

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปฏิบัติการและการวิเคราะห์ชั้นดิน  
ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(LABORATORY AND SUBSURFACE ANALYSIS IN KING MONGKUT'S INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY LADKRABANG)



โดย  
นายพิศาล แซ่จิ่ง 38014348  
นายไพศาล จิระชัยประสิทธิ์ 38014363  
นายวรเดช สีดา 38014430

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 33940  
วัน, เดือน, ปี 23 ก.ย. 2542

การปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LABORATORY AND SUBSURFACE ANALYSIS IN KING MONGKUT'S INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY LADKRABANG



BY  
MR. PHISAN SAEJUNG 38014348  
MR. PAISAN JIRACHAIPRASITTI 38014363  
MR. VORADECH SIDA 38014430

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

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

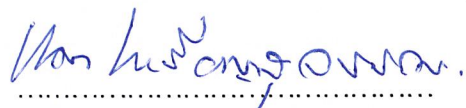
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การปฏิบัติการและการวิเคราะห์ชั้นดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(LABORATORY AND SUBSURFACE ANALYSIS IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG)

นักศึกษา นายพิศาล แซ่จิ่ง 38014348  
นายไพศาล จิระชัยประสิทธิ์ 38014363  
นายวรเดช สีดา 38014430  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล		
2. อาจารย์สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์		
3. อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์		

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ดร. แดง เหริยณัฐวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการเกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้นั้นมิได้เกิดขึ้นจากคณะผู้ศึกษา แต่เพียงผู้เดียว ดังนั้นคณะผู้ศึกษาจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคล ที่มีส่วนร่วมให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลสำเร็จดังรายนาม ต่อไปนี้

- บิดา มารดา พี่น้อง ของคณะผู้ศึกษาที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆด้าน ตลอดการทำโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดี
- อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกฤษ อาจารย์ที่ปรึกษา และคอยให้คำแนะนำ การดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ ของโครงการพิเศษนี้
- อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล , อาจารย์สุวัฒน์ ภิรเศรษฐ์ ที่ให้ความกรุณาปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา
- อาจารย์วิไลลักษณ์ ขวัญพุกฤษ อาจารย์ผู้ควบคุมดูแลห้องปฏิบัติการ Geotechnical สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองรวมถึงอนุเคราะห์เรื่อง การเจาะสำรวจดิน สำหรับการดำเนินงานในโครงการพิเศษนี้
- อาจารย์อำนาจ พานิชกุลพงศ์ รองคณบดีฝ่ายพัฒนา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการเจาะสำรวจดินภายในสถาบัน
- เจ้าหน้าที่เทคนิคประจำห้องปฏิบัติการ Geotechnical สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ที่ช่วยในเรื่องการเจาะสำรวจดิน
- ผู้ที่ให้การสนับสนุนทางการเงิน สำหรับโครงการพิเศษนี้
- เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติงานเทคโนโลยีการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้คอยอำนวยความสะดวกในเรื่องการทดลองของโครงการพิเศษนี้
- เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา รวมถึงบุคคลต่างๆ ที่มีได้กล่าวถึง แต่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอให้ความดีและคุณประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมีจากโครงการพิเศษนี้ คณะผู้ศึกษาขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน และให้คำชี้แนะคณะผู้ศึกษาด้วยดีตลอดมา

นายพิศาล            แซ่จิ่ง  
 นายไพศาล        จิระชัยประสิทธิ์  
 นายวรเดช        สีดา  
 คณะผู้ศึกษาจัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติการและการวิเคราะห์ชั้นดิน  
ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(LABORATORY AND SUBSURFACE ANALYSIS IN KING MONGKUT'S INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY LADKRABANG)

โดย นายพิศาล แซ่จิ่ง  
นายไพศาล จิระชัยประสิทธิ์  
นายวรเดช สีดา  
อาจารย์ที่ปรึกษา นายสมเกียรติ ขวัญพุกษ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพชั้นดิน วิเคราะห์คุณสมบัติของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งใช้การปฏิบัติการทางปฐพีกลศาสตร์ประกอบกับผลการทดลองในอดีต โดยอ้างอิงทฤษฎีและมาตรฐานตาม ASTM ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการเทียบลักษณะสภาพชั้นดินที่ความลึก 30 เมตร จากระดับพื้นดินจะได้ลักษณะดิน คือ ชั้น Weathered clay มีความหนาประมาณ 2 เมตร, ชั้น Very Soft to Soft clay มีความหนาประมาณ 13 เมตร, ชั้น Medium to Stiff clay มีความหนาประมาณ 5 เมตร, ชั้น Very Stiff clay มีความหนาประมาณ 4 เมตร, ชั้น Sand มีความหนาประมาณ 6 เมตร

การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของดิน จากผลการศึกษาพบว่า วิธีที่ให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนมากที่สุดจนถึงวิธีที่ให้กำลังรับแรงเฉือนน้อยที่สุด เรียงตามลำดับดังนี้ Field Vane Shear Test ที่ยังไม่ทำการปรับแก้ค่า (Uncorrected), Unconsolidated Undrained Test (UU Test), Field Vane Shear Test ที่ปรับแก้ค่า (Corrected) กับ Unconfined Compression Test (UC Test) จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และสุดท้าย Direct Shear Test ที่ให้ค่าต่ำสุด และค่าที่ทำการทดสอบจาก Unconfined Compression Test (UC Test) กับ Field Vane Shear Test จะให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับปริมาณน้ำในมวลดิน คือ ดินในชั้นที่มีปริมาณน้ำในมวลดินมาก จะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำ เมื่อเทียบกับชั้นดินที่มีปริมาณน้ำในมวลดินต่ำกว่า

การวิเคราะห์การอัดตัวคายน้ำของดิน จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำในมวลดินจะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน ชั้นดินที่มีปริมาณน้ำในมวลดินมากจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio,  $e$ ) ที่สูงสอดคล้องกัน ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation,  $C_v$ ) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุกที่กดทับ คือ เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่กดทับมีค่า

มาก จะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของน้ำต่ำ และในส่วนของวิเคราะห์หัตถ์นี้การอัดตัว (Compression Index,  $C_c$ ) จากผลการศึกษาพบว่าให้ค่าที่สอดคล้องกันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_c$  (แกน X) กับ ความลึก (แกน Y) เมื่อใช้สูตรที่ขึ้นกับตัวแปรเดียวกัน เช่น ค่าที่ได้จากสูตร Terzaghi (1995) กับ Nagaraj และ Murty (1985) ที่มีตัวแปรต้นเป็นค่าพิคคิเดล (Liquid limit, L.L.) อยู่ในสูตรเหมือนกันจะให้แนวโน้มของกราฟที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ค่าที่ได้จากสูตร Nishida (1956) ,Sivandrau (1979) และ Rendon-Herrero (1980) ที่มีตัวแปรต้นเป็นค่าอัตราส่วนช่องว่างแรกเริ่ม (Initial Void Ratio,  $e_0$ ) อยู่ในสูตรเหมือนกันก็จะให้แนวโน้มของกราฟที่คล้ายคลึงกัน

การวิเคราะห์สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็ม จากลักษณะชั้นดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีการก่อสร้างอยู่ในบริเวณสถาบัน

## Abstract

The objectives of the special project are investigation of soil profile conditions and analysis of subsoil properties at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. They resort to soil laboratory tests and the past results of soil tests in the vicinity locations. Theories of the experiments and the criterion are referred to ASTM (American Society for Testing and Materials). The results of the tests show that the thickness of the weather clay layer about 2 meters depth, the thickness of the very soft to soft clay layer about 13 meters depth, the thickness of the medium to stiff clay layer about 5 meters depth, the thickness of the very stiff clay layer about 4 meters depth and the thickness of the sand layer about 6 meters depth.

The analysis of shear strength of soil shows that shear strength of soil can arrange in order from the maximum shear strength to the minimum shear strength by different methods of testing as follows Field vane shear test (Uncorrected), Unconsolidated Undrained test (UU test) and Field vane shear test (Corrected) both are nearly equal and Direct shear test. The results of Unconfined compression test (UC test) and Field vane shear test show that the shear strength of soil is related to the natural water content in soil. Namely, there is abundant water in soil that is related to decrement of shear strength of soil.

The analysis of consolidation of soil shows that the natural water content effect to the changing rate of void ratio in soil. When there is much water content in soil, the changing rate of void ratio will be increased. The values of coefficient of consolidation depend on over burden pressure. The increments of over burden pressure trend coefficient of consolidation to sink. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

calculations of values of compression index,  $C_c$  which derived from different formulas show that the graphical relation between the values of compression index,  $C_c$  (X axis) and depth (Y axis) are consistent when the formulas are used the same variable. For instance the values of compression index,  $C_c$  which derived from Terzaghi's formula, Nagaraj and Murty's formula that depend on Liquid limit provide the similar trends. In the same way, the values of compression index,  $C_c$  which derived from Nishida's formula, Sivandrau's formula and Rendon-Herrero's formula that depend on Initial Void Ratio provide the similar trends.

The analysis of the capacities of piles which derived from the soil profiles at the test site provide the values that like to the test results from other locations in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(i)
บทคัดย่อ	(ii)
สารบัญ	(iii)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้	1
1.4 ขอบเขตโครงการพิเศษ	2
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี เอกสาร และผลงานวิจัย	
2.1 ลักษณะและคุณสมบัติชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร	3
2.2 ลักษณะและคุณสมบัติชั้นดินบริเวณสถานที่ก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า	3
2.3 หลักเกณฑ์ทางปฐพีกลศาสตร์	5
2.3.1 การเจาะสำรวจดิน และการปฏิบัติการทดสอบในสนาม	5
2.3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	14
2.4 หลักเกณฑ์การวิเคราะห์และออกแบบเสาเข็มโดยวิธีสถิตยศาสตร์	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	32
3.2 การเจาะสำรวจดิน	33
3.3 การทดสอบตัวอย่างดิน	35
3.4 การสรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	38
บทที่ 4 สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	
4.1 ลักษณะชั้นดินบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	39
4.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม	39
4.2.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	39
4.2.2 ผลการทดสอบในสนาม	41
4.3 การวิเคราะห์ลักษณะชั้นดิน	42
4.4 สรุปลักษณะชั้นดินในบริเวณสถาบัน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 สรุปการวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	43
4.6 การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของดิน	43
4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)	45
4.8 การวิเคราะห์สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็ม	48
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	(iv)
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางอ้างอิงทฤษฎีและสรุปผลการทดสอบ	
ภาคผนวก ข รูปอ้างอิงทฤษฎีและสรุปผลการทดสอบ	
ภาคผนวก ค รูปถ่ายประกอบการดำเนินการศึกษา	
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดสอบบรรจุในแผ่น Diskette	

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากผลการสำรวจทางด้านวิศวกรรม พบว่าสภาพดินในภาคกลางของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ปกคลุมด้วยชั้นดินตะกอน ซึ่งชั้นดินบนสุดจะมีสภาพเป็นดินอ่อนมาก ดินอ่อนและดินเหนียวแข็งจนถึงชั้นทรายที่มีส่วนประกอบของเม็ดดินเป็นดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่มีระดับความหนาตั้งแต่ 10 - 20 เมตร ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ลึกจากปากอ่าวไทยขึ้นไปทางตอนเหนือของประเทศไทยในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ชั้นดินบริเวณนี้มีคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมและความเปลี่ยนแปลงของชั้นดินแตกต่างกัน จากสาเหตุข้างต้นพื้นที่บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ทำให้จำเป็นต้องมีการเจาะสำรวจดินเพื่อหาข้อมูลทางด้านวิศวกรรม มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาในการออกแบบซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการเจาะสำรวจดิน รวมถึงทำการรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจดินภายในสถาบัน เพื่อทำการหาลักษณะดินใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปัญหาดังกล่าวแล้ว การที่ทราบคุณสมบัติดินที่ถูกต้องจะทำให้การออกแบบโครงสร้างมีความประหยัดเหมาะสม

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อวิเคราะห์ลักษณะชั้นดินบริเวณภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยแสดงเป็นรูปตัดของชั้นดิน
2. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางด้านกำลังของดิน
3. เพื่อนำค่าตัวแทนคุณสมบัติดินในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการเจาะสำรวจ ไปใช้อ้างอิงในการประมาณค่าในการออกแบบและวิเคราะห์เสาค้ำ
4. เปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานและด้านกำลังของดินภายในสถาบัน กับสนามบินแห่งชาติที่ 2 (สนามบินหนองงูเห่า)

#### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1. ใช้หลักเกณฑ์การวิเคราะห์คุณสมบัติของดินทางปฐพีกลศาสตร์
2. ใช้หลักการออกแบบเสาค้ำโดยวิธีสถิตศาสตร์
3. ใช้ผลงานวิจัยในอดีตเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ทำการเจาะสำรวจดินภายในสถาบันจำนวนหลุมเจาะ 1 หลุม และรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจดินเดิมที่มีภายในสถาบัน ซึ่งบริเวณหลุมเจาะที่มีอยู่เดิมและทำการเจาะสำรวจเพิ่มเติม จะแสดงอยู่ในรูปที่ 1

ได้แก่ - บริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	ทำการเจาะเพิ่มเติม	1	หลุม
- บริเวณอาคารช่างหอพักและโรงยิมเนเซียม	ทำการเจาะ	2	หลุม
- บริเวณอาคารสารสนเทศ	ทำการเจาะ	2	หลุม
- บริเวณอาคารคณะสถาปัตยกรรม	ทำการเจาะ	1	หลุม
- บริเวณอาคารสูง 12 ชั้น	ทำการเจาะ	2	หลุม
- บริเวณอาคารคณะวิทยาศาสตร์	ทำการเจาะ	2	หลุม
- บริเวณอาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์	ทำการเจาะ	3	หลุม
- บริเวณอาคารสูง 10 ชั้น	ทำการเจาะ	2	หลุม

จากนั้นทำการทดสอบตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน โดยแบ่งเป็นการทดสอบในเรื่องต่างๆ เพื่อหาคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านพื้นฐานและกำลังของดิน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ นำมาสรุปโดยใช้ทฤษฎีและแนวความคิดตามหัวข้อที่ 1.3 รวมถึงการนำข้อมูลผลงานวิจัยบริเวณสนามบินหนองงูเห่ามาใช้ในการเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ในหัวข้อที่ 1.2

#### 1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการโครงการพิเศษ

1. ทำการเจาะสำรวจดินบริเวณภายในสถาบัน และทดสอบคุณสมบัติดินภายในสนาม
2. รวบรวมข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลการเจาะสำรวจดิน จากบริษัทที่ได้เจาะสำรวจดินภายในสถาบัน รวมถึงการรวบรวมผลงานวิจัยบริเวณสนามบินหนองงูเห่า
3. ทดสอบดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน โดยใช้อุปกรณ์การทดสอบของสถาบัน
4. สรุปผลและวิเคราะห์ผล

#### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึงลักษณะชั้นดินบริเวณภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแสดงเป็นรูปตัดดินและ Boring log
2. เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานต่างๆของชั้นดิน
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านการรับแรงเฉือนของดินจากวิธีการทดสอบต่างๆ
4. สามารถใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณออกแบบเสาเข็มได้อย่างรวดเร็ว
5. เปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานและด้านกำลังของดินภายในสถาบันกับสนามบินแห่งชาติที่ 2 (สนามบินหนองงูเห่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี เอกสาร และผลงานวิจัย

#### 2.1 ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติของดินบริเวณกรุงเทพมหานคร

ลักษณะชั้นดินกรุงเทพมหานคร สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นเปลือกเกิดจากขบวนการสลายตัวจากสภาพแวดล้อม (WEATHERED CRUST) เป็นชั้นดินบนสุดซึ่งมีความหนาประมาณ 1 - 4 เมตร ที่ปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำมีสีน้ำตาลอมเหลืองถึงเทาดำ และมีกำลังรับน้ำหนักค่อนข้างสูง
  2. ชั้นดินเหนียวอ่อน (SOFT CLAY) มีความหนาประมาณ 10 - 15 เมตร ความหนาจะมากบริเวณใกล้ทะเลและจะลดลงอย่างมากกับระยะทางที่ห่างจากทะเล มีสีเทาอาจมีเปลือกหอยหรือเศษหินผสมอยู่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำ มีปริมาณความชื้นในมวลดินสูง, Compressible สูง
  3. ชั้นดินเหนียวแข็ง (STIFF CLAY) มีความหนาประมาณ 5 เมตร ความหนาจะลดลงในทางตะวันตกและทางเหนือ มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทามีทรายผสมอยู่บางส่วนมีกำลังรับน้ำหนักสูง มีปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำ
  4. ชั้นทราย (SAND) มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทาอมเหลือง ขนาดเม็ดปานกลางถึงละเอียด หลังจากความลึกของชั้นทราย จะเป็นชั้นสลับกันระหว่างชั้นดินเหนียวกับชั้นทราย
- คุณสมบัติของดินในกรุงเทพมหานคร จากผลงานวิจัยในอดีตจากผู้ทำการวิจัย คือ
- CHEN (1972) ได้ทำการหาค่าคุณสมบัติทั่วไปของดินกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 2.1 และค่ากำลังแรงเฉือน ดังตารางที่ 2.2

#### 2.2 ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติของดินบริเวณสนามบินหนองงูเห่า

จากรูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงบริเวณสนามบินหนองงูเห่า ที่ทำการเจาะสำรวจดิน

ลักษณะชั้นดินบริเวณสนามบินหนองงูเห่า BALASUBRAMIAM et al.,(1994) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นดินเหนียวผิวเปลือกบน (Weathered Clay Layer)  
ความหนาของชั้นดิน Weathered Clay ซึ่งเป็นชั้นดินที่อยู่ด้านบนสุด จะมีค่าประมาณ 2 เมตร จากระดับผิวดินโดยที่ดินชั้นนี้จะมีสีเทาอมน้ำตาล
2. ชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay Layer)  
ความหนาของชั้นดิน Very Soft Clay ที่อยู่ใต้ชั้นดิน Weathered Clay จะมีค่าประมาณ 2 ถึง 8.5 เมตร จากระดับผิวดิน โดยที่ดินชั้นนี้จะมีสีเทาเข้มประกอบด้วยเปลือกหอยและ

อินทรีย์สาร ปริมาณความชื้นในมวลดินอาจมีค่าถึง 100 % ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) อาจมีค่ามากกว่า 100 % และค่า Undrained Shear Strength จะมีค่าน้อยกว่า  $1.00 \text{ t/m}^2$

3. ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay Layer)

ความหนาของชั้นดิน Soft Clay นี้มีค่าประมาณ 8.5 ถึง 11.5 เมตร จากระดับผิวดิน โดยที่ชั้นดินชั้นนี้จะมีสีเทาเข้มประกอบด้วยเปลือกหอย ปริมาณความชื้นในมวลดินและค่าพิกัดเหลวจะมีค่าประมาณ 60% ถึง 100% และ Undrained Shear Strength อาจมีค่าถึง  $1.50 \text{ t/m}^2$

4. ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay Layer)

ความหนาของชั้นดิน Medium Clay นี้มีค่าประมาณ 11.5 ถึง 15.5 เมตร จากระดับผิวดิน โดยที่ชั้นดินชั้นนี้จะมีสีเทา และเป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยประกอบด้วยชั้นดินตะกอนทรายบาง ๆ ปริมาณความชื้นในมวลดินและค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) ที่บริเวณดินชั้นนี้จะมีค่าลดลง ขณะที่ค่า Undrained Shear Strength มีค่าเพิ่มขึ้นตามปกติ

5. ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay Layer)

ความหนาของชั้นดิน Stiff Clay นี้มีค่าประมาณ 15.5 ถึง 21 เมตร จากระดับผิวดิน โดยที่ชั้นดินชั้นนี้จะมีสีน้ำตาลอ่อน ชั้นดินบริเวณนี้จะเป็น Overconsolidated Clay ปริมาณความชื้นในมวลดินและค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) ที่บริเวณดินชั้นนี้จะมีค่าลดลง ขณะที่ค่า Undrained Shear Strength มีค่าเพิ่มขึ้นตามปกติ

6. ชั้นทรายหนาแน่น (Dense Sand Layer)

ความหนาของชั้นดิน Dense Sand นี้มีค่าประมาณ 21 ถึง 30 เมตร จากระดับผิวดิน ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดการเจาะสำรวจ โดยที่ชั้นดินชั้นนี้จะมีสีน้ำตาล ประกอบด้วยดินเม็ดละเอียดถึงขนาดเม็ดกลาง

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะชั้นดินรวมถึงคุณสมบัติของดินบริเวณสนามบินหนองงูเห่า BALASUBRAMANIAM et al (1994)

คุณสมบัติทั่วไปของดินบริเวณสนามบินหนองงูเห่า แสดงดังตารางที่ 2.3, 2.4 และ 2.5 ในระบบการจำแนกแบบ Unified ซึ่งดินเหนียวจำแนกได้อยู่ในกลุ่ม CH ในดินเหนียวอ่อนจะมีค่า Preconsolidation Pressure อยู่ในช่วง  $5.4 \text{ t/m}^2$  ถึง  $16.5 \text{ t/m}^2$

- คุณสมบัติการอัดตัวคายน้ำของบริเวณสนามบินหนองงูเห่า (Consolidation Characteristics of Nong Ngu Hao Site)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $e - \log p'$  ของดินเหนียวอ่อนที่บริเวณสนามบินหนองงูเห่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4 a, b, c, d, e การเปลี่ยนแปลงของค่า Coefficient of Consolidation เทียบความลึกแสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติทางด้านกำลังของบริเวณสนามบินหนองงูเห่า (Shear Strength Property of Nong Ngu Hao Site)

จากรูปที่ 2.6 AAT (1992) กำลังการต้านทานของดินที่ใช้ในการออกแบบเทียบกับความลึกประยุกต์มาศึกษาจากปี 1974 โดย NGI (1974) และจากการศึกษาในปี 1984 โดย NACO (1984) โดยที่รูปดังกล่าวจัดทำขึ้นโดยใช้พื้นฐาน Vane Shear Strength ในสนาม ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบ Vane Shear Strength ในปี 1984 จะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 2.7 การปรับแก้ค่า Vane Shear Strength ในสนาม จะใช้วิธีการของ BJERRUM (1973) ค่า Correction Factor มีค่าเท่ากับ 0.7

## 2.3 หลักเกณฑ์ทางวิศวกรรมปฐพี

### 2.3.1 การเจาะสำรวจดิน การเก็บตัวอย่างดินและการปฏิบัติการทดสอบในสนาม (Soil Boring , Soil Sampling and Field Test)

- การเจาะสำรวจดิน (Soil Boring)

โดยใช้วิธีการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

การเจาะดินแบบฉีดล้าง เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเจาะหลุมให้ลึกลงไป เพื่อเก็บตัวอย่างดิน หรือทดสอบในสนาม (Field Test) ที่ความลึกตามต้องการ เจาะหลุมเพื่อหาน้ำใต้ดิน การเจาะแบบฉีดล้างที่จะกล่าวถึง ก็คือการใช้เครื่องก๊ว และโครงเหล็ก เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน ซึ่งจะมีผลทำให้เจาะได้รวดเร็ว และได้หลุมเจาะถูกต้องตามหลักวิชาเพื่อเก็บตัวอย่างดิน หรือทำการทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test ,SPT)

หลักการสำคัญของการเจาะแบบฉีดล้าง ก็คือ ต้องมีหัวกระทิง (Chopping Bit) ภายในมีรูฉีดน้ำที่ส่งมาจากเครื่องสูบน้ำผ่านก้านเจาะ (Drill Rod) การปฏิบัติงานก็เพียงกระทิงในขณะที่ฉีดน้ำที่หัวเจาะตลอดเวลา เศษดินก้นหลุมจะถูกตัดเป็นเศษเล็กๆ และถูกน้ำฉีดไหลวนขึ้นมาข้างบน

จากรูปที่ 2.8 แสดงการเจาะสำรวจดินฉีดล้างแบบกระทิง (Wash Boring by Chopping) ด้วยเครื่องก๊วและชุดสามขา (รวมถึงชุดอุปกรณ์การเจาะสำรวจ)

ขั้นตอนและเครื่องมือที่ต้องใช้ในการเจาะแบบฉีดล้าง

การเปิดหน้าหลุม

ดินชั้นผิวหน้าสามารถใช้สว่านมือ (Hand Auger) เจาะ เพื่อกำจัดเศษขยะ เศษหิน หรือชั้นดินแข็งออกเสียก่อน และเพื่อเปิดหน้าหลุมสำหรับใส่ท่อเหล็กกั้นดินท่อนแรกให้ได้ศูนย์

### ป้องกันหลุมเจาะ (Borehole Stabilization)

การเจาะหลุมเจาะจะใช้การเจาะแบบฉีดล้างเป็นหลัก ในระหว่างการทำการเจาะลึกลงไปจะต้องป้องกันผนังหลุมเจาะไม่ให้ถล่ม มิฉะนั้นจะไม่สามารถเจาะลึกลงไปได้ การป้องกันการถล่มของผนังหลุมเจาะ สามารถทำได้โดยวิธีต่อไปนี้

#### การใช้ท่อเหล็กกันดิน (Steel Casing)

ใช้ท่อเหล็กกันดินขนาดพอเหมาะ (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 100 มม. หนาประมาณ 6.25 นิ้ว) ตอกลงไป เพื่อความสะดวกในการทำงานจะใช้ท่อเหล็กกันดินยาวท่อนละ 1.0 เมตร เป็นขนาดมาตรฐาน และมีขนาดสั้นไว้เสริมใช้ (0.5 เมตร) ส่วนล่างของท่อเหล็กกันดินควรมีปลอกนำตอกดิน (Casing Drive Shoe) ทำจากเหล็กแข็งพิเศษเพื่อกันเกลียวของท่อเหล็กกันดินเย็น และสำหรับกระทั่งกระแทกดินแข็งให้แตกทุกท่อนควรมีข้อต่อเป็นเกลียวแบบสำหรับใช้งานหนัก (Heavy Duty) การใส่ท่อเหล็กกันดินใช้ตอกลงไปด้วยลูกตุ้มเหล็ก การถอนขึ้นอาจใช้แรงเคลื่อนดิ่งแม่แรงกล (Mechanical Jack) หรือรอกโซ่ (Chain Block) การตอกท่อเหล็กกันดินลงแต่ละครั้งจะต้องตอกไม่เกินระดับที่จะเก็บตัวอย่างดิน เพราะจะทำให้ดินถูกรบกวน จึงควรตอกให้ปลายท่อเหล็กกันดินอยู่เหนือห่างจากระดับที่จะเก็บตัวอย่างดินอย่างน้อย 50 ซม.

การตอกท่อเหล็กกันดินจะต้องเสียเวลามาก อีกทั้งยังต้องถอนท่อเหล็กกันดินขึ้น จากหลุมเจาะอีกด้วย จึงพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ท่อเหล็กกันดินถ้าไม่จำเป็น และควรตอกให้ตื้นที่สุด เท่าที่จำเป็น

#### การใช้น้ำโคลน (Mud Slurry)

การใช้น้ำโคลนมีจุดประสงค์ 3 ประการ คือ

1. ใช้ลดการซึมผ่านของน้ำลงหลุมเจาะ น้ำโคลนที่มีความเข้มข้นพอเหมาะจะไปอุดผนังดินที่มีค่าซึมผ่านสูง เช่น ชั้นทราย ทำให้น้ำสามารถไหลวนกลับเพื่อนำเศษดินขึ้นมาข้างบนหลุม และสามารถนำน้ำกลับมาใช้ได้อีก การเตรียมน้ำโคลนจะเสียเวลา และค่าใช้จ่าย (ในกรณีใช้ผงดินเบนโทไนท์) จึงควรพยายามนำน้ำโคลนไหลวนกลับมาใช้ให้มากที่สุด น้ำโคลนอาจจะเตรียมจากการผสมดินเหนียวโคลนธรรมชาติ หรือการใช้ผงดินเบนโทไนท์ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไป เป็นผงดินเม็ดละเอียดเมื่อผสมน้ำจะพองตัว
2. เพื่อกันผนังดินพัง น้ำโคลนที่ข้นพอเหมาะเมื่อมีอยู่เต็มหลุมเจาะจะเป็นแรงดันผนังดินไม่ให้ถล่ม
3. เพื่อเพิ่มความเข้มข้น ทำให้สามารถพาเศษดิน กรวด ที่มีเม็ดใหญ่ขึ้นมาข้างบนได้

ในการเจาะหลุมในชั้นดินเหนียว อาจจะใช้น้ำใส่ฉีดในหลุมเจาะและทิ้งไป เลยไม่นำกลับมาใช้ใหม่ ถ้าหลุมเจาะไม่ถล่มและในกรณีที่ไม้สะดวกในการเก็บกัก น้ำกลับมาใช้ เพราะในชั้นดินเหนียวน้ำจะซึมหายไปน้อยไม่เหมือนในชั้นดินทราย แต่ในชั้นดินเหนียวถ้าเป็นดินอ่อน หลุมมักจะถล่มง่าย จึงจำเป็นต้องใช้น้ำโคลนเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของน้ำให้แรงดันที่ผนังดินเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติเมื่อเจาะผ่านชั้นดินเหนียว น้ำโคลนที่เก็บกักไว้เวียนใช้จะขึ้นขึ้นเอง ตามลำดับ

### การใช้เครื่องสูบน้ำ (Mud Pump)

น้ำที่ฉีดที่หัวเจาะส่งมาจากเครื่องสูบน้ำ ถ้าใช้ระบบน้ำไหลวนควรมีที่กักน้ำ (Slush Pit) อาจจะเป็นถังเหล็กขนาดพอเหมาะที่จะนำไปติดตั้งในที่ หรือใช้การขุดบ่อดิน (Pit) ใกล้หลุมเจาะใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำจากที่เก็บกักฉีดผ่านสายยางทนความดัน (Pressure Hose) ต่อเข้าก้านเจาะด้วยหัวหมุนน้ำ (Water Swivel) น้ำก็จะถูกฉีดผ่านรูในก้านเจาะลงไปยัง หัวกระทู้ที่หัวกระทู้ แล้วจะไหลกลับขึ้นมาข้างบนในช่องระหว่างก้านเจาะและท่อ เหล็กกันดินพาเอาเศษดินขึ้นมาด้วย การจะสูบน้ำไหลวนไปใช้ควรมีที่กันแยกตะกอน (Baffle) เพื่อกันเศษกรวดทรายไม่ให้เข้าหัวดูด และที่หัวสายดูดควรมีที่กรอง (Strainer) อีกครั้งหนึ่งเพื่อกันทรายไม่ให้ผ่านเข้าเครื่องสูบน้ำจะทำให้ใบพัดสึกกร่อนเร็วเกินกำหนด

เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) สำหรับเจาะความลึกประมาณไม่เกิน 30 เมตร เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีความดันน้ำต่ำ (Low Water Head) (ใบพัดสูบน้ำหอยโข่งแบบเปิดสามารถสูบน้ำได้สูงประมาณ 20 ม.) ส่งน้ำ ได้ปริมาณสูง (High Flow) มีราคาถูก มีน้ำหนักเบา อะไหล่ไม่แพง

โดยหลักการแล้ว ควรเลือกเครื่องสูบน้ำที่ให้ความดันน้ำสูงมากพอ ที่จะผ่านแรงเสียด (Friction Loss) ในก้านเจาะมีอัตราการส่งน้ำปานกลาง เนื่องจากต้องสูบน้ำผ่านส่งรูก้านเจาะที่มีขนาดเล็ก และพิจารณาเรื่องราคา และค่าอะไหล่ การที่ต้องปฏิบัติการ ยกก้านเจาะ ท่อเหล็กกันดิน ตอกลูกตุ้มน้ำหนักหรือการกระทู้หัวกระทู้ เครื่องเจาะจะต้องมีหัวขวาน (Cathead) เพื่อผ่อนแรงงาน อุปกรณ์ต่างๆ จะถูกยกขึ้นด้วยเชือกมะนิลา (Manila) ที่พันอยู่กับหัวขวาน (Cathead) ผ่านรอก (Sheave) ที่แขวนบนโครงสามขา (Tripod) หรือโครงเหล็ก (Derrick) ขนาดความสูงพอเหมาะ ปกติจะใช้ความสูงประมาณ 4 เมตร สำหรับยกก้านเจาะขนาดความยาว 3.0 ม. และอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกในการผูกเชือกเข้ากับอุปกรณ์เจาะดิน จึงใช้หัวแขวนหมุน (Hoisting Swivel) ซึ่งมีเกลียวสามารถขันเข้าได้กับอุปกรณ์เจาะทุกชิ้น ระหว่างยกขึ้นหรือปฏิบัติงานสามารถหมุนได้รอบตัว

#### - การเก็บตัวอย่างดิน (Soil Sampling)

การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube) การเก็บตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ ต้องเก็บด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube หรือเรียก Shelby Tube) ซึ่งใช้เครื่องมือและวิธีการต่างๆ กัน เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณภาพ การรักษาดตัวอย่างระหว่างการขนย้ายเข้าห้องทดลองต้องทำอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ

#### กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube)

กระบอกทำจากโลหะ อลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) หรือเหล็ก ที่มีผิวเรียบทั้งภายนอก และภายใน ขนาดความหนาและความยาวของกระบอกที่สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTMD-1587) กำหนดไว้ดังตารางและจากรูปที่ 2.9 แสดงหัวเก็บตัวอย่างแบบเปิด (Open Drive Sampler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขนาดกระบอกเหล็กบางที่เหมาะสม (ASTM D-1587)

เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ม.ม. (นิ้ว)	ความหนาของกระบอก ม.ม. (นิ้ว)	ความยาวของกระบอก ม.ม. (นิ้ว)
50.8 (2)	1.24 (0.049)	910 (36)
76.2 (3)	1.65 (0.065)	910 (36)
127.0 (0)	3.05 (0.120)	1450 (54)

กระบอกบางที่ใช้ทั่วไป ใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 ม.ม. หนาประมาณ 2 ม.ม. ยาว 75 ซม. สามารถใช้เก็บตัวอย่างได้ประมาณ 60 ซม. หรือกระบอกบางที่ใช้เก็บดินแข็งจะใช้ขนาดยาว 60 ซม. หนาประมาณ 3 ม.ม. เก็บตัวอย่างดินได้ประมาณ 50 ซม. (สั้นลง) เพื่อลดแรงดึงกระบอกตัวอย่างขึ้นจากหลุมเจาะ มิฉะนั้นอาจจะดึงกระบอกไม่ขึ้นหรือกระบอกอาจจะชำรุดเสียหายเมื่อใช้แรงดึงมากๆ

#### หัวเก็บตัวอย่างแบบเปิด (Open Drive Sampler Head)

เป็นส่วนที่ต่อยึดเข้ากับกระบอกบาง และปลายก้านเจาะ มีอุปกรณ์พิเศษเพื่อช่วยเก็บตัวอย่างติดให้ติดดีขึ้น และตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวน บางครั้งเรียกหัวปรับขนาด (Adapter Head) ซึ่งมักจะหมายถึงแท่งเหล็กที่มีเกลียว 2 ด้านสำหรับต่อเข้ากับกระบอกบาง และก้านเจาะเท่านั้น ไม่มีอุปกรณ์อื่นในการช่วยเก็บตัวอย่างดินให้ติดดีขึ้น เป็นแบบที่ไม่แนะนำให้ใช้ เป็นหัวเก็บตัวอย่างที่ง่าย ราคาถูก และเสียเวลาในการเก็บตัวอย่างดินน้อยกว่า ถ้าสามารถออกแบบและดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพของดินแต่ละท้องถิ่นที่จะสามารถใช้ได้ผลดีพอสมควร สำหรับเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนกระทั่งชั้นดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay)

ระยะเก็บตัวอย่างปกติจะเก็บตัวอย่างทุกๆ ระยะ 1.5 ม. รายการทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลองสำหรับการเจาะสำรวจดิน แสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาก่อนที่จะกำหนดรายการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้ชนิดและปริมาณตัวอย่างดินที่เหมาะสม

#### ตัวอย่างที่เก็บติด (Sample Recovery)

จากระยะความยาวกระบอกตัวอย่าง (H) ที่จะกดเก็บตัวอย่าง ซึ่งมักจะขีดระยะไว้ที่ก้านเจาะเทียบกับปากท่อเหล็กกันดิน เมื่อกดกระบอกตัวอย่างลงไปในดิน จนสุดระยะที่ขีดไว้แล้วหมุนกระบอกตัวอย่าง 2-3 รอบ ในทิศตามเข็มนาฬิกา เพื่อตัดดินให้ขาดจากปลายกระบอก และหลังจากถอนกระบอกตัวอย่างขึ้นมาบนดิน ทำความสะอาดตัวอย่างส่วนบนกระบอก ถ้ามีเศษดินโคลนปนอยู่ (ส่วนบน) แยกออกจนถึงชั้นดินที่อยู่ในสภาพธรรมชาติที่ไม่ถูกรบกวน วัดความยาวตัวอย่างดินที่เก็บติด (L) อัตราส่วนตัวอย่างดินที่เก็บติดจากค่าจำกัดความของ Hvorslev (1949) คือ

$$\text{อัตราส่วนตัวอย่างเก็บติดรวม (Total Recovery Ratio)} = \frac{L}{H} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าอัตราส่วนตัวอย่างเก็บติด (Recovery Ratio) นี้ สำหรับดินเหนียวอ่อน สามารถจะใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินการถูกรบกวนของตัวอย่างดินที่เก็บได้ ถ้าค่าอัตราส่วนตัวอย่างเก็บติด (Recovery Ratio) มีค่า 100% ถือว่าตัวอย่างดินจะถูกรบกวนน้อย แต่ในทางปฏิบัติ การวัดระยะต่างๆอาจจะไม่ละเอียดนัก จึงยอมรับค่าอัตราส่วนตัวอย่างเก็บติด (Recovery Ratio) 95 – 98 % ถือว่าเป็นตัวอย่างดินที่ใช้ได้

ถ้าอัตราส่วนตัวอย่างเก็บติด (Recovery Ratio) มีค่ามากกว่า 100% แสดงว่าการกดเก็บตัวอย่างลึกกว่าระยะของกระบอกเก็บตัวอย่าง ซึ่งจะไปอัดดิน (Over Drive) ทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวน หรืออาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ตัวอย่างดินอยู่ระดับลึกมาก เมื่อดึงตัวอย่างดินขึ้นมาข้างบนเป็นการลดแรงกดทับลงมากดินจะบวมตัว (Swell)

#### ความหนาของกระบอกตัวอย่างดิน

ท่อโลหะที่ใช้ทำกระบอกบาง ควรเป็นโลหะที่แข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อน ซึ่งอาจเป็นท่อเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ท่อทองเหลือง หรือท่อเหล็ก ความหนาประมาณ 1.5 – 2 มม. หรือหนา 3 มม. เป็นอย่างมาก ในประเทศไทยโดยทั่วไปนิยมใช้ท่อเหล็ก เนื่องจากมีราคาถูก แต่ก็มีการใช้ท่อเหล็กไร้สนิมบ้าง ท่อนี้สามารถนำกลับไปใช้ได้อีกหลายครั้ง เนื่องจากมีความแข็งแรงดี แต่ต้องลงทุนสูง

ขนาดความหนาท่อเหล็กต้องไม่หนามากไป เมื่อใช้ท่อเหล็กที่มีความหนา การกดกระบอกตัวอย่างลงไปบนดิน ความหนากระบอกจะไปบีบอัดดิน ทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บถูกรบกวน เพื่อเป็นมาตรฐาน การกำหนดความหนากระบอกตัวอย่างดินต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกตัวอย่างจะกำหนดด้วยอัตราส่วนพื้นที่ (Area Ratio) (%) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ (Area Ratio), } C_a = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1^2} \times 100 \quad \% \dots\dots\dots (2.2)$$

ในทางปฏิบัติ กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง สำหรับเก็บตัวอย่างดินเหนียวแบบคงสภาพต้องมีอัตราส่วนพื้นที่ (Area Ratio) ได้ไม่เกิน 13% ยกเว้นในบางกรณียอมให้ใช้กระบอกที่มีอัตราส่วนพื้นที่ (Area Ratio) ถึง 15% ซึ่งแล้วแต่ชนิดของดินที่จะเก็บ

#### การผนึก (Seal) ตัวอย่างดินคงสภาพกันความชื้นสูญเสีย

เมื่อดึงกระบอกบางขึ้นมาบนพื้นแล้ว วางกระบอกบางที่มีตัวอย่างดินคงสภาพอยู่ภายในบนพื้นเรียบ ถอดสกรูยึดกระบอกออกจากหัวเก็บตัวอย่าง (Sampler Head) ใช้อุปกรณ์ทำความสะอาดตัวอย่าง ทำความสะอาดเศษดินด้านบนหัวกระบอกที่เก็บเศษดินก้นหลุมเจาะขึ้นมา โดยปกติจะใช้มีดปลายตั้งฉาก ซึ่งสามารถทำขึ้นใช้ได้เอง หลังจากทำความสะอาดเศษดินแล้ว ล้างกระบอกตัวอย่างภายนอกและภายในให้สะอาด จึงวัดความยาวตัวอย่างดินที่เก็บติด (Recovery) การล้างตัวอย่างดินเหนียว (Clay) ด้วยน้ำจะไม่ทำให้ค่าความชื้นตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างดินเหนียวจะทึบน้ำ การล้างเช่นนั้นน้ำจะไม่ซึมเข้าไปในตัวอย่างดิน



## การเตรียมตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ (Undisturbed Clay Sample) สำหรับการทดสอบในห้องทดลอง

ในการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพในขั้นสุดท้าย ก่อนการทดสอบ จะต้องทำการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอตัวอย่าง ซึ่งก่อนทำการดันตัวอย่างดินจะต้องเตรียมสิ่งเหล่านี้เสียก่อน

- 1) ตรวจสอบสลากป้ายชื่อตัวอย่างดินให้ถูกต้องตามตัวอย่างที่จะทดสอบ
- 2) เตรียมขี้ผึ้งเคลือบดินไว้
- 3) เตรียมสลากป้ายชื่อสำหรับชั้นตัวอย่างย่อย เมื่อตัดแบ่งแล้ว
- 4) ไม้บรรทัด เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw)
- 5) กำหนดความยาวตัวอย่างดินที่จะทดสอบแต่ละชนิด
- 6) ตรวจสอบหัว-ท้าย กระบอตัวอย่างดินที่เก็บมา และยึดกระบอกับเครื่องดันตัวอย่างในตำแหน่งที่ทิศทางการดันเป็นไปในทิศทางเดียวกับการกดเก็บตัวอย่างดินในสนาม

การดันตัวอย่างดินออกจากกระบอตัวอย่าง จะต้องใช้เครื่องดันตัวอย่างดินที่มีช่วงดัน(Stroke) สามารถดันตัวอย่างดินออกจากกระบอที่อัตราความเร็วโดยตลอดช่วงความยาวตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ภาคผนวก ส่วนมากจะออกแบบใช้กำลังดันจากแรงอัดน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Pressure) จากเครื่องสูบน้ำมัน (Hydraulic Pump) ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องดันตัวอย่างชนิดนี้เป็นชนิดที่แนะนำให้ใช้ดันตัวอย่างเครื่องดันตัวอย่างดินเหนียวอ่อน เนื่องจากจะดันตัวอย่างดินขึ้นมาในแนวตั้ง (Vertical) ป้องกันการตกห้องข้างของดินอ่อน เมื่อดันตัวอย่างดินออกจากกระบอได้ระยะที่ต้องการ ใช้เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw) ตัดตัวอย่างออกจากกัน หลังจากนั้นควรรีบดำเนินการทดสอบโดยเร็ว ในกรณีที่ยังไม่ทำการทดสอบจะต้องเคลือบตัวอย่างดินด้วยขี้ผึ้ง (Wax) พร้อมทั้งปิดสลากป้ายชื่อดินแต่ละก้อนแห่งตัวอย่างให้ถูกต้อง

### - การปฏิบัติการทดสอบในสนาม (Field Test)

#### การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) (ASTM D-1586)

การทดสอบวิธีนี้จะได้ค่า N (จำนวนครั้งที่ลูกตุ้มตอกต่อระยะกระบอผ่าจมลงไป 1 ฟุต) จากค่า N ที่ได้นี้สามารถไปแปลงเป็นค่ากำลังของดิน สำหรับนำไปใช้ออกแบบฐานราก การทดสอบใช้ลูกตุ้มขนาดน้ำหนักมาตรฐาน 140 ปอนด์ (63.5 กก.) ตอกกระบอผ่า (Split Barrel) ตามขนาดมาตรฐานด้วยระยะตก 30 นิ้ว (76 ซม.) โดยแบ่งการนับจำนวนครั้งที่การตอกเป็น ครั้งละ 6 นิ้ว จำนวน 3 ครั้ง นำค่าจำนวนครั้งที่การตอก 2 ครั้งสุดท้ายมารวมกันจำนวนครั้งที่นับได้เรียกค่า N (หน่วยเป็นครั้ง / 30 ซม.) ขนาดกระบอผ่ามาตรฐาน แสดงในรูปที่ 2.10 ปกติจะทำการทดสอบทุกๆระยะความลึก 1.0 – 1.5 เมตร ได้มีการนำผลการทดสอบ SPT ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ค่า N ที่ทดสอบได้สามารถนำไปจำแนกความแข็ง-อ่อนของดินเหนียวหรือความแน่น-หลวม ของทราย ดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 ความแน่น (ของทราย) และความแข็ง (ของดินเหนียว) จากผลการทดสอบตอกทะลง  
แบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test)  
(Peck, Hanson and Thornburn, 1974)

ทราย (Sand)* (ค่อนข้างน้ำเชือถือ)		ดินเหนียว (Clays) (ไม่ค่อยน้ำเชือถือ)		
N, ครั้ง/30 ซม	ความแน่นสัมพัทธ์	N, ครั้ง/30 ซม	ความแข็ง-อ่อน	ค่าแรงเฉือนแบบไม่ ถูกจำกัด, $q_u$ , ตัน/ม <sup>2</sup>
0 - 4	หลวมมาก (Very Loose)	Below 2	อ่อนมาก (Very Soft)	0 - 2.5
4 - 10	หลวม (Loose)	(ต่ำกว่า)		
10 - 30	แน่นปานกลาง (Medium)	2 - 4	อ่อน (Soft)	2.5 - 5.0
		4 - 8	แข็งปานกลาง (Medium)	5.0 - 10.0
30 - 50	แน่น (Dense)	8 - 15	แข็ง (Stiff)	10.0 - 20.0
Over 50	แน่นมาก (Very Dense)	15 - 30	แข็งมาก (Very Stiff)	20.0 - 40.0
(สูงกว่า)		Over 30	แข็งดาน	Over 40
		(สูงกว่า)	(Hard)	(สูงกว่า)

\* รวมทั้งกรวด (Gravel) และดินตะกอน (Silt)

การทดสอบแรงเฉือนของดินในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test, FVT)

การทดลองแบบ Quick Test เพื่อวัดกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง โดยการหมุนใบมีดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสี่แฉก (Vane) มาตรฐาน ( $h = 10$  ถึง  $20$  ซม.,  $d = 5$  ถึง  $10$  ซม. และหนาประมาณ 2.5 มม.) ดังรูปที่ 2.11 ที่จมอยู่ในเนื้อดินบริเวณที่ต้องการหากำลังดินจะถูกตัดเป็นรูปทรงกระบอก วัดแรงหมุน (Torque) ด้วย Proving ring และคำนวณกำลังต้านทานของดินจากสมการ

$$\text{Torque } T = c(\pi dh) \frac{d}{2} + c\left(\pi \frac{d^2}{4}\right) \frac{1}{3} d \cdot 2 \dots\dots\dots(2.3)$$

$$= \frac{c\pi d^2}{2} \left(h + \frac{d}{3}\right) \dots\dots\dots(2.4)$$

ในตอนแรกของการทดลอง จะหมุนใบมีดไปช้า ๆ จะหมุนใบช้า ๆ จนได้ค่า T สูงสุด ซึ่งเป็นการวัดกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินคงสภาพ หลังจากนั้นทำการทดสอบแรงเฉือนดินแบบแปลงสภาพ (Remould) ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่ได้จาก Vane Test จะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบ Triaxial Compression Test

ค่าความไว (Sensitivity) จากค่าจำกัดความของเทอร์ซากิ (Terzaghi)

$$\text{ค่าความไว (Sensitivity)} = \frac{\text{แรงเฉือนดินคงสภาพ}}{\text{แรงเฉือนดินแปลงสภาพ}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Skempton and Northey (1952) ได้จำแนกดินตามค่าความไว ดังแสดงในตารางข้างต้น ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ มีค่าความไวอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 6 และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4 จำแนกเป็นดินเหนียวชนิดความเอกลสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวนปานกลางถึงไว (Medium to Sensitive) สำหรับดินที่จำแนกเป็นชนิดไวมาก (Quick) จะมีคุณสมบัติจะเสียดำลังจากสภาพดินเหนียวอ่อนจนเป็นน้ำโคลนไหลได้เมื่อถูกกวน

ตาราง 2.2 จำแนกดินเหนียวตามค่าความไว

ความไว (Sensitivity)	จำแนกชนิดของดิน (Classification)
ประมาณ 1.0	Insensitive
1 – 2	Low Sensitivity
2 – 4	Medium Sensitivity
4 – 8	Sensitive
> 8	Extra – Sensitivity
> 16	Quick

#### องค์ประกอบปรับแก้ (Correction Factor)

Bjerrum (1972) สรุปว่าค่าแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนที่ได้จากการทดสอบในที่ด้วยใบพัด โดยทั่วไปจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงเฉือนของดินที่เคลื่อนตัว (Mobilize) จริงๆ ตามแนวกลมของคันดิน (Sliding Surface) จึงได้นำองค์ประกอบปรับแก้ (Correction Factor) สำหรับปรับค่าแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบในที่ ซึ่งค่าองค์ประกอบปรับแก้ ( $\mu$ ) จะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ของดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

ค่าแรงเฉือนปรับแก้,

$$S_u \text{ Correct} = (\mu) \times S_u \text{ field} \dots\dots\dots(2.6)$$

#### การทดสอบการวัดระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water)

ในงานเจาะสำรวจดินทั่วไปจึงจะต้องวัดระดับน้ำใต้ดินและรายงานระดับน้ำใต้ดินเป็นมาตรฐานสามารถกระทำได้โดยเจาะหลุมเจาะด้วยสว่านมือ (Hand Auger) เมื่อไปถึงจุดเจาะ และใช้เป็นบ่อวัดน้ำตามระยะเวลาที่เหมาะสมโดยไม่ต้องรอวัดในหลุมเจาะหลังเจาะเสร็จนอกจากนี้ เพื่อเป็นข้อมูล จะต้องวัดระดับน้ำในหลุมเจาะทุกครั้งก่อนเริ่มงานและหลังเลิกงานทุกวัน บันทึกข้อมูลของหลุมเจาะ เช่น ความลึกหลุมเจาะ ความลึกท่อเหล็กกันดิน (Steel Casing) เท่าที่กล่าวมา เป็นการวัดระดับน้ำใต้ดินสำหรับงานก่อสร้างอาคารโดยปกติทั่วไป ที่ระดับน้ำใต้ดิน ไม่มีผลกระทบต่อการออกแบบฐานรากมากนัก หรือมีข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในท้องที่อยู่แล้ว เพียงต้องการยืนยันข้อมูลเดิม

ติดตั้งบ่อวัดน้ำ (Observation Well) ที่ระดับผิวดิน เพื่อวัดระดับน้ำสถิต (Hydrostatic) ที่ผิวดินที่ไม่มีผลกระทบจากการลดต่ำลงของระดับน้ำใต้ดิน (Draw down) คู่มือการติดตั้งบ่อวัดน้ำในรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงตัวอย่างบ่อวัดน้ำถาวร สำหรับวัดระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test)

### คุณสมบัติพื้นฐาน

#### - Natural Water Content

ความชื้นของดินหาได้จากการนำตัวอย่างดินที่มีขนาดน้ำหนักมากพอ (สำหรับขนาดเม็ดดินแต่ละชนิด) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิปกติ  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 18 – 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้ววัดความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์ ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีความชื้น ได้สูงกว่าดินที่มีเม็ดหยาบ เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่เฉพาะ (Specific Surface) ซึมซับน้ำได้มากกว่า

$$W_n = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \% \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

#### - Liquid and Plastic Limits of Soil

จากการพิจารณากราฟรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงค่าพิกิตต่างๆดังนี้

Liquid Limit ( $w_L$  หรือ L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับ Liquid ของดิน หรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เป็นปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสถานะไหลตัวได้ที่จุด B

การทดสอบหาค่าพิกิตความเหลวทำได้โดยอาศัยเครื่องมือของคาซากรานเด (Casagrande) โดยใส่ดินเปียกในถ้วยทองเหลือง ปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วแบ่งดินให้เป็นร่องโดยใช้ Grooving Tool จากนั้นหมุนมือจับเพื่อยกถ้วยขึ้นสูง 1 ซม. และตกกระทกลงมาด้วยความเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที ค่า L.L. จะหาได้ เมื่อมวลดินที่อยู่ระหว่างร่องมาตรฐาน (Standard Groove) ทั้งสองข้างไหลมาบรรจบกันเป็นระยะทาง 1 ซม.พอดี หลังจากที่ยกมวลดินนั้นสูง 1 ซม. แล้วกระทกลงมาเป็นจำนวน 25 ครั้ง มวลดินที่มีค่าพิกิตความเหลวสูงจะยุบอัดตัวมากกว่ามวลดินที่มีค่าพิกิตความเหลวต่ำ

Plastic Limit ( $w_p$  หรือ P.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Semi-Solid ของดิน อธิบายได้ว่าดินใดๆ ก็ตามถ้ามีปริมาณน้ำเท่ากับ Plastic Limit ดินนั้นจะอยู่ระหว่างสถานะ Plastic กับ Semi-Solid ถ้ามีปริมาณน้ำมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินก็จะอยู่ในสถานะเป็น Plastic ถ้าปริมาณน้ำน้อยกว่านี้ ดินก็จะอยู่ในสถานะเป็น Semi-Solid ที่จุด C

การทดสอบคลึงมวลดินด้วยฝ่ามือบนแผ่นกระจกให้เป็นเส้นกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม (1/8 นิ้ว) โดยไม่มีรอยแตกที่ผิว แล้วเริ่มมีรอยแตกที่ผิวพอดี

#### - Shrinkage Limit

ค่าพิกิตหดตัว (Shrinkage Limit) คือ ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะไม่ลดปริมาตรลง (หดตัว) ไปอีก แล้ว หมายความว่าที่ความชื้นต่ำกว่าค่าพิกิตหดตัว (Shrinkage Limit) ปริมาตรของดิน (หรืออัตราส่วนช่องว่าง) จะไม่ลดลงอีกถึงแม้ความชื้นจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.14

### - Specific Gravity of Soil

ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (ใช้สัญลักษณ์เป็นตัว G.S. หรือ G) คือ ค่าโดยประมาณของเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดดินเท่านั้น (Solid) ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือ ค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ ดังนั้นความถ่วงจำเพาะก็มีค่าเท่ากับ

$$G_s = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุ}}{\text{น้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°C}} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$G_s = \frac{w_s / V}{w_w / V} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

$$G_s = \frac{W_s G_T}{(W_s + W_2 - W_1)} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

เมื่อ

$W_s$  = น้ำหนักดินอบแห้ง

$W_2$  = น้ำหนักขวดมีน้ำเต็มที่อุณหภูมิทดลอง

$W_1$  = น้ำหนักขวดมีน้ำผสมดินที่อุณหภูมิทดลอง

$G_s$  = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิทดลอง

### - Size Analysis (Mechanical Method)

สำหรับดินเม็ดทรายหยาบ (Coarse Grained Soil) เช่น ทราย และกรวด ความคละกันของขนาดของเม็ดดินจะมีผลบางอย่างมากต่อคุณสมบัติของดิน การพิจารณาและจำแนกความคละของดินเม็ดหยาบสามารถทำได้ด้วยตาเปล่า แต่เพื่อข้อมูลทางด้านวิศวกรรม จะใช้การแยกด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ แล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แต่ละขนาด (ตะแกรงร่อน)

การทดสอบทำโดยการร่อนดินแห้ง ๆ ดินที่เหมาะสมที่จะร่อนวิธีนี้ ต้องเป็นดินที่มีเม็ดใหญ่และสะอาด (มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่น้อย หรือไม่มีเลย ดินที่นำมาร่อนความจะแห้ง แต่ไม่จำเป็นต้องอบแห้งถ้าแน่ใจว่าดินแห้งพอที่จะแยกดินออกจากกันเป็นอิสระ และระหว่างการทดลองน้ำหนักดินจะไม่เปลี่ยนแปลง มีผลให้ค่าการทดลองผิดไป

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงที่ใช้ในห้องทดลองมีขนาด 3/8" เบอร์ 4, 10, 20, 40, 100, 200 สำหรับตะแกรงที่มีขนาดเล็กกว่า 1/4 นิ้ว (6.3 มม.) จะเรียกเป็นเบอร์มีขนาดจากเบอร์ 4 ถึงเบอร์ 400 ในทางปฏิบัติตะแกรงเบอร์ 200 เป็นตะแกรงขนาดเล็กที่สุดสำหรับร่อนดิน สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 ควรทำการวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์

จาก Curve การกระจายของเม็ดดิน ขนาดของเม็ดดินที่เส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ กัน เช่น  $D_{60}$ ,  $D_{10}$ ,  $D_{85}$  สามารถที่จะหาได้จาก Curve ตัว D หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน (Apparent Diameter) ตัวเลขที่กำกับหมายถึงเปอร์เซ็นต์ที่น้อยกว่า เช่น  $D_{10}$  จาก Curve B หมายความว่า 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินตัวอย่างมีขนาดเล็กกว่า 0.15 mm. และขนาดที่  $D_{10}$  นี้เรียกว่า Effective Size ของดิน ตัวเลขที่จะขึ้นบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทราบถึงการกระจายขนาดของเม็ดดินเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $D_{60} / D_{10}$  ถ้าหากค่าที่หาออกมาได้มีค่ามากก็แสดงว่าดินมีการกระจายขนาดดี แต่ก็ไม่ทราบว่าจะขนาดไล่เรียงของเม็ดดินจะมีการทิ้งช่วง (Gap Grade) บ้างหรือเปล่า

ค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Concavity)  $C_c$  เป็นค่าที่ใช้วัดลักษณะของ Curve ช่วงระหว่าง  $D_{60}$  และ  $D_{10}$  มีค่าเท่ากับ

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \cdot D_{60})} \dots\dots\dots(2.11)$$

ถ้าหากค่า  $C_c$  แตกต่างจาก 1.0 มาก ๆ แสดงว่าขนาดไล่เรียงของเม็ดดินขาดช่วงใดช่วงหนึ่ง (Gap Grade) ระหว่าง  $D_{60}$  กับ  $D_{10}$

#### - Size Analysis – Hydrometer method

สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน (ตะแกรงเบอร์ 200) มีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะใช้ตะแกรงร่อนโดยทั่วไป (ตะแกรงมีขนาดเล็กสุดขนาดเบอร์ 400) จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ โดยอาศัยกฎการตกตะกอนของสโตรค (Stoke's Law)

ไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้เป็นไฮโดรมิเตอร์ชนิดพิเศษสำหรับงานทดสอบดินโดยเฉพาะมีขนาดกะเปาะใหญ่กว่า และมีขนาดความยาวก้านสเกลกว่าไฮโดรมิเตอร์คือ ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลน (Specific Gravity of Suspension) ไฮโดรมิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ควรเป็นชนิดที่มีสเกลอ่านค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.995 - 1.030 ไฮโดรมิเตอร์ชนิดของมาตรฐานสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) เบอร์ 151H อ่านค่าความถ่วงจำเพาะน้ำโคลน

#### ทฤษฎีการตกตะกอนของสโตรค

อัตราความเร็วการตกตะกอนของเม็ดดินกลม ในวัสดุเหลวหาได้จากสมการ,

$$v = \frac{D^2(\rho_s - \rho_w)}{18\mu} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{หรือ } D = \sqrt{\frac{18\mu}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{Z_r}{t}} \dots\dots\dots(2.13)$$

เปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer) สามารถคำนวณได้จากสูตร :-

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{V}{W_s} \rho_{wc} (r - r_w) \times 100 \quad \% \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{หรือ } N = \frac{G_s}{G_s - 1} \rho_{wc} (r - r_w) \times 100 \quad \% \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

$$N = K1 (R - R_w) \quad \% \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

$$K1 = \frac{\rho_{wc} \times G_s \times 100}{(G_s - 1) W_s} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

$$R = 1000(r - 1) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$R_w = 1000(r_w - 1) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$r, r_w$  = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนและในน้ำตามลำดับ

$p_{we}$  = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์ กรัม/ซม<sup>3</sup>

$W_s$  = น้ำหนักดินแห้ง กรัม

ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่าน (N) นี้เป็นเพียงค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านเฉพาะการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์เท่านั้น ซึ่งที่ขนาดเม็ดดินใหญ่สุดจะได้ค่า  $N = 100 \%$  ในกรณีที่นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ (วิเคราะห์แบบรวม) จะต้องหาเปอร์เซ็นต์ผ่านต่อส่วนของตัวอย่างดินทั้งหมดเป็น

$$N' = N \times F \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

เมื่อ

$F$  = สัดส่วนผ่านเบอร์ 200 ของตัวอย่างดินทั้งหมด

เมื่อนำค่า  $N'$  ,  $D$  ไปเขียนจุดรวมกับผลการวิเคราะห์แบบตะแกรงร่อนจะได้โค้งที่ต่อกันประมาณบริเวณตะแกรงเบอร์ 200 แผนภูมิการวิเคราะห์แบบรวม

- Classification of Soils

สำนักงานวิศวกรรมทั่วไปงานดินถมและงานฐานรากของอาคารทั่วไปใช้ระบบ UNIFIED ในที่นี้จึงขอกกล่าวแต่ระบบ UNIFIED โดยมีหลักใหญ่ๆ คือ การพิจารณาการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน และพลาสติกซิตีของมวลดินเป็นเกณฑ์ ดังนั้นจึงใช้การหาขนาดเม็ดดินด้วย SIEVE ANALYSIS สำหรับดินเม็ดหยาบ หรือ HYDROMETER ANALYSIS สำหรับดินเม็ดละเอียด และการหาค่า ATTERBERG'S LIMIT เท่านั้น

ระบบ UNIFIED นี้จะใช้สัญลักษณ์เป็นภาษาอังกฤษแทนชื่อกลุ่มของดิน แต่ละกลุ่มจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวนอกจะเป็นกลุ่มหลัก และตัวที่สองจะเป็นกลุ่มย่อยลงไป ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวจะมีความหมายในตัวของมันเองดังแสดงในตารางที่ 2.7

หลักการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ UNIFIED จะจัดแบ่งตามลักษณะขนาดของเม็ดดินตามลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน และตามคุณสมบัติสภาพเหนียวของดิน หรือค่า ATTERBERG'S LIMITS (L.L, P.I.) ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.15 และตารางที่ 2.8

ดินพวกเม็ดละเอียดสามารถจำแนกประเภทได้ จากค่า L.L. และ P.I. โดยอาศัยแผนภูมิความเหนียวในรูปภาพที่ 2.16

- Coefficient of Permeability

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of Permeability) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราการไหลผ่านของของเหลว (ในทางปฏิบัติ คือ น้ำ) ต่อมวลดิน ในการทดสอบและการนำทฤษฎีมาใช้จำเป็นจะต้องยอมรับสภาพและสมมติฐานบางประการ ซึ่งอาศัยกฎการไหลของดาร์ซี (Darcy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1856 ดาร์ซี (Darcy) ได้ค้นพบหลักการไหลของน้ำผ่านทราย และได้ให้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$v \propto i$$

หรือ  $v = k \cdot i$  .....(2.21)

เมื่อ  $v = \frac{Q}{A \cdot t}$  .....(2.22)

หรือ  $k = \frac{Q}{A \cdot t \cdot i}$  .....(2.23)

k = สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ซม/วินาที

$v =$  อัตราความเร็วน้ำไหลผ่านดิน  $= \frac{Q}{A \cdot t}$  ซม/วินาที

i = ความชันชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)

$$= \frac{\Delta h}{L}$$

Q = ปริมาณน้ำที่ไหล ซม<sup>3</sup>

A = พื้นที่หน้าตัด ซม<sup>2</sup>

t = เวลาที่วัดน้ำ วินาที

ผลกระทบจากอุณหภูมิ

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติการไหลของน้ำ ดังนั้นในการทดสอบทุกครั้งจึงต้องวัดอุณหภูมิของน้ำด้วย ผลการทดสอบควรเปรียบเทียบเป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองที่อุณหภูมิใด ๆ สามารถแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ 20 องศาเซลเซียสได้

$$k_{20} = k_T (\mu_T / \mu_{20}) \dots\dots\dots(2.24)$$

เมื่อ  $\mu_{20}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ 20 องศาเซลเซียส

$\mu_T$  = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ T องศาเซลเซียส

$\mu_T / \mu_{20}$  = อัตราส่วนความหนืด (Viscosity) ของน้ำที่อุณหภูมิการทดสอบ T ต่อที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส (จากแผนภูมิในรูปที่ 2.17)

#### - Consolidation Test

ในการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบอัดตัวคายน้ำ (เรียก Consolidation Machine, Consolidometer, หรือ Oedometer) จะบรรจุตัวอย่างดินไว้ในวงแหวนตัวอย่าง (Sample Ring) น้ำหนักจะกดเฉพาะในแนวตั้ง ผ่านแผ่นหินพรุนบน (Top Porous Stone) ซึ่งระบายน้ำได้ มีหรือไม่มีแผ่นหินพรุนอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านหนึ่ง (ด้านล่าง – Bottom Porous Stone) และสมมติว่าตัวอย่างดินจะไม่ขยายตัวด้านข้างจะทรุดตัวในเฉพาะแนวตั้งเป็นการทรุดตัวแกนตั้งเพียงแกนเดียว (One Dimensional Consolidation) ซึ่งเป็นสมมติฐานใกล้เคียงกับสภาพจริงในธรรมชาติ มีมิติด้านข้างไม่จำกัด และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในแนวนอนน้อยมาก และเพื่อให้เข้าใจง่าย มักจะอธิบายทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำด้วยหุ่นจำลองสปริงและลูกสูบ (Spring and Piston Analogy) ของ Taylor (1948) ในรูปที่ 2.18

ในหุ่นจำลองนี้สปริงเปรียบเสมือนเม็ดดิน น้ำคือน้ำในช่องว่างโพรงระหว่างเม็ดดิน มีวาล์วสำหรับระบายน้ำเปรียบเสมือนแผ่นหินปูนระบายน้ำหรือเสมือนค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน  $k$  เมื่อกดน้ำหนัก  $200\text{ N}$  ลงบนฝากระบอกสูบ เมื่อยังไม่เปิดวาล์วน้ำจะรับน้ำหนักทั้งหมด (Pore Water Pressure = น้ำหนักกด /  $A$ ) ในทันทีที่เริ่มเปิดวาล์ว ( $t = 0$ ) น้ำที่ถูกบีบตัวจะเริ่มระบายออกทางวาล์วอย่างช้าๆ (วาล์วมีรูเล็กเหมือนดินเหนียวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน  $k$  ต่ำ) ลูกสูบจะค่อยๆจมลง (ระยะ  $S$ ) เรื่อยๆในขณะที่สปริง(แทนเม็ดดิน) จะเริ่มรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และความดันน้ำจะลดลงตามลำดับ (ระดับความสูงลำน้ำที่พุ่งขึ้นจะลดต่ำลง = ความดันน้ำที่ลดลง) ในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูวาล์ว (เปรียบเสมือนค่า  $k$  ของดิน) และความแข็งของสปริง ในที่สุดสปริงจะรับน้ำหนักทั้งหมด  $200\text{ N}$  (ความดันดินรับ =  $200\text{ N}/A$ ) ความดันน้ำจะเป็นศูนย์ การเคลื่อนตัวของลูกสูบจะหยุด และอยู่ในสภาวะที่สมดุล (ที่น้ำหนักกดทับ =  $200\text{ N}$ ) ถ้าเพิ่มน้ำหนักกดทับอีก  $1$  เท่าตัวเป็น  $400\text{ N}$  ลูกสูบก็จะลดลงอีกระดับหนึ่ง และมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการกดน้ำหนัก  $200\text{ N}$  ที่ผ่านมา ลักษณะที่อธิบายมานี้จะคล้ายกับลักษณะการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดิน การทรุดตัวมีค่า =  $S$  และหน่วยแรงประสิทธิผลที่ดินรับ (ในแบบจำลองสปริงรับ) หลักอธิบายทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของหุ่นจำลองนี้คือ

$$\sigma' = \sigma - U \dots\dots\dots(2.25)$$

$\sigma'$  = หน่วยแรงประสิทธิผลที่สปริงรับ (ในความเป็นจริงเม็ดดินรับ)

$\sigma$  = หน่วยแรงกดทับรวม (เช่น  $200\text{ N}/A$ )

$U$  = ความดันน้ำ (Pore Water Pressure)

เมื่อ  $t = 0 \rightarrow U = 200 \frac{N}{A}$

$t = t_1 \rightarrow U = 200 \frac{N}{A}$

$t = \alpha \rightarrow U = 0$

ดังนั้น หน่วยแรงประสิทธิผลที่น้ำหนักกดทับ  $200\text{ N}$  ในแต่ละช่วงเวลาจะเป็นดังนี้

$$t = 0 (U = \sigma) \rightarrow \sigma' = \sigma - U = \sigma - \sigma = 0$$

$$t = \alpha (U = 0) \rightarrow \sigma' = \sigma - U = \sigma = 200 \frac{N}{A}$$

$$t = t_{50} \% \rightarrow \sigma' = 200 \frac{N}{A} - \frac{50}{100} \times 200 \frac{N}{A} = 100 \frac{N}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงประสิทธิผลในการกดน้ำหนักทดสอบการทรุดตัวแต่ละชั้นจะมีค่าเท่ากับน้ำหนัก/พื้นที่หน้าตัด เมื่อการทรุดตัวหยุดแล้วเท่านั้น ( $U = 0$ ,  $\sigma' = \sigma - 0 = \sigma$ )

ในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (เช่นเดียวกับการทรุดตัวจริง) ดินจะทรุดตัว 3 ระดับ คือ

- 1) การอัดตัวขั้นแรก (Initial Consolidation) - เกิดขึ้นในทันที ในสภาวะยืดหยุ่น (Elastic) มีค่าน้อยค่าความชื้นไม่เปลี่ยนแปลง
- 2) การอัดตัวหลัก (Primary Consolidation) - มีค่ามากที่สุด เป็นค่าการทรุดตัวหลักเนื่องจากร้ำถูกบีบตัวออกตามทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำ ของเทอร์ซากิ (Terzaghi) มีปริมาณมากและใช้เวลานาน มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความชื้นและปริมาตรลดลง
- 3) การอัดตัวรอง (Secondary Consolidation) - การคืบ (Creep) ของดินเกิดขึ้นหลังจากการอัดตัวหลักเสร็จสมบูรณ์แล้วมีค่าน้อย

ในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ จะได้คุณสมบัติการทรุดตัวของดินที่สำคัญ 2 ตัว คือ

1. ระยะเวลาและอัตราการอัดตัวของดิน (Consolidation Rate) – ค่าคงตัวสัมประสิทธิ์การอัดตัว,  $c_v$
2. ปริมาณการทรุดตัวของดินทั้งหมด (Total Settlement) – ค่าคงตัวดัชนีการอัดตัว,  $c_c$   
ระยะเวลาและอัตราการอัดตัวของดิน (Consolidation Rate)  
จากการทดสอบการอัดตัวจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว (Coefficient of Consolidation,  $c_v$ )

จากสมการ,

$$C_v = \frac{T_v H_d^2}{t} \dots\dots\dots(2.26)$$

เมื่อ:  $T_v$  = องค์ประกอบเวลา (Time Factor) (ไม่มีหน่วย) ได้จากการแก้สมการอัดตัวคายน้ำ,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots(2.27)$$

ซึ่ง Terzaghi (1934) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $T_v$  และ  $U$ ,

$U$  = เปอร์เซ็นต์การคายตัวของน้ำ (Percentage Pore Water Pressure Dissipation)

$$= \frac{u_t}{u_o} \times 100 \quad \%$$

$$= \text{ความดันน้ำในขณะนั้น} / \text{ความดันน้ำเริ่มแรก} \times 100 \quad \%$$

$$= \frac{S_t}{S} \times 100 \quad \%$$

$$= \text{ค่าทรุดตัวในขณะนั้น} / \text{ค่าทรุดตัวทั้งหมด} \times 100 \quad \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่นิยมใช้คำนวณ  $C_v$  ในห้องทดลองมี 2 ค่า คือ:

1)  $U_{50\%} \rightarrow T_{v50} = 0.1970$  หา  $t_{50}$  จาก Log t Method (Casagrande,1936)

$$C_v = \frac{0.197H_d^2}{t_{50}} \dots\dots\dots(2.28)$$

2)  $U_{90\%} \rightarrow T_{v90} = 0.8480$  หา  $t_{90}$  จาก  $\sqrt{t}$  Method (Taylor , 1942)

$$C_v = \frac{0.848H_d^2}{t_{90}} \dots\dots\dots(2.29)$$

เมื่อ  $H_d$  = ระยะทางระบายน้ำยาวสุด (Longest Draingae Path)

ปริมาณการทรุดตัวของดิน (Total Settlement)

ค่าที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวของดิน คือ

1. สัมประสิทธิ์การทรุดตัว (Coefficient of Compressibility),  $a_v$
2. สัมประสิทธิ์การอัดตัวของปริมาตร (Coefficient of Volume Compressibility) ,  $m_v$
3. ดัชนีการอัดตัว (Compression Index) ,  $C_c$

ในทางปฏิบัติค่าที่นำไปใช้มากที่สุดคือค่าดรรชนีการอัดตัว (Compression Index),  $C_c$  = ลาด (Slope) ของกราฟอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e) -Log P' ในช่วงที่เป็นเส้นตรง (ดิน NCC)

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} p_2 - \text{Log} p_1} = \frac{\Delta e}{\text{Log} \frac{p_2}{p_1}} \quad (\text{ไม่คิดเครื่องหมาย}) \dots\dots\dots(2.30)$$

ค่า  $C_c$  จะใช้เฉพาะในช่วงที่ดินอัดตัวตามปกติ (Normally Consolidation, NCC) - ช่วงอัดตัวบริสุทธิ์ (Virgin Compression) ที่กราฟเป็นเส้นตรง ในการหาค่า  $C_c$  จากกราฟ Semi-log นี้ จะเห็นได้ว่า

กลุ่มค่า  $\text{Log} \frac{p_2}{p_1}$  ถ้าค่าสัดส่วน  $\frac{p_2}{p_1} = 10$

ค่า  $\text{Log} \frac{p_2}{p_1} = \text{Log}10 = 1.0$

ค่าสัดส่วน  $\text{Log} \frac{p_2}{p_1} = 1.0$  ในช่วง 1 Cycle ของ Log Scale

ดังนั้นในการหาความลาดของกราฟ e - Log p' ถ้าใช้ช่วงกราฟ Log มีค่า 1 Cycle ค่าแตกต่างของอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ,  $e_1 - e_2$  จะเป็นค่า  $C_c$  (เมื่อ  $\text{Log} \frac{p_2}{p_1} = 1.0$ ) และไม่มีหน่วย

ส่วนค่า  $a_v$  และ  $m_v$  มีการใช้น้อยกว่า สามารถหาได้จากค่าจำกัดความ

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p'} \quad (\text{ในกราฟสเกล ธรรมดา}) \quad \text{ซม}^2/\text{กรัม} \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_o} \quad n = \text{Porosity (ความพรุน)} = \frac{e}{1+e} \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

$$= \frac{\Delta e}{\Delta p'(1+e_o)} \dots\dots\dots(2.33)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) คำนวณจากการอัดตัว

$$k = C_v m_v \gamma_w \dots\dots\dots(2.34)$$

ผลของการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ จะนำมาพล็อตกราฟค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e) ในแกนตั้งต่อค่า Log p' (ประสิทธิผลตลอดเวลา) ในแกนนอน (หรืออาจพล็อตค่า % Compression ( $\frac{\Delta H}{H_o} \times 100$ )) ในแกนตั้งต่อค่า Log p' (ในแกนนอน) เรียกรูปแสดงการอัดตัวคายน้ำได้ (Compressibility Curve) จากกราฟผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำได้ จะสามารถศึกษาพฤติกรรมทางด้านการทรุดตัวของดิน ได้คือ

1. หาค่าความดันอัดตัวสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) ,หรือความดันดินเคยอัดตัวมาก่อน (Preconsolidation Pressure,  $\sigma'_{vm} , p'_o$ ) ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่เคยกดทับเนื้อตัวอย่างสูงสุดในอดีต อาจจะเกิดจากชั้นดินที่เคยกดทับอยู่แล้วถูกชะล้างออกไปภายหลัง หรือจากน้ำหนักกดทับของฐานรากพฤติกรรมนี้จะแสดงออกในผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดิน
2. หาค่าอัตราส่วนอัดตัวเกิน (Overconsolidation Ratio, OCR) จากความลึกของตัวอย่างดิน และค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight) และข้อมูลระดับน้ำใต้ดินเนื้อตัวอย่างดิน สามารถคำนวณความดันประสิทธิผลกดทับเนื้อตัวอย่าง (Effective Overburden Pressure)  $\sigma'_{vo} , p'_o$  ได้ ( $\sigma'_{vo} , p'_o = \sum \gamma d.h_1 + \gamma'_{12}.h_2 + \dots\dots\dots$ ) และจากผลการหาค่า  $\sigma'_{vm} , p'_o$  จากข้อ 1) สามารถจะทราบได้ว่าตัวอย่างดินมีประวัติการถูกกดทับมาอย่างไรในอดีต

- ถ้าค่า  $p'_o < p'_c$

ตัวอย่างดินเป็นดินอัดตัวตามปกติ (Normally Consolidated, NCC)

- ถ้าค่า  $p'_o > p'_c$

ตัวอย่างดินเป็นดินเคยอัดตัวมาก่อน (Over Consolidated , OCC)

สาเหตุของการเกิดการอัดตัวเกิน (Over Consolidation) อาจเกิดจากการขุดดิน ออกทำการกดน้ำหนักบรรทุกก่อน (Preload) ในการออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากการชะล้างของผิวดิน และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน (ลดลง) เป็นต้น

$$\text{และค่าอัตราส่วนอัดตัวเกิน (Over Consolidation Ratio ,OCR) = } \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{vo}} = \frac{p'_c}{p'_o}$$

ความแตกต่างระหว่างดินอัดตัวตามปกติ (Normally Consolidated) กับดินเคยอัดตัวมาก่อน(Over Consolidated) เมื่อถูกน้ำหนักกดทับดินอัดตัวตามปกติ (Normally Consolidated) จะทรุดตัวมากกว่าดินที่อัตราส่วนอัดตัวเกิน (Over Consolidated)

3. ส่วนของกราฟในช่วงที่ค่า  $P'$  น้อยกว่า  $\sigma'_{vm}$  ดินเคยถูกกดมาแล้วในธรรมชาติก่อนการเก็บตัวอย่างจากใต้ดินขึ้นมาทดลองทำให้น้ำหนักกดทับเหนือตัวอย่างจะถูกลดลงการทรุดตัวในช่วงนี้เป็นการกดซ้ำ จึงเรียกการอัดซ้ำ (Recompression) ซึ่งดินจะอยู่ในสถานะอัดตัวเกิน (Over Consolidated) ค่าความลาด (Slope) ของกราฟอัดตัวได้จะเรียกดัชนีการอัดตัวซ้ำ (Recompression Index) ,  $C_r$  ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีการอัดตัว (Compression Index) ,  $C_c$  เพราะดินอยู่ในสถานะอัดตัวเกิน (Over Consolidated)
4. ส่วนของกราฟในช่วงที่ค่า  $P'$  มากกว่า  $\sigma'_{vm}$  ดินยังไม่เคยถูกกดทับมาก่อน การทรุดตัวในช่วงนี้จะเรียกการอัดตัวบริสุทธิ์ (Virgin Compression) ที่มีค่าการทรุดตัวมากกว่า (Normally Consolidated) ค่าความลาด (Slope) ของกราฟจะเป็นดัชนีการอัดตัว (Compression Index) ,  $C_c$  ส่วนของกราฟในช่วงนี้จะประมาณเป็นเส้นตรง ค่า  $C_c$  นี้จะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณปริมาณการทรุดตัวของชั้นดิน เนื่องจากดินในธรรมชาติจะถูกดินชั้นบน กดทับมีค่าหน่วยแรงอยู่ใกล้  $\sigma'_{vo}$  หรือ  $\sigma'_{vm}$  เมื่อถูกน้ำหนักฐานรากกดทับเพิ่ม ( $\Delta P$ ) ก็จะเริ่มทรุดตัวตามแนวเส้นการอัดตัวบริสุทธิ์ (Virgin Compression) ลงไป ดูรูปที่ 2.19
5. ถ้าลดน้ำหนักกดทับ ปล่อยให้ดินบวมตัว (Swell) ดินจะบวมตัวเล็กน้อยตามแนวกราฟบวมตัว (Swelling) และถ้าจะนำผลการทดสอบไปใช้จะหาค่าดัชนีบวมตัว (Swelling Index)  $C_s$  ดูรูปที่ 2.19
- คุณสมบัติการทรุดตัวของชั้นดินโดยประมาณ

เพื่อเป็นการตรวจยืนยันผลการทดสอบ อาจมีการประมาณคุณสมบัติการทรุดตัวได้ โดยผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลที่เคยทดสอบจำนวนมาก นำมาประมวลได้ เช่น ค่า  $C_c$  ในเทอมของ  $e_o$ ,  $w_L$ ,  $w_n$  ดังแสดง

$$C_c = 0.009 (w_L - 10) \quad \text{เป็นดิน N.C.} \quad \text{อ้างอิงจาก Skempton (1944)}$$

$$C_c = 1.15 (e_o - 0.35) \quad \text{เป็นดิน All Clay} \quad \text{อ้างอิงจาก Nishida (1956)}$$

$$C_c = 0.1882 + 0.097e_o \quad \text{เป็นดิน Soft Bangkok Clay} \quad \text{อ้างอิงจาก Sivandru (1979)}$$

$$C_c = 1.95W_n^2 + 0.67W_n - 0.014 \quad \text{เป็นดิน Bangkok Clay} \quad \text{อ้างอิงจาก ดร.ชัย และคณะ(1967)}$$

#### คุณสมบัติทางด้านกำลังของดิน

##### - Unconfined Compression Testing

สำหรับดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) สามารถทดสอบหากำลัง (Strength) ได้ด้วยการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) เนื่องจากตัวอย่างดินเป็นดินเม็ดละเอียดมีความเชื่อมแน่น สามารถตัดแต่งให้เป็นรูปทรงสำหรับการทดสอบได้ การทดสอบสามารถกระทำได้ง่าย ใช้เครื่องกดแบบมอเตอร์ไฟฟ้า ผลการทดสอบได้ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) เนื่องจากทำการกดอัดตัวอย่างอัตราเร็ว และตัวอย่างดินที่บดน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน,  $k$  ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงไม่มีความขึ้นลดลงในขณะกดอัดเฉือนตัวอย่างซึ่งสามารถใช้ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำคำนวณงานปฏิวิวิศวกรรมที่วิบัติในสถานะแบบไม่ระบายน้ำ เช่น การพิบัติของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวเสถียรภาพของคันดินถล่ม (Slope Stability) เป็นต้น ขีดจำกัดของการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด ก็คือ ไม่สามารถทดสอบกับตัวอย่างดินร่วน เช่น ดินตะกอน (Silt) หรือดินที่มีทรายผสม (sandy Clay) ที่ไม่สามารถตั้งตัวอย่างได้ อีกทั้งการทดสอบตัวอย่างดินที่มีตะกอนปน (Silty Clay) จะได้ค่าแรงเฉือนต่ำ อย่างไรก็ตามการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด ถือว่าเป็นการทดสอบที่กระทำได้ง่าย และประหยัด เหมาะสำหรับการทดสอบหาค่ากำลังของดินเหนียว (Clay) ทั่วไป

#### ขนาดของตัวอย่างดิน

การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด ใช้ตัวอย่างทรงกลม (Cylindrical Specimen) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 1.4 นิ้ว (35 มม) หรือ ขนาด 2 นิ้ว (50 มม) เป็นต้น มีขนาดความยาว (H) เป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $H/D = 2.0$ ) เป็นขนาดมาตรฐานที่ใช้ปฏิบัติกันทั่วไปสามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบกันได้ และถือว่าเป็นขนาดที่พอเหมาะ ไม่ยาวและไม่สั้นเกินไปจนมีผลกระทบต่อค่าแรงเฉือนของดินที่ทดสอบ

#### อัตราการเร็วการกระทำแรงเฉือน

การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด เป็นการทดสอบแบบเร็ว (Quick Test) ที่ไม่ปล่อยให้มีการระบายน้ำ (Drain) ออกจากตัวอย่าง หรือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มขึ้น การทดสอบจึงต้องใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนอย่างรวดเร็ว การทดสอบแบบควบคุมความเครียด (Strain Control) ที่นิยมทำการทดสอบว่าการทดสอบแบบควบคุมความเค้น (Stress Control) ใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนประมาณ 0.5-2% ความยาวตัวอย่าง ต่อนาที โดยทั่วไปจะใช้อัตรา 1% หรือ 2% ต่อนาที ในการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวทั่วไป สำหรับตัวอย่างดินทั่วไปจะใช้เวลาการทดสอบ 5-10 นาที ตัวอย่างดินจะวิบัติ (Fail)

#### สถานะการวิบัติของตัวอย่างดิน

โดยปกติจะถือว่าตัวอย่างดินนั้นวิบัติแล้ว เมื่อตัวอย่างดินนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักกดได้เพิ่มขึ้น ความเค้น (Stress) ที่กระทำในแนวแกน (Axial) คือ แรงอัดในแนวแกน (Compressive Strength) ซึ่งการคำนวณค่าความเค้นนี้จะต้องปรับแก้ขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน ตามความจริงที่ว่าเมื่อตัวอย่างดินถูกกดจะสั้นลง และเมื่อเป็นการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำตัวอย่างดินที่อิม ตัวอย่างน้ำจะมีปริมาตรเท่าเดิม ดังนั้นตัวอย่างดินจะปองออกด้านข้างทำให้มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นลักษณะการวิบัติของตัวอย่างดินที่ 3 ชนิด คือ :-

- 1) วิบัติแบบพลาสติก (Plastic Failure) ตัวอย่างดินจะปองออกด้านข้างคล้ายถังไม้โดยที่ไม่มีรอยแตกแยก (ดูรูปที่ 2.20ก)
- 2) วิบัติแบบเปราะ (Brittle Failure) ตัวอย่างดินจะมีรอยระนาบเฉือนที่เห็นได้ชัดเจนอน (ในทางทฤษฎีจะเป็นแนว 45 องศา กับแนวระนาบ ประมาณตำแหน่งกลางตัวอย่าง) (ดูรูปที่ 2.20ข)
- 3) วิบัติทั้งแบบ 1) และ 2) รวมกัน (ดูรูปที่ 2.20ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าตัวอย่างดินจะบีบอัดได้หลายแบบ แต่การปรับแก้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินจะคิดโดยเฉลี่ย โดยสมมติว่าปริมาตรของตัวอย่างดินจะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะไม่มีการระบายน้ำและตัวอย่างดินอิมมิตัวด้วยน้ำ ดังความสัมพันธ์นี้ :-

$$A_c = \frac{A_o}{1 - \epsilon} \dots\dots\dots(2.35)$$

เมื่อ :-  $A_c$  = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างปรับแก้แล้ว

$A_o$  = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างก่อนทดสอบ  $\epsilon$  = ความเครียดในแนวแกน (Axial Strain) แรงเฉือนของดิน

จากผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด จะได้ค่ากำลังแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength,  $q_u$ ) จากผลการทดสอบสามารถนำไปเขียนวงกลมมอร์ (Mohr Circle) เพื่อหาค่าแรงเฉือนได้โดยง่าย จากผลการทดสอบแบบไม่ถูกจำกัด วิธีการทดสอบค่า  $\sigma_3 = 0$  เขียนวงกลม และจากทฤษฎี-การเขียนวงกลมมอร์ ค่ามุม  $\alpha = 45^\circ + \phi/2$  ในกรณีของการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำตัวอย่างดินเหนียวที่อิมมิตัวด้วยน้ำให้ค่า  $\phi = 0^\circ$  ดังนั้น  $\alpha = 45^\circ$

ในการเขียนวงกลมมอร์ ทำมุม  $2\alpha (= 90^\circ)$  ที่จุดศูนย์กลางวงกลมกับแนวนอนที่เกิดขึ้นจากมุม  $2\alpha$  จากแนวนอน ( $\sigma$ ) ในสเกล  $\tau$  ก็คือค่าแรงเฉือนที่ระนาบทำมุม  $45^\circ$  กับแนวนอนซึ่งก็คือ ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) จะมีค่าเท่ากับรัศมี ( $r$ ) ของวงกลมมอร์ หรือ,

$$S_u = q_u/2$$

- Direct Shear Test

เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการหาลำดับต้านทานต่อแรงเฉือนของดินโดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า Shear Box วิธีทดลองทำโดยการบรรจุดินตัวอย่างลงไประหว่าง Porous Plate ที่มีใบมีดโผล่เป็นระยะซึ่งช่วยในการกระจายน้ำหนักลงสู่ดิน ให้น้ำหนักกด  $P_n$  ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดการทดลองหนึ่ง ๆ กระทำตั้งฉากกับระนาบของการเฉือน แล้วค่อย ๆ เพิ่มแรงเฉือนซึ่งวัดค่าโดยใช้ Proving Ring จนกระทั่งดินถูกเฉือนขาดออกจากกัน จะได้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน เมื่อทำการทดลองซ้ำอีก 2 - 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนค่าน้ำหนักกด  $P_n$  แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างหน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงกดก็สามารถหาค่าแรงยึดเหนี่ยว และมุมเสียดทานภายในของดินได้

ถ้าวัดระยะเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวตั้งในระหว่างการทดลอง จะคำนวณหาหน่วยการเคลื่อนที่ (Strain) ได้ และนำไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการเคลื่อนที่ (Stress-Strain Relationship)

ความเหมาะสมของการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง

ในปัจจุบัน การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงยังนิยมปฏิบัติทั่วไป โดยเฉพาะการทดสอบตัวอย่างทราย ที่ไม่สามารถทำการเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพได้ สามารถนำตัวอย่างทรายมาเตรียมในกล่องทดสอบ

(Shear Box) ให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการ แล้วจึงทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง สำหรับตัวอย่างดินเหนียว สามารถทำการทดสอบตัวอย่างดินคงสภาพ อีกทั้งทำการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงในดินเหนียวมีข้อดีพิเศษที่สามารถทดสอบหาค่า กำลังคงค้าง (Residual Strength) ของดินได้โดยง่าย

$$\sigma_n = \frac{\text{น้ำหนักกด (กก)}}{\text{พ.ท.หน้าตัดกล่องตัวอย่าง(ซม<sup>2</sup>)}} \quad \text{กก/ซม}^2 \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

$$\tau = \frac{\text{แรงต้านตัวอย่างดิน (กก)}}{\text{พ.ท.หน้าตัดกล่องตัวอย่าง(ซม<sup>2</sup>)}} \quad \text{กก/ซม}^2 \quad \dots\dots\dots(2.37)$$

- Triaxial Test

การทดสอบประเภทนี้ทำได้ในทรายและดินเหนียว โดยจะต้องวางตัวอย่างที่หุ้มด้วยถุงยางโดยรอบลงในกระบอกทดสอบ จากนั้นจึงให้แรงดันโดยรอบ  $\sigma_3$  ด้วยของเหลวที่อยู่ในกระบอก โดยอาจเป็นน้ำหรือกรีเซอริน จากนั้นเพิ่มความเค้นในแนวตั้ง  $\Delta\sigma$  ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการพิบัติ ในการทดสอบ Triaxial นั้น อาจยอมให้น้ำไหลออก หรือหยุดการไหลออกของน้ำจากตัวอย่างได้ตามเงื่อนไขการทดสอบ ในการทดสอบดินเหนียวโดยใช้ Triaxial สามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 2.21)

- 1) Consolidated – Drained Test (CD Test)
- 2) Consolidated – Undrained Test (CU Test)
- 3) Unconsolidated – Undrained Test (UU Test)

1. CD – Test

$$\begin{aligned} \text{Major Principal Effective Stress} &= \sigma_3 + \Delta\sigma_1 = \sigma = \sigma'_1 \\ \text{Minor Principal Effective Stress} &= \sigma_3 = \sigma'_3 \end{aligned}$$

ในการทดสอบจะเปลี่ยนแปลงค่า  $\sigma_3$  สำหรับการทดสอบแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำมาพล็อต Mohr

- Coulomb Failure Envelope หา C และ  $\phi$  ได้ (สำหรับ NC Clay  $C \cong 0$ )

$$\sigma' = \sigma'_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) + 2C \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2})$$

2. CU - Test

$$\begin{aligned} \text{Major Principal Total Stress} &= \sigma_3 + \Delta\sigma_1 = \sigma_1 \\ \text{Minor Principal Total Stress} &= \sigma_3 \\ \text{Major Principal Effective Stress} &= (\sigma_3 + \Delta\sigma_1) - u_1 = \sigma'_1 \end{aligned}$$

$$\text{Minor Principal Effective Stress} = \sigma_3 - U_1 = \sigma_3'$$

ในการทดลองจะเปลี่ยนค่า  $\sigma_3$  เช่นเดียวกับ CD แล้วนำมาพล็อตจะสามารถหา Total Stress

Failure Envelop ได้จาก

$$S = C_{cu} + \sigma \tan \phi_{cu}$$

เมื่อ  $C_{cu}$  และ  $\phi_{cu}$  คือค่า Consolidated Undrained Cohesion และมุมเสียดทานภายในโดย  $C_{cu} \approx$

0 สำหรับ NC Clay

### 3. UU - Test

$$\text{Major Principal Total Stress} = \sigma_3 + \Delta\sigma_1 = \sigma_1$$

$$\text{Minor Principal Total Stress} = \sigma_3$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \Delta\sigma_f \text{ คงที่}$$

เส้นสัมผัสกับวงกลม Mohr จะเป็นเส้นตรง  $\phi = 0$  Condition

$$S = C_u = \frac{\Delta\sigma_f}{2}$$

เมื่อ  $C_u =$  Undrained Condition

แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในตัวอย่างระหว่างการทำ UU - Test

$$U = U_a + U_d$$

โดย  $U_a$  คือ ค่าแรงดันน้ำในกระบอกทดสอบภายในแรงดัน  $\sigma_3$

$$U_a = B\sigma_3$$

เมื่อ  $B =$  Skempton 's Pore Pressure Parameter ทำนองเดียวกัน  $U_d$  คือ ค่าแรงดันน้ำภายใต้

การกระทำของแรงกด  $\Delta\sigma$

$$U_d = A\Delta\sigma$$

เมื่อ  $A =$  Skempton 's Pore Pressure Parameter

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$$

$$\therefore U = U_a + U_d = B\sigma_3 + A(\sigma_1 - \sigma_3)$$

ค่า  $B$  สำหรับดินอ่อนที่อิ่มตัวมีค่าเท่ากับ 1

$$U = \sigma_3 + A(\sigma_1 - \sigma_3)$$

## 2.4 หลักเกณฑ์การออกแบบเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์

วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องทราบความหนาแน่นของดิน และ Shear Strength Parameters ( $\gamma$  และ  $c$ ,  $\phi$ ) ซึ่งมีการวิเคราะห์โดยใช้ทั้ง Total (Undrained) และ Effective Parameters แต่จะใช้ Effective Parameters มากกว่าเพราะควบคุมทั้งความแข็งแรงของดินและการทรุดตัว ซึ่งสูตรที่ใช้ในการออกแบบมีด้วยกันหลายวิธีด้วยกันแต่จะแตกต่างกันเพียงการใช้ค่าสัมประสิทธิ์และพิกัดความปลอดภัยที่ต่างกัน

เมื่อมีน้ำหนักกดต่อเสาเข็ม ( $Q_u$ ) จะมีแรงต้านทานส่วนปลาย ( $Q_b$ ) และแรงเสียดทานด้านข้างรอบเสาเข็ม ( $Q_s$ ) พอจะกล่าวได้ว่า

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

เมื่อ

- $Q_u$  = Ultimate Pile Capacity
- $Q_b$  = Ultimate Base (Point) Resistance
- $Q_s$  = Ultimate Skin Friction (Shaft Resistance)

### การหาแรงต้านทานส่วนปลาย (Base Resistance, $Q_b$ )

สภาพการพังทลายหรือวิบัติด้านแรงเฉือนของเสาเข็มหรือฐานรากแบบลึกจะคล้ายคลึงกับของฐานรากแบบตื้น จะมีส่วนที่แตกต่างก็คือขนาดและขอบเขตของระนาบการพังทลาย (Failure Surface) ซึ่งได้มีผู้พยายามทำนายหรือสมมติขึ้นมาเพื่อประเมินหาแรงต้านทานส่วนปลาย แม้ว่าสมมติฐานบางส่วนจะแตกต่างกัน แต่ก็ให้ผลออกมาเป็นสมการซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกันนั่นคือ (LAMBE, 1979)

$$Q_b = A_b \cdot q_{ult} \quad \dots\dots\dots(2.39)$$

$$Q_b = A_b \left[ cN_c + \sigma_v N_q + 0.5\gamma BN_\gamma \right] \quad \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\text{Net } Q_b = A_b \left[ cN_c + \sigma_v (N_q - 1) + 0.5\gamma BN_\gamma \right] \quad \dots\dots\dots(2.41)$$

Net  $Q_b$  = net ultimate base capacity

$A_b$  = พื้นที่หน้าตัดส่วนปลายของเสาเข็ม

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Bearing Capacity Factor สำหรับ Cohesion, Surcharge และดินของฐานรากแบบลึกหรือเสาเข็ม

$\sigma_v$  = Effective Vertical Stress at Pile Tip

$\gamma$  = ความหนาแน่นของดิน

$B$  = ขนาดของเสาเข็ม (เส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้าง)

- เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย

สำหรับทรายนั้นสามารถกล่าวได้ว่า  $c = c' = 0$  และ  $\phi \approx \phi'$

$$\text{ดังนั้น net } Q_b = A_b \left[ cN_c + \bar{\sigma}_v(N_q - 1) + 0.5\gamma BN_\gamma \right] \dots\dots\dots(2.42)$$

ค่าของ  $N_\gamma$  จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับของ  $N_q$  และ Soil Parameters ต้องใช้ในรูปแบบของ Effective เพราะเป็น Long-term ultimate load capacity (drained condition) ดังนั้น

$$\text{net } Q_b = A_b \left[ \bar{\sigma}_v(N_q - 1) \right] \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\text{หรือ net } Q_b = A_b \bar{\sigma}_v N_q \dots\dots\dots(2.44)$$

$N_q$  ตามลักษณะของระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นมาจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้สรุปและแสดงไว้ในรูปที่ 2.24 สำหรับเสาเข็มตอก และรูปที่ 2.25 สำหรับเสาเข็มเจาะ หาค่าของ  $N_q$

- เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

สำหรับดินเหนียวนั้นถือได้ว่า  $\phi \approx 0$  ซึ่งจะให้ค่า  $N_q \approx 1$  และ  $N_\gamma \approx 0$  หรือมีค่าน้อยกว่ามาก ดังนั้นจากสมการข้างต้น จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$\text{net } Q_b = A_b \cdot c \cdot N_c \dots\dots\dots(2.45)$$

ได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้พยายามประเมินค่าของ  $N_c$  สำหรับ  $\phi = 0$

- SKEMPTON (1951)  $6.14 \leq N_c \leq 9$  length to width ratio (D/B)  $\geq 4$
- SKEMPTON (1959)  $N_c = 9$  ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London Clay
- SOWERS et al (1961)  $5 < N_c < 8$  จากการทดสอบแบบจำลอง
- MOHAN & JAIN (1961)  $5.7 < N_c < 8.2$  สำหรับ Expansive Clays
- LADANTI (1963)  $7.4 < N_c < 9.3$  สำหรับ Insensitive Clays
- BISHOP et al (1945)  $N_c = 1 + \frac{4}{3} \left[ 1 + \ln \frac{E}{3c_u} \right]$  สำหรับเสาเข็มกลม
- TOMLINSON (1986)  $N_c = 9$  length to width ratio in bearing stratum  $\geq 5$
- BOWLES (1986)  $N_c = 5.74$

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนิยมใช้ค่า  $N_c$  เท่ากับ 9 สำหรับตอกในดินเหนียว ซึ่งการคำนวณการหาแรงเสียดทานด้านข้าง (Skin Friction,  $Q_s$ )

แรงเสียดทานจะเกิดขึ้นโดยรอบผิวของเสาเข็มและดินเหนียวจะให้แรงต้านทานได้ดีกว่าทรายเป็นส่วนใหญ่ การตอกเสาเข็มจะมีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งจะเป็นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ เพราะรบกวนต่อโครงสร้างของดินโดยตรง จากความรู้พื้นฐานของกลศาสตร์ดินนั้นพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Shear Strength of Soil } s = c + \sigma \tan \phi$$

$$\text{ดังนั้น Pile - Soil Shear Strength (unit skin friction) } f_s = c_a + \sigma_h \tan \delta \quad \dots\dots\dots(2.46)$$

$$c = \text{Soil Cohesion} \approx c_u$$

$$c_a = \text{Soil Adhesion} = \alpha C$$

$$\alpha = \text{Adhesion Factor}$$

$$\sigma = \text{Normal Stress}$$

$$\sigma_h = \text{Horizontal Stress ของดินกระทำที่ผิวเสาเข็ม}$$

$$\phi = \text{Angle of Internal Friction}$$

$$\delta = \text{Angle of Friction ระหว่างเสาเข็มกับดินหรือ Angle of Wall Friction}$$

#### - แรงเสียดทานของเสาเข็มในทราย

สำหรับทรายแม้ว่าจะอาจจะมี Cohesion เพียงเล็กน้อยแต่ในทางปฏิบัติก็ถือว่าเป็น Frictionless Soil และน้ำสามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว การวิบัติหรือพังทลายของดินจึงอยู่ในลักษณะของ Drained Condition และคุณสมบัติของดินต้องใช้ในการหาค่าของ Effective Stress เพราะ Effective Stress ควบคุมทั้งความแข็งแรงและการหดตัวของดิน ดังนั้น

$$\begin{aligned} f_s &= \sigma_h \tan \delta \\ &= K_\delta \bar{\sigma}_v \tan \delta \quad \dots\dots\dots(2.47) \end{aligned}$$

$$K_\delta = \text{Coefficient of Lateral Pressure}$$

$$\bar{\sigma}_v = \text{Average Effective Vertical Stress} = \sum \gamma z$$

$$Q_s = \sum_0^L A_s \cdot f_s = \int_0^L A_s \cdot f_s$$

$$p = \text{เส้นรอบรูปของเสาเข็ม (สี่เหลี่ยมจัตุรัส} = 4B, \text{ วงกลม} = \pi D)$$

$$L = \text{ความยาวของเสาเข็มในส่วนที่พิจารณาแรงเสียดทาน}$$

$$\text{ค่าของมุม } \delta \text{ นั้นหาได้ จากสมการ } \delta = 0.75 \phi$$

#### - แรงเสียดทานของเสาเข็มในดินเหนียว

สำหรับดินเหนียวนั้นมีอัตราการซึมของน้ำค่อนข้างช้ามาก การวิบัติหรือพังทลายของดินส่วนใหญ่จึงเกิดในลักษณะของ Undrained Conditions เพราะจะมีความดันของน้ำสะสมมากขึ้นอันเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มอย่างต่อเนื่อง มุม  $\phi$  ของดินเหนียวมีค่าน้อยมากและในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ประมาณให้เท่ากับ ศูนย์ได้ ( $\phi = 0$  Analysis) ดังนั้นแรงเสียดทานของเสาเข็มในดินเหนียวจึงประเมินได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f_s \cdot A_s && \dots\dots\dots(2.48) \\
 &= C_a \cdot P \cdot L \\
 Q_s &= \alpha \cdot c \cdot P \cdot L \\
 f_s &= \text{Unit Skin Friction (Pile-Shear Strength)} \\
 A_s &= \text{พื้นที่โดยรอบผิวของเสาเข็ม} = PL \\
 C &= \text{Cohesion} = \text{Average Undisturbed Shear Strength} \\
 &= C_u \text{ Undrained Shear Strength} \\
 \alpha &= \text{Adhesion Factor (ดูรูปที่ 2.22 สำหรับ เสาเข็มตอก)} \\
 &\quad \text{(ดูรูปที่ 2.26 สำหรับ เสาเข็มเจาะ)}
 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ดินเหนียวในชั้นต่างๆ มีการกระจายของค่า Undrained Shear Strength ตามความลึกให้ใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับดินเหนียวแต่ละชั้น ส่วนน้ำหนักปลอดภัยที่เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักนั้นหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักปลอดภัยที่รับได้ } Q_a &= \frac{\text{net}Q_b}{F} + \frac{Q_s}{F} \\
 F &= \text{ส่วนลดหรือสัดส่วนสำหรับความปลอดภัย ปกติใช้ 1.5 ถึง 3.0 หรือเท่ากับ} \\
 &\quad 2.5 \text{ สำหรับ Static Formula} \\
 Q_a &= \frac{1}{2.5}(\text{net}Q_b + Q_s) && \dots\dots\dots(2.49)
 \end{aligned}$$

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนดำเนินการศึกษาประกอบด้วย การเตรียมการก่อนการเจาะสำรวจดิน การเจาะสำรวจดิน การทดสอบตัวอย่างดิน การสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การจัดทำรายงาน

##### การเตรียมการก่อนการเจาะสำรวจดิน

- ประกอบด้วยขั้นตอน
- หาข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ทฤษฎี ผลงานวิจัย มาตรฐาน ASTM
  - ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี ผลงานวิจัย และมาตรฐาน ASTM
  - จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมปรับแก้เครื่องมือ
  - ศึกษาถึงวิธีการใช้เครื่องมือ Triaxial Test และ Permeability
  - จัดหาผู้สนับสนุนทางการเงินสำหรับการเจาะสำรวจดิน
  - วางแผนการตัดตัวอย่างดิน รวมถึงการใช้ตัวอย่างดิน (ตารางที่ 3.1)

##### การเจาะสำรวจดิน

- ข. ประกอบด้วยขั้นตอน
- การทำการเจาะสำรวจดิน พร้อมการเก็บตัวอย่างดิน
  - การทดสอบ Vane Shear Test
  - การทดสอบ Standard Penetration Test
  - การทำหลุมเจาะวัดระดับน้ำใต้ดิน
  - บันทึกขั้นตอนด้วยวีดิทัศน์ และกล้องถ่ายรูป
  - การตัดตัวอย่างดินพร้อมการเก็บรักษาสภาพตัวอย่างดิน

##### การทดสอบตัวอย่างดิน

##### การสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

- ประกอบด้วยขั้นตอน
- จัดทำรูปตัดชั้นดิน ( Profile )
  - วิเคราะห์ผลทางการออกแบบเสาเข็ม
  - เปรียบเทียบผลการทดสอบทางด้านกำลัง
  - เปรียบเทียบผลการทดสอบทางด้านต่างๆ ได้แก่ การอัดตัว คายน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การจัดทำรายงาน

- ประกอบด้วยขั้นตอน
- การจัดทำวิทยานิพนธ์
  - เอกสารประกอบการทดลอง
  - ตารางบันทึกผลการทดลอง
  - ผลการทดลองที่ปฏิบัติ

### 3.2 การเจาะสำรวจดิน

ขั้นตอนต่างๆมีวิธีดำเนินการศึกษาดังนี้

การเจาะสำรวจดินกระทำโดยการใช้เครื่องเจาะ Wash Boring Types และใช้หัวเจาะกระทุ้ง (Chopping Bit) เพื่อเจาะหลุมและก้านเหล็กจะยกขึ้นลง การเจาะทำบริเวณที่มีชั้นดินอ่อน จะต้องใช้ปลอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. ตอกนำก้านเจาะลงไปด้วย เพื่อป้องกันผนังหลุมเจาะพังและเพื่อความสะดวกในการหมุนเวียนน้ำโคลนในการเจาะล้างหลุม (Wash Boring)

#### การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินจะเก็บทุกระยะความลึก 1.50 เมตร แต่ในการโครงการพิเศษนี้จะเก็บทุกระยะ 1.00 เมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการแน่นอน การเก็บตัวอย่างดินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามอุปกรณ์การเก็บดังนี้

1. การเก็บด้วยกระบอกบาง (Thinwall or Shelby Tube) ลักษณะของกระบอกบางเป็นกระบอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.1 ซม.ยาว 65 ซม.และหนาประมาณ 1.5 มม. กดลงในชั้นดิน Clay มีค่า Consistency อยู่ในช่วง Very Soft To Stiff ตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างดินได้แล้วต้องปิดหัวท้ายกระบอกด้วยเทียนไขเพื่อป้องกันความชื้นระเหยแล้วขนย้ายไปยังห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวัง และเก็บรักษาไว้ในที่ควบคุมความชื้น เพื่อทดสอบหาค่าแรงเฉือน (Shear Strength) และคุณสมบัติอื่นๆของดิน
2. การเก็บด้วยกระบอกผ่า (Split Spoon Sampler) ลักษณะของกระบอกผ่าเป็นกระบอกเหล็กซึ่งผ่าออกเป็น 2 ซีก นำมาประกบกันไว้โดยมีเกลียวครอบหัวและท้ายกระบอก เมื่อเก็บตัวอย่างดินแล้วสามารถจะเปิดแยกเพื่อดูตัวอย่างดินได้ กระบอกผ่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 5.0 และ 3.5 ตามลำดับและยาว 69 ซม. การเก็บตัวอย่างดินแข็งหรือทราย หลังจากทำความสะอาดก้นหลุมเจาะเรียบร้อยแล้วโดยบรรจุตัวอย่างดินที่เก็บได้ใส่ภาชนะผนึกให้

แน่นอนแล้วส่งกลับไปยังห้องปฏิบัติการ เพื่อจำแนกประเภทดินหาปริมาณน้ำ หาค่า Atterberg's Limits หาขนาดคละของเม็ดดินและความถ่วงจำเพาะ

#### การตรวจวัดระดับน้ำใต้ดิน (Water Table Observation)

ระดับน้ำใต้ดินจะมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ความต้านทานดิน เพราะระดับน้ำใต้ดินทำให้ค่าของน้ำหนักรวม (Overburden Pressure) ที่กดอยู่บนตัวอย่างดินที่ระดับต่างๆ แตกต่างกันดังนั้นการตรวจวัดค่าความสูงของระดับน้ำใต้ดิน ที่ความลึกของหลุมเจาะต่างๆกัน จึงจำเป็นต้องกระทำทุกหลุมเจาะ ใช้ Hand Auger เจาะดินลงไปลึกประมาณ 4 เมตร โดยนำท่อ PVC ขนาด 3" มาเจาะรูขนาดเล็กราวประมาณ 1/4" - 3 รูน ไปตามความยาวท่อ PVC ยาว 3 เมตร แล้วนำตะแกรงในลอนมาพันรอบ ๆ รูที่เจาะ เพื่อป้องกันดินอุดตันรูที่ให้น้ำใต้ดินไหลผ่าน แล้วนำเส้นลวดผูกยึดให้แน่น จากนั้นก็นำไปปักลงหลุมที่เจาะไว้ให้ท่อโผล่พ้นดินขึ้นมา 1 เมตร แล้วนำคอนกรีตที่ผสมแล้วมาปิดทับบนผิวดิน เพื่อป้องกันไม่ให้ท่อขยับเขยื้อนไปมา หลังจากนั้นนำท่ออุดมาปิดให้มิดชิด เมื่อจะวัดระดับน้ำใต้ดินเราจะใช้สายไฟแข็งชนิดสายคู่ยาวประมาณ 3 - 4 เมตร มาหักงอแยกให้ทองแดงชี้ลงกับชี้ขึ้นห่างกัน 5 - 10 cm. ตัดให้สายไฟเหยียดตรงแล้วค่อยๆ สอดลงไปในหลุม พร้อมกับนำโหม้มิเตอร์มาวัดความต้านทานที่ปลายสายไฟบน เมื่อเข็มกระดิก ก็จะแสดงว่าเกิดความต้านทานขึ้น ตรงจุดนี้ก็คือระดับน้ำใต้ดินนั่นเอง ความยาวสายไฟที่ได้ต้องไปหักความยาวท่อโผล่ 1 เมตร เสียก่อนด้วย

#### การทำ Field Vane Shear Test

การทดสอบนี้จะกระทำ โดยนำใบ Vane ซึ่งมีลักษณะเป็นใบเหล็กสี่แฉกซูปโครเมียม ขนาดของความกว้างต่อความยาวของใบเท่ากับ 1 : 2 กดลงในดินจากก้นหลุมเจาะลึกลงไปประมาณ 30 ซม. ใช้ Torque Wrench ติดที่ปลายก้านตอกบน หมุนให้ใบเหล็กตัดดินขาดเป็นรูปทรงกระบอกตามขนาดของใบเหล็ก อ่านค่าแรงบิดสูงสุดในขณะหมุนใบเหล็กและหลังจากทำให้ดินถูกรบกวนแล้ว ทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อหาค่าแรงเฉือนของดินหลังถูกรบกวนแล้ว ค่าแรงเฉือนของดินก่อนถูกรบกวนหารด้วยแรงเฉือนหลังการรบกวนจะได้ค่า Sensitivity ของดิน การทดสอบชนิดนี้ กระทำเฉพาะเมื่อเจาะสำรวจดินที่อยู่ในสถานะอ่อนตัวเท่านั้น

#### การทดสอบ Standard Penetration Test

การทดสอบทำได้โดยการตอกลงไปดินในหลุมเจาะด้วยลูกตุ้มเหล็กหนัก 63.5 กก. ระยะยกลูกตุ้ม 76.2 ซม. ลูกตุ้มเหล็กกระแทกบนแป้นก้านนำส่ง จดบันทึกการตอกทุกระยะจวมลง 15 ซม. เป็นจำนวน 3 ระยะ ค่าการตอกของ 2 ระยะหลังรวมกันเรียกว่าค่า Standard Penetration Number (N) (SPT) ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานดินเพื่อตรวจสอบกับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดสอบตัวอย่างดิน

การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การทดสอบหาคุณสมบัติดังผลสรุปต่อไปนี้

#### - Unit Weight

หน่วยน้ำหนักของดินเหนียว ทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างดิน ค่าหน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักหารด้วยปริมาตร

สำหรับดินทราย การจะหาปริมาตรทำได้ยากมาก จะทำได้เฉพาะดินที่ผิวบนเท่านั้น ตัวอย่างดินที่เก็บจากกระบอกผ่า (Split Spoon) จะถูกรบกวนจนไม่สามารถจะหาปริมาตรดั้งเดิมได้ ดังนั้นหน่วยน้ำหนักของดินทราย จึงคำนวณจากค่าของการตอกทดลองมาตรฐาน (SPT)

#### - Grain Size Analysis

การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน ทำได้โดยการชั่งดินจำนวนหนึ่งนำมาผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่างๆกัน เช่น ตะแกรงเบอร์ 4 , 10 , 20 , 40 , 100 และ 200 ซึ่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ต่างๆ หาเปอร์เซ็นต์การค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์ แล้วหาเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงแต่ละเบอร์ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดเม็ดดิน และเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงจะได้เส้นกราฟแสดงการกระจายของขนาดเม็ดดิน ส่วนดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะต้องใช้วิธีการอื่น เช่น การตกตะกอน โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดการตกตะกอน ทำโดยการผสมดินจำนวนหนึ่งกับน้ำกลั่น เขย่าให้ดินฟุ้งกระจาย ลอยตัวเป็นตะกอนอยู่ในน้ำ จากนั้นใช้ไฮโดรมิเตอร์ วัดความแน่นของตะกอน หาขนาดเม็ดของดินโดยอาศัยทฤษฎีของ Stoke ที่ว่าความเร็วในการตกตะกอนขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว และขนาดของเม็ดดิน

#### - Water Content

ปริมาณความชื้นของดิน หาได้โดยการชั่งตัวอย่างดินก่อน และหลังจากทำให้ดินแห้ง โดยใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิเฉพาะ คำนำน้ำหนักน้ำ คือ น้ำหนักดินก่อนอบ ลบด้วยน้ำหนักดินแห้ง ปริมาณความชื้นของดิน คือน้ำหนักน้ำหารด้วยน้ำหนักดินแห้งคูณด้วย 100

#### - Atterberg's Limits

Liquid Limit (L.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลว (Liquid State) ไปเป็นสารเหนียวตัวในสถานภาพพลาสติก (Plastic State) หาได้โดยการนำมวลดินซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ผสมกับน้ำแล้วใส่ในถ้วยทองเหลือง แต่งให้มีมีความหนาของเนื้อดินประมาณ 1 ซม. ที่ก้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยแล้วบาคดินให้มีร่องตรงกลาง เคาะด้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่ง ปากร่องดินเคลื่อนเข้าชนกันยาวประมาณ 1 ซม. บันทึกจำนวนการเคาะ และนำดินตรงที่เคลื่อนเข้าชนกันไป หาปริมาณความชื้น ทำเช่นนี้ประมาณ 3 ถึง 4 ครั้ง โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในมวลดิน ให้ได้จำนวน การเคาะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 40 ครั้ง เมื่อได้จำนวนการเคาะและปริมาณความชื้นครบ นำไปเขียนลงในกราฟ ควรจะได้จุดที่อยู่ในแนวเส้นตรง ลากเส้นผ่านจุดเหล่านี้ ค่าความชื้นที่จำนวนการเคาะ 25 ครั้ง คือ ค่า Liquid Limit (L.L.) Plastic Limit (P.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยน สถานภาพจาก พลาสติก ไปเป็นสถานภาพกึ่งของแข็ง (Semi-Solid-State) นำดินที่ได้จากการทำ Liquid Limit มาฝั่งให้แห้ง ลง แล้วคลึงให้เป็นแท่งยาวขนาดประมาณ 1 ซม. ก่อนแล้วค่อยๆคลึงให้เล็กลงจนผิวของแท่งดินเริ่มแตก หากแท่งดินขณะนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. ให้นำแท่งดินไปอบหาปริมาณความชื้นปริมาณ ความชื้นนี้ คือ Plastic Limit

- Specific Gravity

ความถ่วงจำเพาะของดิน คือ อัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดิน นำ ดินตัวอย่างแห้ง 50 กรัม ผสมน้ำกลั่นแล้วควนให้เข้ากันโดยเครื่องปั่น เทส่วนผสมน้ำดินลงในขวดหา ถ.พ. ขนาด 500 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร ใส่ฟองอากาศออกจากส่วนผสมโดยดูดด้วยปั้ม สูญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตรแล้วปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ทดลอง ถ้าระดับน้ำลดให้เติมจนถึงขีดปริมาตรอีก นำไปชั่งและวัดอุณหภูมิของผสมในขวด แล้วเทของผสม ลงในถาด นำไปอบให้แห้งเพื่อหาน้ำหนักดินที่แน่นอน

- Unconfined Compression Test

การทดสอบชนิดนี้ เป็นการทดสอบหาค่า Shear Strength โดยใช้ดินชนิดไม่ถูกบดกรน หรือ ตัว อย่างดินจากกระบอกผ่าที่มีสภาพดีพอจะทำได้ นำตัวอย่างดินมาตัดแต่งเป็นรูปทรงกระบอกให้ได้ เส้นผ่า ศูนย์กลาง 50 มม. และยาว 100 มม. แล้วนำตัวอย่างวางบนเครื่องทดสอบ ติดตั้งมาตรสำหรับวัดการหดตัวของตัวอย่าง การทดสอบกระทำโดยเพิ่มแรงกดตามแนวตั้ง (แนวแกนยาวของตัวอย่าง) โดยการควบคุม Strain ให้เกิดด้วยอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ของ Strain ต่อหนึ่งนาที ค่า Shear Strength จะพิจารณาจากแรงอัด ประลัยสูงสุด หากเกิดลักษณะ Plastic Failure คือ ไม่ปรากฏแรงอัดสูงสุด จะใช้แรงอัดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของ Strain เป็นค่าแรงอัดสูงสุด

- Direct Shear Test

ตัวอย่างดินที่ได้จากกระบอกบางและกระบอกผ่า ในบริเวณที่เกิดผลต่อการคำนวณการรับน้ำหนัก ของดิน จะนำมาทดสอบแบบ Direct Shear Test ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบต้องตัดแต่งให้ได้ตามขนาด

ของเบ้าทดสอบซึ่งมี 2 อันซ้อนกัน การทดสอบชนิดนี้ส่วนใหญ่ทำเฉพาะดินทราย อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบ Quick และ Consolidated Quick Test ของตัวอย่างดินเหนียวสามารถทำได้ เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าเสถียรภาพของเชิงลาด เตรียมตัวอย่างโดยการ ใช้ Trimmer กดลงบนก้อนตัวอย่างที่เป็นดินเหนียวซึ่งจะได้ขนาดตัวอย่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 มม. และหนา 20 มม. แต่งตัวอย่างให้เรียบ ทำความสะอาดแล้วซึ่งนำน้ำหนักพร้อม Trimmer คำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ดันตัวอย่างออกจาก Trimmer โดยใช้ Top Cap เป็นตัวช่วยให้ตัวอย่างเคลื่อนลงไป Shear Box โดยมีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด Shear Box ประกอบด้วย Sliding Part และ Stationary Base ยึดติดกันอยู่ด้วยสลัก เมื่อตัวอย่างเข้าที่แล้ว จัดให้ Loading Bar อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่น้ำหนัก (Normal Load) ตั้งมาตรวจวัดการเคลื่อนตัวทางตั้งและทางราบของ Sliding Part และตั้ง Horizontal Shear Device ให้พร้อม

เริ่มทดสอบโดยการกดน้ำหนัก (Normal Load) ที่ต้องการ ปล่อยให้เกิดทรุดตัวทางตั้งจนหยุดจะใช้เวลา 2 – 10 นาที เริ่มเพิ่มแรงเฉือนให้ตัวอย่างดินผ่านทาง Sliding Part ภายหลังการถอดสลักออก ด้วยอัตราการเคลื่อนที่ทางราบ 1.25 ถึง 2.50 มม. ต่อนาที อ่านค่าแรงเฉือนค่าเคลื่อนตัวทางตั้งทุกการเคลื่อนที่ทางราบ 0.25 มม. จนกระทั่งตัวอย่างดินไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ ทำเช่นเดียวกันอีกอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง โดยเพิ่มน้ำหนักกดต่างกัน คำนวณหา Normal Stress และ Shear Stress เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress และค่าการเคลื่อนที่ ทั้งทางตั้งและทางราบของทุกตัวอย่าง หาค่าสูงสุดของ Shear Stress จากกราฟเขียน Mohr's Diagram ระหว่าง Max. Shear Stress และ Normal Stress ของทุกตัวอย่าง จะได้ Mohr Coulomb Envelope จากนั้นจะได้ค่า  $C$  และ  $\phi$  หากตัวอย่างเป็นทราย เตรียมตัวอย่างโดยซึ่งน้ำหนักทรายประมาณ 300 กรัมโรยลงใน Shear Box เป็นชั้นๆ ต่ำหรือเขย่าให้ความแน่นมากขึ้นตามต้องการ ซึ่งน้ำหนักทรายเป็นส่วนที่เหลือจะทราบน้ำหนักทรายที่ใช้ทดสอบส่วนการทดสอบดำเนินการเช่นเดียวกับดินเหนียว

#### - Consolidation Test

ตัวอย่างดินที่ได้จากระบบอบบางจะนำมาทดสอบ Consolidation Test เพื่อหาค่า สัมประสิทธิ์การลดปริมาตร ( $m_v$ ) ดัชนีการอัดตัว ( $C_c$ ) และสัมประสิทธิ์ของการยุบตัว ( $C_r$ ) โดยใช้ขนาดของเบ้าตัวอย่าง 50 มม. ตัวอย่างดินทดสอบหนา 20 มม. ตัดแต่งตัวอย่างดินลงใน Consolidation Ring ซึ่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น และ Initial Void Ratio นำตัวอย่างดินติดตั้งใน Consolidometer ซึ่งจะมีหินปูนแผ่นบางๆ ประกบบนและล่างตัวอย่าง เพื่อให้ น้ำในตัวอย่างไหลออกได้สะดวก นำ Consolidometer เข้าติดตั้งใน Load Frame ติดมาตรสำหรับวัดการทรุดของตัวอย่าง แล้วหล่อ น้ำใน Consolidometer ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับดินตัวอย่าง เริ่มบรรทุกน้ำหนักตั้งแต่แรงดันที่น้อยกว่า Overburden Pressure ชุดน้ำหนักกดมีตั้งแต่ 0.25 , 0.50 , 1.00 , 2.00 , 4.00 , 8.00 , 16.00 , 32.00 และ 64.00 กก/ตร.ซม. แต่ละน้ำหนัก อ่านค่าการยุบตัวเมื่อเวลา  $\frac{1}{4}$  ,  $\frac{1}{2}$  , 1 , 2 , 4 , 8 , 15 , 30 , 60 , 120 , 240 , 480 นาที นับจากเริ่มต้น เขียนกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง Dial Reading และ  $\sqrt{t}$  ในระหว่างบันทึกข้อมูลเพื่อหาลักษณะการทรุดตัว และต้องปล่อยให้ 24 ชม. จึงจะเพิ่มน้ำหนักชุดต่อไป ปฏิบัติเช่นเดียวกันจนครบชุดน้ำหนักที่จะต้องใส่ คุณสมบัติของดินในการคืบตัวจากการลดน้ำหนัก ต้องทำวิธีเดียวกันโดยเอาตุ้มน้ำหนักออกแล้ว 4-6 ชม. ในน้ำหนักแต่ละชั้น. หลังเสร็จการทดลองต้องนำตัวอย่างดินไปหาปริมาณความชื้นด้วย

### 3.4 การสรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในแง่ของการจัดทำรูปตัดชั้นดินจะใช้การวิเคราะห์จากผลการทดสอบและสรุปแสดงผลโดยโปรแกรม Autocad 14 ในการทำรูปตัด 2 มิติและใช้โปรแกรม Surfer ในการทำรูปตัด 3 มิติ

ในแง่ของของการเปรียบเทียบผลจะใช้การเปรียบเทียบผลงานวิจัยบริเวณสนามบินหนองงูเห่าได้แก่ ผลงานวิจัยของ Hsiao, Chun -Hsien (1994) เรื่อง Prediction and Measurement of coefficient of consolidated on Bangkok Clay at Nong Ngu Hao ผลงานวิจัยของ Sapon Duangkhae (1971) เรื่อง One Dimensional Consolidated Characteristics of Soft Nong Ngu Hao



## บทที่ 4

### สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ลักษณะชั้นดินบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลักษณะชั้นดินในบริเวณหลุมเจาะสำรวจบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์จำนวน 1 หลุม โดยทำการเจาะสำรวจดินลงไปถึงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน สำรวจพบว่าชั้นดินด้านบนเป็น Weathered clay หนาประมาณ 3 เมตร ลักษณะชั้นดินสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

ชั้นดิน A: ดินชั้นนี้เริ่มจากใต้ชั้น Weathered clay ลงไป จนถึงความลึกประมาณ 18.45 เมตร จากผิวดิน ลักษณะชั้นดินนี้ประกอบไปด้วย Silty Clay แทรกปนบางระดับด้วย Very fine sand, Shell bits และ Decayed wood มีสีเปลี่ยนแปลงระหว่าง Dark Grey , Grey และ Brown โดยที่ค่า Consistency มีค่าอยู่ในช่วง Very Soft ถึง Soft ในช่วงความลึกประมาณ 15 เมตร จากผิวดิน และมีค่า Consistency อยู่ในช่วง Medium ถึง Stiff ในช่วงความลึก 15 เมตร ถึง 18.45 เมตร เมื่อวัดความลึกจากผิวดิน ชั้นดิน A นี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม MH-OH และ CH

ชั้นดิน B: ดินชั้นนี้เริ่มจากใต้ชั้นดิน A และทับถมลงไปจนถึงความลึกประมาณ 20.45 เมตร จากผิวดิน ลักษณะชั้นดินชั้นนี้ประกอบด้วย Silty Clay โดยจะมี Very fine sand แทรกปนในบางระดับ มีสีเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง Grey, Yellow และ Brown โดยที่ค่า Consistency มีค่าอยู่ในช่วง Very Stiff ชั้นดิน B นี้จำแนกอยู่ในกลุ่ม CH และ CL

ชั้นดิน C: ดินชั้นนี้เริ่มจากใต้ชั้นดิน B และทับถมลงไปจนถึง 30 เมตร จากผิวดินซึ่งเป็นความลึกสิ้นสุดการสำรวจ ลักษณะของชั้นดินประกอบไปด้วย Silty very fine sand แทรกปนในบางระดับด้วย Gravels มีสี Brown มีค่า Relative Density ได้ค่าอยู่ในช่วง Dense ถึง Very Dense ชั้นดิน C นี้จำแนกอยู่ในช่วง SM และ SP-SM

#### 4.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม

จากตารางที่ 4.1 แสดงตารางสรุปผลการทดสอบที่ได้จากทั้งในห้องปฏิบัติการและการทดสอบ ในสนามสามารถสรุปผลที่ได้เป็น 2 ส่วน คือ

##### 4.2.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของดินแต่ละชั้นดิน โดยหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

## 4.2.1.1 ปริมาณความชื้น (Natural water content, Wn)

ชั้นดิน	ปริมาณความชื้น (%)
Very Soft to Soft	89.16
Medium to Stiff	57.97
Very Stiff	24.97
Dense to Very Dense Sand	19.19

4.2.1.2 Total Unit Weight, ( $\gamma_t$ )

ชั้นดิน	Total Unit Weight (t/m <sup>2</sup> )
Very Soft to Soft	1.50
Medium to Stiff	1.70
Very Stiff	1.96
Dense to Very Dense Sand	1.99

## 4.2.1.3 Liquid Limit , ( L.L.)

ชั้นดิน	Liquid Limit (%)
Very Soft to Soft	88.82
Medium to Stiff	66.20
Very Stiff	-
Dense to Very Dense Sand	-

## 4.2.1.4 Plastic Limit , ( P.L.)

ชั้นดิน	Plastic Limit (%)
Very Soft to Soft	44.67
Medium to Stiff	26.90
Very Stiff	-
Dense to Very Dense Sand	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.5 Liquidity Index ,( L.I.)

ชั้นดิน	Liquidity Index
Very Soft to Soft	101.09
Medium to Stiff	114.03
Very Stiff	-
Dense to Very Dense Sand	-

## 4.2.1.6 Plasticity Index, (P.I.)

ชั้นดิน	Plasticity Index
Very Soft to Soft	44.15
Medium to Stiff	39.30
Very Stiff	-
Dense to Very Dense Sand	-

## 4.2.1.7 Unconfined Compressive Strength , (Su)

ชั้นดิน	Su (t/m <sup>2</sup> )
Very Soft to Soft	1.14
Medium to Stiff	3.91
Very Stiff	-
Dense to Very Dense Sand	-

## 4.2.2 ผลการทดสอบในสนาม

ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบในสนามของดินแต่ละชั้นดิน โดยหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

## 4.2.2.1 Standard Penetration Test (SPT)

ชั้นดิน	N (blow/ft)
Very Soft to Soft	-
Medium to Stiff	14
Very Stiff	21
Dense to Very Dense Sand	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2.2 Field Vane Shear Test (VST)

ชั้นดิน	Su(Uncorrected)	Su(Corrected)	Su(Remolded)
Very Soft to Soft	2.28	1.98	0.81
Medium to Stiff	-	-	-
Very Stiff	-	-	-
Dense to Very Dense Sand	-	-	-

## 4.3 การวิเคราะห์ลักษณะชั้นดิน

จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปแสดงลักษณะชั้นดินบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ และจากรูปที่ 4.6 แสดงลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการเจาะหลุมสำรวจลึกลงไป 30 เมตร จากผิวดิน และนำเสนอเป็นรูปแบบ Boring Log ดังแสดงดังรูปที่ 4.20

การวิเคราะห์ชั้นดิน พิจารณาแบ่งชั้นดินโดยใช้หลักเกณฑ์การแบ่งชนิดของชั้นดิน (Peck, Hanson and Thornburn, 1974) โดยแบ่งชนิดของดินเป็น 2 ประเภท คือ ดินที่ไม่มีความยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil) คือพวก ทราย (SANDS) รวมทั้งกรวด (Gravel) และดินตะกอน (Silt) ซึ่งใช้ค่า N จากการทดสอบ SPT ในการแบ่งสภาพ (State) ของดินเป็นส่วนใหญ่ และดินที่มีความยึดเหนี่ยว (Cohesive Soil) คือพวก ดินเหนียว (CLAYS) ใช้ค่า  $q_u$  จากการทดสอบ Unconfined Compressive Strength และค่า N จากการทดสอบ SPT ในการแบ่ง Consistency เป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับการพิจารณาการจำแนกประเภทของดิน (Classification of Soil) และสัญลักษณ์หมู่ของดิน (Group Symbol) โดยยึดเกณฑ์ของระบบ Unified ในการแบ่งชนิดของชั้นดิน

## 4.4 สรุปลักษณะชั้นดินในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลักษณะชั้นดินภายในสถาบันส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายคลึงกับลักษณะชั้นดินบริเวณหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.1 แต่จะมีความแตกต่างของความหนาในแต่ละชั้น ดังรูป 4.3 ,4.4 และ 4.5 ซึ่งแสดงลักษณะของรูปตัดชั้นดินภายในบริเวณสถาบัน โดยสามารถแบ่งการเรียงตัวของชั้นดินในสถาบันเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

ลักษณะที่ 1: ลักษณะการเรียงตัวของชั้นดิน มีการเรียงลำดับดังนี้ ชั้น Weathered clay, Very Soft to Soft clay, Medium to Stiff clay, Very Stiff clay, Sand ตามลำดับ ลักษณะการเรียงตัวของชั้นดินส่วนใหญ่จะมีลักษณะตามแบบลักษณะที่ 1 ได้แก่ บริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ , คณะวิทยาศาสตร์ , อาคาร 10 ชั้น บริเวณอาคารเรียนรวมตึกพระเทพฯ, บริเวณอาคารสารสนเทศ , อาคารหอพักอาจารย์ 12 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

, อาคารใหม่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ , โรงยิมเนเซียม และสนามฟุตบอล ดังแสดงในรูป 4.3 , 4.4 และ 4.5

ลักษณะที่ 2: ลักษณะการเรียงตัวของชั้นดินมีลักษณะเรียงลำดับของชั้นดินดังนี้ ชั้น Weathered clay, Very Soft to Soft clay, Medium to Stiff clay, Sand ตามลำดับ ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการเรียงตัวของดินในลักษณะที่ 1 คือดินในลักษณะที่ 2 นี้จะไม่มีชั้นดิน Very Stiff clay อยู่ระหว่างชั้น Medium to Stiff clay และชั้น Sand บริเวณที่มีลักษณะที่ 2 ได้แก่ อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังรูป 4.3 , 4.4 และ 4.5

#### 4.5 สรุปการวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินแต่ละชั้นดิน โดยหาค่าเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่เจาะสำรวจภายในสถาบัน สามารถสรุปดังตาราง 4.2 , 4.3 , 4.4 , 4.5 และมีลักษณะรูปตัดชั้นดินดังรูป 4.3 , 4.4 , 4.5

#### 4.6 การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของดิน

ดังรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยที่ กำลังรับแรงเฉือนของดินได้มาจากวิธีการทดสอบที่ต่างกััน เทียบกับความลึก วิธีที่ทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนได้แก่

- Unconfined Compression Test (UC Test)
- Unconsolidated Undrained Test (UU Test)
- Direct Shear Test
- Field Vane Shear Test ไม่ปรับค่า (Uncorrected)
- Field Vane Shear Test ปรับค่า (Corrected)

ลักษณะกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าการทดสอบโดยวิธี Field Vane Shear Test แบบไม่ปรับค่า (Uncorrected) จะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงที่สุด แต่เมื่อปรับค่า (Correction) กำลังรับแรงเฉือนจากกราฟของ Bjerrum(1972) ในรูปที่ 4.7 ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จะลดลงมาอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับกำลังรับแรงเฉือนที่ได้มาจากวิธีทดสอบ Unconfined Compression Test (UC Test) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากวิธี Unconfined Compression Test และวิธี Unconsolidated Undrained Test (UU Test) จากการทดสอบ Triaxial ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันที่วิธี Unconsolidated Undrained จะมีการเพิ่มความดันจำกัดด้านข้างของตัวอย่างดินทำให้ผลกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากวิธี Unconsolidated Undrained Test มีแนวโน้มที่จะให้กำลังที่มากกว่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิธี Unconfined Compression Test และเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบที่ได้วิธีทดสอบ Direct Shear จะให้กำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำที่สุด

จากกราฟรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาแนวโน้มรวมของทุกวิธีที่ทำการทดสอบจะเห็นได้ว่าแนวโน้มที่ได้จะมีลักษณะ ในดินชั้นบนจะให้กำลังรับแรงเฉือนที่สูงและลดลงตามความลึกในช่วงกลางของกราฟ และจะเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งในดินชั้นที่มีความลึกที่สูงกว่า 10 เมตร ซึ่งเมื่อเราพิจารณาประกอบกับกราฟแสดง Water Content กับความลึก ดังรูปที่ 4.6 จะให้ผลสอดคล้องกับการเพิ่มและลดกำลังรับแรงเฉือนข้างต้น คือในดินที่ค่า Water Content ต่ำจะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนมาก ในกรณีกลับกันบริเวณของดินที่ค่า Water Content มาก จะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำ

พิจารณาจากผลการทดสอบกราฟจะมีแนวโน้มที่มีความชันในดินน้อยในชั้นดินบน ซึ่งแสดงผลสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนที่มาก และเมื่อความชันในดินมากขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ก็แสดงผลสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนที่ลดลง และเมื่อช่วงความลึกที่มากกว่า 10 เมตร ความชันในดินจะมีค่าน้อยซึ่งก็จะสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นในชั้นดินที่มีความลึกดังกล่าว

จากรูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากวิธี Unconfined Compression Test ที่ได้จากหลุมเจาะสำรวจในบริเวณต่างๆ ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากกราฟแสดงแนวโน้มของกำลังรับแรงเฉือนตามความลึกซึ่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมากคือ จะมีกำลังรับแรงเฉือนในดินชั้นบนระดับความลึกประมาณ 0 - 3 เมตรซึ่งให้ค่าสูงกว่าดินชั้นที่อยู่ในช่วงประมาณ 3 เมตร ถึง 10 เมตร โดยที่ดินในช่วงนี้กำลังรับแรงเฉือนจะลดลง และเริ่มเพิ่มขึ้นสูงในช่วงความลึก 10 เมตรลงไป เมื่อนำข้อมูลกำลังรับแรงเฉือนตามความลึกที่ได้จากวิธี Unconfined Compression Test จากบริเวณต่างๆ ภายในสถาบัน มาหาค่ากำลังเฉลี่ยตามความลึก เพื่อใช้เป็นตัวแทนกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยของสถาบันโดยวิธีทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression Test จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 และนำกราฟที่ได้จากรูปที่ 4.9 มาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของดินในบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า (The Second Bangkok International Airport) ซึ่งหลุมเจาะสำรวจห่างจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประมาณ 7 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แนวโน้มที่ได้จากกราฟ แสดงกำลังรับแรงเฉือนกับความลึกเปรียบเทียบจากสองสถานที่ แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการรับแรงเฉือนของดินมีแนวโน้มและกำลังรับแรงเฉือนที่คล้ายคลึงกัน คือ ในชั้นดินบริเวณชั้นบนจะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงเช่นพิจารณาที่ระดับความลึก 0 - 2 เมตร จะมีค่าสูงมากกว่า 2 ตันต่อตารางเมตร หลังจากนั้นที่ระดับความลึกลงไปค่ากำลังรับแรงเฉือนทั้งสองสถานที่ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 2 ตันต่อตารางเมตร จนถึงที่ระดับความลึกประมาณ 8 เมตรลงไป ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดจนถึงสิ้นสุดการทดสอบ

และในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Field Vane Shear Test ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากวิธี Field Vane Shear Test ที่ได้จากหลุมเจาะสำรวจในบริเวณต่างๆ ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งให้

ผลแนวโน้มของกำลังรับแรงเฉือนของดินสอดคล้องกับวิธีทดสอบกำลังรับแรงเฉือน จากวิธี Unconfined Compression Test นำข้อมูลจากบริเวณต่างๆ ภายในสถาบัน มาหาค่ากำลังเฉื่อยตามความลึก โดยวิธี Field Vane Shear Test จะได้กราฟดังรูปที่ 4.12 นำผลที่ได้จากรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของดินในบริเวณสนามบินหนองงูเห่า ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบทั้งสองสถานที่ดังรูปที่ 4.13 ผลที่ได้คือแนวโน้มของกราฟกำลังรับแรงเฉือนตามความลึก ให้ผลที่สอดคล้องใกล้เคียงกัน จากการเปรียบเทียบข้างต้น แสดงว่า สภาพกำลังรับแรงเฉือนของดินภายในสถาบัน มีลักษณะคล้ายคลึงกับดินบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า

#### 4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

รูปที่ 4.14(A) แสดงผลจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) โดยวิธี Oedometer Test ของหลุมสำรวจข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ รูปที่ 4.14(A) แสดงอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) เทียบกับการเปลี่ยนแปลงความดันประสิทธิผลที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบ จากผลการทดสอบแสดงแนวโน้มอัตราการลดของอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (Water Content) ตามความลึกดังรูป 4.6 ที่กล่าวมาแล้ว คือ

อัตราการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ในช่วงความลึก 2.66 ถึง 2.72 เมตร มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างน้อยเมื่อเทียบกับที่ช่วงความลึก 4.73 ถึง 4.81 เมตรและช่วงความลึก 8.63 ถึง 8.71 เมตร ซึ่งที่ช่วงนี้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างที่มากกว่า และจะลดลงในช่วงความลึก 14.42 ถึง 14.52 เมตร ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น (Water Content) ที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก กล่าวคือถ้าดินมีปริมาณความชื้นมาก โอกาสที่ดินจะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างมากกว่าดินที่มีค่าปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำกว่า

ในช่วงความลึก 2 ถึง 4 เมตร ปริมาณความชื้นในมวลดินจะมีค่าน้อยและมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนความลึกมากกว่า 4 เมตร ค่าปริมาณความชื้นในมวลดินจะมาก ผลการทดสอบที่ได้จะสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างที่ช่วงความลึกทดสอบ 2.66 ถึง 2.72 เมตร จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความลึกทดสอบที่ 4.73 ถึง 4.81 และที่ 8.63 ถึง 8.71 เมตร ที่มีความชื้น (Water Content) สูง อัตราเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างสูงกว่าความลึกช่วงต้นของการทดสอบ และอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างจะลดลงในความลึกทดสอบที่ 14.41 ถึง 14.54 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับความชื้น (Water Content) ที่ลดต่ำลงในระดับความลึกที่ 14 เมตร

จากผลที่ได้ข้างต้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.14(B) ซึ่งเป็นกราฟแสดงอัตราส่วนช่องว่างเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความดันประสิทธิผล ของหลุมเจาะสำรวจในบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า จากรูปที่ 4.14 (B) แสดงผลออกมาสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.14(A) ซึ่งเป็นผลการทดสอบดินของหลุมเจาะสำรวจข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ จากการเปรียบเทียบนี้แสดงว่าอัตราการ

เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่าง (e) ของชั้นดินในความลึกที่ใกล้เคียงกันของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่าง (e) มีแนวโน้มคล้ายกับบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่า Coefficient of Consolidation ,  $C_v$  ที่ได้จากการทดสอบ Oedometer Test เทียบกับความดันประสิทธิผลที่กดทับ เมื่อนำผลการทดสอบที่ความลึกทดสอบที่ 4.73 ถึง 4.81 เมตร และความลึกทดสอบที่ 8.63 ถึง 8.71 เมตร นำมาเปรียบเทียบกับค่า  $C_v$  จากหลุมเจาะสำรวจดินโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่าที่ความดันใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงผลการทดสอบค่าของ  $C_v$  ที่ได้จากการทดสอบ Oedometer Test ในห้องปฏิบัติการให้ค่าที่สอดคล้องใกล้เคียงกัน แสดงแนวโน้มไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน จากการเปรียบเทียบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีลักษณะคุณสมบัติทางการอัดตัวคายน้ำ คล้ายคลึงกับบริเวณสถานที่ก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า

จากรูปที่ 4.18 แสดงถึงผลการทดสอบหาค่า Over Consolidation Ratio (OCR) ซึ่งเกิดจากค่า Maximum Past Pressure หาค่าด้วย Over Burden Pressure จากผลการทดสอบค่า Maximum Past Pressure มีค่ามากในดินช่วงประมาณ 3 เมตร และลดลงในช่วง 3 ถึง 5 เมตร จากนั้นค่า Maximum Past Pressure จะมีค่าสูงขึ้น และเมื่อทำการหา Over Burden Pressure ในช่วงขณะทดสอบ ที่ความลึกต่างๆที่ทดสอบ จะได้ค่า OCR ดังรูป ซึ่งที่ความลึกช่วงต้นจะมีค่า OCR สูง จากนั้นค่า OCR จะค่อนข้างสม่ำเสมอมีค่าประมาณ 1 กว่าๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ทำการทดสอบ (การวัดระดับน้ำ) ดินจะมีลักษณะการอัดตัวเกิน (Over Consolidated) (ค่า  $OCR > 1$ ) แต่ถ้าค่า OCR ที่ได้น้อยกว่า 1 ดินดังกล่าวจะมีลักษณะการอัดตัวแบบปกติ (Normally Consolidated) ซึ่งปัจจัยที่จะส่งผลให้ดินมีลักษณะใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับค่า Over Burden Pressure ของดิน ซึ่งก็เกิดจากการที่ระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินมีระดับลดลง จะทำให้ค่า Over Burden Pressure เพิ่มขึ้น OCR ที่ได้ลดลง จนอาจน้อยกว่า 1 ( $P'_o > P_c$ ) ดินก็จะมีลักษณะการอัดตัวแบบปกติ (Normally Consolidate) รวมถึงปัจจัยค่า Maximum Past Pressure ซึ่งก็เกิดจากการที่ดินเคยถูกน้ำหนักกดทับก่อนหรือไม่ ถ้าดินเคยมีประวัติถูกน้ำหนักกดทับ จะส่งผลให้ค่า Maximum Past Pressure มีค่ามาก ซึ่งจะทำให้ค่า  $OCR > 1$  ถึงแม้ว่า Overburden Pressure ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจะเปลี่ยนไป จะสังเกตได้จากผลการทดสอบในตัวอย่างดินชั้นความลึกประมาณ 3 เมตร โดยที่ค่า Maximum Past Pressure มีค่ามาก เนื่องจากโอกาสที่ดินจะถูกน้ำหนักกดทับจะมากกว่าดินชั้นลึกลงไป

จากรูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า Compression Index,  $C_c$  ที่หาได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรที่แตกต่างได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 4.19 จากสูตร  $C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} \frac{P_2}{P_1}}$  ที่คำนวณได้แสดงแนวโน้ม

จากค่าประมาณ  $C_c$  ที่คำนวณจากสูตรอื่นๆ จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าบางกราฟของการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผลการทดลองที่คลาดเคลื่อน เช่น ความลึกตัวอย่างทดสอบที่ความลึก 4.73 ถึง 4.81 เมตร และความลึกตัวอย่างที่ 8.63 ถึง 8.71 เมตร มีลักษณะของกราฟเป็นแนวโค้งคว่ำ ทำให้การที่จะหาค่า  $C_c$  ซึ่งเป็นความชัน ของกราฟกระทำได้ลำบาก และอาจจะได้ผลที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่ควรจะเป็นค่าตัวแทนของค่า  $C_c$  ที่ถูกต้อง จากสูตรการคำนวณค่าประมาณ  $C_c$  สามารถแบ่งเป็น 4 ลักษณะ

ลักษณะที่ 1 คือสูตรที่มีค่าคำนวณขึ้นอยู่กับค่า Liquid Limit คือสูตร  $0.009(LL-10)$  (Terzaghi,1995) และสูตร  $0.2343\left(\frac{LL}{100}\right)Gs$  (Nagaraj and Murty ,1988) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ลักษณะที่ 2 คือสูตรที่มีค่าของการคำนวณขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น ( $e_o$ ) คือสูตร  $1.15(e_o-0.35)$  (Nishida,1956) , สูตร  $0.1882 + 0.3097e_o$  (Sivandrau,1979) และ สูตร  $0.141Gs^{1.2}\left(\frac{1+e_o}{Gs}\right)^{2.38}$  แสดงแนวโน้ม  $C_c$  เทียบตามความลึกมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

ลักษณะที่ 3 คือสูตรที่มีค่าคำนวณขึ้นอยู่กับค่าความชื้น (Water Content) คือสูตร  $1.95W_n^2 + 0.67W_n + 0.014$  (ดร.ชัยและคณะ) ซึ่งเป็นที่ใช้กับดินในกรุงเทพมหานคร ซึ่งแสดงค่า  $C_c$  เทียบกับความลึก แตกต่างจากการคำนวณสูตรอื่นๆ แต่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟที่มีค่าคำนวณขึ้นอยู่กับค่า  $e_o$  อยู่บ้างคือมีค่าสูงในช่องกลางของแนวโน้ม

ลักษณะที่ 4 คือสูตรที่มีค่าคำนวณขึ้นอยู่กับค่า Plasticity Index, PI แสดงค่าแนวโน้มที่แตกต่างจากสูตรคำนวณอื่นๆ แต่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟที่มีค่าคำนวณขึ้นอยู่กับค่า Liquid Limit อยู่บ้างคือ มีลักษณะแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงลดลงตามความลึกของตัวอย่างทดสอบจากการเปรียบเทียบค่า  $C_c$  ที่ได้จากสูตรคำนวณที่แตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าที่แทนในสูตร สูตรที่มีการแทนตัวแปรตัวเดียวกันก็จะมีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน และในสูตรที่มีตัวแปรที่แตกต่างกัน ผลที่คำนวณได้ก็จะมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน

#### 4.8) การวิเคราะห์สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

จะใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาตามหัวข้อที่ 2.4 ซึ่งอาศัยสมการการวิเคราะห์ดังนี้

สำหรับ Skin Friction

- ถ้าอยู่ในดินเหนียว  $f_s = \alpha S_u$
- ถ้าอยู่ในดินทราย  $f_s = K_\delta \bar{\sigma}_v \tan \delta$   
 $= 0.7 \bar{\sigma}_v \tan(0.75\phi)$

สำหรับ End Bearing

- ถ้าเสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $f_b = 9 S_u$

- ถ้าเสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินทราย  $f_b = \bar{\sigma}_v N_q$

และพิจารณาประกอบกับกราฟในรูปที่ 2.22 – 2.25 ในการคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆในสูตร

การพิจารณาออกแบบ อาศัยลักษณะรูปตัดชั้นดินของหลุมเจาะบริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งทำการเจาะสำรวจดินและทำการทดสอบดิน เมื่อสรุปผล ปรากฏว่า จะได้ลักษณะของรูปตัดเป็นลักษณะดังรูป ซึ่งคุณสมบัติของชั้นดินแต่ละชั้นดังรูป

Top Soil	$\gamma_t = 1.5 \text{ t/m}^3$
Very Soft to Soft Clay	
$S_u = 1.521 \text{ t/m}^2$	
$\gamma_t = 1.499 \text{ t/m}^3$	
Medium to Stiff clay	$S_u = 4.278 \text{ t/m}^2$
	$\gamma_t = 1.704 \text{ t/m}^3$
Very Stiff Clay	$S_u = 14 \text{ t/m}^2$
	$\gamma_t = 1.963 \text{ t/m}^3$
Dense to Very Dense Sand	
$N = 37 \text{ blow/ft}$	
$\gamma_t = 1.978 \text{ t/m}^3$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) Design for Driven Pile

L = 14 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -13.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.209 m.	14	1.521	0.965	1.468	20.549
						20.549

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 1.521 = 13.689$  t/m<sup>2</sup>

L = 16 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -15.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.965	1.468	21.506
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -15.209	1.35	4.278	0.86	3.679	4.967
						26.473

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 4.278 = 38.502$  t/m<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = 20 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. ; Pile tip  $\nabla -19.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.965	1.468	21.506
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309	3.45	4.278	0.86	3.679	12.693
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.209 m.	1.9	14	0.45	6.3	11.97
						46.169

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 14 = 126 \text{ t/m}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = 22 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -21.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	N	N' รูปที่ 2.23	$\phi$ รูปที่ 2.24	$\sigma'_v$	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.965	-	-	-	-	1.468	21.506
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309 m.	3.45	4.278	0.86	-	-	-	-	3.679	12.693
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.309 m.	2	14	0.45	-	-	-	-	6.3	12.6
Dense to Very Dense Sand	-19.309 ถึง -21.209 m.	1.9	-	-	37	33.3	37.2	14.092	5.223	9.924
										<u>56.723</u>

$\nabla -20.259$  m.

$$\sigma'_v = 1.5 \times 0.35 + 0.65 \times 1.521 + 14 \times 0.521 + 3.45 \times 0.704 + 2 \times 0.963 + 1.9/2 \times 0.978 = 14.092 \text{ t/m}^2$$

For End Bearing

$N_q = 42$  จากกราฟ 2.24 เมื่อ  $N' = 33.3$

$$\begin{aligned} \text{เสาเข็มวางอยู่บนชั้นทราย } q_b &= \sigma'_v \times N_q \\ &= (14.092 + 1.9/2 \times 0.978) \times 42 \\ &= 630.886 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = 28 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -27.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	N	N' รูปที่ 2.23	$\phi$ รูปที่ 2.24	$\sigma'_v$	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.965	-	-	-	-	1.468	21.506
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309 m.	3.45	4.278	0.86	-	-	-	-	3.679	12.693
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.309 m.	2	14	0.45	-	-	-	-	6.3	12.6
Dense to Very Dense Sand	-19.309 ถึง -27.209 m.	7.9	-	-	37	30.34	36.1	17.026	6.092	48.129
										<u>94.928</u>

$$\sigma'_v = 17.026 \text{ t/m}^2 \quad C_N = 0.82$$

For End Bearing

$$N_q = 37.8 \text{ จากกราฟ 2.25} \quad \text{เมื่อ } N' = 30.34$$

$$\begin{aligned} \text{เสาเข็มวางอยู่บนชั้นทราย } q_b &= \sigma'_v \times N_q \\ &= 20.889 \times 37.8 \\ &= 789.608 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

จากการพิจารณาค่า Skin Friction และ End Bearing ของเสาเข็มที่พิกัดต่างๆดังแสดงรายละเอียดข้างต้น นำข้อมูลเหล่านี้ไปจัดทำกราฟแสดงค่า Skin Friction เทียบความลึก และค่า End Bearing เทียบความลึก สำหรับเสาเข็มตอก ในรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) Design for Bored Pile

L = 14 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -13.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.26	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.209 m.	14	1.521	0.85	1.293	18.099
						18.099

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 1.521 = 13.689$  t/m<sup>2</sup>

L = 16 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -15.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.85	1.293	18.942
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -15.209	1.35	4.278	0.62	2.652	3.581
						22.523

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 4.278 = 38.502$  t/m<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = 20 m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. ; Pile tip  $\nabla -19.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.85	1.293	18.942
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309	3.45	4.278	0.62	2.652	9.149
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.209 m.	1.9	14	0.38	5.32	10.108
						38.199

For End Bearing

เสาเข็มวางอยู่บนชั้นดินเหนียว  $q_b = 9 \times Su = 9 \times 14 = 126 \text{ t/m}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$L = 22$  m. Pile top  $\nabla +0.791$  m. , Pile tip  $\nabla -21.209$  m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	N	N' รูปที่ 2.23	$\phi$ รูปที่ 2.24	$\sigma'_v$	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.85	-	-	-	-	1.293	18.942
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309 m.	3.45	4.278	0.62	-	-	-	-	2.652	9.149
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.309 m.	2	14	0.38	-	-	-	-	5.32	10.64
Dense to Very Dense Sand	-19.309 ถึง -21.209 m.	1.9	-	-	37	33.3	37.2	14.092	5.223	9.924
										48.655

$\nabla -20.259$  m.

$$\sigma'_v = 14.092 \text{ t/m}^2$$

For End Bearing

$$N_q = 36.7 \text{ จากกราฟ 2.25} \quad \text{เมื่อ } N' = 33.3$$

$$\begin{aligned} \text{เสาเข็มวางอยู่บนชั้นทราย } q_b &= \sigma'_v \times N_q \\ &= 15.021 \times 36.7 \\ &= 551.271 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = 28 m. Pile top  $\nabla$  +0.791 m. , Pile tip  $\nabla$  -27.209 m.

For Skin Friction

Soil Type	Elevation	$\Delta L$ m.	Su t/m <sup>2</sup>	$\alpha$ รูปที่ 2.22	N	N' รูปที่ 2.23	$\phi$ รูปที่ 2.24	$\sigma'_v$	$f_s$ t/m <sup>2</sup>	$f_s \Delta L$ t/m
Very Soft to Soft Clay	+0.791 ถึง -13.859 m.	14.65	1.521	0.85	-	-	-	-	1.293	18.942
Medium to Stiff Clay	-13.859 ถึง -17.309 m.	3.45	4.278	0.62	-	-	-	-	2.652	9.149
Very Stiff	-17.309 ถึง -19.309 m.	2	14	0.38	-	-	-	-	5.32	10.64
Dense to Very Dense Sand	-19.309 ถึง -27.209 m.	7.9	-	-	37	30.34	36.4	17.026	6.151	48.596
										<u>87.327</u>

$$\sigma'_v = 17.026 \text{ t/m}^2 \quad C_N = 0.82$$

For End Bearing

$$N_q = 39.66 \text{ จากกราฟ 2.25} \quad \text{เมื่อ } N' = 30.34$$

$$\begin{aligned} \text{เสาเข็มวางอยู่บนชั้นทราย } q_b &= \sigma'_v \times N_q \\ &= 20.889 \times 39.66 \\ &= 828.458 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

จากการพิจารณาค่า Skin Friction และ End Bearing ของเสาเข็มที่ปักตัวต่างๆดังแสดงรายละเอียดข้างต้น นำข้อมูลเหล่านี้ไปจัดทำกราฟแสดงค่า Skin Friction เทียบความลึก และค่า End Bearing เทียบความลึก สำหรับเสาเข็มเจาะ ในรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการนำกราฟ Skin Friction และ End Bearing ไปใช้

ความยาวของเสาเข็ม = 28 เมตร ชนิดเสาเข็มตอก

อ่านค่าจากกราฟ Skin Friction และ End Bearing จะได้

$$\text{Skin Friction} = 94.928 \text{ t/m}$$

$$\text{End Bearing} = 789.608 \text{ t/m}^2 \text{ แต่การใช้งานจะอนุญาตให้ } = 500 \text{ t/m}^2$$

$$\text{ดังนั้น Ultimate Load} = 94.928(\text{Perimeter}) + 500 (\text{Area})$$

- ขนาดเสาเข็ม 0.30 เมตร

$$= 94.928 \times \pi \times 0.30 + 500 \times \pi / 4 \times 0.30^2$$

$$= 124.810 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 49.924 \text{ tons}$$

- ขนาดเสาเข็ม 0.40 เมตร

$$= 94.928 \times \pi \times 0.40 + 500 \times \pi / 4 \times 0.40^2$$

$$= 182.122 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 72.849 \text{ tons}$$

- ขนาดเสาเข็ม 0.50 เมตร

$$= 94.928 \times \pi \times 0.50 + 500 \times \pi / 4 \times 0.50^2$$

$$= 247.287 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 98.915 \text{ tons}$$

ความยาวของเสาเข็ม = 28 เมตร ชนิดเสาเข็มเจาะ (Wet Process)

อ่านค่าจากกราฟ Skin Friction และ End Bearing จะได้

$$\text{Skin Friction} = 87.327 \text{ t/m}$$

$$\text{End Bearing} = 828.458 \text{ t/m}^2$$

$$\text{ดังนั้น Ultimate Load} = 87.327(\text{Perimeter}) + 828.458 (\text{Area})$$

- ขนาดเสาเข็ม 0.80 เมตร

$$= 87.327 \times \pi \times 0.80 + 828.458 \times \pi / 4 \times 0.80^2$$

$$= 635.905 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 254.362 \text{ tons}$$

- ขนาดเสาเข็ม 1.00 เมตร

$$= 87.327 \times \pi \times 1.00 + 828.458 \times \pi / 4 \times 1.00^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 925.015 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 370.006 \text{ tons}$$

- ขนาดเสาเข็ม 1.20 เมตร

$$= 87.327 \times \pi \times 1.20 + 828.458 \times \pi / 4 \times 1.20^2$$

$$= 1266.18 \text{ tons} \quad \text{F.S.} = 2.5$$

$$\text{Safe Load} = 506.472 \text{ tons}$$

ซึ่งจากผลการพิจารณาดังกล่าวข้างต้นไม่คำนึงถึงคุณสมบัติของเสาเข็ม และไม่คำนึงถึงผลจาก

Negative Skin Friction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการศึกษา

1. ลักษณะของรูปตัดชั้นดินแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของชั้นดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยที่ความลึกลงไปถึงระดับ 30 เมตร ประกอบด้วยชั้น Weathered clay มีความหนาประมาณ 2 เมตร , ชั้น Very Soft to Soft clay มีความหนาประมาณ 13 เมตร , ชั้น Medium to Stiff clay มีความหนาประมาณ 5 เมตร , ชั้น Very Stiff clay มีความหนาประมาณ 4 เมตร , ชั้น Sand มีความหนาประมาณ 6 เมตร โดยชั้นดินตั้งแต่ชั้น Very Soft to Soft clay จนถึงชั้น Medium to Stiff clay ลักษณะดินประกอบด้วย Silty Clay แทรกปนบางระดับด้วย Very Fine Sand , Shell Bits และ Decayed Wood มีสีเปลี่ยนแปลงระหว่าง Dark Grey , Grey และ Brown เมื่อถึงชั้น Very Stiff clay จนถึงชั้นทราย ลักษณะดินประกอบด้วย Silty Clay โดยมี Very Fine Sand แทรกปนในบางระดับ มีสีเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง Grey , Yellow และ Brown ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ดินในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีคุณลักษณะทั้งทางกายภาพ และการรับแรงเฉือนใกล้เคียงกับบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า
2. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม ให้ผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีจากโครงการก่อสร้างในอดีต และกำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่ ทำให้ได้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินกระจายทั่วพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเมื่อนำผลเปรียบเทียบกับผลที่ทดสอบในบริเวณพื้นที่โครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า ให้ผลที่สอดคล้องกัน
3. กำลังรับแรงเฉือน ที่ทำการทดสอบภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน จะได้แนวโน้มกำลังรับแรงเฉือนตามความลึกที่คล้ายคลึงกัน แต่ค่าที่ได้มาน้อย แตกต่างกันขึ้นกับวิธีทดสอบ จากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนมากที่สุดจนไปถึงน้อยที่สุด ตามวิธีการทดสอบดังนี้ Field Vane Shear Test (ไม่ปรับค่า) , Unconsolidated Undrained Test , Field Vane Shear (ปรับค่า) , Unconfined Compression Test และ Direct Shear Test ตามลำดับ โดยวิธีทดสอบ Field Vane Shear Test ที่ยังไม่ปรับค่า เมื่อทำการปรับค่าจากผลการทดสอบ Plastic Index ของ Bjerrum จะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยวิธี Unconfined Compression Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากวิธี Unconfined Compression Test กับวิธีทดสอบ Unconsolidated Undrained Test แสดงให้เห็นว่าแรงต้านด้านข้างของดินมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยกำลังรับแรงเฉือนจะมากขึ้นเมื่อมีแรงดันกระทำด้านข้าง และจากผลการทดสอบภายในสถาบันโดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า ให้ผลที่ใกล้เคียงและมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน

4. ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) จากวิธี Oedometer Test แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ให้ผลที่สอดคล้องกับความชื้นในชั้นดิน ในชั้นดินที่มีความชื้นน้อย มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างเมื่อมีความดันกดทับจะให้ค่าที่น้อย เมื่อเทียบกับชั้นดินที่มีความชื้นสูง เมื่อมีน้ำหนักกดทับจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างสูง จากผลการทดสอบที่ได้ สอดคล้องกับผลการทดสอบ Oedometer Test กับดินบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า
5. ค่า Coefficient of Consolidation,  $C_v$  จากการทดสอบภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $C_v$  จากหลุมเจาะสำรวจดินในโครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่าที่ความดันใกล้เคียงกัน ค่า  $C_v$  ที่ได้แสดงแนวโน้มไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่าดินจากทั้งสองบริเวณมีคุณสมบัติทางการอัดตัวคายน้ำคล้ายคลึงกัน
6. ค่า OCR ที่ได้จากการทดสอบ จะมีแนวโน้มมากในบริเวณชั้นดินบน และแนวโน้มดังกล่าวจะมีค่าลดลง และมีค่าค่อนข้างที่จะคงที่ในดินที่อยู่ชั้นที่ลึกลงไป ซึ่งปัจจัยที่จะมีผลต่อค่า OCR ก็คือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน โดยที่จะส่งผลต่อค่า Over Burden Pressure นอกเหนือปัจจัยดังกล่าวยังมีปัจจัยที่เกิดจากค่า Maximum Past Pressure ที่จะมีผลต่อค่า OCR ซึ่งในชั้นดินต้นๆ จะมีโอกาสที่มีค่าดังกล่าวนี้สูงกว่าชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป
7. การเปรียบเทียบค่า Compression Index,  $C_c$  ที่หาได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าที่แทนในสูตร สูตรที่มีการแทนตัวแปรตัวเดียวกันก็จะมีลักษณะแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และในสูตรที่มีตัวแปรที่แตกต่างกัน ผลที่คำนวณได้ก็จะให้แนวโน้มที่แตกต่างกัน
8. การวิเคราะห์สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อพิจารณาผลจาก Skin Friction ปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าวก็คือ ความยาวของเสาเข็ม การใช้เสาเข็มยาวก็จะให้ค่า Skin Friction ที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับเสาเข็มที่สั้นกว่า และเมื่อพิจารณาถึงผลจาก End Bearing เสาเข็มที่วางอยู่บนดินชั้นทราย จะให้ค่ากำลังรับแรงที่สูงมากเมื่อเทียบกับเสาเข็มที่วางอยู่บนดินชั้นดินเหนียว

### ข้อเสนอแนะ

- การเปรียบเทียบในแง่ของกำลังต้านทานแรงเฉือน ควรทดสอบวิธี CU และ CD มาทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติม
- การออกแบบฐานรากของชั้นดินบริเวณภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ควรออกแบบโดยใช้เสาเข็ม เนื่องจากในชั้นดินบน (Very Soft to Soft Clay) จะไม่สามารถให้ Allowable Bearing Capacity ที่มากพอ
- การนำค่าจากการวิเคราะห์สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มไปใช้งาน ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติทางโครงสร้างของเสาเข็ม และผลกระทบเนื่องจากค่า Negative Skin Friction รวมถึงพิจารณาถึงความเหมาะสมของระดับการวางเสาเข็มในการออกแบบ

## บรรณานุกรม

กัลยา บริสุทธิธนะกิจ , การวิเคราะห์ชั้นดินในเขตกรุงเทพฯ , ภาควิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 116น.  
,2535.

ดร.ชัย และคณะ ,Skempton (1944) , Nishida (1956) ,Sowers et al (1961) , Mohan&Jain (1961)

,Ladanti (1963) ,Bishop et al (1945) ,Tomlinson (1986) ,Bowles (1986) และ Sivandrau  
(1979) อ้างอิงจากหนังสือออกแบบฐานราก ของ ดร.บุญเทพ เทพบุญพิทักษ์

มณฑะเชียร กังคศิเทียม ,กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม,สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน,2539.

วรากร ไม้เรียง และคนอื่นๆ ,ปฐพีกลศาสตร์,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2525.

สถาพร คูวิจิตรจารุ ,การเจาะสำรวจดิน เก็บตัวอย่างดิน และการทดสอบดินในสนาม ,มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีสุรนารี, 2542.

สถาพร คูวิจิตรจารุ ,ทดลองปฐพีกลศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี , 2541.

สำราญ ยอดอุปถัมภ์ ,ปฐพีกลศาสตร์ ภาคการทดลอง เล่มที่ 1 ,วิทยาเขต อุเทนถวาย

American Society for Testing and Materials (1992) ,Annual Book of ASTM Standard, Part II ,Md.,  
U.S.A

Balasubramaniam et al.(1994),Prediction and Measurement of Coefficient of Consolidation on  
Soft Bangkok Clay at Nong Ngu Hao, Thesis No.GT-94-30,AIT,Bangkok

Bjerrum,L.(1972),Embankment on Soft Ground,State of The Art Report,Proc.ASCE Spec. Conf.on  
Performance of Earth and Earth-Supported Structure,Vol.2,Lafayette

Bowles, Joseph E.(1970) ,Engineering Properties of Soils and Their Measurement ,McGraw – Hill  
Book Company,N.Y.

CHEN (1972) อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์ชั้นดินในเขตกรุงเทพฯ,ภาควิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
กรุงเทพฯ.116น.,2535 ของ กัลยา บริสุทธิธนะกิจ

Das, Braja M., Third Edition(1995), Principles of Foundation Engineering ,PWS Publishing  
Company, pp. 87 – 102.

Head, K.H.(1986) , First Edition, Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3:Effective Stress

Hsiao , Chun – Hsien (1994) , Prediction and Measurement of Coefficient of Consolidation on  
Soft Bangkok Clay at Nong Ngu Hao , Thesis No. GT –94 – 30 , AIT, Bangkok

Lambe, T.William, Wiley Trans – Edition (1982), Soil Testing for Engineers ,John Wiley & Sons.Inc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Peck,R.B.,Hansan,W.E. and Thornburn,T.H.(1974), Foundation Engineering, Wiley, New York.
- Somporn Reinmanorom (1974) , One – Dimensional Consolidation Characteristics of Soft Nong Ngu Hao Clay , Thesis No.703 , AIT , Bangkok
- Sopon Duangkhae (1971), One Dimensional Consolidated Characteristics of Soft Nong Ngu , Thesis,Hao,AIT,Bangkok
- Taylor,D.W.(1948),Research on Consolidation of Clays,M.I.T.,Dept.of Civil and Sanitary Engg.,Serial 82.
- Terzagh K. and R.B. Peck. "Soil Mechanics in Engineering Practice",2<sup>nd</sup> edit,John Wiley & Sons,1967.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ตารางอ้างอิงทฤษฎีและสรุปผลการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของ Bangkok Clay (CHEN , 1972)

Property	Typical Range
<u>Weathered Clay</u>	
Natural Water Content ( $W_n\%$ )	35 - 70
Liquid Limit ( $W_L\%$ )	35 - 55
Plasticity Index (P.I. %)	23 - 30
Liquidity Index	0.7 - 1.0
Activity ( $\frac{P.I. \%}{\% \text{ clay size}}$ )	0.6 - 1.1
Specific Gravity	2.55 - 2.70
Total Unit Weight (TCM)	1.60 - 1.80
<u>Soft Clay</u>	
Natural Water Content ( $W_n\%$ )	50 - 80
Liquid Limit ( $W_L\%$ )	40 - 80
Plasticity Index (P.I.%)	20 - 33
Liquidity Index	0.8 - 1.1
Activity	0.6 - 1.1
Specific gravity	2.55 - 2.65
Total Unit Weight (TCM)	1.50 - 1.70
<u>Stiff Clay</u>	
Natural Water Content ( $W_n\%$ )	20 - 40
Liquid Limit ( $W_L\%$ )	40 - 80
Plasticity Index (P.I.%)	20 - 35
Liquidity Index	0.1 - 0.3
Activity	0.6 - 1.1
Specific Gravity	2.55 - 2.70
Total Unit Weight (TCM)	1.8 - 2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่า Undrained Strength ของ Bangkok Clay

		Typical Range, ton/m <sup>2</sup>	
<u>Vane Shear Strength</u>			
Soft Clay		1	- 3.0
Medium Clay		3	- 6
<u>Unconfined Compression Test</u>			
Soft Clay		0.5	- 3.0
Medium to Stiff Clay		6	- 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth (m)	Unit Weight (t/m <sup>2</sup> )	Water Content	Specific Gravity	Atterberg's Limits			Uncon. Compre. Strength (kPa)	Maximum Past Pressure (t/m <sup>2</sup> )
				LL	PL	PI		
0.00 - 0.90	1.804	37.90					54.2	
1.00 - 1.90	1.541	90.81					19.8	
2.00 - 2.90	1.428	100.53	2.76	82.50	31.30	51.30	19.8	4.7
3.00 - 3.90	1.438	101.56					27.8	
4.00 - 4.90	1.460	99.94	2.72	91.50	28.20	63.30	19.8	3.6
5.00 - 5.90	1.438	98.5					22.4	
6.00 - 6.90	1.435	103.85	2.76				23.0	3.8
7.00 - 7.90	1.423	112.44		103.70	33.00	70.80	23.8	
8.00 - 8.90	1.422	99.94	2.75				30.8	7.2
9.00 - 9.90	1.430	98.94		113.90	39.40	74.50	20.6	
10.00 - 10.90	1.500	86.65					23.2	
11.00 - 11.90	1.570	68.66	2.76	85.70	32.70	53.00	44.6	
12.00 - 12.90	1.481	84.99					34.4	
13.00 - 13.90	1.605	61.34		77.30	28.20	49.10	62.6	
14.00 - 14.90	1.646	57.91					88.4	

ตารางที่ 2.3 Soil Properties at Borehole 1 (BALASUBRAMANIAM et al., 1994)

Depth (m)	Unit Weight (t/m <sup>2</sup> )	Water Content	Specific Gravity	Atterberg's Limits			Uncon. Compre. Strength (kPa)	Maximum Past Pressure (t/m <sup>2</sup> )
				LL	PL	PI		
0.50 - 1.00	1.694	55.59					32.4	
1.00 - 1.50								
1.50 - 2.00	1.415							
2.00 - 2.50	1.423	108.78	2.77	98.30	29.60	68.60		4.1
2.50 - 3.00							16.2	
3.00 - 3.50								
3.50 - 4.00	1.522	96.04					16.6	
4.00 - 4.50			2.72	97.20	31.20	66.00		3.8
4.50 - 5.00	1.456	93.96					23.0	
5.00 - 5.50								
5.50 - 6.00	1.437	103.38	2.73	103.30	32.70	70.60	18.2	5.0
6.00 - 6.50								
6.50 - 7.00	1.414	102.64					16.4	
7.00 - 7.50			2.76					5.8
7.50 - 8.00	1.425	102.18					15.8	
8.00 - 8.50		107.24						
8.50 - 9.00	1.433		2.76				31.6	6.3
9.00 - 9.90	1.506	79.18					18.8	
10.00 - 10.90	1.529	72.11					19.8	
11.00 - 11.90	1.559	68.23					49.0	
12.00 - 12.90	1.570	57.23	2.68				45.2	
13.00 - 13.90	1.643	50.63					70.0	
14.00 - 14.90	1.684	49.87					76.0	

ตารางที่ 2.4 Soil Properties at Borehole 2 (BALASUBRAMANIAM et al., 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth (m)	Unit Weight (l/m <sup>2</sup> )	Water Content	Specific Gravity	Atterberg's Limits			Uncon. Compre. Strength (kPa)	Maximum Past Pressure (l/m <sup>2</sup> )	SPT (Blow/ft)
				LL	PL	PI			
0.00 - 0.90	1.794	41.82					45.4		
1.00 - 1.90	1.433	101.27	2.75	83.20	33.30	50.00	24.2	5.0	
2.00 - 2.90	1.448	89.85					22.6		
3.00 - 3.90	1.456	85.01	2.71	98.30	37.40	60.80	17.4	4.1	
4.00 - 4.90	1.454	94.41					15.6		
5.00 - 5.90	1.450	89.19	2.74	101.50	35.60	65.80	19.2	5.1	
6.00 - 6.90	1.407	76.83					11.4		
7.00 - 7.90	1.399	103.59					12.4		
8.00 - 8.90	1.431	68.08	2.73	114.00	38.70	75.30	32.0	7.3	
9.00 - 9.90	1.447	64.29					48.2		
10.00 - 10.90	1.546	79.66	2.69	95.00	33.10	61.90	39.2	7.1	
11.00 - 11.90	1.532	59.12					41.0		
12.00 - 12.90	1.519	81.01		103.10	33.70	69.50	47.4		
13.00 - 13.90	1.606	52.77					33.2		
14.00 - 14.90	1.662	51.32		87.30	29.60	57.60	100.8		
15.00 - 15.50		45.75							
15.50 - 15.95		36.07		58.60	22.30	36.30		6	
17.00 - 17.95		39.23						14	
18.50 - 18.95		28.14		74.40	23.00	51.40		14	
20.00 - 20.45		24.21						11	
21.50 - 21.95		21.85		46.00	18.00	28.10		20	
23.00 - 23.45		17.48						32	
24.50 - 24.95		22.54						40	
26.00 - 26.45		11.67						52	
27.50 - 27.95		18.18						45	
29.00 - 29.45		23.09		52.30	21.60	30.70		27	

ตารางที่ 2.5 Soil Properties at Borehole 3 BALASUBRAMANIAM et al.,(1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลองสำหรับการเจาะสำรวจ

การทดสอบ	ชนิดของดิน	น้ำหนักตัวอย่างดิน*, กรัม	ชนิดของตัวอย่าง	การใช้ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid) ASTM D-854	ทุกชนิด (ขนาดเม็ดควรมีใหญ่กว่า 6.5 มม)	100	ทุกชนิด	คำนวณอัตราส่วนช่องว่าง ความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Void Ratio) ความหนาแน่น (Density) ฯลฯ
ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ASTM D-421, D-422, D-1140	ทุกชนิด	200-1000 (ดินเม็ดละเอียดทราย)	ทุกชนิด	จำแนกชนิดดิน (Soil Classification), ประมาณ : - ค่าซึมผ่านของดิน (Permeability) - กำลังของดิน (Shear Strength) - การบดอัด (Compaction)
พิกัดอัตราตะเบีร์ก (Atterberg Limit) ASTM D-4318	ดินเม็ดละเอียดหรือดินร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40	300	ทุกชนิด	จำแนกชนิดของดิน ประมาณค่าทรุดตัวของดิน (Compressibility) และการบดอัด

\*น้ำหนักตัวอย่างดินต่ำสุดไม่รวมส่วนเม็ดใหญ่ เศษอินทรีย์วัตถุที่ต้องแยกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลองสำหรับการเจาะสำรวจ (ต่อ)

การทดสอบ	ชนิดของดิน	น้ำหนักตัวอย่างดิน*, กรัม	ชนิดของตัวอย่าง	การใช้ผลการทดสอบ
ความชื้น (Water Content) ASTM D-2216, D-2217, D-4643	ทุกชนิด	100-500 (ดินเม็ดละเอียดทราย)	ทุกชนิดที่บรรจุในภาชนะกันความชื้นไว้	เปรียบเทียบกับกำลัง (Strength) ค่าทรุดตัว การบดอัด
น้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight)	ดินเหนียวเชื่อมแน่น (Cohesive Clay)	200-1000	จากกระบอกบางตัวอย่างกล่อง	คำนวณน้ำหนักกดทับเหนือระดับ (Overburden Pressure) ของของชั้นดิน
แรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) ASTM D-2166	ดินเหนียวเชื่อมแน่น (Cohesive Clay)	200-800 (ยาว 10-15 ซม)	จากกระบอกบางตัวอย่างกล่อง	หาแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Undrained Shear Strength)
ทดสอบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) ASTM D-2453	ดินเหนียว คงสภาพ	500 (ยาว 5 ซม)	จากกระบอกบางตัวอย่างกล่อง	คำนวณค่าทรุดตัวได้ของดิน (Compressibility)
ทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) ASTM D -2850 ASTM D-4767	ดินเหนียว คงสภาพ ทราย	200-800(ยาว 10 ซม x 4 ท่อน)	จากกระบอกบางตัวอย่างกล่อง ทราย (นำมาเตรียม)	หาแรงเฉือนของดิน หาคุณสมบัติการทรุดตัวของดิน ค่าคงตัว $c, \phi, c', \phi'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลองสำหรับการเจาะสำรวจ (ต่อ)

การทดสอบ	ชนิดของดิน	น้ำหนักตัวอย่างดิน*, กรัม	ชนิดของตัวอย่าง	การใช้ผลการทดสอบ
ทดสอบการบดอัด (Compaction Test) ASTM D-698, ASTM D-1557	ทุกชนิด ผ่าน ตะแกรง ขนาด 20 มม	20,000-40,000 (ใช้ตัวอย่าง ใหม่ทุกครั้ง)	ตัวอย่างสูง	ค่าบดอัดของดินค่า ความชื้นที่เหมาะสม ที่ให้ค่าบดอัดสูงสุด
ทดสอบซีบีอาร์ (CBR Test) ASTM D-1883	ทุกชนิด (ผ่าน ตะแกรง ขนาด 20 มม)	20,000-30,000 (3 ตัวอย่าง)	ตัวอย่างสูง	ค่าซีบีอาร์ (CBR) ค่า บวมตัว ค่าซึมซับน้ำ
ทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of Permeability) ASTM D-2434	ทุกชนิด	2,000-6,000 (บดอัด)	ทุกชนิด	สัมประสิทธิ์การ ซึมผ่าน
ทดสอบแรงเฉือนแบบ โดยตรง (Direct Shear Test) ASTM D -3080	ทุกชนิด	500 (ทราย) ยาว 6 ซม x 4 ท่อน (ดินเหนียวลง สภาพ)	ทุกชนิด	ค่าแรงเฉือนของดิน ค่าคงตัว $c$ , $\phi$ , $c'$ , $\phi'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ลักษณะดิน	ย่อมาจาก
G	พวกกรวด	Gravel
S	พวกทราย	Sand
M	พวกตะกอนทราย	Mo = Silt
C	พวกดินเหนียว	Clay
O	พวกสารอินทรีย์	Organic
Pt	มีสารอินทรีย์สูง	Peat
W	มีขนาดคละกัณฑ์	Well graded
P	มีขนาดคละกัณฑ์ไม่ดี	Poorly graded
L	L.L. น้อยกว่า 50%	Low Liquid Limit
H	L.L. มากกว่า 50%	High Liquid Limit

ตารางที่ 2.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ UNIFIED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth From / To	Sample Type	SPT	Rt	Rd	Group Sym	LL	PL	PI	Mc	LI	e	Gs	Shear Strength			Seive Size	
													Uc	Vp	Vd	No.10	No.200
2.00-3.00	ST01		1.574	0.986					59.670								
3.00-4.00	ST02		1.476	0.839	MH-OH	96.20	43.80	52.40	75.975	61.40	2.082	2.585	1.221	2.684	0.445		
4.00-5.00	ST03		1.401	0.656					113.700					1.627	0.507		
5.00-6.00	ST04		1.543	0.727	MH-OH	107.10	45.10	62.00	112.150	108.15	2.458	2.515	2.191	1.564	0.569		
6.00-7.00	ST05		1.413	0.697					102.750				3.148	2.124	1.129		
7.00-8.00	ST06		1.439	0.685	MH-OH	103.10	57.80	45.30	110.210	115.70	3.052	2.774	1.398	1.627	0.569		
8.00-9.00	ST07		1.431	0.698					104.990					2.124	0.569		
9.00-10.00	ST08		1.406	0.744	MH-OH	92.40	52.20	40.20	88.860	91.19				2.124	0.818		
10.00-11.00	ST09		1.683	1.024					64.380				3.920	2.186	0.880		
11.00-12.00	ST10		1.605	0.953	MH-OH	60.90	35.20	25.70	68.470	129.46	2.060	2.915	3.766	2.746	0.880		
12.00-13.00	ST11		1.400	0.780					79.600				4.859	2.871	1.067		
13.00-14.00	ST12		1.565	0.902	CH	73.20	33.90	39.30	73.450	100.64			3.522	3.306	1.129		
14.00-15.00	ST13		1.625	0.927					75.330				3.354	3.306	1.067		
15.00-16.00	ST14		1.592	1.001					59.020					3.368	1.067		
16.00-17.00	ST15		1.620	1.620	CH	78.90	24.70	54.20			1.570	2.573	7.825				
17.00-18.00	ST16		1.770								0.701	2.755					
18.00-18.45	SS17	14	1.835	1.169	MH-OH	53.50	29.10	24.40	56.924	114.03	1.343	2.740					
19.00-19.45	SS18	21	1.980	1.589					24.595								
20.00-20.45	SS19	21	1.945	1.552					25.338								
21.00-21.45	SS20	20			SM		N.P		18.433								
22.00-22.45	SS21	32	1.867	1.543	SM	37.00	N.P	37.00	21.002	0.864	0.864	2.876				92.000	28.500
23.00-23.45	SS22	43			SM		N.P		21.389							72.910	14.730
24.00-24.45	SS23	51	1.906	1.605	SM	26.70	N.P	26.70	18.785		0.829	2.935				91.317	24.251
25.00-25.45	SS24	18	2.191	1.821	SM	-	N.P	-	20.330							97.188	27.447
26.00-26.45	SS25	31			SP-SM	-	N.P	-	23.262							86.894	19.378
27.00-27.45	SS26	30			SP-SM	-	N.P	-	17.946			2.756				98.649	9.009
28.00-28.45	SS27	66			SP-SM	-	N.P	-	14.576							99.180	5.863
29.00-29.45	SS28	38			SP-SM		N.P		16.958			2.610				89.756	9.268
																96.669	7.026

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการและจากการทดสอบในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชั้น Very Stiff clay

สถานที่	water content	Total unit weight	Liquid limit	Plastic limit	UC (qu/2)	SPT (blow/ft.)
	w <sub>n</sub> (%)	γ <sub>t</sub> (t/m <sup>3</sup> )	LL (%)	PL (%)	(t/m <sup>2</sup> )	
ข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	24.97	1.96	-	-	-	21
คณะวิทยาศาสตร์	23.98	2.2	35.27	20.59	-	-
อาคาร 10 ชั้นบริเวณตึกพระเทพฯ	22.80	-	-	-	-	22
อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์	25.20	1.91	49.40	24.00	-	17
อาคารสารนเทศ	24.59	2.12	27.17	15.47	-	26
อาคารหอพักอาจารย์ 12 ชั้น	25.90	2.08	41.23	17.65	-	30
อาคารใหม่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	24.29	2.11	27.18	-	-	28
โรงยิมและสนามฟุตบอล	23.00	-	22.40	12.80	-	21

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงคุณสมบัติดินชั้น Very stiff clay ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## ชั้น Dense to very dense sand

สถานที่	water content	Total unit weight	Liquid limit	Plastic limit	UC (qu/2)	SPT (blow/ft.)
	w <sub>n</sub> (%)	γ <sub>t</sub> (t/m <sup>3</sup> )	LL (%)	PL (%)	(t/m <sup>2</sup> )	
ข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	19.19	1.99	-	-	-	35
คณะวิทยาศาสตร์	21.95	2.02	-	-	-	36
อาคาร 10 ชั้นบริเวณตึกพระเทพฯ	20.50	-	-	-	-	33
อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์	23.18	-	-	-	-	39
อาคารสารนเทศ	20.36	2.17	-	-	-	65
อาคารหอพักอาจารย์ 12 ชั้น	20.35	2.26	-	-	-	90
อาคารใหม่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	17.82	2.09	-	-	-	48
โรงยิมและสนามฟุตบอล	27.20	-	-	-	-	50

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงคุณสมบัติดินชั้น dense to very dense sand ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชั้น Very soft clay to soft clay**

สถานที่	water content $w_n$ (%)	Total unit weight $\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	Liquid limit LL (%)	Plastic limit PL (%)	UC (qu/2) ( $t/m^2$ )	SPT (blow/ft.)
ข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	89.16	1.50	88.82	44.67	1.14	-
คณะวิทยาศาสตร์	89.44	1.52	53.28	31.84	1.52	-
อาคาร 10 ชั้นบริเวณตึกพระเทพฯ	107.98	1.48	-	-	1.28	-
อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์	97.99	1.44	71.18	34.90	1.19	-
อาคารสารสนเทศ	90.27	1.56	47.73	27.83	0.85	-
อาคารหอพักอาจารย์ 12 ชั้น	99.38	1.51	47.36	28.18	1.33	-
อาคารใหม่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	84.76	1.51	61.10	30.49	1.34	-
โรงยิมและสนามฟุตบอล	100.08	1.49	72.97	31.27	0.83	-

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติดินชั้น very soft to soft clay ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ชั้น Medium to stiff clay**

สถานที่	water content $w_n$ (%)	Total unit weight $\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	Liquid limit LL (%)	Plastic limit PL (%)	UC (qu/2) ( $t/m^2$ )	SPT (blow/ft.)
ข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์	57.97	1.70	66.20	26.90	3.91	-
คณะวิทยาศาสตร์	44.69	1.88	51.15	26.19	3.83	-
อาคาร 10 ชั้นบริเวณตึกพระเทพฯ	49.10	1.78	38.90	17.60	4.63	6
อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์	60.42	1.58	62.30	31.10	3.49	-
อาคารสารสนเทศ	44.56	1.81	43.54	21.33	6.07	-
อาคารหอพักอาจารย์ 12 ชั้น	54.78	1.76	40.38	20.89	3.77	-
อาคารใหม่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	39.66	1.63	53.61	23.71	3.05	-
โรงยิมและสนามฟุตบอล	22.10	2.05	37.00	18.60	2.18	-

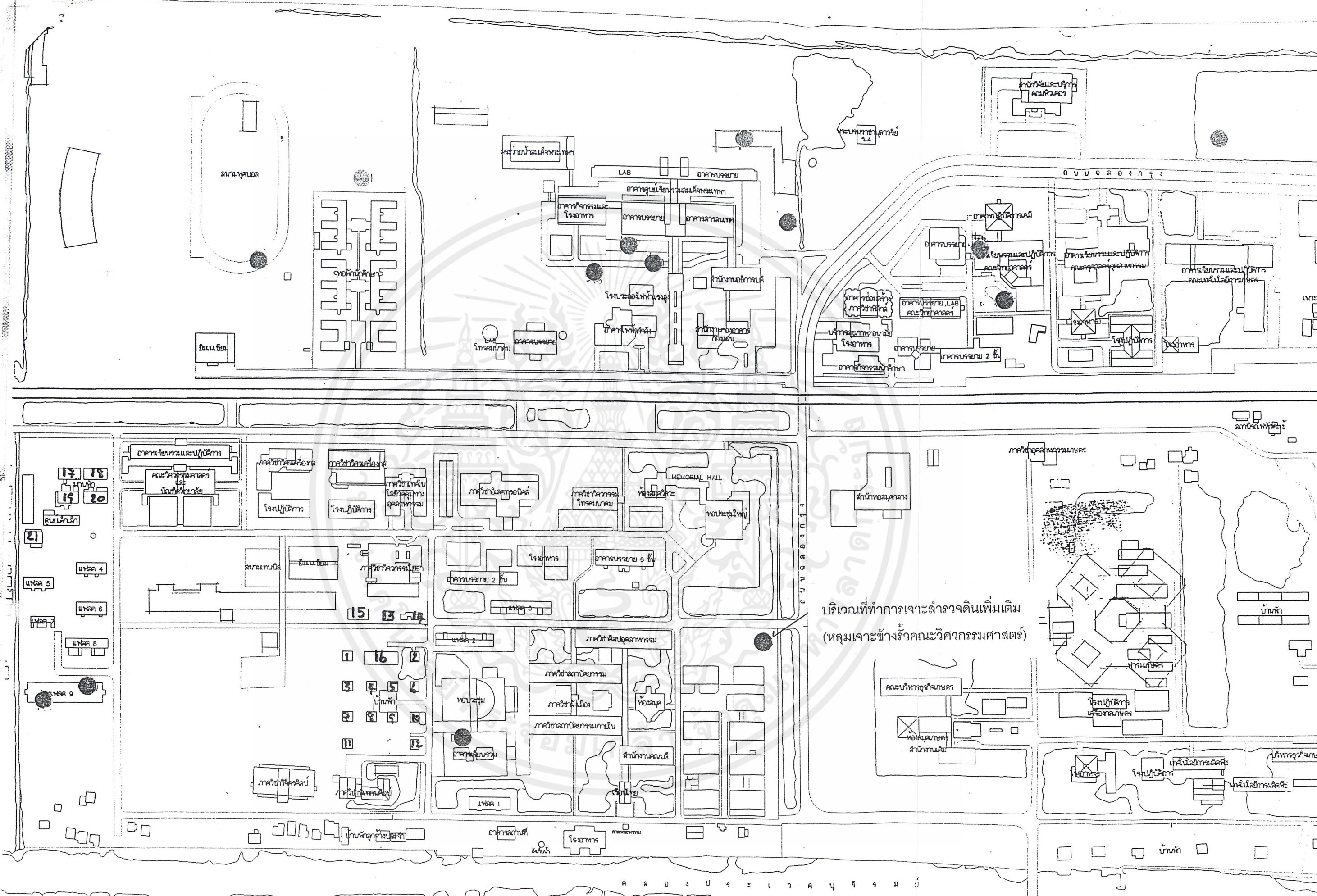
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติดินชั้น medium to stiff clay ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข- รูปร่างอิทธิพลและสรุปผลการทดสอบ



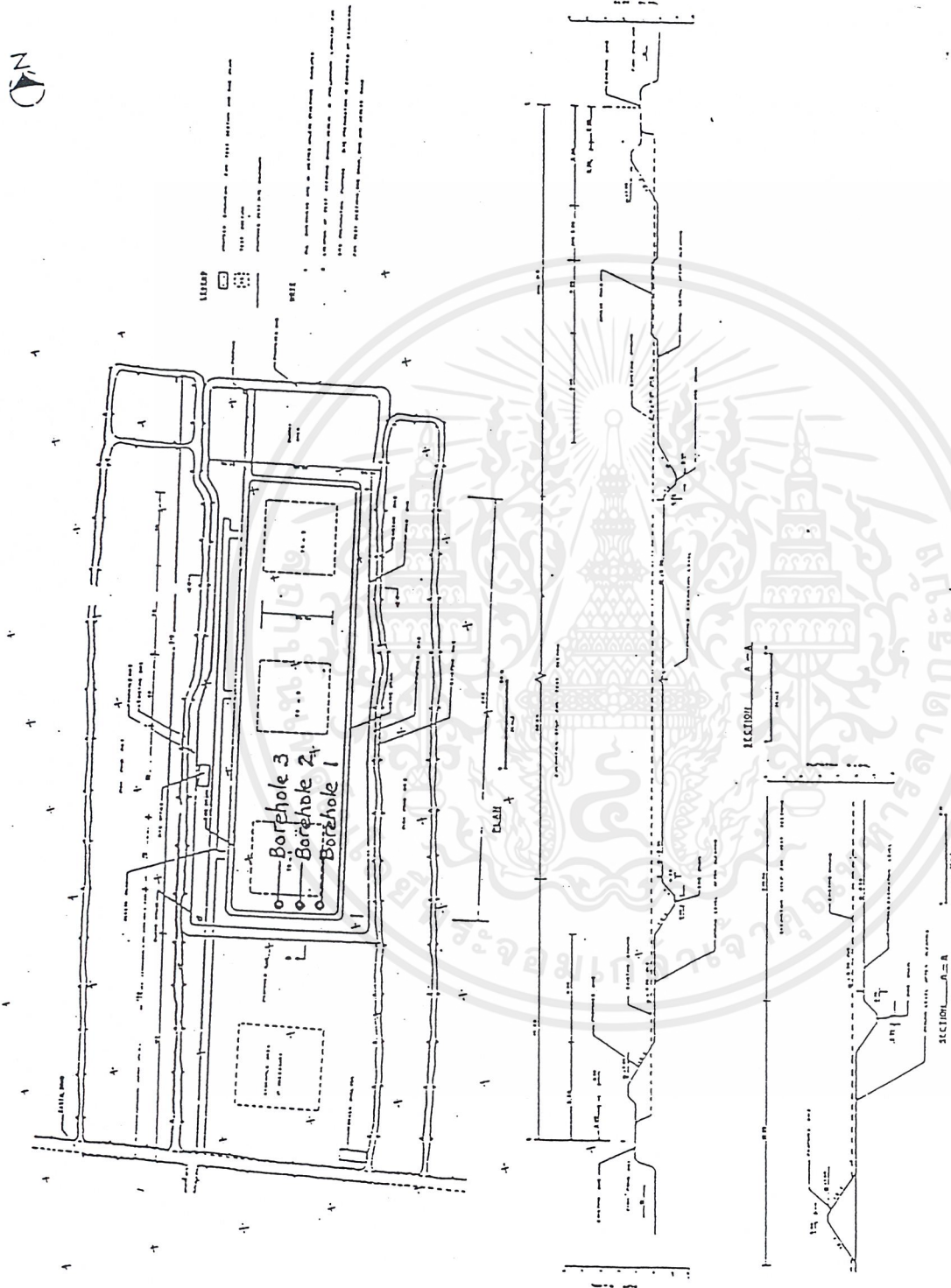
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
 รูปที่ 1 แสดงบริเวณที่มีการเจาะสำรวจดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
 ลาดกระบัง

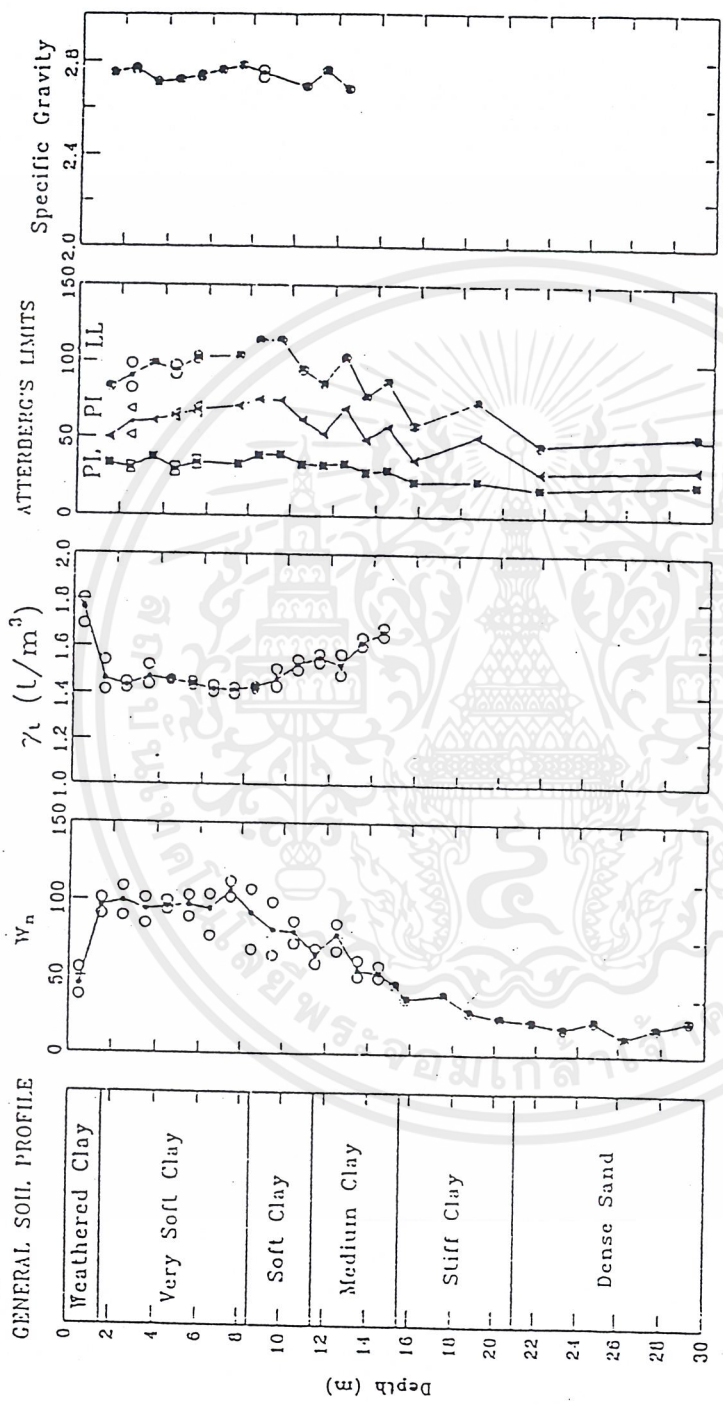


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.1 สถานที่โครงการก่อสร้างสนามบินหนองงูเห่า และจุดเจาะสำรวจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 จุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างทดสอบบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบินของงูเห่า

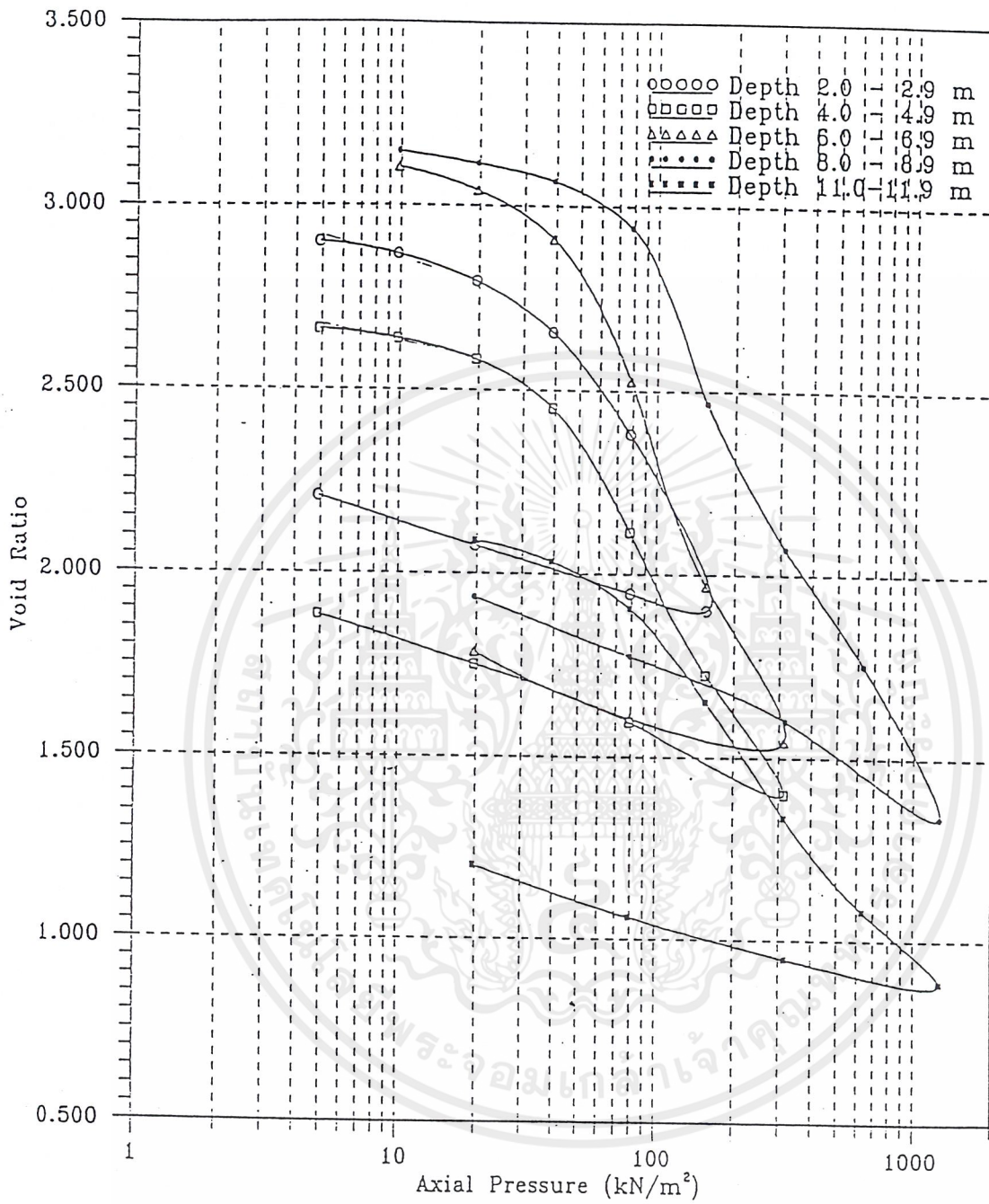
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติทางกายภาพของดินบริเวณโครงการก่อสร้างสนามบิน

หนองเต่า BALASURBAMANIAM et al., 1994

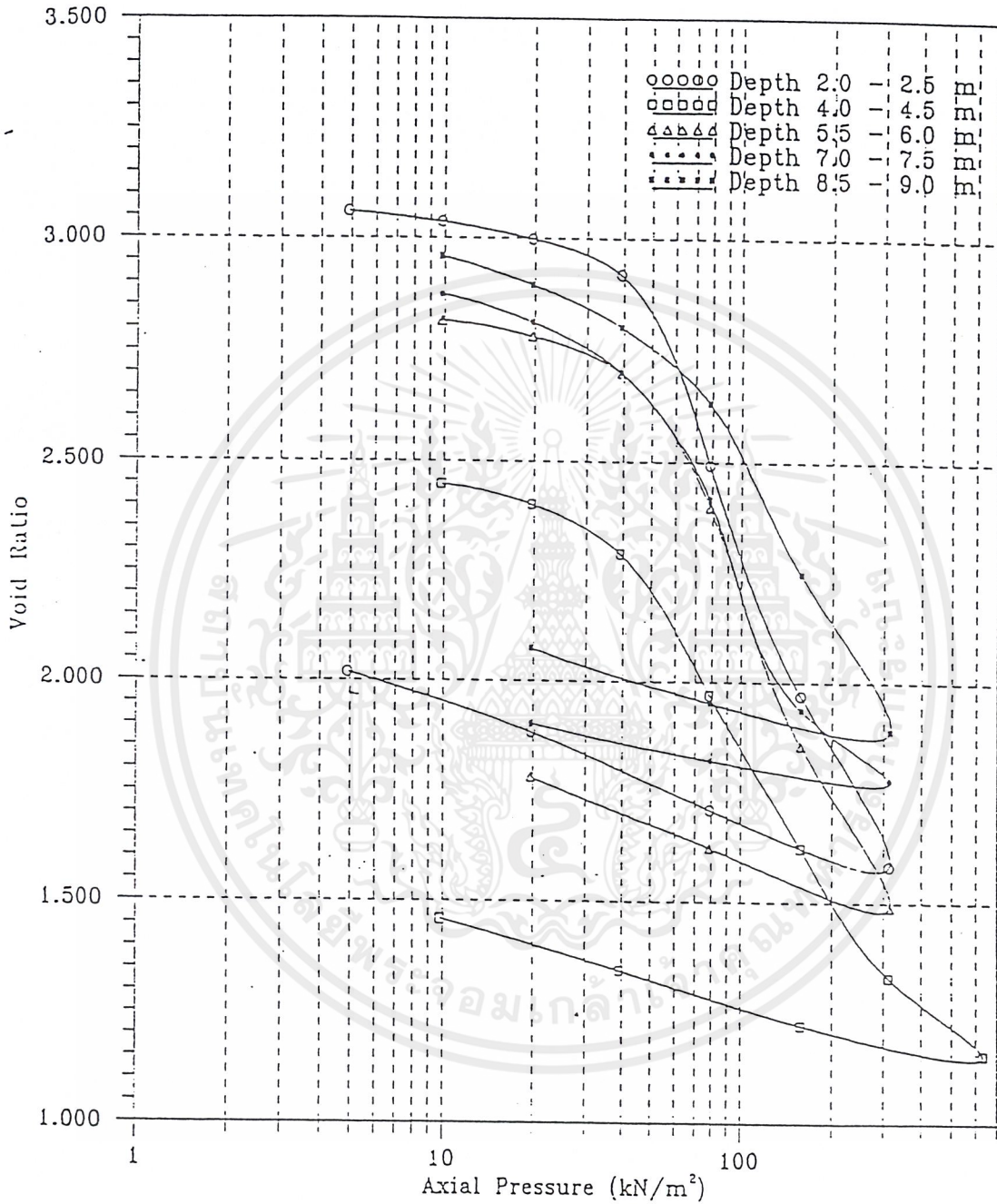
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4(a) Consolidation Curves for BH-1 (Vertical)

(BALASUBRAMANIAM et al., 1994)

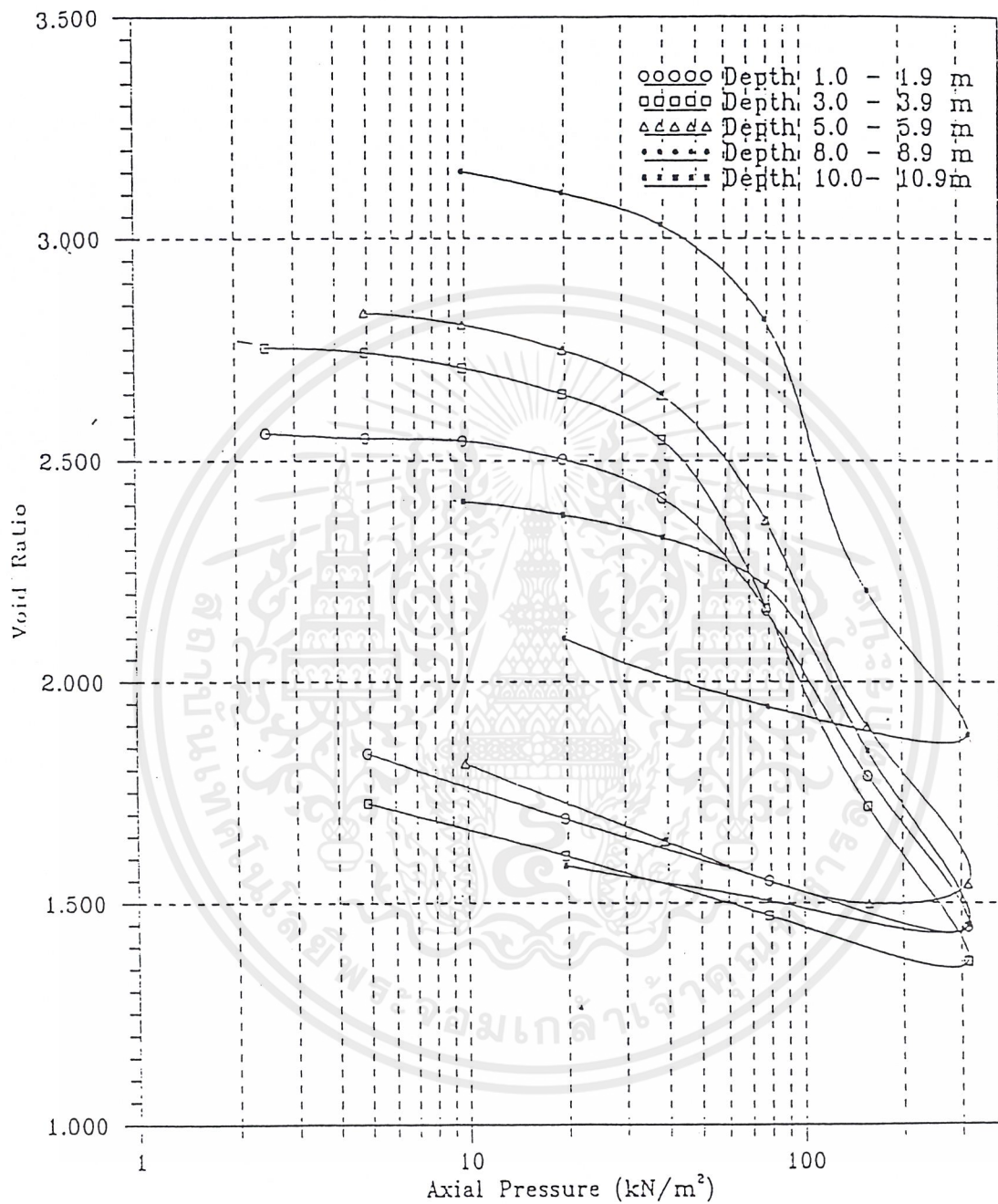
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4(b) Consolidation Curves for BH-2 (Vertical)

(BALASUBRAMANIAM et al., 1994)

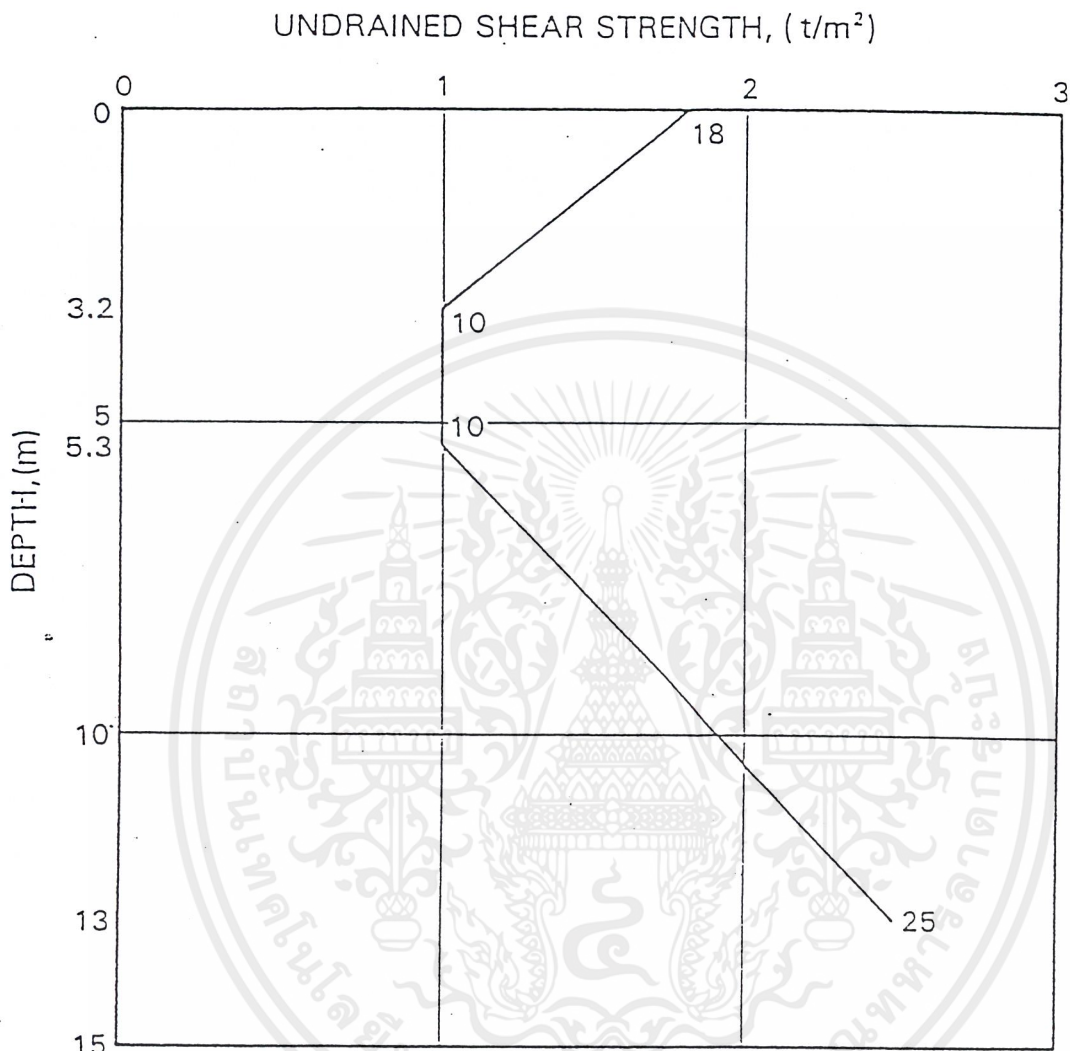
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



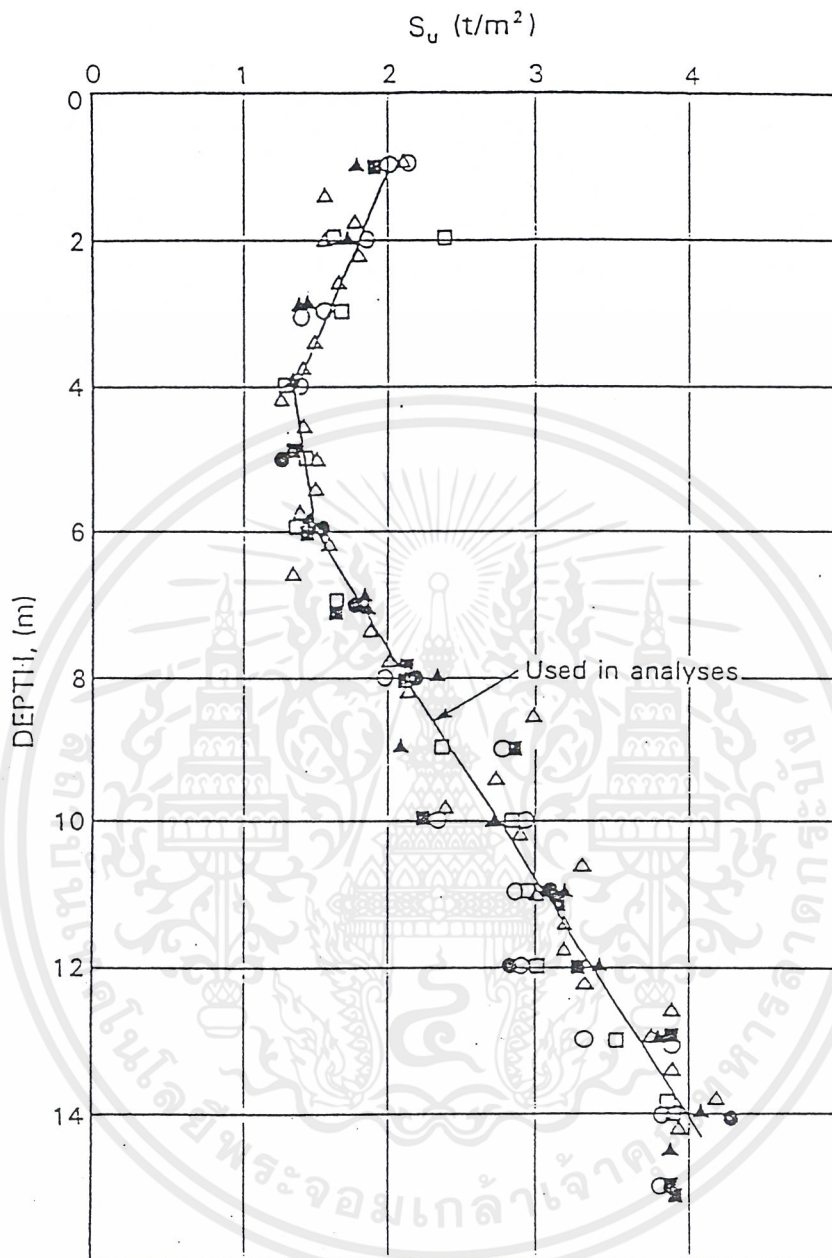
รูปที่ 2.4(c) Consolidation Curves for BH-3 (Vertical)  
(BALASUBRAMANIAM et al., 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.6 Undrained Shear Strength of NNH (AAT,1992)



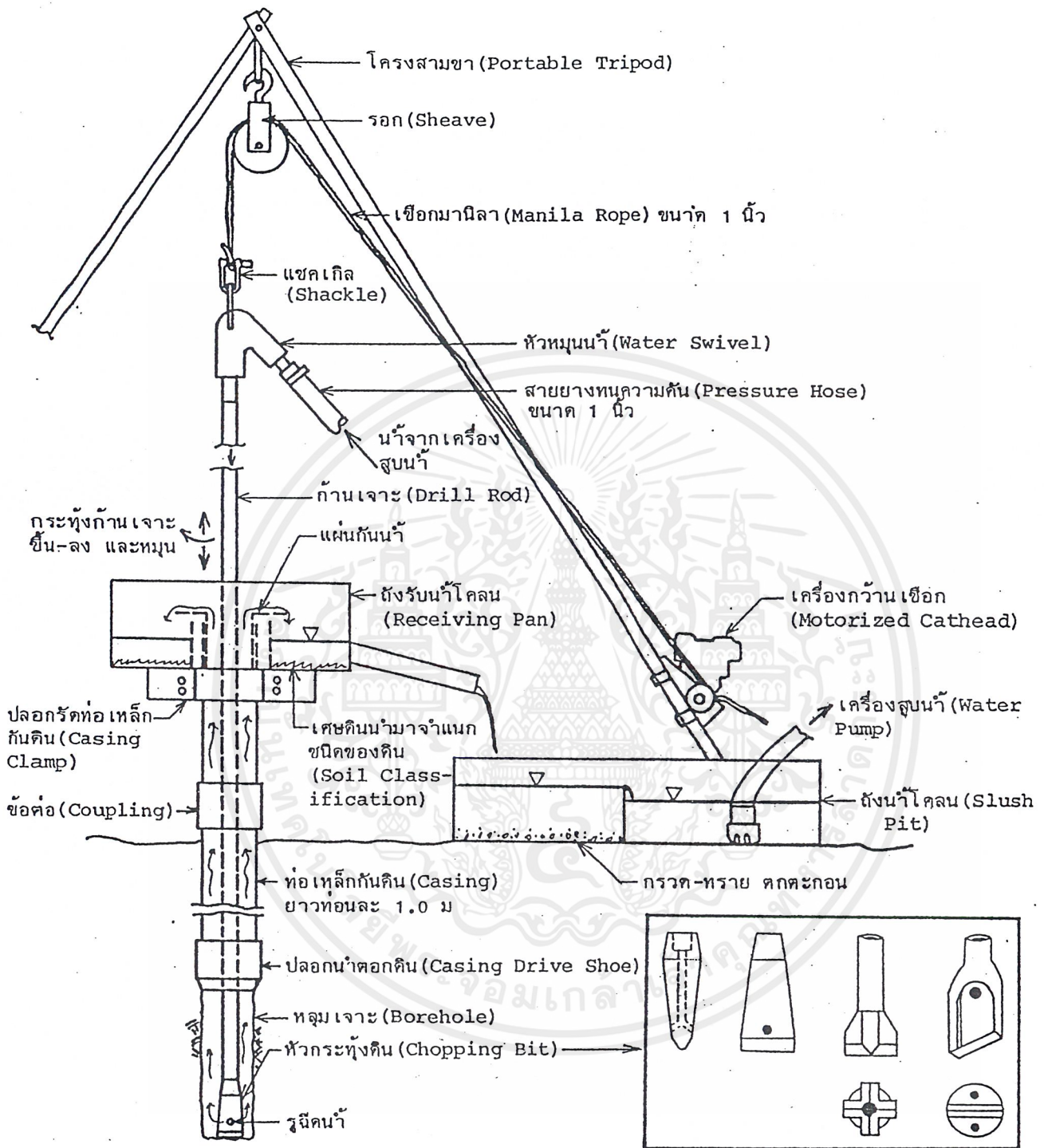
- V3.1 \*
- V3.2
- △ V3.3
- ▲ V3.4
- V3.5 \*
- V3.6 \*

\* Geonor Vane

รูปที่ 2.7 Undrained Shear Strength of SBIA (AAT, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

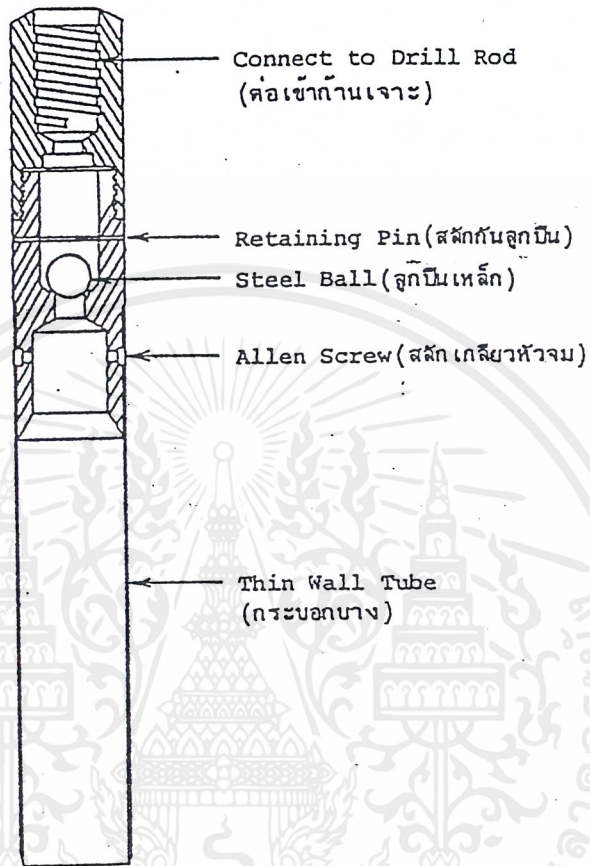
(AAT = The Airport Authority of Thailand)



รูปที่ 2.8 แสดงการเจาะสำรวจดินฉีดล้างแบบกระทุ้ง (Wash Boring by Chopping) ด้วยเครื่อง

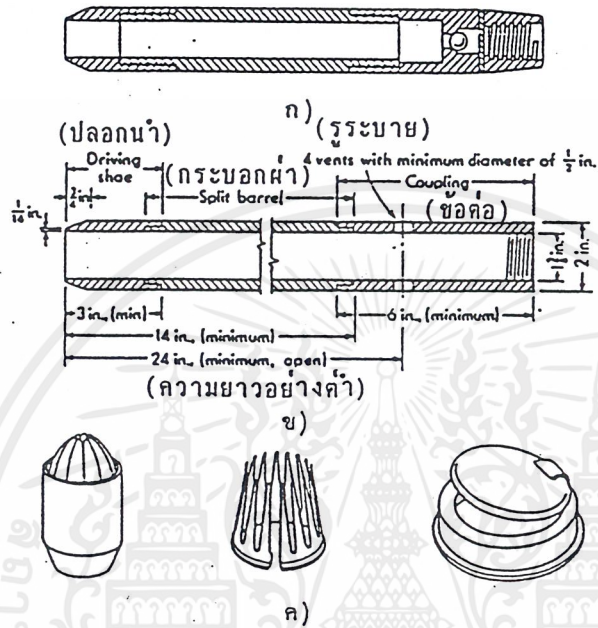
กว้านและชุดสามขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 หัวเก็บตัวอย่างแบบเปิด (Open Drive Sampler)

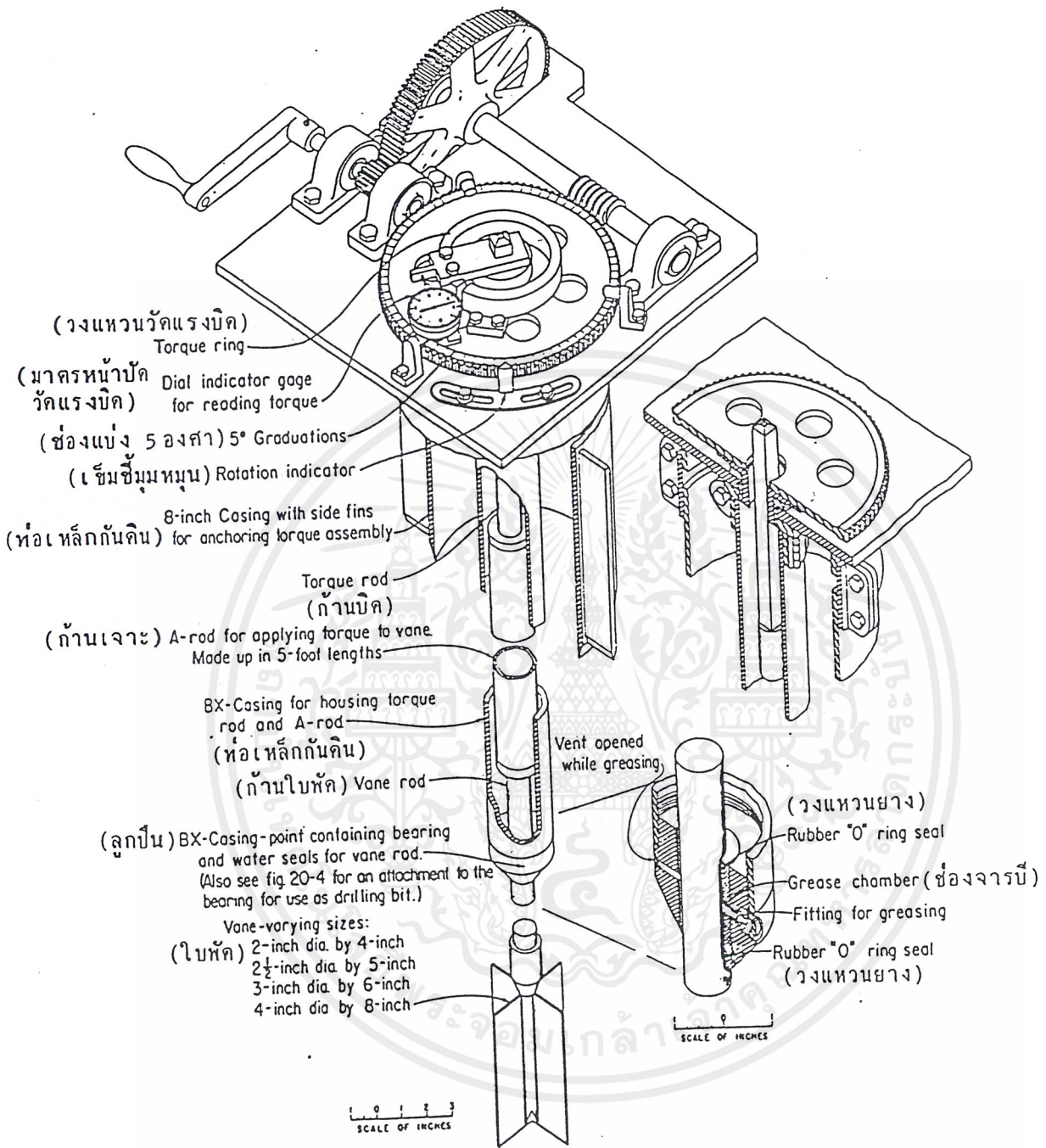
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กระบะบอกฝามาตรฐาน (Split Barrel Spoon)

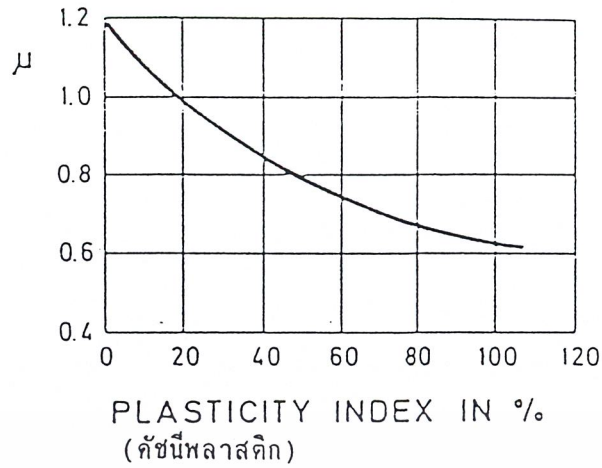
- ก) แบบกระบอกฝ่า
- ข) ขนาดของกระบอกฝ่า
- ค) ตะกร้อช่วยเก็บดินแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

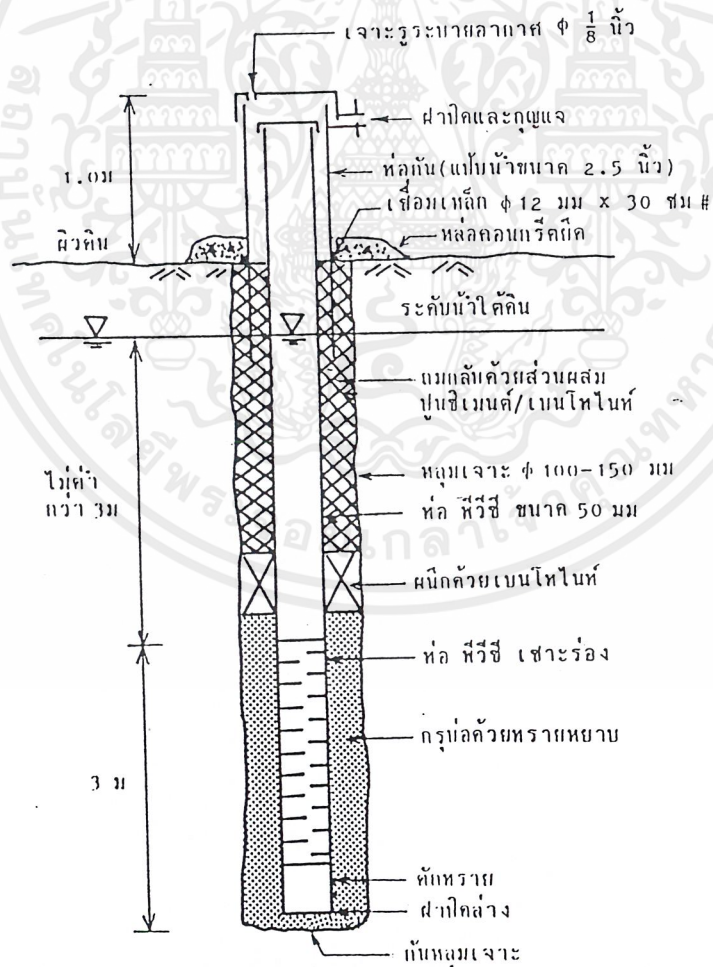


รูปที่ 2.11 เครื่องมือแรงเฉือนในที่ไหลมเจาะ แบบใช้เครื่องวัดแรงบิดแบบละเอียด (USBR, 1968)

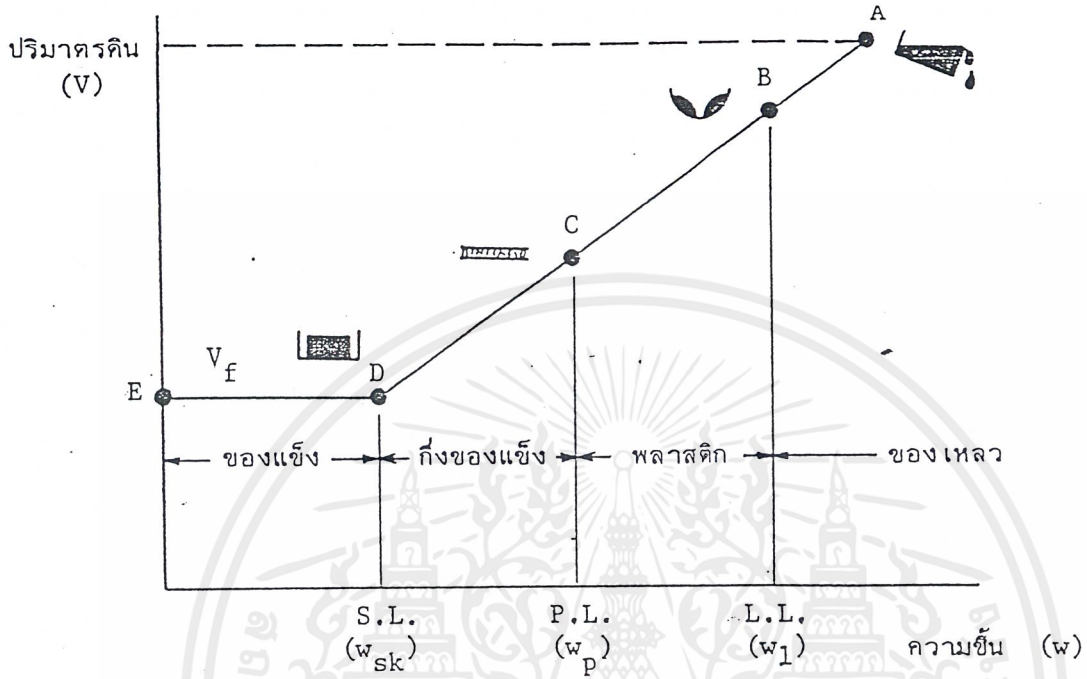
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ค่าองค์ประกอบแก้ของ Bjerrum (1972)

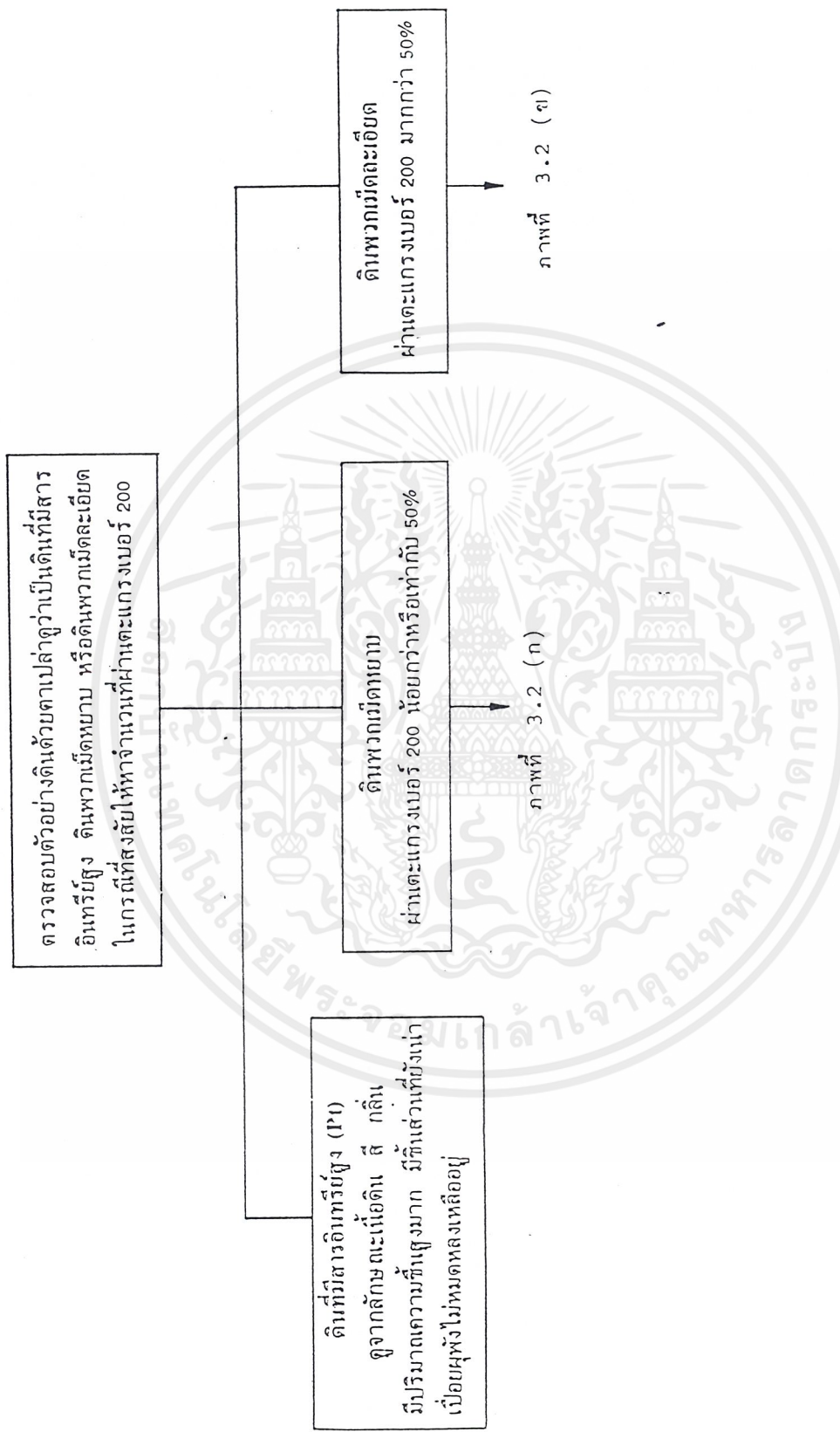


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.13 ตัวอย่างบ่อวัดน้ำถาวร สำหรับวัดระดับน้ำใต้ดิน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



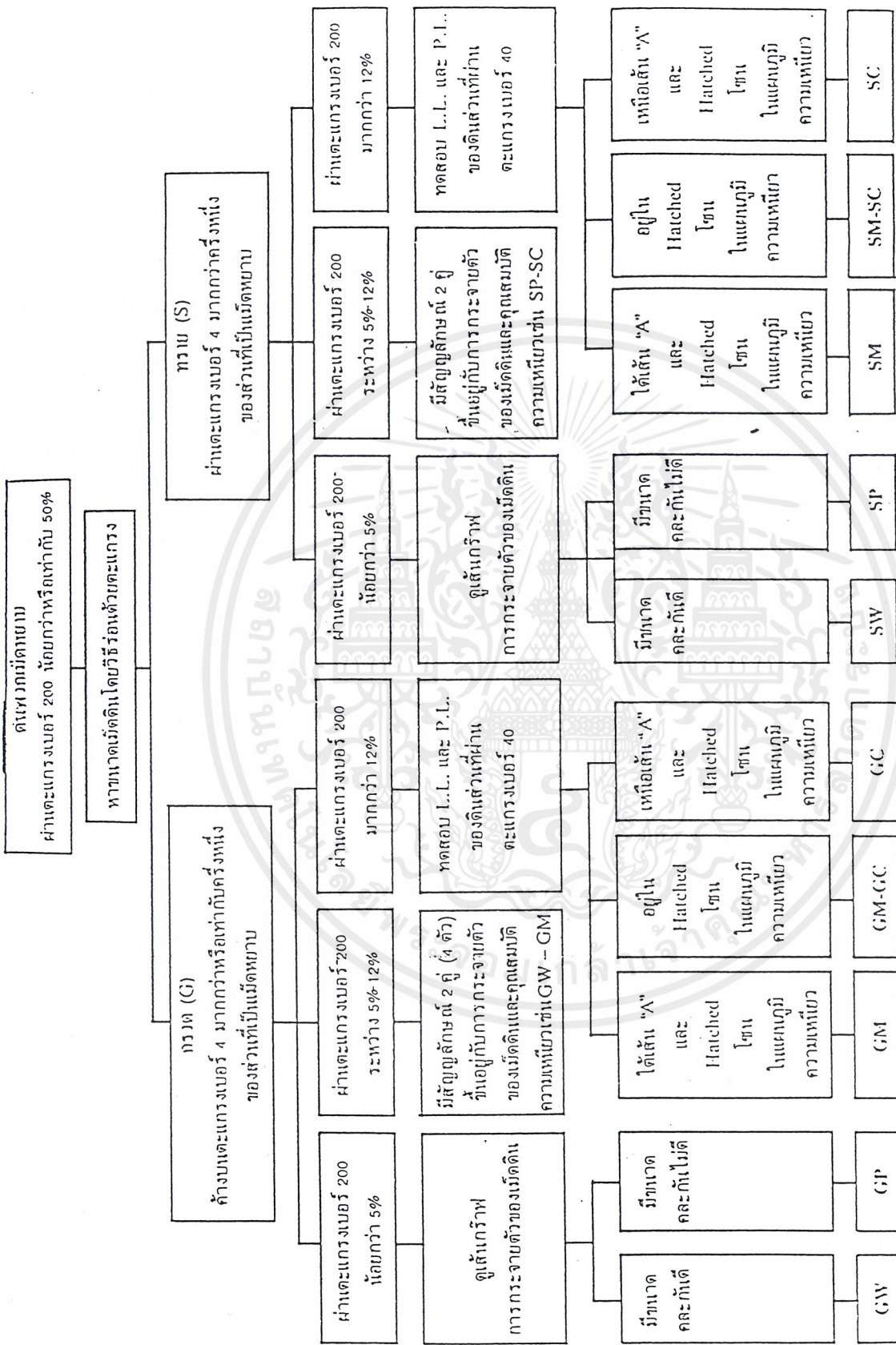
รูปที่ 2.14 สถานภาพต่างๆ ของมวลดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



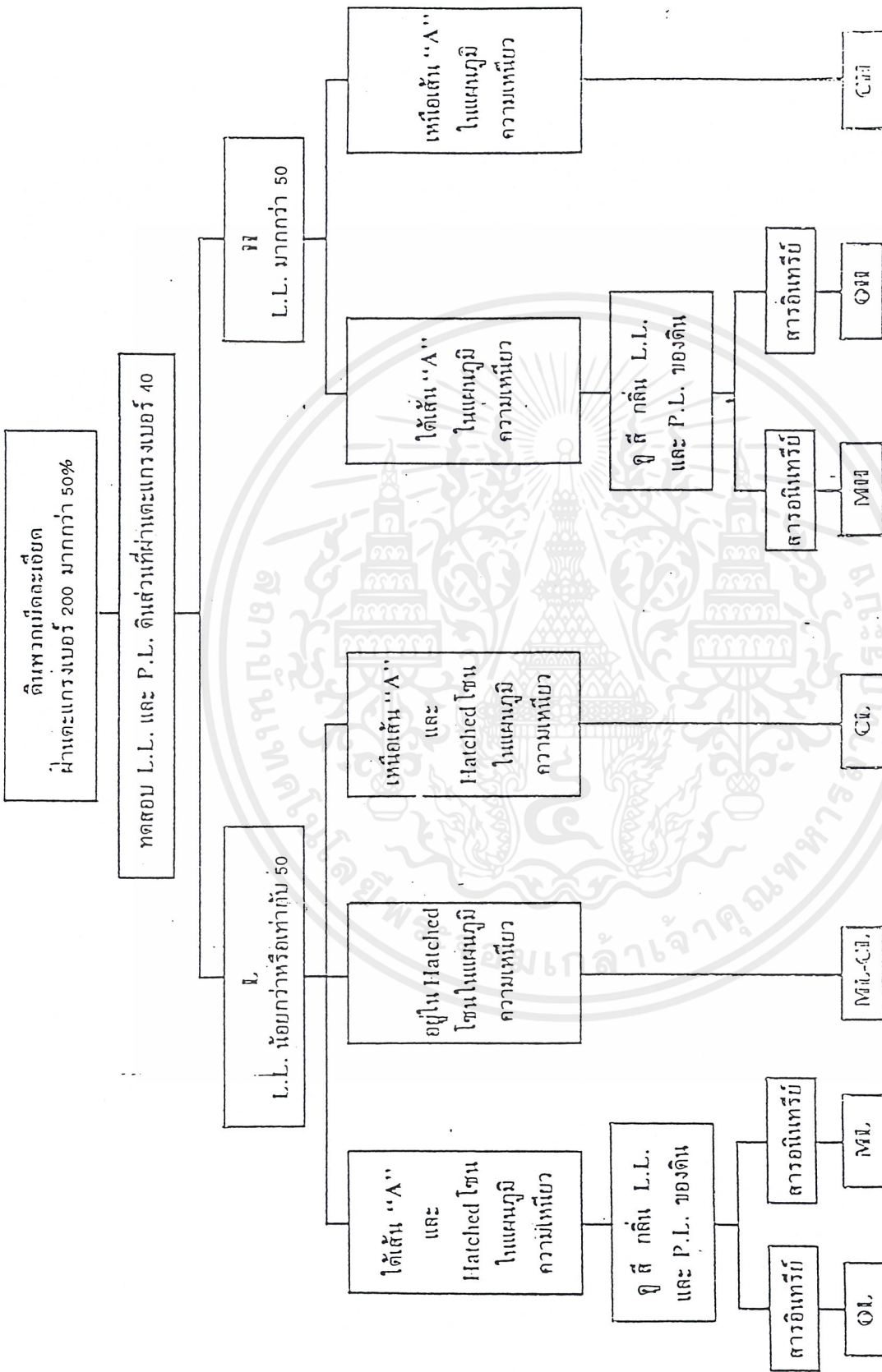
รูปที่ 2.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ UNIFIED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



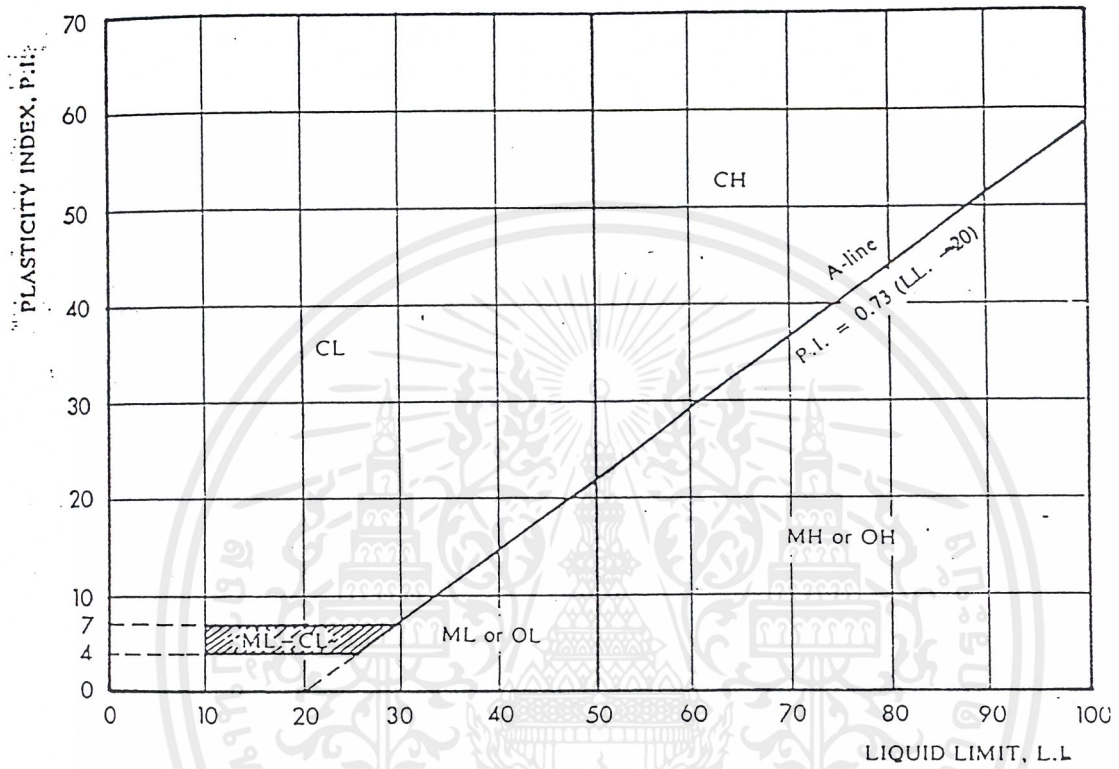
รูปที่ 2.15 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



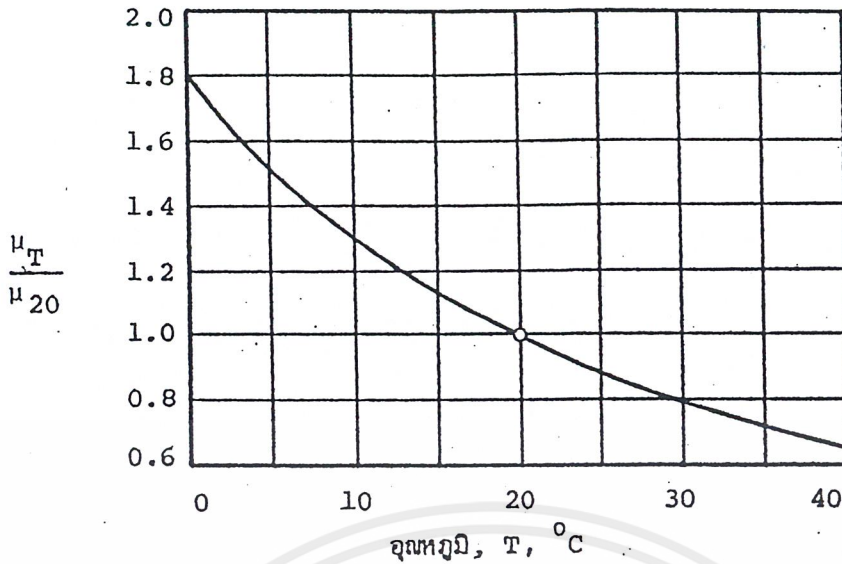
รูปที่ 2.15 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

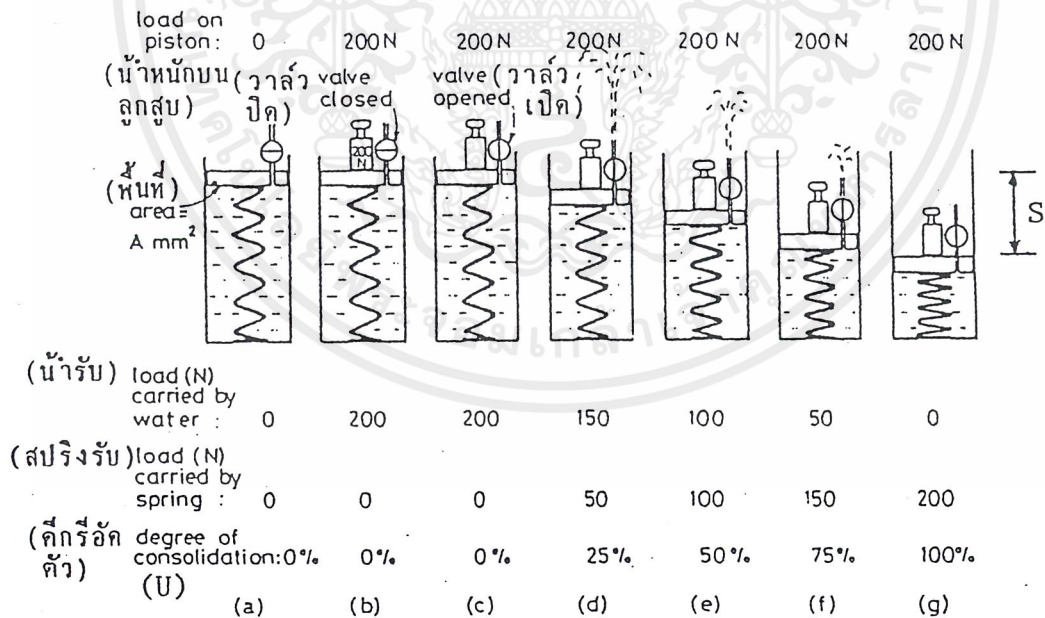


รูปที่ 2.16 แผนภูมิความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

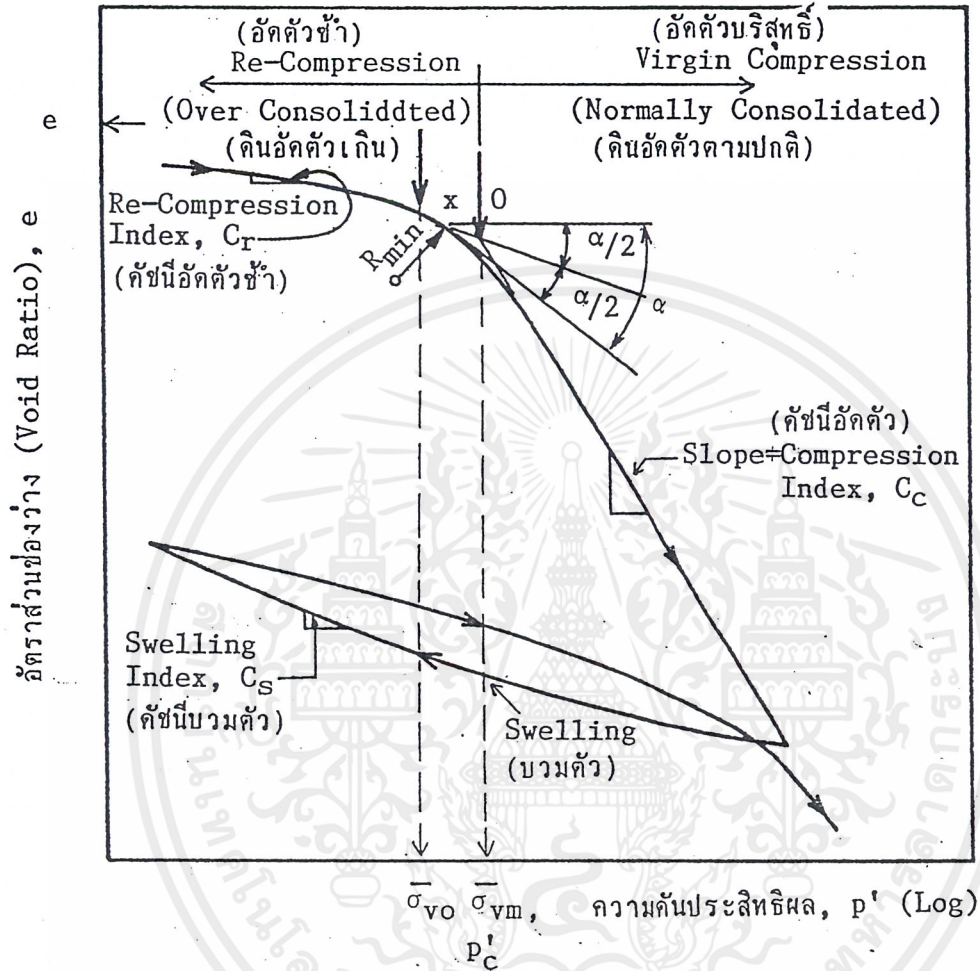


รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$  ต่อ อุณหภูมิ



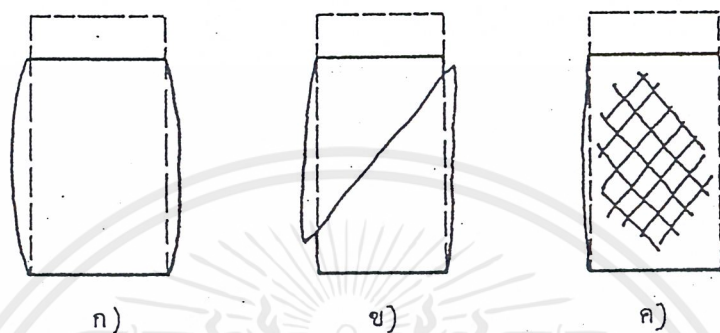
รูปที่ 2.18 แสดงหุ่นจำลองสปริงและลูกสูบ (Spring and Piston Analogy) (Taylor, 1948)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงกราฟการอัดตัวได้ (Compressibility) ของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

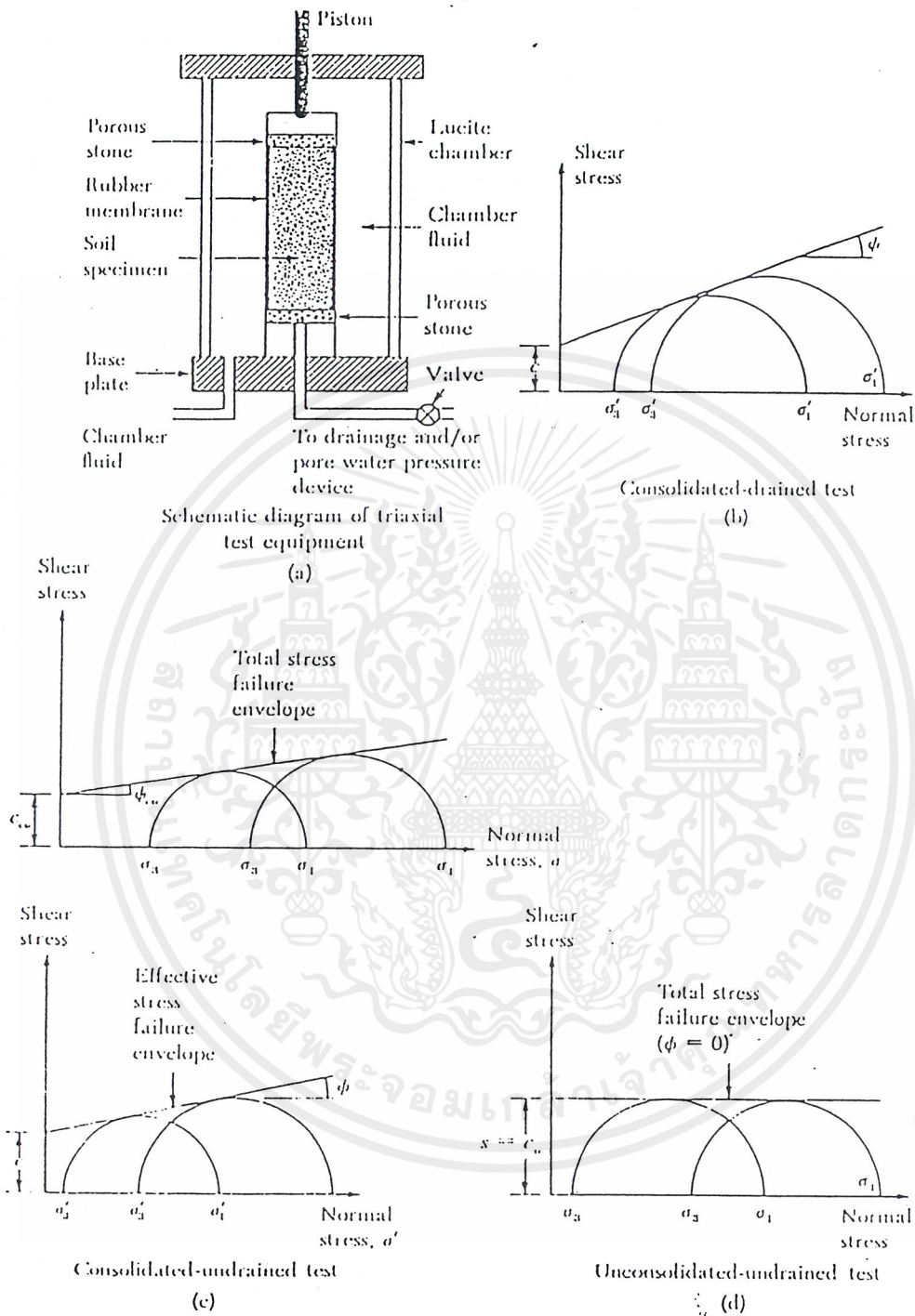


รูปที่ 2.20 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างดินเมื่อถูกกดอัด (Head, 1980)

ก) วิบัติแบบพลาสติก (Plastic Failure)

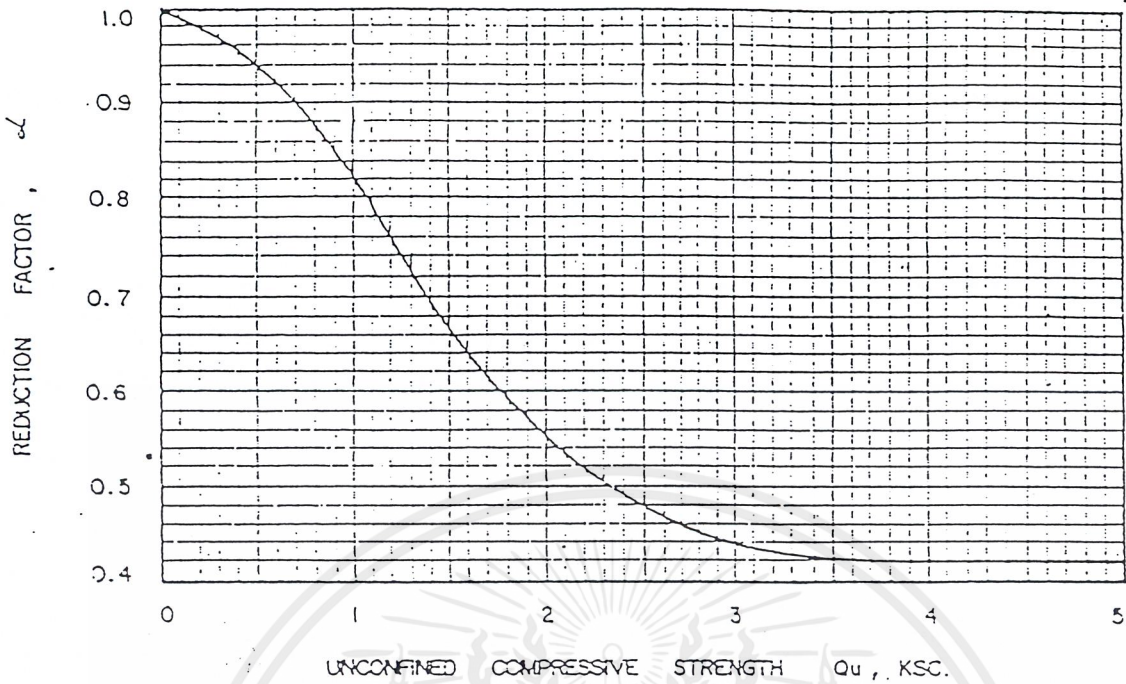
ข) วิบัติแบบเปราะ (Brittle Failure)

ค) วิบัติแบบ ก) และ ข) รวมกัน

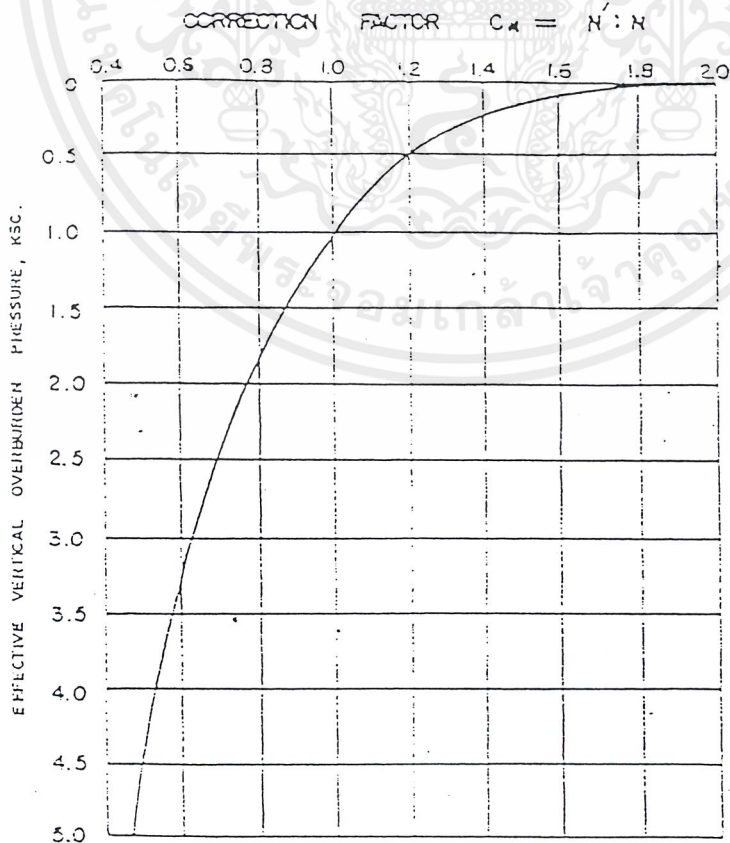


รูปที่ 2.21 Triaxial Test

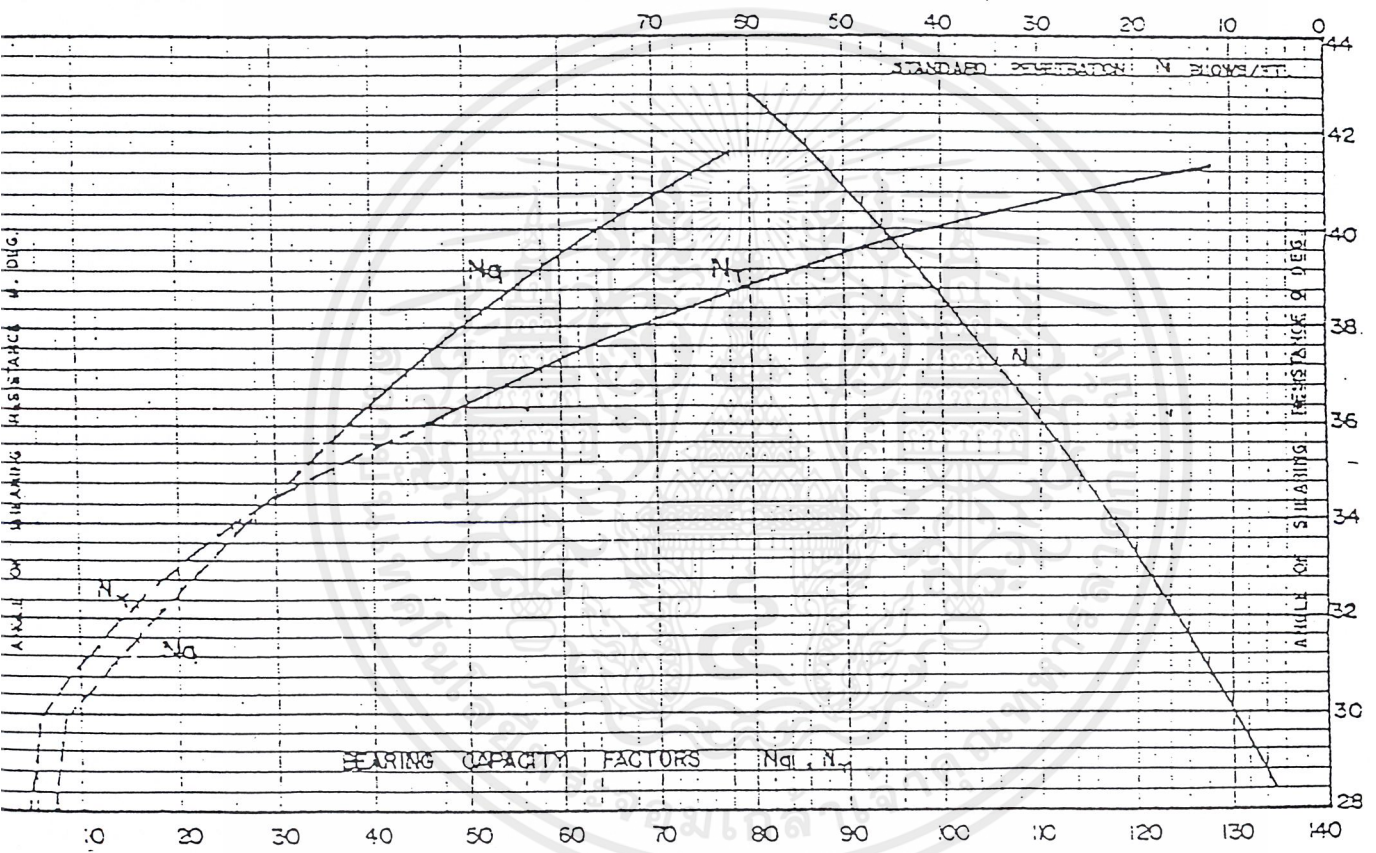
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 Unconfined Compressive Strength:  $Q_u$  (KSC) Reduction of Friction Piles in Clays with Unconfined Compressive Strength

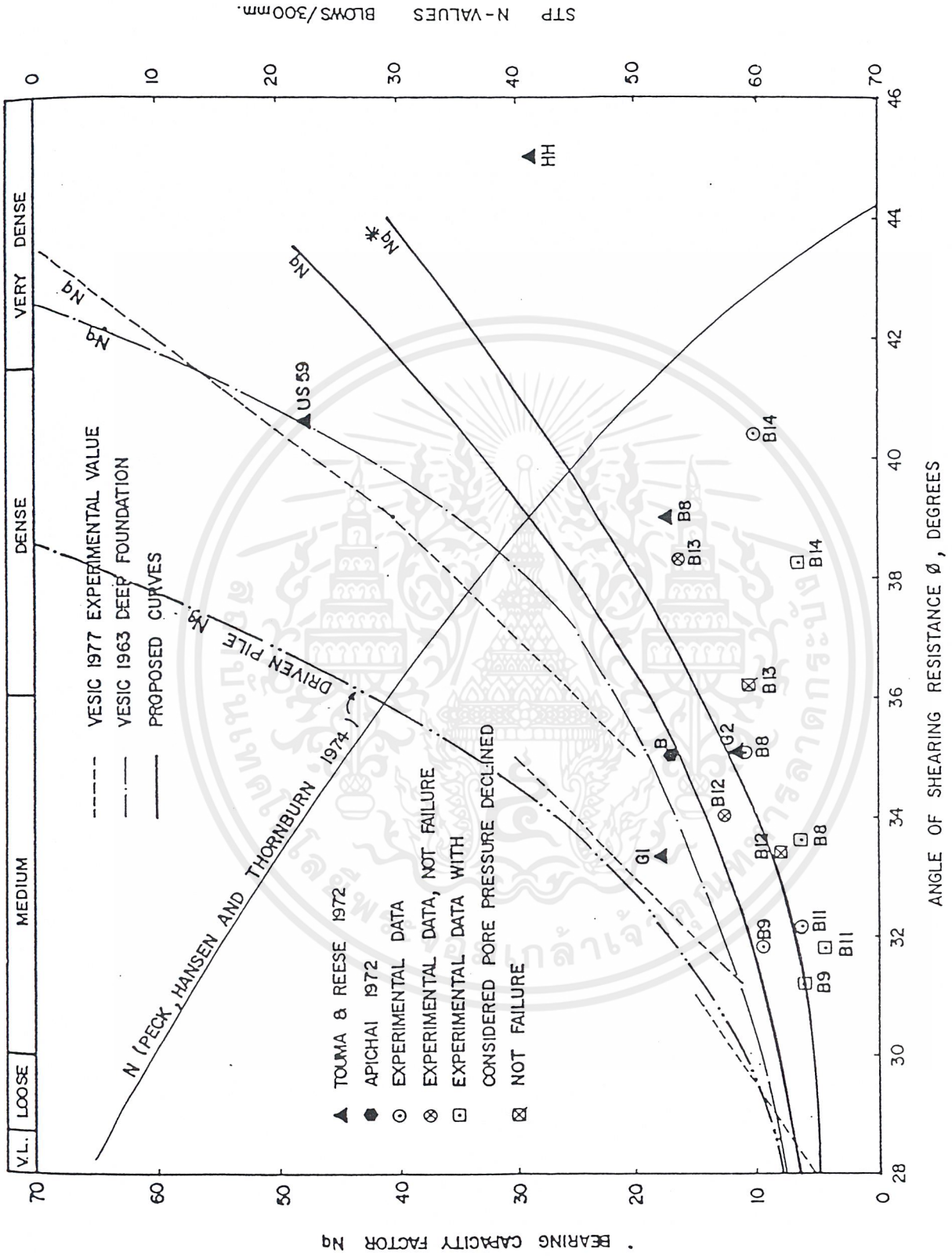


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีนี้...  
 รูปที่ 2.23 Correction of N-Values in Sand for Influence of Overburden Pressure



รูปที่ 2.24 Correction of Standard Penetration with Bearing Capacity Factors and Angle of Shearing Resistance

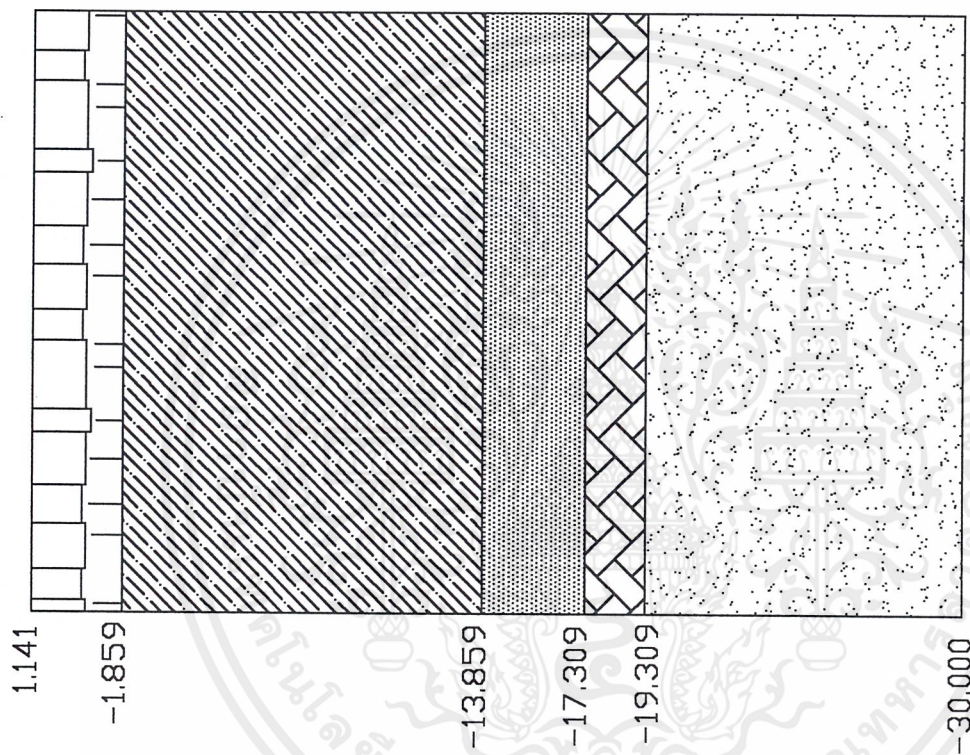
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 Relationship between  $\phi$ ,  $N_q$  and N-Values for Bored Pile

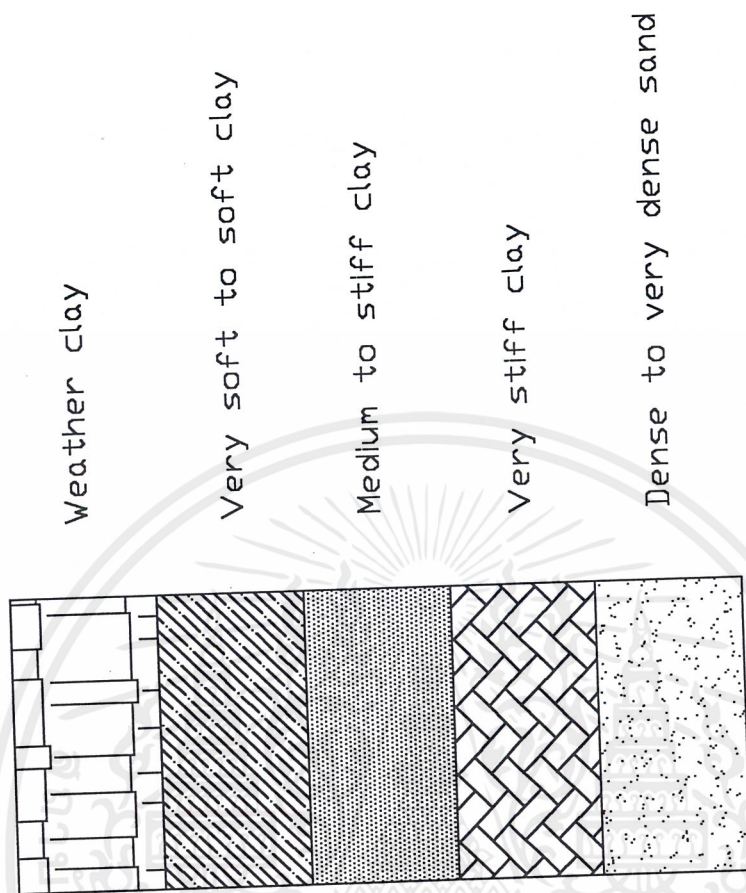
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





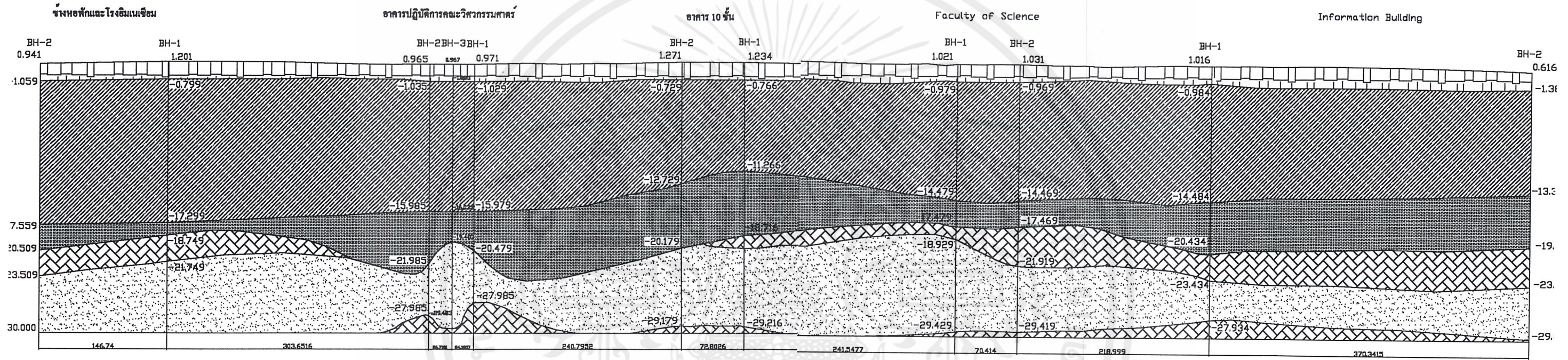
รูปที่ 4.1 รูปแสดงลักษณะชั้นดินบริเวณท่าเรือท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



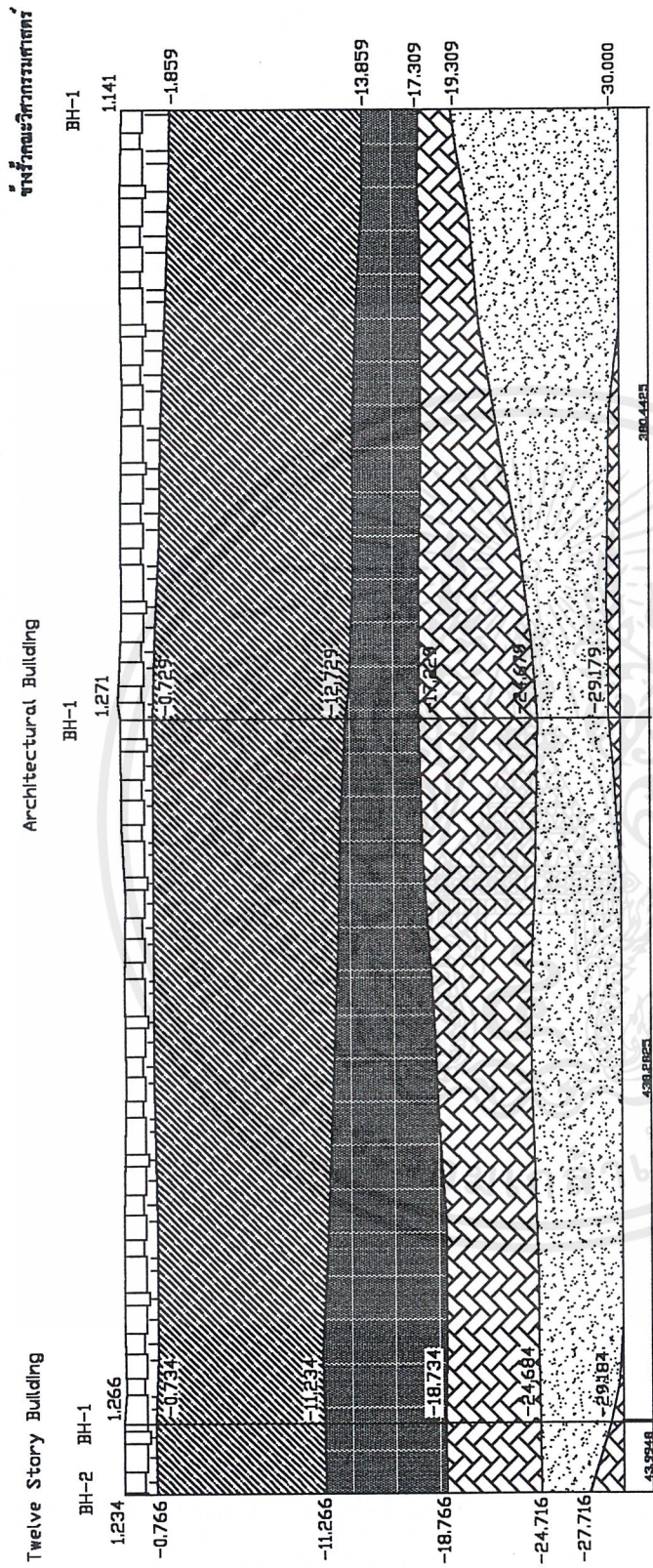
รูปที่ 4.2 แสดงสัญลักษณ์ลักษณะชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



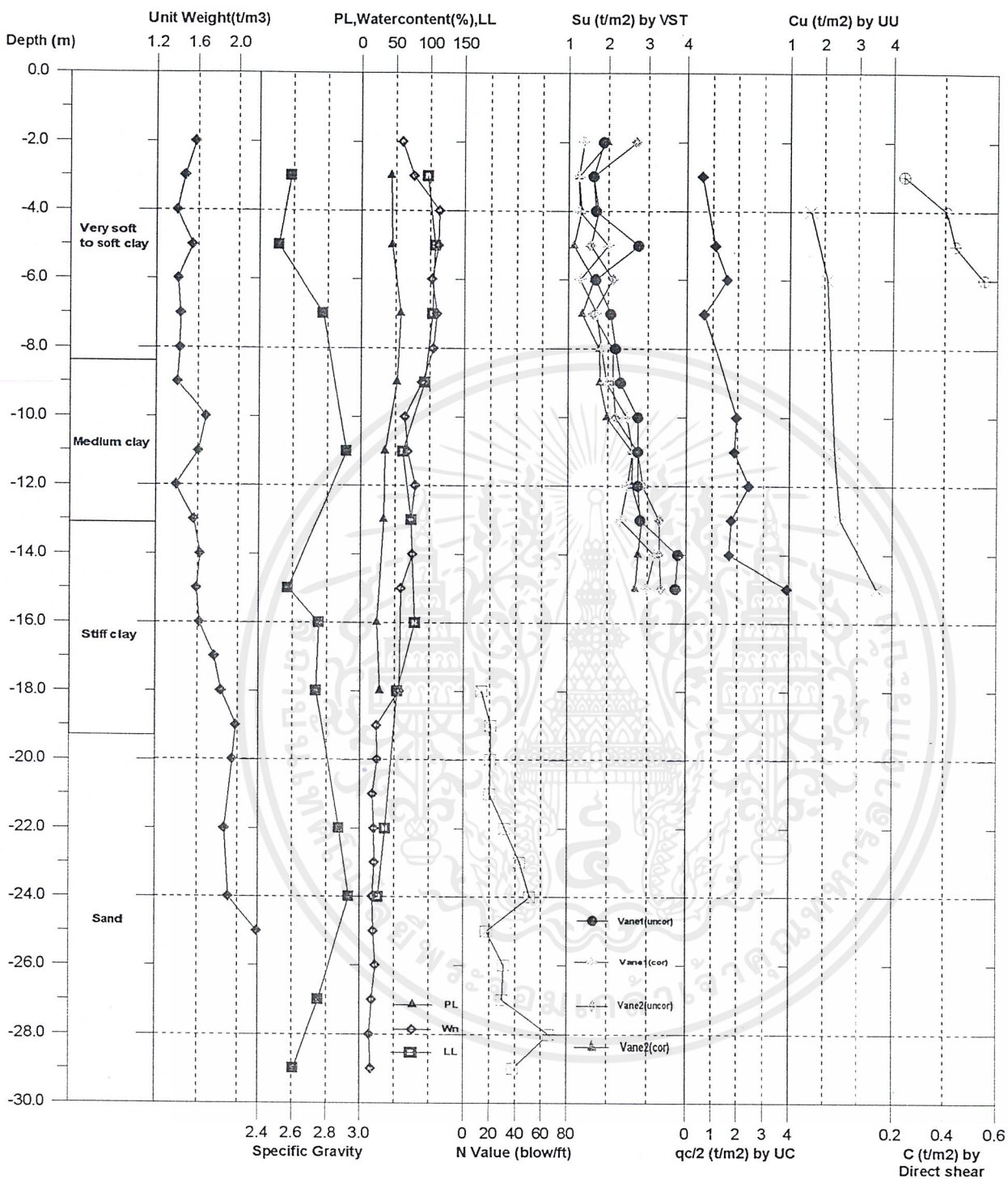
รูปที่ 4.3 รูปแสดงรูปตัดชั้นดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ส่วนที่ 1)

รูปที่ 4.4 รูปแสดงรูปตัดชั้นดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ส่วนที่ 2)



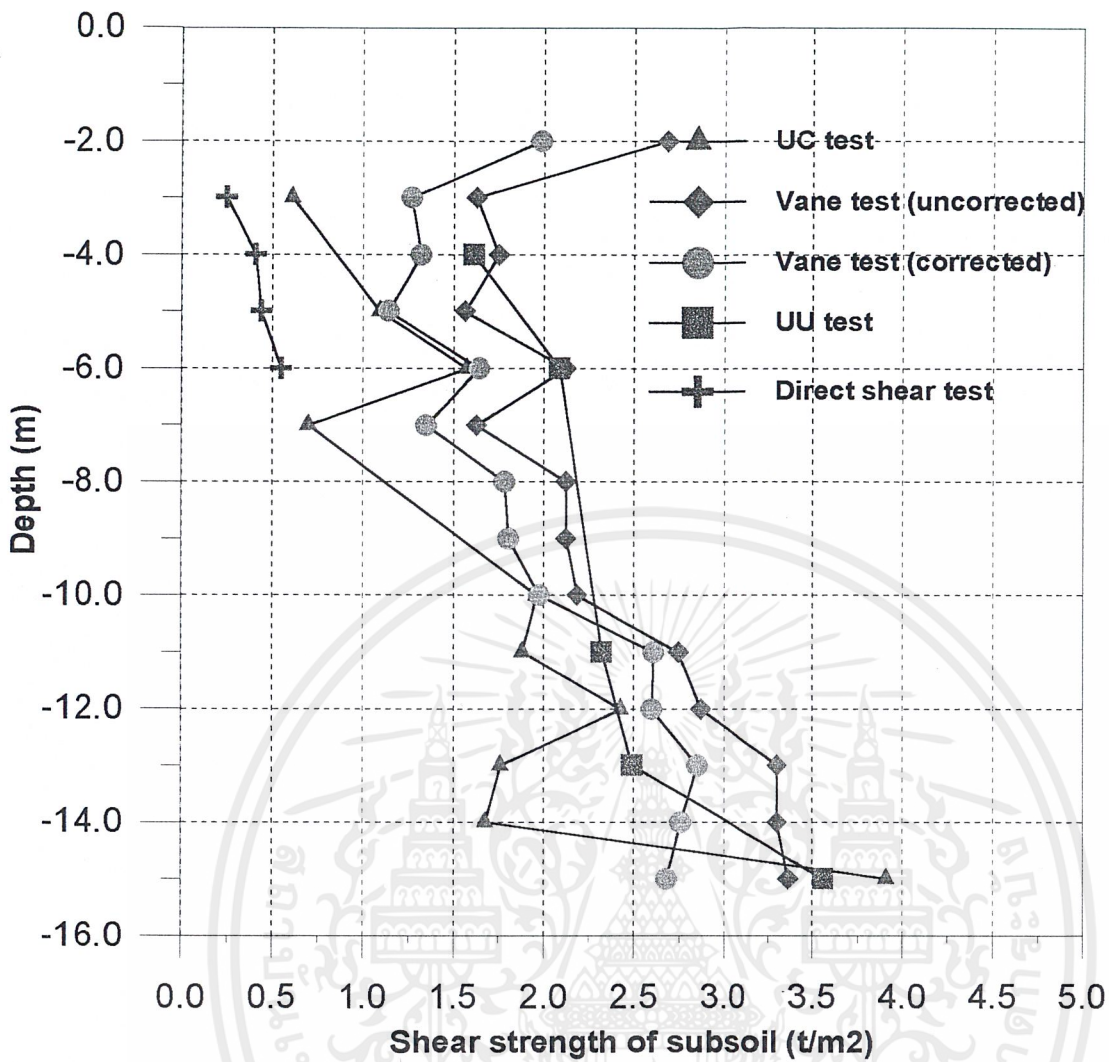
รูปที่ 4.5 รูปแสดงรูปตัดดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ส่วนที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



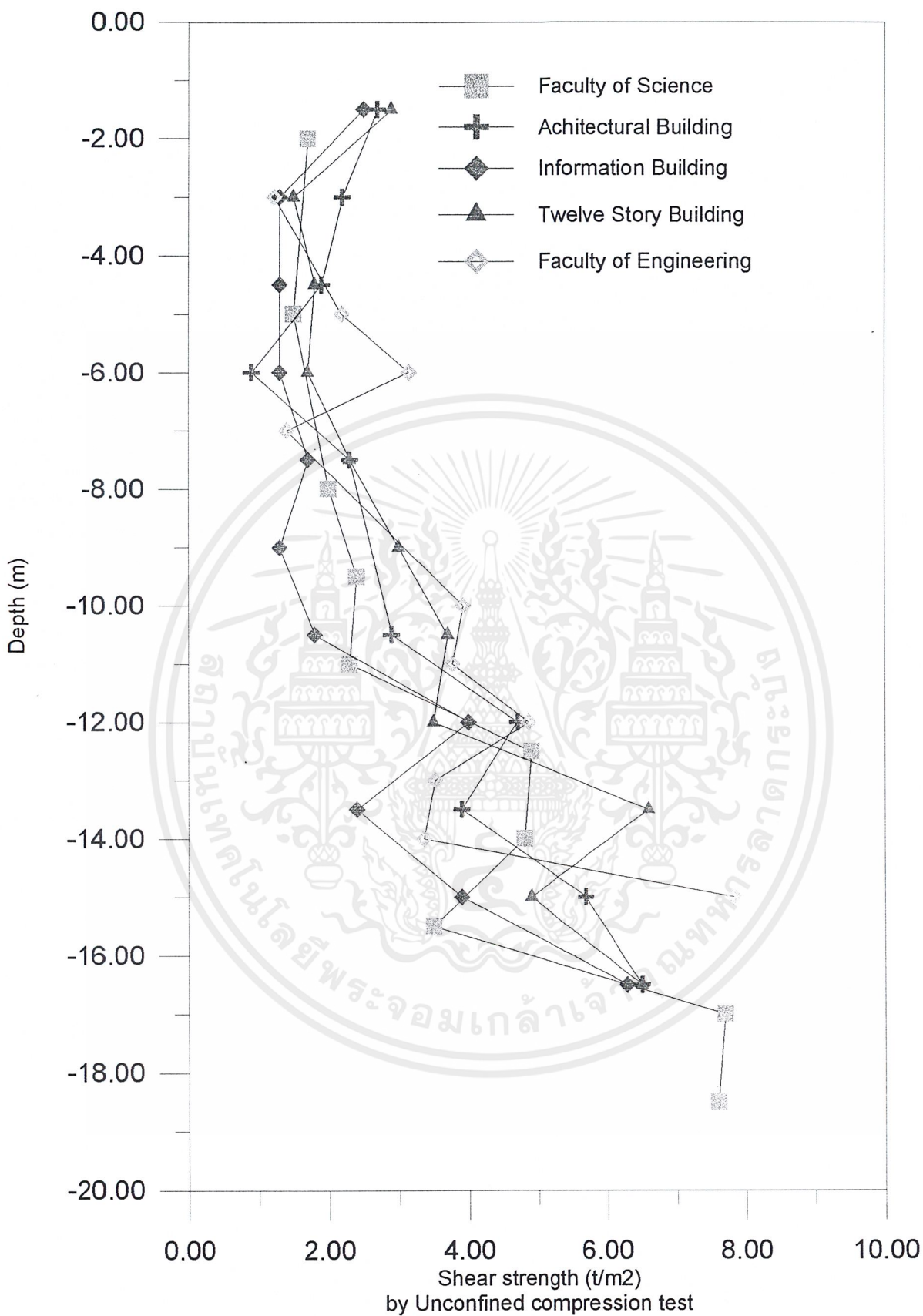
รูปที่ 4.6 General soil profile and soil properties of the subsoil at KMIT'L.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



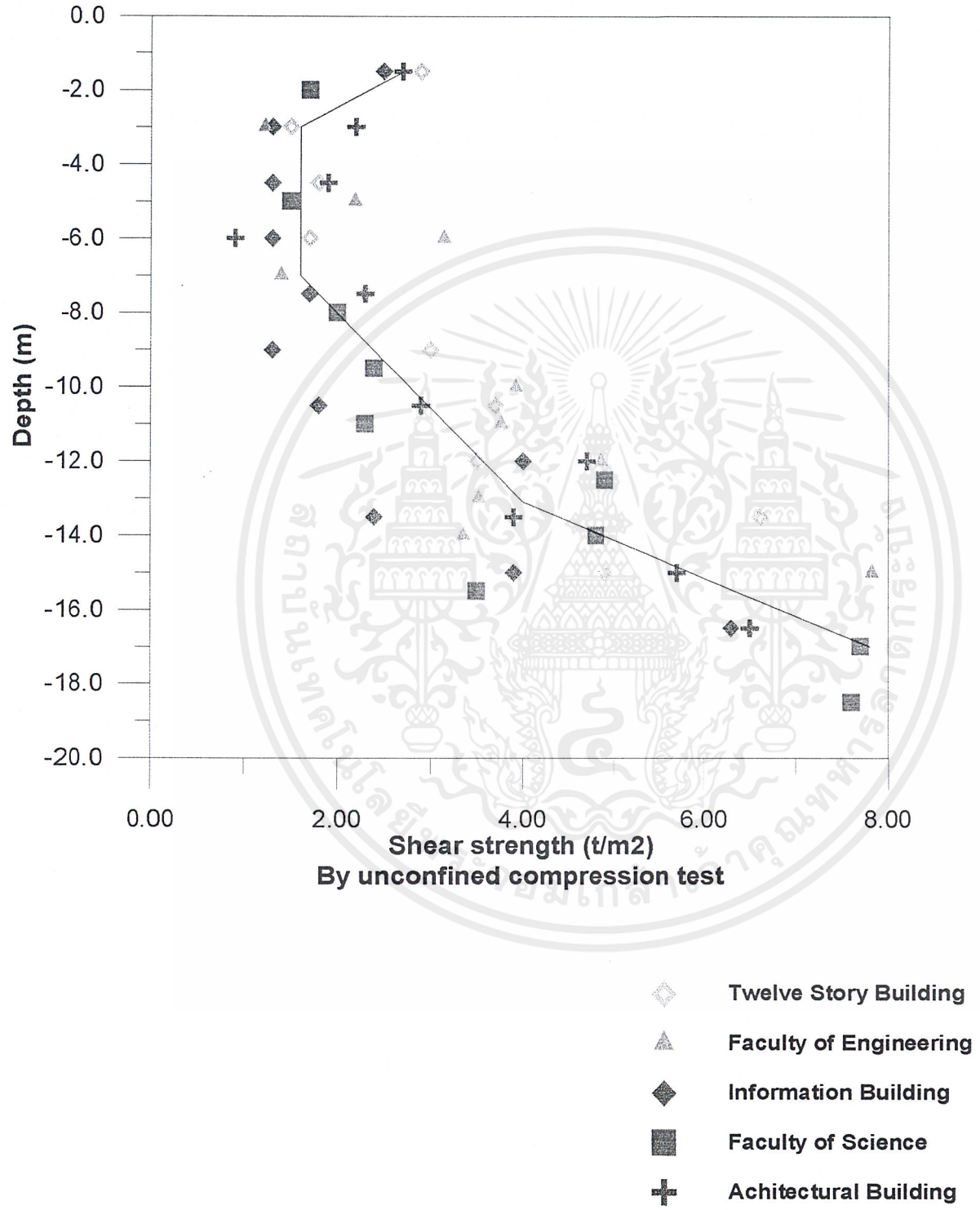
รูปที่ 4.7 Comparison of strength derived from different methods at faculty of Engineering (KMIT'L).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Comparison of strength by unconfined compression test derived from different locations at the KMITL campus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 Strength of subsoil by unconfined compression test derived from different locations at the KMIT'L campus in Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG THE SECOND BANGKOK INTERNATIONAL AIRPORT (NONG NGU HAO)

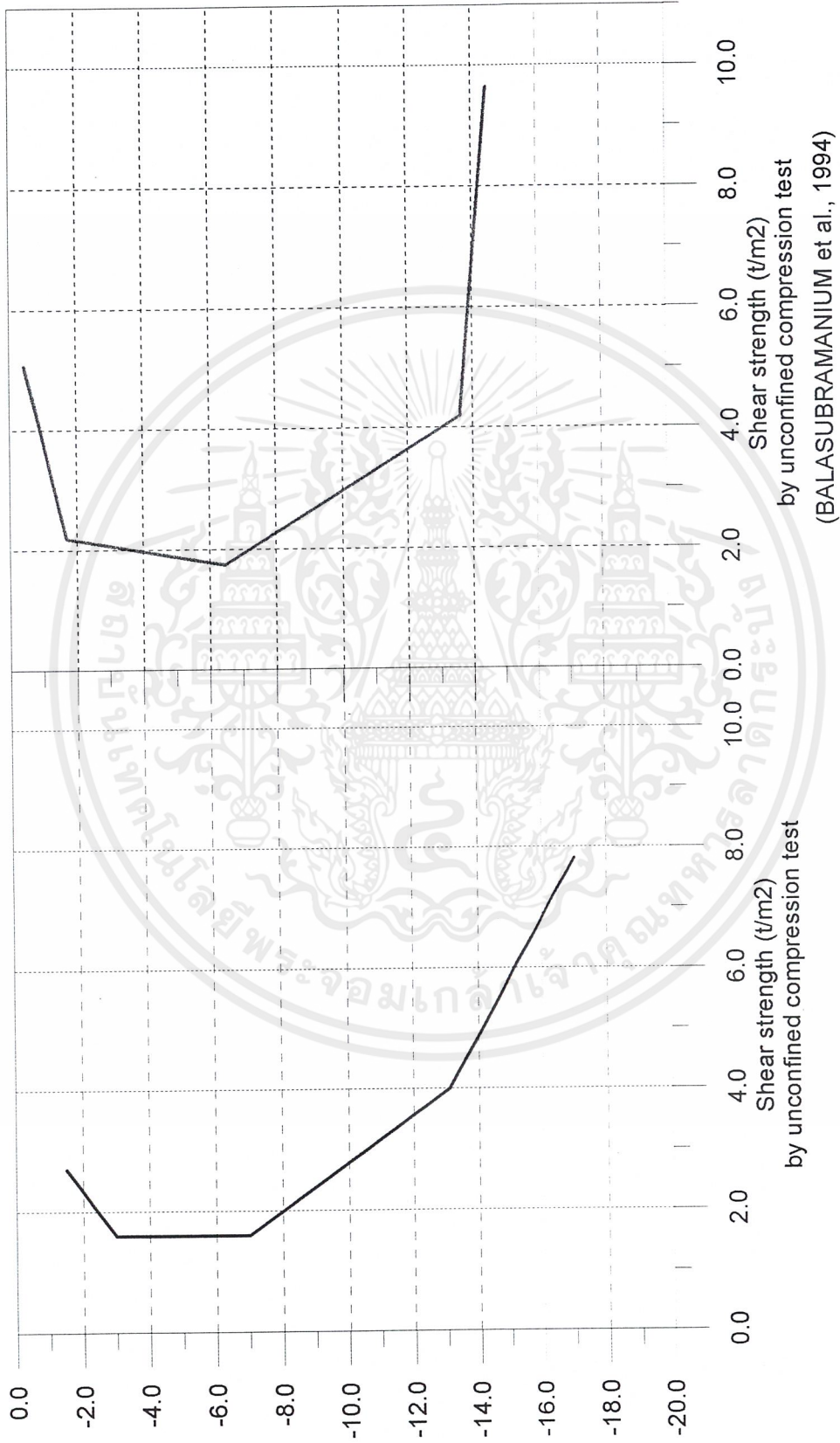
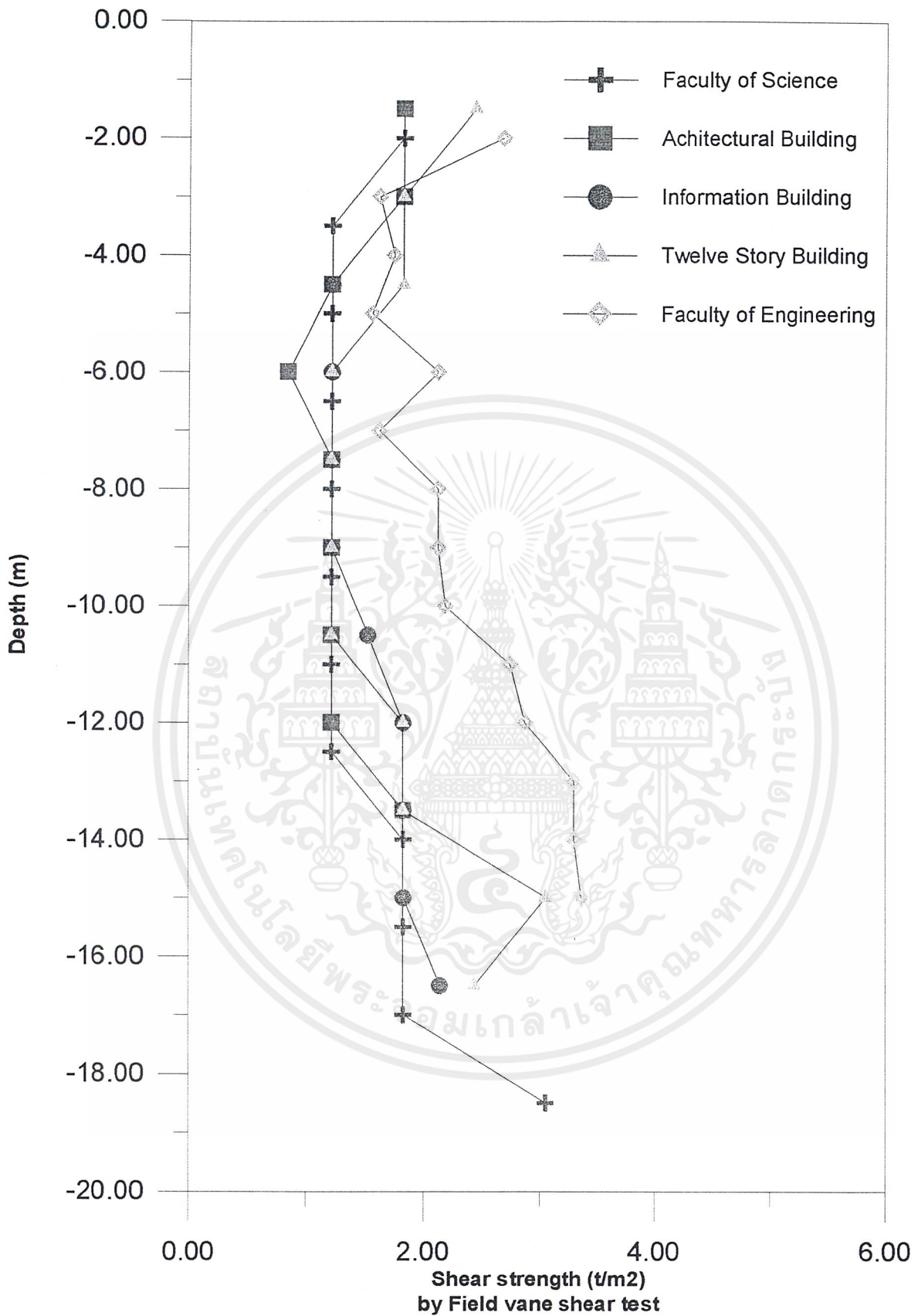


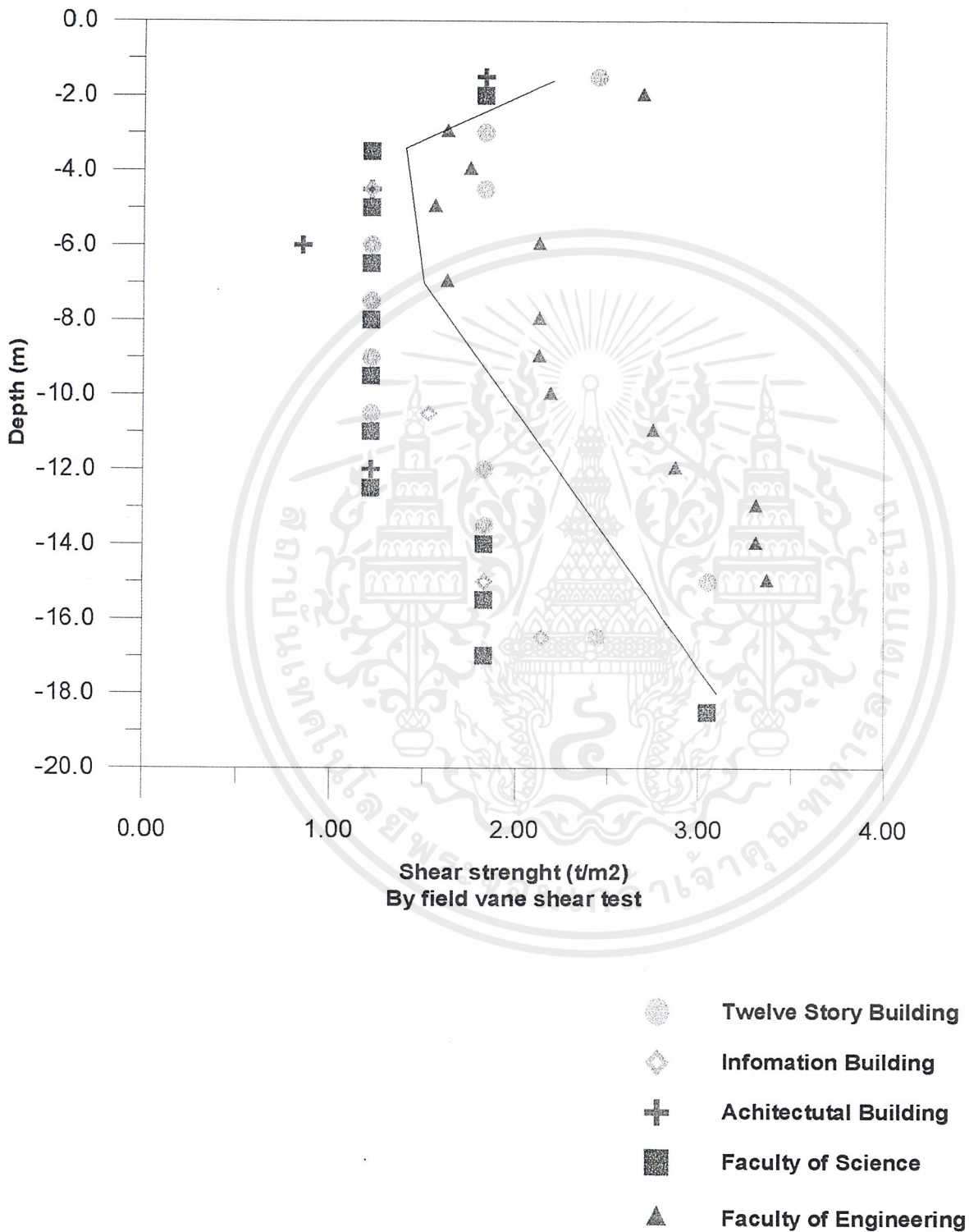
Figure 4-10 Comparison of strength by unconfined compression test that are derived from KMIT'L and NONG NGU HAO.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ  
รูปที่ 4-10



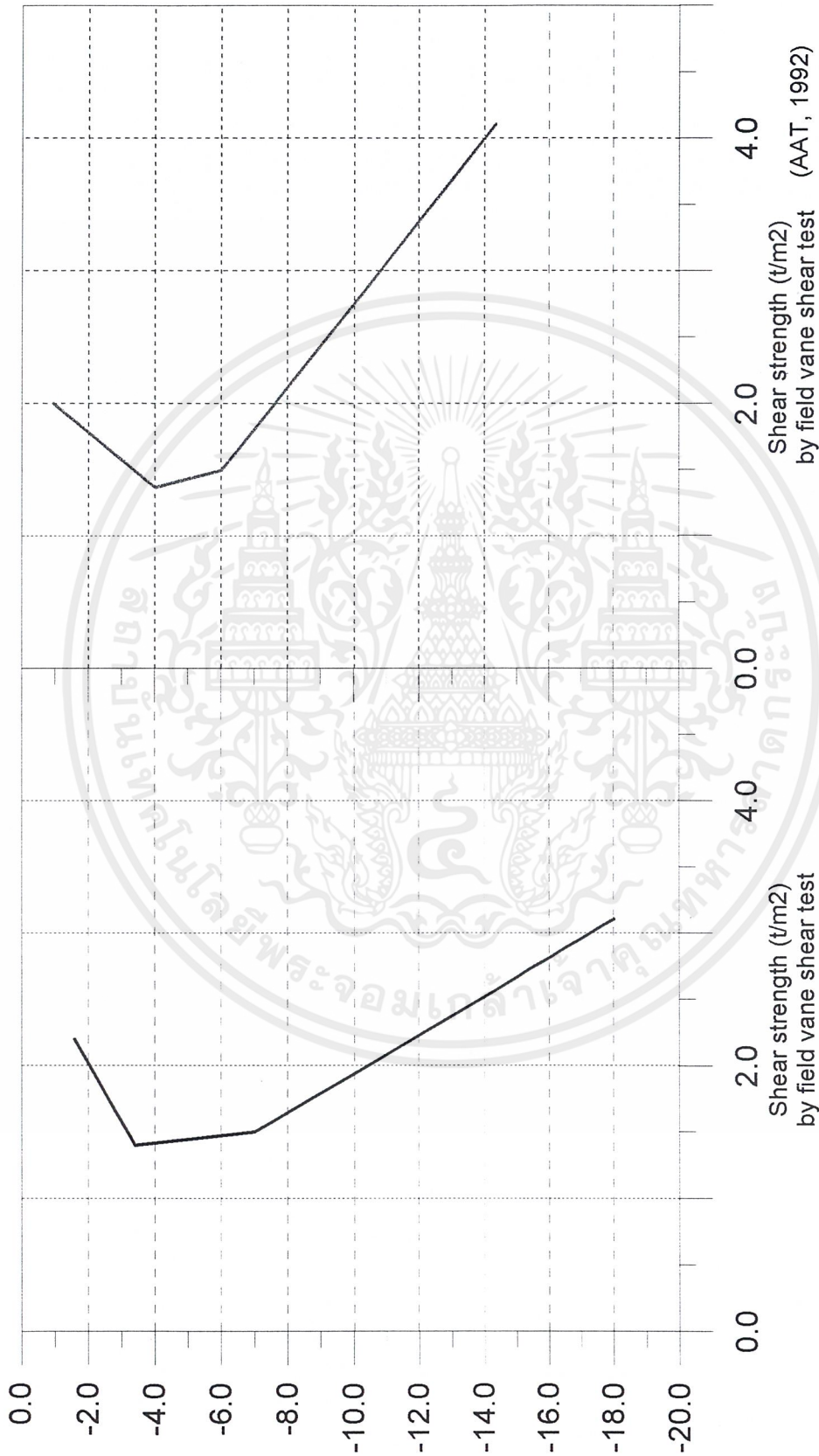
รูปที่ 4.11 Comparison of strength by Field vane shear test derived from different locations at the KMIT'L campus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



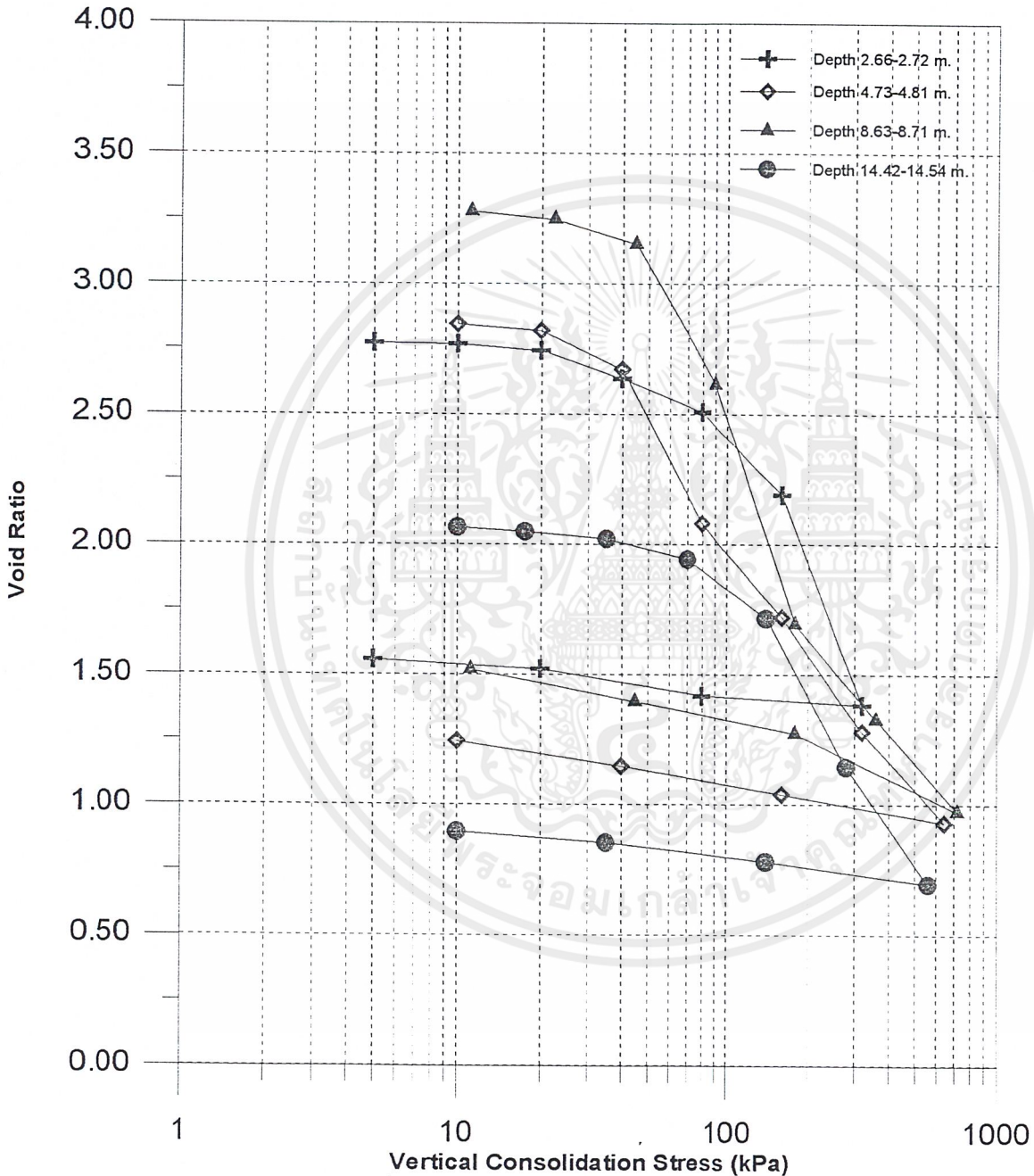
รูปที่ 4.12 **Strength of subsoil by field vane shear test derived from different locations at the KMIT'L campus in Bangkok.**  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคุณนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
LADKRABANG THE SECOND BANGKOK INTERNATIONAL AIRPORT  
( NONG NGU HAO )



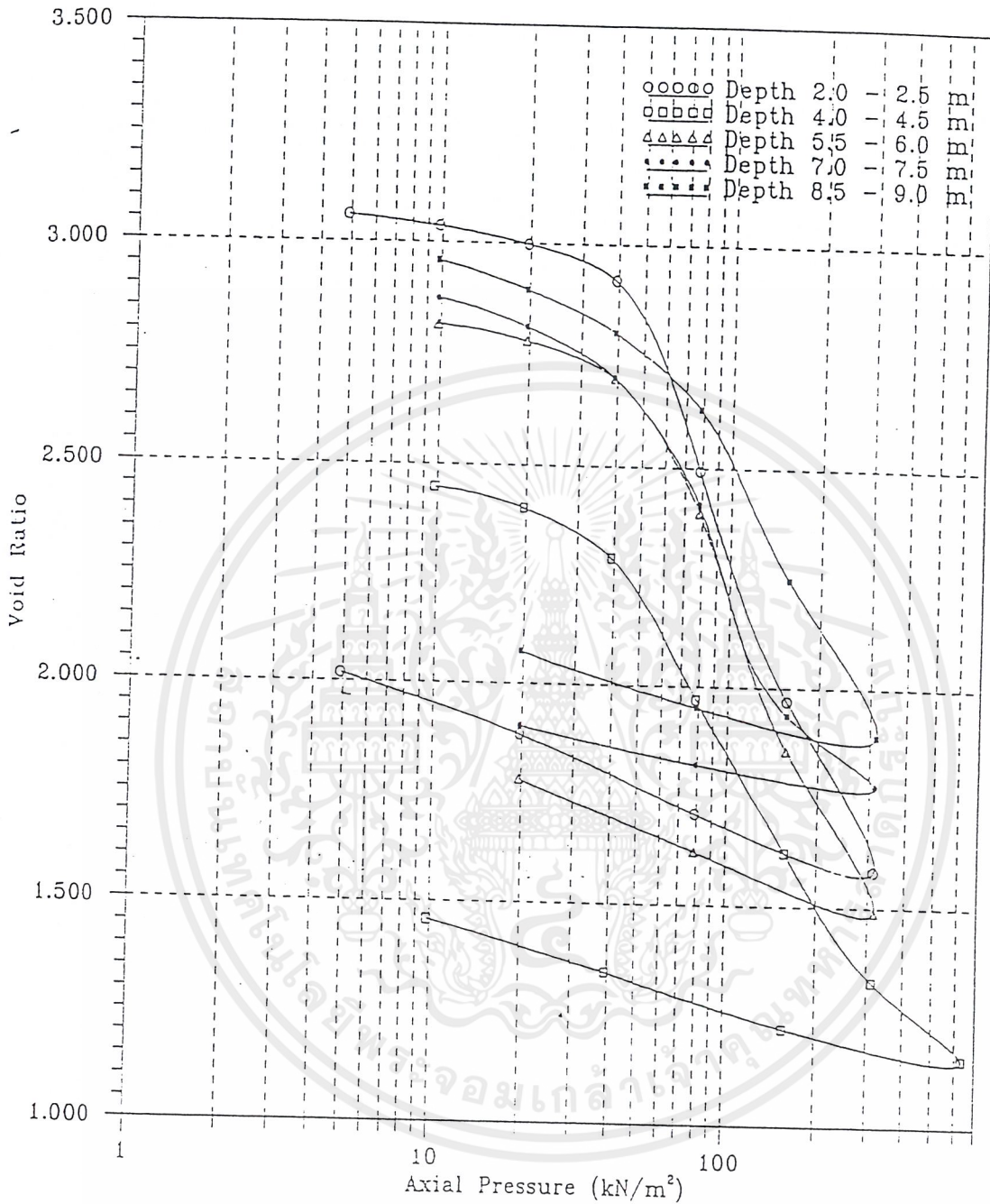
รูปที่ 4.13 Comparison of strength by field vane shear test that are derived from KMITL and NONG NGU HAO.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14(A) Consolidation Curves for borehole in faculty of Engineering at the KMIT'L campus.

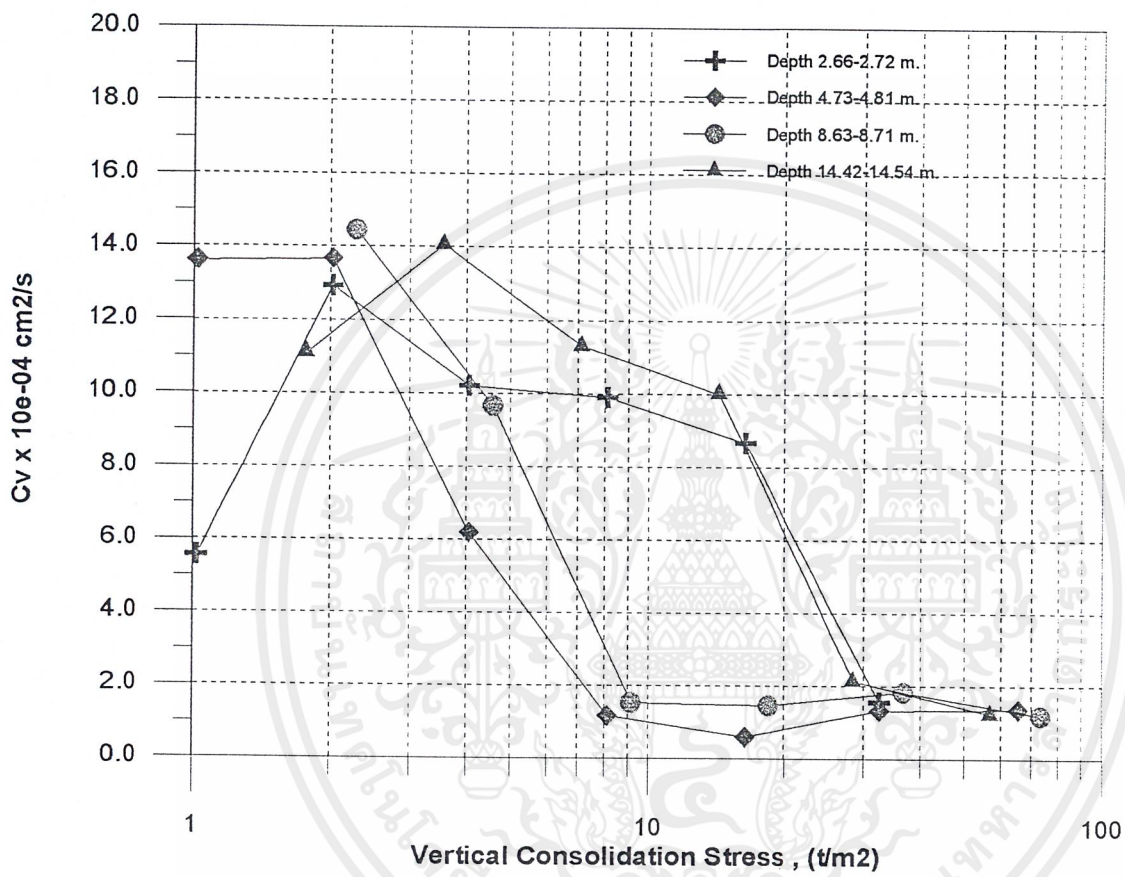
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (B) Consolidation Curves for BH- 2 (Vertical)

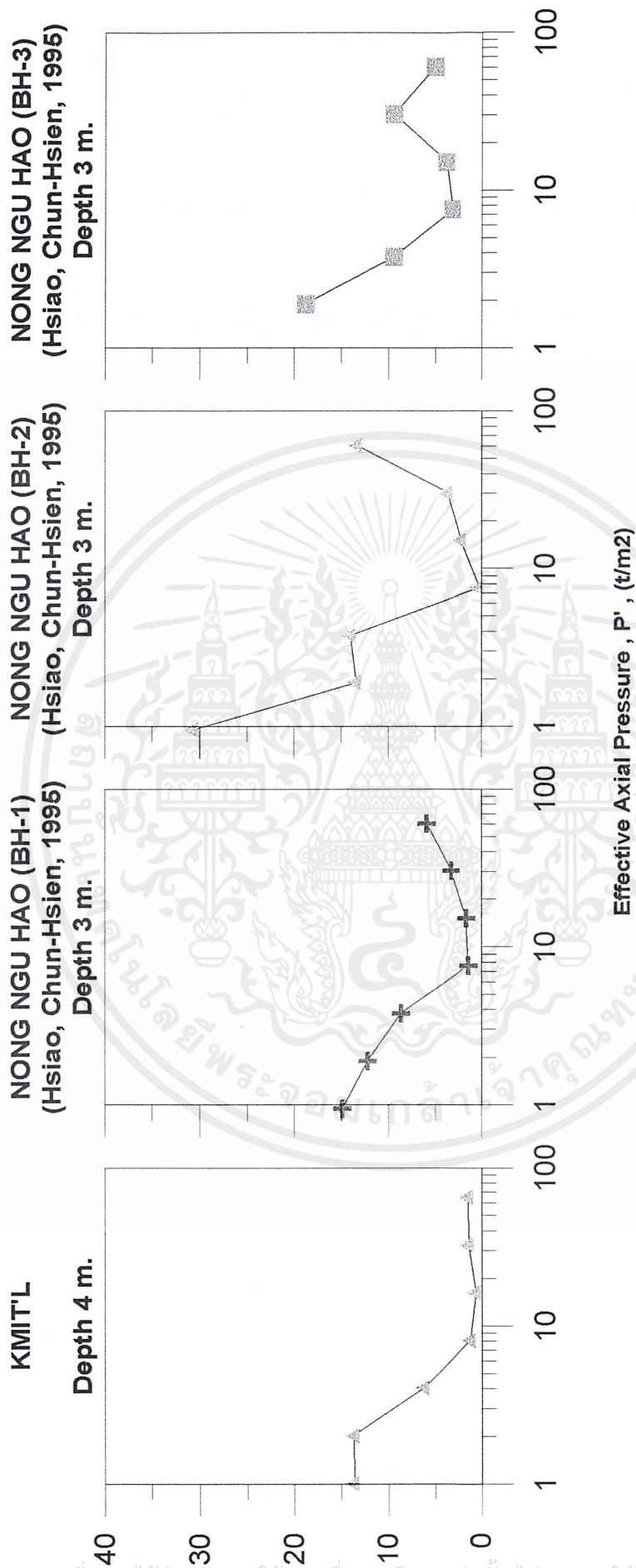
(BALASUBRAMANIAM et al. 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 Applied pressure versus coefficient of consolidation derived from faculty of engineering at the KMITL campus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



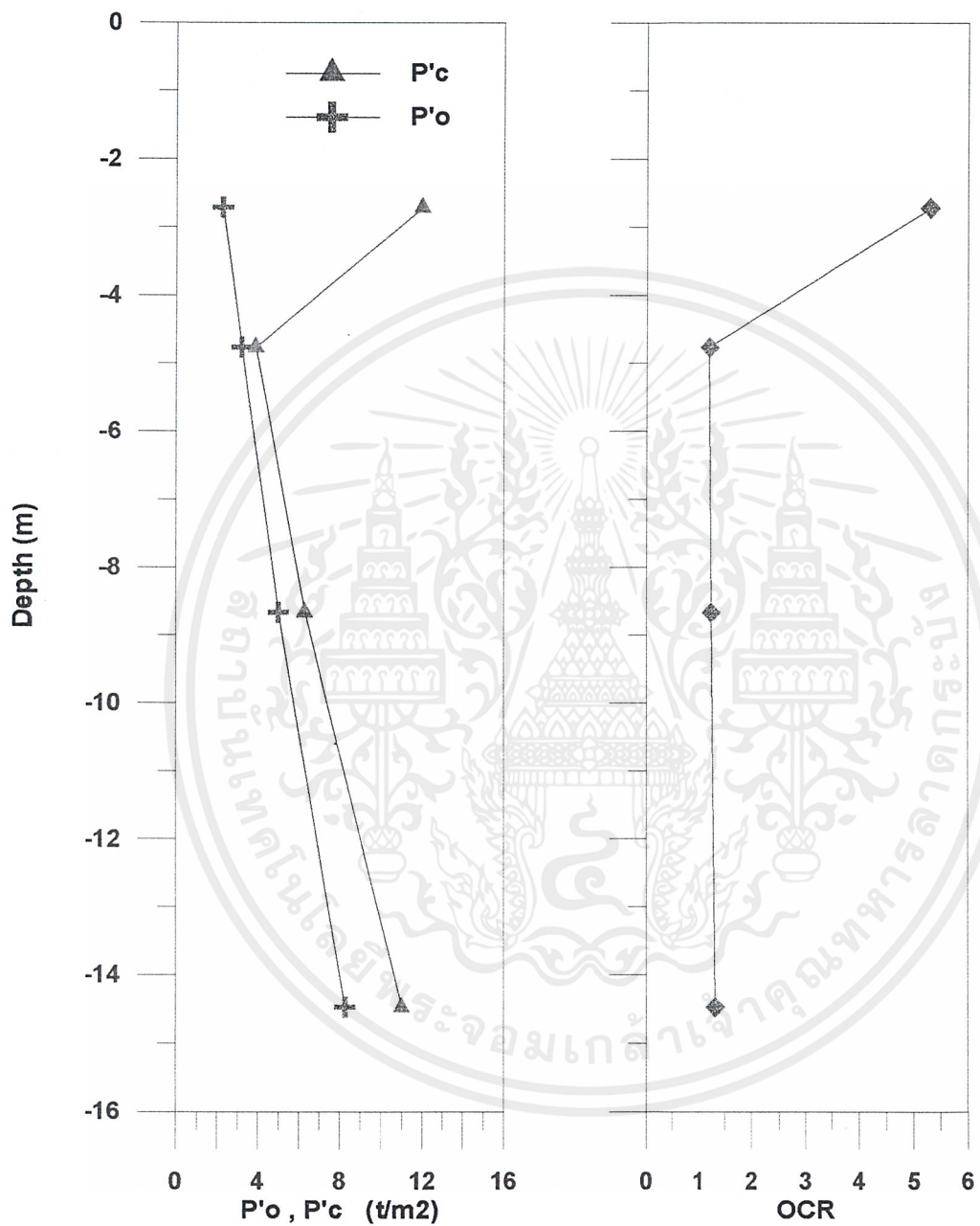
รูปที่ 4.16 comparison of coefficient of consolidation,  $C_v$  derived from KMIT'L and NONG NGU HAO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำสิ่งนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



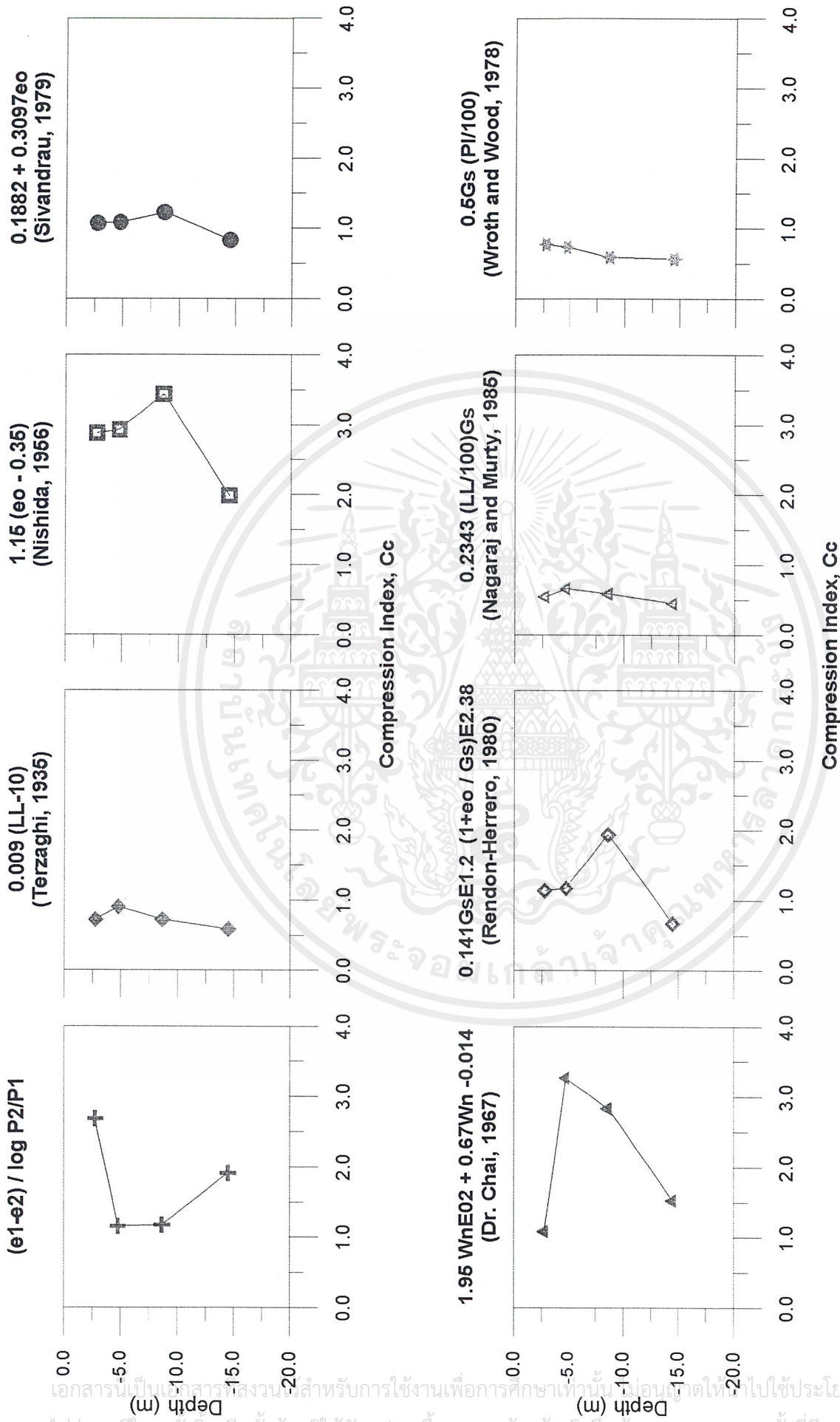
รูปที่ 4.17 comparison of coefficient of consolidation, Cv derived from KMIT'L and NONG NGU HAO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้แก่ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์บรรณสารฯ



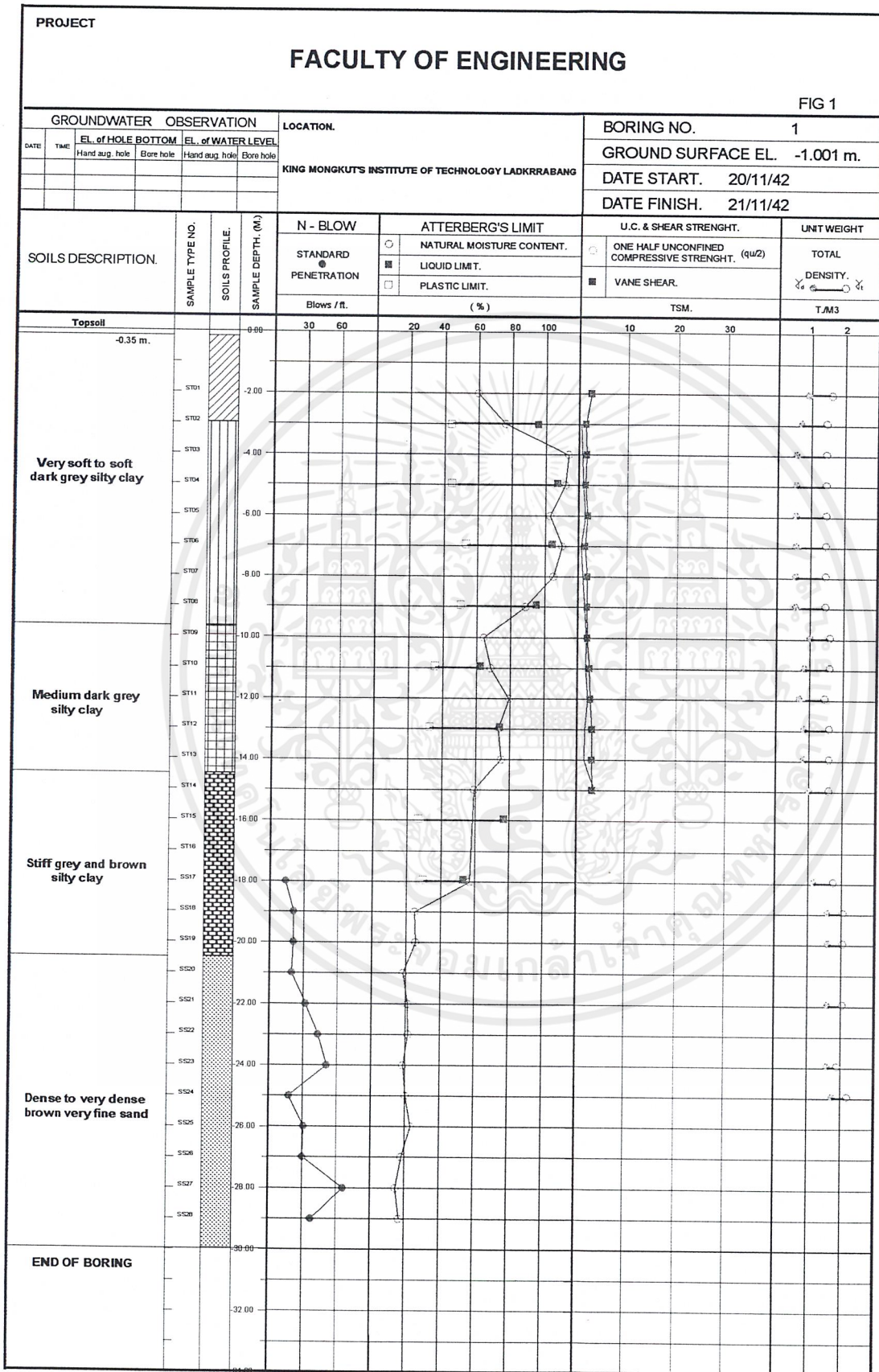
รูปที่ 4.18 Maximum past pressure (P'c) , Overburden pressure (P'o) and Overconsolidation ratio (OCR) derived from faculty of Engineering at the KMIT'L campus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 Comparison of compression index, Cc derived from different formulas.

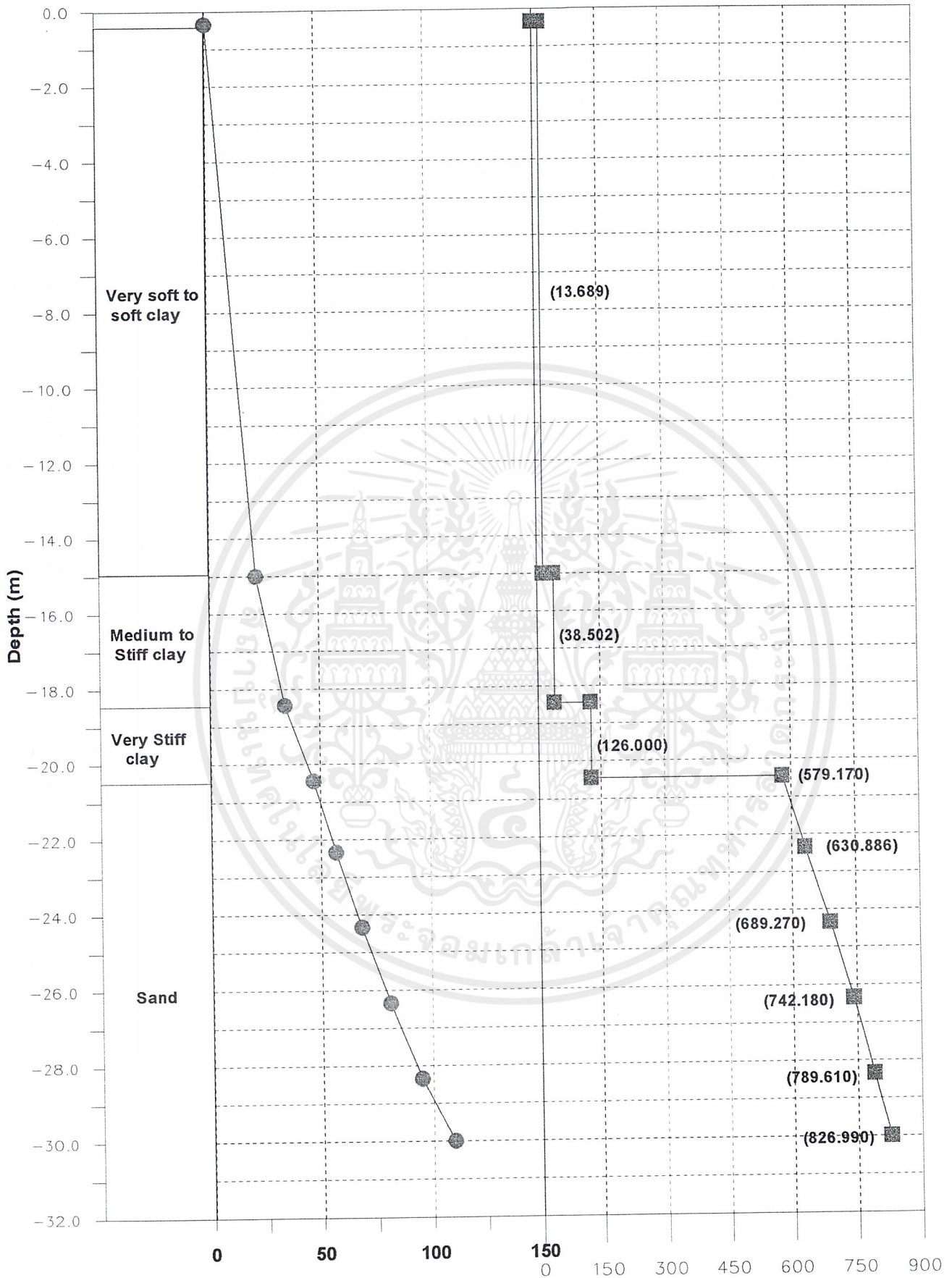
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



เอกสารรูปที่ 4.20 การที่สร้างรูปแสดงลักษณะ Boring log บริเวณข้างรั้วคณะวิศวกรรมศาสตร์ โยชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Skin Friction (t/m)

End Bearing (t/m<sup>2</sup>)

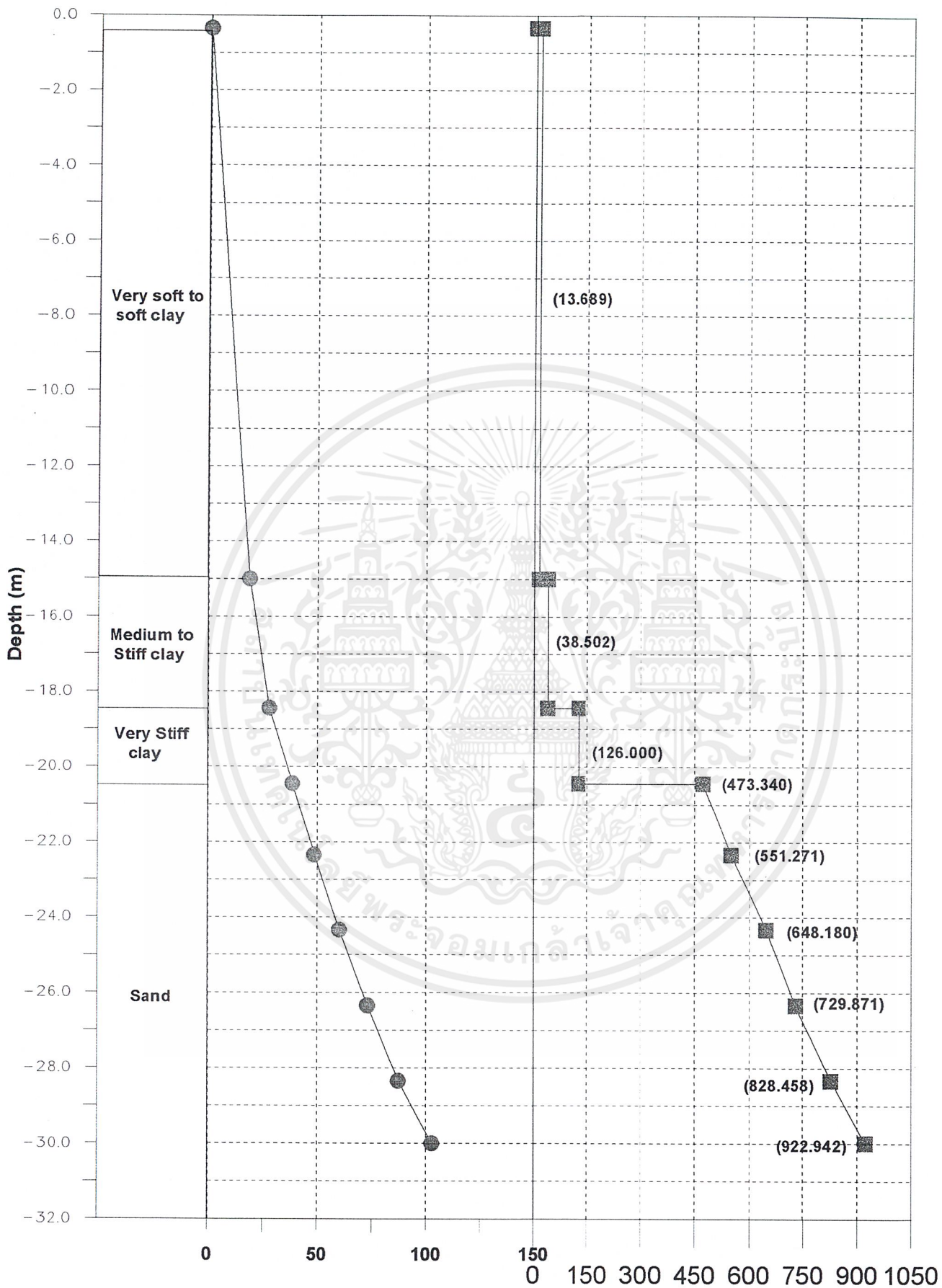


รูปที่ 4.21 Allowable Capacity of Driven Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Skin Friction (t/m)

End Bearing (t/m<sup>2</sup>)



รูปที่ 4.22

Allowable Capacity of Bored Pile

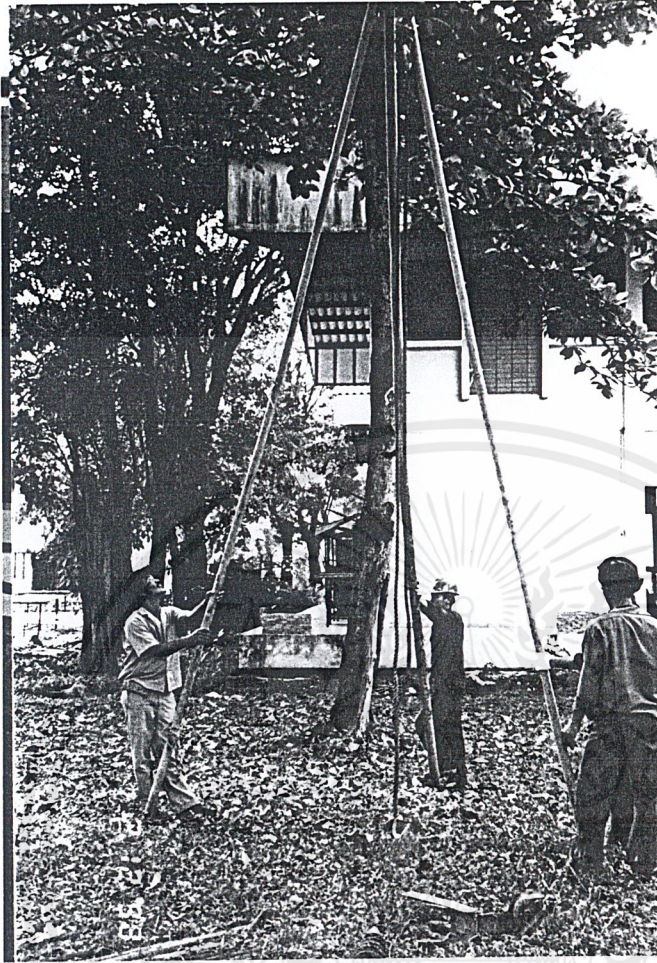
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดที่ปรากฏในเอกสารนี้ไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค รูปถ่ายประกอบการดำเนินการศึกษา

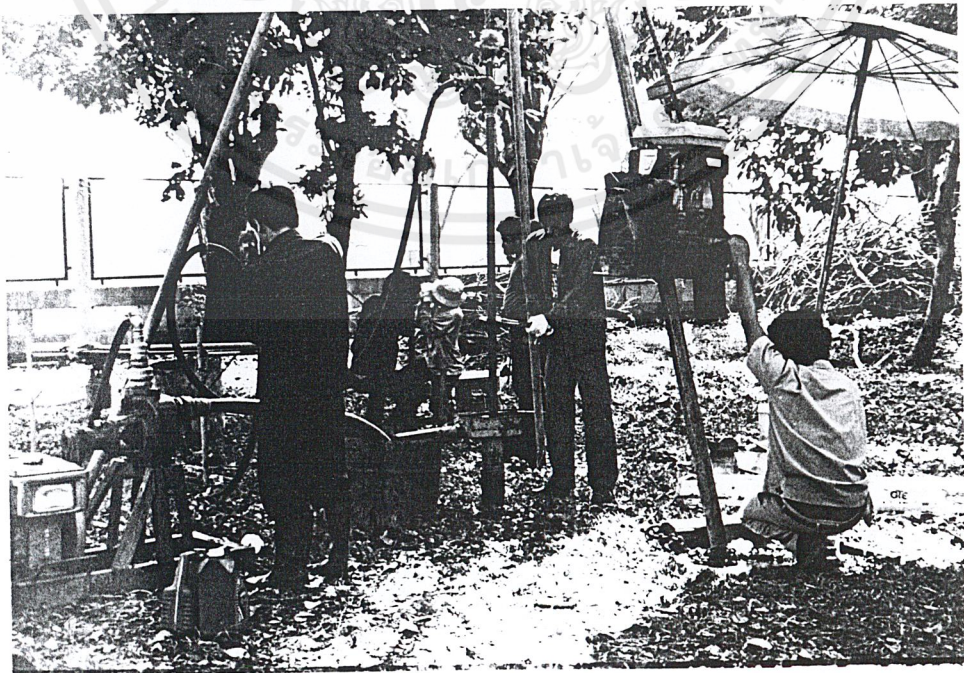


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การเจาะสำรวจดิน



รูปที่ ก1 และ ก2  
แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์  
และเครื่องมือการเจาะ  
สำรวจดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก3

แสดงการตอกท่อเหล็กกันดิน  
ในรูปจะทำการวัดระดับแนวตั้ง



รูปที่ ก4

แสดงวิธีการต่อก้านเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้

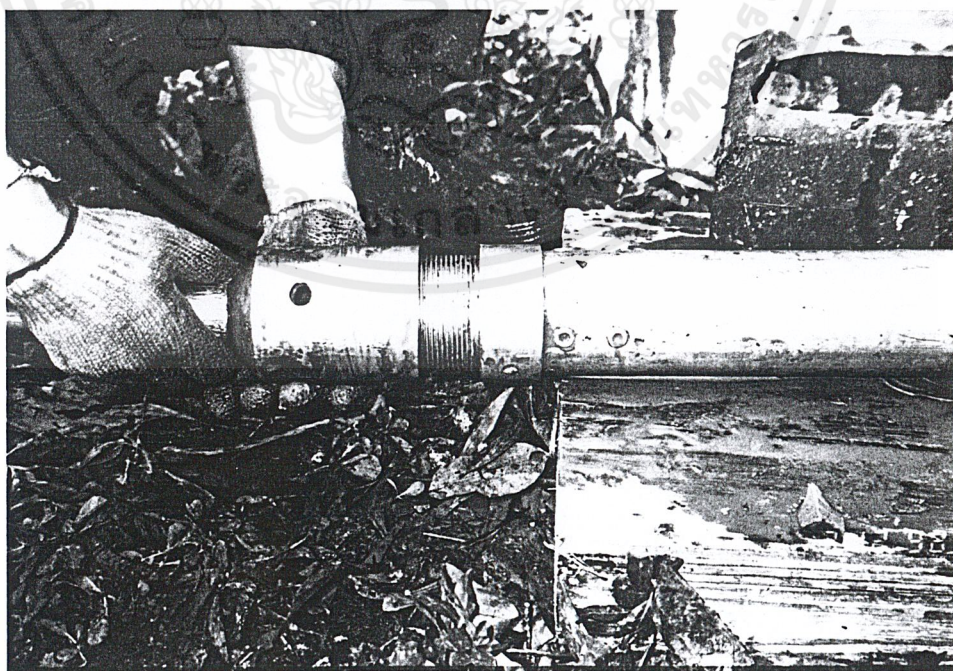
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ์ประโยชน์ด้านการค้า

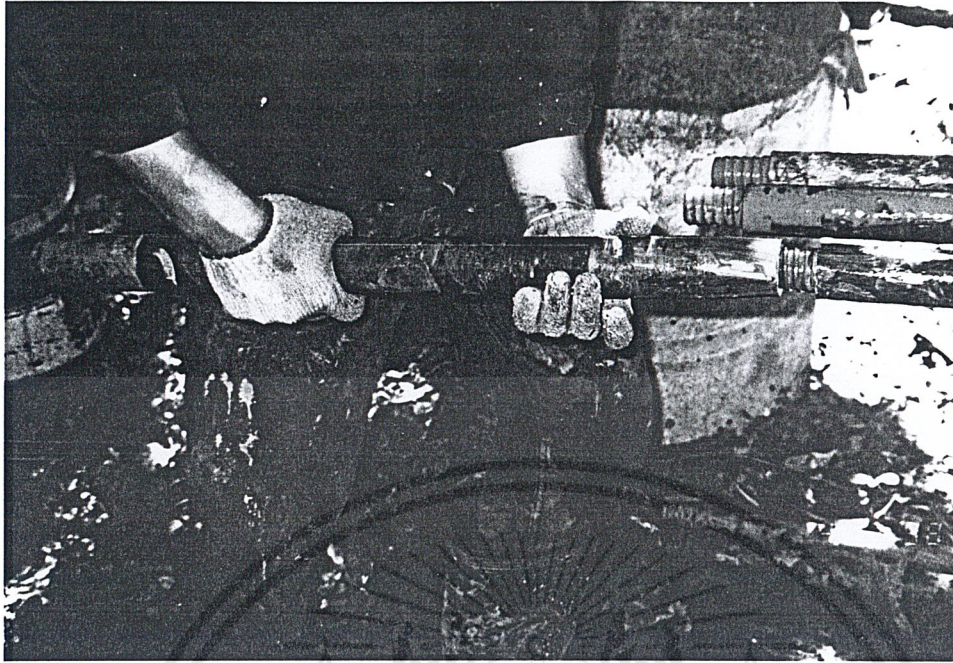
รูปที่ ก5 และ ก6

แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกบาง

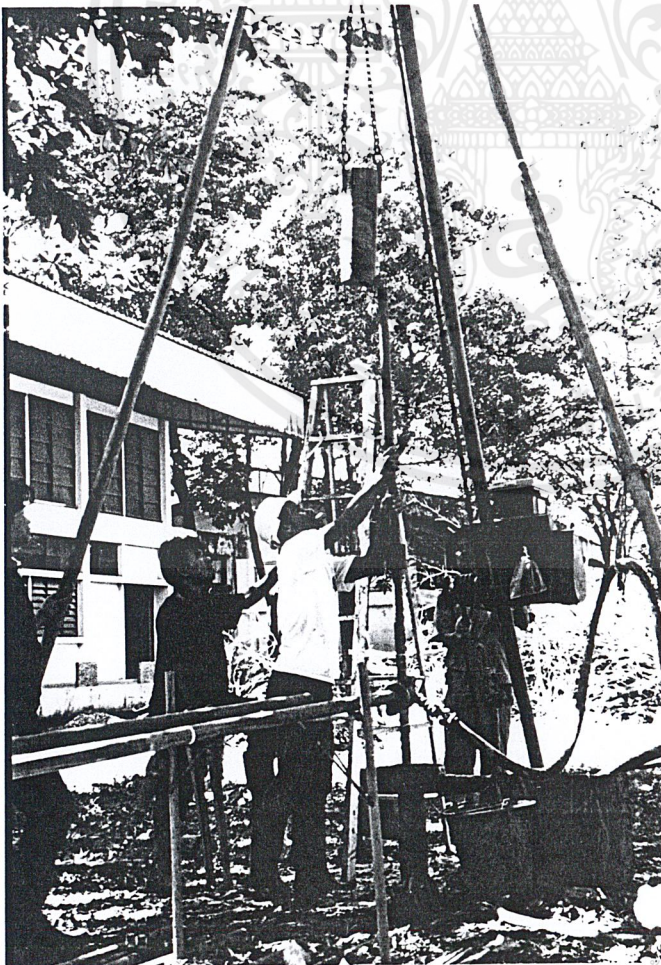
(Thin Wall Tube)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก7 แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกลูก (Split Spoon)



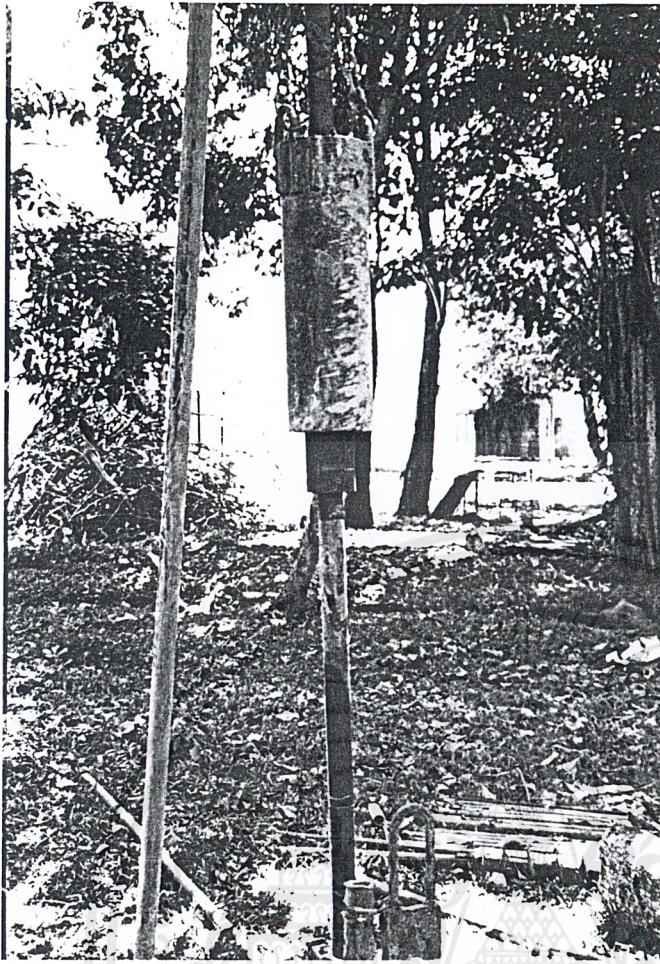
รูปที่ ก8

แสดงขั้นตอนการติดตั้งลูกตุ้ม

เหล็กหนัก 63.5 กก. สำหรับ

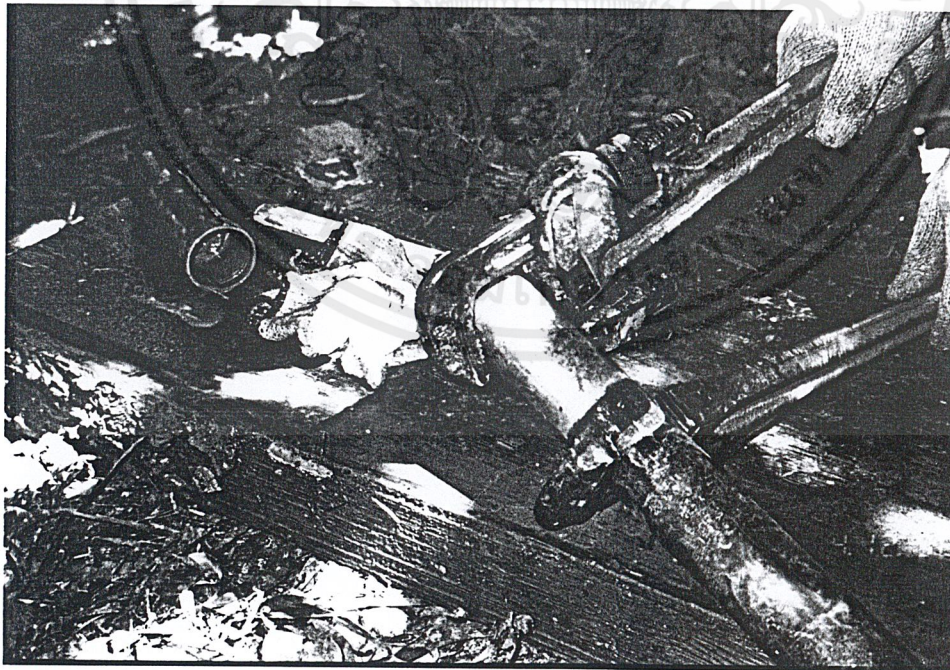
การทดสอบ SPT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



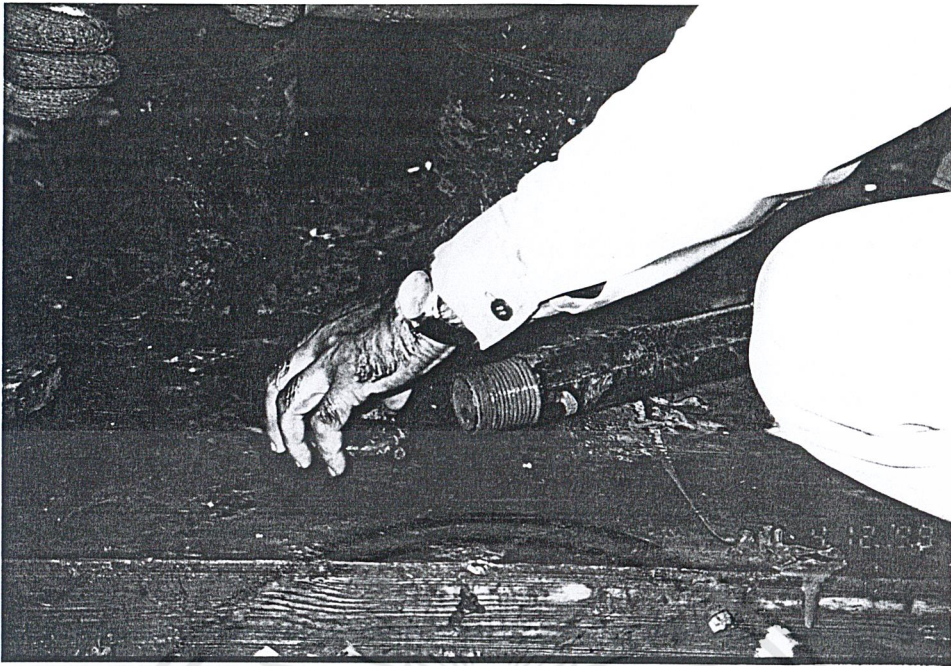
รูปที่ ๙

แสดงการทดสอบ SPT



รูปที่ ๑๐ การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอผ่า (Split Spoon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก11 และ ก12 แสดงการเก็บตัวอย่างออกจากกระบอกแบบผ่า (Split Spoon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การทดสอบ Field Vane Shear Test



รูปที่ ข1 และ ข2  
แสดงการติดตั้งเสาเค้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗3

แสดงการเจาะท่อเหล็กป้องกัน  
อุปกรณ์ใบมีด 4 แฉก (Vane  
Shear) โดยใช้การค้ำยันกับ  
เสาค้ำยัน

รูปที่ ๗4

แสดงการเตรียมติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ  
Vane Shear



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖5 และ ๖6

แสดงการทดสอบ Vane Shear



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

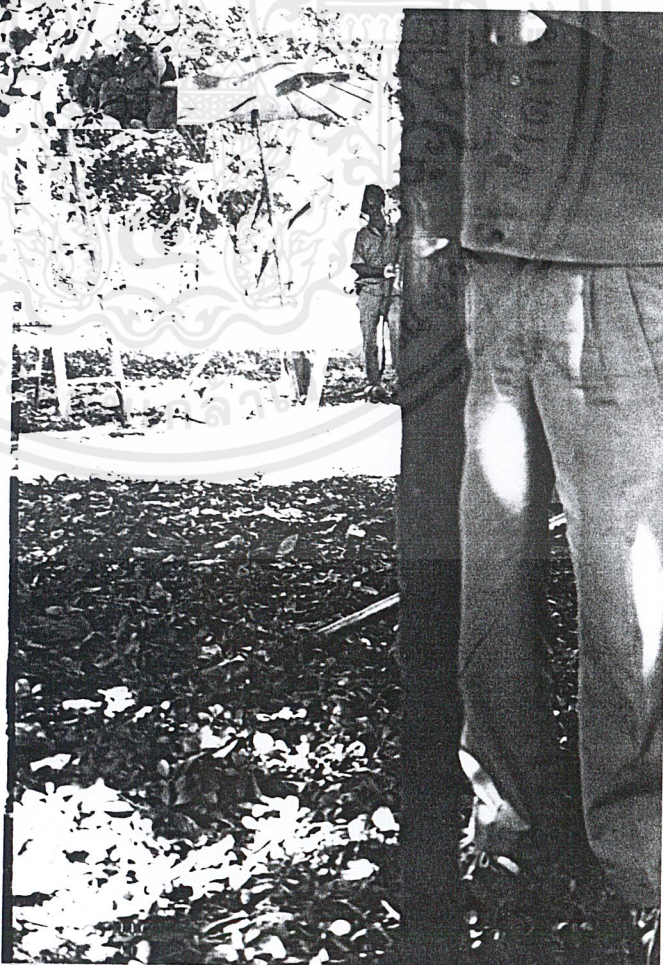
ค. การทดสอบวัดระดับน้ำใต้ดิน



รูปที่ ค1

แสดงการใช้ Hand Auger

เจาะดิน



รูปที่ ค2

แสดงการติดตั้งท่อ PVC สำหรับ  
วัดระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค3

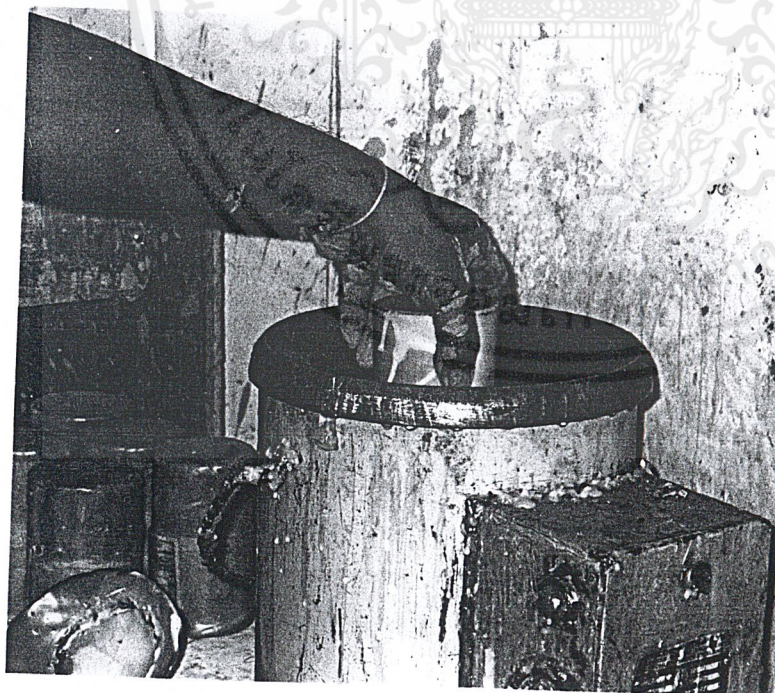
แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของอุปกรณ์วัดระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การรักษาสภาพของตัวอย่างดิน



รูปที่ ง1 และ ง2 การรักษาสภาพของตัวอย่างดินคงสภาพโดยใส่พาราฟินเคลือบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

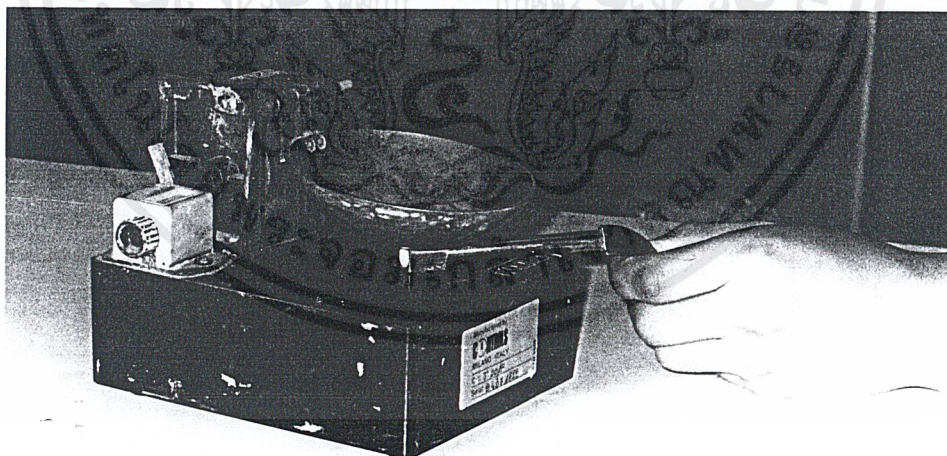
## 8. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test)

### 8.1 Water Content Determination



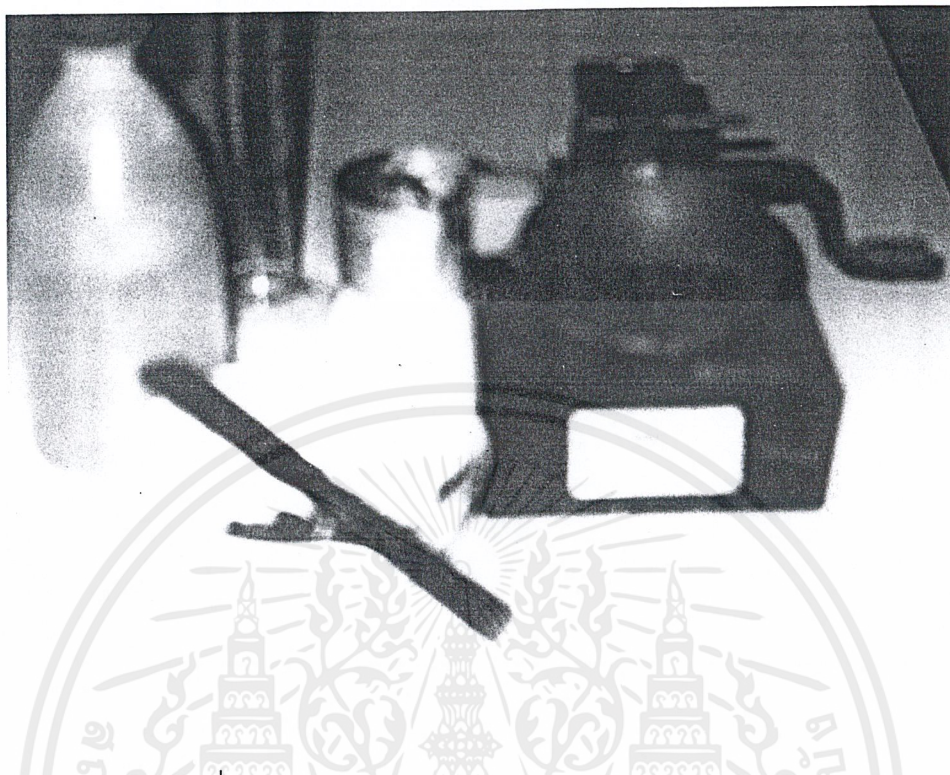
รูปที่ 8.1.1 แสดงการทดสอบหาความชื้นในมวลดิน

### 8.2 Liquid Limit และ Plastic Limit

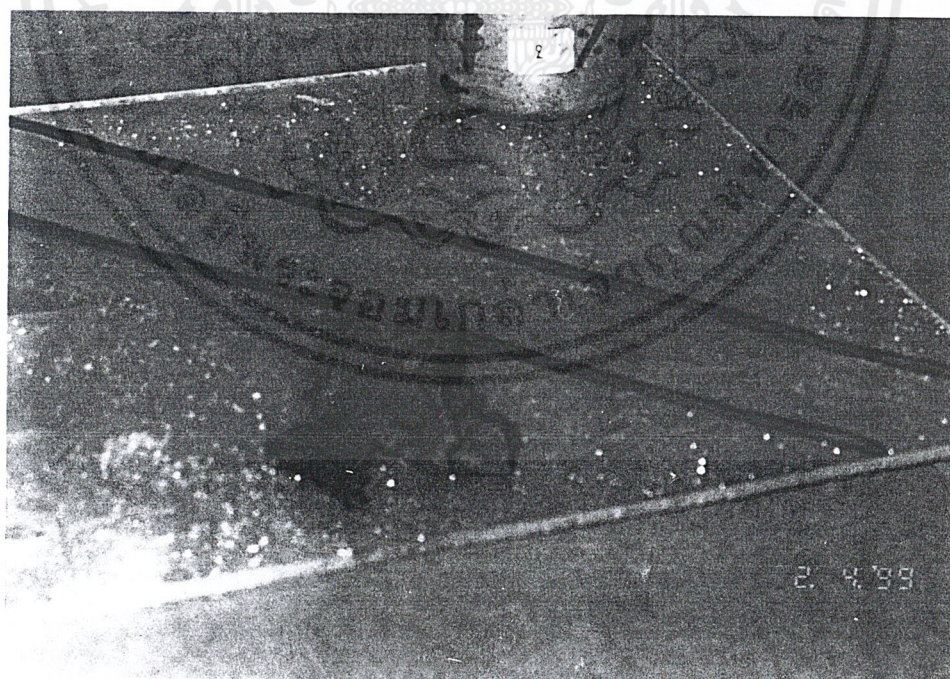


รูปที่ ๑.2.1 แสดงการสอบเทียบระยะตก 1 ซม. ของเครื่องเคาะดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



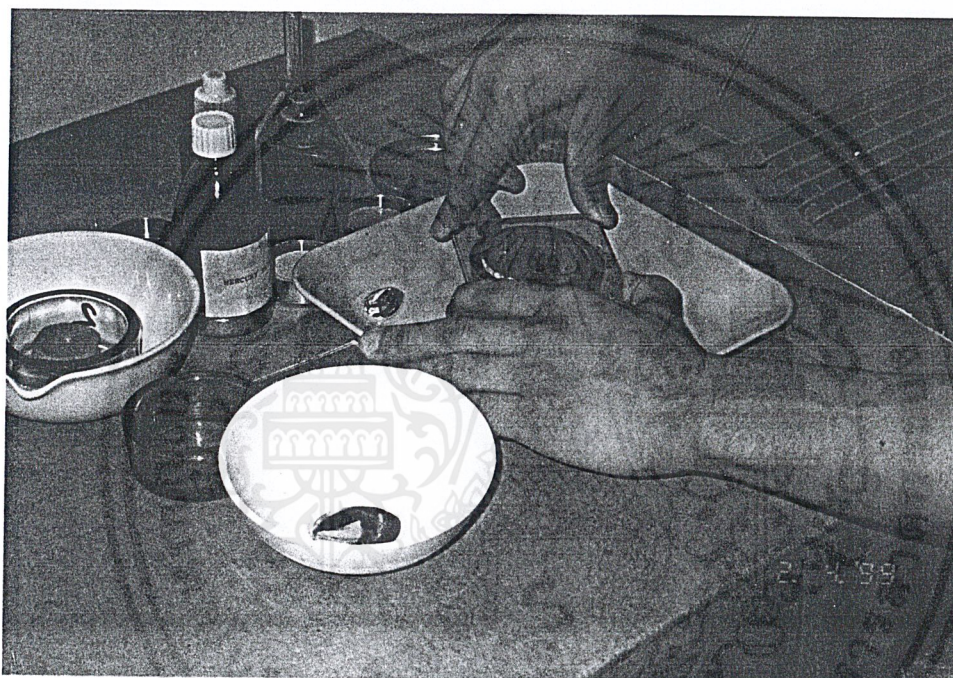
รูปที่ ๑.2.2 แสดงอุปกรณ์และผลการทดสอบ Liquid Limit



รูปที่ ๑.2.3 แสดงผลการทดสอบ Plastic Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ๑.3 Shrinkage Limit



รูปที่ ๑.3.1 แสดงการทดสอบ Shrinkage Limit

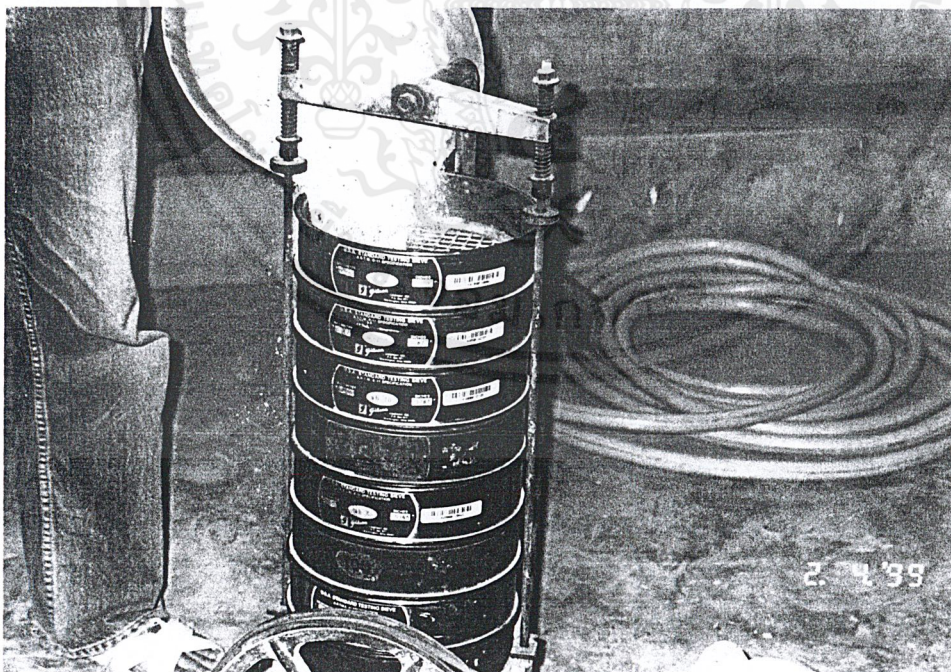
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ๑.4 Specific Gravity of Soil



รูปที่ ๑.4.1 แสดงขั้นตอนการหาค่า Gs ของตัวอย่างดิน

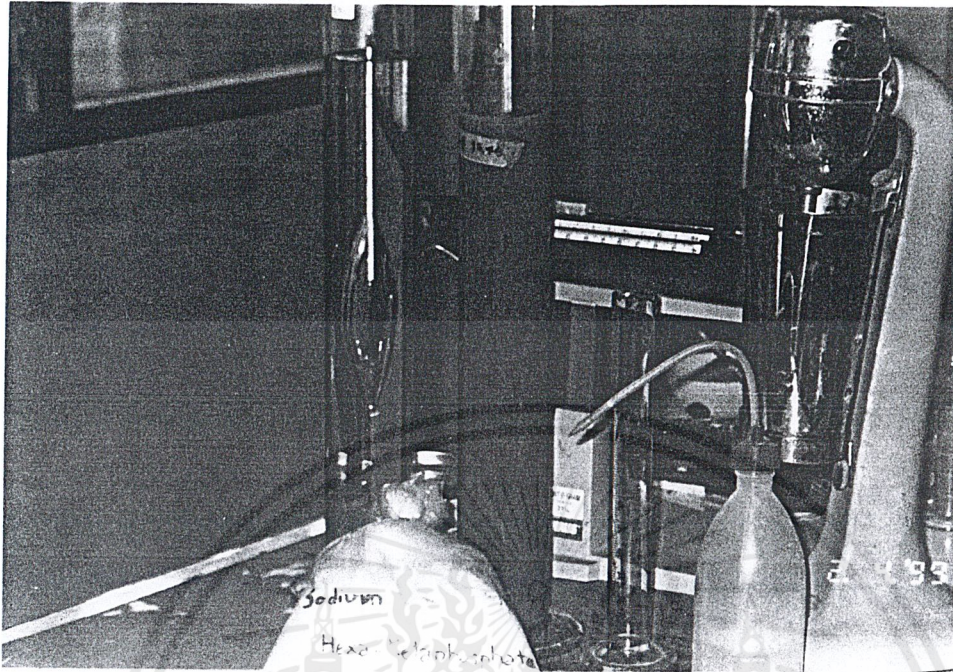
#### ๑.5 Particle-Sieve Analysis



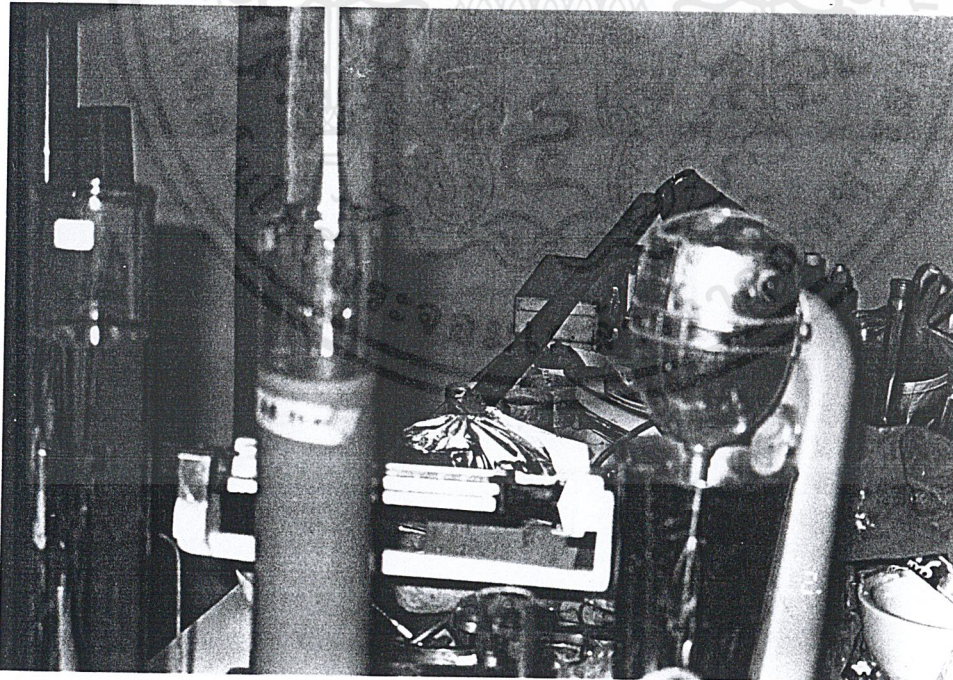
รูปที่ ๑.5.1 การทดสอบโดยใช้ตะแกรงร่อนสำหรับตัวอย่างดินทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ๑.6 Particle – Hydrometer Analysis

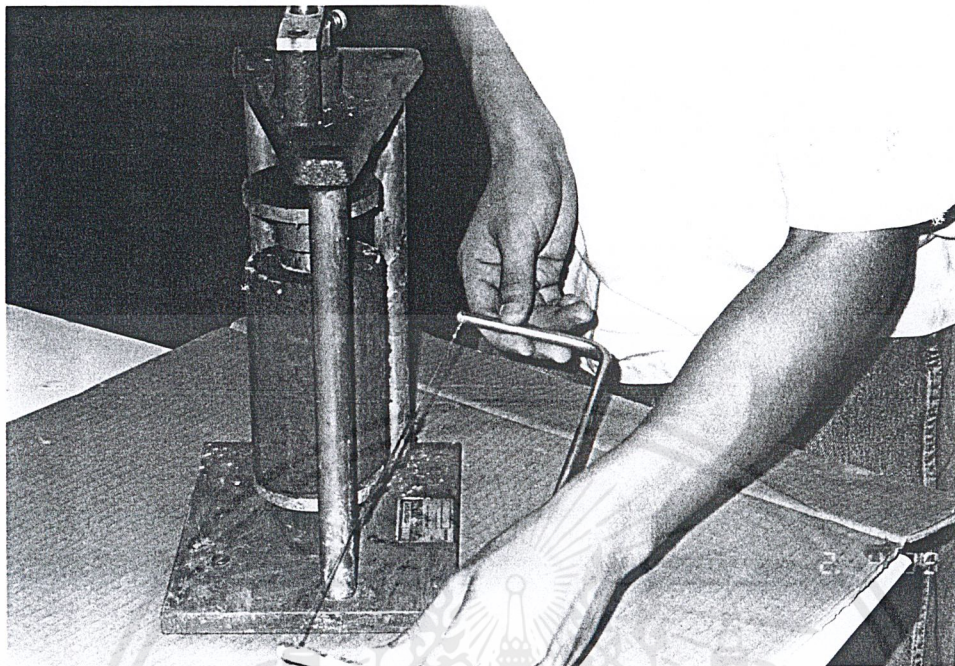


รูปที่ ๑.6.1 และ ๑.6.2 แสดงการทดสอบ Hydrometer

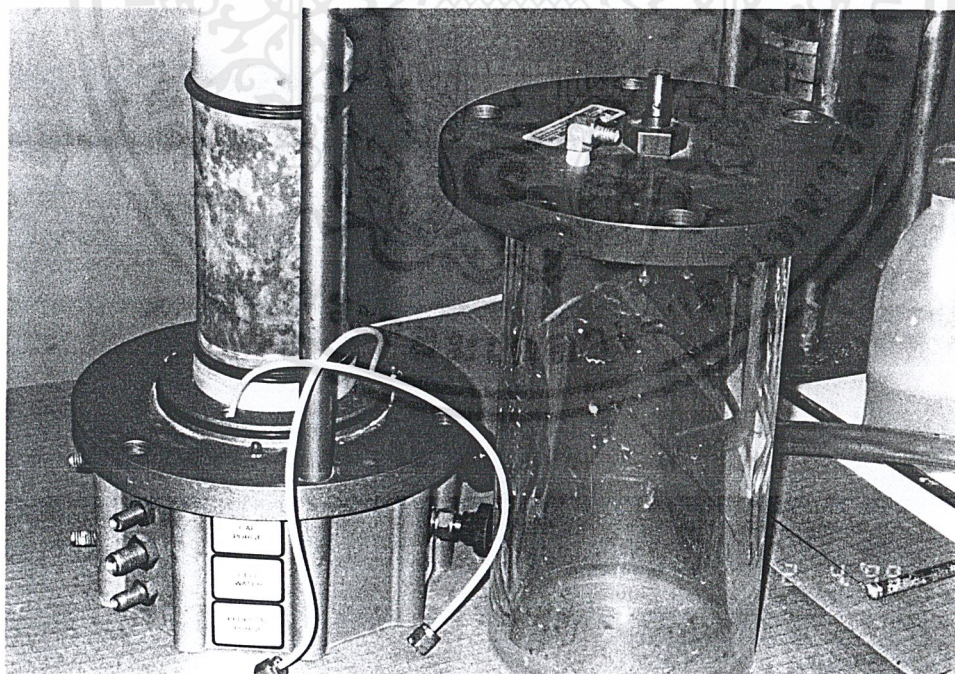


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ๑.7 Coefficient of Permeability

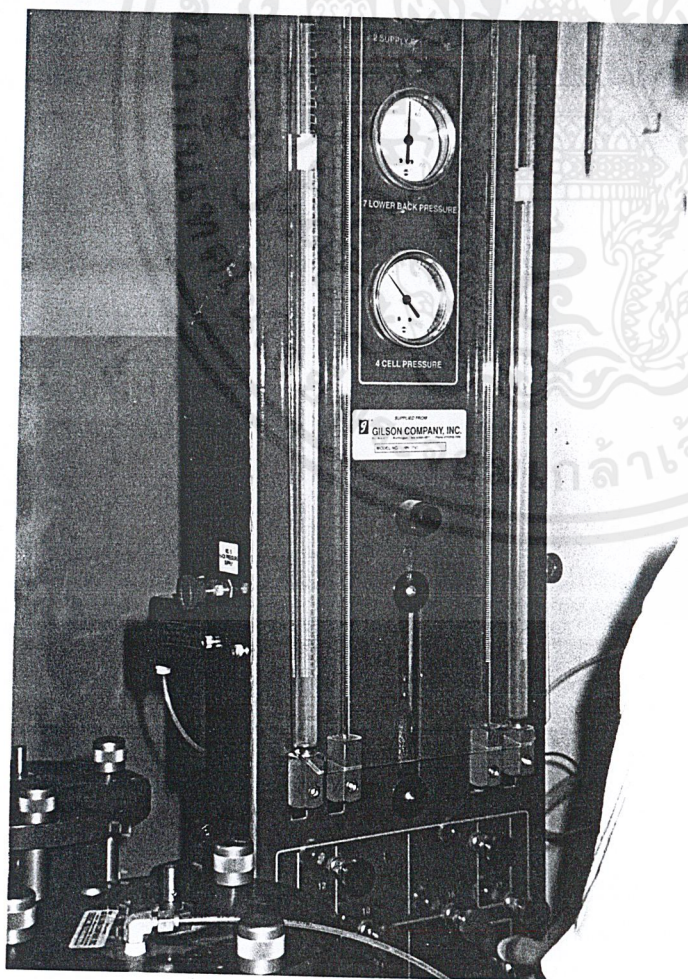
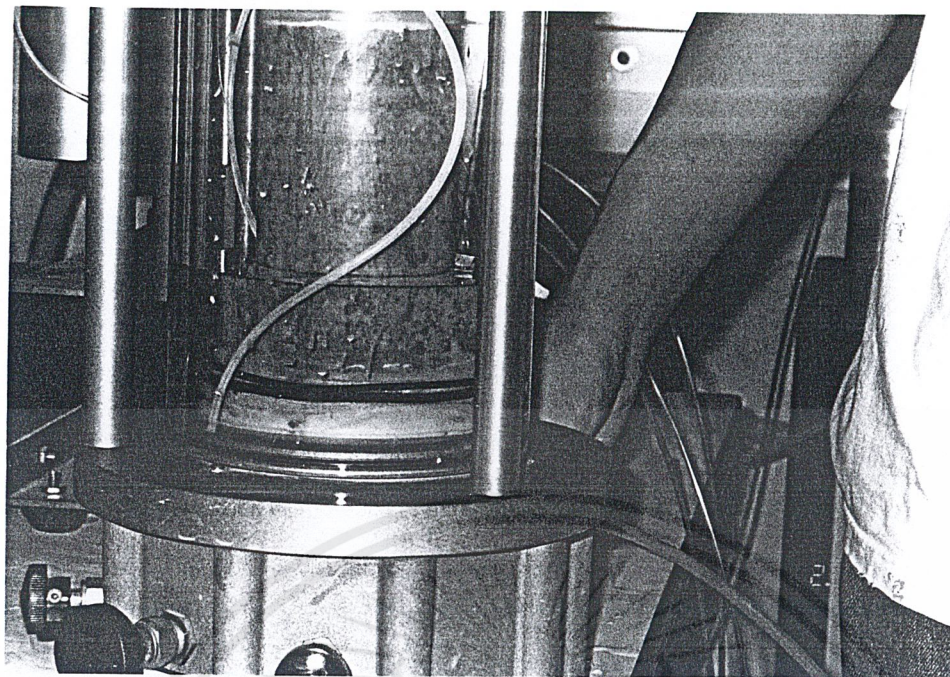


รูปที่ ๑.7.1 แสดงขั้นตอนการแต่งตัวอย่างดิน



รูปที่ ๑.7.2 การติดตั้งตัวอย่างดินที่ทดสอบใน Cell

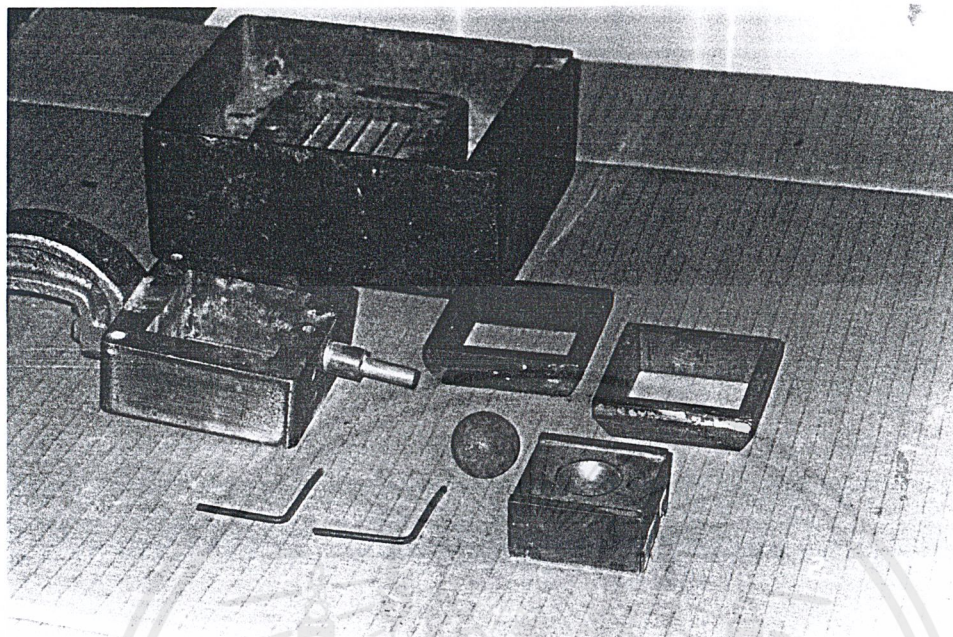
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



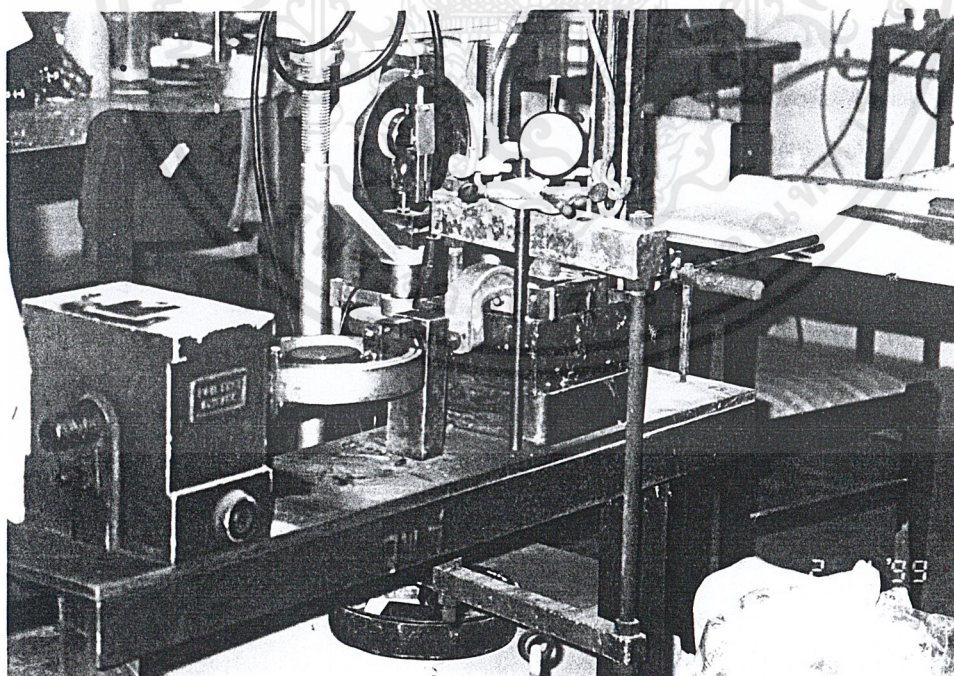
รูปที่ ๑.7.3 และ ๑.7.4  
แสดงขั้นตอนการเติมน้ำ และ  
ขั้นตอนการทดสอบหาค่า  
Coefficient of Permeability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ๑.8 Direct Shear Test



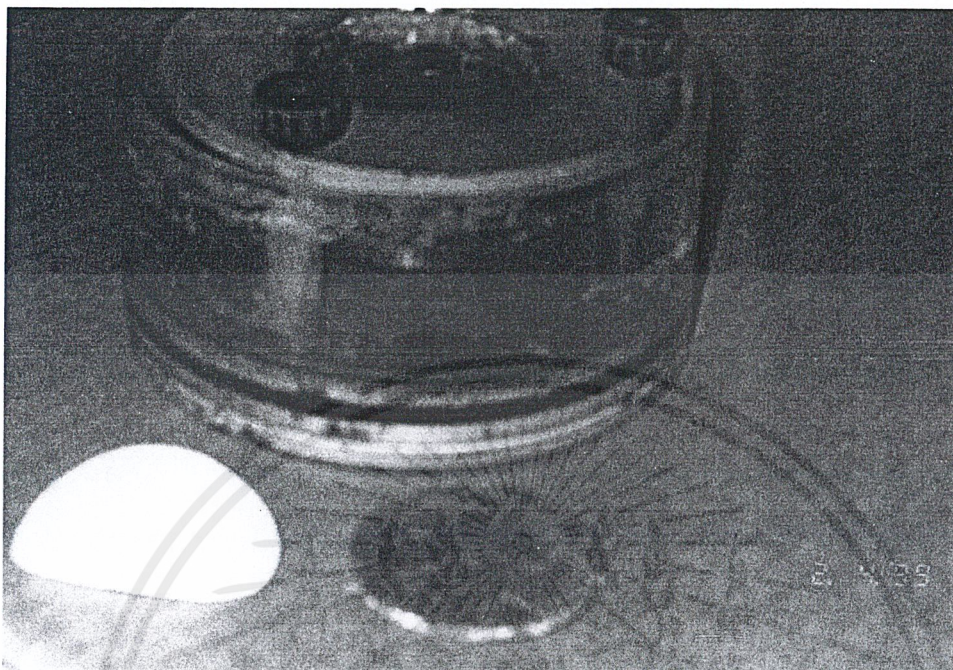
รูปที่ ๑.8.1 แสดงชุดอุปกรณ์ Shear Box



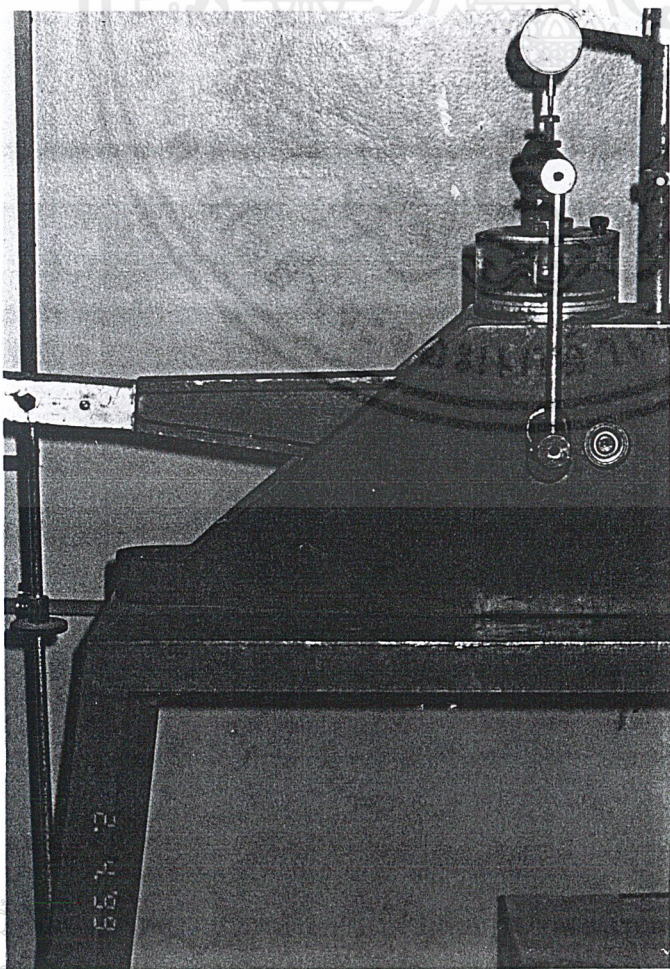
รูปที่ ๑.8.2 แสดงการทดสอบ Direct Shear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ๑.9 Consolidation

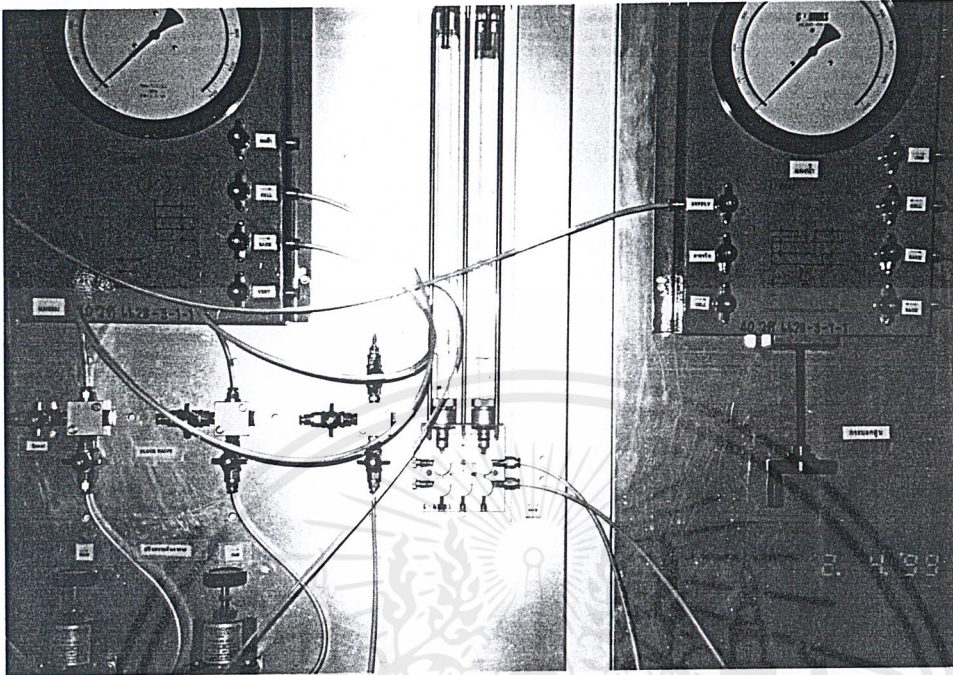


รูปที่ ๑.๙.๑ แสดงลักษณะของที่บรรจุตัวอย่าง



รูปที่ ๑.๙.๒ แสดงถึงการทดสอบ Consolidation

๑.10 Triaxial Test

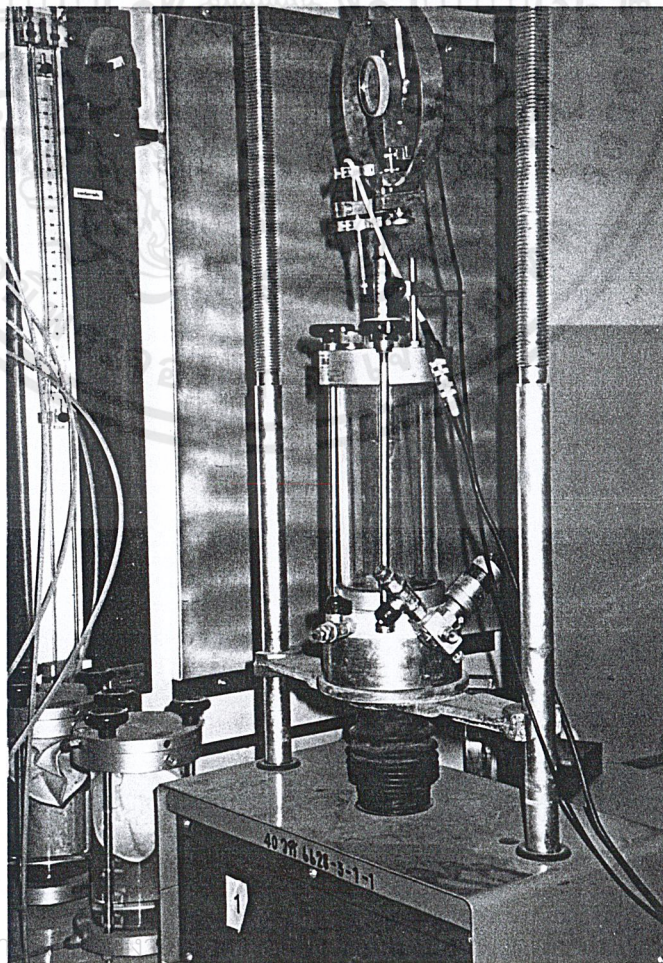


รูปที่ ๑.10.1 แสดงแผงมาตรวัด

รูปที่ ๑.10.2

แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

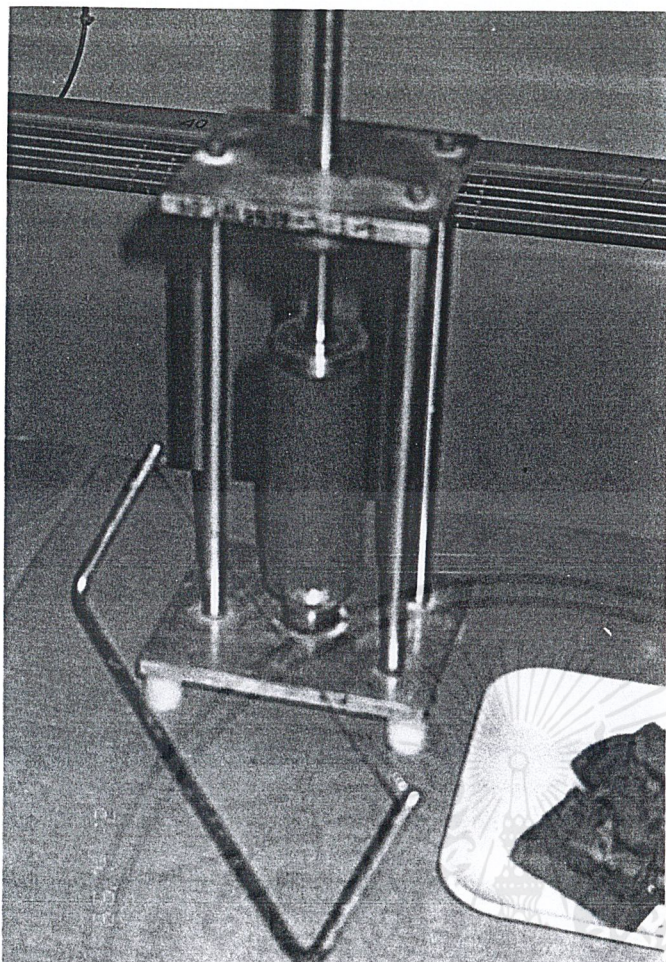
Triaxial



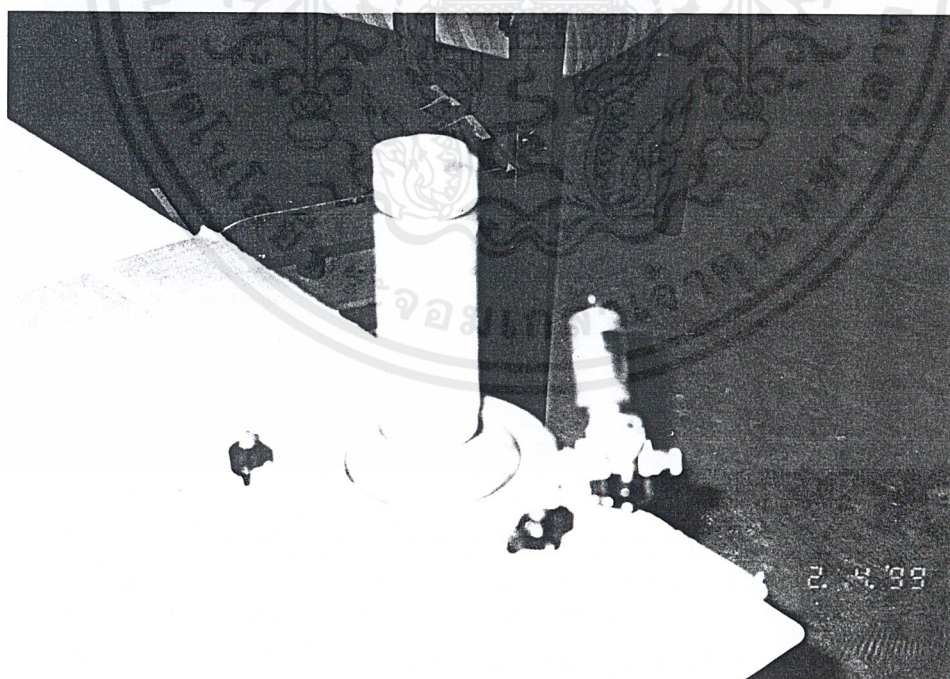
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส

ะโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

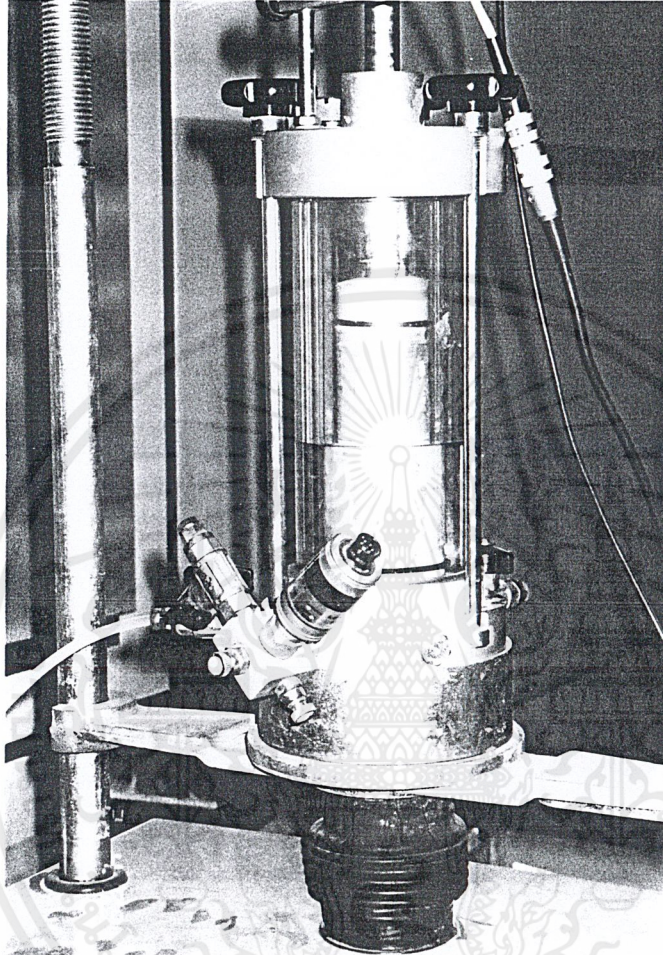


รูปที่ ๑.10.3 แสดงการตัดแต่ง  
ตัวอย่างดิน



รูปที่ ๑.10.4 การติดตั้งตัวอย่างดินที่หุ้มด้วย Membrane บนฐานของ Cell

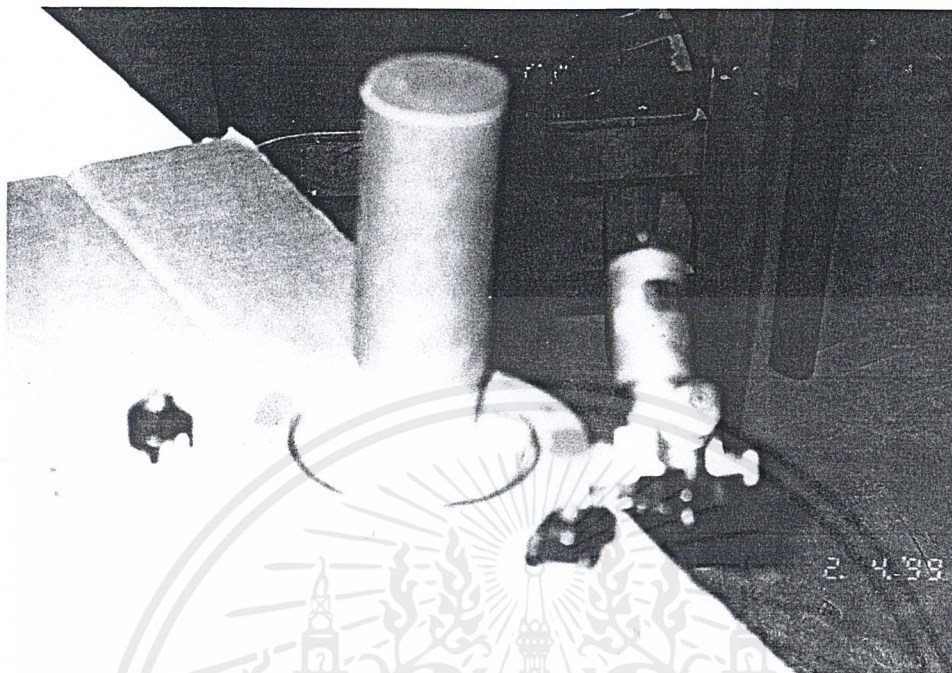
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



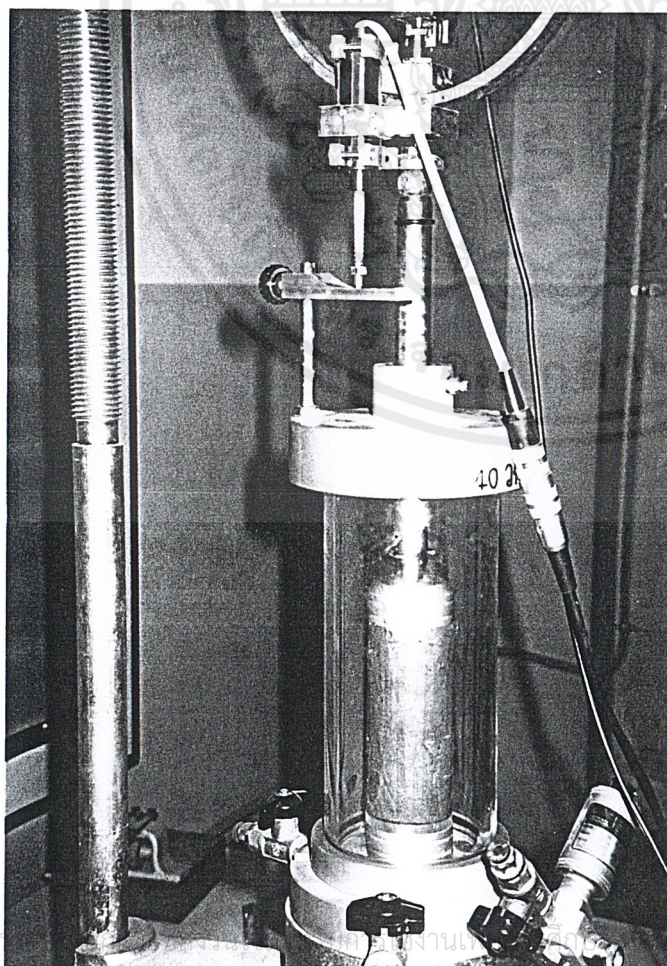
รูปที่ จ.10.5 แสดงการเติมน้ำใน Cell เพื่อทำการทดสอบ UU Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑.11 Unconfined Compression Test



รูปที่ ๑.11.1 แสดงการติดตั้งตัวอย่างดินบนฐาน Cell



รูปที่ ๑.11.2  
แสดงการทดสอบ Unconfined  
Compression Test