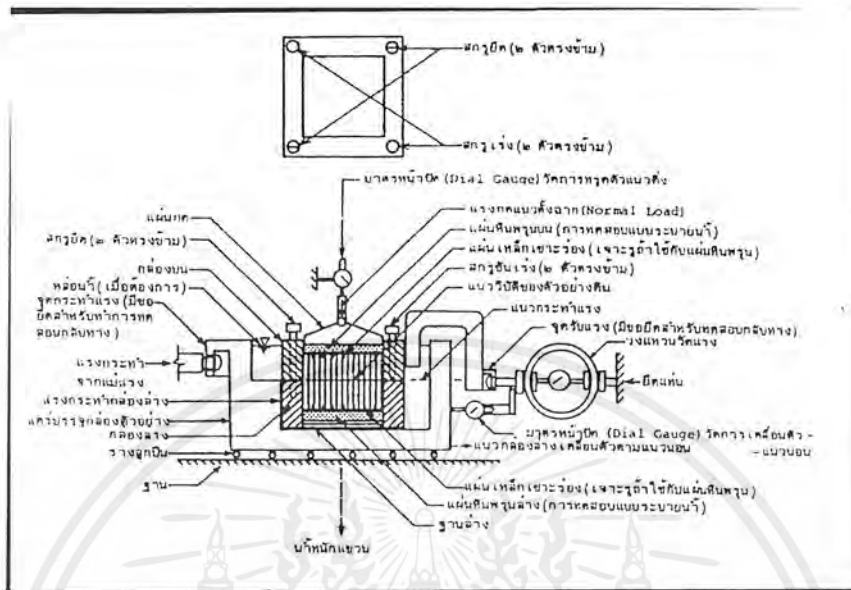
$$\tan \phi = \mu = \text{Coefficient of internal friction}$$

สมการที่สำคัญในเรื่องความแข็งแรงของมวลดิน เรียกว่า Mohr – Coulomb's Equation ดินแต่ละตัวอย่างจะมีค่าของ C และ ϕ แตกต่างกันไปซึ่งแต่ละค่าบ่งถึงความแข็งแรงของมวลดินนั้นๆ เรียกว่า Strength parameters ตัวอย่างค่า C และ ϕ ของดินบางชนิดได้แสดงไว้ในตารางนี้

ตารางแสดงค่า Strength Parameter ของดินบางชนิด

ลักษณะของดิน	Cohesion, ksc.	Angle of Internal	หมายเหตุ
Soft Bangkok Clay	0.05 – 0.15	0 – 10	Undrained Strength
Soft Bangkok Clay	0.06 – 0.13	0 – 22	Undrained Strength
Ottawa	0.0	25 – 40	Depend on Void Ratio
Gravel	0.0	35 – 50	Depend on Void Rat

รูปที่ ผ-20 แสดงเครื่องมือใช้ทดสอบ Direct Shear Test



วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

ก. ตัวอย่างดินเหนียว (Cohesive Soil)

1. ตัดตัวอย่างดินโดย Trimmer ซึ่งเป็นวงแหวนกลมขอบหนึ่ง บางคมใช้กดตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และความหนา 1.0 นิ้ว ก่อนตัดตัวอย่างเราควรขังน้ำ นักเฉพาะ Trimmer เสียก่อน เมื่อตัดตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จึงขังน้ำหนักทั้งตัวอย่าง และ Trimmer
2. วัดขนาดตัวอย่างโดยละเอียดโดยใช้เวอร์เนีย ซึ่งทำให้เราคำนวณหาความหนาแน่น ของตัวอย่างดินได้
3. ถอยๆ ดันตัวอย่างออกจาก Trimmer โดยใช้ Top cap เป็นตัวช่วยใช้ตัวอย่างบรรจุ ลงบน Shear box โดยมีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด โดยขณะที่ Sliding ring จะ ถูกยึดให้ติดกับ Stationary base โดยมี Alingment pin เป็นตัวยึด
4. เมื่อตัวอย่างดินเข้าที่แล้วจัด loading bar ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่ Normal load จัด Vertical dial gage, Horizontal dial gage ให้เข้าที่โดยตั้งให้ dial gage ทุก ตัวอยู่ที่ 0

ข. ตัวอย่างดินทราย (Granular Soil)

1. จัด Shear box ให้พร้อมโดยส่วน Sliding ring ยึดติดกับ Stationary base อาจจะยก Shear box ออกจาก Direct Shear Machine มาเตรียมข้างนอกเพื่อความสะดวกก็ได้
2. เตรียมทรายที่ต้องการทดสอบให้มากพอ ประมาณ 250 หรือ 300 กรัม ชั่งให้ทราบ น้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปเตรียมลงใน Shear box โดยใช้วิธีโรยแล้ว Compact หรือเขย่าให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการ
3. วัดความสูงของตัวอย่างทราย และชั่งน้ำหนักทรายที่เหลือก็จะสามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้ แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 ของการเตรียมตัวอย่างดินเหนียว

ค. การเลื่อนตัวอย่าง (Shearing)

1. กดตัวอย่างดินด้วยน้ำหนัก (Normal load) ที่ต้องการแล้วรอให้การทรุดตัวทางแนวตั้งหยุดซึ่งกินเวลา 2-10 นาที
2. เริ่มแรงเลื่อนให้ตัวอย่าง โดยให้อัตราการเคลื่อนที่ตามแนวราบ .05 นิ้ว/นาที ถึง .10 นิ้ว/นาที
3. อ่านค่าแรงเลื่อนจาก Proving ring dial ค่าความเคลื่อนตัวทางตั้งจาก Vertical dial gage ทุกๆ 0.01 นิ้ว จนกระทั่งดินไม่สามารถรับแรงเลื่อนได้อีก โดยค่าจาก Proving ring dial จะลดลง
4. เตรียมตัวอย่างอีกอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง โดยใช้น้ำหนักแตกต่างกันแล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1 ถึง 4

การคำนวณและรายงานผลการทดลอง

1. คำนวณหา Shearing stress, τ

$$\tau = \frac{P.R. \times K}{A}$$

P.R. = Proving ring reading

K = Proving ring constant

A = Shearing area

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง τ และ ΔH , ΔV และ ΔH ของทุกตัวอย่างในการทดลองชุดเดียวกัน หาค่าสูงสุดของ τ จากกราฟ

3. เขียน Mohr's Diagram ระหว่าง σ และ τ_{max} ของทุกตัวอย่างแล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น เส้นตรงนี้เรียกว่า Mohr – Coulomb Failure Envelope คือเส้นที่แทนความแข็งแรงหรือกำลังของดินดังสมการ

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



การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

อ้างอิง : ASTM D – 2160

บทนำ

ความแข็งแรงหรือกำลังของดินเหนียว (Cohesive Soil) จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Cohesion ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทาง ไฟฟ้า-เคมี (Electro-Chemical bonds) ระหว่างเม็ดดิน Friction ซึ่งเกิดขึ้นจากการขัดตัวของเม็ดดิน (Particle interlocking) และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน (Surface friction)

ในดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลาง (Soft and Medium clay) กำลังของดินส่วนใหญ่ มักจะเกิดจาก Cohesion การทดลอง Unconfined compression เป็นวิธีการหาค่าประมาณของ Cohesion ของดิน โดยวิธีง่ายๆ ซึ่งทำได้รวดเร็ว

ทฤษฎี

ความแข็งแรงของดินอาจแทนได้ด้วยสมการ Mohr-Coulumb

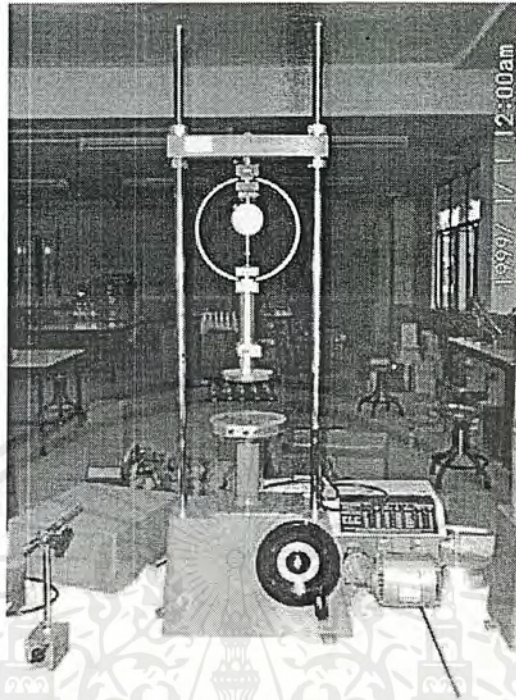
$$\tau = C + \sigma \tan \Phi$$

ถ้าเป็นดินเหนียวอ่อนอิ่มตัวและภายใต้แรงกดที่กระทำในเวลาอันรวดเร็ว $\tan \Phi$, จะมีค่าน้อยและถ้าให้ $\tan \Phi = 0$

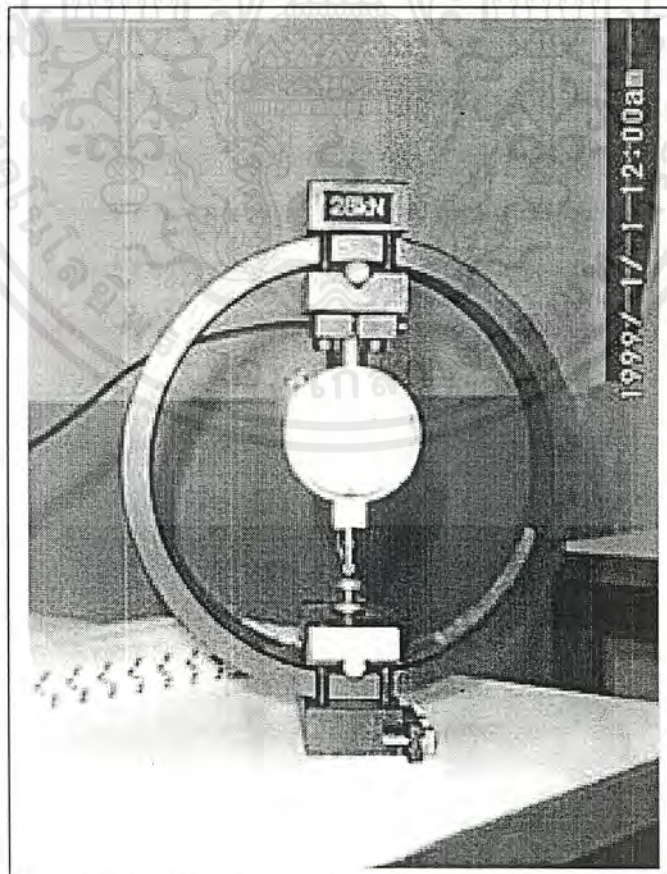
$$\tau = C$$

ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ใช้ใน Unconfined compressive strength ในการทดลอง Unconfined compressive test ตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกจะถูกกดทางแนวตั้ง โดยไม่มีความดันหรือการอัดช่วยทางด้านข้าง คล้ายกับการกดตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่เราจะบันทึกไว้ก็คือ แรงกดในแนวตั้ง (F_v) และการหดตัวของตัวอย่าง (ΔV) ตัวอย่างดินจะรับแรงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (F_{vmax})

รูปที่ ผ-21 แสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test



รูปที่ ผ-22 แสดงรูปวงแหวนวัดรอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ⁹²ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

ก. ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)

1. นำตัวอย่างดินคงสภาพ ซึ่งอาจจะหุ้มไว้ด้วยพาราฟิน หรือ เพ็งเอาออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง มาตัดแบ่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดมาตรฐานดังนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, นิ้ว	ความสูงของตัวอย่าง, นิ้ว
1.4	2.8-3.0
2.8	5.6-6.0

แต่ขนาดอื่นๆ ก็อาจจะใช้ได้ โดยที่ความสูงของตัวอย่างจะต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง การตัดแต่งจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังโดยใช้เลื่อยเส้นลวด และเครื่องตัดแต่งตัวอย่างดิน

2. ใช้กระบอกแบบ (Mixer box) แบบผ่าหุ้มตัวอย่างในการที่จะตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ แล้วทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนีย ความสูงควรวัดอย่างน้อย 3 ค่า รอบตัวอย่าง เช่นเดียวกับเส้นผ่าศูนย์กลางก็ควรจะวัดตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างเพื่อนำค่าเหล่านี้หาค่าเฉลี่ยต่อไป
3. จัดวางตัวอย่างลงบนเครื่องทดสอบ จัดให้ได้ศูนย์กลางของแนวกด ปกติมักจะมีแผ่นพลาสติกกลมประกบไว้ทั้งด้านล่างและด้านบน เพื่อลดความฝืดที่ไม่ต้องการแล้วจัด dial gage สำหรับวัดการหดตัวให้เข้าที่ โดยอาจจะเริ่มตั้งที่เลขศูนย์ เพื่อสะดวกในการอ่านก็ได้

ข. ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพหรือตัวอย่างดินเตรียมสภาพ (Remolded หรือ Prepared Sample)

ในกรณีที่ต้องการทดสอบดินเปลี่ยนสภาพ ก็ต้องนำตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้ทดสอบไปแล้ว หรือตัวอย่างดินคงสภาพ มาขยำหรือบดเข้ากันให้ทั่วในกระบอกแบบ (Mixer box) (ควรทาขี้ผึ้งหล่อลื่นบนผิวภายในของกระบอกแบบ เพื่อสะดวกในการดันตัวอย่างออก) พยายามให้มีโพรงอากาศอยู่ในตัวอย่างให้น้อยที่สุดแล้วดำเนินการตามข้อ 2 และ 3 เหมือนกัน ตัวอย่างดินคงสภาพ แต่ถ้าเป็นกรณีดินเหนียวอ่อนมาก อาจจะต้องดันตัวอย่างออกเสียก่อนแล้วจึงค่อยวัดขนาด เพราะขนาดจะเปลี่ยนไปในขณะดัน

ในกรณีที่ทดสอบดินเตรียมสภาพ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เตรียมใหม่จากการบดอัด ให้มีความหนาแน่น และความชื้นตามต้องการ ซึ่งวิธีเตรียมก็คล้ายกับการบดอัดแบบ Standard Proctor, Modified AASHO หรือ Harvard Ministure ต่างกันที่รูปร่างของแบบ (Mold) จะต้องเปลี่ยนไปให้เหมาะสมกับขนาดมาตรฐานสำหรับ Unconfined compressive test ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อดินตัวอย่างออกจากแบบสำหรับบดอัดแล้วอาจจะต้องแต่งด้านบนและด้านล่างให้เรียบได้ระดับ แล้วจึงดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 2 และ 3 สำหรับตัวอย่างคงสภาพ

การทดสอบ

1. ก่อนเริ่มทดสอบจะต้องตรวจสอบการติดตั้งตัวอย่างและเครื่องมือ ดังนี้
 - เป็นกคของเครื่องจะต้องสัมผัสตัวอย่างพอดี
 - Dial gage สำหรับวัดหกดัวและวัดแรง (ใน Proving ring) ให้ตั้งอยู่ที่ศูนย์
 - ในกรณีที่เครื่องทดสอบเป็นแบบมือหมุน ผู้ทดสอบจะต้องซ้อมหมุนให้ได้อัตราการกดตามต้องการ (ในขณะที่ยังไม่มีตัวอย่างดิน)
2. เริ่มการกดดินตัวอย่างโดยอัตราการกด (การเคลื่อนที่ทางแนวตั้งของเครื่องให้อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1 นิ้วต่อนาที (ปกติใช้ 0.05 นิ้วต่อนาที) ตามความเหมาะสมในช่วงอ่านต่างๆ กัน
3. บันทึกข้อมูลจากวงแหวนวัดแรงทุกๆ การหกดัว 0.005 นิ้วของตัวอย่าง (อาจใช้ 0.002 นิ้ว ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นดินเปราะ)
4. เมื่อแรงในวงแหวนวัดแรงเพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วเริ่มจะลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังของดิน ให้ยังคงอ่านผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือน (Failure plane) บนตัวอย่างได้ชัดเจน ในบางกรณีที่ไม่มียรอยเฉือนปรากฏชัด เช่น ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพให้ทดสอบจนการหกดัวถึงประมาณ 20% ของความสูงของตัวอย่าง
5. เขียนรูปตัวอย่างลักษณะการเกิดรอยเฉือนและวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบ
6. ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเสร็จแล้วต้องนำไปชั่งและเอาเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

การคำนวณ

1. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของดินตัวอย่าง

$$A_o = \frac{A_t + 2 A_m + A_b}{4}$$

A_o = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย

A_t = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่าง

A_m = พื้นที่หน้าตัดตรงกลางของตัวอย่าง

A_b = พื้นที่หน้าตัดด้านล่างของตัวอย่าง

2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปในระหว่างการทดสอบ

$$A_c = \frac{A_o}{(1 - \epsilon)}$$

ϵ = $\Delta V / V_o$

A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างขณะที่มีการหดตัว

V_o = ความยาวเดิม

3. คำนวณหาแรงกดบนตัวอย่าง

$$\sigma_v = \frac{(P.R.) K}{A_c}$$

σ_v = แรงกดบนตัวอย่างในแนวดิ่ง, ปอนด์/ตร.นิ้ว (PSI)

P.R. = Proving ring reading

K = Proving ring Constant (lb/Division)

ผลการทดสอบ

1. เขียนกราฟแสดงค่าระหว่างแรงกดบนตัวอย่างดินและการหดตัว

2. อ่านค่าสูงสุดของกำลังกด หรือบางครั้งเรียกว่า U.C.S. (Unconfined Compressive Strength) cohesion จะมีค่าดังนี้

$$c = \frac{U.C.S.}{2} = \frac{q_u}{2}$$

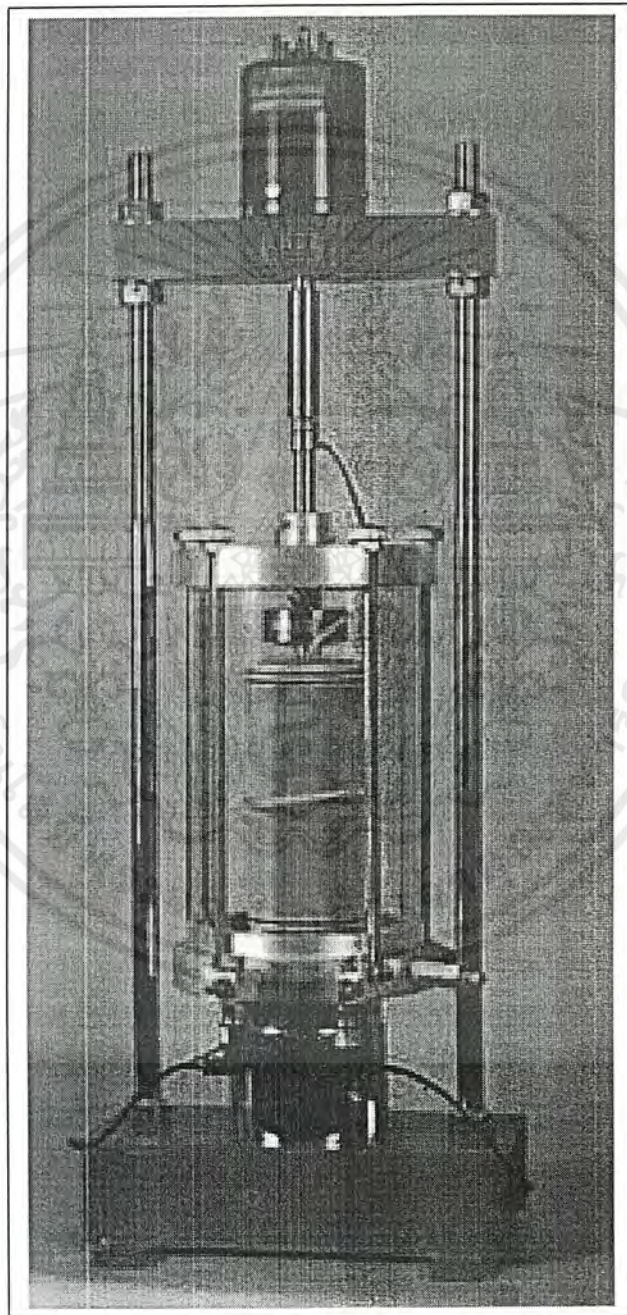
3. ถ้ามีการทดสอบทั้งตัวอย่างดินในลักษณะคงสภาพ (Undisturbed) และตัวอย่างดินในลักษณะเปลี่ยน (Remolded) ของดินชนิดเดียวกันจะสามารถคำนวณหา Sensitivity ของดินชนิดนั้นได้โดย

$$Sensitivity = \frac{U.C.S. (Undisturbed)}{U.C.S. (Remolded)}$$



3. การควบคุมการไหลถ่ายเทน้ำภายในตัวอย่างดินทำได้สมบูรณ์ โดยอาศัย Drainage value และ Volume change indicator

รูป ผ-23 แสดงรูป Triaxial Cell



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแล๙8๐งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

1. Consolidation State หลังจากเตรียมตัวอย่างดินในสภาพที่ต้องการแล้ว ตัวอย่างดินก็จะถูกอัด ทุกๆ ด้านด้วยแรงดันที่เท่าๆ กัน เรียกว่า Confining pressure หรือ Consolidation pressure ภายใต้แรงดันนี้ก็เปรียบเสมือนเรานำตัวอย่างดินเข้าสู่สภาพความดันได้ชั้นดิน ถ้ายิ่งลึกมากๆ ก็ยิ่งต้องมี Confining pressure มาก ภายหลังจากนั้นอาจจะมีการปล่อยให้น้ำภายในตัวอย่างดินไหลออกจนสู่สภาพสมดุลย์ คือ ไม่ไหลต่อไปแล้ว

2. Shearing State ภายหลังจาก Consolidation แล้วความดันด้านบน (บางกรณีอาจจะเป็ด้านข้างก็ได้) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินถูกน้ำหนักหรือแรงภายนอกกระทำ แรงดันนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนตัวอย่างดินทานไว้ไม่ไหวก็จะเกิดการเคลื่อนพังขึ้นได้ ซึ่งจะปรากฏเป็น Failure plane ให้เห็นบนตัวอย่างดิน

ในแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป ถ้าเรามาพิจารณาสภาพของความดันในขณะที่เกิดการเคลื่อนพัง จะเห็นว่า ความดันหรือแรงดันทั้งหมดเป็น Principal Stress หน่วยแรงที่มีค่ามาก (แรงดึง เรียกว่า Major Principal Stress และที่น้อยกว่า แนวนราบ เรียกว่า Minor Principal Stress หน่วยแรง 2 ค่านี้สามารถนำมาพล็อตเป็น Mohr's Diagram และถ้าตัวอย่างดินเหมือนๆ กันถูกทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าของ σ_3 ให้แตกต่างกันไป ผลที่ได้ก็คือ Mohr's Circle หลายวง ซึ่งเมื่อลากเส้นสัมผัส Mohr's Circle เหล่านั้น เส้นตรงเส้นนี้เรียกว่า Mohr's Coulumb Envelope ซึ่งแสดงคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของมวลดินนั้นๆ เช่นเดียวกับ Direct Shear Test Strength Parameter 2 ค่าคือ จุดตัดเรียกว่า Cohesion, C และความลาดชันคือ $\tan$

การทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

ก. ดินเหนียว (Cohesive Soil) ให้ดำเนินการเหมือนรายละเอียดในการเตรียมตัวอย่างดิน ข้อ 1 และข้อ 2 และ Unconfined Compression Test นอกจากการติดตั้งตัวอย่างใน Triaxial Cell ให้ทำดังนี้

1. วางตัวอย่างดินลงบนฐาน Triaxial Cell โดยมี Porous stone อยู่ระหว่างตัวอย่างและฐานเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก
2. ใส่ถุงยาง (Rubber Membrane) กรอบตัวอย่างดินโดยใช้ Membrane Stretcher แล้วมัดด้วย O-Ring ให้ถุงยางติดแน่นกับฐานโดยของเหลวภายนอกจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้

Unconsolidated Undrained Test (UU-Test)

การทดลองแบบนี้อาจใช้กับตัวอย่างชุ่มน้ำหรือไม่ก็ได้ โดย Value A, B และ D ปิดตลอด

การทดลอง

1. เพิ่ม Confining pressure ทาง valve C ตามต้องการ
2. กดตัวอย่างโดย Triaxial Compression machine แรงดันที่เกิดขึ้นเรียกว่า Diviator Stress จนกระทั่งตัวอย่างดินเริ่มเคลื่อนพัง

Consolidated Undrained Test (CU-Test)

การทดลองแบบนี้ ตัวอย่างดินจะต้องทำให้ชุ่มน้ำเสียก่อน แล้วดำเนินการดังนี้

1. ปิด valves เพิ่ม Confining pressure ทาง Valve C ให้มากกว่า Back pressure ที่มีอยู่โดย
$$\text{Effective confining pressure} = \text{Total Confining pressure} - \text{Back pressure}$$
2. ค่อยเปิด Valve A เพื่อให้ตัวอย่างดิน Consolidate น้ำภายในตัวอย่างดินจะค่อยไหลออก ถ้าต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกก็ต้องต่อกับ Volume Change Indicator จนกระทั่งน้ำหยุดไหลออกจากตัวอย่าง ซึ่งอาจจะกินเวลาไม่กี่ชั่วโมงสำหรับ Silty Clay หรือกินเวลา 1-2 วันสำหรับ Highly Plastic Clay
3. เมื่อ Consolidate ตัวอย่างดินเสร็จแล้วจะกดตัวอย่างดินภายใต้ Undrained Condition Valve A, B และ C จะต้องปิดตลอดการกด นอกจาก Valve D ถ้าต้องการจะวัดความดันภายในตัวอย่างจะต้องต่อเข้าเครื่อง Pore Pressure Measurement
4. ยก Triaxial cell เข้าไปใน Compression Machine Dial gage สำหรับวัด Vertical Deformation และเคลื่อนหัวกดให้พอดีและ Loading ram
5. ตั้งอัตราการ Loading rate ประมาณ 0.05 – 0.10 in/min, อ่าน Load และ Pore Pressure ทุก Vertical deformation ประมาณ 0.01 in จนกระทั่งตัวอย่างดิน เริ่มเคลื่อนพังหรือ Vertical deformation ประมาณ 20% Strain

Consolidated Drained Test (CD – Test)

การทดลองนี้ ให้ดำเนินการเหมือน CU – Test ข้อ 1 ถึง 4 ต่อไปให้ทำดังนี้

5. เปิด Valve A แล้วกดตัวอย่างด้วยอัตรา Loading rate ช้ามากจนกระทั่ง Pore pressure ที่ วัดจาก Valve D ไม่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และส่วนใหญ่มักใช้การกดด้วยน้ำหนักโดยตรง

การคำนวณและรายงานผลการทดลอง

1. คำนวณยกพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน ซึ่งจะเปลี่ยนไป

$$A_c = \frac{A_o}{1 - \epsilon}$$

A_c = Corrected Area

A_o = Initial Area

ϵ = Strain =

2. คำนวณหา Vertical deviator Data

$$F_a = (P.R.) \times K_p$$

K_p = Proving ring constant

P.R. = Proving ring reading

3. คำนวณหา Vertical deviator stress

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_c}$$

4. คำนวณหา Principal stress

$\sigma_3 = \sigma_c$ = Confining pressure

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_a$ = Total vertical stress

ในกรณีที่ทำการทดลอง CU – Test และวัด Pore pressure ด้วย

$\sigma_3 = \sigma_3 - \sigma_u$ = Effective minor principal stress

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_a$ = Effective major principal stress

เมื่อ u = pore pressure

5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

σ_1 และ ΔV หรือ σ_1 และ ΔV

σ_3 และ ΔV หรือ σ_3 และ ΔV

u และ ΔV

6. อ่านค่า σ_1 สูงสุดและ σ_3 นำมาเขียน Mohr Circle

7. ทดสอบตัวอย่างเหมือนโดยใช้ Confining pressure ต่างๆ กัน อย่างน้อย 3 ตัวอย่างนำมาเขียน Mohr Circle , Mohr – Coulomb's Envelope

ลากเส้นตรงสัมผัสวงกลมทั้งหมดเรียกว่า Mohr – Coulomb’s Envelope จุดตัดบนแกน Shearing stress เรียกว่า Cohesion (C) และมุมเอียงคือ Angle of internal friction (ϕ)



การทดลองการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

อ้างอิง : ASTM D – 2435

บทนำ

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งทางด้านปฐพีกลศาสตร์ คือการทรุดตัวของชั้นดินอันเกิดจากการกดทับหรือน้ำหนักบรรทุกของสิ่งก่อสร้างบนผิวดิน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. Elastic Deformation เกิดจากคุณสมบัติยืดหยุ่นของดินปกติมักจะเกิดขึ้นทันทีที่มีน้ำหนักกดทับ และมีปริมาณไม่มากนัก
2. Primary Consolidation เกิดจากปริมาณน้ำหรืออากาศที่ถูกบีบออกจากมวลดินทำให้ปริมาตรรวมของดินลดลง ซึ่งมักเป็นสาเหตุสำคัญของการทรุดตัวของดินตะกอนในแถบลุ่มน้ำ เช่น กรุงเทพฯ, สมุทรปราการ, นนทบุรี, ปทุมธานี
3. Secondary Consolidation กล่าวกันว่ามีสาเหตุจาก Plastic deformation และการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน เกิดขึ้นภายหลังจาก Primary Consolidation

ทฤษฎี

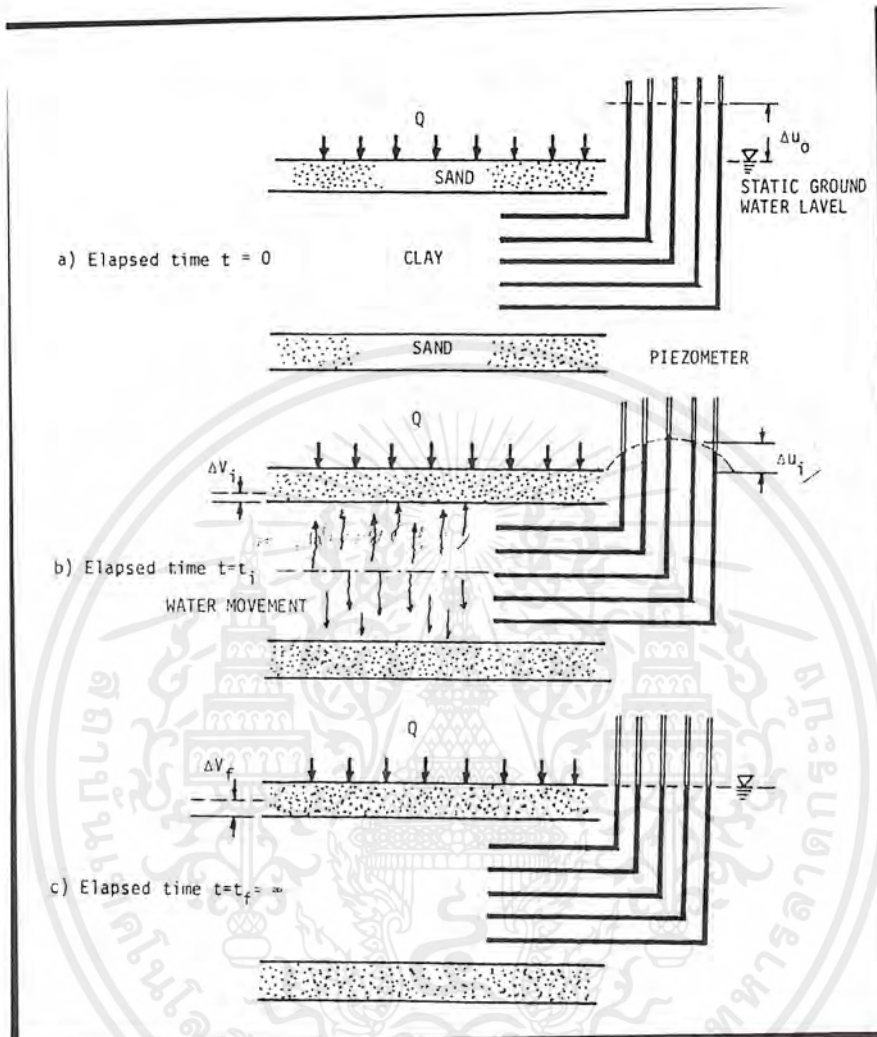
การทรุดตัวของชั้นดินเนื่องจาก Primary Consolidation มักเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหาย เช่น การทรุดตัวของถนนบริเวณคอสะพาน, การแตกร้าวของอาคารอันเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement)

ถ้าเราลองพิจารณาชั้นดินสมมติ ดังรูป ผ-20 เป็นชั้นดินเหนียวชุ่มน้ำ อยู่ระหว่างชั้นของทรายข้างล่างและข้างบน สมมติให้ระดับน้ำใต้ดินปกติ (Static Ground Water Level) อยู่ที่ผิวดิน เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำบนผิวดิน (Q) ทันทีที่ชั้นใดระดับน้ำในชั้นดินเหนียวก็จะสูงขึ้นเท่ากับ ΔU_0 เรียกว่า Initial Excess Pore Pressure เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำในชั้นทรายซึ่งจะลดลงสู่สมดุลโดยเร็ว น้ำในชั้นของดินเหนียวก็จะพยายามจะไหลออกไปสู่ชั้นทรายซึ่งมีความดันต่ำกว่า และเมื่อเวลาผ่านไปน้ำในชั้นดินเหนียวบางส่วนได้ไหลออกไป Excess Pore Pressure ก็จะต่ำลง ต่อเมื่อเวลาผ่านไปนานพอ ($t = t_f = \infty$) ระดับความดันในชั้นดินเหนียวก็จะคืนเข้าสู่ความดันปกติ

แต่เนื่องจากมวลดินเหนียวอยู่ในสภาพชุ่มน้ำ (Saturated) เพราะฉะนั้นมวลดินรวมก็จะประกอบด้วยเนื้อดิน (Solid) และน้ำระหว่างเม็ดดินเท่านั้น เมื่อน้ำจำนวนหนึ่งไหลออกไปก็จะทำให้เกิดการลดปริมาณของมวลดินรวมขึ้น คือการลดความหนาของชั้นดินเหนียวนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ-24 แสดง Consolidation Process



คุณสมบัติสำคัญทางการทรุดตัว

1. อัตราความเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement) คืออัตราเร็วของน้ำที่สามารถไหลออกจากชั้นดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งเหล่านี้
- ก. มวลดินมีความชุ่มน้ำมากน้อยเพียงใด (Degree of Saturation)
- ข. ความสามารถของดินที่ให้น้ำซึมได้ดีเพียงใด (Coefficient of Permeability)
- ค. ระยะที่น้ำจะต้องซึมผ่าน (Drainage path) ไปสู่จุดสมดุลย์

จาก Terzaghi's Consolidation Theory ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ทางเชิงคณิตศาสตร์ออกมาแล้ว เราจะได้ดัชนีค่าหนึ่งซึ่งบ่งถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับการทรุดตัวเราเรียกว่า Coefficient of Consolidation, (C_v)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

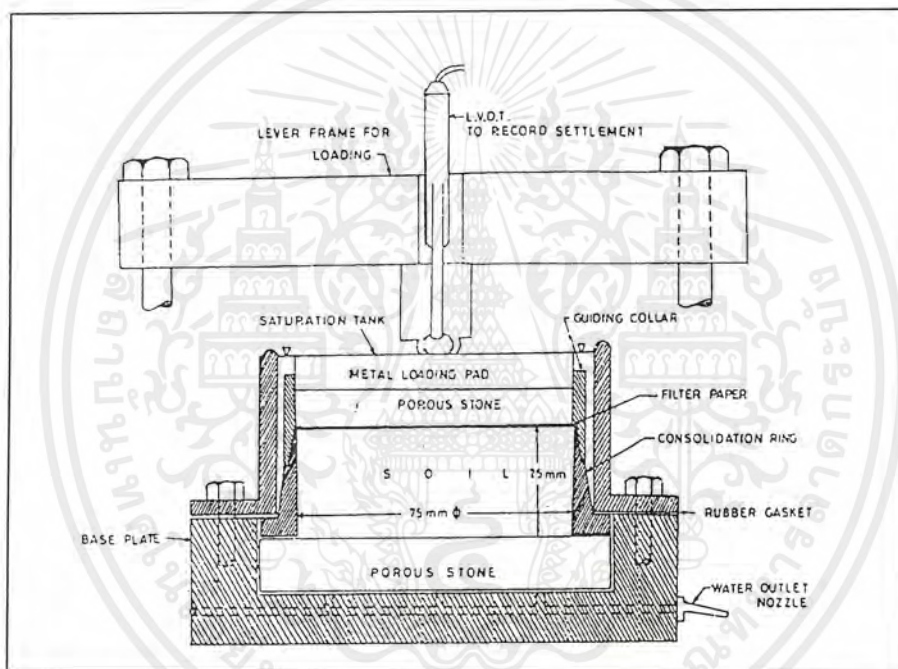
T = Time factor เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ Percentage of Consolidation และลักษณะของ Initial Excess Pore pressure

T = เวลาในการเปิด Percentage of Consolidation ต่างๆ

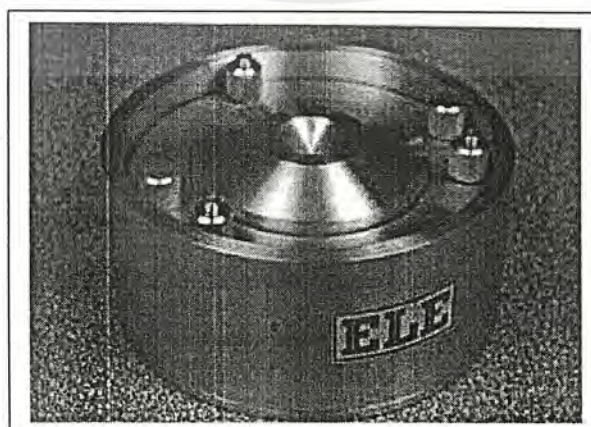
H = ระยะไกลที่สุดที่น้ำในมวลดินจะต้องไหลออกมาสู่จุดสมดุลย์

2. ปริมาณการทรุดตัวสูงสุด (Total Settlement) ซึ่งจะแบ่งโดย คำนีของการทรุดตัว (Compressibility Index), C_c

รูปที่ ผ-25 แสดง Consolidation Apparatus



รูปที่ ผ-26 แสดงที่บรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว สูง 0.75 นิ้ว



วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำตัวอย่างดินมาตัดแต่งลงใน Consolidation ring โดยใช้ Trimmer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และหนา 1 นิ้ว
2. วัดขนาดตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก ส่วนดินที่เหลือจากการตัดแต่งให้นำไปหาความชื้น
3. นำ Consolidometer เข้าติดตั้งใน Loading frame ติด dial gage สำหรับวัดการทรุดตัวอย่าง แล้วหล่อน้ำใน Consolidometer ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับดินตัวอย่าง

การบรรจุทุกน้ำหนักและบันทึกข้อมูล

1. ก่อนเริ่มบรรจุทุกน้ำหนักบนตัวอย่างต้องเตรียมอุปกรณ์เหล่านี้ให้พร้อม เช่น แบบบันทึกข้อมูล, นาฬิกาจับเวลา, ตูมนาฬิกา
2. น้ำหนักบรรจุทุกที่ใช้จะวางบนคานซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักให้ตกลงบนตัวอย่างดินเป็น 10 เท่าของน้ำหนักจริงขนาดน้ำหนักที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความลึกของตัวอย่าง โดยพิจารณาว่า จะต้องเริ่มต้นด้วยความดันที่น้อยกว่า Overburden pressure, P_o แล้วเพิ่มจนมากกว่า P_o เช่น ตัวอย่างดินจากความลึก 10 เมตร

$$P_o = 12 \text{ T/m}^2 \text{ หรือ } 1.2 \text{ KSC}$$

เพราะฉะนั้นความดันที่จะใช้กดตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.25 – 10 KSC ถ้าเป็นน้ำหนักจะใช้เป็นตัวเลขลงตัวเช่น 1, 2, 4, 8, 16, ... กก. เป็นต้น

3. วางน้ำหนักชุดแรกแล้วเริ่มบันทึกเวลาพร้อมๆ กับ Dial gage จะหมุนไปด้วยจะอ่าน Dial ณ เวลาต่างๆ ตัวนี้ 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4, 8, 15, 30 นาที และ 1, 2, 4, ... ชม. นับจากเริ่มต้น
4. เขียนกราฟระหว่าง Dial reading และ $\sqrt{t}$ ในระหว่างบันทึกข้อมูลเพื่อทราบลักษณะกราฟของการทรุดตัว
5. หลังจากทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. จะต้องเพิ่มน้ำหนักชุดที่ 2 โดยปฏิบัติ เช่นเดียวกัน ข้อ 3 และ 4 จนครบชุดน้ำหนักที่จะต้องใส่
6. ถ้าต้องการทราบคุณสมบัติของดินในการยึดตัวจากการลดน้ำหนักก็ให้ทำ เช่นเดียวกันโดยการเอาตุ้มน้ำหนักออกแล้วทิ้งไว้ 24 ชม.
7. หลังจากเสร็จการทดลองต้องนำตัวอย่างดินไปหาความชื้นด้วย

การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการทดลองขั้นต้น จะประกอบด้วยข้อมูลการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักต่างๆ กันและข้อมูล ความหนาแน่น และความชื้น ก่อน,หลังการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลให้ทำดังนี้

1. หา T_{90} โดยการเขียนกราฟระหว่าง Dial reading และ $\sqrt{t}$ จะมีช่วงแรกของการทรุดตัวที่ใกล้เคียงเส้นตรง แล้วค่อยๆ เอียงลาดลงดังตัวอย่าง ให้วัดจากแกนตั้งถึงเส้นตรงแล้วขยายออกไปตามแนวนอนอีก 0.15 เท่าแล้วลากเส้นตรงเส้นที่ 2 ผ่านจุดนั้นไป คัดเส้นกราฟจากการทดลองจุดนั้นคือ จุดของการเกิด Consolidation ไป 90% โดยประมาณ จากวิธีของ Taylor นำไปคำนวณหา, C_v

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

2. คำนวณหา Consolidation Pressure

$$P = \frac{W.K.}{A}$$

เมื่อ P = Consolidation pressure

W = น้ำหนักจริงที่วางบน Loading frame

K = ค่าการขยายน้ำหนักที่กระทำบนตัวอย่าง

= 10 หรือจะบ่งไว้ที่คู่มือของ Consolidometer แต่ละเครื่อง

A = พื้นที่รับน้ำหนักของตัวอย่างดิน

3. คำนวณหา Void ratio

Void ratio เมื่อเริ่มทดลอง, e_o ซึ่งเท่ากับ

$$e_o = \frac{H_t - H_s}{H_s}$$

H_t = ความสูงของตัวอย่างดิน

H_s = ความสูงของเนื้อดิน (Height of Solid)

$$= \frac{W_i}{(1 + W_i) G \cdot \gamma_w}$$

W_i = initial wt. Of sample

W_i = average initial water content

G = specific gravity of soil

γ_w = unit wt. Of water

4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e_i และ p , C_v และ P ลงบนกราฟ Semi-log
5. การหา C_c จะคำนวณได้จาก slope ของช่วง Vergin consolidation ซึ่งใกล้เคียงเส้นตรงโดย

$$c = - \frac{\Delta v}{\Delta \log p}$$

6. การหา P_m (Maximum past pressure) เป็นความดันสูงซึ่งตัวอย่างดินเคยถูกกดทับมาในอดีต

