



การทดลองแรงอัดสามแกนและการอัดตัวคายน้ำของดินทรายปนเม็ดดินละเอียด
ที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจากจังหวัดกาฬสินธุ์
Triaxial and Consolidation Tests for Sand mixed with Cohesionless
Fine-Grained Soil in Kalasin Province

ปริญญานิพนธ์

ของ

ทัตธนพงษ์ ชาน้ำโม่ง 58010310074

ศิรินภา ชวงชัย 58010310640

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การทดลองแรงอัดสามแกนและการอัดตัวคายน้ำของดินทรายปนเม็ดดินละเอียด
ที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจากจังหวัดกาฬสินธุ์
Triaxial and Consolidation Tests for Sand mixed with Cohesionless
Fine-Grained Soil in Kalasin Province

ปริญญานิพนธ์

ของ

ทัตธนพงษ์ ชาน้ำโม่ง 58010310074

ศิรินภา ช่วงชัย 58010310640

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบปริญญาโท ได้พิจารณาปริญญาโทฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยชาญ โชติถนอม)

ประธานกรรมการ

.....
(อาจารย์ณัฐพงษ์ ลาตบัตร์)

กรรมการ

.....
(อาจารย์นบปนม แก้วหานาม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



ชื่อเรื่อง	การทดลองแรงอัดสามแกนและการอัดตัวคายนํ้าของดินทรายปน เม็ดดินละเอียดที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจากจังหวัดกาฬสินธุ์
ผู้วิจัย	นายทัตชนพงษ์ ชานน้ำโมง นางสาวศิริรญา ช่วงชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นบปนม แก้วหานาม
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2562

บทคัดย่อ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินลมหอบสีกลงไปประมาณ 5-6 เมตรจากผิวดิน ซึ่งแต่ละพื้นที่มีส่วนผสมของดินทรายปนกับดินเม็ดดินละเอียดแตกต่างกัน ปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินดินทรายที่ปนกับเม็ดดินละเอียดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น จากการทดลองแรงอัดสามแกนและการทดลองอัดตัวคายนํ้าของดินจากจังหวัดกาฬสินธุ์ ในการทดลอง กำหนดให้สัดส่วนดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดเท่ากับ 0:100 50:50 และ 100:0 จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างดินมีค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ) แปรผกผันกับร้อยละของดินเม็ดละเอียดดังสมการ $\phi = 0.0013F^2 - 0.27F + 41.8$ เมื่อ F คือร้อยละของดินเม็ดละเอียด ทุกตัวอย่างดินไม่มีค่าความเชื่อมแน่น (c') และมีค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายนํ้า (Over Consolidation Ratio, OCR) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.19-1.20 โดยมีค่าอัตราส่วนโพรงเริ่มต้น (e_0) ค่าดัชนีการอัดตัว (c_c) และค่าดัชนีการบวมตัว (c_r) อยู่ในช่วง 2.70-2.76 0.1353-0.3650 และ 0.0087-0.0109 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทดสอบแรงอัดสามแกน การทดสอบอัดตัวคายนํ้า ทราย ดินเม็ดละเอียด
ไม่มีความเชื่อมแน่น จังหวัดกาฬสินธุ์



TITLE Triaxial and Consolidation Tests for Sand mixed with Cohesionless Fine-Grained Soil in Kalasin Province

AUTHUR Mr. Thattranapong Chaonammong
Ms. Sirinapha Chaungchai

ADVISOR Mr. Nopanom Kaewhanam

DEGREE **B.Eng.** (Civil Engineering)

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

Most areas of Northeast Thailand were covered with Loess for 5-6 m from ground surface which variation of the fines for different zone. This project aims to evaluate sand mixed with cohesionless fines by the triaxial and consolidation tests. Disturbed soil was selected from Kalasin province and then mixed the sand to fines ratio of 0:100 50:50 and 100:0. From the tests, results revealed that the internal friction angle (ϕ) decreased with increasing amount of fines (F) as shown by equation of $\phi = 0.0013F^2 - 0.27F + 41.8$. All samples gave zero value of cohesion (c'). In addition, The overconsolidation ratio (OCR) were between 1.19-1.20. The initial void ratio (e_0), compression index (c_c), and swelling index (c_r) were among 2.70-2.76, 0.1353-0.3650, and 0.0087-0.0109, respectively.

Keyword : Triaxial Test, Consolidation Test, Sand, Fine-grained Soil, Cohesionless, Kalasin Province



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการทดลองแรงอัดสามแกนและการอัดตัวคายนํ้าของดินทรายที่ปนเม็ดดินละเอียด สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์นบปนม แก้วหานาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา นิพนธ์ที่ได้ชี้แนะแนวทางในการดำเนินการทำปฏิญานิพนธ์ ซึ่งทำให้ได้ความรู้ในการจัดการวางแผนการดำเนินงานต่างๆ อีกทั้งยังอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ในศาสตร์เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขให้ผลงานมี คุณภาพดีขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยชาญ โชติถนอม อาจารย์รัษฎพงษ์ ลาดบัวตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพปฎล เสี่ยงยศศักดิ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เสียสละเวลาในการเป็น คณะกรรมการสอบปฏิญานิพนธ์ และช่วยชี้แนะในส่วนเนื้อหาของเนื้อหาปฏิญานิพนธ์ ทำให้การทำปฏิญานิพนธ์ในครั้งนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นางสาวเย็นฤดี อินพิมพ์ และนายอภิสิทธิ์ ศักดิ์ศรีท้าว ที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ และแก้ปัญหาในการใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัตโนมัติ

ขอขอบพระคุณ นายเมธี แสนท้าว และนายวัฒนา คันธา ผู้คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ และแก้ปัญหาในการใช้เครื่องทดสอบการอัดตัวคายนํ้าแบบอัตโนมัติ

ขอขอบพระคุณ นางสาวณัฐริกา คำอ่อน นางสาวสุกัญญา ชาวดง นายสัถย์ยา วงษ์สิงขาม และ Mr. Oeng Pouykang ผู้คอยช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างดิน

ขอขอบพระคุณผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จอย่างยิ่งคือบิดาและมารดาของผู้วิจัยรวมถึงสมาชิกใน ครอบครัวทุกคนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนปัจจัยต่างๆ ทั้งกำลังกาย กำลังทรัพย์ ส่งเสียผู้วิจัยให้ได้ ศึกษาในศาสตร์วิชาที่สนใจ และเป็นแรงผลักดันสำคัญยิ่งที่ทำให้ปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่าง สมบูรณ์

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยให้ความรู้วิชาตั้งแต่เข้ารับการศึกษาตลอดจน จบการศึกษา ตลอดกองอาคารสถานที่มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในการศึกษาและ การดำเนินการได้จนแล้วเสร็จ จนผู้เขียนและบทความต่างๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนสามารถให้ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ทัตธนพงษ์ ขาวน้ำโมง
ศิริินภา ช่วงชัย



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) แบบ CD Test	3
2.3 ทฤษฎีการวิบัติของวงกลมมอร์-คูลอมป์	5
2.4 การทรุดตัวของดิน	7
2.5 การทรุดตัวแบบยุบตัวคายนํ้า (Consolidation settlement)	8
2.6 การทดสอบการยุบตัวคายนํ้า	10
2.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการอัดตัวคายนํ้า	11
2.8 การยุบตัวคายนํ้าแบบปกติและการยุบตัวคายนํ้าแบบสูงกว่าปกติ	13
2.9 การคำนวณหาค่าการทรุดตัวจากการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิหนึ่งมิติ	15
2.10 การหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง	19
2.11 การวิเคราะห์การกระจายขนาดโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer)	21
2.12 การหาขีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg's Limits of soil)	25
2.13 ความถ่วงจำเพาะของดิน	28
2.14 การจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classification และ USCS Classification	32
3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	40
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการและวิจัย	40
3.2 แผนการดำเนินงาน	41
3.3 การเก็บตัวอย่างดิน	41



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 ทำการทดลอง	42
3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	42
4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4.1 วิธีการศึกษา	43
4.2 ผลการศึกษา	43
4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษา	51
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม GDSLAB	57
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบ	69
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง	81
ประวัติย่อผู้วิจัย	124



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกน	5
2 ขนาดช่องเปิดตะแกรงและลำดับชั้นตะแกรง	19
3 ข้อมูลผลการวิเคราะห์เม็ดดินโดยตะแกรง.....	19
4 ผลการทดสอบหาการกระจายขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์	21
5 ค่า K ของดินที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 2.45 ถึง 2.85 ในช่วงอุณหภูมิจาก 16 ถึง 30 องศาเซลเซียส	24
6 ผลการทดสอบค่าพิกัดเหลวค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคงอยู่ในสถานะของเหลวได้	26
7 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน	29
8 แสดงความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	32
9 การจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classification	33
10 แสดงแผนดำเนินงาน	41
11 ตารางจำแนกดินแบบร่อนตะแกรง	43
12 ผลการทดสอบอัดตัวคาน้ำ	44
13 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100	46
14 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50	48
15 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:100	50
16 สรุปค่าพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินในพื้นที่เป้าหมาย	51
17 ผลการเปรียบเทียบสมการค่า ϕ ของดินจังหวัดกาฬสินธุ์เปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างกับจังหวัดขอนแก่น	53



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่อง Triaxial แบบอัตโนมัติ	4
2 หน่วยแรงหลัก	6
3 วงกลมเมอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล	7
4 แบบจำลองสปริงภาพขณะทรงกระบอกสำหรับการศึกษาลักษณะของการยุบตัว คายนํ้าของดินเหนียวอิมิตัว	9
5 อุปกรณ์การทดสอบการยุบตัวคายนํ้า	10
6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างดินในการทดสอบการยุบตัวคายนํ้าแบบหนึ่งมิติ	11
7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e และ \log	13
8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e และ $\log \sigma'$ แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการ loading, unloading และ reloading	14
9 วิธีการหาค่าความคั่นก่อนการยุบตัวคายนํ้าโดยวิธีวาดเส้นกราฟิกในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$	15
10 การหลุดตัวจากผลของการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิแบบหนึ่งมิติ	16
11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$ และค่าดัชนีการกดอัด	17
12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$ และค่าดัชนีการพองตัว	18
13 กราฟการวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์และตะแกรงเบอร์	20
14 การวัดหาค่าต่างๆใน (Hydrometer)	22
15 สถานะของดินเหนียว และ ฟิกัดอัตราเตอร์เบอร์ก	25
16 ชุดทดสอบพิกัดเหลวของดิน ด้วยวิธีการตกกระทบอิสระ	26
17 กราฟการหาค่าพิกัดเหลว ที่จำนวนการตกกระทบอิสระที่ 25 ครั้ง	27
18 การให้ความร้อนแก่นํ้า และดินในขวดทดลอง	29
19 ชั่งนํ้าหนักนํ้า และขวด	30
20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างนํ้าหนักขวดที่มีนํ้าเต็มและอุณหภูมิ	31
21 แสดงแผนภูมิลำดับขั้นตอนการจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO	34
22 แผนภูมิความเหนียวสำหรับการจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classificati	35
23 แผนภูมิความเหนียวสำหรับการจำแนกดินด้วยระบบ Unified Classification	35
24 ขั้นตอนการจำแนกดินเม็ดหยาบด้วยระบบ USCS	36
25 ขั้นตอนการจำแนกดินเม็ดละเอียดด้วยระบบ USCS	37
26 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100.....	44



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 ผลการทดลองการอัดตัวคายนํ้าในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50	45
28 ผลการทดลองการอัดตัวคายนํ้าในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0	45
29 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100	46
30 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100	47
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ Axial Strain (%) ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100	47
32 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50	48
33 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50	49
34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ Axial Strain (%) ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50	49
35 ผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0	50
36 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0	51
37 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดดินละเอียดกับค่า ϕ' และ c'	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ (2552) มวลดินรวมจะประกอบด้วยเนื้อดินและน้ำระหว่างเม็ดดิน เมื่อน้ำจำนวนหนึ่งไหลออกไป จึงทำให้เกิดการลดปริมาตรของมวลดินขึ้น คือการลดความหนาของชั้นดิน เพื่อทดสอบและหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวและอัตราการทรุดตัวของดิน การทดลองการอัดตัวคายน้ำของดิน (Consolidation Test) จะมุ่งเน้นที่จะหาค่าคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการอัดตัวคายน้ำ ส่วนใหญ่ผลการทดลองจะถูกเขียนในรูปแบบของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยความเครียดสุดท้ายกับหน่วยแรงที่กระทำในรูปของหน่วยแรงสะสมแล้วเขียนกราฟของหน่วยแรงในรูปของสเกลล็อก (Log Scale) การทดสอบแรงอัดของดินแบบสามแกน เป็นการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน ของดินที่มีสภาพใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติมากที่สุด โดยสามารถปรับความดันที่บริเวณผิวของมวลดินด้านข้าง (Confining Pressure) ให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน และสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากมวลดินได้สะดวก สามารถหาได้ทั้งหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลของมวลดิน

การทดสอบแรงอัดสามแกนเพื่อหาพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเป็นแบบที่มีการอัดตัวคายน้ำด้วยความดันรอบข้างคงที่ โดยแรงเฉือนดินตัวอย่างโดยการเพิ่มความเค้นในแนวตั้งด้วยการควบคุมความเครียดในแนวตั้งให้มีอัตราคงที่ในการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ของเม็ดดินทรายที่ปนกับเม็ดดินละเอียดโดยใช้การทดสอบแรงอัดสามแกนและการอัดตัวคายน้ำ ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100 50:50 และ 100:0
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมความแตกต่างของดินทรายกับดินละเอียด



1.3 ขอบเขตของการศึกษา

เพื่อให้การศึกษานี้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้กำหนดขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ ดังนี้

1. กำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างดิน ที่อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์
2. ทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เป้าหมาย จำนวน 1 จุด โดยขุดเป็นหลุมลึกประมาณ 1 เมตร
3. นำตัวอย่างดินมาทำการร่อนตะแกรงเพื่อแยกเม็ดดินทรายและเม็ดดินละเอียดตามระบบ AASHTO และระบบ USCS โดยแยกเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 60 แต่ค้างตะแกรงเบอร์ 100 เป็นเม็ดดินทรายและแยกดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นเม็ดดินละเอียด
4. นำตัวอย่างดินเม็ดดินทรายผสมกับเม็ดดินละเอียด ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100 50:50 และ 100:0 ตามลำดับ จากนั้นนำไปทดสอบโดยวิธีแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) แบบมีการอัดตัวคายน้ำและมีการระบาย (Consolidation Drained Test, CD) และการทดสอบแบบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)
5. บันทึกผลการทดลอง และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของดินจากการทดสอบ Triaxial Compression Test แบบ Consolidation Drained Test, CD และการทดสอบแบบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการหาค่าพารามิเตอร์

1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ

รายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการแบบเหมาจ่ายทั้งโครงการ ประกอบด้วยดังนี้

1. ค่ารถแบ็คโฮขุดดินเหมาจ่ายรายวัน วันละ 3,500 บาท จำนวน 2 วัน
รวมเป็นจำนวนเงิน 7,000 บาท
 2. ค่ายานพาหนะในการบรรทุกตัวอย่างดินเหมาจ่ายวันละ 500 บาท รวม 2 วัน
รวมเป็นจำนวนเงิน 1,000 บาท
 3. ค่าจ้างการเก็บตัวอย่างดินเหมาจ่ายวันละ 1,000 บาท จำนวน 2 วัน
รวมเป็นจำนวนเงิน 2,000 บาท
- รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 10,000 บาท



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เย็นถิติ อินพิมพ์ และอภิสิทธิ์ ศักดิ์ศรีท้าว (2561) ได้ทำการศึกษาพบว่าพฤติกรรมด้านความเค้น ความเครียด และกำลังของทรายเป็นที่ทราบเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ สำหรับดินทราย Yang-Ping Yao และคณะ (2004) ได้นำเสนอแบบจำลองที่สามารถใช้ได้ทั้งดินเหนียวและดินทรายโดยใช้หลักการของแบบจำลองดินในสภาพวิกฤติและความเค้นดัดแปลงแบบใหม่ ส่งผลให้แบบจำลองมีความแม่นยำสูง และแบบจำลองนี้สามารถทดสอบหาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้จากห้องปฏิบัติการทั่วไป ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหาสารคามเขตพื้นที่ขามเรียง ทำการทดสอบเพื่อจำแนกดิน ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ และทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำและระบายน้ำ ผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับแบบจำลองค่อนข้างดี โดยพิจารณาจากผลการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด ผลการทดลองและผลการคำนวณโดยแบบจำลอง

จักรกฤษณ์ ยืนยง และเทพประสิทธิ์ โชคเจริญ (2560) ได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินในสัดส่วนผสมของดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด ซึ่งได้แก่ค่าความเชื่อมั่นและมุมเสียดทานภายในในสภาพระบายน้ำของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ตัวอย่างดินแบบคงสภาพและตัวอย่างดินแบบถูกรบกวนถูกเก็บมาจาก ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น จากนั้นนำมาทดสอบเพื่อจำแนกดินในห้องปฏิบัติการและทำการแยกเม็ดดินหยาบและเม็ดดินละเอียดออกจากกันเพื่อทำการผสมดิน ในสัดส่วนเม็ดดินหยาบต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 และทดสอบด้วยวิธีแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำ ตัวอย่างดินมีการควบคุมให้มีค่าแรงดันด้านข้าง เป็น 20 40 และ 60 ตันต่อตารางเมตร

2.2 การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) แบบ CD Test

2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบแรงอัด 3 แกนมีดังต่อไปนี้

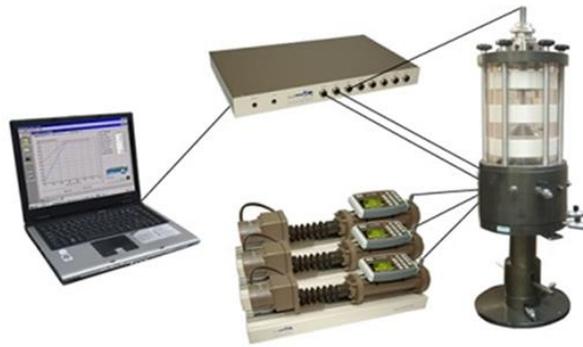
2.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

2.2.1.2 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (Saturation Stage)

2.2.1.3 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Consolidation Stage)

2.2.1.4 การกดตัวอย่าง (Shearing Stage)





ภาพประกอบ 1 เครื่องทดสอบ Triaxial แบบอัตโนมัติ
(เย็นฤดี อินพิมพ์ และอภิสิทธิ์ ศักดิ์ศรีท้าว, 2560)

2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ

2.2.2.1 นำตัวอย่างดินที่ได้จากการการร่อนผ่านตะแกรงเพื่อแยกกระหว่างเม็ดดินทรายและเม็ดดินละเอียดตามสมในอัตราส่วนที่กำหนดและอัดโดยการใช้น้ำหนักกดทับเวลา 1 ชั่วโมงจนเป็นก้อน มาตกแต่งให้ได้รูปทรงกระบอก โดยการนำตัวอย่างดินมาวางไว้บนแท่นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเหลาตัดแต่งตัวอย่างดิน (Carving Tools)

2.2.2.2 ทำการยึดประกบตัวอย่างดินโดยการคลายสกรูที่อยู่ด้านบนของอุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่าง (ไม่ต้องทำการยึดประกบแน่นมากเพราะจะทำให้ตัวอย่างดินเสียหายได้ และไม่หลวมมากเพราะจะทำให้ตัวอย่างดินเคลื่อนขณะตัดแต่งตัวอย่างดิน) หลังจากการยึดตัวอย่างดินเสร็จแล้วให้ใช้เลื่อยลวดตัดแต่งบริเวณผิวด้านนอกของตัวอย่างดิน โดยให้เส้นลวดสัมผัสกับขาอุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่างดินทั้งสองข้างแล้วทำการตัดในแนวตั้งขึ้นลงทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนรอบตัวอย่างดินได้รูปทรงกระบอกหรือกระทั่งไม่มีดินติดมากับเส้นลวดของเลื่อย (ในขั้นตอนนี้หากเป็นดินแบบไม่ถูกรบกวนต้องระมัดระวังหินหรือวัสดุที่อยู่ในตัวอย่างดินด้วย)

2.2.2.3 ชั่งน้ำหนักกระบอกผ่าที่ใช้หุ้มตัวอย่างดิน และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพร้อมกับความสูงของกระบอกผ่าเพื่อหาปริมาตรของกระบอกผ่า เมื่อเสร็จแล้วให้นำกระบอกผ่าไปหุ้มตัวอย่างดินที่ได้ในข้อ 2 (ในขั้นตอนนี้ต้องทำอย่างเบามือ และต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมากมิฉะนั้นอาจทำให้ตัวอย่างดินเสียหายได้)

2.2.2.4 เมื่อหุ้มตัวอย่างดินเสร็จให้ตรวจสอบความเรียบร้อยของตัวอย่าง และตัวนำตัวอย่างดินที่หุ้มด้วยกระบอกผ่าออกจากอุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่างดิน หลังจากนั้นทำการตัดแต่งผิวด้านหัวและท้ายให้เรียบสม่ำเสมอโดยการใช้เลื่อยลวดหรือมีดปาดสแปงูล่าตัดแต่งผิวให้เรียบ แล้วนำตัวอย่างดินที่หุ้มด้วยกระบอกผ่าไปชั่งน้ำหนัก

2.2.2.5 เสร็จแล้วทำการถอดกระบอกผ่าออกจากตัวอย่างดินด้วยความระมัดระวัง จากนั้นนำหินพรุนที่แช่น้ำประมาณ 24 ชั่วโมง วางบนฐานของเครื่องทดสอบโดยมีกระดาศกรองทรงกลมที่ชุ่มน้ำเล็กน้อยวางบนหินพรุน แล้วทำการวางตัวอย่างดินบนกระดาศกรองและหินพรุนโดยมีเมมเบรนหุ้มตัวอย่างดิน กระดาศกรองและหินพรุนในส่วนของข้างล่างนี้ไว้



2.2.2.6 โดยนำกระดาษกรองทรงกลมที่ชุ่มน้ำเล็กน้อยมาวางลงบนตัวอย่างดิน เมื่อเสร็จแล้วนำหินพรุนที่แช่น้ำประมาณ 24 ชั่วโมง มาวางทับอีกที หลังจากนั้นให้เมมเบรนในข้อที่ 5 หุ้มกระดาษกรองและหินพรุนดังกล่าว

2.2.2.7 ทำการใส่แหวนยาง (O-Ring) ในตัวอย่างดินบริเวณด้านล่างของตัวอย่างดินโดยการนำวงแหวนยางใส่เข้าไปในห่วงเบ่งก่อนค่อยนำห่วงเบ่งที่สวมวงแหวนยาง แล้วใส่เข้าไปในร่องของฐานรองตัวอย่างดิน ซึ่งในฐานรองของตัวอย่างดินจะมีร่องสำหรับใส่วงแหวนยางอยู่สองร่องเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไปในตัวอย่างดิน

2.2.2.8 ติดตั้งหมวกครอบตัวอย่างดิน (Top Cap) ที่ด้านบนของตัวอย่างดินโดยการนำหมวกครอบตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในยางที่หุ้มตัวอย่างดินอยู่แล้ววางทับลงบนหินพรุน เสร็จแล้วใส่วงแหวนยาง (O-Ring) ซึ่งในหมวกครอบตัวอย่างจะมีร่องสำหรับใส่วงแหวนยางอยู่สองร่องเช่นกัน ทำการใส่วงแหวนยางให้เรียบร้อย พร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์ที่ครอบแก้วสวมลงบนตัวอย่างดิน และต้องระวังให้ Loading Lam อยู่ตรงกลางของหมวกครอบ (Top Cap) พอดีแล้วชั้นสกรูยึดฐานสามขาของเซลล์ให้แน่น (ขั้นตอนนี้ก่อนติดตั้งครอบแก้วต้องทำการปรับ Loading Lam ให้สูงพอที่จะไม่ชนกับตัวอย่างดิน มิฉะนั้นจะทำให้ Loading Lam กดตัวอย่างดินจนเกิดความเสียหาย)

2.2.2.9 ทำการติดตั้งสายอุปกรณ์เข้ากับเครื่องทดสอบ Triaxial แบบอัตโนมัติ เช็คว่าความเรียบร้อยของวาล์วสายให้ความดันก่อนเริ่มการทดสอบต่อไป

ตาราง 1 พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกน

ชนิดของการทดสอบ	ดินธรรมชาติ	ดินบดอัด
UU Test	ดินเหนียวอิ่มตัว	ดินเหนียวไม่อิ่มตัว
	Cu และ $\sigma_3 = 0$	Cu และ σ_3
CU Test	ดินเหนียวอิ่มตัว	ดินเหนียวไม่อิ่มตัว
	Cu และ σ_3 หรือ C', σ_3' และ Δu เมื่อวัด ความดันน้ำ	Cu และ σ_3 หรือ C', σ_3' และ Δu เมื่อวัด ความดันน้ำ
CD Test	C', σ_3' เมื่อ $\Delta u = 0$	C', σ_3' เมื่อ $\Delta u = 0$

2.3 ทฤษฎีการวิบัติของวงกลมมอร์-คูลอมบ์

Mohr (1990) ได้เสนอทฤษฎี เกี่ยวกับความแข็งแรงของดินว่า การวิบัติของดินไม่ได้เกิดขึ้นในระนาบที่มีค่าความเค้นเฉือนมากที่สุด แต่จะเกินในระนาบที่วิกฤติเนื่องจากผลของความเค้นในแนวตั้งฉากและความเค้นเฉือนรวมกัน

2.3.1 ทฤษฎีการวิบัติของ Mohr-Coulomb สามารถเคราะห์ได้ 2 สภาวะ ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในสนามดังต่อไปนี้

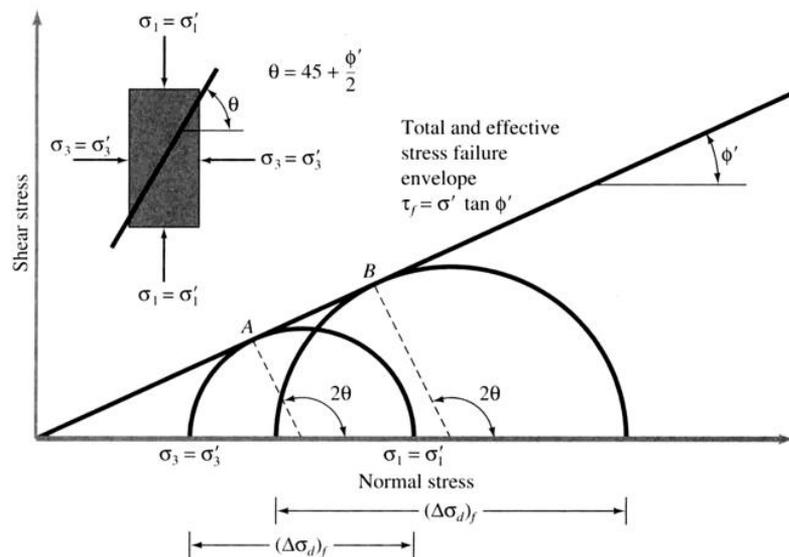
2.3.1.1 สภาวะหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress)

$$\tau' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.1)$$

2.3.1.2 สภาวะหน่วยแรงรวม (Total Stress)

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.2)$$

2.3.2 หน่วยแรงหลักที่จุดวิบัติและระนาบวิบัติ



ภาพประกอบ 2 หน่วยแรงหลัก

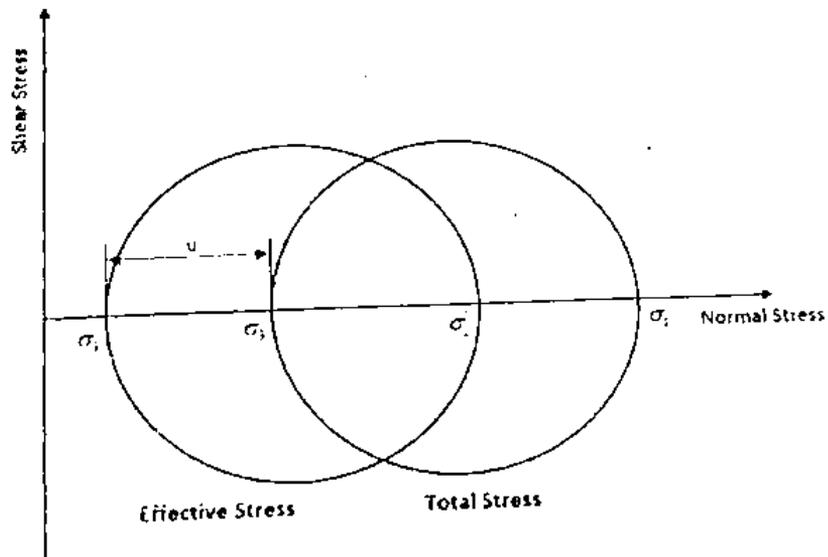
(สถาพร คูวิจิตรจากรุ และคณะ, 2546.)

$$\text{จากรูปเรขาคณิต มุมวิบัติ : } \theta = 45 + \frac{\phi'}{2} \quad (2.3)$$

$$\text{หน่วยแรงหลักประสิทธิผล : } \sigma' = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.4)$$



2.3.3 วงกลมมอร์ริในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล



ภาพประกอบ 3 วงกลมมอร์ริในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
(สถาพร คูวิจิตรจาร์ และคณะ, 2546.)

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.5)$$

เมื่อ σ = ความเค้นรวม

σ' = ความเค้นประสิทธิผล

u = ความดั่งโพรง

2.4 การทรุดตัวของดิน

เมื่อมวลดินถูกแรงกระทำจะเกิดความเค้นขึ้นภายในมวล ดิน โดยแรงกระทำนั้นอาจเป็นแรงที่เกิดจากการก่อสร้างฐานราก การก่อสร้างอาคาร รวมถึงแรงกระทำในลักษณะอื่นๆ ซึ่งแรงที่กระทำกับมวลดินนี้จะทำให้เกิดการบีบอัดตัว (compression) ขึ้นในมวลดินซึ่งการบีบอัดตัวของมวลดินนี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปและการเคลื่อนตัวของอนุภาคเม็ดดินการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคเม็ดดิน และการไหลออกของน้ำหรืออากาศระหว่างช่องว่างภายในมวลดินและโดยทั่วไปแล้ว การทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำแบบต่างๆ นั้นจะสามารถจำแนกการทรุดตัวออกได้ เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

2.4.1 การทรุดตัวแบบยืดหยุ่น (elastic settlement) หรือการทรุดตัวแบบทันที (immediate settlement) เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นของมวลดินที่มีลักษณะแข็ง เปี้ยกหรืออิมตัวก็ตาม โดยผลจากการทรุดตัวไม่ทำให้ปริมาณความชื้นในมวลดินเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการคำนวณ



หรือการประมาณค่าการทรุดตัวแบบทันทีนี้จะให้หลักการของสมการจากทฤษฎีอิลาสติก (theory of elasticity)

2.4.2 การทรุดตัวแบบการยุบตัวคายน้ำปฐมภูมิ (primary consolidation settlement) เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินอิ่มตัวที่มีแรงเชื่อมแน่นเนื่องจากน้ำในโพรงดิน (pore water) ไหลออกหรือถูกระบายออกจากผลของแรงกระทำ

2.4.3 การทรุดตัวแบบการยุบตัวคายน้ำทุติยภูมิ (secondary consolidation settlement) จะเกิดขึ้นในดินอิ่มตัวที่มีแรงเชื่อมแน่นหรือในดินอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกของโครงสร้างมวลดิน (soil fabrics) ดังนั้นหลักการพื้นฐานในการคำนวณหรือการประมาณค่าการทรุดตัวทั้งหมดของมวลดินจะสามารถคำนวณได้ดัง สมการดังนี้

$$ST = Sc + Ss + Se \tag{2.6}$$

- เมื่อ ST = ค่าการทรุดตัวทั้งหมด
- Sc = ค่าการทรุดตัวแบบการยุบตัวคายน้ำปฐมภูมิ
- Ss = การทรุดตัวแบบการยุบตัวคายน้ำทุติยภูมิ
- Se = การทรุดตัวแบบ

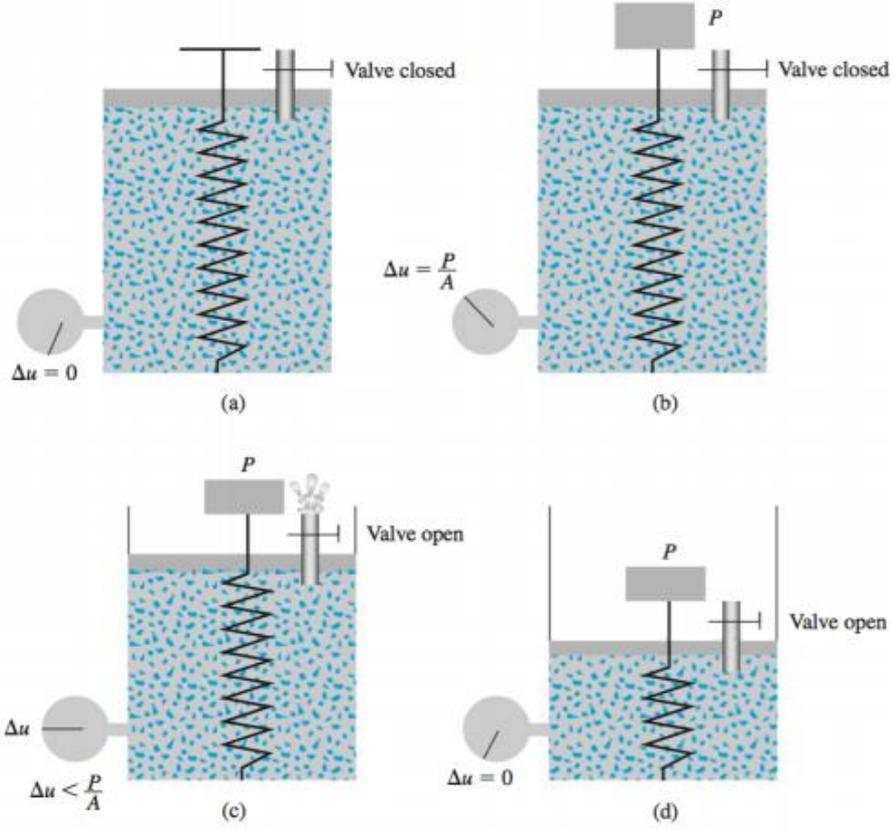
2.5 การทรุดตัวแบบยุบตัวคายน้ำ (Consolidation settlement)

หลักการพื้นฐานของยุบตัวคายน้ำ (Fundamentals of consolidation) เมื่อดินอิ่มตัวถูกแรงกระทำจะทำให้ความเค้นภายในมวลดินเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความดันน้ำในโพรงดินมีค่าเพิ่มขึ้นในทันที โดยในชั้นดินทรายที่มีค่าความการซึมผ่านได้ของน้ำสูง การระบายน้ำออกจากมวลดินทรายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากความดันน้ำในโพรงดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากแรงที่มากระทำเป็นผลให้เกิดการทรุดตัวในทันทีหรือการทรุดตัวแบบยืดหยุ่นขึ้นในมวลดินทราย (เนื่องจากปริมาตรของมวลดินลดลงจากปริมาตรน้ำมีการถูกระบายออก) และเนื่องจากความสามารถในการระบายน้ำในโพรงดินออกได้อย่างรวดเร็วทำให้ค่าการทรุดตัวแบบยืดหยุ่นและการยุบตัวคายน้ำของดินทรายเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน (simultaneously) แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับชั้นดินเหนียวอิ่มตัวหากมีแรงมากระทำและทำให้ความเค้นในมวลดินเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น การทรุดตัวแบบยืดหยุ่นในมวลดินเหนียวก็เกิดขึ้นในทันทีเช่นกัน การยุบตัวคายน้ำ (consolidation) ในมวลดินเหนียวนี้จะเกิดขึ้นกินระยะเวลานานมาก หลังจากเกิดการทรุดตัวในทันทีแล้ว ซึ่งการทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวคายน้ำนี้จะไถ่เวลานานมากกว่าการทรุดตัวในทันทีหลายเท่า การทรุดตัวหรือการเคลื่อนตัวตามระยะเวลา (time-dependent deformation) ของดินเหนียวอิ่มตัวจะสามารถอธิบายให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนจากการ การพิจารณาแบบจำลองอย่างง่ายซึ่งประกอบไปด้วยภาชนะทรงกระบอกที่มีสปริงอยู่ตรงกลาง โดยกำหนดให้ภาชนะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ A และในภาชนะทรงกระบอกใส่น้ำอยู่เต็มซึ่งลูกสูบ (piston) สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างสะดวกไม่มีแรงเสียดทาน (frictionless) หากเรานำแรงมากระทำกับแบบจำลองขนาดเท่ากับ P ที่ด้านบนของภาชนะทรงกระบอกผ่านลูกสูบ โดยที่วาล์วด้านบนยังถูกปิดอยู่ซึ่ง ณ สภาวะนี้

แรงที่กระทำทั้งหมดจะถูกรองรับโดยน้ำในภาชนะทรงกระบอกเนื่องจากน้ำไม่มีความสามารถในการยุบตัว (incompressible) และสปริงก็ยังไม่เกิดการเปลี่ยนรูปหรือยังไม่เกิดการยุบตัวลง

ดังนั้น น้ำในภาชนะทรงกระบอก (เนื่องจากรองรับแรงกระทำทั้งหมด) จะมีค่าความดันสถิตศาสตร์ส่วนเกิน (excess hydrostatic pressure) ดังสมการ

$$\Delta u = \frac{P}{A} \tag{2.7}$$



ภาพประกอบ 4 แบบจำลองสปริง-ภาชนะทรงกระบอกสำหรับการศึกษาลักษณะของการยุบตัวของดินเหนียวอิมิตัว (Das and Sobhan, 2013)

และสามารถเขียนสมการที่ 2 ได้ดังนี้

$$P = P_s + P_w \tag{2.8}$$

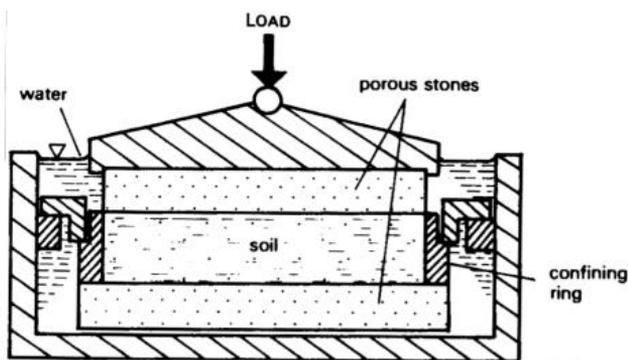
- เมื่อ P_s = แรงที่รองรับไว้โดยสปริง
- P_w = แรงที่รองรับไว้โดยน้ำในภาชนะ

ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาข้างต้นดังภาพประกอบ 4 (a) เมื่อมีแรงกระทำและวาล์วยังถูกปิดอยู่สนิท จากสมการ 2.8 เราจะพบว่า $P_s =$ แรงที่รองรับไว้โดยสปริง $= 0$ และ $P_w = P$ แต่อย่างไรก็ตามหลังจากที่วาล์วได้ถูกเปิดออกน้ำในภาชนะจะไหลออก ดังภาพประกอบ 4 (c) ซึ่งการที่น้ำไหลออกไปจากภาชนะนี้จะเหมือนกับการจำลองการระบายน้ำในโพรงดินออกไป โดยหลังจากที่น้ำไหลออกไปได้จากภาชนะ ค่าความดันน้ำสถิตศาสตร์ส่วนเกินจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นแรง P บางส่วนจะถูกรองรับโดยสปริง ดังนั้น $P_s > 0$ และ $P_w < P$ ความดันน้ำสถิตศาสตร์ส่วนเกินจะลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ และระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล (state of equilibrium) ดังภาพประกอบ 4 (d) ดังนั้น $P_s = P$ และ $P_w = 0$

2.6 การทดสอบการยุบตัวของคาน้ำ

การทดสอบการยุบตัวของคาน้ำในห้องปฏิบัติการ จะเป็นการทดลองการอัดตัวของคาน้ำการแบบหนึ่งมิติ (One-dimensional laboratory consolidation test) ขั้นตอนการทดสอบการยุบตัวของคาน้ำในห้องปฏิบัติการถูกนำเสนอโดย Terzaghi เป็นครั้งแรกโดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบถูกเรียกว่า consolidometer หรือ oedometer

ซึ่งตัวอย่างดินจะถูกใส่ไว้ในวงแหวนโดยมีแผ่นหินพรุนวางอยู่ด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 64 มิลลิเมตร และหนาประมาณ 25 มิลลิเมตร ซึ่งแรงตามแนวแกนตั้ง (load) จะถูกกระทำผ่านแขนคาน (lever arm) และการยุบตัวตามแนวแกนตั้งจากแรงกระทำจะถูกวัดโดยไดอัลเกจที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของอุปกรณ์ น้ำในมวลของตัวอย่างดินจะถูกเก็บรักษาไว้ตลอดการทดสอบ โดยระหว่างการทดสอบจะไม่อนุญาตหรือปล่อยให้ น้ำไหลออกไปจากตัวอย่างดิน และแรงหรือน้ำหนักที่กระทำกับตัวอย่างดินแต่ละครั้งจะกระทำกับตัวอย่างดินอย่างต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง (โดยไม่มีการเอาน้ำหนักหรือแรงตามแนวแกนตั้งออกจากตัวอย่างดิน) โดยในการเพิ่มแรงหรือน้ำหนักจะเพิ่มน้ำหนักขึ้นเป็นครั้งละสองเท่าของน้ำหนักเดิมและการวัดการยุบตัวจะกระทำอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบและตลอดการเพิ่มน้ำหนักที่มากกว่า นอกจากนี้ระหว่างการทดสอบช่วงเวลาในการทดสอบทั้งหมดก็ต้องถูกบันทึกเช่นกัน ซึ่งหลังการทดสอบตัวอย่างดินจะถูกนำไปหาน้ำหนัก (หรือมวล) แห่งต่อไป



ภาพประกอบ 5 แผนภาพอุปกรณ์การทดสอบการยุบตัวของคาน้ำ
(Whitlow, 1995)



2.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างและค่าความดัน (Void ratio - pressure plots) เมื่อเราได้ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-การเคลื่อนตัวระหว่างการยุบตัวคายน้ำจากแรงกระทำขนาดต่างๆกันจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญต่อไปคือการพิจารณาค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างดินต่อแรงกระทำ (ความดัน)

2.7.1.1 คำนวณหาค่าความสูงของอนุภาคของแข็งของตัวอย่างดิน จากสมการ

$$H_s = \frac{W_s}{AG_s\gamma_w} = \frac{M_s}{AG_s\rho_w} \quad (2.9)$$

เมื่อ W_s = ให้น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน

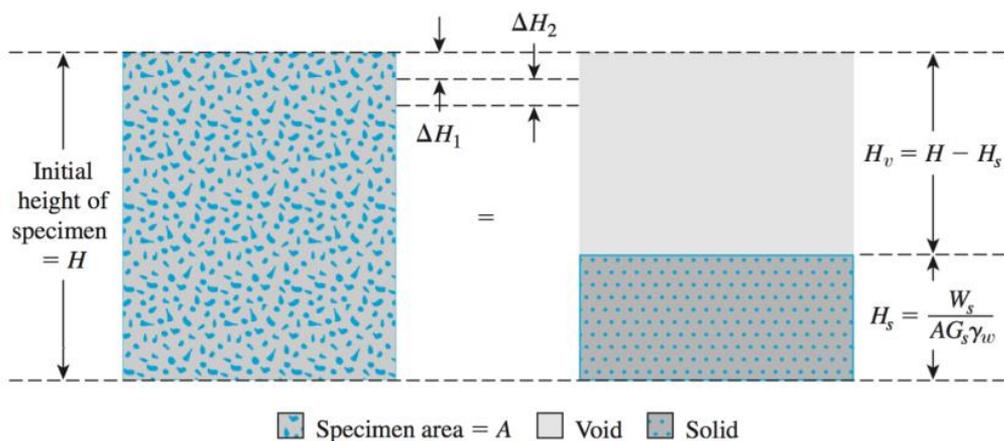
M_s = มวลแห้งของตัวอย่างดิน

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดิน

γ_w = ให้น้ำหนักของน้ำ

ρ_w = ค่าความหนาแน่นของน้ำ



ภาพประกอบ 6 การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างดิน
ในการทดสอบการยุบตัวคายน้ำแบบหนึ่งมิติ
(Das and Sobhan, 2013)

2.7.1.2 คำนวณหาค่าความสูงของช่องว่างเริ่มต้นจากสมการ

$$H_v = H - H_s \quad (2.10)$$

เมื่อ H = ความสูงเริ่มต้นของตัวอย่างดิน



2.7.1.3 คำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้นของตัวอย่างดิน จากสมการ

$$e_o = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v}{H_s} \frac{A}{A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (2.11)$$

2.7.1.4 สำหรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นครั้งแรก (แรงกระทำทั้งหมด/พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน) ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนตัวหรือการยุบตัวเท่ากัน ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างได้จากสมการ

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \quad (2.12)$$

โดยเป็นค่าที่อ่านได้จากไดอัลเกจตอนเริ่มต้นและตอนสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละแรงกระทำ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องระลึกไว้เสมอ คือ ค่าความเค้นทั้งหมด ณ จุดสิ้นสุดการยุบตัวคายนํ้า จะมีค่าเท่ากับค่าความเค้นประสิทธิผล

2.7.1.5 คำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่างใหม่ หลังจากสิ้นสุดการยุบตัวคายนํ้าจากผลของแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นครั้งแรก จากสมการ

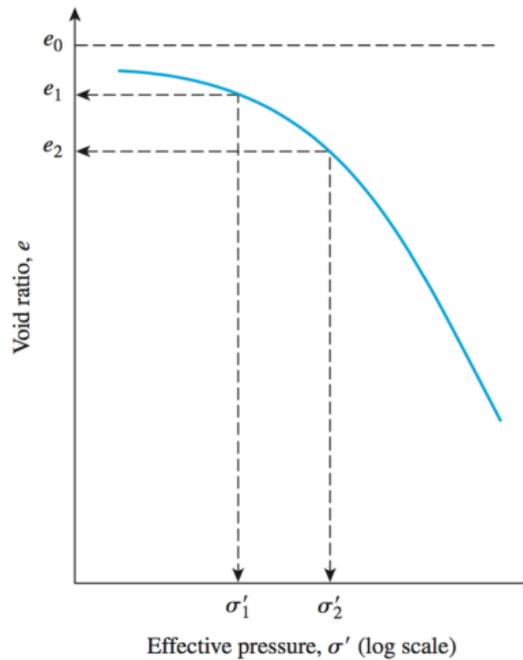
$$e_1 = e_o - \Delta e_1 \quad (2.13)$$

และสำหรับการเพิ่มแรงกระทำในขั้นต่อไป (เป็นแรงกระทำสะสมต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน) ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวหรือการยุบตัว ดังนั้นค่าอัตราส่วนช่องว่าง ณ จุดสิ้นสุดการยุบตัวคายนํ้าของแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \quad (2.14)$$

ซึ่งในขั้นนี้ σ_2 = ความเค้นประสิทธิผล (σ'_2) และให้ทำการทดสอบเหมือนเดิม (ขั้นตอนที่ 2.7.1.4 และขั้นตอนที่ 2.7.1.5) โดยการเพิ่มนํ้าหนักหรือแรงกระทำไปเรื่อยๆ เพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง ณ ค่าแรงกระทำขนาดต่างๆ กันไป และจากการทดสอบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นจะทำให้เราสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นประสิทธิผลและค่าอัตราส่วนช่องว่าง ณ จุดสิ้นสุดการยุบตัวคายนํ้าในแต่ละแรงกระทำได้โดยกราฟ ค่าความเค้นประสิทธิผล (แกน x) จะถูกวาดขึ้นตาม หน่วยของ semilogarithmic





ภาพประกอบ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e และ \log
(Das and Sobhan, 2013)

2.8 การยุบตัวคายนํ้าแบบปกติและการยุบตัวคายนํ้าแบบสูงกว่าปกติ

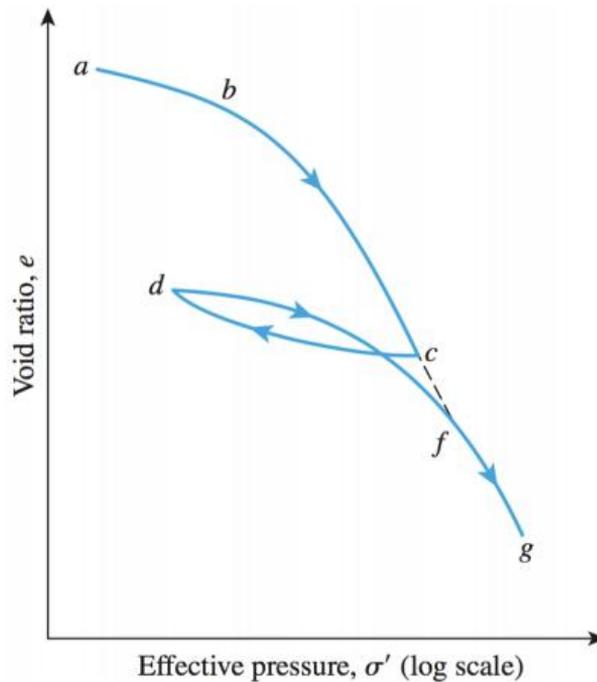
2.8.1 การยุบตัวคายนํ้าแบบปกติ (normally consolidated)

เป็นสถานะที่ในปัจจุบันดินมีค่า ความเค้นกดทับที่มากที่สุด (maximum overburden pressure) เท่าที่เคยมีความเค้นมากระทำตั้งแต่ออดีต

2.8.2 การยุบตัวคายนํ้าสูงกว่าปกติ (overconsolidated)

เป็นสถานะที่ในปัจจุบันดินมีค่าความเค้นกดทับ (overburden pressure) น้อยกว่าความเค้นกดทับที่เคยเกิดขึ้นในอดีตโดยค่าความเค้นกดทับในอดีตที่มากที่สุดถูกเรียกว่า ความเค้นก่อนการยุบตัวคายนํ้า(preconsolidation pressure)



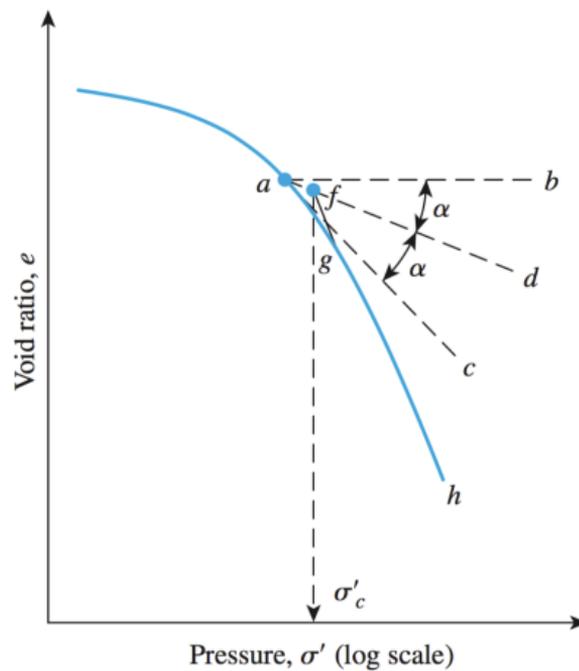


ภาพประกอบ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e และ $\log \sigma'$ แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการ loading, unloading และ reloading (Das and Sobhan, 2013)

วิธีการประมาณค่าดังกล่าวเป็นดังนี้

1. โดยการใช้การประมาณค่าจากสายตา ให้เราพิจารณาหาจุด a ของเส้นกราฟที่ถูกสร้างขึ้น ($e - \log \sigma'$) โดยจุด a เป็นจุดที่มีค่ารัศมีความโค้งที่น้อยที่สุด (minimum radius of curvature)
2. วาดเส้นตรง ab
3. วาดเส้นตรง ac ซึ่งสัมผัสเส้นโค้งที่จุด a
4. วาดเส้นตรง ad ซึ่งเป็นเส้นตรงที่แบ่งมุม bac ออกเป็นมุมเท่าๆ กัน (bisector)
5. วาดส่วนของเส้นตรง gf ซึ่งเป็นเส้นตรงที่ต่อออกมาจากส่วนของเส้นตรง (เส้นโค้ง) gh โดยพิกัดจุด f ตาม แนวแกน x ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างเส้นตรง gf และเส้นตรง fd จะคือค่าของความเค้นก่อนการยุบตัวคายน้ำ (preconsolidation pressure)





ภาพประกอบ 9 วิธีการหาค่าความเค้นก่อนการยุบตัวคายนํ้าโดยวิธีวาดเส้นกราฟฟิก
ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$
(Das and Sobhan, 2013)

ค่าอัตราส่วนการยุบตัวคายนํ้าแบบสูงกว่าปกติ (overconsolidation ratio, OCR) สำหรับดิน
สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'} \quad (2.15)$$

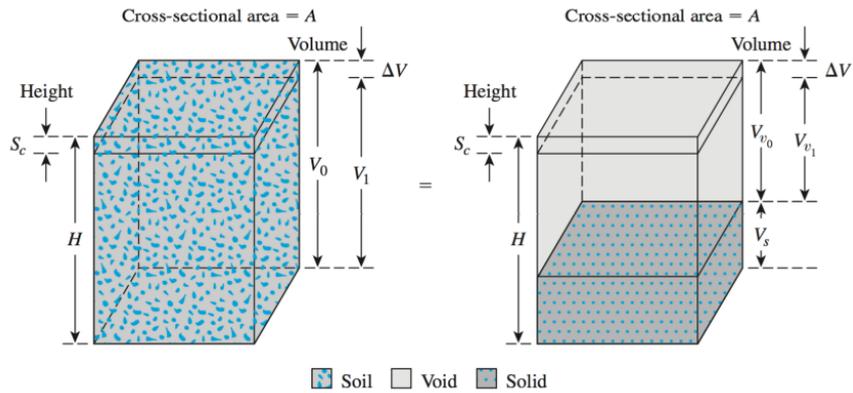
เมื่อ σ'_c = ค่าความเค้นก่อนการยุบตัวคายนํ้าของดิน
 σ' = ค่าความเค้นในแนวตั้งประสิทธิผล ณ ปัจจุบันของดิน

2.9 การคำนวณหาค่าการทรุดตัวจากการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิหนึ่งมิติ

จากผลการทดสอบการยุบตัวคายนํ้าในห้องปฏิบัติการ เราสามารถคำนวณหาค่าการทรุดตัว (settlement) ที่เกิดขึ้นจากการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิ (primary consolidation) ในสนามได้ โดยมีสมมติฐานที่สำคัญคือเป็นการยุบตัวคายนํ้าแบบหนึ่งมิติ ในการพิจารณาชั้นดินเหนียวอิ่มตัวที่มีความหนา (H) และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A ภายใต้ความเค้นกดทับประสิทธิผลเฉลี่ยที่กระทำอยู่ในมวลดิน (existing average effective overburden pressure, σ'_0) เมื่อชั้นดินเหนียวมีแรง (ความเค้น) มากระทำเพิ่มขึ้นเท่ากับชั้น $\Delta\sigma'$ ดินจะเกิดการทรุดตัวแบบปฐมภูมิ (จากผลของการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิ)



มีค่าเท่ากับ S_c ดังนั้น ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (change in volume) จากการพิจารณาภาพประกอบ 10 เป็นดังนี้



ภาพประกอบ 10 การหดตัวจากผลของการยุบตัวคายนํ้าปฐมภูมิแบบหนึ่งมิติ
(Das and Sobhan, 2013)

ค่าปริมาตรช่องว่างเริ่มต้นและปริมาตรช่องว่างสุดท้ายตามลำดับ และจากนิยามของอัตราส่วนช่องว่าง จะได้สมการดังนี้

$$\Delta V_v = \Delta e V_s \quad (2.16)$$

$$V_s = \frac{V_0}{1+e_0} = \frac{AH}{1+e_0} \quad (2.17)$$

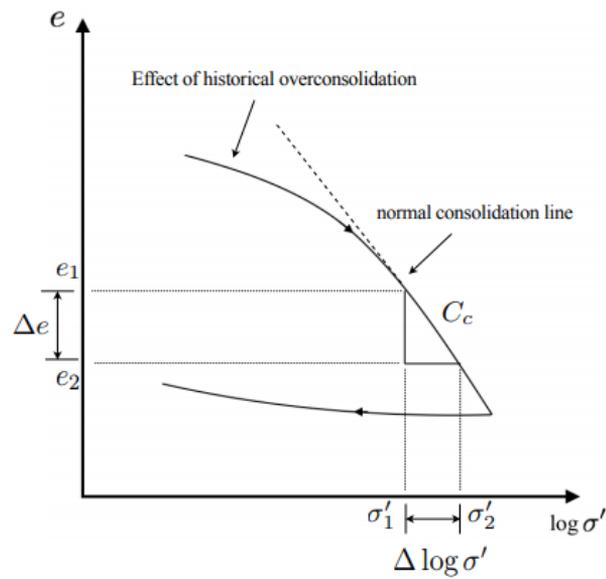
$$\Delta V = S_c A = \Delta e V_s = \frac{AH}{1+e_0} \Delta e \quad (2.18)$$

หรือ

$$S_c = H \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (2.19)$$

และสำหรับดินเหนียวที่มีค่าการยุบตัวคายนํ้าแบบปกติ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในช่วงของการลาดเอียงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$ เราสามารถคำนวณค่า Δe ได้โดยพิจารณาจากภาพประกอบ 11 ดังนี้





ภาพประกอบ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$ และค่าดัชนีการกดอัด (compression index, C_c)

จากภาพประกอบ 11 จะได้สมการ ดังนี้

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma'_2 - \log \sigma'_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)} \quad (2.20)$$

ดังนั้นค่าอัตราส่วนช่องว่างสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นกดอัดใดๆ จะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$e_2 = e_1 - C_c \log \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right) \quad (2.21)$$

สามารถเขียนสมการ 2.21 ได้ใหม่ ดังนี้

$$\Delta e = C_c (\log(\sigma'_1 + \Delta \sigma') - \log \sigma'_1) \quad (2.22)$$

จะสามารถหาค่าการทรุดตัวแบบปฐมภูมิได้จากสมการ

$$S_c = \frac{H C_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_1 + \Delta \sigma'}{\sigma'_1} \right) \quad (2.23)$$

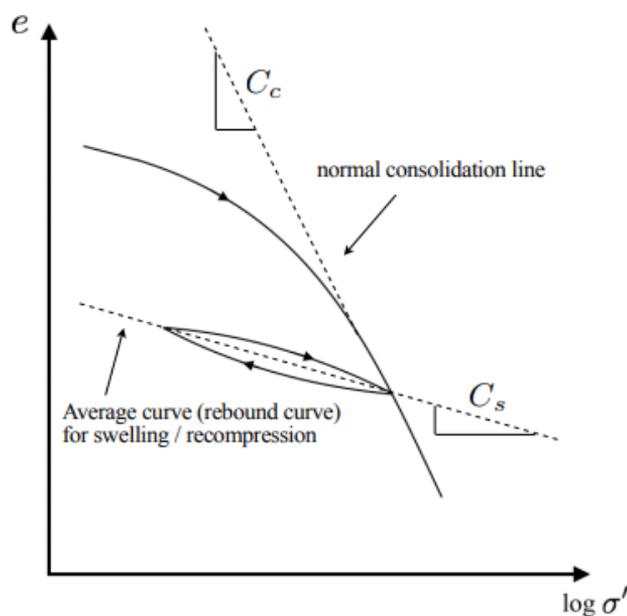


การทดลองระหว่างค่า (C_c) และค่าพิกัดเหลว (LL) สำหรับดินเหนียวที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed clay) โดยมีค่าความสัมพันธ์ดังนี้

$$C_c = 0.009(LL - 10) \quad (2.24)$$

สำหรับดินเหนียวที่มีการยุบตัวมากกว่าปกติ (overconsolidated clays) โดยมีค่า $\sigma'_1 + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$ เราจะสามารถหาค่าการทรุดตัวแบบปฐมภูมิได้จากสมการ

$$S_c = \frac{HC_c}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_2 + \Delta\sigma'}{\sigma'_1}\right) \quad (2.25)$$



ภาพประกอบ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า e และ $\log \sigma'$ และค่าดัชนีการพองตัว (swelling index, C_s)

แต่อย่างไรก็ตามหาก $\sigma'_1 + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$ เราจะสามารถ หาค่าการทรุดตัวแบบปฐมภูมิได้จากสมการดังนี้

$$S_c = \frac{HC_c}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_1}\right) + \frac{HC_c}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma'_1 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right) \quad (2.26)$$



2.10 การหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง

การหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง คือการหาความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมวลดินนั้น ๆ การเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบจะต้องเก็บคละกันมาโดยใช้น้ำหนักในการทดลองที่ 500 กรัม มาร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดต่างกันมีจำนวนตะแกรงเรียงซ้อนกัน 6 ชั้น เริ่มจากตะแกรงชั้นบนสุดมีขนาดดังนี้

ตาราง 2 ตารางบอกขนาดช่องเปิดตะแกรงและลำดับชั้นตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM 304

ชั้นที่	ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มิลลิเมตร)
1	4 นิ้ว	100
2	1½ นิ้ว	37.5
3	¼ นิ้ว	6.3
4	No. 20	0.85
5	No. 100	0.15
6	No. 200	0.074
Pan		

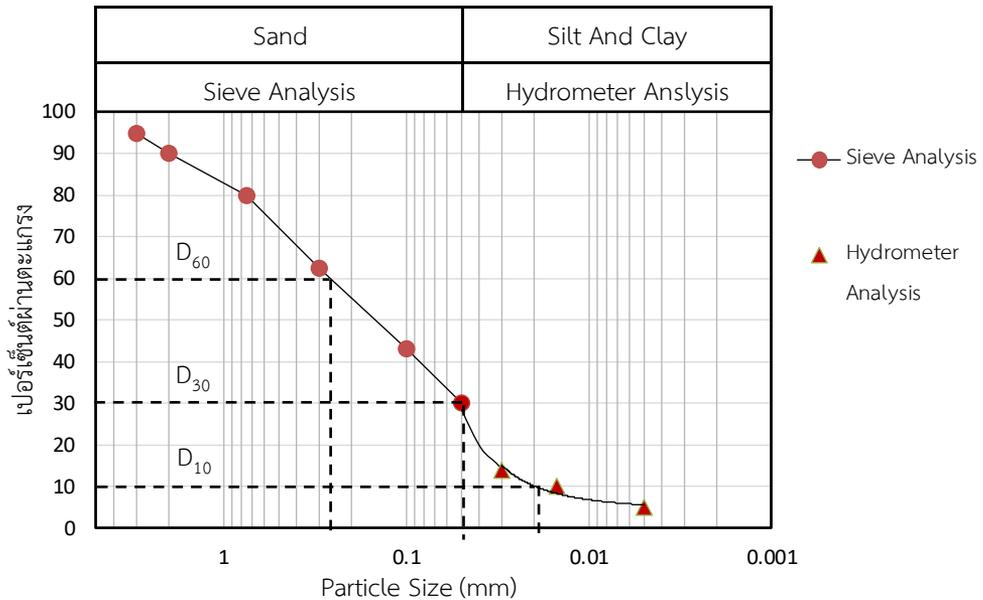
การจำแนกดินทุกระบบจะใช้ขนาดของตะแกรงเบอร์ 200 เป็นจุดแบ่งในการจำแนกดินระหว่างเม็ดดินที่มีขนาดเล็กและเม็ดดินที่มีขนาดเม็ดที่โตกว่าออกจากกันนำผลการทดลองที่ได้กรอกข้อมูลลงในตารางเก็บข้อมูลดังนี้

ตาราง 3 ตารางเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์เม็ดดินโดยตะแกรง

Sieve No.	ขนาดช่องเปิด (มม.)	น้ำหนัก ตะแกรง(ก.)	น้ำหนักตะแกรง+ น้ำหนักดิน (ก.)	น้ำหนัก ค้าง (ก.)	เปอร์เซ็นต์ ค้าง (ก.)	ร้อยละค้ำ สะสม(%)	ร้อยละ ผ่าน สะสม (%)
4							
10							
40							
60							
100							
200							
ถาด รอง							



นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในตาราง จากช่อง Percent Finer และ Sieve No. มาเขียนกราฟและหาค่า D_{60} D_{30} และ D_{10}



ภาพประกอบ 13 กราฟการวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์และตะแกรงเบอร์ต่างๆ

นำค่า D_{60} D_{30} และ D_{10} ที่อ่านได้จากกราฟ มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของเม็ดดิน สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniform Coefficient)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.27)$$

สัมประสิทธิ์ความโค้ง (Curvature Coefficient)

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2.28)$$

C_u มีค่าสูง หมายถึง ดินมีตั้งแต่ขนาดใหญ่ถึงเล็กคละกัน หาก $C_u \leq 4$ ถึง 5 ดินจะมีเม็ดดินขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่และโค้งจะชัน ถ้า $C_u \geq 10$ เม็ดดินจะไม่มีสม่ำเสมอและโค้งจะมีความชันมากดินที่มี C_c อยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 3 ถือว่ามีขนาดตั้งแต่ใหญ่ถึงเล็กแสดงถึงเม็ดดินมีกากระจายขนาดกันดี



2.11 การวิเคราะห์การกระจายขนาดโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

การวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) จะทำได้เมื่อหาค่า D_{10} จากกราฟ การหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงไม่ได้จึงจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ในการวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) นี้จะใช้ดินที่มีขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มาทำการทดลองเท่านั้น

น้ำหนักของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ใช้น้ำหนัก 50 กรัม ใช้เวลาในการทดลองการวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ Hydrometer ทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และทำการจดบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตารางเก็บข้อมูลดังนี้

ตาราง 4 ตารางเก็บข้อมูลผลการทดสอบหาการกระจายขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

Hydrometer Analysis													
Hydrometer Type	152H	No.		Meniscus Correction , C_m									
Length L_2 ,(cm)				Wt. Of Soil Retained No. #200 Sieve,(g)									
Distance L_s ,(cm)				Wt. Of Soil Passing No. #200 Sieve,(g)									
Distance y ,(cm)				Wt. Of Dry Soil Used In The Test,(g)									
Volume V_b ,(cm ³)				G_s Of Soil									
Dimeter Of Cylinder ,(cm)				Parameter 'a'									
Cross Section Area Of Cylinder ,(cm ²)				Dispersing Agent									
Date	Time	Elapsed Time mim.	152H		Temp C°	Rc ($R_a - R_{wd}$)	% N	$R_a + C_m$	L_1 (cm)	L (cm)	K	D_s (mm)	%N'
			R_a	R_{wd}									



หาความเร็วในการจมของเม็ดดินจากสูตร

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\mu} \quad (2.29)$$

เมื่อ V = ความเร็วในการจมของเม็ดดิน

r_s = ความหนาแน่นของเม็ดดิน

r_w = ความหนาแน่นของน้ำ

m = ความหนืดของน้ำ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของกระบอกที่ทำการบรรจุน้ำในการทดลอง

หาปริมาณของดินที่อยู่ในสภาพแขวนลอยจากสูตร

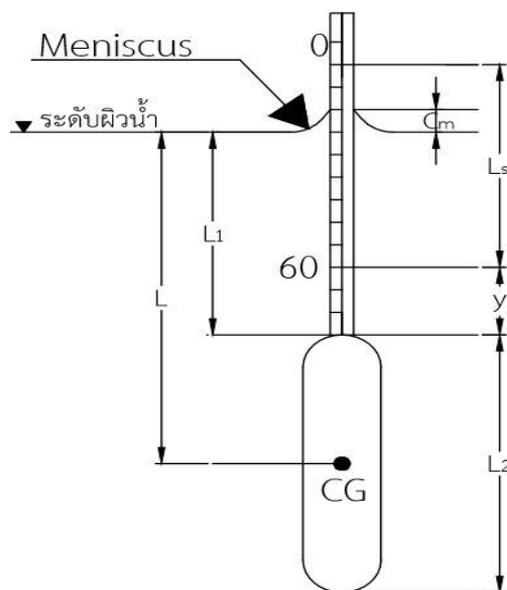
$$N\% = \frac{R_c}{W_s} \times \frac{1.65G_s}{2.65(G_s - 1)} \quad (2.30)$$

เมื่อ $N\%$ = ร้อยละความละเอียด (% Finer)

R_c = ค่าไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ในส่วนผสมหลังจากได้รับการแก้ไขแล้ว

W_s = น้ำหนักแห้งของดินที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

G_s = ความถ่วงจำเพาะของดิน



ภาพประกอบ 14 การวัดค่าต่างๆใน (Hydrometer)



เมื่อจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำ ผิวของน้ำจะโค้งขึ้นไปสัมผัสกับไฮโดรมิเตอร์เนื่องจากแรงตึงผิวซึ่งเรียกบริเวณดังกล่าวว่า “Meniscus”

หาค่า R_c หรือค่าปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์

$$R_c = R_a - R_{wd} \quad (2.31)$$

เมื่อ R_a = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ที่ระดับบนของจุด Meniscus ในกระบอกทดลองไฮโดรมิเตอร์ ผสมด้วยน้ำเปล่า+สารช่วยในการกระจายตัว + เม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

R_{wd} = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ที่ระดับบนของจุด Meniscus ในกระบอกทดลองไฮโดรมิเตอร์ที่ผสมด้วย น้ำเปล่า+สารช่วยในการกระจายตัว

หาขนาดเม็ดดินที่ตกตะกอน

$$D_s = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (2.32)$$

เมื่อ K = หน่วยน้ำหนักของดินที่อุณหภูมิต่างๆ (หาจากตาราง)

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน (มิลลิเมตร)

T = ระยะเวลา นับตั้งแต่หยุดเขย่ากระบอกทดลอง (นาที)

L = Effective Depth ของไฮโดรมิเตอร์ซึ่งเป็นระยะระหว่างผิวของน้ำจนถึงจุดศูนย์กลางของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (เซนติเมตร)



ตาราง 5 ตารางค่า K ของดินที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 2.45 ถึง 2.85
ในช่วงอุณหภูมิ 16 ถึง 30 องศาเซลเซียส

Temperature, deg C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16.....	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17.....	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18.....	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19.....	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20.....	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21.....	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22.....	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23.....	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24.....	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25.....	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26.....	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27.....	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28.....	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29.....	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30.....	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

หาค่า L (Effective Depth) ซึ่งแบ่งเป็นสองช่วง
ช่วง 0 - 2 นาที่แรกหา L จาก

$$L = L_1 + \frac{L_2}{2} \quad (2.33)$$

ช่วงหลังจาก 2 หา L จาก

$$L = L_1 + \frac{L_2 - (V_b/A_j)}{2} \quad (2.34)$$

เมื่อ L_1 = ระยะจากผิวของน้ำ (ระดับล่างของ Meniscus) จนถึงขอรอยต่อระหว่างก้านกับ
กระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (เซนติเมตร)

L_2 = ความยาวของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (เซนติเมตร)

V_d = ปริมาณของกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร) หาได้โดยการแทนที่ใน
กระบอกตวง

A_j = พื้นที่หน้าตัดของกระบอกทดลองที่บันจุ่มส่วนผสมรวม (ตารางเซนติเมตร)



หาค่า L_1 หาได้โดยวิธี Linear Interpolation

$$L_1 = \frac{L_s}{60} \times (60 - R_c) + y \quad (2.35)$$

เมื่อ L_s = ระยะทางระหว่างขีด 0 ถึง 60 (เซนติเมตร)

Y = ระยะระหว่างรอยต่อกระเปาะไฮโดรมิเตอร์กับก้านจนถึงขีด 60 (เซนติเมตร)

2.12 การหาขีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg's Limits of soil)

ในการหาขีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg's Limits of soil) จะมีผลมากกับดินที่มีความเหนียว ซึ่ง ดินที่มีความเหนียวสามารถอยู่ได้หลายสถานะ เช่น

สถานะของเหลว คือ ดินที่มีลักษณะเป็นโคลนไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้

สถานะพลาสติก คือ ดินที่มีสถานะกึ่งแข็งและสถานะแข็ง

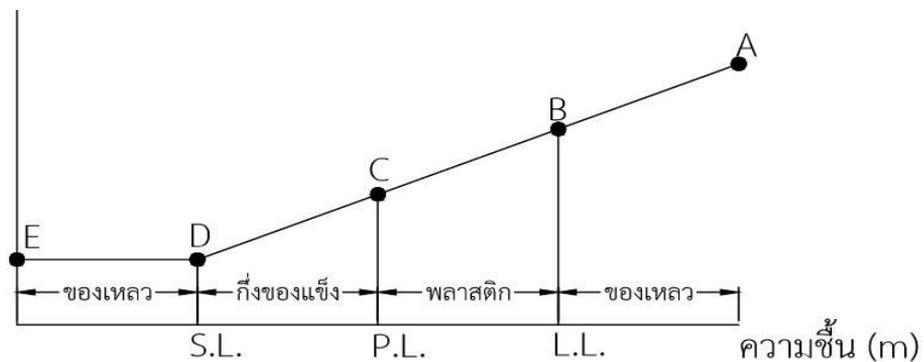
สถานะของเหลว คือ ดินที่มีลักษณะคล้ายโคลนจะไหลได้แบบหนืดๆ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้

สถานะพลาสติกคือ ดินที่มีลักษณะหนืดๆ คลายดินน้ำมันสามารถปั้นขึ้นรูปได้โดยไม่แตกร้าว

สถานะกึ่งแข็ง คือ ดินที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้แต่จะมีรอยแตกร้าวบริเวณผิว

สถานะแข็ง คือ ดินที่มีความแข็งอยู่ตัว ซึ่งถ้าพยายามทำให้เปลี่ยนรูปร่าง

ปริมาตร(V)



ภาพประกอบ 15 สถานะของดินเหนียวและพิกัดออตเตอร์เบิร์ก

ในการหาขีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg's Limits of soil) จะทำการหาเพียง 2 ค่า

1. ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limits) คือ ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคงอยู่ในสถานะของเหลวได้



2. ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limits) คือ ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคงสภาพในสถานะพลาสติกในการหาค่าพิกัดเหลว Liquid Limits จะได้ผลการทดสอบจากชุดการเคาะ (Atterberg's) โดยมีลักษณะเป็นเหมือนกระดิ่ง ตั้งภาพประกอบ 16 ชุดทดสอบพิกัดเหลวของดิน ด้วยวิธีการตกกระทบอิสระส่วนการหาค่าพิกัดพลาสติก Plastic Limits จะเป็นการทดสอบหาค่าความชื้นต่ำสุดที่จะทำให้ดินคงสภาพในสถานะพลาสติกโดยการนำดินที่มีความชื้นที่ทำให้ดินปั้นได้เหมือนดินน้ำมันและทำการปั้นไปเรื่อยๆจนกว่าดินเริ่มมีรอยแตกที่ผิวดินที่นำมาปั้น

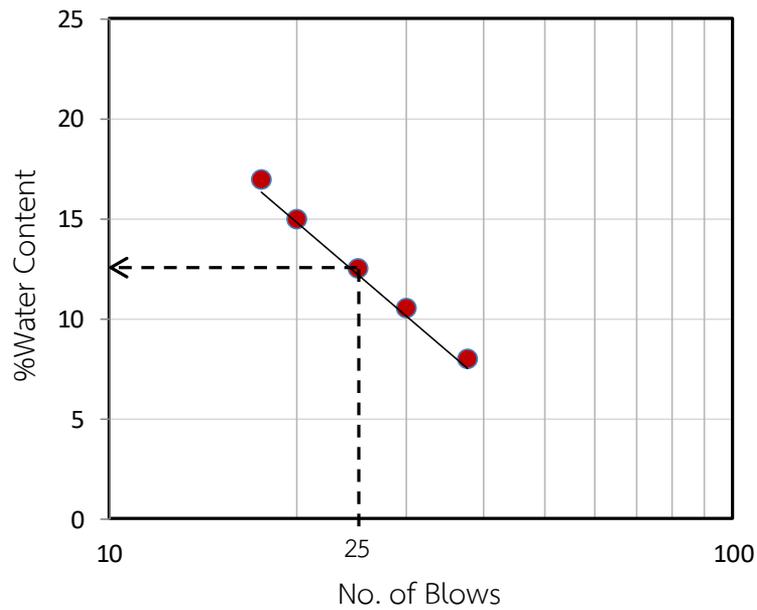


ภาพประกอบ 16 ชุดทดสอบพิกัดเหลวของดินด้วยวิธีการตกกระทบอิสระ

ตาราง 6 ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าพิกัดเหลว (Liquid Limits)
ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคง อยู่ในสถานะของเหลวได้

จำนวนครั้งการทดสอบ	1	2	3	4
No. Of Blows				
Wt. Of Wet Soil + Can, g				
Wt. Of Dry Soil + Can, g				
Wt. Of Can, g				
Wt. Of Water, g				
Wt. Of Dry Soil, g				
% Water Content				





ภาพประกอบ 17 กราฟการหาค่าพิกัดเหลวที่จำนวนการตกกระทบอิสระที่ 25 ครั้ง

หาค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI)

$$PI = LL - PL \% \quad (2.36)$$

เมื่อ PI = ค่าดัชนีพลาสติก

LL = ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคงอยู่ในสถานะของเหลวได้

PL = ค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่ดินจะคงสภาพในสถานะพลาสติก

หาค่าแอกติวิตี้ (Activity, A) ค่าการไวต่อการรบกวนของเม็ดดิน

$$A = \frac{PI}{\% \text{ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า } 0.002}$$

(2.37)

เมื่อ $A < 0.75$ ดินไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อถูกรบกวน

$A = 0.75-1.5$ ดินมีค่าแอกติวิตี้ปกติ

$A > 1.5$ ดินสามารถบวมตัวได้มาก



หาค่าดัชนีเหลว (Liquidity Index, LI)

$$LI = \frac{m - PL}{PI} \quad (2.38)$$

เมื่อ m ความชื้น (%)

$LI > 1$ ดินอยู่ในสภาพเหลว

$0 < LI < 1.0$ ดินอยู่ในสภาพพลาสติก

$LI < 0$ ดินอยู่ในสภาพแข็ง

2.13 ความถ่วงจำเพาะของดิน

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ที่มีปริมาตรเท่ากับดินดินจะประกอบด้วยแร่ธาตุหรือสารอินทรีย์หลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุหรือสารอินทรีย์เหล่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจึงทำให้มีความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่าในทางตรงกันข้าม ถ้ามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญก็จะทำให้มีความถ่วงจำเพาะต่ำถึงประมาณ 2.00 แต่ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.70 สำหรับดินทั่วไป

ความถ่วงจำเพาะจะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (Void Volume) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ความพรุน (Porosity) และอื่นๆได้ ทั้งยังจะทำให้คาดได้ว่ามวลดินนั้นๆ ประกอบด้วยธาตุสารอะไรเป็นองค์ประกอบการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินทำได้โดยใช้ขวดหาคความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer) ซึ่งมี 2 ขนาดคือขวดตวงปากเล็ก (Volumetric Flask) ขนาด 100–500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ และขวดจุกแก้วขนาด 25 -100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สำหรับดินเม็ดละเอียด แต่วิธีการทดลองส่วนใหญ่เหมือนกันจึงขอกว่าเฉพาะการใช้ขวดแบบแรกเท่านั้น

$$\frac{\gamma_s}{\gamma_s(\text{น้ำที่ } 4^{\circ}\text{C})} \quad (2.39)$$

$$\frac{W_s/v}{W_w/v (\text{น้ำที่ } 4^{\circ}\text{C})} \quad (2.40)$$

เมื่อ γ_s = ความหนาแน่นเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ

W_s = น้ำหนักเนื้อดิน

W_w = น้ำหนักที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดินที่อุณหภูมิ 4°C องศาเซลเซียส



น้ำหนักเนื้อดินนั้นเราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง แต่น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดิน ทำได้โดยการนำมวลดินไปแทนที่น้ำและน้ำหนักของน้ำในขวดความถ่วงจำเพาะที่ระดับขีดปากขวดจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 18 การให้ความร้อนแก่น้ำและดินในขวดทดลอง

ผลของการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดินจึงมักขึ้นอยู่กับความละเอียดพิถีพิถันเป็นอย่างมาก จึงแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดินบางชนิดไว้พอเป็นแนวทางในการพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ตั้งในตารางข้างล่าง

ตาราง 7 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

ประเภทของดิน	G_s
ดิน Iowa Loess	2.7
ทราย	2.65-2.67
ดินลูกรัง	2.70-3.00
ดินปนสารอินทรีย์	อาจต่ำกว่า 2.00



2.13.1 วิธีการทดลอง

2.13.1.1 การหากราฟสำหรับหาน้ำหนักน้ำและขวดที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อนำขวดหาความถ่วงจำเพาะใหม่มาใช้หรือใช้ไปนานพอสมควร ควรจะต้องทำการหากราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดมีน้ำเต็มและอุณหภูมิโดยทำได้ดังนี้

2.13.1.2 ล้างขวดความถ่วงจำเพาะให้สะอาดเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอขวด (อ่านที่ระดับท้องน้ำ)



ภาพประกอบ 19 ชั่งน้ำหนักน้ำและขวด

2.13.1.3 ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที

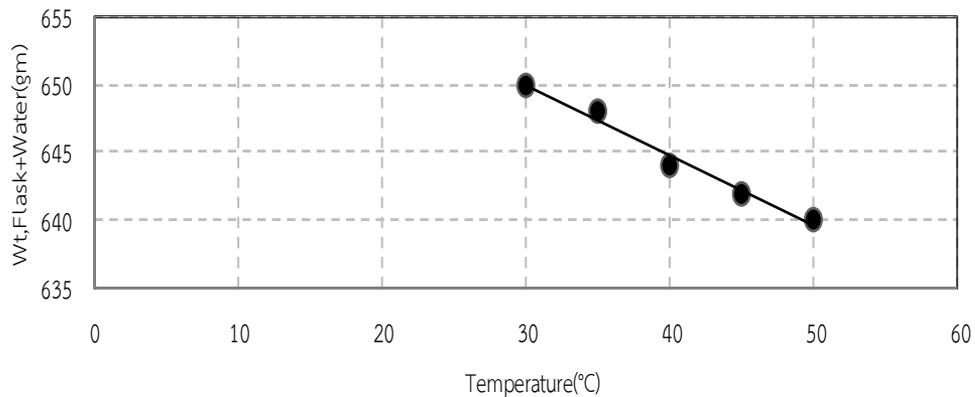
2.13.1.4 เติมน้ำปรับระดับน้ำจนเสมอระดับที่คอขวดพอดี เช็ดภายนอกขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2.13.1.5 วัดอุณหภูมิของน้ำภายในขวดให้ละเอียดโดยวัดที่หลายระดับ ถ้าอุณหภูมิต่างกันมากให้ตะแคงขวดแล้วกลิ้งไปมาเพื่อให้ผสมเข้ากันดีทำให้อุณหภูมิมสม่ำเสมอ แล้วจึงบันทึกอุณหภูมิที่ถูกต้อง

2.13.1.6 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 โดยให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในช่อดูณหภูมิที่ใช้งาน (20 ถึง 40 องศาเซลเซียส) ประมาณ 4–5 จุด เช่นที่ 20, 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2.13.1.7 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิดังแสดงในตัวอย่างภาพประกอบ 20





ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิ

2.13.2 การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

2.13.2.1 นำดินตัวอย่างที่แห้งประมาณ 50 กรัม (ถ้าเป็นดินชื้นต้องเพื่อน้ำหนักความชื้น) ผสมน้ำกลั่นแล้วกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่น (Mixer Machine) โดยให้ส่วนผสมไม่เกิน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.13.2.2 เทส่วนผสมน้ำดินลงในขวดหาความถ่วงจำเพาะขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตรแล้วใช้น้ำกลั่นล้างดินที่ติดในภาชนะผสมลงในขวดความถ่วงจำเพาะ ให้หมดระว่างอย่าให้ระดับน้ำเกินขีดวัดปริมาตรที่คอขวด

2.13.2.3 ไล่ฟองอากาศโดยการตัมหรือดูดด้วยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมดแล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงระดับขีดที่คอขวดแล้วปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง

2.13.2.4 ถ้าระดับน้ำลดลงอีกให้เติมให้เต็มถึงขีดแล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด

2.13.2.5 เทแล้วล้างส่วนผสมในขวดความถ่วงจำเพาะลงในภาชนะแล้วนำไปชั่งให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักดินที่แน่นอนอีกครั้ง

$$\frac{\gamma_s}{\gamma_s (\text{น้ำที่ } 4^\circ\text{C})} = \frac{W_s}{((W_s + W_2) - W_1) \times 1/G} = \frac{W_s \times G_T}{((W_s + W_2) - W_1)} \quad (2.41)$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักดินอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักขวดมีน้ำเต็มที่อุณหภูมิที่ทดลอง (กรัม) ซึ่งอ่านได้จากกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดเติมน้ำกับอุณหภูมิ

W_1 = น้ำหนักขวดมีน้ำผสมดินที่อุณหภูมิที่ทดลอง (องศาเซลเซียส)

G_T = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิที่ทดลอง (องศาเซลเซียส) อ่านได้จากตารางด้านล่าง



ตาราง 8 แสดงความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.998	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.996
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.993	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.989	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.8952	0.9848	0.9842	0.9838

2.14 การจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classification และ USCS Classification

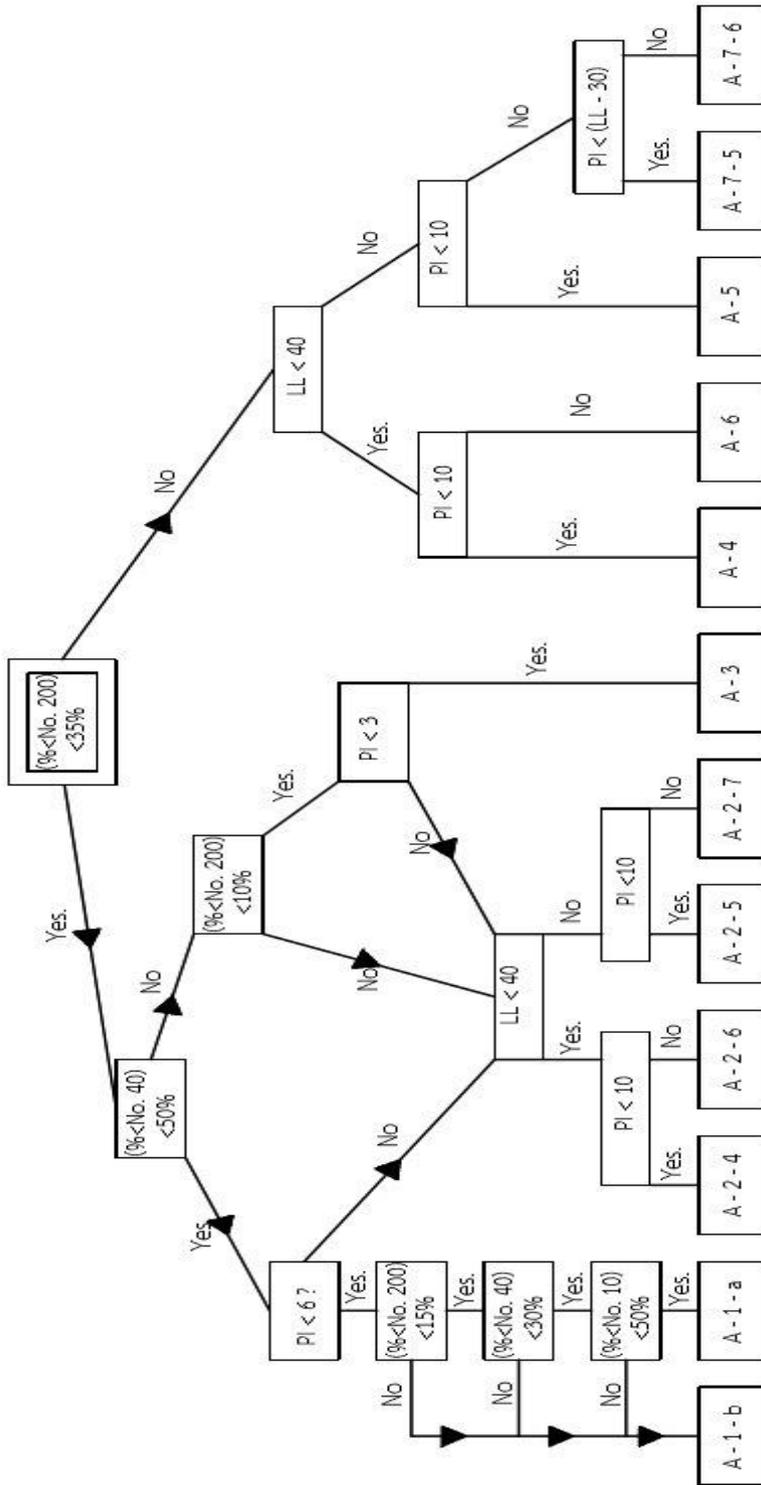
ในการจำแนกดินในวิจัยเรื่องนี้จะใช้การจำแนกดินทางวิศวกรรมด้วยระบบที่เป็นสากล และน่าเชื่อถือมากที่สุดและนิยมใช้กันแพร่หลายในวงการวิศวกรรมระบบจำแนกดินที่ใช้ ได้แก่ ระบบ AASHTO Classification และ USCS Classification



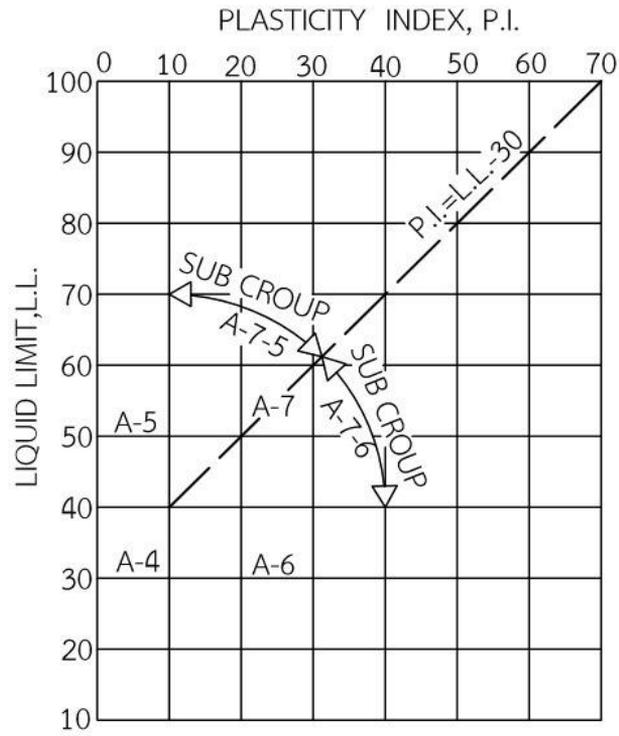
ตาราง 9 การจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classification

กลุ่ม	กลุ่มย่อย	% ผ่านตะแกรง U.S. เบอร์			คุณลักษณะของเม็ดดิน ผ่านตะแกรงเบอร์ 40		ค่าดัชนีกลุ่ม	รายละเอียดของดิน	ความเหมาะสม สำหรับวัสดุคัน ทาง
		10	40	200	ขีดเหลว	ดัชนีพลาสติก			
A-1			50max	25 max		6max	0	well-graded gravel or sand; may include fines.	
	A-1-a	50max	30max	15max		6max	0	Largely gravel but can include sand and fines.	
	A-1-b		60max	25max		6max	0	Gravly sand or graded sand; may include fines.	
A-2*				35max			0-4	Sands and gravels with excessive fines.	Excellent to good
	A-2-4			35max	40max	10max	0	Sands gravels with low-plasticity silt fines.	
	A-2-5			35max	41max	10max	0	Sand, gravels with elastic silt fines.	
	A-2-6			35max	40max	11min	4max	sand, gravels with clay fines.	
	A-2-7			35max	41max	11min	4max	sand, gravel with highly plastic clay fine.	
A-3			51min	10max		Nonplastic	0	Fine sands.	
A-4				36min	40max	10max	8max	Low-compressibility silts.	
A-5				36min	41min	10max	12max	High-compressibility silts, micaceous silts.	
A-6				36min	40max	11min	16max	Low-to-medium-compressibility clays.	Fair to poor
A-7				36min	41min	11min	20max	High-compressibility clays.	
	A-7-5			36min	41min	11min	20max	High-compressibility silty clays.	
	A-7-6			36min	41min	11min	20max	High-compressibility, high-volume-change clays.	
A-8								Peat, highly organic soils.	Unsatisfactory

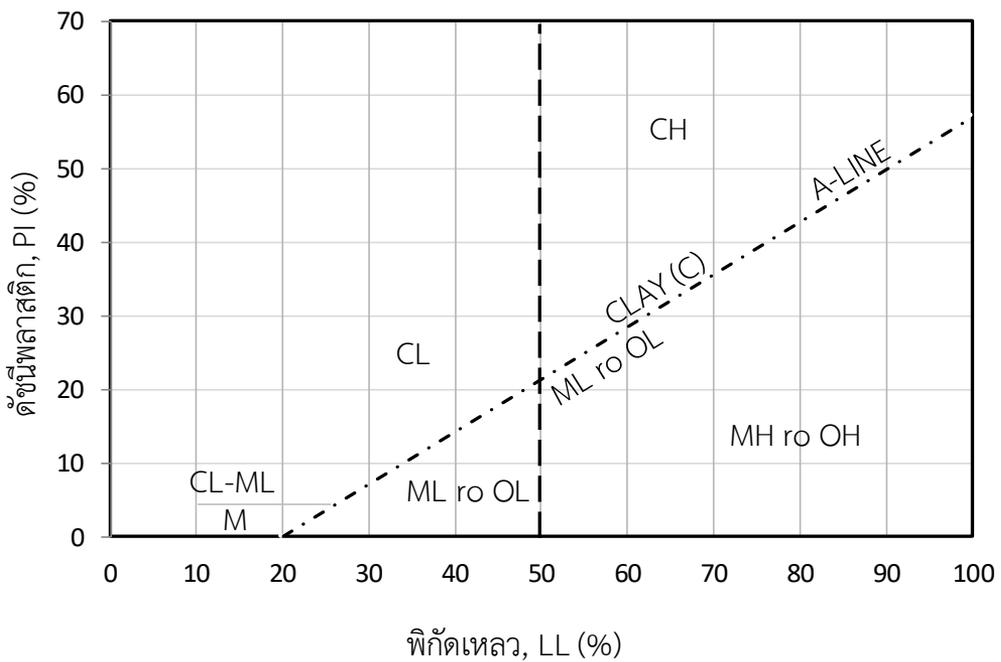




ภาพประกอบ 21 แสดงแผนภูมิลำดับขั้นตอนการจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO

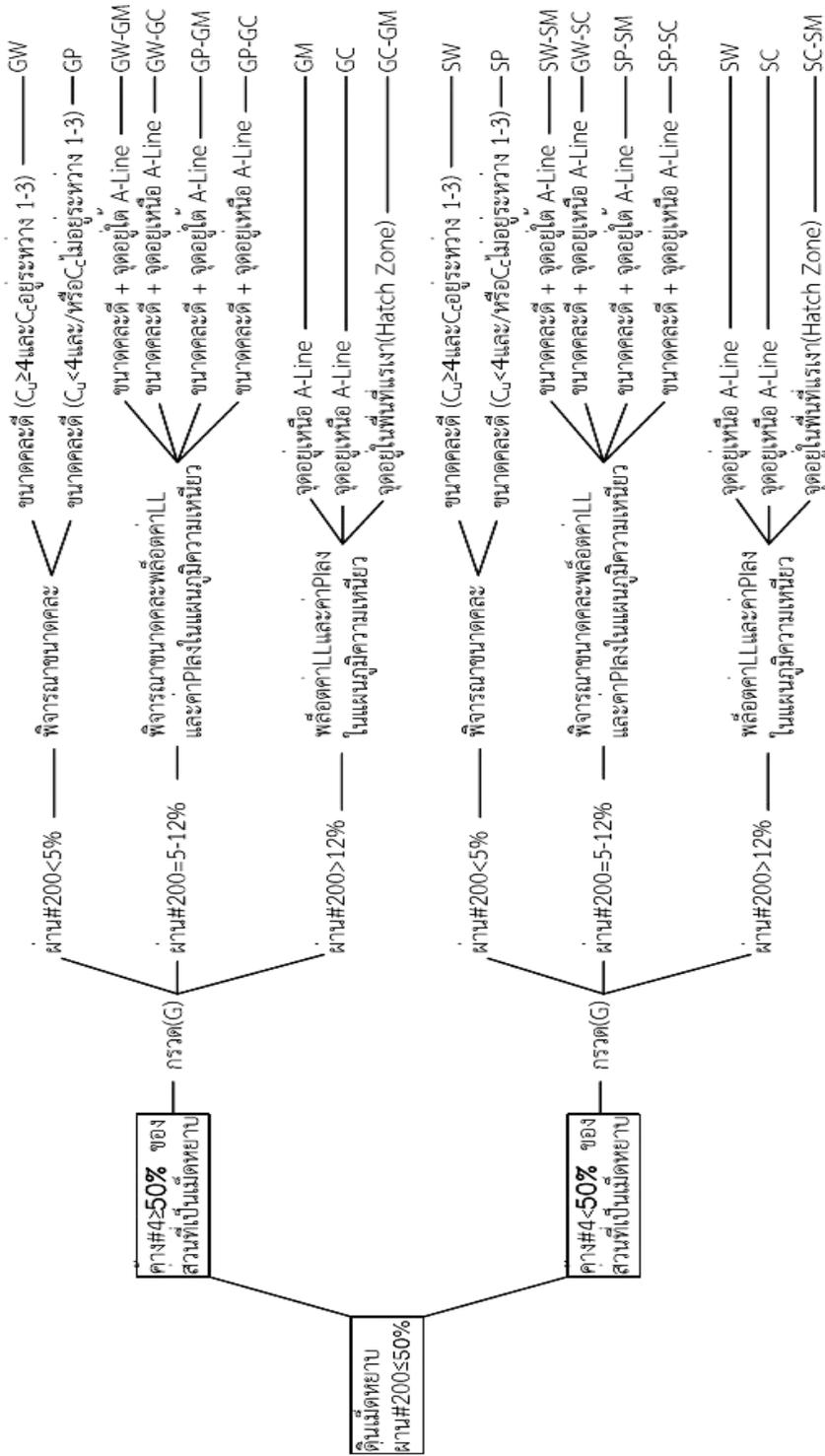


ภาพประกอบ 22 แผนภูมิความเหนียวสำหรับการจำแนกดินด้วยระบบ AASHTO Classification

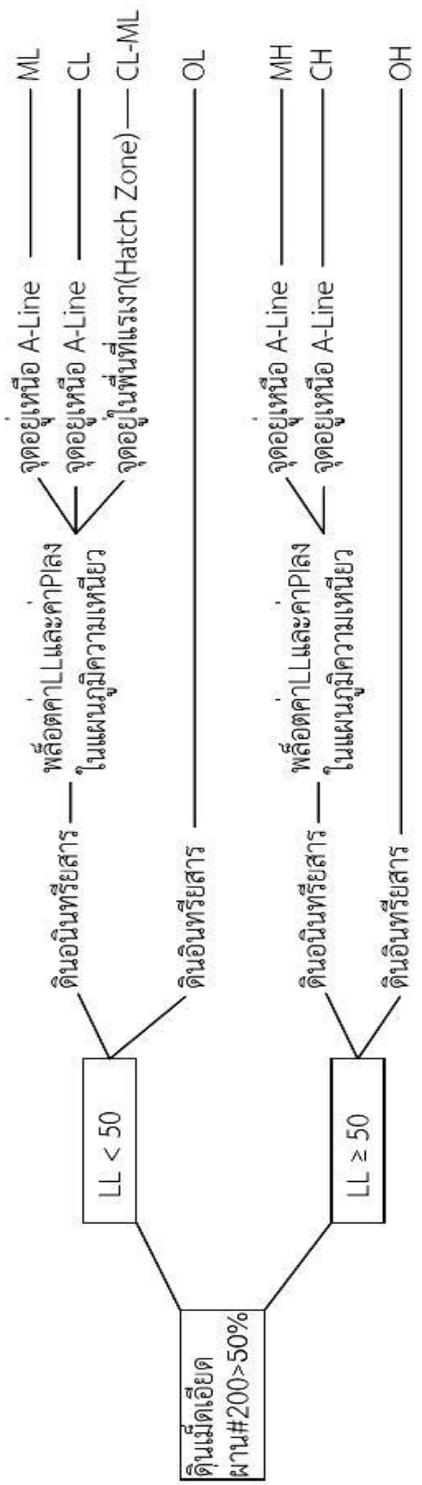


ภาพประกอบ 23 แผนภูมิความเหนียวสำหรับการจำแนกดินด้วยระบบ Unified Classification





ภาพประกอบ 24 ขั้นตอนการจำแนกดินเม็ดหยาบด้วยระบบ USCS



ภาพประกอบ 25 ขั้นตอนการจำแนกดินเหนียวด้วยระบบ USCS



การจำแนกดินในระบบ USCS นิยมใช้ในงานดินถมและงานฐานรากของอาคารจำแนกพิจารณาทั้งขนาดของเม็ดดินและสภาพพลาสติกของดิน ใช้อักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัวแทนชนิดของดิน ดังนี้

ตัวอักษร G หมายถึง กรวด (Gravel)

ตัวอักษร S หมายถึง ทราย (sand)

ตัวอักษร M หมายถึง ดินตะกอน (silt)

ตัวอักษร C หมายถึง ดินเหนียว (clay)

ตัวอักษร O หมายถึง ดินจำพวกสารอินทรีย์ (organic)

ตัวอักษร PT หมายถึง ดินเลนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของวัชพืช (peat)

ตัวอักษร W หมายถึง ขนาดเม็ดดินคละดี (Well Graded)

ตัวอักษร P หมายถึง ขนาดเม็ดดินคละไม่ดี (poorly Graded)

ตัวอักษร S หมายถึง ค่าพิกัดเหลวของดินสูง ($LL > 50\%$)

ตัวอักษร L หมายถึง ค่าพิกัดเหลวของดินต่ำ ($LL < 50\%$)

ตัวอักษร NP หมายถึง ดินไม่มีความเป็นพลาสติก (Non-Plastic)

ดินเม็ดหยาบในระบบ USCS แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กรวดและทราย

กรวดมีขนาดคละกันดี (GW)

กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี (GP)

กรวดปนดินตะกอน (GM)

ตรวจบนดินเหนียว (GC)

ทรายมีขนาดคละกันดี (SW)

ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี (SP)

ทรายนปนดินตะกอน (SM)

ทรายนปนดินเหนียว (SC)

สำหรับดินที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างดิน 2 กลุ่มจะใช้สัญลักษณ์ควบ ดังนี้

กรวดมีขนาดคละกันดีและกรวดปนดินตะกอน (GW-GM)

ทรายมีขนาดคละกันดีและกรวดปนดินตะกอน (SW-SM)

กรวดมีขนาดคละกันไม่ดีและกรวดปนดินตะกอน (GP-GM)

ทรายมีขนาดคละกันไม่ดีและกรวดปนดินตะกอน (SP-SM)

กรวดมีขนาดคละกันดีและกรวดปนดินเหนียว (GW-GC)

ทรายมีขนาดคละกันดีและกรวดปนดินเหนียว (SW-SC)

กรวดมีขนาดคละกันไม่ดีและกรวดปนดินเหนียว (GP-GC)

ทรายมีขนาดคละกันไม่ดีและกรวดปนดินเหนียว (SP-SC)



ดินร่วนละเอียดในระบบ USCS ประกอบด้วย 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ดินตะกอน ดินเหนียว ดินสารอินทรีย์และดินเลนสำหรับดินตะกอนดินเหนียวและดินสารอินทรีย์ยังแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

- ดินตะกอนที่มีค่าขีดเหลวสูง (MH)
- ดินตะกอนที่มีค่าขีดเหลวต่ำ (ML)
- ดินเหนียวที่มีค่าขีดเหลวสูง (CH)
- ดินเหนียวที่มีค่าขีดเหลวต่ำ (CL)
- ดินสารอินทรีย์ที่มีค่าขีดเหลวสูง (OH)
- ดินสารอินทรีย์ที่มีค่าขีดเหลวต่ำ (OL)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการและวิจัย

วิจัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านกรจำแนกดินและทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบสามแกนในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงการจำแนกดินเพื่อทราบถึงชนิดและประเภทของดินรวมถึงขนาดของเม็ดดินว่ามีขนาดเม็ดดินโตหรือเล็กมากน้อยเพียงใดโดยมีขั้นตอนตามนี้

การหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงจะนำดินมาร่อนผ่านตะแกรงจากตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่สุดไปจนถึงช่องเปิดตะแกรงเล็กสุด ซึ่งเรียงตะแกรงช่องเปิดใหญ่สุดอยู่ด้านบนสุดและค่อยๆ ลดลงตามลำดับ เบอร์ 4, เบอร์ 10, เบอร์ 40, เบอร์ 60, เบอร์ 100 และเบอร์ 200 โดยที่ตะแกรงเบอร์ 200 จะเป็นตะแกรงที่แบ่งระหว่างเม็ดดินเล็กสุดออกจากเม็ดดินที่โต ซึ่งดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยส่วนมากจะเป็นดินเหนียวและดินตะกอน เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจะต้องหา การคละตัวของเม็ดดินว่ามีขนาดคละกันดีหรือไม่ จำเป็นจะต้องทราบค่าทั้ง 3 ค่านี้ มี D_{60} , D_{30} และ D_{10} ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า D_{10} ได้จากกราฟของการทดลองการหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่า D_{10} จากการทำการวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) การวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) เป็นการหาขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งดินที่จะนำมาทำการวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) นั้นจะต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ใช้น้ำหนักในการทดลองที่ 50 กรัม ทำการทดลองนี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหา %Passing นำไปเขียนกราฟต่อจากกราฟการหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงและหาค่า D_{10} ต่อไปเพื่อไปสู่การทราบถึงขนาดของเม็ดดินและการกระจายขนาดของเม็ดดิน การหาขีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg's Limits of soil) ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะของดินเมื่อมีความชื้นและน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจะทดลองหาค่า Plastic Limits และ Liquid Limits ดังนี้ Plastic Limits คือค่าความชื้นต่ำสุดที่ดินจะคงสภาพในสถานะพลาสติกและ Liquid Limits คือค่าความชื้นต่ำสุดที่ดินจะคงสภาพอยู่ในสถานะของเหลวการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเป็นการหาสัดส่วนระหว่างหน่วยน้ำหนักของสสารต่อหน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะจะถูกนำไปใช้ในการทดลอง การวิเคราะห์หาเม็ดดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ขั้นตอนการจำแนกดินที่ได้กล่าวมาในก่อนหน้านี้นั้นเป็นการจำแนกดินซึ่งจะช่วยให้รู้ว่าดิน ณ ตำแหน่งนั้นๆ เป็นดินชนิดใด มีความละเอียดของเม็ดดินมากน้อยเพียงใด และในขั้นตอนนี้จะเป็นการกล่าวถึงการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) ของดินจะสอดคล้องกับการจำแนกดินเมื่อนำผลการจำแนกดินมาใช้งานร่วมกันกับการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) จะรู้ถึงพฤติกรรมการรับแรงของดินชนิดนั้นๆ ว่ามีพฤติกรรมการรับแรงของดินชนิดนั้น เป็นไปตามการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) จะวิจัยแค่ 2 ลักษณะที่เด่นด้วยกัน การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบมาตรฐานและเงื่อนไขการทดสอบการอัดตัวด้วยน้ำ (Consolidation) หลังสิ้นสุดขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิมตัวด้วยน้ำ บันทึกปริมาตรน้ำในหลอดแก้ววัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินตัวอย่าง (Burette) และการทรุดตัวในแนวตั้งและทำการปิดวาล์วน้ำพร้อมกับวางแกนให้น้ำหนัก



(Piston) บนแท่นรับน้ำหนัก (Top plate) ต่อจากนั้นทำการเพิ่มความดันรอบข้างจนได้ความดันรอบข้างประสิทธิภาพที่ต้องการ (ความดันประสิทธิภาพเท่ากับ = ความดันรอบข้าง - ความดันกลับ) และเปิดวาล์วน้ำพร้อมทั้งบันทึกค่าการทรุดตัวในแนวตั้งและปริมาณของน้ำในหลอดแก้วที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา การเฉือนตัวอย่าง (Shearing) จากนั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.2 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 10 แสดงแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	รายการ	ระยะเวลาดำเนินการ												
		ภาคเรียนที่ 1/2561					ภาคเรียนที่ 2/2562							
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.			
1	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←→												
2	วางแผนการปฏิบัติงานทั้งโครงการ		←→											
3	ลงพื้นที่สำรวจสถานที่เจาะสำรวจดิน			◊										
4	ปฏิบัติการเจาะสำรวจดินในสนาม					←→								
5	ปฏิบัติการขุดเปิดหน้าดินเก็บตัวอย่างดินคงสภาพในสนาม						◊							
6	ทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ		←→											
7	จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์					←→								

3.3 การเก็บตัวอย่างดิน

1. เลือกพื้นที่ที่จะทำการขุดดิน
2. ขุดดินออกเป็นความกว้าง 2 เมตร x ยาว 2 เมตร x ลึก 1 เมตร
3. เก็บตัวอย่างดินถูกรบกวน (Disturbed Sample)
4. ตัวอย่างดินไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วบันทึกข้อมูล



3.4 ทำการทดลอง

1. เลือกตำแหน่งพื้นที่ที่จะเก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (Disturbed Sample)
2. ทำการขุดเปิดหน้าดิน เมื่อถึงระยะความลึกที่เลือกทำการวิจัยให้เก็บตัวอย่างดินแบบถูกรบกวน
3. นำตัวอย่างดินที่ได้จากพื้นที่มาตากแดดให้แห้ง เพื่อที่จะทำตัวอย่างดินมาหุบให้แตกละเอียด
4. นำตัวอย่างดินที่ได้ในข้อ 3 มาร่อนผ่านตะแกรงเพื่อแยกระหว่างเม็ดดินทรายและเม็ดดินละเอียด โดยเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 60 แต่ค้าง 100 เป็นเม็ดดินทราย และเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นเม็ดดินหยาบ
5. นำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงที่ได้แยกออกระหว่างเม็ดดินทรายและเม็ดละเอียด มาผสมเหลวในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100 50:50 และ100:0 ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างดินที่ได้ในข้อ 5 ไปทำการอัดตัวอย่างดินที่ผสมลงในโมลด์บรรจุโดยการกดทับด้วยน้ำหนักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างดินที่อัดในโมลด์ออกมาแล้วแยกดินอย่างดินออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือตัวอย่างดินที่จะนำทดสอบแรงอัดสามแกนและตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

นำตัวอย่างที่เตรียมแล้วไปทดลองแล้วส่งการด้วยโปรแกรมไปอัตโนมัติ เมื่อการทดลองเสร็จสิ้น นำผลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Excel เพื่อให้ทราบค่าเพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของดินตัวอย่าง



บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างดินในสนาม

ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่คงสภาพ (Undisturbed sample) จะนำมาร่อนตะแกรงเพื่อแยกระวังเม็ดดินทรายและเม็ดดินละเอียด แล้วนำตัวมาผสมในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100 50:50 และ 100:0 เพื่อนำมาทดสอบแรงอัดสามแกนแบบ Consolidation Drained Triaxial (CD) และการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์

4.2 ผลการศึกษา

ตาราง 11 ตารางจำแนกดินแบบร่อนตะแกรง

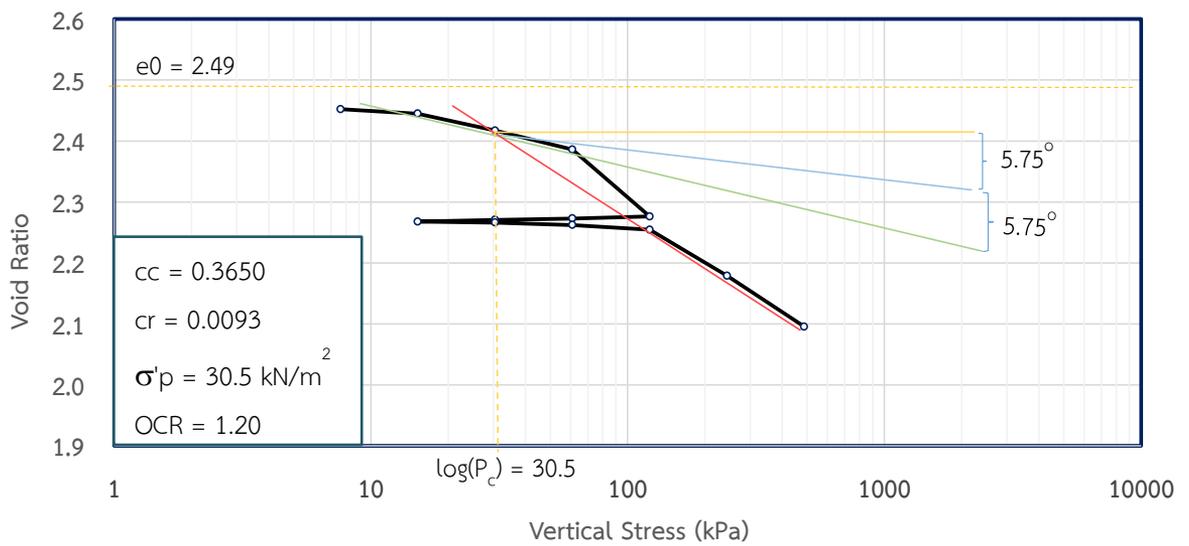
Sieve No.	Sieve Opening (mm.)	Weight of Sieve (kg)	Weight of Sieve + soil (kg)	Weight of Soil Retained (kg)	Percent Retained (%)	Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)
4	4.750	0.617	0.636	0.019	3.815	3.815	96.185
20	0.885	0.598	0.621	0.023	4.618	8.434	91.566
40	0.425	0.583	0.700	0.117	23.494	31.928	68.072
60	0.250	0.550	0.759	0.209	41.968	73.896	26.104
100	0.149	0.530	0.620	0.090	18.072	91.968	8.032
200	0.075	0.521	0.550	0.029	5.823	97.791	2.209
ถาดรอง	0.000	0.356	0.367	0.011	2.209	100.000	0.000
รวม				0.498	100.000		
ASSHTO				A-1-b			
USCS				SW			

จากตารางที่ 11 เราจะเห็นว่าดิน เป็นดินทรายมีขนาดคละกันดี ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม A-1-b (ASSHTO) SW (USCS)



ตาราง 12 สรุปผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำ

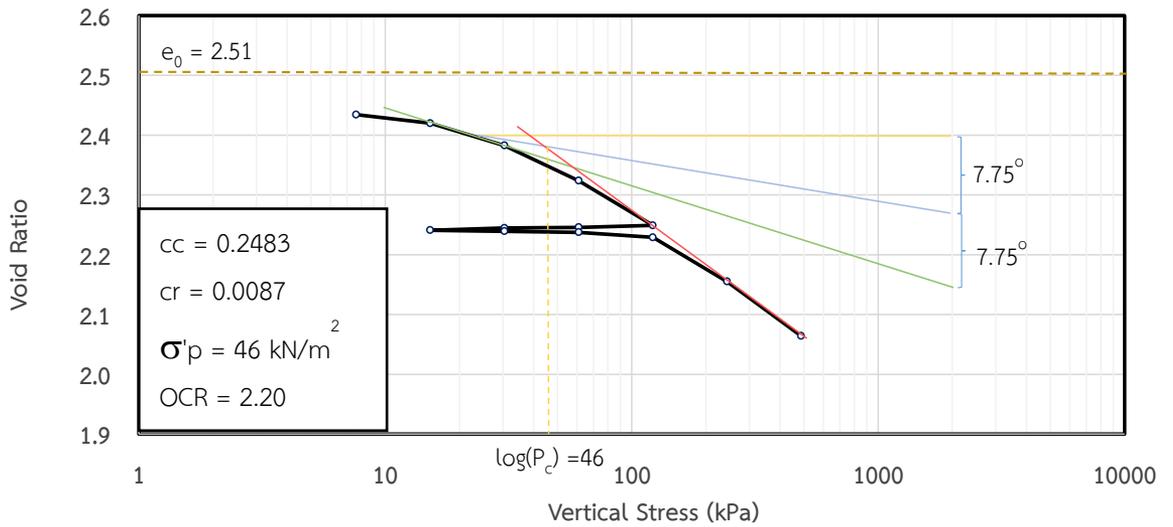
สรุปผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำ								
	cc	cr	σ'_p (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	OCR	γ_t (kN/m ³)	e ₀	G _s
ดินละเอียด 100	0.3650	0.0093	30.50	20.6297	1.20	20.6297	2.49	2.7006
ดินหยาบปนละเอียด 50	0.2483	0.0087	46.00	20.5799	2.20	20.5799	2.51	2.7673
ดินหยาบ 100	0.1353	0.0109	48.00	20.7541	2.30	20.7541	2.46	2.7210



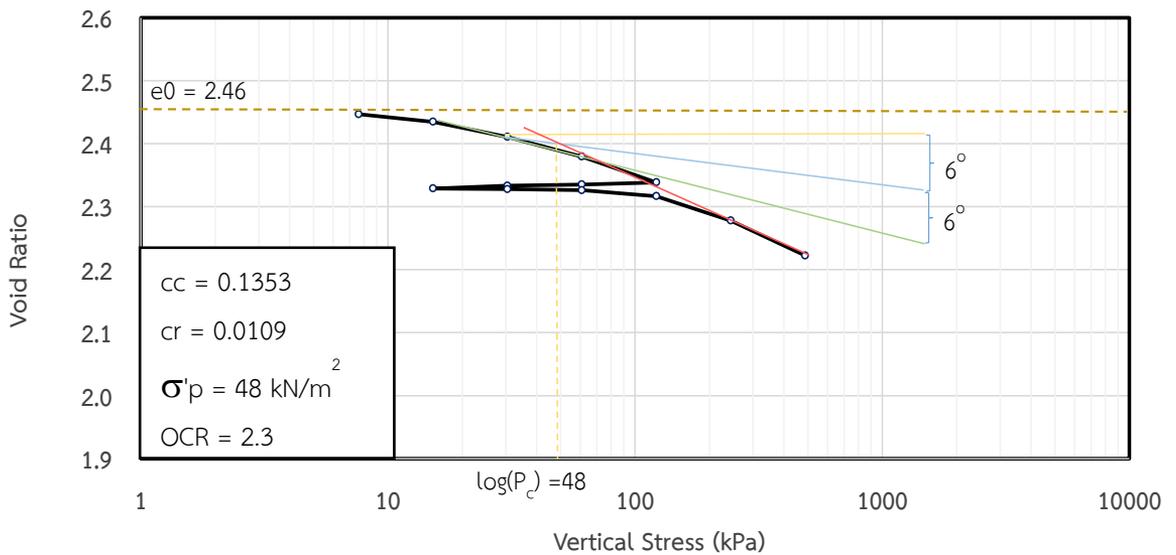
ภาพประกอบ 26 ผลการทดลองการอัดตัวคายน้ำ

ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100





ภาพประกอบ 27 ผลการทดลองการอัดตัวคายน้ำ
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50

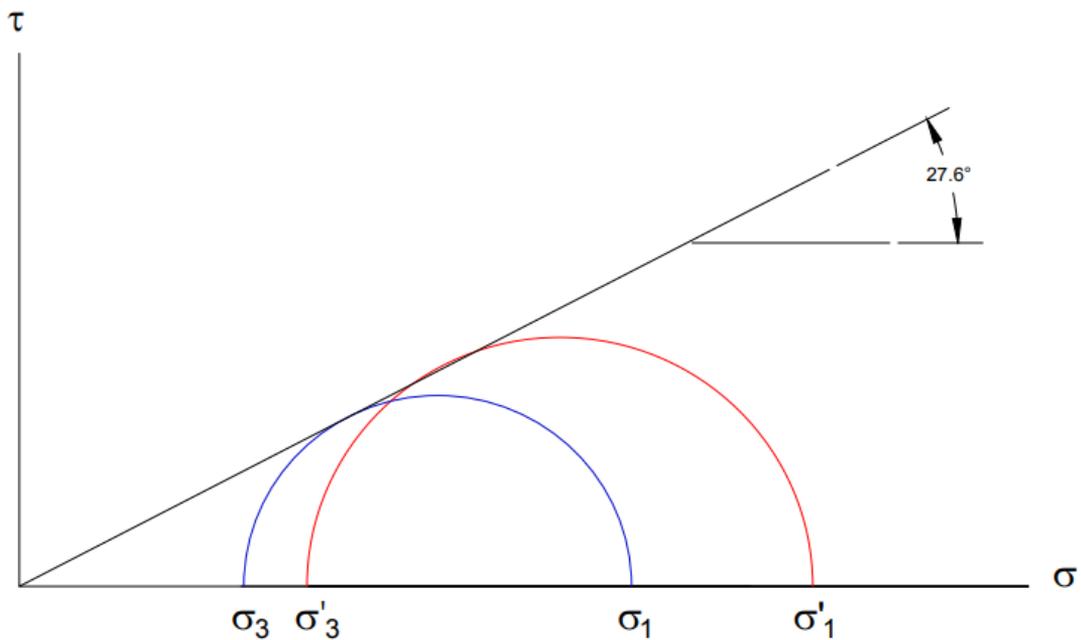


ภาพประกอบ 28 ผลการทดลองการอัดตัวคายน้ำ
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0



ตาราง 13 แสดงผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100

สัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100			
ตัวอย่างที่	σ_3 (t/m ²)	σ_1 (t/m ²)	
1 (50 ksc)	1.6304	4.4464	ksc
2 (100 ksc)	2.0890	5.7618	ksc



ภาพประกอบ 29 ผลการทดลองแรงอัดสามแกน

ในสัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100

จากภาพประกอบ 29 จะเห็นได้ว่าคุณค่า $c' = 0$ t/m²

และ $\phi' = 27.6^\circ$

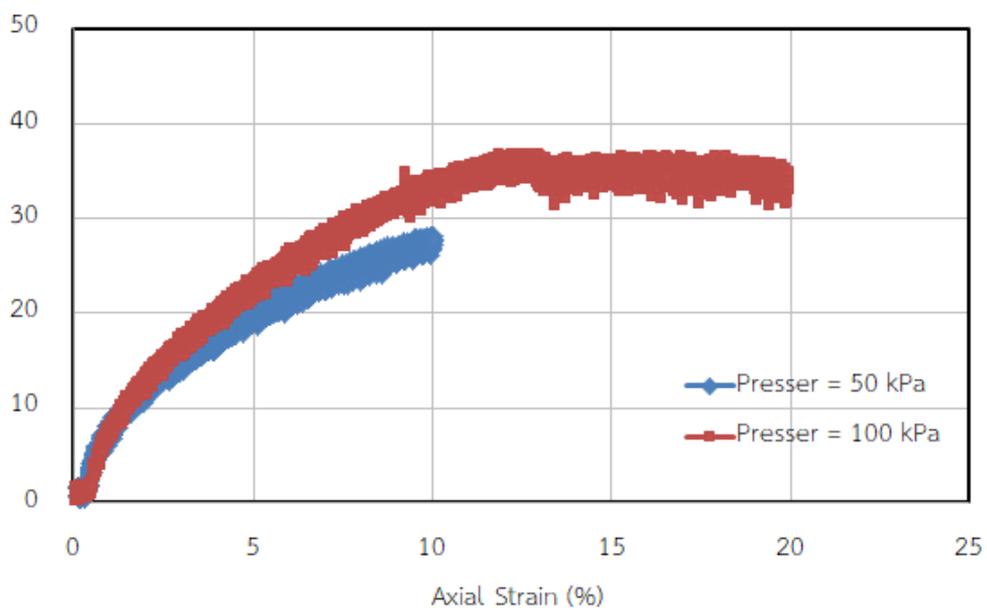




ตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2

ภาพประกอบ 30 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกน
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100

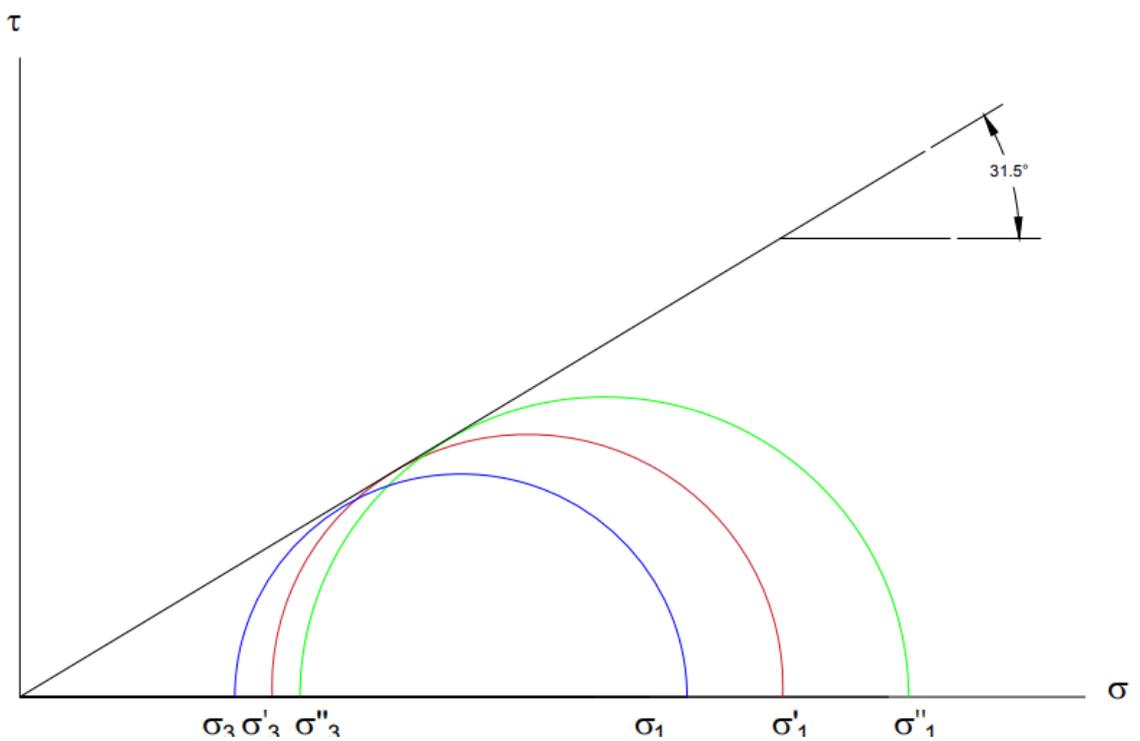


ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ Axial Strain (%)
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100



ตาราง 14 แสดงผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50

สัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50			
ตัวอย่างที่	σ_3 (t/m ²)	σ_1 (t/m ²)	
1 (75 ksc)	1.8138	5.6300	ksc
2 (100 ksc)	2.1297	6.4366	ksc
2 (100 ksc)	2.3638	7.5067	ksc



ภาพประกอบ 32 ผลการทดลองแรงอัดสามแกน

ในสัณฐานเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50

จากภาพประกอบ 32 จะเห็นได้ว่าคุณค่า $c' = 0$ t/m²

และ $\phi' = 31.5^\circ$



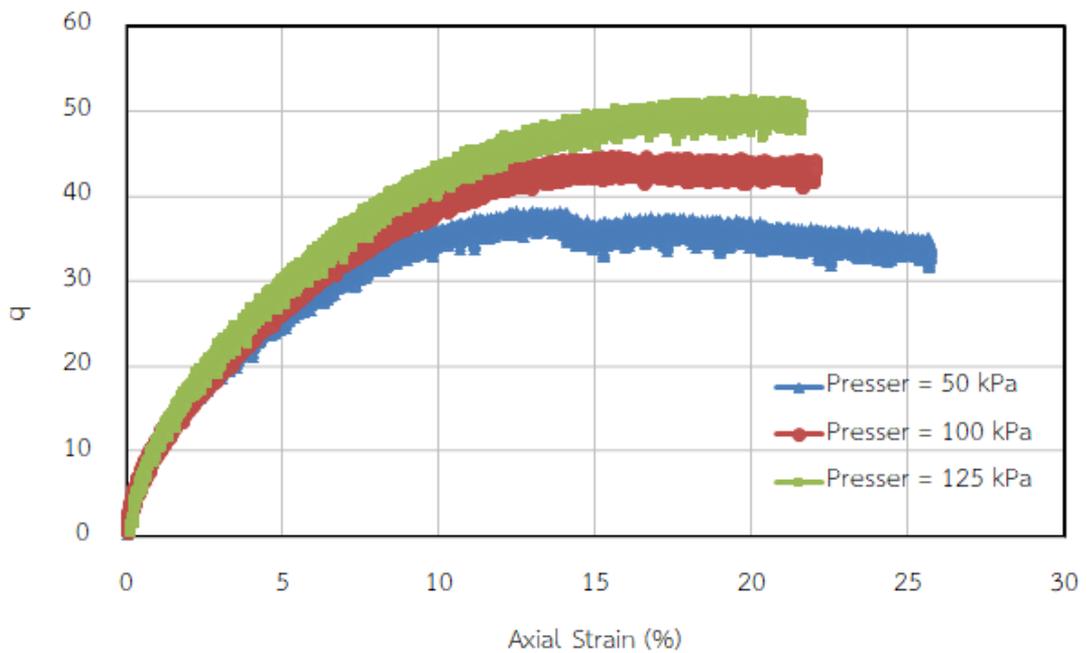


ตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 3

ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกน
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50

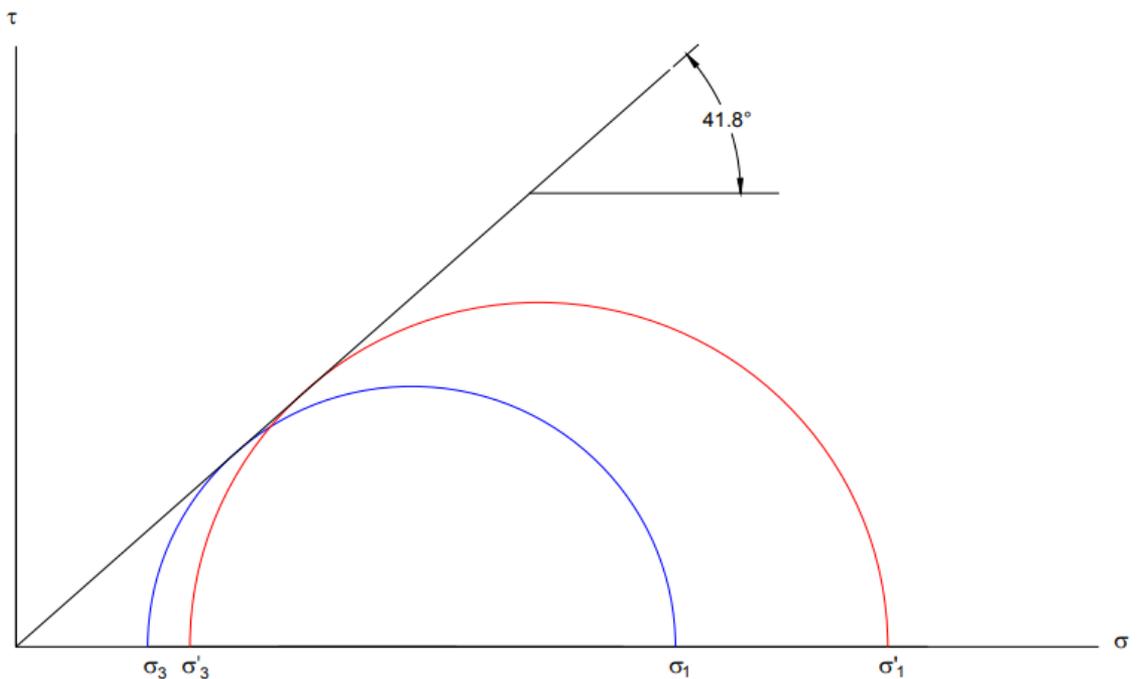


ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ Axial Strain (%)
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50:50



ตาราง 15 แสดงผลการทดลองแรงอัดสามแกนในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0

สัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0			
ตัวอย่างที่	σ_3 (t/m ²)	σ_1 (t/m ²)	
1 (50 ksc)	1.5897	7.9595	ksc
2 (100 ksc)	2.0992	10.5226	ksc



ภาพประกอบ 35 ผลการทดลองแรงอัดสามแกน

ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0

จากภาพประกอบ 35 จะเห็นได้ว่าคุณค่า $c' = 0$ t/m²

และ $\phi' = 41.8^\circ$





ตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2

ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบแรงอัดสามแกน
ในสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 100:0

4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากที่ได้ทำการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่เป้าหมายในอัตราส่วนผสมของดินเม็ดละเอียดและเม็ดดินหยาบที่ต่างกันตามกำหนดได้ทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้

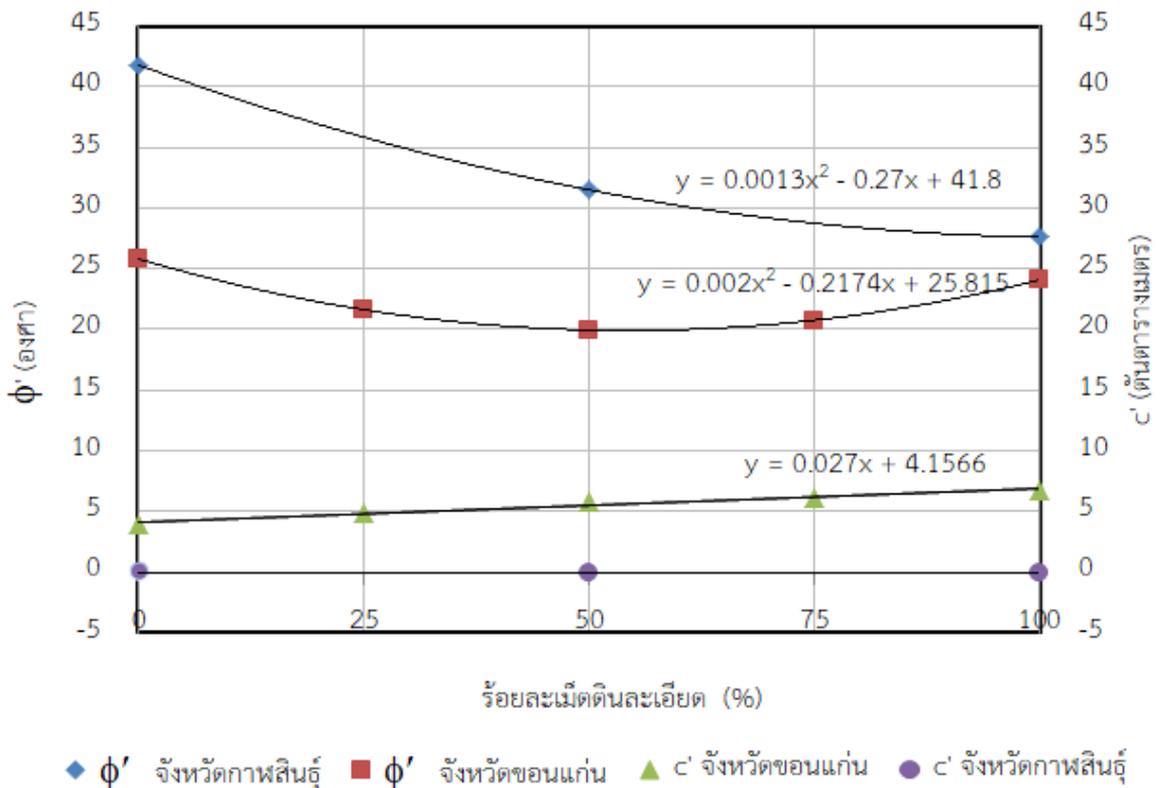
ตาราง 16 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินในพื้นที่เป้าหมาย

ตารางที่	สัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด	c' (t/m^2)	ϕ' (deg.)
1	0 : 100	0	27.6
2	50 : 50	0	31.5
3	100 : 0	0	41.8

จากตาราง 16 จะเห็นได้ว่าค่า c' ของดินที่ผสมใหม่ในแต่ละสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดไม่ค่าเท่ากับ 0 ทั้งสามสัดส่วนการผสม และมีค่า ϕ' นั้นมีค่าแตกต่างกันมากตามแต่ละสัดส่วนการผสม โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.8° เมื่อไม่มีส่วนผสมของเม็ดดินละเอียดเลย และเมื่อร้อยละของเม็ดดินละเอียดมากขึ้น ϕ' จะมีค่าลดลง โดยที่สัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 50 ค่า ϕ' ที่ 31.5° จนกระทั่งที่ร้อยละเม็ดดินละเอียด 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่า ϕ' น้อยที่สุดเท่ากับ 27.6° เมื่อนำข้อมูลสัดส่วนของเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละต่างๆมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่า ϕ' และนำไปเปรียบเทียบกับสมการของผลการทดสอบของตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น (จักรกฤษณ์ ยืนยงค์ และเทพประสิทธิ์ โชคเจริญ 2558) พบว่าพบความสัมพันธ์มีความแตกต่างกันมาก



ดังนั้นจะเห็นว่า หากดินต่างพื้นที่กันแต่นำมาผสมกันในอัตราส่วนเดียวกันค่าสมการความสัมพันธ์ก็ยังคงแตกต่างกันเสมอ จะได้เส้นกราฟดังแสดงในภาพประกอบ 37 ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดดินละเอียดกับค่า ϕ' และ c'

จากภาพประกอบ 37 สำหรับดินผสมใหม่มีความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดของดินจังหวัดกาฬสินธุ์กับค่า ϕ' มีลักษณะเป็นเอกโกโนนเซียลกำลังสอง จะได้กราฟสมการความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (4.1) และ (4.2) ดังนี้

$$\phi' = 0.0013F^2 - 0.27F + 41.8 \quad (4.1)$$

$$c' = 0 \quad (4.2)$$

เมื่อ ϕ' คือ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล (องศา)

c' คือ ค่าความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (ตันต่อตารางเมตร)

F คือ ร้อยละของดินเม็ด



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการวิจัยการทดลองแรงอัดสามแกนและระบายน้ำตัวอย่างดินจากจังหวัดกาฬสินธุ์ ด้วยตัวอย่างแบบสร้างขึ้นมาใหม่มีอัตราส่วนการผสมระหว่างเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดเป็น 0:100 50:50 และ 100:0 ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่า c' ของดินที่ผสมใหม่ในแต่ละสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งสามสัดส่วนการผสม และมีค่า ϕ' นั้นมีค่าแตกต่างกันมากตามแต่ละสัดส่วนการผสม โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.8° เมื่อไม่มีส่วนผสมของเม็ดดินละเอียดเลย และเมื่อร้อยละของเม็ดดินละเอียดมากขึ้น ϕ' จะมีค่าลดลง โดยที่ร้อยละเม็ดดินละเอียด 50 ค่า ϕ' ที่ 31.5° จนกระทั่งที่ร้อยละเม็ดดินละเอียด 100 ค่า ϕ' จะน้อยที่สุดเท่ากับ 27.6° เมื่อนำข้อมูลร้อยละเม็ดดินละเอียดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่า ϕ' และ c' จะได้เส้นกราฟดังแสดงในภาพประกอบ 35 และเมื่อนำข้อมูลการวิจัยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสมการความสัมพันธ์ผลการทดสอบของตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น (จักรกฤษณ์ ยืนยงค์ และเทพประสิทธิ์ โชคเจริญ 2558) พบว่าสมการความสัมพันธ์มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นจะเห็นว่า หากดินต่างพื้นที่กันแต่นำมาผสมกันในอัตราส่วนเดียวกันค่าสมการความสัมพันธ์ก็ยังคงแตกต่างกันเสมอ และเมื่อนำสมการค่า ϕ' ของดินจังหวัดกาฬสินธุ์เปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างกับจังหวัดขอนแก่น ได้ดังนี้

ตาราง 17 ผลการเปรียบเทียบสมการค่า ϕ' ของดินจังหวัดกาฬสินธุ์
เปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างกับจังหวัดขอนแก่น

ตารางที่	สัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดที่	ϕ' (องศา)	ϕ' เปรียบเทียบ(องศา)	Error
1	0:00 : 100	27.8	24.075	15.4725
2	50 : 50	31.55	19.945	58.185
3	100 : 0	41.8	25.815	61.9214

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโพรงกับความเครียดของการทดลองอัดตัวคายนํ้า ทั้งสามตัวอย่างที่สร้างขึ้นใหม่ มีอัตราส่วนการผสมระหว่างเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียดเป็น 0:100, 50:50 และ 100:0 พบว่าทุกตัวอย่างกราฟจะมีลักษณะคล้ายๆ กันคือ ในช่วงของกราฟ Unload ดินจะคลายตัวเป็นเส้นตรง เพราะว่าเป็นดินที่สร้างขึ้นมาใหม่เอง ถึงแม้จะผสมเม็ดดินทรายนเม็ดดินละเอียดแต่ก็เป็นดินชนิดเดียวกัน จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน



5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาได้ใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัตโนมัติและเครื่องทดสอบการอัดตัวคายนํ้าแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการใช้ตัวโปรแกรมเป็นสิ่งที่การทำงานหากเกิดกระแสไฟขัดข้องเครื่องทดสอบจะหยุดสั่งการทันที ดังนั้นควรเครื่องสำรองไฟเพื่อในกรณีปัญหาดังกล่าวการทดลองจะสามารถทดลองได้อย่างต่อเนื่อง

2. ในการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัตโนมัติและการอัดตัวคายนํ้าแบบอัตโนมัติ ในระหว่างทำการทดลองควรมีการติดป้ายเตือนไม่ให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้การทดลองหรือทำกิจกรรมที่ส่งผลต่อการสิ้นสະเทือนต่อตัวอุปกรณ์การทดลอง

3. ในการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัตโนมัติ ในระหว่างติดตั้งสายให้ความดัน ควรระมัดระวังห้ามไม่ให้สายให้ความดันตกหรือเคลื่อนที่แรงๆเป็นอย่างมากเพราะจำให้ให้ค่าความดันคลาดเคลื่อน และในระหว่างติดตั้งสายให้ความดันระวังอย่าให้เกิดการป็นเกลียวและความหมุนจนแน่นพอดี อย่าให้หลวมจนเกินไปเพราะให้เริ่มการทดลองจะทำให้เกิดการรั่วซึมของนํ้า



บรรณานุกรม



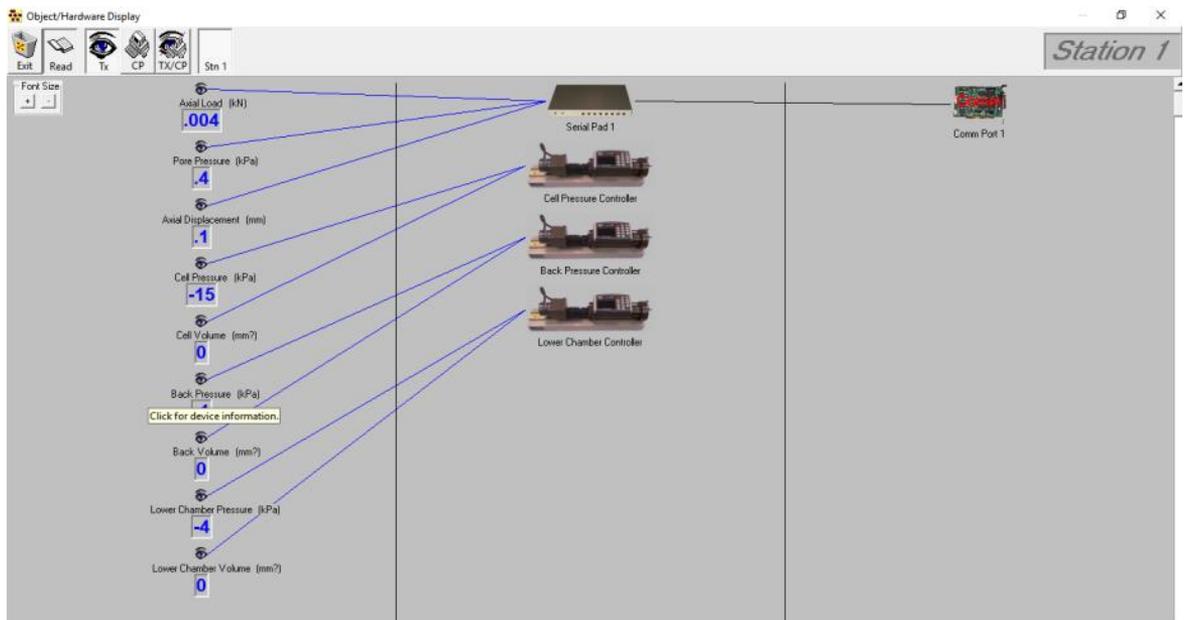
บรรณานุกรม

- จักรกฤษณ์ ยืนยงค์ และเทพประสิทธิ์ โชคเจริญ. กำลังของดินที่ผสมกันในสัดส่วนต่างๆระหว่างดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ปรินญาณิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2558
- ชัย มุกตพันธ์ และคาซูโตะ นาคาซาวา. ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก : 2531.
- ชินะวัฒน์ มุกตพันธ์. ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555
- เทพพิชัย อุปลาน และอัมพร จันเสนา. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทะลุทะลวงมาตรฐานกับพารามิเตอร์ด้านกำลังของดินในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปรินญาณิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2559
- นบปนม แก้วหานาม และนพปฎล เสงี่ยมศักดิ์. เอกสารประกอบการเรียนปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.
- นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์. เอกสารประกอบการเรียนปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- พิชิต ลัทธิสุงเนิน และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คู่มือปฐพีกลศาสตร์ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เย็นฤดี อินพิมพ์ และอภิสิทธิ์ ศักดิ์ศรีท้าว. การประเมินแบบจำลองดินสำหรับดินทรายกับดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ปรินญาณิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560
- วัฒนา ธรรมมงคล และวินิต ช่อวิเชียร. ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2532
- สรุฉัตร สัมพันธ์รักษ์. วิศวกรรมปฐพี. พิมพ์ครั้งที่ 2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548
- สถาพร คุวิจิตรจากร. ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. รุ่งแสงการพิมพ์, 2545.
- สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสลวง. ปฐพีกลศาสตร์หลักการพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551
- ASTM Atandards. 1996. Sec. 4, Vol. 04.08, *Soil and Rock(I)*. American Society for Testing Materials, Designation : D 698; D 1556; D 1557; D 2166; D 3080; D 4318. ASTM Easton, MD
- Budhu, M. 2007. *Soil Mechanics and Foundations*. John Wiley & Sons. New York.
- Craig, R.F. 1992. *Soil Mechanics*. Chapman & Hall. London.

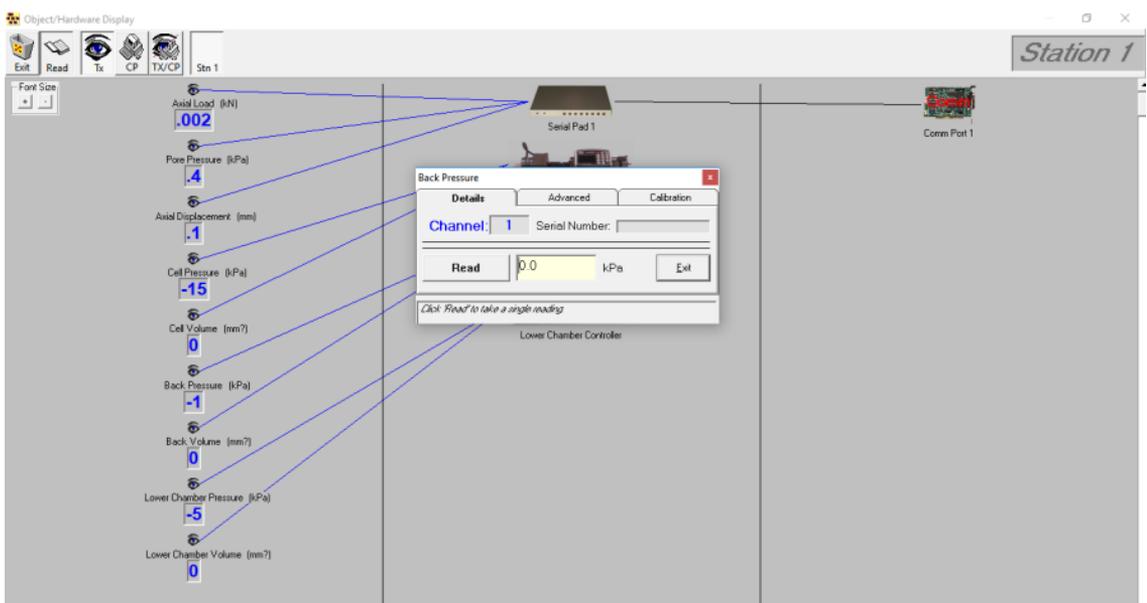


ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม GDSLAB



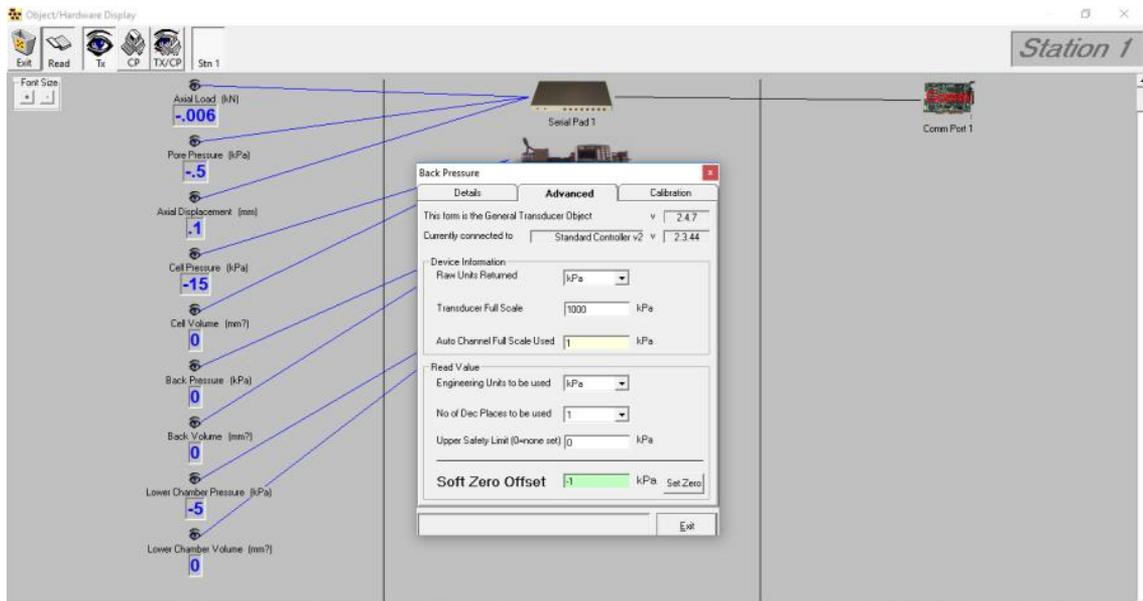


ภาพประกอบ ก 1 หลังจากทำการเปิดโปรแกรม GDSLAB กดปุ่ม Management แล้วกดปุ่ม Object Display เพื่อตรวจสอบโปรแกรม

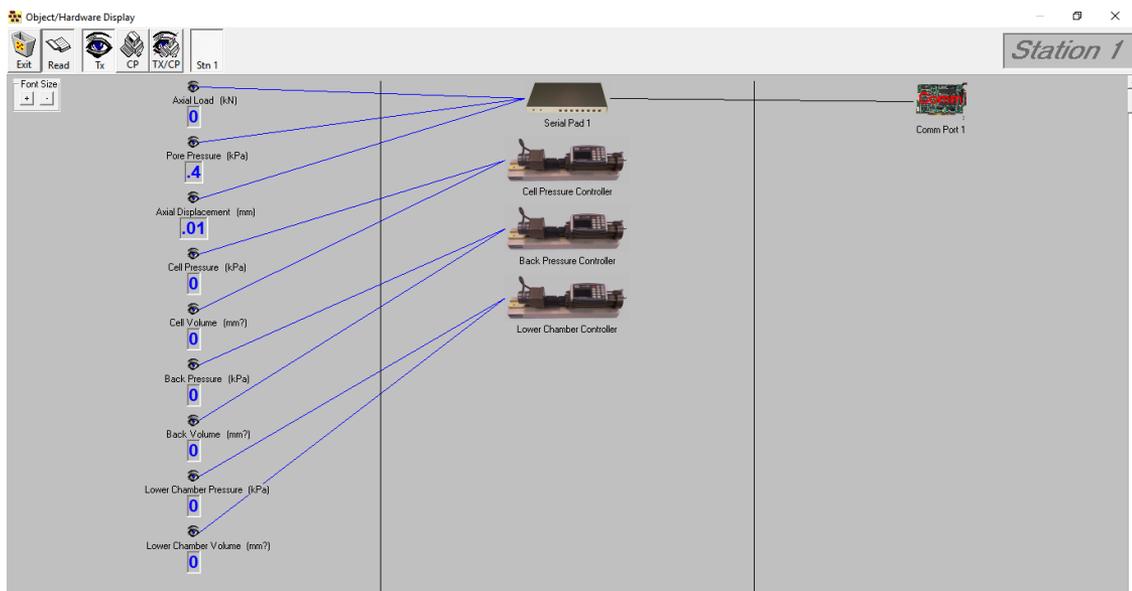


ภาพประกอบ ก 2 กดปุ่ม Read แล้วจะได้ค่าที่เป็นปัจจุบัน แล้วคัดลอกไว้



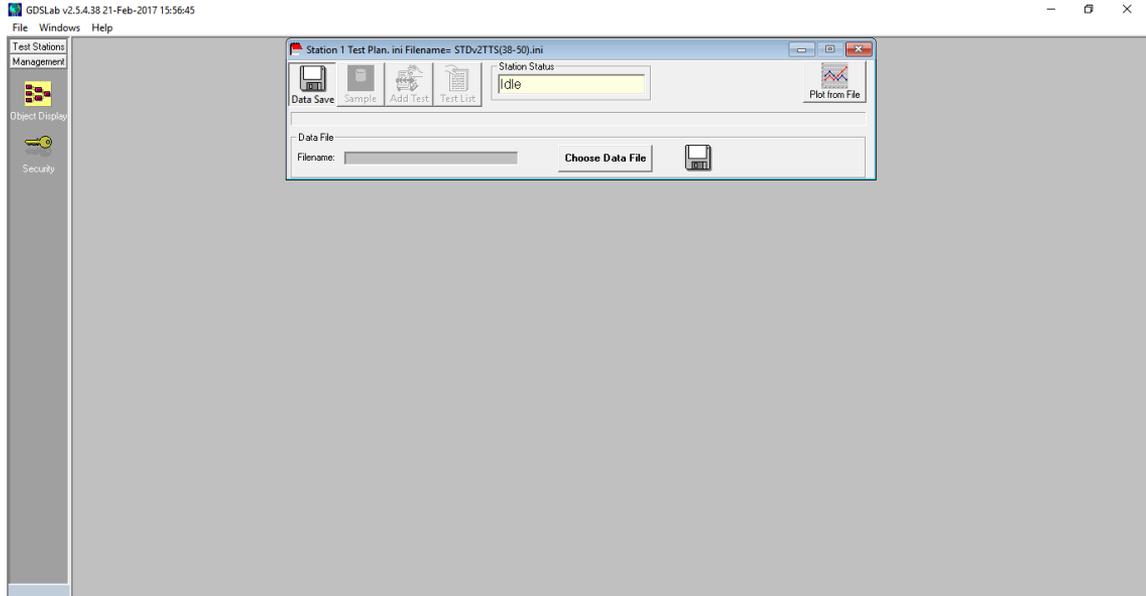


ภาพประกอบ ก 3 ไปที่ Advanced นำค่าที่ค้กออกไว้ ไปเติมที่ Soft Zero Offset แล้ว Set Zero ค่าปัจจุบันจะเปลี่ยนเป็นศูนย์

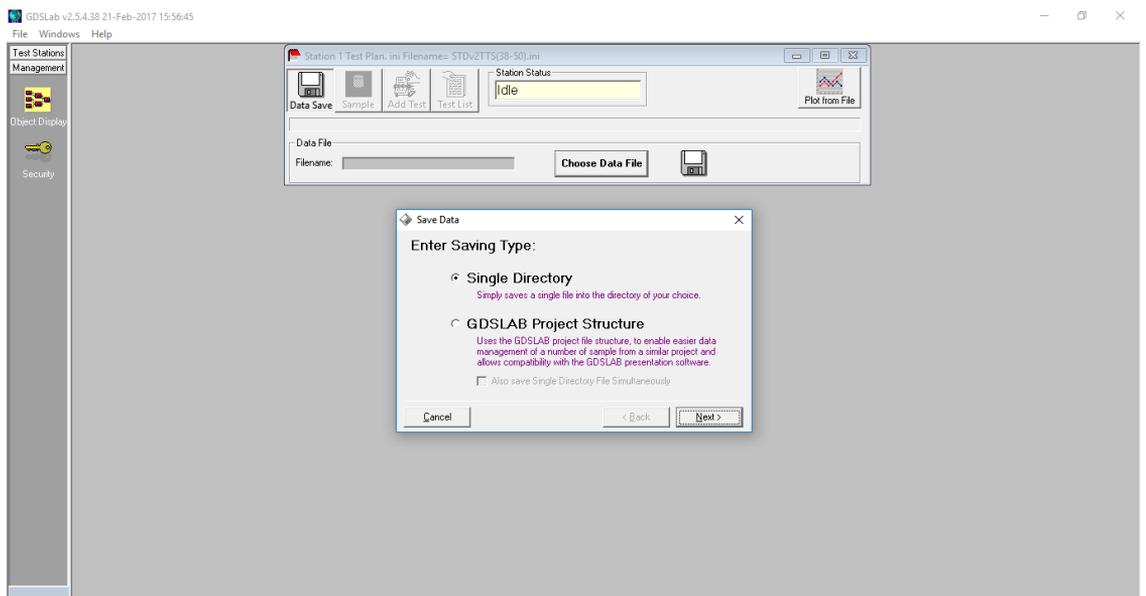


ภาพประกอบ ก 4 ทำการ Set Zero ทุกค่า จนเป็น 0 ทุกค่า แล้ว Exit ออกจากหน้านี้



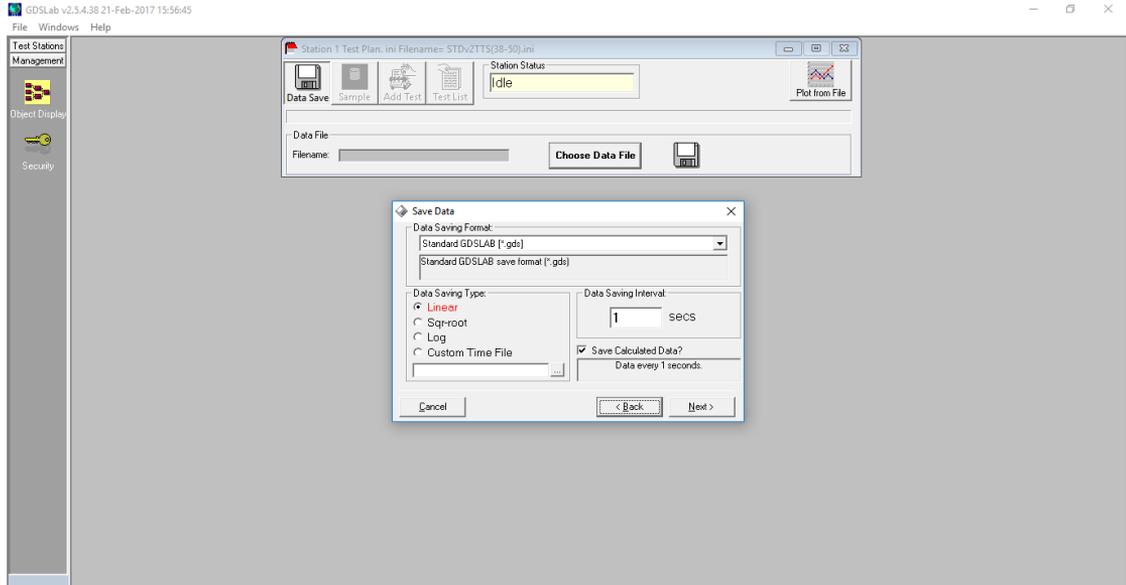


ภาพประกอบ ก 5 เริ่มตั้งค่าโปรแกรมที่ปุ่ม Data Zave แล้วไปที่ Choose Data File

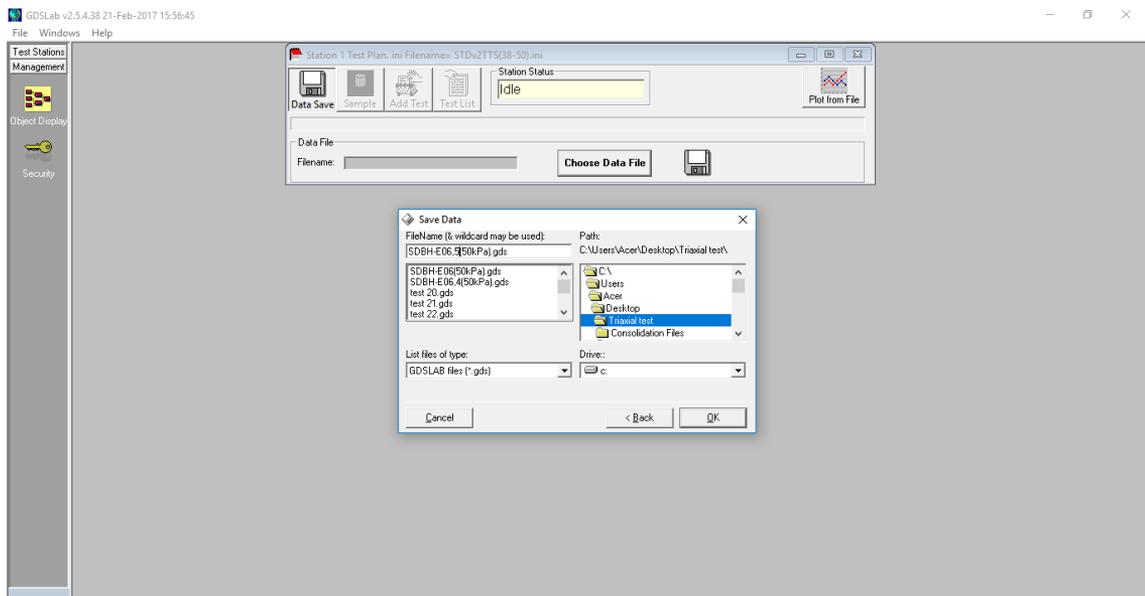


ภาพประกอบ ก 6 เลือก Single Directory แล้ว Next



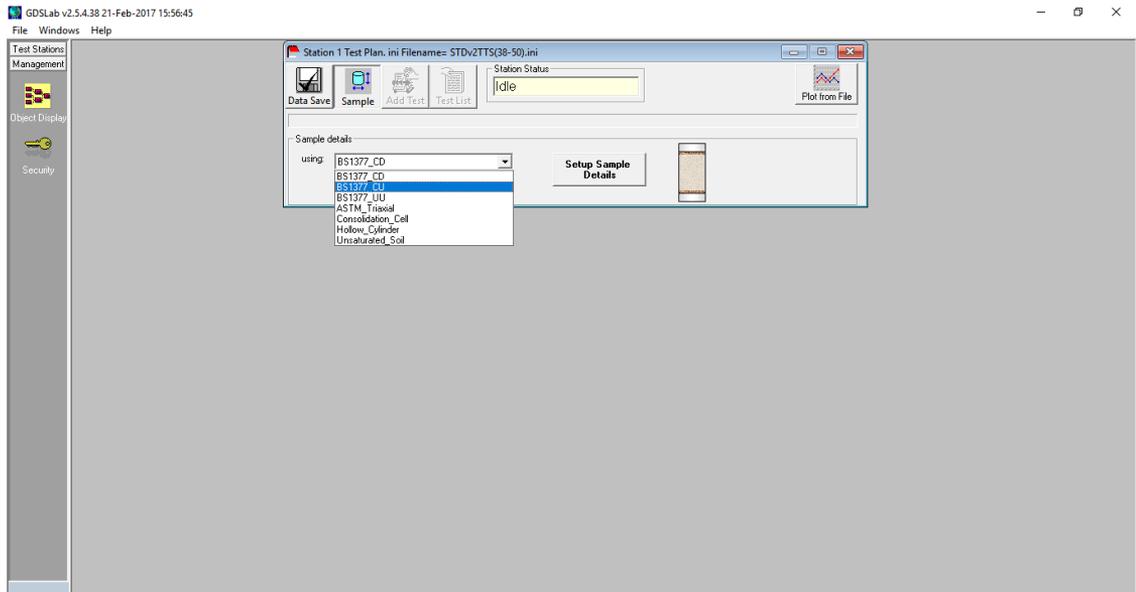


ภาพประกอบ ก 7 เลือก Data Saving Interval ที่ 1 Secs แล้ว Next

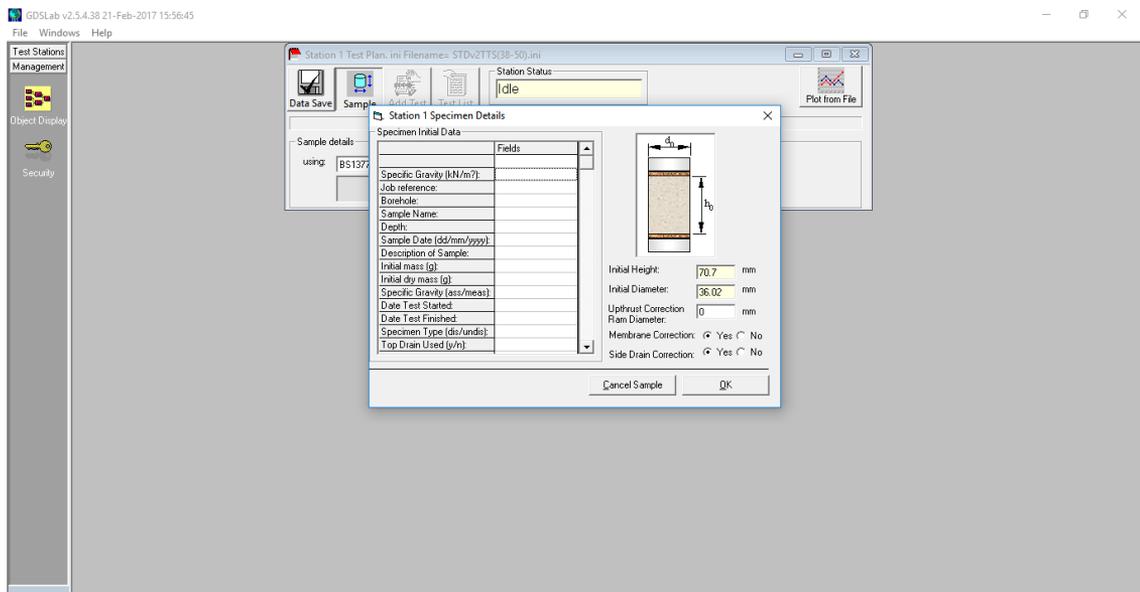


ภาพประกอบ ก 8 จากนั้นเลือกไฟล์ที่ต้องการบันทึก



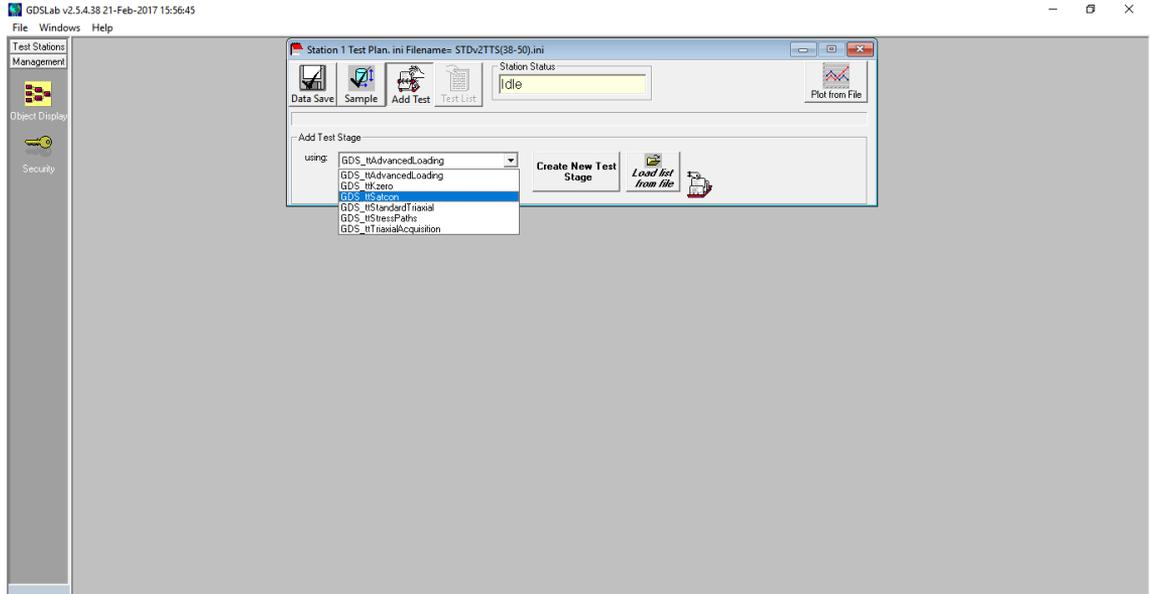


ภาพประกอบ ก 9 ตั้งค่าปุม Sample แล้วเลือกการทดลองที่ต้องการ จากรูปต้องการการทดลอง CU จากนั้นไปที่ Setup Sample Details

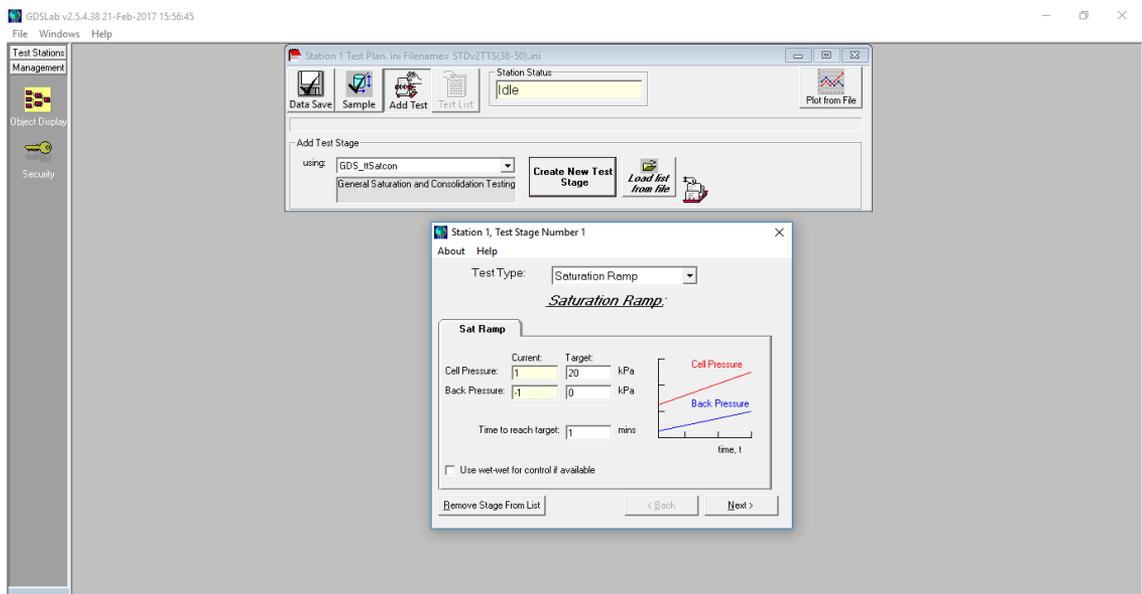


ภาพประกอบ ก 10 ตั้งค่า Intial Height และ Initial Diamrter ของดินที่จะทำการทดสอบ



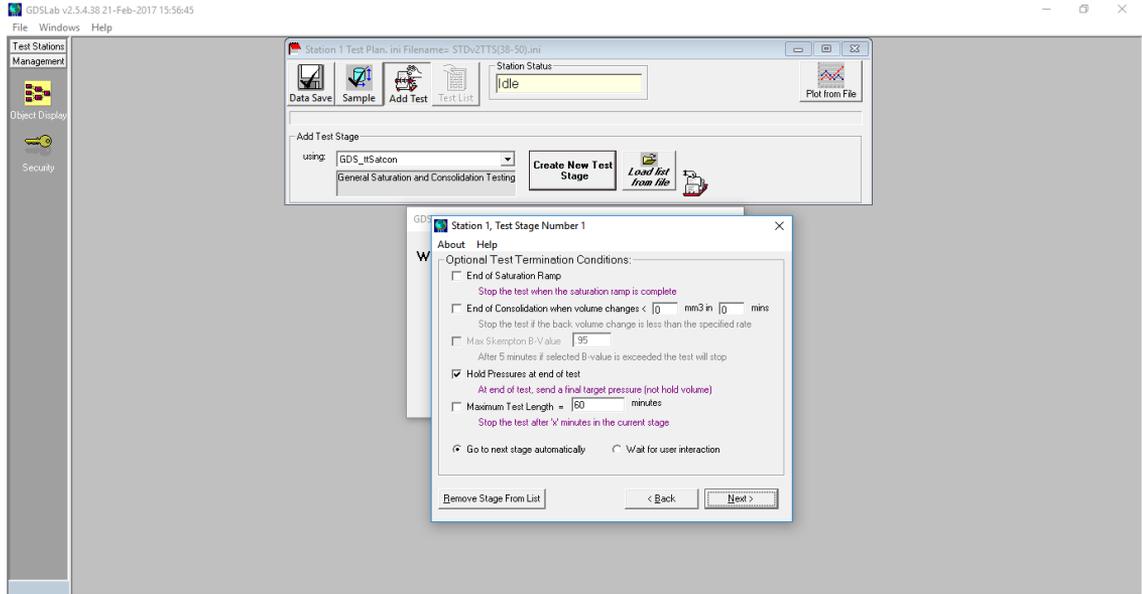


ภาพประกอบ ก 11 จากนั้นไปที่ Add test แล้วเลือก GDS_ttSatcon และ Create New Test Stage ตามลำดับ

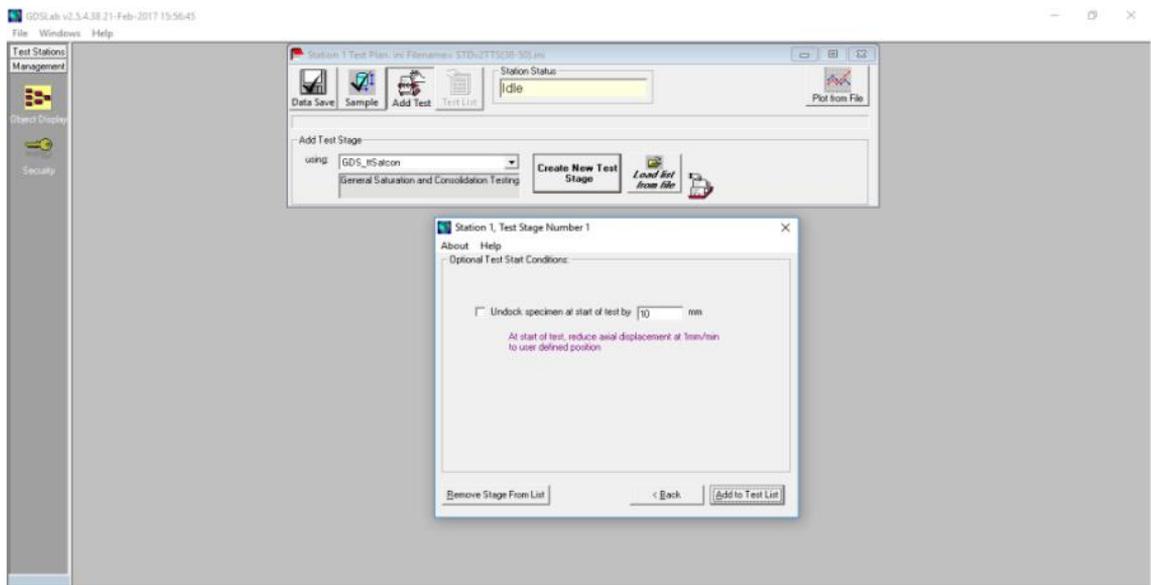


ภาพประกอบ ก 12 เลือก Saturation Ramp จากนั้นไปทำการ Sat Ramp ใส่ค่าที่จะทำการทดสอบ



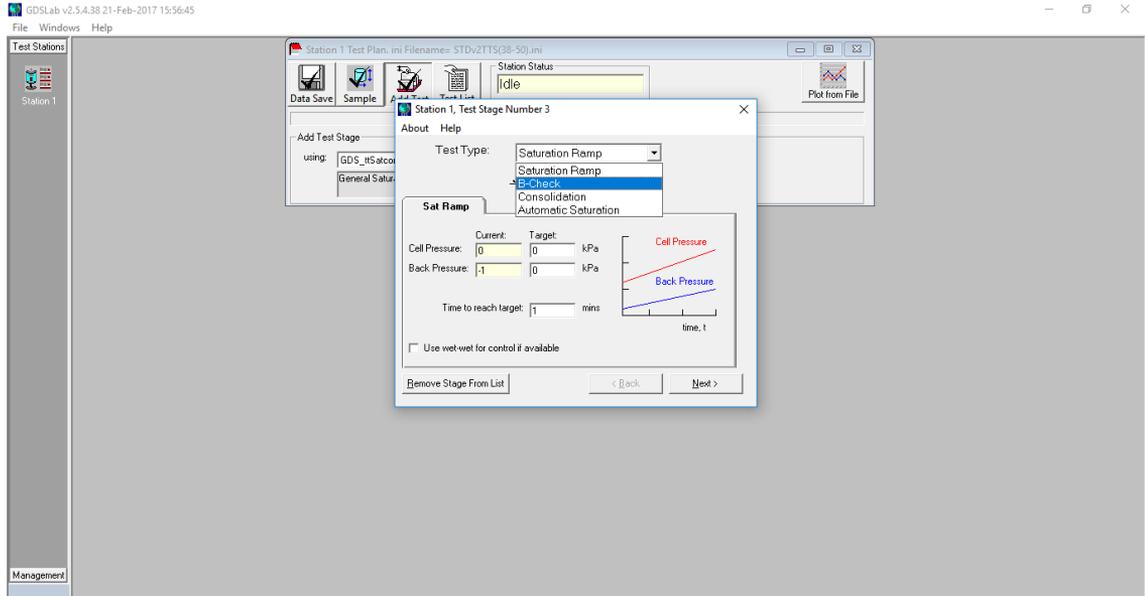


ภาพประกอบ ก 13 เลือกการตั้งค่าที่ต้องการ

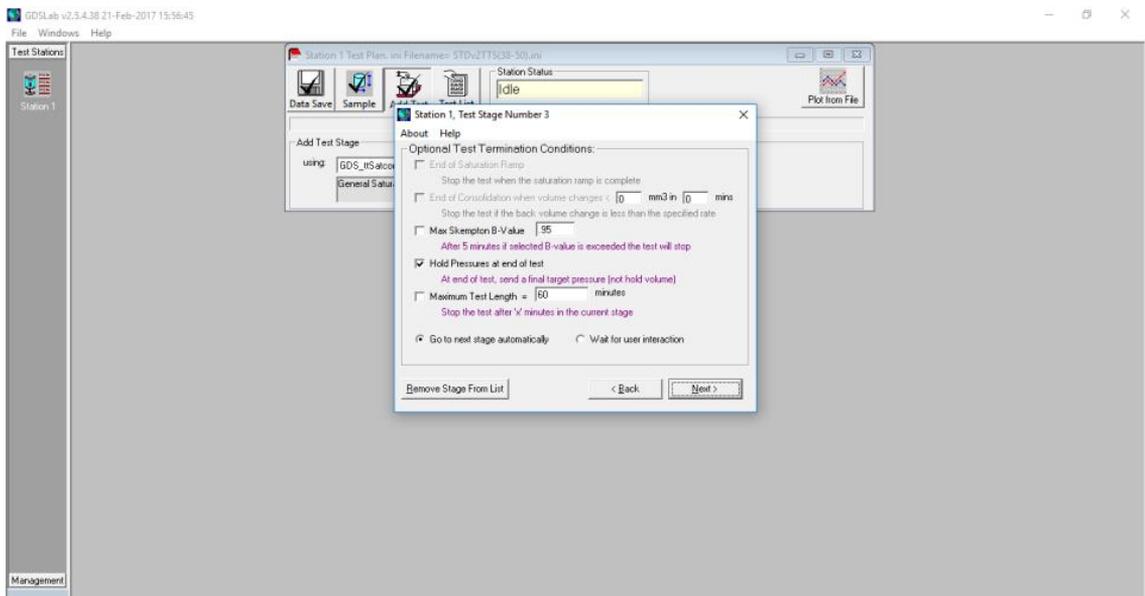


ภาพประกอบ ก 14 เลือกการตั้งค่าที่ต้องการ



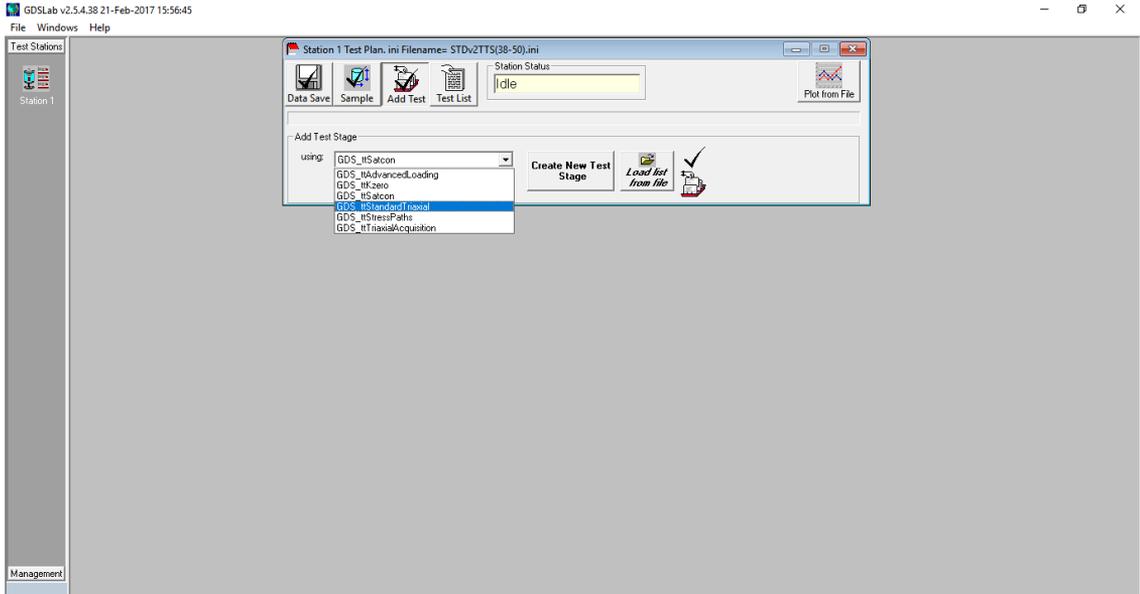


ภาพประกอบ ก 15 จากนั้นไปเลือก B-Check พร้อม Sat Ramp เป็นค่าที่ต้องการ

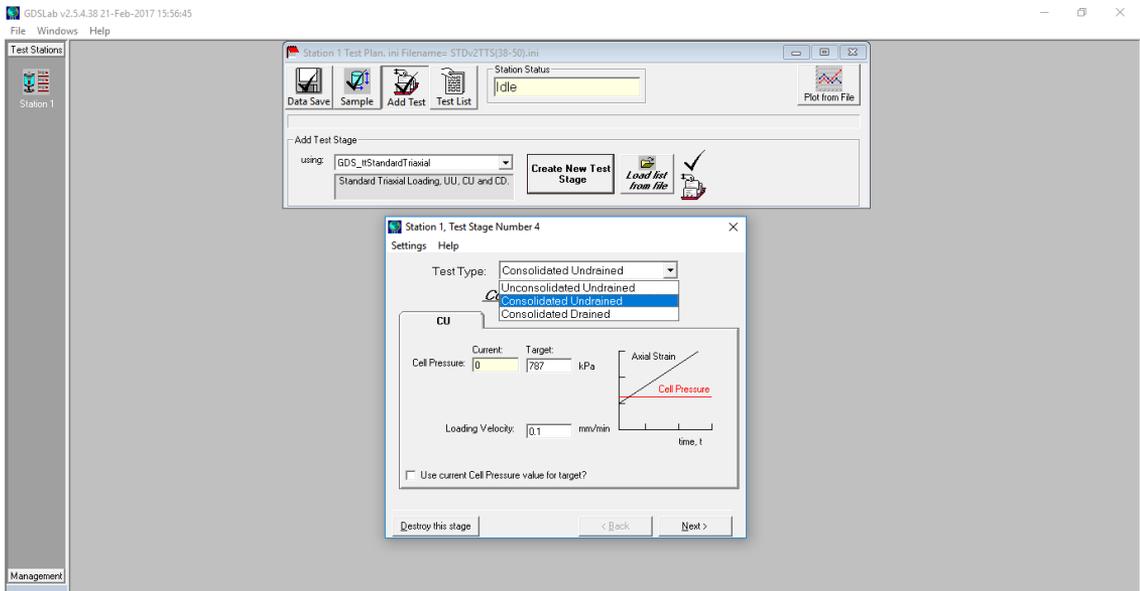


ภาพประกอบ ก 16 เลือกการตั้งค่าที่ต้องการ



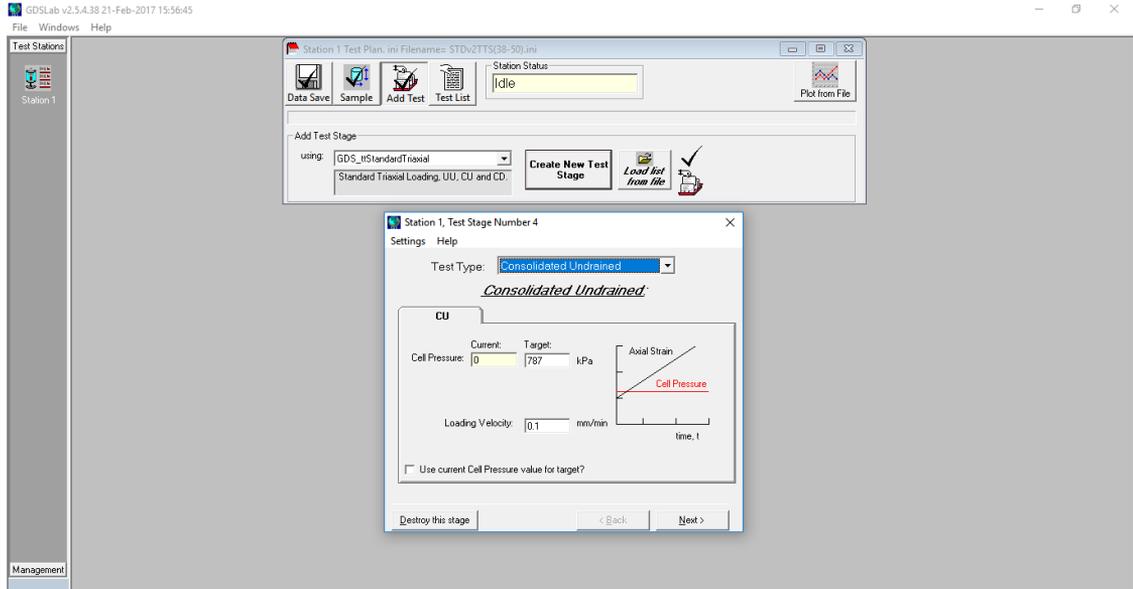


ภาพประกอบ ก 17 จากนั้นที่ Add test ไปเลือก GDS_ttstandadtriaxial และ Create New Test Stage ตามลำดับ

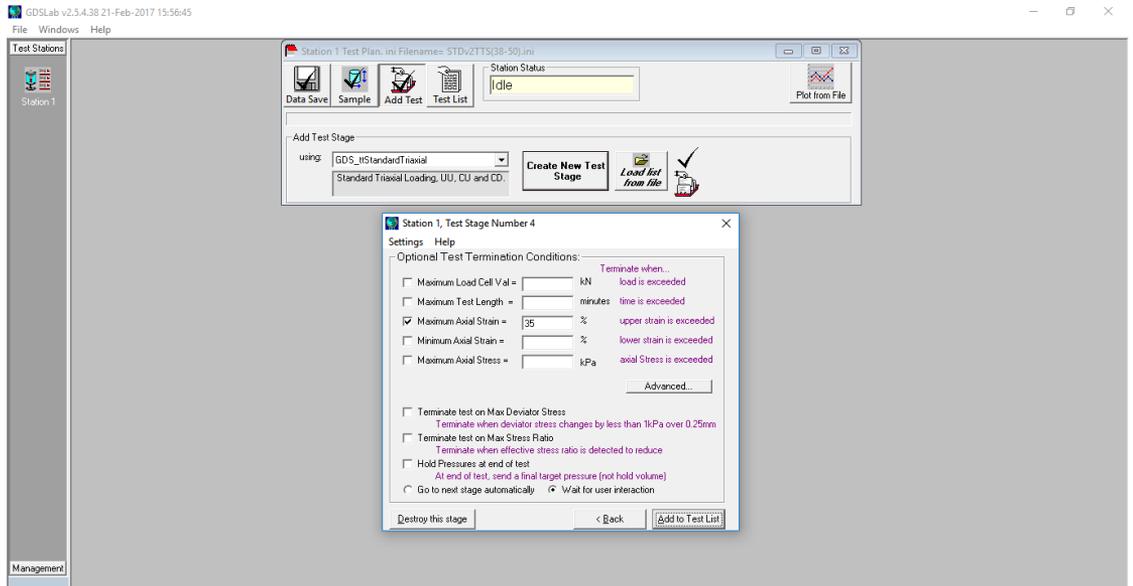


ภาพประกอบ ก 18 ที่ Test Type ให้เลือกรูปแบบการทดลองที่จะทำการทดลอง



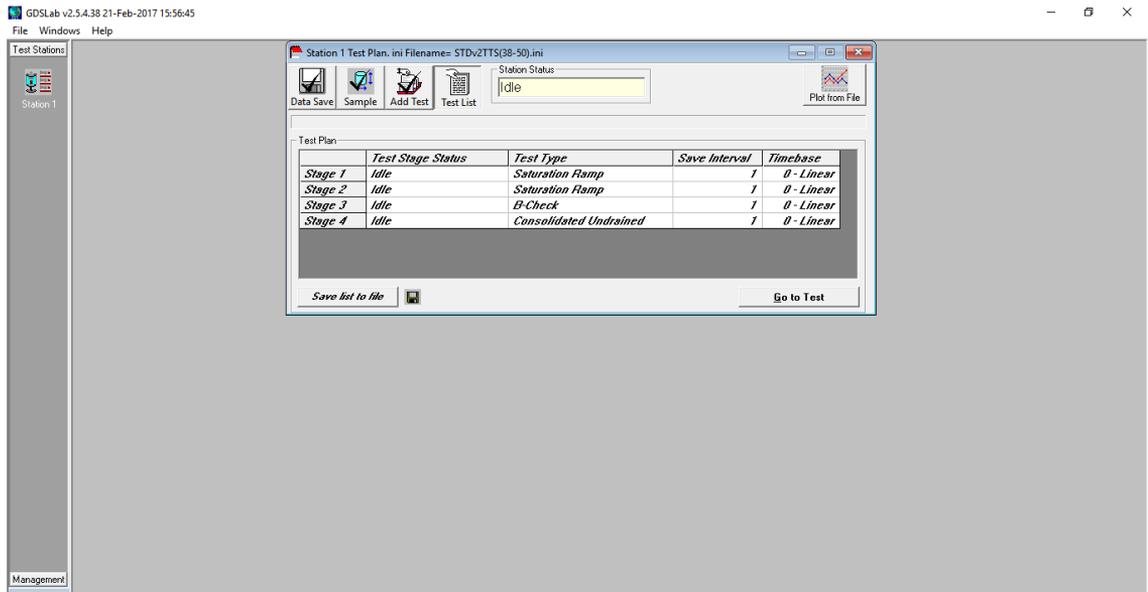


ภาพประกอบ ก 19 เพิ่มค่า Cell P. ที่ต้องการ แล้ว Next

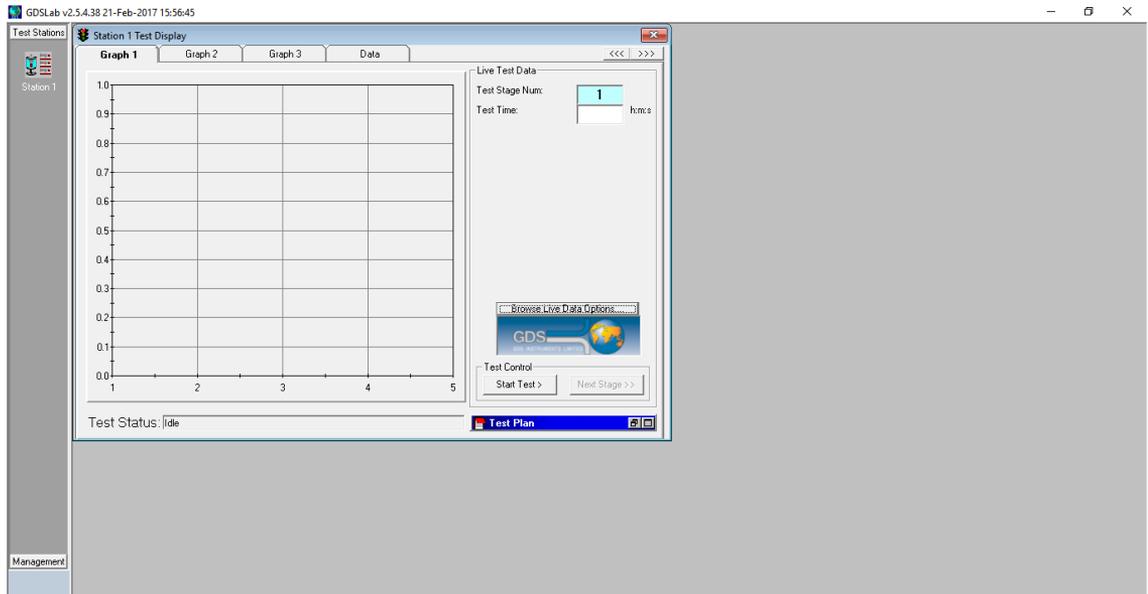


ภาพประกอบ ก 20 เลือกการตั้งค่าที่ต้องการ





ภาพประกอบ ก 21 เลือก Test List เพื่อ Chek Stage ที่ได้ตั้งค่าไว้
เมื่อแน่ใจแล้วให้ไปที่ Go to Test



ภาพประกอบ ก 22 เลือก Browsr Live Data Options เพื่อเลือกชนิดของกราฟ
ที่ต้องการดูในขณะที่ทำการทดลอง แล้ว Start Test



ภาคผนวก ข
วิธีการทดสอบ





ภาพประกอบ ข 1 เลือกตำแหน่งพื้นที่ที่จะเก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (Disturbed Sample)



ภาพประกอบ ข 2 ทำการขุดปรับหน้าดินเพื่อทำการขุดหลุมเก็บตัวอย่างดิน
เมื่อถึงระยะความลึกที่กำหนด ให้เก็บตัวอย่างดินแบบถูกรบกวน





ภาพประกอบ ข 3 นำตัวอย่างดินที่ได้มาตากแดดให้แห้ง



ภาพประกอบ ข 4 นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร้อนผ่านตะแกรงเพื่อแยกเม็ดดินทรายและเม็ดดินละเอียด





ภาพประกอบ ข 5 นำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรง มาผสมเหลวในสัดส่วนเม็ดดินทราย ต่อเม็ดดินละเอียดที่ร้อยละ 0:100 50:50 และ 100:0 ตามลำดับ



ภาพประกอบ ข 6 ทำการอัดตัวอย่างดินที่ผสมลงในโมลด์บรรจุ โดยการกดทับด้วยน้ำหนัก 24 ชั่วโมง พร้อมวัดการทรุดตัว





ภาพประกอบ ข 7 เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างดินออกจากโมลต์



ภาพประกอบ ข 8 สำหรับตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงอัดสามแกน
จะนำตัวอย่างดินมาทำการเหลาตัดแต่ง





ภาพประกอบ ข 9 หากมีเศษดินที่ติดในตัวอย่างให้ใช้แปรงปัดออกอย่างระมัดระวัง



ภาพประกอบ ข 10 ตัวอย่างดินที่หุ้มด้วยกระบอกผ้าเพื่อตัดแต่งหัวท้ายตัวอย่างดิน





ภาพประกอบ ข 11 นำตัวอย่างดินที่เหลาตัดแต่งเก็บไว้ในโถดูดความชื้น



ภาพประกอบ ข 12 การนำแผ่นกระดาษกรองพันรอบข้างตัวอย่างดิน

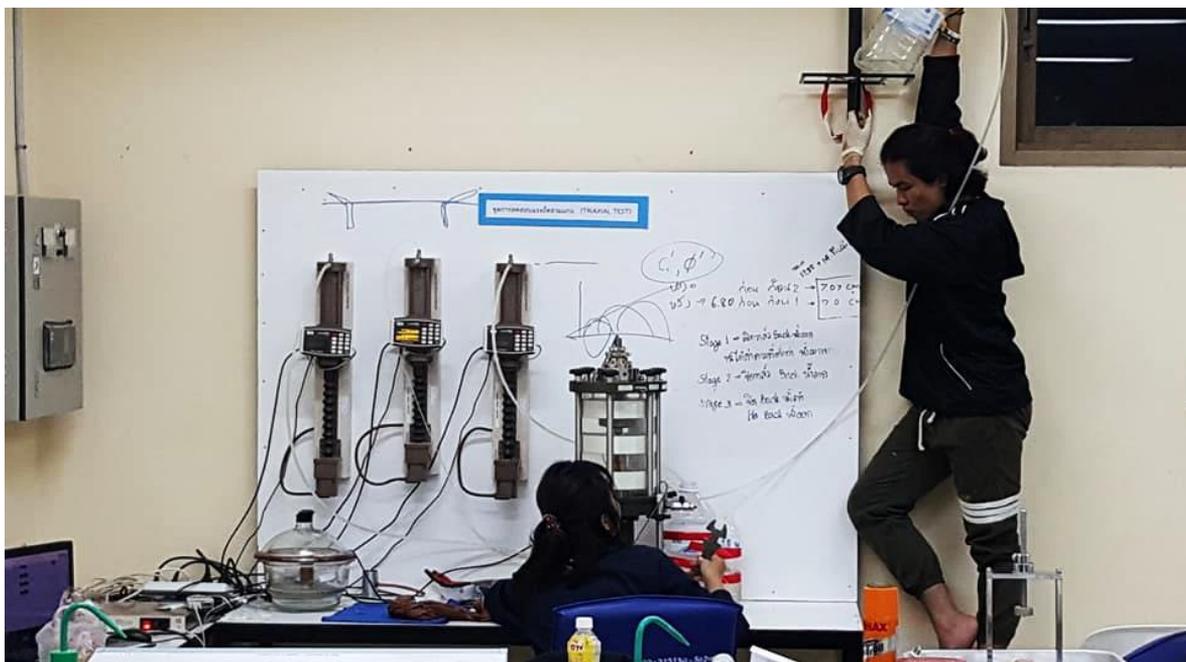


ภาพประกอบ ข 13 การติดตั้งตัวอย่างดินบนฐานเซลล์



ภาพประกอบ ข 14 การติดตั้งโถแก้วของอุปกรณ์ทดสอบแรงอัดสามแกน





ภาพประกอบ ข 15 การนำน้ำเข้าโถแก้วของอุปกรณ์ทดสอบแรงอัดสามแกน



ภาพประกอบ ข 16 เมื่อการติดตั้งครบแล้วให้ติดตั้งสายให้ความดันทุกสาย แล้วตั้งค่าโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบ





ภาพประกอบ ข 17 นำตัวอย่างดินเก็บไว้ในโถดูดความชื้น



ภาพประกอบ ข 18 นำตัวอย่างดินจะถูกใส่ไว้ในวงแหวนมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณ



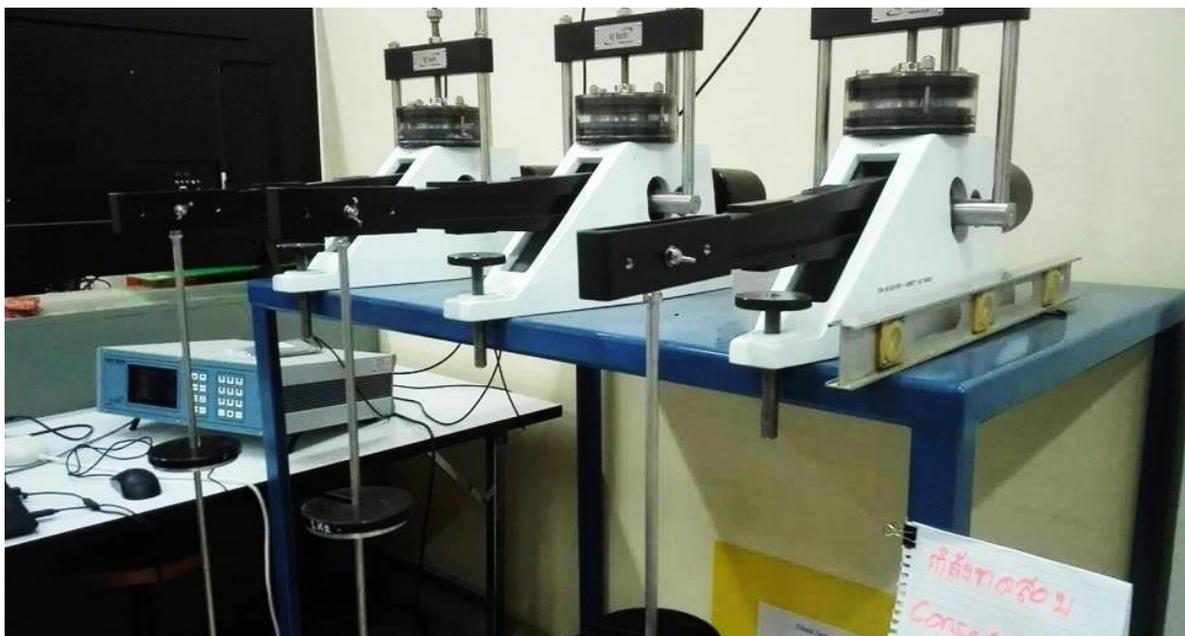


ภาพประกอบ ข 19 อุปกรณ์เซลล์การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ



ภาพประกอบ ข 20 นำตัวอย่างดินติดตั้งบนอุปกรณ์เซลล์การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ





ภาพประกอบ ข 21 ติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ แล้วตั้งค่าโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบ



ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง



ตาราง ค 1 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 0.25 kg

Load # 1	0.25 kg (7.62 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0170
0.25	-0.6021	0.5000	0.0177
0.5	-0.3010	0.7071	0.0182
1	0.0000	1.0000	0.0186
2	0.3010	1.4142	0.0190
4	0.6021	2.0000	0.0195
8	0.9031	2.8284	0.0198
15	1.1761	3.8730	0.0201
30	1.4771	5.4772	0.0202
60	1.7782	7.7460	0.0204
120	2.0792	10.9545	0.0205
480	2.6812	21.9089	0.0209
720	2.8573	26.8328	0.0213



ตาราง ค 2 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 0.50 kg

Load # 2	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0002
0.25	-0.6021	0.5000	0.0002
0.5	-0.3010	0.7071	0.0002
1	0.0000	1.0000	0.0003
2	0.3010	1.4142	0.0003
4	0.6021	2.0000	0.0004
8	0.9031	2.8284	0.0004
15	1.1761	3.8730	0.0007
30	1.4771	5.4772	0.0008
60	1.7782	7.7460	0.0010
120	2.0792	10.9545	0.0011
240	2.3802	15.4919	0.0013
480	2.6812	21.9089	0.0027
720	2.8573	26.8328	0.0041



ตาราง ค 3 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 3	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0007
0.5	-0.3010	0.7071	0.0011
1	0.0000	1.0000	0.0015
2	0.3010	1.4142	0.0022
4	0.6021	2.0000	0.0030
8	0.9031	2.8284	0.0043
15	1.1761	3.8730	0.0051
30	1.4771	5.4772	0.0061
60	1.7782	7.7460	0.0068
120	2.0792	10.9545	0.0072
240	2.3802	15.4919	0.0078
480	2.6812	21.9089	0.0087
720	2.8573	26.8328	0.0156



ตาราง ค 4 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 4	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0016
0.5	-0.3010	0.7071	0.0023
1	0.0000	1.0000	0.0032
2	0.3010	1.4142	0.0041
4	0.6021	2.0000	0.0053
8	0.9031	2.8284	0.0068
15	1.1761	3.8730	0.0091
30	1.4771	5.4772	0.0104
60	1.7782	7.7460	0.0111
120	2.0792	10.9545	0.0115
240	2.3802	15.4919	0.0116
480	2.6812	21.9089	0.0145
720	2.8573	26.8328	0.0174



ตาราง ค 5 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 5	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0150
0.5	-0.3010	0.7071	0.0168
1	0.0000	1.0000	0.0180
2	0.3010	1.4142	0.0194
4	0.6021	2.0000	0.0209
8	0.9031	2.8284	0.0237
15	1.1761	3.8730	0.0265
30	1.4771	5.4772	0.0287
60	1.7782	7.7460	0.0300
120	2.0792	10.9545	0.0307
240	2.3802	15.4919	0.0312
480	2.6812	21.9089	0.0479
720	2.8573	26.8328	0.0617



ตาราง ค 6 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 6	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0002
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0002
4	0.6021	2.0000	0.0003
8	0.9031	2.8284	0.0003
15	1.1761	3.8730	0.0002
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0002
120	2.0792	10.9545	0.0002
240	2.3802	15.4919	0.0009
480	2.6812	21.9089	0.0013
720	2.8573	26.8328	0.0018



ตาราง ค 7 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 7	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0001
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0000
8	0.9031	2.8284	0.0001
15	1.1761	3.8730	0.0001
30	1.4771	5.4772	0.0001
60	1.7782	7.7460	0.0001
120	2.0792	10.9545	0.0001
240	2.3802	15.4919	0.0004
480	2.6812	21.9089	0.0005
720	2.8573	26.8328	0.0012



ตาราง ค 8 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 0.50 kg

Load # 8	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0001
8	0.9031	2.8284	0.0001
15	1.1761	3.8730	0.0001
30	1.4771	5.4772	0.0002
60	1.7782	7.7460	0.0002
120	2.0792	10.9545	0.0007
240	2.3802	15.4919	0.0011
480	2.6812	21.9089	0.0011
720	2.8573	26.8328	0.0017



ตาราง ค 9 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 9	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0003
2	0.3010	1.4142	0.0003
4	0.6021	2.0000	0.0003
8	0.9031	2.8284	0.0003
15	1.1761	3.8730	0.0004
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0004
120	2.0792	10.9545	0.0006
240	2.3802	15.4919	0.0006
480	2.6812	21.9089	0.0007
720	2.8573	26.8328	0.0009



ตาราง ค 10 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 10	<u>2.00 kg</u> (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0002
8	0.9031	2.8284	0.0000
15	1.1761	3.8730	0.0000
30	1.4771	5.4772	0.0002
60	1.7782	7.7460	0.0006
120	2.0792	10.9545	0.0010
240	2.3802	15.4919	0.0012
480	2.6812	21.9089	0.0013
720	2.8573	26.8328	0.0022



ตาราง ค 11 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 11	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0017
0.5	-0.3010	0.7071	0.0018
1	0.0000	1.0000	0.0018
2	0.3010	1.4142	0.0020
4	0.6021	2.0000	0.0020
8	0.9031	2.8284	0.0020
15	1.1761	3.8730	0.0021
30	1.4771	5.4772	0.0022
60	1.7782	7.7460	0.0022
120	2.0792	10.9545	0.0025
240	2.3802	15.4919	0.0028
480	2.6812	21.9089	0.0031
960	2.9823	30.9839	0.0044



ตาราง ค 12 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 8.00 kg

Load # 12	8.00 kg (243.86 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0220
0.5	-0.3010	0.7071	0.0247
1	0.0000	1.0000	0.0272
2	0.3010	1.4142	0.0293
4	0.6021	2.0000	0.0315
8	0.9031	2.8284	0.0339
15	1.1761	3.8730	0.0365
30	1.4771	5.4772	0.0385
60	1.7782	7.7460	0.0399
120	2.0792	10.9545	0.0404
240	2.3802	15.4919	0.0406
480	2.6812	21.9089	0.0422
960	2.9823	30.9839	0.0424



ตาราง ค 13 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100
ที่น้ำหนัก 16.00 kg

Load # 13	<u>16.00 kg</u> (487.71 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0299
0.5	-0.3010	0.7071	0.0318
1	0.0000	1.0000	0.0339
2	0.3010	1.4142	0.0354
4	0.6021	2.0000	0.0374
8	0.9031	2.8284	0.0399
15	1.1761	3.8730	0.0421
30	1.4771	5.4772	0.0436
60	1.7782	7.7460	0.0446
120	2.0792	10.9545	0.0454
240	2.3802	15.4919	0.0460
480	2.6812	21.9089	0.0465
960	2.9823	30.9839	0.0469



ตาราง ค 14 สรุปผลการทดลองอัดตัวคาน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 0:100

Load	Load (kg)	Vertical Stress (kPa)	Dial reading (cm)	Vertical Strain (%)	Void Ratio, e
1	0.25	7.620	0.0213000	1.08673	2.45207
2	0.5	15.241	0.0254000	1.29592	2.44477
3	1.0	30.482	0.0409998	2.09183	2.41700
4	2.0	60.964	0.0583998	2.97958	2.38601
5	4.0	121.928	0.1200999	6.12755	2.27615
6	2.0	60.964	0.1218999	6.21938	2.27294
7	1.0	30.482	0.1230999	6.28061	2.27081
8	0.5	15.241	0.1247999	6.36734	2.26778
9	1.0	30.482	0.1256999	6.41326	2.26618
10	2.0	60.964	0.1278999	6.52550	2.26226
11	4.0	121.928	0.1322999	6.74999	2.25443
12	8.0	243.855	0.1746999	8.91326	2.17893
13	16.0	487.710	0.2215999	11.30612	2.09542



ตาราง ค 15 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าของสํัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 0.25 kg

Load # 1	<u>0.25 kg</u> (<u>7.62 kPa</u>)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0396
0.5	-0.3010	0.7071	0.0398
1	0.0000	1.0000	0.0403
2	0.3010	1.4142	0.0408
4	0.6021	2.0000	0.0412
8	0.9031	2.8284	0.0416
15	1.1761	3.8730	0.0421
30	1.4771	5.4772	0.0423
60	1.7782	7.7460	0.0428
120	2.0792	10.9545	0.0432
480	2.6812	21.9089	0.0436
720	2.8573	26.8328	0.0440



ตาราง ค 16 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าของสํัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 0.50 kg

Load # 2	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0014
0.5	-0.3010	0.7071	0.0016
1	0.0000	1.0000	0.0018
2	0.3010	1.4142	0.0020
4	0.6021	2.0000	0.0025
8	0.9031	2.8284	0.0030
15	1.1761	3.8730	0.0035
30	1.4771	5.4772	0.0042
60	1.7782	7.7460	0.0048
120	2.0792	10.9545	0.0052
240	2.3802	15.4919	0.0056
480	2.6812	21.9089	0.0073
720	2.8573	26.8328	0.0081



ตาราง ค 17 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 3	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0074
0.5	-0.3010	0.7071	0.0088
1	0.0000	1.0000	0.0099
2	0.3010	1.4142	0.0111
4	0.6021	2.0000	0.0124
8	0.9031	2.8284	0.0139
15	1.1761	3.8730	0.0155
30	1.4771	5.4772	0.0170
60	1.7782	7.7460	0.0181
120	2.0792	10.9545	0.0191
240	2.3802	15.4919	0.0198
480	2.6812	21.9089	0.0203
720	2.8573	26.8328	0.0208



ตาราง ค 18 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 4	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0152
0.5	-0.3010	0.7071	0.0170
1	0.0000	1.0000	0.0185
2	0.3010	1.4142	0.0200
4	0.6021	2.0000	0.0221
8	0.9031	2.8284	0.0245
15	1.1761	3.8730	0.0268
30	1.4771	5.4772	0.0288
60	1.7782	7.7460	0.0299
120	2.0792	10.9545	0.0306
240	2.3802	15.4919	0.0309
480	2.6812	21.9089	0.0321
720	2.8573	26.8328	0.0328



ตาราง ค 19 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 5	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0207
0.5	-0.3010	0.7071	0.0227
1	0.0000	1.0000	0.0245
2	0.3010	1.4142	0.0264
4	0.6021	2.0000	0.0288
8	0.9031	2.8284	0.0318
15	1.1761	3.8730	0.0349
30	1.4771	5.4772	0.0374
60	1.7782	7.7460	0.0388
120	2.0792	10.9545	0.0396
240	2.3802	15.4919	0.0403
480	2.6812	21.9089	0.0410
720	2.8573	26.8328	0.0417



ตาราง ค 20 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 6	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	-0.0002
0.5	-0.3010	0.7071	-0.0002
1	0.0000	1.0000	-0.0002
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0000
8	0.9031	2.8284	0.0000
15	1.1761	3.8730	0.0000
30	1.4771	5.4772	0.0001
60	1.7782	7.7460	0.0000
120	2.0792	10.9545	0.0000
240	2.3802	15.4919	0.0007
480	2.6812	21.9089	0.0013
720	2.8573	26.8328	0.0018



ตาราง ค 21 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 7	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0001
8	0.9031	2.8284	0.0000
15	1.1761	3.8730	0.0001
30	1.4771	5.4772	0.0001
60	1.7782	7.7460	0.0003
120	2.0792	10.9545	0.0003
240	2.3802	15.4919	0.0004
480	2.6812	21.9089	0.0005
720	2.8573	26.8328	0.0006



ตาราง ค 22 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 0.50 kg

Load # 8	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	-0.0001
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0000
8	0.9031	2.8284	0.0001
15	1.1761	3.8730	0.0001
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0004
120	2.0792	10.9545	0.0008
240	2.3802	15.4919	0.0011
480	2.6812	21.9089	0.0014
720	2.8573	26.8328	0.0020



ตาราง ค 23 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 9	<u>1.00 kg</u> (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0003
1	0.0000	1.0000	0.0003
2	0.3010	1.4142	0.0003
4	0.6021	2.0000	0.0003
8	0.9031	2.8284	0.0003
15	1.1761	3.8730	0.0003
30	1.4771	5.4772	0.0004
60	1.7782	7.7460	0.0004
120	2.0792	10.9545	0.0005
240	2.3802	15.4919	0.0005
480	2.6812	21.9089	0.0008
720	2.8573	26.8328	0.0010



ตาราง ค 24 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 10	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	-0.0002
8	0.9031	2.8284	-0.0002
15	1.1761	3.8730	-0.0002
30	1.4771	5.4772	0.0000
60	1.7782	7.7460	0.0004
120	2.0792	10.9545	0.0005
240	2.3802	15.4919	0.0008
480	2.6812	21.9089	0.0010
720	2.8573	26.8328	0.0010



ตาราง ค 25 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 11	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.000000	0.0000
0.25	-0.6021	0.500000	0.0018
0.5	-0.3010	0.707107	0.0020
1	0.0000	1.000000	0.0021
2	0.3010	1.414214	0.0023
4	0.6021	2.000000	0.0023
8	0.9031	2.828427	0.0024
15	1.1761	3.872983	0.0025
30	1.4771	5.477226	0.0025
60	1.7782	7.745967	0.0028
120	2.0792	10.954451	0.0031
240	2.3802	15.491933	0.0035
480	2.6812	21.908902	0.0038
720	2.8573	26.832816	0.0047



ตาราง ค 26 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 8.00 kg

Load # 12	8.00 kg (243.86 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0201
0.5	-0.3010	0.7071	0.0228
1	0.0000	1.0000	0.0250
2	0.3010	1.4142	0.0271
4	0.6021	2.0000	0.0296
8	0.9031	2.8284	0.0322
15	1.1761	3.8730	0.0347
30	1.4771	5.4772	0.0370
60	1.7782	7.7460	0.0383
120	2.0792	10.9545	0.0389
240	2.3802	15.4919	0.0389
480	2.6812	21.9089	0.0410
720	2.8573	26.8328	0.0413



ตาราง ค 27 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50
ที่น้ำหนัก 16.00 kg

Load # 13	<u>16.00 kg</u> (487.71 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0312
0.5	-0.3010	0.7071	0.0336
1	0.0000	1.0000	0.0354
2	0.3010	1.4142	0.0376
4	0.6021	2.0000	0.0402
8	0.9031	2.8284	0.0430
15	1.1761	3.8730	0.0452
30	1.4771	5.4772	0.0468
60	1.7782	7.7460	0.0479
120	2.0792	10.9545	0.0486
240	2.3802	15.4919	0.0494
480	2.6812	21.9089	0.0501
720	2.8573	26.8328	0.0508



ตาราง ค 28 สรุปผลการทดลองอัดตัวคาน้ำของสั้ดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 50:50

Load #	Load (kg)	Vertical Stress (kPa)	Dial reading (cm)	Vertical Strain (%)	Void Ratio, e
1	0.25	7.620	0.0440000	2.24490	2.43429
2	0.5	15.241	0.0520999	2.65816	2.41977
3	1.0	30.482	0.0728999	3.71938	2.38249
4	2.0	60.964	0.1057000	5.39286	2.32370
5	4.0	121.928	0.1474000	7.52041	2.24895
6	2.0	60.964	0.1492000	7.61225	2.24573
7	1.0	30.482	0.1498000	7.64286	2.24465
8	0.5	15.241	0.1518000	7.74490	2.24107
9	1.0	30.482	0.1528000	7.79592	2.23928
10	2.0	60.964	0.1538000	7.84694	2.23748
11	4.0	121.928	0.1585000	8.08673	2.22906
12	8.0	243.855	0.1998000	10.19388	2.15503
13	16.0	487.710	0.2506000	12.78571	2.06398



ตาราง ค 29 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 0.25 kg

Load # 1	0.25 kg (7.62 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0006
0.25	-0.6021	0.5000	0.0005
0.5	-0.3010	0.7071	0.0006
1	0.0000	1.0000	0.0010
2	0.3010	1.4142	0.0017
4	0.6021	2.0000	0.0025
8	0.9031	2.8284	0.0035
15	1.1761	3.8730	0.0039
30	1.4771	5.4772	0.0041
60	1.7782	7.7460	0.0043
120	2.0792	10.9545	0.0046
480	2.6812	21.9089	0.0048
720	2.8573	26.8328	0.0054



ตาราง ค 30 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าของสํัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่นํ้าหนัก 0.50 kg

Load # 2	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0013
0.5	-0.3010	0.7071	0.0013
1	0.0000	1.0000	0.0014
2	0.3010	1.4142	0.0018
4	0.6021	2.0000	0.0024
8	0.9031	2.8284	0.0028
15	1.1761	3.8730	0.0035
30	1.4771	5.4772	0.0040
60	1.7782	7.7460	0.0043
120	2.0792	10.9545	0.0045
240	2.3802	15.4919	0.0049
480	2.6812	21.9089	0.0060
720	2.8573	26.8328	0.0068



ตาราง ค 31 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 3	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0046
0.5	-0.3010	0.7071	0.0054
1	0.0000	1.0000	0.0064
2	0.3010	1.4142	0.0073
4	0.6021	2.0000	0.0082
8	0.9031	2.8284	0.0093
15	1.1761	3.8730	0.0102
30	1.4771	5.4772	0.0109
60	1.7782	7.7460	0.0113
120	2.0792	10.9545	0.0117
240	2.3802	15.4919	0.0121
480	2.6812	21.9089	0.0125
720	2.8573	26.8328	0.0137



ตาราง ค 32 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 4	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0100
0.5	-0.3010	0.7071	0.0109
1	0.0000	1.0000	0.0118
2	0.3010	1.4142	0.0126
4	0.6021	2.0000	0.0137
8	0.9031	2.8284	0.0145
15	1.1761	3.8730	0.0155
30	1.4771	5.4772	0.0161
60	1.7782	7.7460	0.0162
120	2.0792	10.9545	0.0163
240	2.3802	15.4919	0.0162
480	2.6812	21.9089	0.0172
720	2.8573	26.8328	0.0177



ตาราง ค 33 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 5	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0145
0.5	-0.3010	0.7071	0.0157
1	0.0000	1.0000	0.0167
2	0.3010	1.4142	0.0175
4	0.6021	2.0000	0.0182
8	0.9031	2.8284	0.0192
15	1.1761	3.8730	0.0200
30	1.4771	5.4772	0.0206
60	1.7782	7.7460	0.0210
120	2.0792	10.9545	0.0216
240	2.3802	15.4919	0.0218
480	2.6812	21.9089	0.0222
720	2.8573	26.8328	0.0231



ตาราง ค 34 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 6	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0000
2	0.3010	1.4142	0.0002
4	0.6021	2.0000	0.0003
8	0.9031	2.8284	0.0002
15	1.1761	3.8730	0.0002
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0002
120	2.0792	10.9545	0.0003
240	2.3802	15.4919	0.0010
480	2.6812	21.9089	0.0015
720	2.8573	26.8328	0.0020



ตาราง ค 35 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 7	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0001
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0001
8	0.9031	2.8284	0.0001
15	1.1761	3.8730	0.0001
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0001
120	2.0792	10.9545	0.0003
240	2.3802	15.4919	0.0004
480	2.6812	21.9089	0.0007
720	2.8573	26.8328	0.0010



ตาราง ค 36 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 0.50 kg

Load # 8	0.50 kg (15.24 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0001
1	0.0000	1.0000	0.0001
2	0.3010	1.4142	0.0001
4	0.6021	2.0000	0.0001
8	0.9031	2.8284	0.0003
15	1.1761	3.8730	0.0003
30	1.4771	5.4772	0.0003
60	1.7782	7.7460	0.0004
120	2.0792	10.9545	0.0008
240	2.3802	15.4919	0.0012
480	2.6812	21.9089	0.0021
720	2.8573	26.8328	0.0026



ตาราง ค 37 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 1.00 kg

Load # 9	1.00 kg (30.48 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0000
0.5	-0.3010	0.7071	0.0000
1	0.0000	1.0000	0.0001
2	0.3010	1.4142	0.0000
4	0.6021	2.0000	0.0000
8	0.9031	2.8284	0.0000
15	1.1761	3.8730	0.0000
30	1.4771	5.4772	0.0000
60	1.7782	7.7460	0.0003
120	2.0792	10.9545	0.0003
240	2.3802	15.4919	0.0003
480	2.6812	21.9089	0.0004
720	2.8573	26.8328	0.0006



ตาราง ค 38 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 2.00 kg

Load # 10	2.00 kg (60.96 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	-0.0001
0.5	-0.3010	0.7071	-0.0002
1	0.0000	1.0000	-0.0002
2	0.3010	1.4142	-0.0001
4	0.6021	2.0000	-0.0002
8	0.9031	2.8284	-0.0002
15	1.1761	3.8730	-0.0002
30	1.4771	5.4772	-0.0002
60	1.7782	7.7460	0.0002
120	2.0792	10.9545	0.0000
240	2.3802	15.4919	0.0004
480	2.6812	21.9089	0.0008
720	2.8573	26.8328	0.0009



ตาราง ค 39 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 4.00 kg

Load # 11	4.00 kg (121.93 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0027
0.5	-0.3010	0.7071	0.0027
1	0.0000	1.0000	0.0027
2	0.3010	1.4142	0.0028
4	0.6021	2.0000	0.0031
8	0.9031	2.8284	0.0031
15	1.1761	3.8730	0.0032
30	1.4771	5.4772	0.0033
60	1.7782	7.7460	0.0036
120	2.0792	10.9545	0.0039
240	2.3802	15.4919	0.0040
480	2.6812	21.9089	0.0045
960	2.9823	30.9839	0.0054



ตาราง ค 40 ผลการทดลองอัดตัวคายน้ำของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 8.00 kg

Load # 12	8.00 kg (243.86 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0143
0.5	-0.3010	0.7071	0.0156
1	0.0000	1.0000	0.0167
2	0.3010	1.4142	0.0174
4	0.6021	2.0000	0.0184
8	0.9031	2.8284	0.0191
15	1.1761	3.8730	0.0196
30	1.4771	5.4772	0.0202
60	1.7782	7.7460	0.0206
120	2.0792	10.9545	0.0206
240	2.3802	15.4919	0.0206
480	2.6812	21.9089	0.0220
960	2.9823	30.9839	0.0220



ตาราง ค 41 ผลการทดลองอัดตัวคายนํ้าของสัคส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0
ที่น้ำหนัก 16.00 kg

Load # 13	16.00 kg (487.71 kPa)		
Time (min)	Log(t)	Sqrt(t)	Disp. (cm)
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	-0.6021	0.5000	0.0246
0.5	-0.3010	0.7071	0.0256
1	0.0000	1.0000	0.0264
2	0.3010	1.4142	0.0270
4	0.6021	2.0000	0.0276
8	0.9031	2.8284	0.0282
15	1.1761	3.8730	0.0288
30	1.4771	5.4772	0.0292
60	1.7782	7.7460	0.0296
120	2.0792	10.9545	0.0300
240	2.3802	15.4919	0.0306
480	2.6812	21.9089	0.0310
960	2.9823	30.9839	0.0314



ตาราง ค 42 สรุปผลการทดลองอัดตัวคาน้ำของสัดส่วนเม็ดดินทรายต่อเม็ดดินละเอียด 100:0

Load #	Load (kg)	Vertical Stress (kPa)	Dial reading (cm)	Vertical Strain (%)	Void Ratio, e
1	0.25	7.620	0.0054000	0.27551	2.44680
2	0.5	15.241	0.0121999	0.62244	2.43481
3	1.0	30.482	0.0258999	1.32142	2.41065
4	2.0	60.964	0.0435999	2.22448	2.37944
5	4.0	121.928	0.0666999	3.40306	2.33870
6	2.0	60.964	0.0686999	3.50510	2.33517
7	1.0	30.482	0.0696999	3.55612	2.33341
8	0.5	15.241	0.0722999	3.68877	2.32882
9	1.0	30.482	0.0728999	3.71938	2.32777
10	2.0	60.964	0.0737999	3.76530	2.32618
11	4.0	121.928	0.0791999	4.04081	2.31666
12	8.0	243.855	0.1011999	5.16326	2.27786
13	16.0	487.710	0.1325999	6.76530	2.22249



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายทัศนพงษ์ ชวน้ำโม่ง
 วันเกิด 28 กรกฎาคม 2540
 สถานที่เกิด อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 22 หมู่ 5 ตำบลผาตั้ง อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย
 รหัสไปรษณีย์ 43160

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสังคมิวิทยา จังหวัดหนองคาย
 พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังคมิวิทยา จังหวัดหนองคาย
 พ.ศ. 2561 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวศิริรินภา ช่างชัย
 วันเกิด 4 กุมภาพันธ์ 2540
 สถานที่เกิด อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 178 หมู่ 9 ตำบลโนนผึ้ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
 รหัสไปรษณีย์ 34190

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนารีนุกูล จังหวัดอุบลราชธานี
 พ.ศ. 2561 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

