



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการทดสอบ
Unconfined compression test ชนิดวัดแรงจุด

Determination of Effective Strength Parameters of Soft Bangkok Clay Using Suction -
monitored Unconfined Compression Tests

นามผู้วิจัย นายวสัน สุทธิบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์อภินิติ โชติสังกาศ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
โดยการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงจุด

Determination of Effective Strength Parameters of Soft Bangkok Clay
Using Suction - monitored Unconfined Compression Tests

โดย

นายวสัน สุทธิ์นุ่น

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2552

วสัน สุทธิรัตน์ 2552: การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อน
กรุงเทพฯ โดยการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงจุด ประโยญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรม
โยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์อภินิติ โชติสังกาศ, Ph.D. 113 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาการทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือน
ประสิทธิผล (c' , ϕ') ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้วิธีการทดสอบ Unconfined
compression test ชนิดวัดแรงจุด หรือแรงดันน้ำในช่องว่างดินที่เป็นลบ ของตัวอย่างดินในขณะที่ทำ
การทดสอบโดยใช้เครื่องมือเทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นที่
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทำการเปรียบเทียบกับ การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial
Compression Test) รวมถึงใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวในการวิเคราะห์โดยใช้
แบบจำลองพฤติกรรมของดิน (Modified Cam Clay) กับกรณีงานชุด เพื่อประเมินความเหมาะสม
ของวิธีทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่

จากการศึกษาพบว่า เมื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างการทดสอบ การทดสอบ
Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) กับการทดสอบ Triaxial
compression test ในช่วง Effective mean stress หรือ Suction เท่ากับ 0 ถึง 80 กิโลปาสกาล และทำ
การแปลผลโดยอาศัยทฤษฎี Critical state ซึ่งกำหนดให้ $c' = 0$ พบว่า ที่ค่าดัชนีพลาสติกซิตี
(Plasticity Index, PI) เท่ากับ 44, 60 และในช่วง 62 - 68 ได้ค่ามุมเสียดทาน (Friction Angle, ϕ')
เท่ากับ 26, 23 และ 25 องศา ตามลำดับ และเมื่อศึกษาพฤติกรรมการยุบอัดตัว Isotropic
compression ที่ได้จาก การทดสอบซึ่งใช้เครื่องมือ Triaxial test มีลักษณะพฤติกรรมใกล้เคียงกัน
กับ Isotropic drying โดยใช้เครื่องมือ Tensiometer และ Pressure plate เมื่อดินอยู่ในสภาวะใกล้
อิ่มตัว และจากการวิเคราะห์พฤติกรรมของดินด้วยแบบจำลอง Modified Cam Clay พบว่าสำหรับ
การวิเคราะห์งานชุดเล็ก 6.30 เมตร สามารถนำพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ
นี้ในการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากค่า Effective mean stress ที่เกิดขึ้นที่ความลึก 11.50 เมตร มีค่าน้อย
กว่า 80 กิโลปาสกาล

Wasan Sutthinun 2009: Determination of Effective Strength Parameters of Soft Bangkok Clay Using Suction - monitored Unconfined Compression Tests. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Mr. Apiniti Jotisankasa, Ph.D. 113 pages.

This research is on the determination of effective strength parameters for soft Bangkok Clay using Unconfined Compression Test with measurement of soil suction during testing, compared with those obtained from Triaxial Compression Test. Suction measurements were performed during Unconfined Compression Test using miniature tensiometers developed by Kasetsart University. The studies also include the application of the parameters from SUC Test in the numerical analysis of excavation work

The Suction - monitored unconfined compression test employs the tensiometers which work satisfactorily for suction range of 10 to 80 kPa. The values of the effective angle of shearing resistance, ϕ' , obtained from these tests are 26° , 23° and 25° at the plasticity index (PI) of 44, 60 and 62 - 68 respectively, with effective cohesion equal to zero (using the critical state theory). The behaviour of isotropic compression obtained from Triaxial test and isotropic drying using, tensiometer and pressure plate agree reasonably well for the clay with degree of saturation greater than 95%. Finally since the value of effective mean stress is less than 80 kPa, as obtained from the finite element analysis of excavation to deep - 6.30 meter, the Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) proposed on his study can be employed in such application.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. อภินิติ โชติสังกาศ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งในการอบรมสั่งสอน ให้ปรึกษาแก้ไขปัญหา อีกทั้งยังให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์นี้แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรากร ไม้เรียง กรรมการที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณ ดร. ชีรพงศ์ จันทร์เพ็ง ประธานการสอบ และ ดร. อัครพัฒน์ สว่างสุริย์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้ที่มีค่ายิ่ง อันจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณบิดา และครอบครัว ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูและให้การสนับสนุน รวมถึงมอบกำลังใจให้เสมอมา จนทำให้การเรียนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วีระศักดิ์ อุดมโชค และหัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับเครื่องมือการทดสอบ และยังให้คำแนะนำแนวทางในการทดสอบ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ห้องปฏิบัติการนวัตกรรมทางวิศวกรรมปฐพี เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยฯ รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการปฐพีทุกท่าน ในการช่วยเหลือให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ สนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยถึงในที่นี้ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

วศัน สุทธินุ่น

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ (SWCC)	81
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบการอัดตัวคายนํ้าแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test)	85
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงจุด	87
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)	108
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลสรุปคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ	10
2	ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดินเหนียวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	51
3	ข้อมูลการทดลองที่ได้จากการทดสอบ Suction - monitored Unconfined Compression Test	55
4	ข้อมูลการทดสอบ Triaxial compression test	59
5	ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากการ ทดสอบ SUC Test ในสภาวะอัดแน่นปกติ (NC Clay)	61
6	พารามิเตอร์ของดินเหนียวอ่อนสำหรับวิเคราะห์ไฟในอิลิเมนต์	67
7	คุณสมบัติของเข็มปัก (Sheet Pile) ความยาว 16.0 เมตร และค้ำยัน (Strut)	68
8	ตารางเปรียบเทียบระยะเวลาในการทดสอบระหว่างการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test และ การทดสอบ Triaxial test	74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปตัดลักษณะชั้นดินตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา ขึ้นไปตอนเหนือของประเทศไทย	5
2	Mohr's Circle และทางเดินของหน่วยแรง จากการทดสอบ Unconfined compression test	11
3	การวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงรวมและวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test	14
4	เส้นขอบเขตการวิบัติของดินเหนียวในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล	15
5	วิธีการกำหนดจุดวิบัติในมวลดินแบบต่างๆ	17
6	แสดงเส้น Failure envelope ของ Total stress path (TSP) และ Effective stress path (ESP) จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test	19
7	รูปแบบของทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล	20
8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า c' กับ a' และ ϕ' กับ α'	20
9	เครื่องมือวัดแรงดูด Tensiometer	22
10	ชุดทดสอบ KU Tensiometer ก.) KU Tensiometer (Low Suction Absolute) ข.) ชุดทดสอบ KU Tensiometer	22
11	ผลการสอบเทียบ KU Tensiometer โดยใช้หลักการการห้อยน้ำ (Hanging Water Column) ออกจากตัวเครื่องมือวัด	23
12	อุปกรณ์ห้มือความดัน หรือ Pressure plate	24
13	แสดงทางเดินของหน่วยแรงสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไร้ขอบเขต (TSP แสดงทางเดินในรูปของหน่วยแรงรวม, ESP แสดงทางเดินในรูปของหน่วยประสิทธิผล)	26
14	แสดงพฤติกรรมของดินในสภาวะหลังจากเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed Sampling)	26
15	แสดงระบบการติดตั้ง Tensiometer หรือ Suction probe ระหว่างการทดสอบ Triaxial test	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ผลการวัดค่าแรงคูคของตัวอย่างดิน	28
17	แสดงเส้นโค้งความชุ่มน้ำของดิน	29
18	แสดงทางเดินของหน่วยแรงจากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงคูค	29
19	แสดงขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลระบบ Cambridge จากการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงคูค และการทดสอบ Triaxial compression test	30
20	Yield locus ของแบบจำลอง Modified Cam Clay	32
21	Compressibility parameters ของแบบจำลอง Modified Cam Clay	34
22	ตำแหน่งของ Critical state line และความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ	35
23	แสดงแผนผังการวิจัย	40
24	การทำเส้นโค้งความชุ่มน้ำ ด้วย KU Tensiometer	41
25	ตัวอย่างผลการสอบเทียบ KU Tensiometer	43
26	ตัวอย่างผลการวัดค่าแรงคูคของตัวอย่างดิน โดย KU Tensiometer	44
27	แสดงการเตรียมตัวอย่าง	45
28	การติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงคูค	46
29	แสดงแบบจำลองการทดสอบ Isotropic consolidated undrained compression test, CIUC Test)	47
30	แสดงเส้นโค้งความชุ่มน้ำของดิน ก.) ความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) ข.) ความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content, θ) ค.) อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e)	53
31	ผลการทดสอบการอัดตัวด้วยน้ำ แบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง ของตัวอย่างดิน ที่ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียดจากการทดสอบ SUC Test ก.) ตัวอย่างจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ ความลึก 2.0 - 3.0 เมตร และ ข.) ตัวอย่างบริเวณถนนกรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ ความลึก 4.5 - 6.6 เมตร	57
33	กราฟแสดงทางเดินหน่วยแรงในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากการทดสอบ SUC Test ก.) และ ข.) ตัวอย่างจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร และ ความลึก 2.0 - 3.0 เมตร ตามลำดับ ค.) ตัวอย่างจากบริเวณถนนกรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ ความลึก 4.5 - 6.6 เมตร	58
34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียดจากการทดสอบ Triaxial Compression Test	60
35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric strain กับ Effective mean stress	60
36	กราฟแสดงทางเดินและเส้นขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จากการทดสอบ SUC Test ที่ค่า PI แตกต่างกัน ก.) PI เท่ากับ 44 ข.) PI เท่ากับ 60 และ ค.) PI เท่ากับ 62 - 68	62
37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทาน กับดัชนีพลาสติกซิติ์ ของดินเหนียวต่างประเทศ และดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	63
38	แบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2	65
39	แสดงการกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure, Δu) ที่เกิดขึ้น ที่ Strain เท่ากับ 7% โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2	65
40	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับความเครียด จากการทดสอบ SUC Test และจากแบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2	66
41	กราฟแสดงทางเดินของหน่วยรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล จากแบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2 ก.) Actual total stress path ข.) Global total stress path และ Effective stress path	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	แสดงลักษณะชั้นดิน การติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile) ค้ำยัน (Strut) และจุดต่างๆ (A - H) ที่แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)	69
43	แบบจำลองงานขุด โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2	69
44	แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่จุดต่างๆ สำหรับงานขุด ลึก 6.30 เมตร	70
ภาพผนวกที่		
ก1	ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความอู่มน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 1)	82
ก2	ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความอู่มน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 2)	83
ก3	ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความอู่มน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 3)	84
ข1	ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test) ของตัวอย่างดินที่ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร	86
ค1	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -1	88
ค2	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -2	89
ค3	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -3	90
ค4	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -4	91
ค5	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -5	92
ค6	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -6	93
ค7	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -7	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค8 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -8	95
ค9 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -9	96
ค10 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -10	97
ค11 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -11	98
ค12 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -12	99
ค13 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -13	100
ค14 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -14	101
ค15 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -15	102
ค16 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -16	103
ค17 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -17	104
ค18 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -18	105
ค19 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -20 (Top of sample)	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค20	ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -20 (Middle height of sample)	107
ง1	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 1	109
ง2	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 2	110
ง3	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 3	111
ง4	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 4	112

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

B	=	พารามิเตอร์ของแรงค้ำน้ำในโพรงดินของ Skempton
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดหลังอัดตัวระบายน้ำ
a'	=	ค่าตัดแกนตั้งของเส้นของเขตการวิบัติของทางเดินหน่วยแรง
α'	=	ความชันของเส้นขอบเขตการวิบัติของทางเดินหน่วยแรง
CIDC Test	=	Isotropic Consolidated drained Compression Test
CIUC Test	=	Isotropic Consolidated Undrained Compression Test
C_c	=	Compression index
C_s	=	Swelling index
c'	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล
e	=	อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio)
ESP	=	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)
G_s	=	ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน
K_f	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้าน ณ จุดวิบัติ q_{max} (Coefficient of Lateral Earth Pressure at Failure)
K_0	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง ณ สภาวะสมดุล (Coefficient of earth pressure at rest)
M	=	Frictional Constant
NC	=	สภาพอัดแน่นปกติของดินเหนียว (Normally Consolidated Clay)
OC	=	สภาพอัดแน่นเกินตัวของดินเหนียว (Overconsolidated Clay)
OCR	=	สัดส่วนการอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation ratio)
PI	=	ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index)
p, p'	=	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$
q, q'	=	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ และ $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$
s	=	แรงดูดเมทริก (Matric suction)
S_r	=	ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SUC Test	=	Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction) (Suction - monitored Unconfined Compression Test)
s_u	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)
SWCC	=	เส้นโค้งความชุ่มชื้นของดิน (Soil Water Characteristic Curve)
TSP	=	ทางเดินของหน่วยแรงรวม (Total Stress Path)
UC Test	=	Unconfined compression test
UU Test	=	Unconsolidated undrained triaxial test
u_a	=	หน่วยแรงดันอากาศ
u_w	=	หน่วยแรงดันน้ำ
w_L	=	ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit)
w_n	=	ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
w_P	=	ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit)
σ'	=	หน่วยแรงประสิทธิผลที่ตั้งฉากระนาบวิบัติ
σ_1	=	Major Principal Stress
σ_3	=	Minor Principal Stress
σ'_3	=	ความเค้นประสิทธิผล
σ'_c	=	Effective consolidation stress
σ'_{vm}, p'_c	=	หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure)
τ	=	กำลังรับแรงเฉือน
τ_f	=	หน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติขณะดินวิบัติ
ϕ	=	มุมเสียดทาน (Friction Angle)
ϕ'	=	มุมของความเสียดทานภายในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล
Ψ	=	ค่าแรงดูดรวม (Total Suction)
ν	=	อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio)
θ	=	ความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content)

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการทดสอบ

Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด

Determination of Effective Strength Parameters of Soft Bangkok Clay

Using Suction - monitored Unconfined Compression Tests

คำนำ

ในปัจจุบันการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิศวกรรมปฐพีเพื่อหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำมีด้วยกันหลายวิธี สำหรับวิธีที่ได้รับความนิยมคือการทดสอบ Unconfined compression test เนื่องจากเป็นการทดสอบที่กระทำได้ง่าย มีราคาถูกจากการทดสอบดังกล่าวได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u , $c_u = q_u / 2$) ซึ่งเหมาะสำหรับวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) แต่สำหรับการวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพ (Effective Stress Analysis) เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เมื่อสามารถทราบค่าแรงดันน้ำในดิน ดังนั้นพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนจะอยู่ในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพ (ϕ' , c') พารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถหาได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ซึ่งสามารถควบคุมค่าแรงดันด้านข้าง (Confining Stress) แรงดันน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิภาพได้ และยังสามารถจำลองสภาพตัวอย่างดินใกล้เคียงกับสภาพในสนาม แต่มีราคาในการทดสอบที่ค่อนข้างสูงและต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ จึงทำให้ขาดแคลนข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์สภาวะระยะยาว (Long Term Condition) และการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ด้วยแบบจำลองชนิด Elasto - plastic เช่น Modified cam clay (MCC)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ค้นหาวิธีที่ทำการทดสอบได้ง่ายและประหยัดกว่าการใช้เครื่องมือทดสอบแรงอัดแบบสามแกน โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) สำหรับวัดค่าแรงดันน้ำด้านลบ (Negative Pore Water Pressure หรือ Suction) กับ การทดสอบ Unconfined compression test เพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพและประเมินความสอดคล้องของพารามิเตอร์ต่างๆกับการทดสอบแรงอัดสามแกน รวมไปถึงการศึกษาพารามิเตอร์ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ สำหรับแบบจำลองดินชั้นสูง

ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

เนื่องจากการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดินด้านกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Behavior) และพฤติกรรมด้านการทรุดตัว (Settlement Behavior) ดังนั้นหากสามารถคาดคะเนพฤติกรรมดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยแบบจำลองที่สามารถเป็นตัวแทนของดินเหนียวทั่วไปได้ ก็จะทำให้สามารถคำนวณ ออกแบบ และแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ในการคาดคะเนดังกล่าวมีความจำเป็นต้องทราบค่าสมบัติชั้นพื้นฐาน และสมบัติทางวิศวกรรมของดินในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพ (สมบัติทางด้านการทรุดตัวและด้านกำลังรับแรงเฉือน) ซึ่งการทดสอบหาสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอิมตัวด้วยน้ำนั้นทำได้ยาก และต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ นอกจากนั้นการเก็บตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพยังกระทำได้ยาก และมักจะมีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆทางวิศวกรรมของดิน

ปัจจุบันการทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอิมตัวด้วยน้ำในห้องปฏิบัติการมีด้วยกันหลายวิธี โดย 2 วิธีที่เป็นที่นิยม ได้แก่ การทดสอบ Unconfined compression test และการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ข้อแตกต่างที่สำคัญของทั้งสองวิธีคือ วิธีแรงอัดสามแกนจะสามารถควบคุมค่าแรงดันด้านข้าง แรงดันน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิภาพได้ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้จะอยู่ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีราคาสูงและต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ สำหรับการทดสอบ Unconfined compression test เป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยม เนื่องจากกระทำได้ง่าย รวดเร็ว และมีราคาที่ถูกลงกว่ามาก ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวจะรวมอิทธิพลจากแรงดันน้ำไว้ด้วย คือถ้าแรงดันน้ำระหว่างทดสอบมีค่ามาก ค่ากำลังรับแรงเฉือนก็จะมีค่าน้อย ในขณะที่เมื่อค่าแรงดันน้ำระหว่างการทดสอบมีค่าน้อย ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่วัดได้ก็จะมีค่ามาก โดยค่ากำลังรับแรงเฉือนดังกล่าวเรียกว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u)

จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นการวิเคราะห์ ออกแบบ และแก้ไขปัญหาต่างๆ สำหรับดินเหนียวอิมตัวด้วยน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำ วิศวกรจึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาในเรื่องความดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างอายุการใช้งานของโครงสร้าง และฐานรากได้ทั้งหมด ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจะอยู่ในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

ก. เพื่อศึกษาหารูปแบบการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดันน้ำด้านบน (Suction) เพื่อหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล (c' , ϕ') สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ข. เพื่อศึกษาและประเมินความสอดคล้องของพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล (c' , ϕ') ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบข้างต้น (Suction - monitored Unconfined Compression Tests, SUC Test) กับค่าที่ได้จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test

ค. เพื่อศึกษาพฤติกรรม Compression shearing ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (c' , ϕ') กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u) และรวมไปถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวมากับคุณสมบัติพื้นฐานอื่นๆ เช่น ชีดเหลว (Liquid Limit, LL) ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index, PI) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ง. เพื่อศึกษาถึงลักษณะของปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีที่เหมาะสมในการนำการทดสอบ SUC Test ไปประยุกต์ใช้

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดสอบดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างในลักษณะตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample) แล้วนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ทั้งคุณสมบัติพื้นฐานและการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นดังนี้

ก. ศึกษาพฤติกรรม Compression shearing ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการทดสอบ Unconfined compression test โดยวัดแรงดูดน้ำ (Suction) ระหว่างทำการเนียน ในช่วง Effective mean stress หรือ Suction เท่ากับ 0 - 80 กิโลปาสกาล เพื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบสามแกน (Triaxial Compression Test) ชนิด Isotropic consolidated undrained test

ข. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (c' , ϕ') หน่วยแรงรวม (s_u) และคุณสมบัติอื่นๆ ดังได้กล่าวมา ซึ่งได้จากผลทดสอบที่ได้ดำเนินการเอง และผลการศึกษาในอดีต

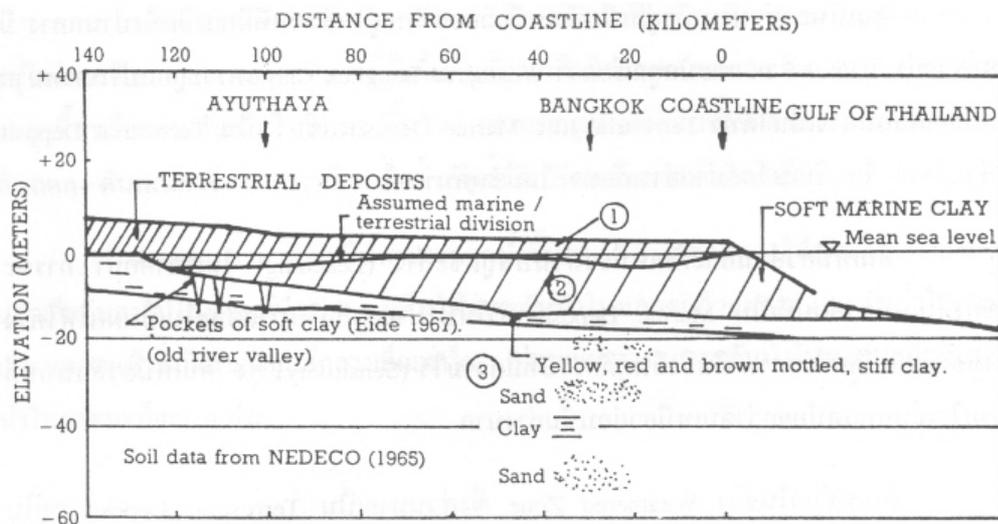
ค. ศึกษาพฤติกรรมการยุบอัดตัว Isotropic compression โดยใช้เครื่องมือ Triaxial test เปรียบเทียบกับ พฤติกรรม Isotropic drying โดยใช้เครื่องมือ Tensiometer และ Pressure plate

การตรวจเอกสาร

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

บทนำ

ดินเหนียวกรุงเทพฯ เป็นดินตะกอนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่มีบริเวณกว้างและลึกมาก สันนิษฐานว่ามีลักษณะเป็นแอ่งรูปกรวยครึ่งซีก ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปตัดของชั้นดินและชั้นหินตามแนวสันดอนของแม่น้ำเจ้าพระยาดังภาพที่ 1 จะพบว่าชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Marine Clay) หมายเลข ② อยู่ใต้ระดับ Mean sea level ลงมาจนถึงระดับความลึกประมาณ 10-20 เมตร และเริ่มจากอ่าวไทยขึ้นไปทางเหนือของประเทศจนถึงระยะทางประมาณ 140 กิโลเมตร โดยที่ชั้นดินนี้จะบางลงเมื่อระยะห่างจากอ่าวไทยออกไป (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2520)



ภาพที่ 1 รูปตัดลักษณะชั้นดินตะกอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา ขึ้นไปตอนเหนือของประเทศไทย

- หมายเหตุ ① = Terrestrial Deposit/Assumed Marine
 ② = Soft Marine Clay
 ③ = Sand

ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2520)

ชั้นดินเหนียวแข็งสลับชั้นทรายเกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืดและในน้ำทะเลเป็นเวลายาวนาน ทำให้ชั้นดินมีลักษณะสลับกันอย่างไม่เป็นรูปแบบแน่นอน แต่เชื่อว่าชั้นดินเหนียวแข็งเกิดก่อนชั้นดินเหนียวอ่อนข้างบนมาเป็นเวลานานมาก และเคยเป็นผิวดินมาก่อนเนื่องจากพบออกไซด์ของเหล็กที่รอยต่อระหว่างชั้นดิน ซึ่งเชื่อว่าเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างชั้นดินเหนียวแข็งกับอากาศที่เคยสัมผัสกันมาก่อน

ชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากเกิดจากการตกตะกอนในน้ำทะเล เนื่องจากในยุคหนึ่งระดับน้ำทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงยกตัวสูงขึ้น จึงเกิดการตกตะกอนสะสมบริเวณปากอ่าวสำหรับความไวตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนในบางพื้นที่คาดว่าเกิดจากการถูกชะล้าง (Leaching) ปริมาณเกลือออกจากน้ำในโพรงดินทำให้โครงสร้างดินสูญเสียเสถียรภาพ

ชั้นดินเปลือกแข็งเกิดจากการแปรสภาพของชั้นดินเหนียวอ่อนอันเป็นผลมาจาก Capillary action และการเกิด Desiccation เนื่องจากแสงแดด

คุณสมบัติทั่วไปของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ

จากการศึกษาลักษณะทั่วไปของแอ่งชั้นดินกรุงเทพฯ พบว่าชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ประกอบด้วยชั้นตะกอนที่ตกทับถมกันอย่างซับซ้อนมาเป็นเวลานานภายใต้สภาวะแวดล้อมและอายุการเกิดที่แตกต่างกันที่แตกต่างกันโดยสามารถจำแนกออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

1. ชั้น Weathered Clay เป็นชั้นดินตะกอนที่อยู่ผิวน้ำสุด เมื่อพิจารณาชั้นดินนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ส่วนแรก เป็นดินชั้นบนที่สัมผัสกับอากาศและแสงแดดทำให้ดินเหนียวสูญเสียความชื้นกลายเป็นดินที่มีลักษณะแข็งแห้งมักพบรอยแยกบริเวณพื้นผิวบน นอกจากนี้ในชั้นดินส่วนนี้ยังได้รับอิทธิพลของ Capillary rise ทำให้เกิดแรงดันน้ำด้านลบ หรือเรียกว่า Negative pore pressure ซึ่งจะช่วยให้ Effective strength เพิ่มขึ้นเสมือนกับการถูกกดทับด้วยน้ำหนักบรรทุก เป็นผลให้ชั้นดินนี้จึงเกิดการอัดตัวแน่นมากกว่าปกติ Terzaghi (1955) ได้ขนานนามดินลักษณะนี้ว่า "Drying Crust" ส่วนที่สองเป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้น Drying crust เป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินและการไหลซึมของน้ำผ่านดินทำให้เกิดการชะล้าง (Leaching) เกลือแร่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน นอกจากนี้ยังเกิดกระบวนการ Chemical weathering และกระบวนการ Cementation ก่อให้เกิดการแตกตัวของแร่ธาตุและการแลกเปลี่ยนไอออน และ

3. Intertidal Deposited Clay ชั้นดินนี้เป็นดินตะกอนปากแม่น้ำเช่นกันแต่เป็นตะกอนส่วนที่ตกตามชายฝั่งทะเลที่มีระดับน้ำขึ้นลงซึ่งคาดว่าเกิดขึ้นในขณะที่น้ำทะเลกำลังรุกเข้าสู่แผ่นดิน องค์ประกอบของเม็ดดินจึงไม่แตกต่างจาก Marine clay มากนัก แต่เนื่องจากดินตะกอนชายฝั่งจะทำให้เกิดลักษณะน้ำกร่อยปริมาณเกลือแร่ในดินจะต่ำกว่า และโครงสร้างของดินเหนียวจะมีลักษณะ Flocculate น้อยกว่าเนื่องจากมีขนาดเม็ดตะกอนที่ใหญ่กว่า Marine clay และอยู่ไกลจากผิวดินมากกว่าทำให้ได้รับน้ำหนักการกดทับมากกว่าทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงและการอัดตัวสูงและปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่ง ก็คือดินชั้น Intertidal deposited clay เคยสัมผัสกับอากาศและแสงแดด จึงทำให้อาจมีกำลังสูงกว่าชั้น Marine clay

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ผลวิจัยทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านกำลังเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในอดีตมีผู้ทำการศึกษาและวิจัยหลายท่านด้วยกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

Wu Sang Wang (1967), Wong Wang (1969), Manoon Arayasiri (1969), Liu Wan Ning (1973) และ Chang Rong Teng (1974) ได้ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จากสถานที่ต่างๆ โดยการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test จากการทดสอบสรุปได้ดังตารางที่ 1

Moh *et al.* (1969) กล่าวว่า ดินชั้น Soft Bangkok Clay นี้ ค่า Undrained shear strength โดยทั่วไปจะต่ำมาก และเป็นการยากในการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน ดังนั้นค่า Undrained shear strength ที่ได้จากการทดสอบในสนาม อาทิเช่น Field vane shear test จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้มากกว่าที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลอง

Akraongpisai (1970) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Laboratory vane shear test การทดสอบ Unconfined compression test และการทดสอบ Triaxial compression test ชนิด UU Test สามารถสรุปค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินได้ดังนี้ Laboratory vane shear test มีค่าระหว่าง $1.20 - 3.68 \text{ t/m}^2$ จากการทดสอบ Unconfined compression test มีค่าระหว่าง $0.88 - 3.27 \text{ t/m}^2$ ค่า Strain at failure ประมาณ $1.3 - 5.8 \%$ และการทดสอบ Triaxial compression test มีค่าระหว่าง $1.42 - 3.06 \text{ t/m}^2$ ค่า Strain at failure ประมาณ $1.4 - 7.0 \%$

S. Shibuya *et al.* (2001) ได้ศึกษาพฤติกรรมการยุบตัวของดินเหนียวกรุงเทพฯ บริเวณสุทธิสาร จากการทดสอบ Oedometer test ได้ค่า $\lambda = 0.19 - 0.45$ และ $\kappa \approx 0.03$ (เมื่อ $\lambda = 0.434 C_c$ โดยที่ C_c คือ Compression index และ $\kappa = 0.434 C_s$ โดยที่ C_s คือ Swelling index) และได้ค่า Coefficient of earth pressure at rest, K_0 มีค่าระหว่าง $0.60 - 0.75$

ตารางที่ 1 ผลสรุปคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

สถานที่	ความลึก, m.	Natural water content, %	Natural void ratio, e_0	Liquid Limit, %	Plastic Limit, %	Plasticity index, %	Mohr - Coulomb Parameters		
							At Maximum Deviator Stress, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$		
							c' , kPa	ϕ' , Degree	
Wu Sang Wang (1967)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	7.20	78.66	2.08	68.16	27.72	40.44	11.0	20.2
		8.40	80.47	2.13	67.53	28.7	38.83	7.5	23.8
Wong Wang (1969)	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	8.40	71.4±12.5	2.03	75.4±4.2	31.4±3.3	34.0±7.5	5.5	23.7
Manoon Arayasiri (1969)	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	1.05	47.58	1.32	71.6	31.05	40.55	0	20.2
		1.43	53.63	1.44	77.3	32.47	44.33	0	17.2
		2.46	74.84	1.97	88.62	39.64	48.98	0	21.9
		3.90	78.34	2.12	89.3	36.28	53.04	0	20.2
		5.25	82.05	2.30	92.8	35.35	57.45	0	21.4
Liu Wan Ning (1973)	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	2.0-2.5	66.4±7.1	1.8-1.9	69.5±4.0	49.3±4.3	20.2±8.3	0	22.6
		4.0-4.5	91±6.0	2.3-2.4	92.8±0.7	35.9±3.2	56.9±3.9	0	24.5
		8.0-8.5	65±8.3	1.7-1.8	80.2±6.1	36.9±3.3	43.6±9.4	0	20.2
Chang Rong Teng (1974)	สนามบินสุวรรณภูมิ (หนองงูเห่า)	1.0-1.1	96±3	2.73±0.08	95.5±1.5	31.5±0.5	65±2	0	25.1
		2.5-2.6	123±3	3.25±0.2	121±2	39±2	85±4	0	28.9

ค่ากำลังรับแรงเฉือน

กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) คือ ความต้านทานการวิบัติหรือการลื่นไถลบนระนาบใดระนาบหนึ่งภายในมวลดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว (Shear Strength of Clay)

กำลังรับแรงเฉือนในมวลดินเหนียว มีปัจจัยพื้นฐาน 3 ประการ คือ

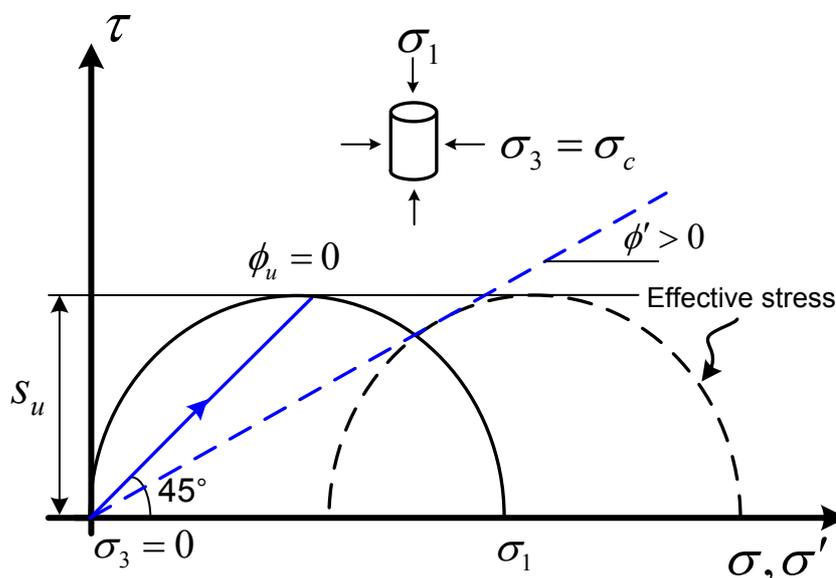
1. ค่าความเชื่อมแน่น (c) ของดิน เกิดเนื่องจากแรงตึงผิวและประจุไฟฟ้า หรือแรงดันน้ำด้านลบ รวมไปถึงการเชื่อมประสาน (Cementation) ระหว่างเม็ดดิน
2. ความเสียดทานภายในมวลดิน เป็นแรงต้านทานระหว่างอนุภาคดิน ซึ่งขึ้นกับแรงกระทำตั้งฉากที่กระทำต่อเม็ดดิน
3. ความดันน้ำ สำหรับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ น้ำที่มีอยู่เต็มในช่องว่างของดิน จะรับเอาแรงกระทำนั้นเป็นความดันชั่วขณะหนึ่ง เมื่อน้ำในช่องว่างระบายออกไป แรงจะเปลี่ยนเป็นแรงดันระหว่างอนุภาค (แรงดันประสิทธิผล) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนให้กับมวลดิน

การวิบัติของมวลดินเหนียวเกิดขึ้นได้ 2 สภาวะคือ สภาวะในระยะสั้น หรือ Short term condition และ สภาวะในระยะยาว หรือ Long term condition การวิเคราะห์เกี่ยวกับงานที่มีลักษณะการวิบัติในสภาวะระยะสั้น อาทิเช่น งานถม งานขุดชั่วคราว ฯลฯ พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์นั้นจะอยู่ในรูปของหน่วยแรงรวม (Total Stress) ซึ่งเรียกว่าค่า Undrained strength หรือ s_u ส่วนในการวิเคราะห์การวิบัติในสภาวะระยะยาว อาทิเช่น งานขุด ฯลฯ พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์นั้นจะอยู่ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress)

การวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis)

การวิเคราะห์ในลักษณะนี้ค่า ϕ และ c จะรวมผลกระทบของแรงดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในขณะที่มีหน่วยแรงมากระทำจนทำให้ดินไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของแรงดันน้ำในการคำนวณเนื่องจากตั้งสมมุติฐานไว้แล้วว่า แรงดันน้ำระหว่างทดสอบ จะมีค่าใกล้เคียงกับในสถานะที่ออกแบบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. การวิเคราะห์ในลักษณะ $\phi = 0$ Concept จากที่ทราบกันว่า $\phi = 0$ มีใช้คุณสมบัติประจำตัวที่แท้จริงของดินเหนียว แต่ใช้ได้สำหรับการวิเคราะห์ดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S \approx 100\%$) ในกรณีที่ไม่สามารถทราบค่าแรงดันน้ำในโพรงดินส่วนเกิน (Δu) อย่างแน่นอน การที่ค่า $\phi = 0$ นั้นมาจากการที่ในระหว่างทดสอบ Unconfined compression test และ Unconsolidated undrained triaxial test (UU Test) ของดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ตัวอย่างดินเหนียวมีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเท่ากัน ทำให้ได้ค่า $s_u = c_u = \frac{q_u}{2}$ เท่ากันดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Mohr's Circle และทางเดินของหน่วยแรง จากการทดสอบ Unconfined compression test

2. การวิเคราะห์ในรูปของพารามิเตอร์ ϕ และ c (ϕ, c Analysis) มักไม่เป็นที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติสำหรับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากค่า ϕ, c ในการวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงรวมนั้น จะเปลี่ยนแปลงมากในดินเหนียวกับชนิดการทดสอบเพราะค่า ϕ, c จะรวมผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในมวลดินลงไปด้วยจึงทำให้มีค่าไม่แน่นอน ซึ่งขึ้นกับค่าแรงดันน้ำ ดังนั้นในการนำมาใช้จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

การวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis)

เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เมื่อสามารถทราบค่าแรงดันน้ำในดิน เนื่องจากหน่วยแรงประสิทธิผลเป็นหน่วยแรงที่ควบคุมพฤติกรรมของดิน ค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือน (ϕ', c') เส้นขอบเขตการวิบัติ (Failure Envelope) รวมไปถึงค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงกับลักษณะของหน่วยแรงเฉือนที่มากระทำ จึงถูกตั้งสมมติฐานว่าเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมวลดิน (ภาพที่ 3)

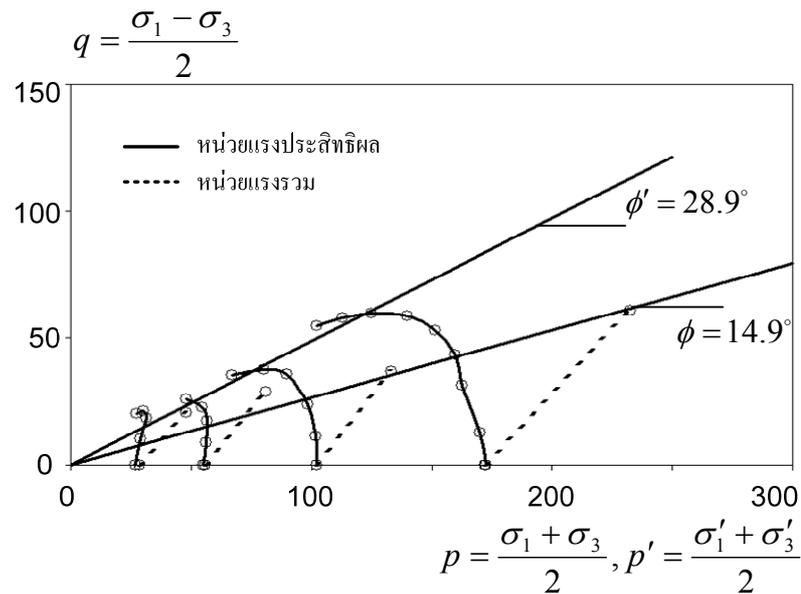
ตามทฤษฎีของหน่วยแรงประสิทธิผลของ Terzaghi (1943) กำลังรับแรงเฉือนของดินอิ่มตัวที่อยู่ใต้ระดับน้ำจะขึ้นอยู่กับหน่วยแรงประสิทธิผลที่ส่งผ่านในเนื้อดินและความเหนียวของดินสามารถแสดงดังสมการ คือ

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_w) \tan \phi' \quad (1)$$

หรือ

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi' \quad (2)$$

เมื่อ τ คือ หน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล σ'_n คือ หน่วยแรงรวมที่ตั้งฉากระนาบวิบัติ c' คือ ความเชื่อมแน่นประสิทธิผล ϕ' คือ มุมเสียดทานภายในในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล σ'_n คือ หน่วยแรงประสิทธิผลที่ตั้งฉากระนาบวิบัติ และ u_w คือ แรงดันน้ำในช่องว่าง



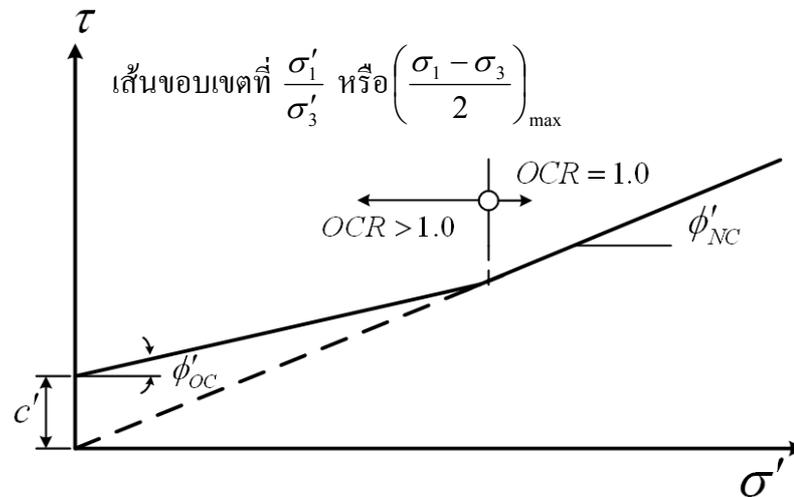
ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงรวมและวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test

ที่มา: Chang Rong Teng (1974)

กฎการวิบัติของ Mohr - Coulomb (Mohr Coulomb Failure Criteria)

การวิบัติ (Failure) เกิดจากการที่เกิดแรงดันหรือหน่วยแรงกระทำกับมวลดิน จนกระทั่งมวลดินมีการเปลี่ยนรูป (Deformation) มากจนเกินระดับที่ยอมรับได้ ค่าขีดจำกัดของความเค้นเฉือน (Shear Stress) จึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนรูป หรือค่าความเค้นที่สูงสุด สำหรับการวิบัติของมวลดินมักมีพฤติกรรมเป็นไปตามหรือใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่คาดคะเนโดยกฎการวิบัติที่เสนอโดย Mohr และ Coulomb ซึ่งนำมาใช้ได้ง่ายและได้ใช้กัน ในภาคปฏิบัติทั่วไปขณะนี้

เส้นขอบเขตการวิบัติของ Mohr Coulomb ในดินเหนียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกสำหรับดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated Clay, $OCR > 1$) ส่วนอีกช่วงหนึ่งสำหรับดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated Clay, $OCR = 1.0$) ในช่วงนี้ c' มักจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ในกรณีที่ดินเหนียวไม่มีสารเคมีเชื่อมแน่น (Chemical Cementing Agent) เส้นขอบเขตการวิบัติของดินเหนียวนี้แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เส้นขอบเขตการวิบัติของดินเหนียวในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

ที่มา: สุรฉัตร (2540)

หลักการกำหนดจุดวิบัติ (Failure Point Criteria)

มาตรฐานข้อกำหนดกำลังรับแรงเฉือน มาตรฐานการวิบัติมีอยู่ด้วยกัน 5 จุด (ภาพที่ 5) ที่แตกต่างกันของกำลังรับแรงเฉือนของดินเสนอโดย Head (1986) ดังนี้

ก. จุดวิบัติที่มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด (Maximum Deviator Stress, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ จุดที่เกิดค่าแรงเฉือนสูงสุด $\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)$ นั่นเอง เป็นวิธีการนิยามจุดวิบัติที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยเฉพาะการวิเคราะห์ด้วย $\phi = 0$ Concept ซึ่งจุดวิบัตินี้แสดงดังจุดที่ (1) ในภาพที่ 5

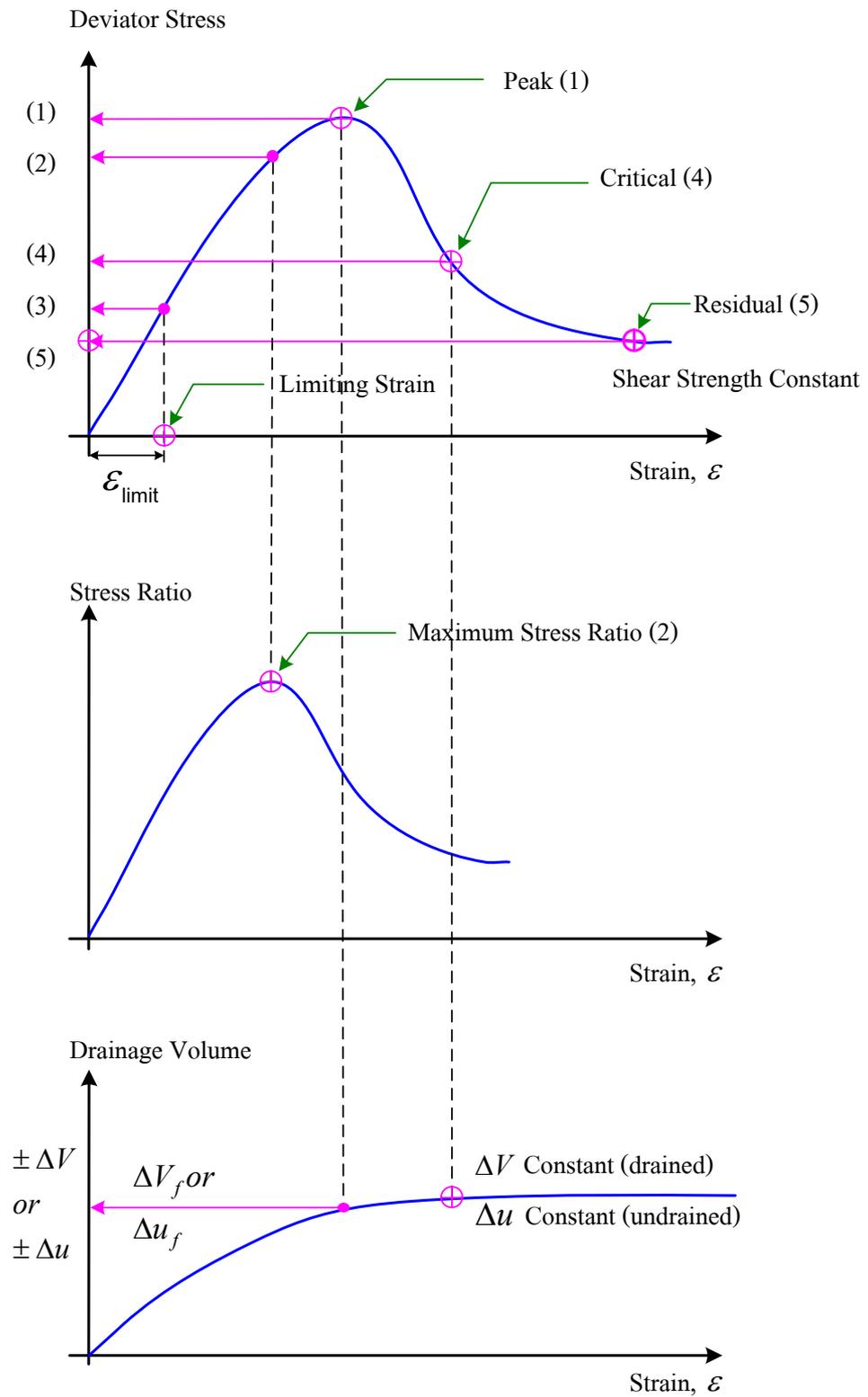
ข. จุดวิบัติที่มีค่าอัตราส่วนระหว่าง Principal stress สูงสุด (Maximum Principal Stress Ratio, $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{\max}$) เรียกโดยทั่วไปว่า Maximum obliquity $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{\max}$ ส่วนใหญ่จะใช้ในการวิเคราะห์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis) และกรณีที่ต้องการเส้นขอบเขตการวิบัติของ Mohr Coulomb ที่แท้จริง แสดงโดยจุดที่ (2) ในภาพที่ 5

ค. จุดวิบัติที่มีการกำหนดค่าความเครียดสูงสุดไว้ (Limiting Strain) แสดงโดยจุดที่ (3) ในภาพที่ 5

ง. จุดวิบัติที่ Critical state หรือจุดวิบัติ ณ สถานะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันน้ำในโพรงดินส่วนเกินสำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างทดสอบสำหรับการทดสอบแบบระบายน้ำ แสดงโดยจุดที่ (4) ในภาพที่ 5

จ. จุดวิบัติที่ Residual state หรือจุดวิบัติ ณ สถานะที่เกิดการเคลื่อนตัวอย่างสมบูรณ์ (Fully Mobilized) แสดงโดยจุดที่ (5) ในภาพที่ 5 โดย Skempton (1964) จะกำหนดให้สถานะ Residual เกิดขึ้นเมื่อมีการเลื่อนไถล ระหว่าง Slip plane เป็นระยะทางมากๆ

สำหรับการทดสอบในสภาพไม่ระบายน้ำในดินเหนียวที่มีค่า OCR สูงๆ ($OCR > 2$) จุดวิบัติแบบที่ ก และ ข มักจะเกิดที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แต่สำหรับในดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated Clay, $OCR = 1$) และดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัวเล็กน้อย (Slightly Overconsolidated Clay, $1 < OCR < 2$) จุดวิบัติทั้ง 2 แบบ อาจเกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือจุดต่างกันได้ ในกรณีที่เกิดต่างจุดกัน จุดวิบัติที่ q_{max} มักจะเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงเกิดจุดวิบัติที่ $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ ตามมาทีหลัง (ส่วนใหญ่จะเกิดที่ค่าความเครียด (Strain) มากกว่า 10 %) โดยค่า q จะมีค่าคงที่หรือลดลง



ภาพที่ 5 วิธีการกำหนดจุดวิกฤติในมวลดินแบบต่างๆ

ที่มา: Head (1986)

ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path)

จากการแสดงสถานะของหน่วยแรง (State of Stress) ในมวลดิน สามารถศึกษาพฤติกรรมของมวลดินภายใต้หน่วยแรงกิริยากระทำนั้นๆ โดยใช้การเชื่อมจุดของหน่วยแรง (Stress Point) เป็นทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) เพื่อแสดงสถานะต่างๆ ขณะมวลดินถูกหน่วยแรงกิริยากระทำ การเขียนทางเดินของหน่วยแรงนั้นสามารถเขียนได้ทั้งทางเดินในรูปหน่วยแรงรวม (Total Stress Path) และทางเดินในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) แสดงดังภาพที่ 6

สำหรับหน่วยแรงประสิทธิผลโดยทั่วไป มีรูปแบบของทางเดินของหน่วยแรง 3 รูปแบบ (Ladd, 1964) แสดงดังภาพที่ 7 คือ Heavily overconsolidated, Slightly overconsolidated และ Normally overconsolidated ตามลำดับ ลักษณะทางเดินของหน่วยแรงขึ้นอยู่กับประวัติของหน่วยแรง (Stress History) ซึ่งแสดงออกในรูปของสัดส่วนการอัดแน่นเกินตัว (Over Consolidation Ratio, OCR) เมื่อ $OCR = \sigma'_{vm} / \sigma'_{vo}$ โดย σ'_{vo} คือ หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง และ σ'_{vm} คือ หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต

1. MIT Stress Path ($p - q$ Diagram)

วิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการเขียน Mohr's Circle และได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Professor T.W. Lambe จาก Massachusetts Institute of Technology รู้จักกันในชื่อ MIT Stress Path โดยการแทนสถานะของหน่วยแรงด้วยจุดของหน่วยแรงบนระนาบที่เกิดหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด (Maximum Deviator Stress) ซึ่งก็คือจุดสูงสุดบน Mohr's circle

Lambe (1967) ได้เสนอวิธีการเขียนทางเดินของหน่วยแรงอยู่ในเทอมของพารามิเตอร์ p และ q ซึ่งเรียกการเขียนทางเดินของหน่วยแรงแบบนี้ว่า $p - q$ Diagram โดย p' และ q สามารถเขียนได้ดังสมการ คือ

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3)$$

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (4)$$

เมื่อ σ_1 คือ Major Principal Stress
 σ_3 คือ Minor Principal Stress

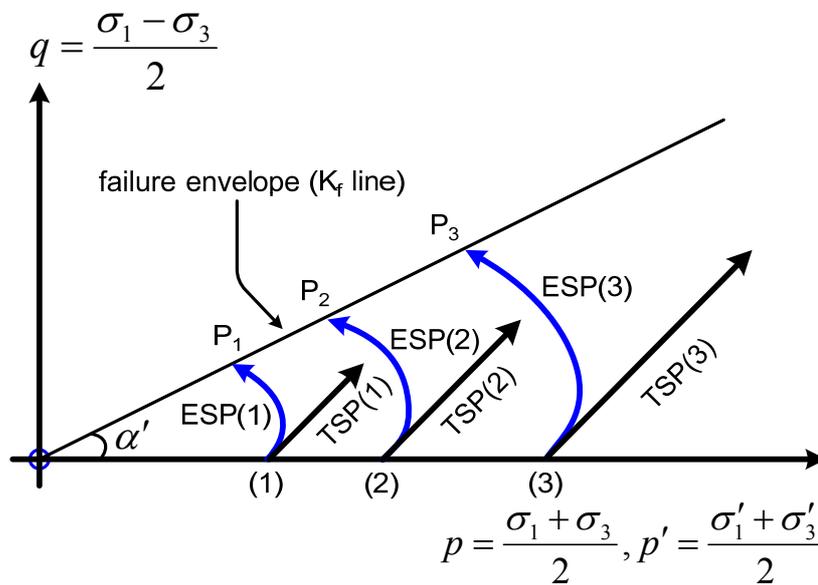
สำหรับการเขียนทางเดินหน่วยแรงแบบ MIT Stress path นั้น จะไม่พิจารณาถึงผลของ Intermediate principal stress (σ_2) และทำให้สามารถนำมาใช้กับผลการทดสอบ Triaxial test ได้ดี และง่ายในการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ

2. การหาค่า c และค่ามุม ϕ จากเส้น Stress Path แสดงดังภาพที่ 8

จากภาพที่ 8 เมื่อหาความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตจะได้

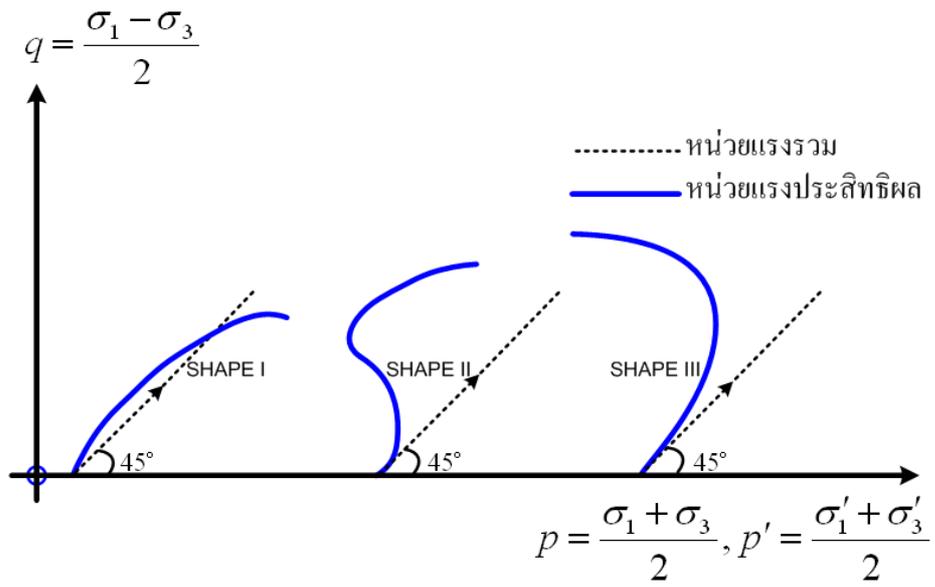
$$\phi' = \sin^{-1} \tan \alpha' \tag{5}$$

$$c' = \frac{a'}{\cos \phi'} \tag{6}$$

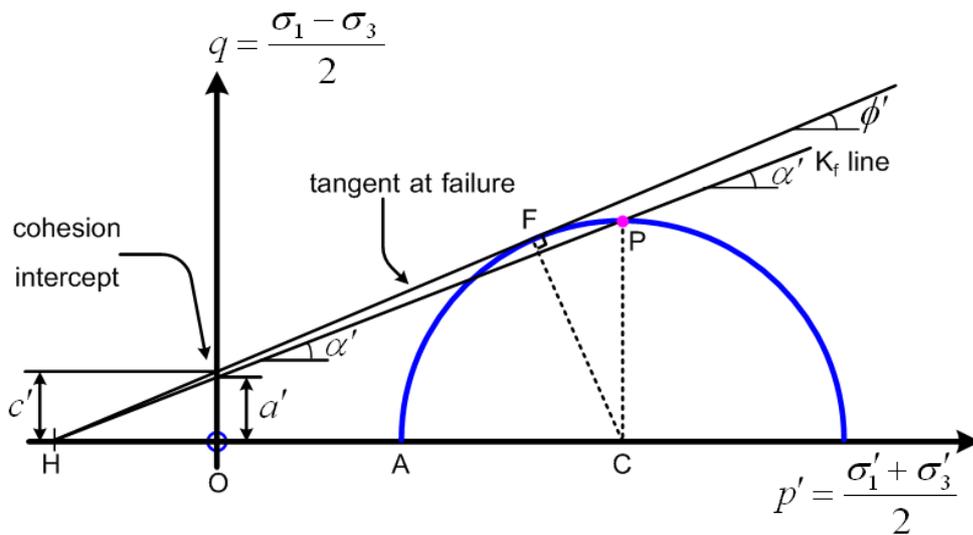


ภาพที่ 6 แสดงเส้น Failure envelope ของ Total stress path (TSP) และ Effective stress path (ESP)

จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test



ภาพที่ 7 รูปแบบของทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Ladd, 1964)



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า c' กับ a' และ ϕ' กับ α'

แรงดูดเมทริก

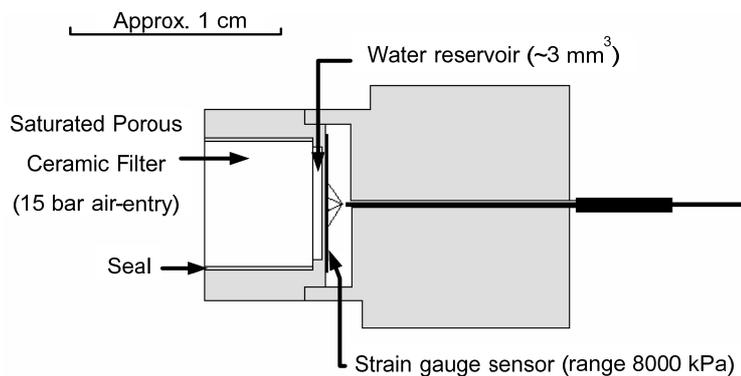
แรงดึงดูระหว่างเม็ดดิน หรือที่เรียกว่า Soil suction มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ค่าแรงดูดเมทริก (Matric Suction, s) และค่าแรงดูดรวม (Total Suction, Ψ) ซึ่งคำนวณได้จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศในช่องว่างของดิน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะค่าแรงดูดเมทริก เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมทางกลศาสตร์ของดินมากกว่าค่าแรงดูดรวม ค่าแรงดูดเมทริกคือ ค่าที่บ่งชี้ถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการดึงน้ำจากมวลดิน ในสถานะที่น้ำไม่มีการระเหยและเป็นของเหลว สามารถคำนวณได้จากสมการ $s = u_a - u_w$ โดยค่า u_w เท่ากับค่าแรงดันน้ำในช่องว่างดิน และ u_a จะมีค่าเท่ากับแรงดันอากาศในช่องว่างดินซึ่งในสถานะทั่วไป u_a เท่ากับ 0 หรือเท่ากับ ความดันบรรยากาศ ด้วยเหตุผลนี้ ค่า Matric suction ก็คือ ค่าที่คิดลบของแรงดันน้ำ เครื่องมือที่ใช้วัดแรงดูดเมทริกโดยตรง เรียกว่า Tensiometer

เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer)

เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) เป็นเครื่องมือวัดแรงดูดเมทริกโดยตรง โดยทั่วไปเครื่องมือประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ 1) หัวดินเผารับแรงดูด 2) กะเปาะน้ำ และ 3) อุปกรณ์วัดแรงดันหรือเกจสุญญากาศ (Vacuum gauge) โดยขณะที่ใช้งานทุกส่วนต้องมีน้ำเต็มช่องว่างเพื่อให้สามารถส่งถ่ายแรงดึงระหว่างน้ำในมวลดินและน้ำด้านหน้าเซ็นเซอร์วัดแรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการพัฒนา Tensiometer เพื่อใช้ในงานวิศวกรรมปฐพีได้เริ่มมีการวิจัยอย่างจริงจังเมื่อประมาณ 10 - 20 ปี มาแล้ว ดังแสดงรายละเอียดดังนี้

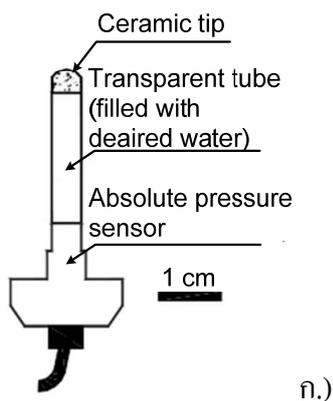
Ridley และ Burland (1993) ได้พัฒนา Tensiometer โดยให้ชื่อว่า Suction probe ซึ่งมีขนาดเล็ก (ภาพที่ 9) และสามารถนำไปใช้ทดสอบร่วมกับเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนได้ ก่อนการใช้งานต้องปรับสภาพ Tensiometer โดยใช้แรงดันอัดผ่านดินเผาเข้าไปในกระเปาะน้ำที่ความดัน 20 บาร์ เป็นระยะเวลา 2 วัน สามารถวัดแรงดูด (Suction) ได้ในช่วง 0 - 1500 กิโลปาสกาล

Apiniti Jotisankasa *et al.* (2007) ได้พัฒนา Tensiometer ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งให้ชื่อว่า KU Tensiometer (ภาพที่ 10) วัดแรงดูดได้ในช่วงประมาณ 0 - 0.8 บาร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ Sensor และหินพรุนที่ใช้ ซึ่ง Tensiometer นี้ให้ผลที่มีความไวสูง เครื่องมือวัดชนิดนี้โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและแรงดูดน้ำเป็นเส้นตรง (~ 0.044 V/kPa.) ดังภาพที่ 11

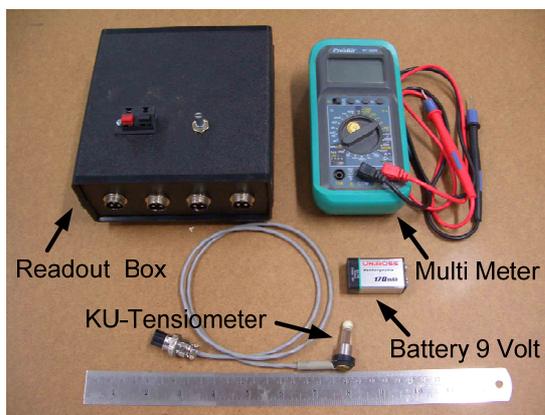


ภาพที่ 9 เครื่องมือวัดแรงดูด Tensiometer

ที่มา: Ridley และ Burland (1993)



ก.)



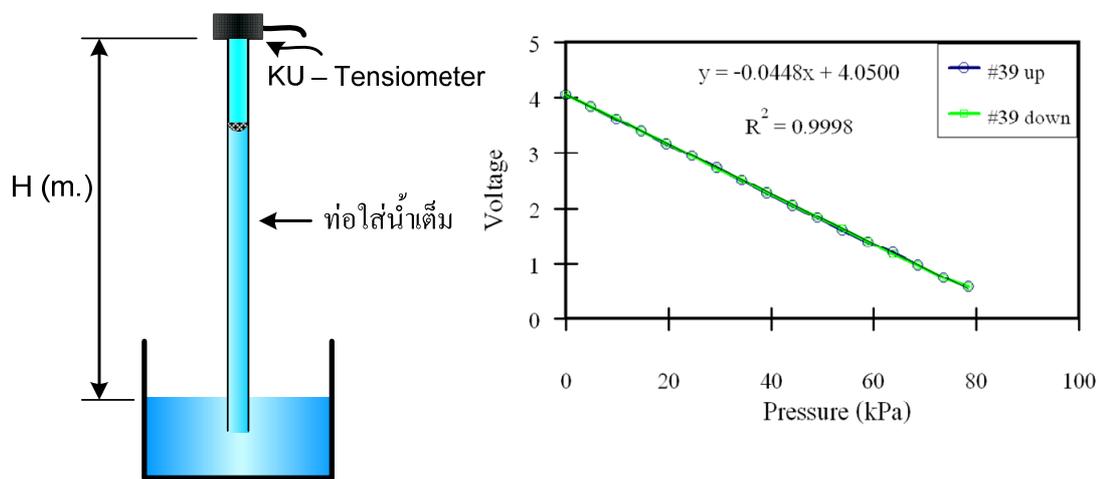
ข.)

ภาพที่ 10 ชุดทดสอบ KU Tensiometer ก.) KU Tensiometer (Low Suction Absolute)

ข.) ชุดทดสอบ KU Tensiometer

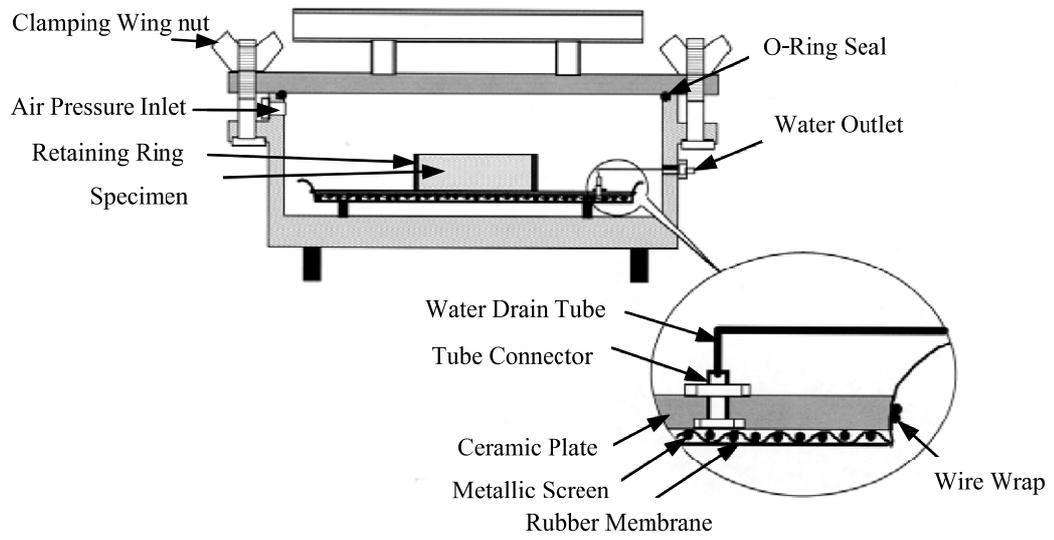
Axis Translation Technique

เทคนิคนี้ใช้ในการควบคุมค่าแรงดูดของดิน (Soil Suction) สำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการหาแรงดูดหรือแรงดันน้ำด้านลบของดินโดยตรงอีกแบบหนึ่ง ค่าแรงดูดที่ควบคุมคือ แรงดูดเมตริก โดยหลักการควบคุมค่าแรงดูดเมตริกของดินด้วยเครื่องมือ หม้อแรงดัน (Pressure Plate) ดังภาพที่ 12 ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงดันอากาศในช่องว่างดิน (u_a) เพื่อเพิ่มแรงดูด (Suction) ในขณะที่ค่าแรงดันน้ำในช่องว่าง (u_w) เท่ากับศูนย์



ภาพที่ 11 ผลการสอบเทียบ KU Tensiometer โดยใช้หลักการการห้อยน้ำ (Hanging Water Column) ออกจากตัวเครื่องมือวัด

สำหรับวิธีนี้วัดค่าหน่วยแรงดูดได้ในช่วง 0 - 1500 กิโลปาสกาล ขึ้นอยู่กับค่า Air entry value (AEV) ของดินเผา (Ceramic) หรือ หินพรุน (Porous Stone) และความแข็งแรงของหม้อแรงดันที่ใช้ วิธีนี้จะใช้ในกรณีที่ค่าแรงดูดที่ต้องการวัดหรือควบคุมมีค่ามากกว่า 80 กิโลปาสกาล ซึ่ง KU Tensiometer ไม่สามารถตรวจวัดได้



ภาพที่ 12 อุปกรณ์หม้อความดัน หรือ Pressure plate

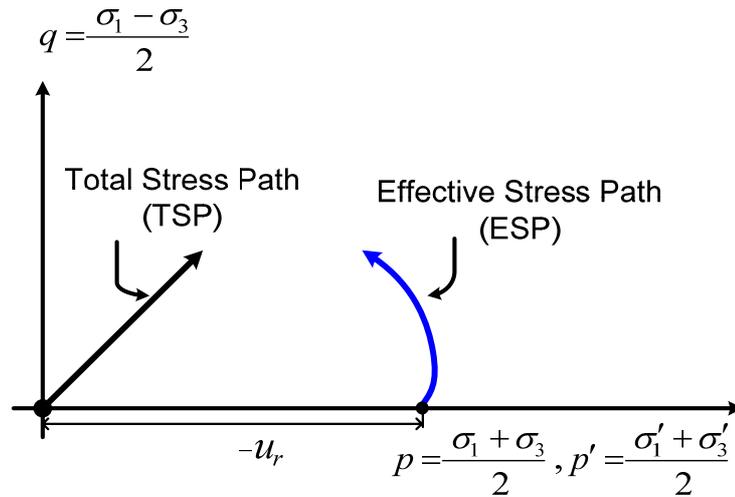
ที่มา: มาตรฐาน ASTM D6836 - 02

การทดสอบ Unconfined compression test

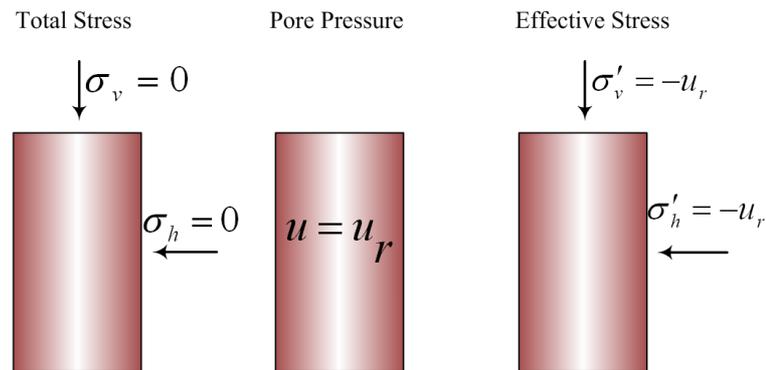
การทดสอบ Unconfined compression test เป็นการหาค่ากำลังต้านทานต่อแรงกดสูงสุดของตัวอย่างดิน ที่สามารถทดสอบได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ในการทดสอบจะกระทำโดยให้แรงกดกับแท่งตัวอย่างดิน จนกระทั่งแท่งตัวอย่างดินวิบัติ แล้วนำค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งความเค้นที่ได้นี้จะเรียกว่า Unconfined compressive strength

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่เรียกว่า Quick test ซึ่งมีสมมุติฐานที่ว่า ระหว่างการทดสอบค่าความชื้นของดินตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อทดสอบกับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ และเมื่อมีหน่วยแรงมากระทำเป็นผลทำให้ความดันน้ำ (Pore Water Pressure) ในดินเปลี่ยนไป (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) ถ้าหน่วยแรงเฉือนที่มากระทำมีปริมาณมากพอ และดินสามารถเคลื่อนตัวได้นอกจากเกิดความดันน้ำในดินเพิ่มขึ้นแล้ว ดินตัวอย่างจะเกิดการวิบัติ หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ระนาบของการวิบัติ คือ กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ หรือเรียกว่า Undrained shear strength (ระหว่างการทดสอบตัวอย่างดิน น้ำไม่สามารถระบายออกได้ทันจึงเป็นการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ และมักแปลผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนเป็นแบบหน่วยแรงรวม) แสดงดังภาพที่ 2 (สำหรับทางเดินของหน่วยแรงแสดงดังภาพที่ 13) และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในรูปแบบหน่วยแรงรวม ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งสมมุติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์นี้ คือค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของดินเหนียวอ่อนขณะทำการทดสอบ Unconfined compression test มีค่าเท่ากับ หน่วยแรงประสิทธิผลของดินในสนามจริง

ลักษณะของหน่วยแรงที่กระทำกับมวลดินหลังจากการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 14 โดยจะเห็นได้ว่าหลังจากการเก็บตัวอย่างจะมีแรงดันน้ำด้านลบ ($-u_r$) ภายในดินตัวอย่าง ซึ่งค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับ ประวัติของหน่วยแรง และการถูกรบกวนของตัวอย่างดิน ถ้าการเก็บตัวอย่างไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน และบริเวณของตัวอย่างดินที่ถูกเหนือนถูกจำกัดอยู่ในพื้นที่บางๆ ดินตัวอย่างจะอยู่ในสภาวะ Undrained unloading และหน่วยแรงประสิทธิผลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่าแรงดันน้ำมีค่าติดลบ หรือมีลักษณะเป็นแรงดูด (Suction)



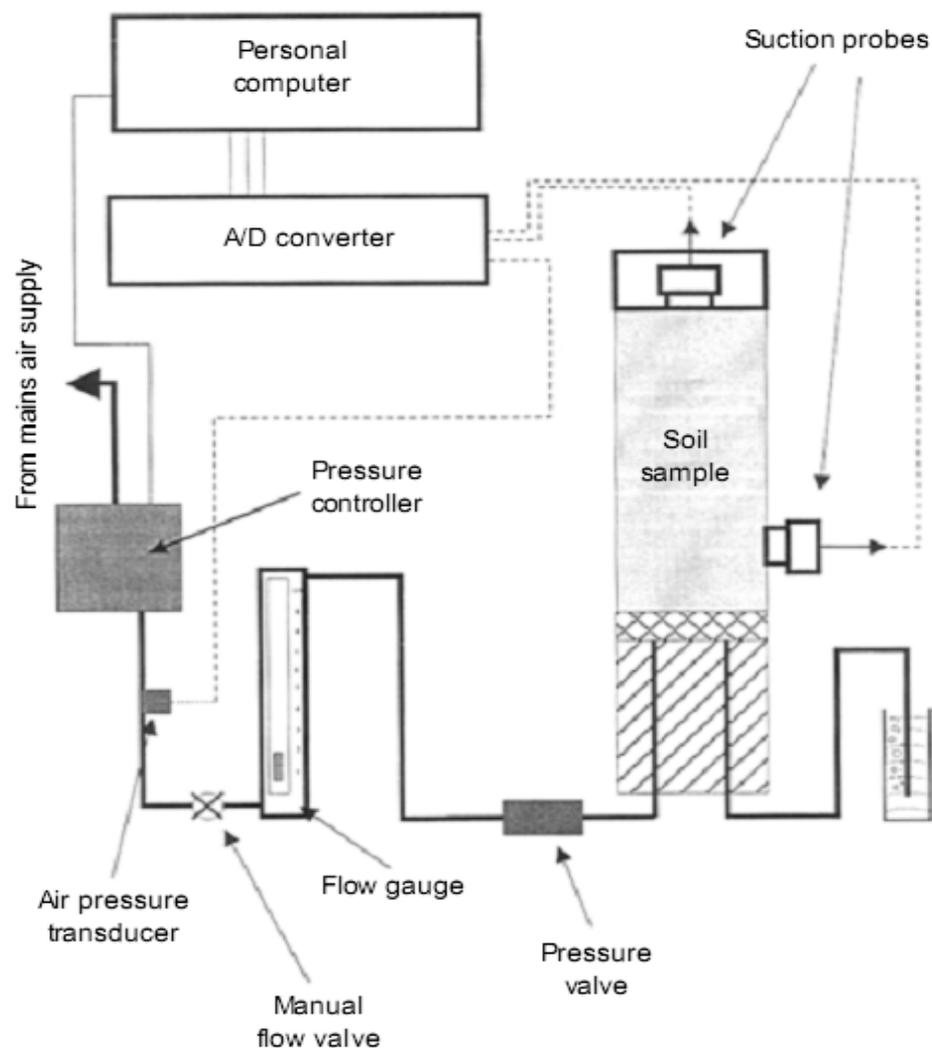
ภาพที่ 13 แสดงทางเดินของหน่วยแรงสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไร้ขอบเขต (TSP แสดงทางเดินในรูปของหน่วยแรงรวม, ESP แสดงทางเดินในรูปของหน่วยประสิทธิผล)



ภาพที่ 14 แสดงพฤติกรรมของดินในสถานะหลังจากเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed Sampling)

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการทดสอบนี้ใช้หาค่ากำลังรับแรงเฉือนในรูปแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress) ซึ่งนิยมใช้ในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล ระหว่างการทดสอบ Unconfined compression test โดยใช้เครื่องมือ Tensiometer (แสดงในภาพที่ 9) สำหรับวัดค่าแรงคู่ระหว่างทำการเฉือนตัวอย่างดิน ดังแสดงรายละเอียดดังนี้

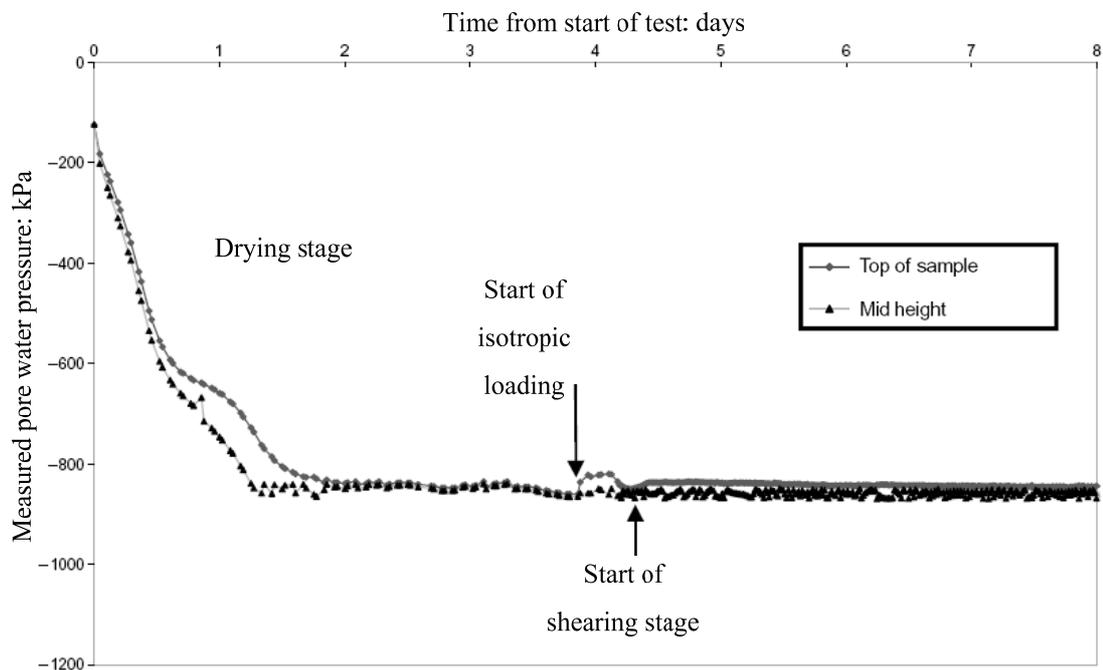
Cunningham *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผลโดยการทดสอบ Unconfined compression test และประเมินความสอดคล้องกับการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน (Triaxial Compression Test) โดยทดสอบดิน Silty clay ซึ่งเป็นดินเหนียวประดิษฐ์ (Reconstituted Soil) และได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดูด (Suction Probe) ระหว่างการทดสอบ (ภาพที่ 15) จากภาพที่ 16 แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าแรงดูด (Suction) ของตัวอย่างดินที่บริเวณด้านบน และด้านข้างของตัวอย่างดิน มีค่าแรงดูดที่เท่ากันระหว่างทำการเฉือน



ภาพที่ 15 แสดงระบบการติดตั้ง Tensiometer หรือ Suction probe ระหว่างการทดสอบ Triaxial test

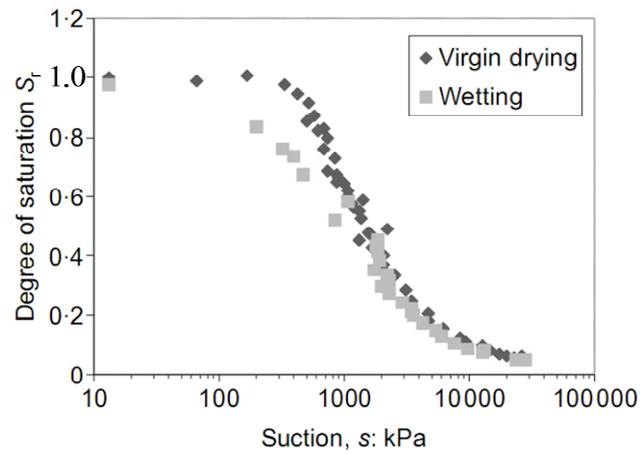
ที่มา: Cunningham *et al.* (2003)

ในการวิจัยของ Cunningham *et al.* (2003) ยังได้ทำการประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวในการหาเส้นโค้งความชื้นน้ำของดินเหนียว (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) แสดงดังภาพที่ 17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงค่าแรงดูด (Suction, s) ของดินเหนียวมีค่าระหว่าง 0 - 400 กิโลปาสกาล ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) ยังมีค่ามากกว่า 95% เสมอ ซึ่งทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผลจะยังมีความถูกต้องในช่วงดังกล่าว (Terzaghi, 1943) และจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ Unconfined compression test ซึ่งทำการวัดค่าแรงดูด (Suction) ระหว่างทำการเหนือนตัวอย่างดินนั้นแสดงให้เห็นว่า เส้นขอบเขตการวิบัติ (Failure Envelope) เป็นเส้นตรง (แสดงดังภาพที่ 18) ในช่วงที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_r > 95\%$) และเมื่อเขียนทางเดินของหน่วยแรงระบบ Cambridge (ภาพที่ 19) บ่งบอกให้เห็นว่าการทดสอบ Unconfined compression test ซึ่งทำการวัดค่าแรงดูดกับการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน (Triaxial Compression Test) นั้น มีความสอดคล้องกัน โดยมีเส้นขอบเขตการวิบัติเป็นเส้นเดียวกัน หรืออาจพูดได้ว่า ผลจากแรงดันน้ำด้านลบ มีค่าเทียบเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผล เมื่อดินอยู่ในสภาวะใกล้อิ่มตัว



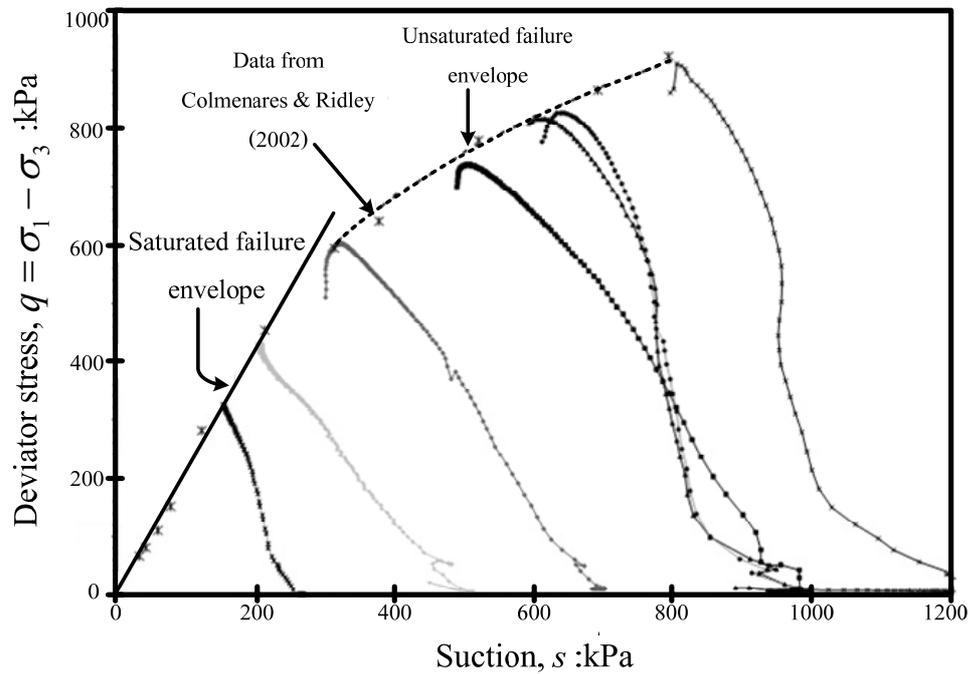
ภาพที่ 16 ผลการวัดค่าแรงดูดของตัวอย่างดิน

ที่มา: Cunningham *et al.* (2003)



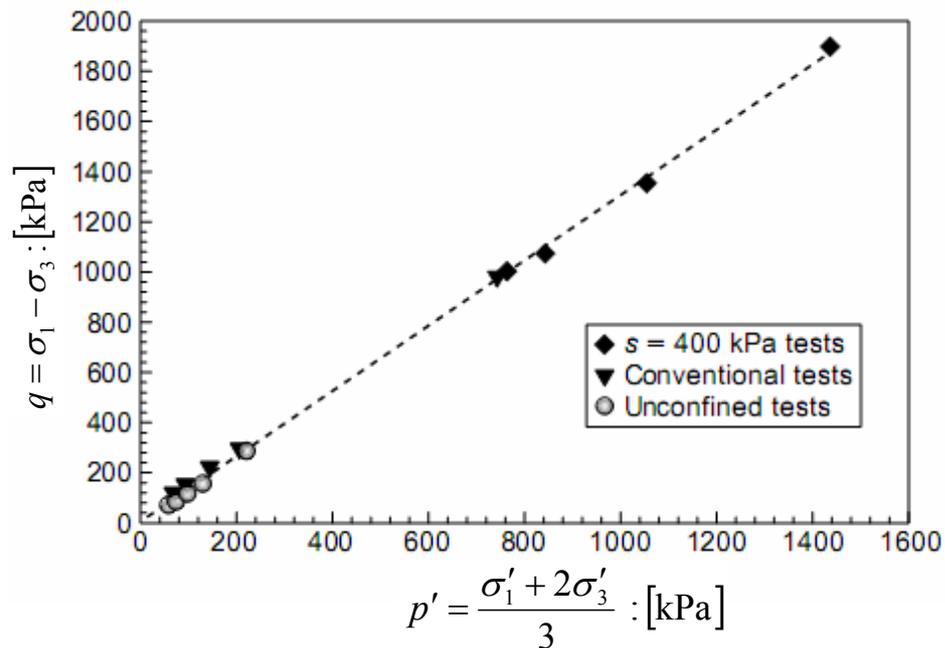
ภาพที่ 17 แสดงเส้นโค้งความอิ่มน้ำของดิน

ที่มา: Cunningham *et al.* (2003)



ภาพที่ 18 แสดงทางเดินของหน่วยแรงจากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด

ที่มา: Cunningham *et al.* (2003)



ภาพที่ 19 แสดงขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลระบบ Cambridge จากการทดสอบ

Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด และการทดสอบ Triaxial compression test

ที่มา: Cunningham *et al.* (2003)

ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดดังกล่าวโดยใช้ในการทดสอบดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ และใช้เครื่องมือ KU Tensiometer ในการวัดแรงดูดระหว่างการทดสอบ Unconfined compression test และจากสมการที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction) สามารถเขียนหน่วยแรงประสิทธิผลระหว่างการทดสอบได้ดังสมการที่ 7 และ 8

เนื่องจากการทดสอบ Unconfined compression test ค่า σ_3 มีค่าเท่ากับ 0 และ s คือ Matrix suction มีค่าเท่ากับ $u_a - u_w = -u_w$ (ซึ่งในสภาวะทั่วไปค่า u_a มีค่าเท่ากับ 0) ฉะนั้น

$$q = \frac{\sigma_1}{2} \quad (7)$$

$$p' = \frac{\sigma_1}{2} + s \quad (8)$$

แบบจำลองความเค้น ความเครียด Modified Cam Clay

การศึกษานี้ ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ สำหรับประเมินการนำผลการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction) ไปใช้ในการแก้ปัญหาจริงทางวิศวกรรมปฐพี จึงได้สรุปเนื้อหาสำคัญด้านแบบจำลองความเค้น ความเครียด Modified cam clay (MCC) ไว้พอสังเขปดังนี้

แบบจำลองความเค้น ความเครียด MCC (Roscoe and Burland, 1968) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาโดยอาศัยการสังเกตพฤติกรรมของ Remolded soil จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้มีความสามารถในการแสดงพฤติกรรมของดินเหนียวที่มีคุณสมบัติเป็น Isotropic material หรือดินเหนียวที่ผ่านการอัดตัวคายน้ำแบบเท่ากันทุกทิศทางด้วยเครื่อง Triaxial แบบจำลองความเค้น ความเครียด MCC มีลักษณะ Yield surface เป็นรูปวงรี ที่พัฒนาโดยใช้ Incrementally linearised plasticity theory และแนวคิดเกี่ยวกับ Critical state soil mechanics รวมถึงพฤติกรรมกำลังภายหลังการคราก (Yield) เป็น Strain hardening

แบบจำลอง Modified Cam Clay สามารถอธิบายได้ด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. Failure surface บนระนาบ $p' - q$ (Cambridge Stress Path) มีลักษณะเป็นเส้นตรงของ Critical state line ผ่านจุดกำเนิดอธิบายได้ด้วยสมการ

$$q_f = Mp' \quad (9)$$

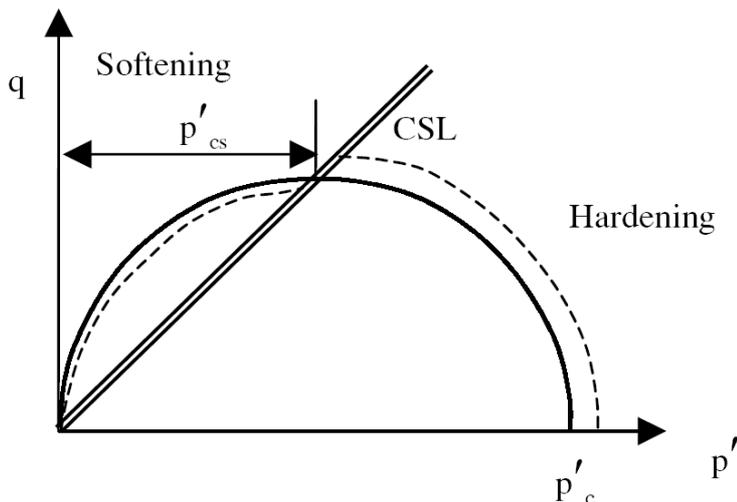
เมื่อ

$$q_f = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3}$$

2. Yield Surface แสดงดังภาพที่ 20 อธิบายได้ด้วยสมการวงรี ในเทอมของ p' และ q
 ดังนี้

$$p^2 + M^2(p')^2 = M^2(p')(p'_c) \tag{10}$$



ภาพที่ 20 Yield locus ของแบบจำลอง Modified Cam Clay

เมื่ออยู่ภายใน Yield Surface สถานะของความเครียดจะเป็น Elastic แต่เมื่อ Stress เพิ่มขึ้นจนเกิน Consolidation pressure ของ Yield surface เริ่มต้นแล้ว Yield surface จะขยายตัวออกไปและสถานะความเค้นของดินจะเป็น Elasto - plastic ดังภาพที่ 20

3. Stress-Strain Relationship

3.1 พฤติกรรม Elastic

เมื่อ Stress ของดินมีค่าต่ำกว่า Consolidation pressure ($p' < p'_c$) พฤติกรรมของ Strain จะเป็น Elastic โดยสมบรูณ์ถูกควบคุมด้วยพารามิเตอร์ของ อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio, ν) และค่าโมดูลัสของดิน

3.2 พฤติกรรม Elasto - Plastic

เมื่อ Stress ของดินมีค่าเกินกว่า Consolidation pressure ($p' > p'_c$) หรือสถานะของความเค้นผ่าน Yield surface เริ่มต้นไปแล้ว Yield surface จะขยายตัวออกไปด้วย p'_c ที่เพิ่มขึ้น โดยพฤติกรรม Strain ของดินจะประกอบด้วย 2 ส่วนรวมกันคือ Elastic strain และ Plastic strain ซึ่งถูกควบคุมด้วยพารามิเตอร์ κ และ λ

พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง Modified Cam Clay

ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ต้องการสำหรับแบบจำลอง Modified Cam Clay ได้มาจากผลการทดสอบในงานปฐพีกลศาสตร์ และผลการทดสอบในสนาม โดยแนวทางการเลือกใช้พารามิเตอร์จะขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ในทางทฤษฎีแล้วพารามิเตอร์เหล่านี้ควรเป็นผลจากการทดสอบที่มีคุณภาพสูง และสำหรับกรณีที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อทำนายพฤติกรรมจริงในสนามแล้ว จะต้องทำการทดสอบในสนามเพิ่มเติมด้วย เมื่อถึงขั้นตอนการเลือกค่าของพารามิเตอร์แล้วมักพบความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากแหล่งที่แตกต่างกันอันอาจเนื่องมาจากคุณภาพของข้อมูล ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลเหล่านั้นในกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง อันได้แก่

3.1 Frictional Constant, M ได้มาจากผลการทดสอบแรงอัด 3 แนวแกน (Triaxial Compression Test) ทั้งในสภาวะระบายน้ำและไม่ระบายน้ำ ด้วยแรงอัดเท่ากันรอบด้านและอัดตัวคายน้ำตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ (CIUC Test หรือ CIDC Test) หรือถ้ารู้ค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผล (ϕ') ของดิน สามารถคำนวณ M ได้จาก

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \quad (11)$$

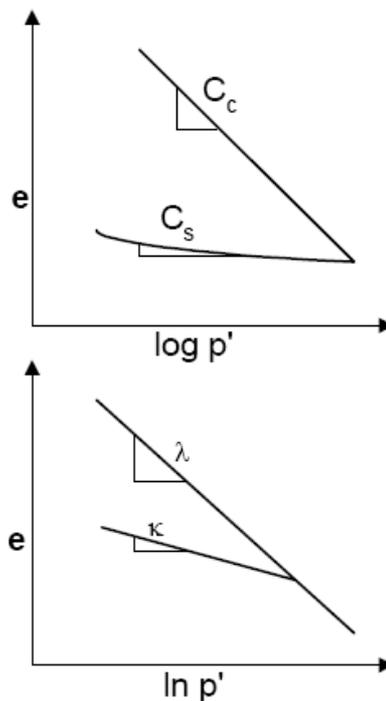
3.2 พารามิเตอร์การอัดตัว (Compressibility Parameters) พารามิเตอร์การอัดตัวสำหรับแบบจำลอง Modified Cam Clay ได้แก่ λ และ κ โดยที่ λ เป็นค่าความชันของกราฟ $e - \ln p'$ ในช่วงอัดตัวปกติ (Virgin Compression) และ κ เป็นค่าความชันของกราฟ $e - \ln p'$ ในช่วงอัดตัวซ้ำ (Recompression) หรือช่วงบวมตัว (Swelling) ดังภาพที่ 21 โดยมีความสัมพันธ์กับผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติดังนี้

$$\lambda = 0.434C_c \quad (12)$$

และ

$$\kappa = 0.434C_s \quad (13)$$

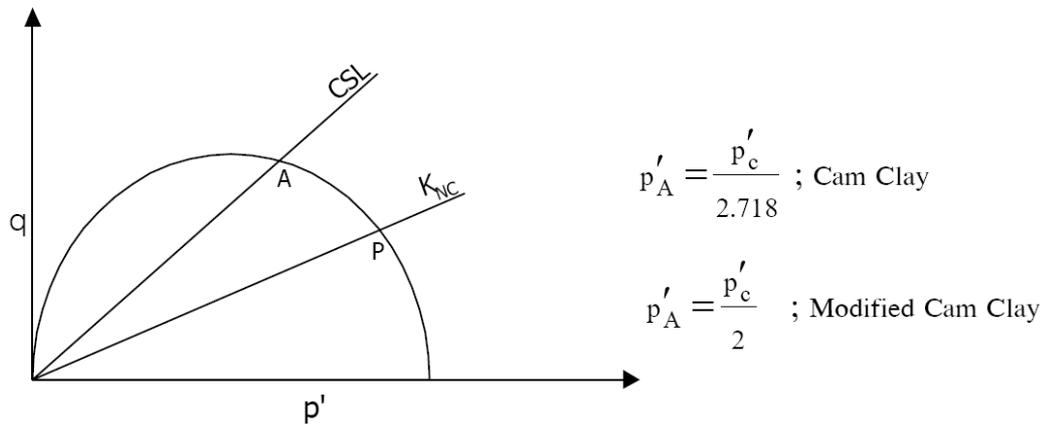
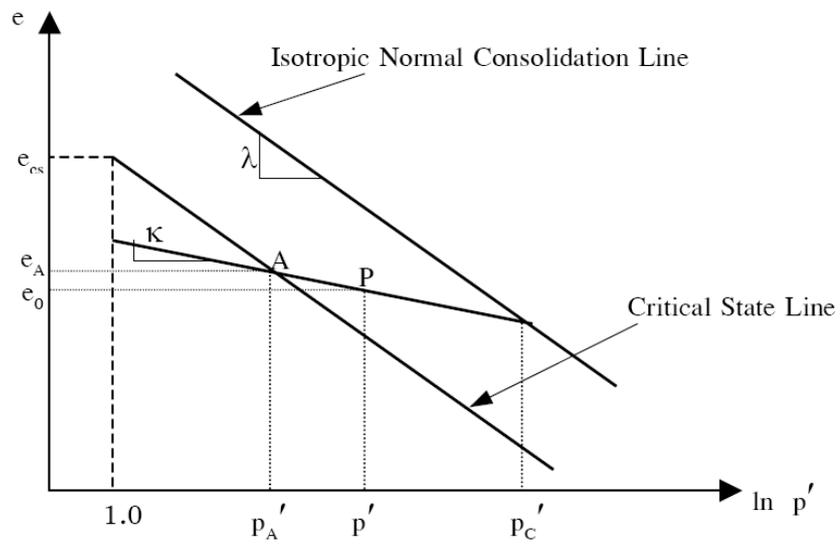
เมื่อ C_c และ C_s คือค่าความชันบนกราฟ $e - \log \sigma'_v$ ในช่วงอัดตัวปกติ และช่วงบวมตัว ตามลำดับ



ภาพที่ 21 Compressibility parameters ของแบบจำลอง Modified Cam Clay

3.3 Critical State Void Ratio, e_{cs} ค่าอัตราส่วนช่องว่างที่สถานะวิกฤต (Critical State Void Ratio) แสดงตำแหน่งของ Critical state line บน $e - \ln p'$ โดยอาศัยข้อสมมติเบื้องต้นว่าเส้น Recompression หรือ Swelling ตัดผ่านสถานะเริ่มต้นของดิน (In - Situ State) ดังภาพที่ 22 และสามารถคำนวณ e_{cs} ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับค่าหน่วยแรงประสิทธิผล ดังนี้

$$e_{cs} = e_0 + (\lambda - \kappa) \ln p'_A + \kappa \ln p'_0 \quad (14)$$



ภาพที่ 22 ตำแหน่งของ Critical state line และความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ที่มา: Muni Budhu (2007)

อุปกรณ์และวิธีการ

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องอาศัยการทดสอบและการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample) การตรวจสอบสมบัติชั้นพื้นฐาน การทดสอบสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว และการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติชั้นพื้นฐานและสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยมีอุปกรณ์ทดสอบ วิธีการและแผนการวิจัยดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์ทดสอบ

อุปกรณ์ทั่วไป

อุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมปฐพี ได้แก่ กระจกบรจุดิน ตู้อบตู้ควบคุมความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า เวอร์เนียส ฯลฯ ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและวัดคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดิน

อุปกรณ์การทดสอบ Unconfined compression test (Unconfined Compression Test Apparatus)

อุปกรณ์การทดสอบ Unconfined compression test ประกอบด้วยอุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่าง เช่น เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw) เครื่องตัดแต่งตัวอย่าง กระจบอกผ่า (Split Former หรือ Miter Box) และเครื่องกดตัวอย่าง (Loading Frame) ซึ่งมี 3 ส่วนที่สำคัญคือ เครื่องสำหรับกด Dial gauge สำหรับวัดการทรุดตัว และ Proving ring สำหรับวัดน้ำหนัก โดยการกดดินตัวอย่างด้วยอัตราคงที่จนดินตัวอย่างวิบัติ และระหว่างนั้นบันทึกค่าน้ำหนัก (Load) และการทรุดตัว (Displacement)

อุปกรณ์การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test Apparatus)

อุปกรณ์การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test Apparatus) และรวมถึงอุปกรณ์การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test Apparatus) สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเหมือนรายละเอียดในการเตรียมตัวอย่างดิน

สำหรับการทดสอบ Unconfined compression test ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่

- เซลล์สามแกน (Triaxial Cell) หินพรุน (Porous Stone) กระดาษกรอง (Filter Paper) ปลอกยาง (Rubber Membrane) ห่วงยาง (O - Ring)
- เครื่องกดตัวอย่าง (Loading Frame) ลักษณะเช่นเดียวกับชุดทดสอบ Unconfined compression test
- เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Sensor) ได้แก่ Cell pressure Pore pressure
- เครื่องมือวัดปริมาณน้ำไหลเข้าออก (Volume Change) ฯลฯ

อุปกรณ์วัดแรงดูด (Apparatus for Measurement of Soil Suction)

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดูดประกอบด้วย KU Tensiometer (แสดงดังภาพที่ 10) สำหรับวัดแรงดูดเมตริก ดังกล่าวมาข้างต้น มัลติมิเตอร์ (Multi Meter) สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า และ Readout box สำหรับจ่ายและรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

อุปกรณ์การทดสอบการหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ

การหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรก (0 - 80 กิโลปาสกาล) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดแรงดูด คือ KU Tensiometer ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้มีรายละเอียดเหมือนกับชุดอุปกรณ์วัดแรงดูด สำหรับช่วงที่สอง (แรงดูดระหว่าง 80 - 500 กิโลปาสกาล) ใช้หม้อแรงดัน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน เพื่อเพิ่มแรงดันอากาศในช่องว่างดิน

สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

สำหรับการวิจัยนี้ ใช้ดินเหนียวกรุงเทพฯ จากบริเวณคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ ความลึก 0.5 - 4.0 เมตร และจากบริเวณทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ (กม. 6 + 600) ความลึก 4.5 - 5.1, 6.0 - 6.6 และ 10.5 - 11.1 เมตร โดยเก็บตัวอย่างในลักษณะตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample) ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 0.50 และ 0.25 เมตร ตามลำดับ ลักษณะดินเป็นดินเหนียวสีเทาอ่อนข้างดำ ความชื้นสูง

วิธีการ

แผนการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงได้เสนอแผนการวิจัย แสดงดังภาพที่ 23 ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างคงสภาพ การตรวจสอบสมบัติขั้นพื้นฐาน การวัดสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว และการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติขั้นพื้นฐานและสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยการหาสมบัติจากการทดสอบแต่ละชนิดมีดังนี้

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติขั้นพื้นฐานและสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือน

รวบรวมข้อมูลต่างๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content, w_n) ชีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, w_p) ชีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, w_L) ดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI) และความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, G_s) การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (ϕ' , c')

การทดสอบหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินตามมาตรฐาน ASTM เพื่อจำแนกชนิดของดินและช่วยในการตัดสินใจในการเลือกตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบโดยทำการทดสอบดังนี้

- การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลดิน (w_n) ASTM D 2216 - 98
- การทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก (γ_t)
- การทดสอบความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (G_s) ASTM D 854 - 98
- การทดสอบพิกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limit) ASTM D 4318 - 98

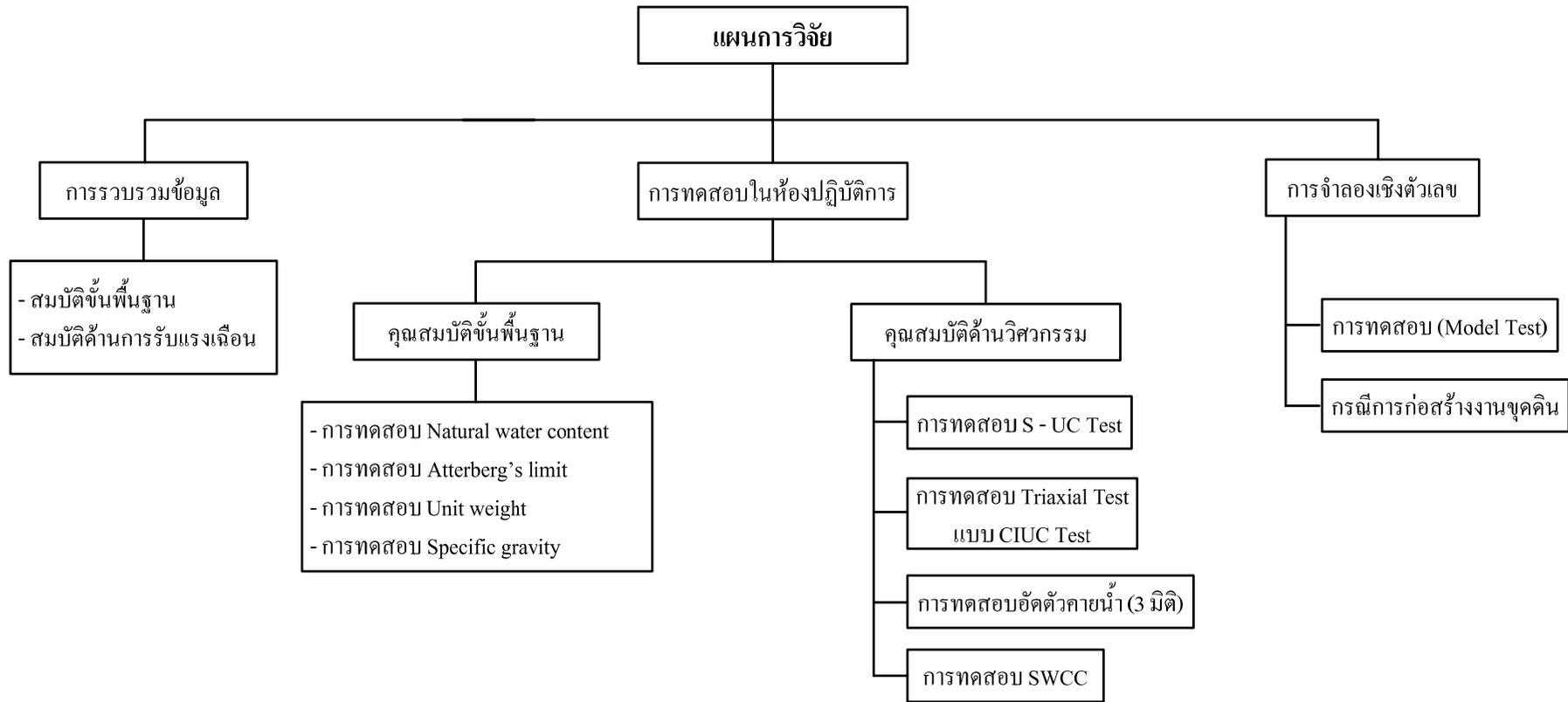
การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test) เพื่อหาความสามารถอัดตัวได้หรือเรียกว่า Compressibility (Head, 1997)

การทดสอบหาเส้นโค้งความชุ่มน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ASTM D 6836 - 02 (Method B - C)

การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction-monitored Unconfined Compression Test, SUC Test) โดยใช้ KU Tensiometer (อ้างอิง ASTM D 2166 - 98a) ทั้งนี้ เนื่องจากเทคนิคการวัดแรงดูดเป็นสิ่งที่วิจัยขึ้นใหม่ ฉะนั้นจะไม่มีกรกล่าวไว้ในมาตรฐาน ASTM

การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบแบบปกติ (Conventional Triaxial Compression Test) ชนิด Isotropic consolidated undrained test (CIUC Test) ASTM D 4767-04



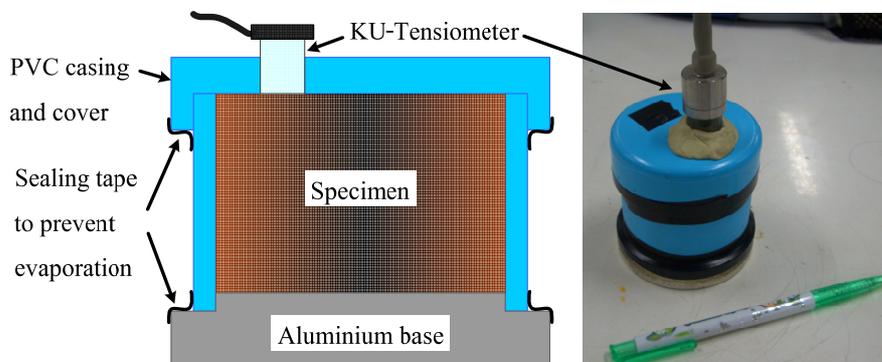
ภาพที่ 23 แสดงแผนผังการวิจัย

วิธีการทดสอบ

การทดสอบหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ

การทดสอบแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ดังได้กล่าวมาข้างต้น คือ ในช่วงแรงดูดในช่วง 0 - 80 กิโลปาสกาล ใช้เครื่องมือ KU Tensiometer (ภาพที่ 10) และเมื่อค่าแรงดูดมากกว่า 80 กิโลปาสกาล จนถึง 500 กิโลปาสกาล จะต้องใช้หลักการ Axis translation technique (ภาพที่ 12) เพื่อวัดและควบคุมค่าแรงดูดเมทริกของดิน ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง

การเตรียมดินตัวอย่าง ดินตัวอย่างเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ลักษณะตัวอย่างเป็นแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) โดยนำตัวอย่างดินมาตัดแต่งลงใน PVC ring แสดงดังภาพที่ 24 จากนั้นวัดความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง ชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำตัวอย่างดินปิดผนึกเพื่อให้ความชื้นกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง ประมาณ 24 - 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าแรงดูด (Initial Suction หรือ แรงดูดที่สภาวะเริ่มต้น) จนถึงสมดุลและชั่งน้ำหนักพร้อมวัดความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อใช้คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในภายหลัง เนื่องจากค่าแรงดูดที่สภาวะเริ่มต้นมีค่าแรงดูดต่ำ ดังนั้นการทดสอบกระทำโดยนำตัวอย่างดินผึ่งอากาศทิ้งไว้ (ทดสอบช่วงแห้ง, Drying) เพื่อให้ปริมาณความชื้นลดลงประมาณ 1 - 2 % แล้วจึงนำตัวอย่างดินปิดผนึกเพื่อให้ความชื้นกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง (ประมาณ 20 - 100 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับค่าแรงดูดขณะนั้น) แล้วจึงวัดแรงดูด จนถึงสมดุลและชั่งน้ำหนักพร้อมวัดความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อใช้คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราส่วนช่องว่างในภายหลัง กระทำอย่างนี้ซ้ำไปจนมีค่าแรงดูดประมาณ 80 กิโลปาสกาล เครื่องมือสำหรับวัดค่าแรงดูดในช่วงนี้คือ KU Tensiometer



ภาพที่ 24 การหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ ด้วย KU Tensiometer

เมื่อตัวอย่างดินมีค่าแรงดูด (Suction) มากกว่า 80 กิโลปาสกาล การวัดค่าแรงดูดเมทริกจะใช้หม้อแรงดัน (Pressure Plate) ซึ่งใช้หลักการ Axis translation technique ดังได้กล่าวมาข้างต้น สำหรับการทดสอบจะใช้ตัวอย่างดินข้างต้น ทดสอบที่ค่าแรงดูด เท่ากับ 100, 200 และ 500 กิโลปาสกาล การทดสอบกระทำโดยเพิ่มค่าแรงดันอากาศในช่องว่างดิน (u_a) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน และรอจนถึงสมดุล หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินออกมาชั่งน้ำหนักพร้อมวัดความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อใช้คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในภายหลัง สำหรับค่าแรงดูดอื่นๆ ก็ทำเช่นกัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งเมื่อสิ้นสุดการทดสอบและหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในทุกช่วงการทดสอบ

ผลการทดสอบแสดงออกในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เห็นความชัดเจนของสภาวะต่าง ๆ ของดิน ได้แก่

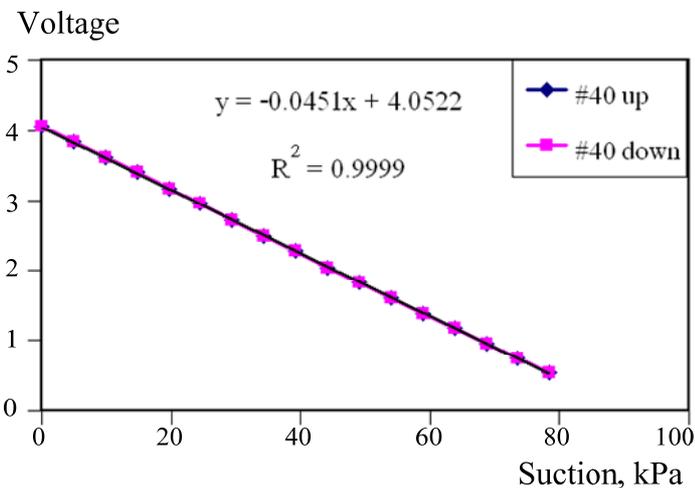
- ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) กับ ลอการิทึมของแรงดูด (Log Suction)
- ค่าความชื้น โดยปริมาตร (Volumetric Water Content, $\theta = V_w / V = n \times S_r$) กับ ลอการิทึมของแรงดูด (Log Suction)
- ค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e) กับ ลอการิทึมของแรงดูด (Log Suction)

การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด

การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ต้องใช้เครื่องมือ KU Tensiometer ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งต้องมีการสอบเทียบก่อนนำไปใช้งาน ในการสอบเทียบนี้ใช้หลักการ การห้อยน้ำ (Hanging Water Column) เครื่องมือวัดนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและแรงดูดน้ำเป็นเส้นตรง (~ 0.0451 V/kPa) แสดงดังภาพที่ 25

จากที่กล่าวมาข้างต้น การทดสอบ Unconfined compression test มีสมมุติฐานที่สำคัญคือ ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (หรือค่าแรงดูด, Suction) ของดินตัวอย่างมีค่าเท่ากับในสนาม ดังนั้นแรงดูดเริ่มต้นในตัวอย่างดินที่วัดได้จริงอาจไม่ตรงตามทฤษฎี Perfect sampling (Chandler และคณะ 1992) เนื่องจากการเกิดถูกรบกวน (Disturbance) ของตัวอย่างดิน ดังนั้นค่าแรงดูด (Suction) นี้จึง

เป็นการประเมินคุณภาพของการเก็บตัวอย่างได้ด้วย สำหรับขั้นตอนการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

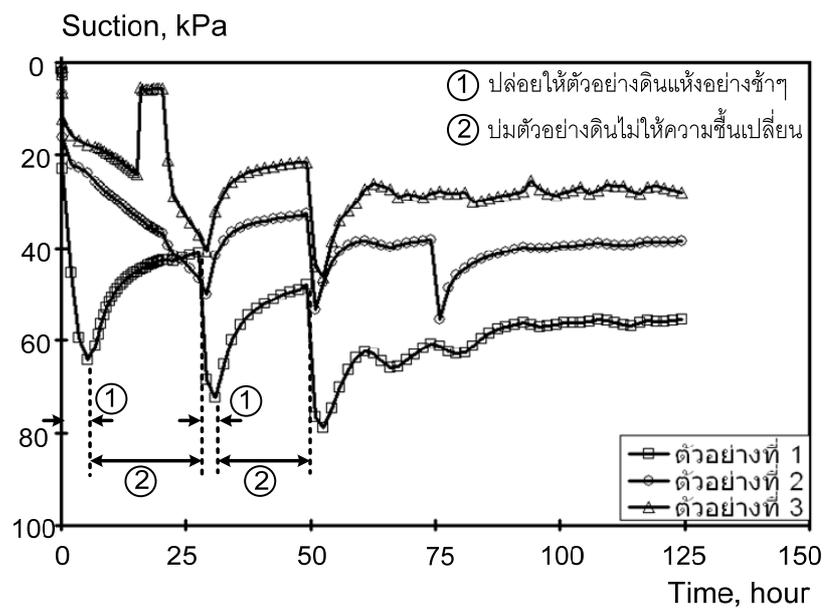


ภาพที่ 25 ตัวอย่างผลการสอบเทียบ KU Tensiometer

1. การวัดค่าแรงดูดเริ่มต้น (Initial Suction)

นำตัวอย่างในกระบอกที่ต้องการทำการทดสอบมาดันออกด้วย Hydraulic jack โดยตัดออกเป็นก้อนความยาวประมาณ 10 - 12 เซนติเมตร แล้วทำการติดตั้งเครื่องมือ KU Tensiometer ลึกลงไปในตัวอย่างดินประมาณ 5 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าแรงดูดเริ่มต้นก่อนการทดสอบ เมื่อพิจารณาการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) เพื่อให้ได้ขอบเขตการวิบัติที่ครอบคลุม การเงื่อนไขตัวอย่างดินต้องมีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่แตกต่างกัน ซึ่งกระทำโดยเปลี่ยนแปลงการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างที่แตกต่างกัน สำหรับการทดสอบ Unconfined compression test มีวิธีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดูด หรือค่า Suction ของตัวอย่างดิน โดยเพิ่มหรือลดแรงดึงดูดระหว่างเม็ดดิน (Soil Suction) หรือแรงดันน้ำด้านลบ ด้วยการทำให้ตัวอย่างดินมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในตัวอย่างดิน (การเพิ่มความชื้น โดยการพรมไอน้ำบนตัวอย่าง หรือลดความชื้น โดยการตากตัวอย่างอย่างช้าๆ) และระหว่างนั้นก็ทำการติดตั้ง KU Tensiometer เพื่อคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดูดของตัวอย่างดิน จนค่าแรงดูดของตัวอย่างดินคงที่ แสดงดังภาพที่ 26

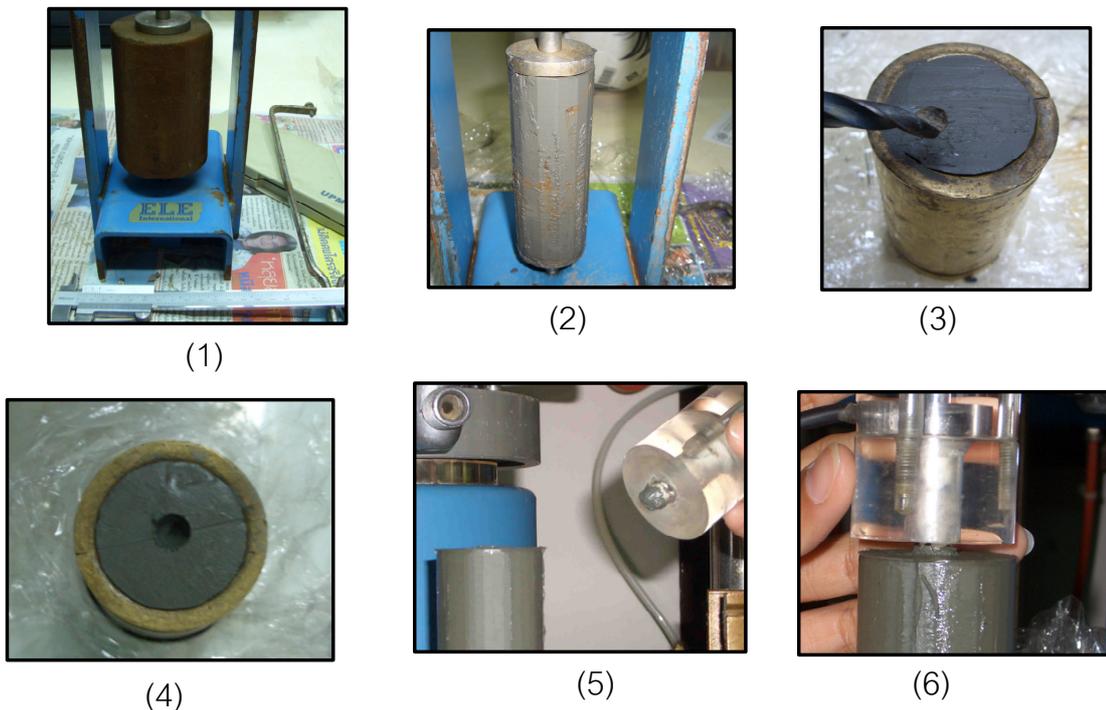
จากภาพที่ 26 แสดงการตากและบ่มตัวอย่างดิน เห็นได้ว่า เมื่อทำการตากตัวอย่างดิน ค่าแรงดูดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากติดตั้ง KU Tensiometer ที่ผิวของตัวอย่าง และเมื่อบ่มตัวอย่างดินค่าแรงดูดกระจายสม่ำเสมอทั้งก้อนตัวอย่าง (สมดุล) ค่าแรงดูดจะมีค่าที่น้อยลง แต่ถ้าตัวอย่างดินมีค่าแรงดูดน้อยกว่าที่ต้องการ (Initial Suction) ดังนั้นจึงต้องกระทำการตากและบ่ม ซ้ำ จนตัวอย่างมีค่าแรงดูดตามที่ต้องการ



ภาพที่ 26 ตัวอย่างผลการวัดค่าแรงดูดของตัวอย่างดิน โดย KU Tensiometer

2. การเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อได้ค่าแรงดูดของตัวอย่างดินตามที่ต้องการแล้ว นำตัวอย่างดินมาตัดแต่งขอบ (Trim) ด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก (Steel Wire Saw) ในแท่นสำหรับตัดตัวอย่างทดสอบ (Trimming Frame) จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินทดสอบรูปทรงกระบอกตามขนาดมาตรฐาน ($\varnothing = 38$ มิลลิเมตร) แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาทำการตัดหัวและท้ายโดยใช้กระบอผ่า (Split Former หรือ Miter Box) ให้เหลือความยาวประมาณ 76 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1 ($H:D = 2:1$) จากนั้นนำตัวอย่างที่ถูกตัดแต่งแล้วมาวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น (Total Density, γ_t) และปริมาณความชื้น (Water Content, w_n) หลังจากนั้นทำการเจาะรูตรงกลางความลึก 5 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เพื่อใช้สำหรับติดตั้ง KU Tensiometer ดังแสดงในภาพที่ 27

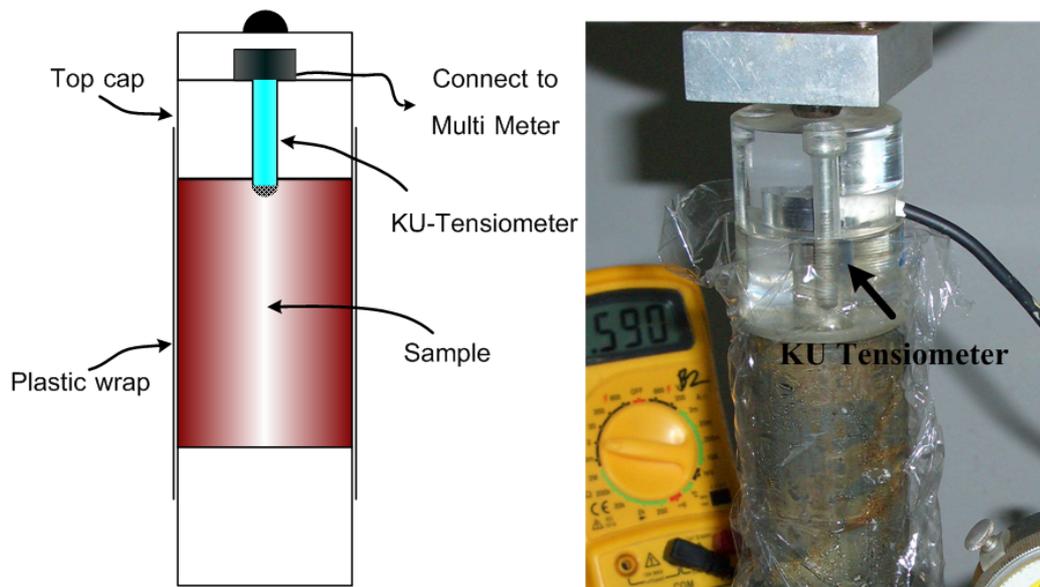


ภาพที่ 27 แสดงการเตรียมตัวอย่าง

3. การกดหรือการเฉือนตัวอย่าง (Shearing Stage)

ในการทดสอบระหว่างทำการเฉือนตัวอย่างดินจะมีการติดตั้งเครื่องมือ KU Tensiometer เพื่อวัดค่าแรงกด ดังนั้นต้องทดสอบหาอัตราการกด (Rate of Shearing) ที่เหมาะสม เพื่อให้มีการกระจายตัวของแรงดันน้ำภายในตัวอย่างดินระหว่างทำการเฉือนต้องสม่ำเสมอทั้งก้อนตัวอย่าง และระหว่างการทดสอบเพื่อไม่ให้ค่าความชื้นของตัวอย่างดินมีการเปลี่ยนแปลงจึงใช้พลาสติกหุ้ม (Wrapping Film) ตัวอย่างดิน (ภาพที่ 28) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้อัตราการกดเท่ากับ 0.1, 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อนาที

สำหรับการติดตั้งเครื่องมือ KU Tensiometer ได้ทำการติดตั้งไว้ด้านบนของตัวอย่างดิน (ภาพที่ 28) และทำการกดตัวอย่างโดยเพิ่มหน่วยแรงแนวแกน (Axial Stress) จนตัวอย่างดินวิบัติ หลังจากนั้นก็นำตัวอย่างดินเข้าสู่อบเพื่อหาปริมาณความชื้นและค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)



ภาพที่ 28 การติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด

ผลการทดสอบแสดงออกในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของดินอย่างชัดเจนได้แก่

- ค่าความเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress, $(\sigma_1 - \sigma_3)$) กับ ค่าความเครียด (Axial Strain)
- ค่าแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) หรือ ค่าแรงดูด (Suction) กับ ค่าความเครียด

(Axial Strain)

- ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ในรูปแบบ MIT Stress Path

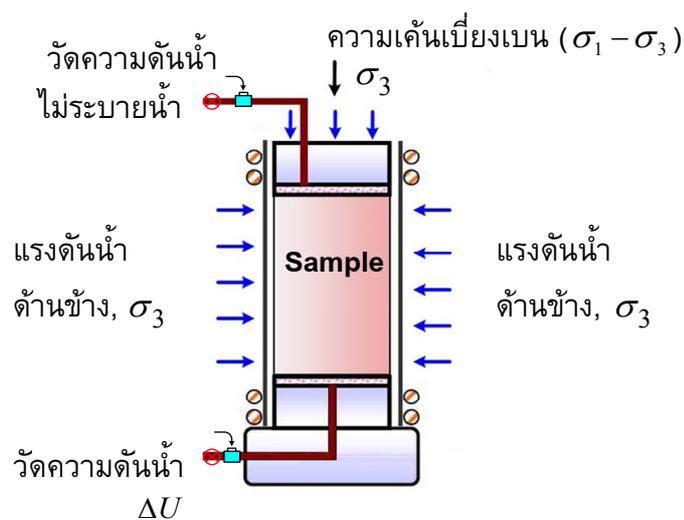
การทดสอบแรงอัดสามแกน

การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) เป็นวิธีการหากำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength) ของดินตัวอย่างที่มีสภาพหน่วยแรงกระทำใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติ โดยสามารถควบคุมค่าแรงดันด้านข้าง (Confining Stress) แรงดันน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิผลให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินธรรมชาติที่อยู่ลึกลงมาจากผิวดิน รวมทั้งมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกจากมวลดินได้สะดวกและอ่านค่าได้แน่นอน การทดสอบแรงอัดสามแกนมีด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบไม่มีการอัดตัวระบายน้ำในช่วงก่อนและตลอดช่วงการเฉือน (UU Test) แบบมีการอัดตัวระบายน้ำในช่วงก่อนเฉือนตัวอย่างแต่ไม่มีการระบายน้ำในช่วงเฉือนตัวอย่าง (CIUC Test) และแบบมีการอัดตัวระบายน้ำทั้งในช่วงก่อนและตลอดช่วงเวลาที่ทำการเฉือนตัวอย่าง (CIDC Test) แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบแบบมีการอัดตัวระบายน้ำในช่วงก่อนเฉือนตัวอย่าง

แต่ไม่มีการระบายน้ำในช่วงเฉือนตัวอย่าง (Isotropic Consolidated Undrained Compression Test, CIUC Test) เนื่องจากทราบค่าแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) ระหว่างทำการเฉือน โดยการเฉือนแบบไม่มีการระบายน้ำ เป็นสถานะที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test)

การทดสอบนี้มีการอัดตัวคายน้ำ (Consolidated) ก่อนจะเริ่มการเฉือนวิธีนี้ตัวอย่างดินจะถูกอัดตัวคายน้ำด้วยความดันโดยรอบ เมื่อมีการอัดตัวคายน้ำสิ้นสุดลงจึงเริ่มทำการเพิ่มค่าความเค้นเบี่ยงเบนจนดินวิบัติ โดยไม่มีการระบายน้ำออกจะทำให้เกิดความดันน้ำในตัวอย่างเพิ่มขึ้น (Excess Pore Water Pressure) ในช่วงการเฉือนตัวอย่างดินหรือเพิ่มค่าความเค้นเบี่ยงเบน ทั้งนี้เพราะปริมาตรของดินจะคงที่ตลอดการทดสอบ เนื่องจากน้ำไม่สามารถจะระบายออกจากดินได้ ดังนั้นเมื่อถูกอัดตัว น้ำในช่องว่างของเม็ดดินจึงถูกอัดตัวด้วย และทำให้น้ำนั้นมีความดันเกิดขึ้นอธิบายดังภาพที่ 29 การทดสอบนี้จะสามารถวิเคราะห์ผลได้ทั้งแบบ Total stress และ Effective stress

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นทดสอบแบบปกติ (Conventional Triaxial Compression Test) ชนิด CIUC จำนวน 4 ตัวอย่าง ด้วยหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ (Effective consolidation stress, σ'_c) เท่ากับ 40, 70, 80 และ 120 กิโลปาสกาล ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการเฉือนตัวอย่างโดยเพิ่มหน่วยแรงแนวแกน (Axial Stress) ระหว่างที่แรงดันด้านข้าง (Confining Pressure, σ_3) มีค่าคงที่ จนตัวอย่างเกิดการวิบัติ



ภาพที่ 29 แสดงแบบจำลองการทดสอบ Isotropic consolidated undrained compression test, (CIUC Test)

ผลการทดสอบแสดงออกในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของดินอย่างชัดเจนได้แก่

- ค่าความเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress, $(\sigma_1 - \sigma_3)$) กับ ค่าความเครียด (Axial Strain)
- ค่าแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) กับ ค่าความเครียด (Axial Strain)
- ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ในรูปแบบ MIT Stress Path

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง

การอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test) ทำการเตรียมตัวอย่าง (รายละเอียดเหมือนกับการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Unconfined compression test และนำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้บรรจุในกรอบแก้ว (Triaxial Cell) ซึ่งมีการดำเนินการเหมือนกับการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบปกติ และตามด้วยขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ หลังจากนั้นให้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ (Effective consolidation stress, σ'_c) เท่ากับ 20, 50, 70, 100, 150, 200 และ 300 กิโลปาสกาล ตามลำดับ ระหว่างนั้นวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (โดยใช้ Volume Change) ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงการเพิ่มหน่วยแรง

ผลการทดสอบแสดงออกในรูปอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) กับ หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) เพื่อหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินที่ได้จากการอัดตัวคายน้ำ ได้แก่ ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) และพารามิเตอร์การอัดตัว (Compressibility Parameters) คือ λ และ k โดยที่ λ เป็นค่าความชันของกราฟ $e - \ln p'$ ในช่วงอัดตัวปกติ (Virgin Compression) และ k เป็นค่าความชันของกราฟ $e - \ln p'$ ในช่วงอัดตัวซ้ำ (Recompression) หรือ ช่วงบวมตัว (Swelling)

ผลและวิจารณ์

การวิจัยนี้เป็นการรวบรวมข้อมูล และศึกษาพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ สำหรับการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือ KU Tensiometer กับ การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Tests) และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบดังกล่าววิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองพฤติกรรมของดินชั้นสูง ด้วยแบบจำลองชนิด Elasto - plastic คือ แบบจำลอง Modified Cam Clay

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ สามารถสรุปได้ดังนี้

- การรวบรวมข้อมูลสมบัติชั้นพื้นฐานและสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพฯ
- การทดสอบหาสมบัติชั้นพื้นฐานของดินเหนียวกรุงเทพฯ
- การทดสอบหาเส้นโค้งความอุ้มน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC)
- การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Compression and Unloading Test)
- การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test, SUC Test)
- การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)
- ประเมินความสอดคล้องของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด กับ การทดสอบแรงอัดสามแกน
- การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองพฤติกรรมของดินชั้นสูงชนิด Elasto - plastic คือ แบบจำลอง Modified Cam Clay กับกรณีศึกษาต่างๆ

การรวบรวมข้อมูลสมบัติชั้นพื้นฐานและสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว
กรุงเทพฯ

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับ คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของ
ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ สรุปลังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน
เหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จากการทดสอบ Isotropic consolidated undrained triaxial test (CIUC Test)
ที่ความลึก 1.0 - 9.0 เมตร จากบริเวณต่างๆ พบว่า ค่าความชื้นธรรมชาติ (Natural water content, %)
มีค่าอยู่ระหว่าง 50 - 120 % ค่าขีดเหลว (Liquid Limit, LL) อยู่ระหว่าง 67 - 121 % และดัชนี
พลาสติกซีดี (Plasticity Index, PI) อยู่ระหว่าง 20 - 85 % นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขีดเหลว (Liquid
Limit, LL) และดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity Index, PI) มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่ามุมเสียดทาน
(Friction Angle, ϕ') ลดลง แสดงดังภาพที่ 37 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตของ Terzaghi และ
คณะ, 1996

สำหรับการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (Oedometer Test) จาก
โครงการคลองระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ (รายงานผลการเจาะสำรวจดินเพื่อการก่อสร้าง
คลองระบายน้ำและถนนพร้อมอาคารประกอบส่วนที่ 2, 2549ข.) ที่ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร พบว่า
อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e_0) เท่ากับ 2.51 หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum
Past Pressure, p'_c) เท่ากับ 31 กิโลปาสคาล และ λ ประมาณ 0.504 และ κ ประมาณ 0.066
($\lambda = 0.434 C_c$; C_c คือ Compression Index และ $\kappa = 0.434 C_s$; C_s คือ Swelling Index)

การทดสอบหาสมบัติชั้นพื้นฐาน

สำหรับการทดสอบหาสมบัติชั้นพื้นฐาน ได้เลือกศึกษาดินเหนียวกรุงเทพฯ จากบริเวณ
คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ ความลึก 0.5 - 4.0 เมตร และจากบริเวณทางหลวง
หมายเลข 7 กรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ (กม. 6 + 600) ความลึก 4.5 - 5.1 6.0 - 6.6 และ 10.5 - 11.1
เมตร ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 0.5 และ 0.25 เมตร ตามลำดับ ลักษณะดินเป็นดินเหนียวสีเทา
ค่อนข้างดำ ความชื้นสูง และจำแนกอยู่ในประเภท CH ตามระบบ Unified soil classification
สำหรับผลการทดสอบสรุปลังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดินเหนียวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

Location	Depth	Natural water content (%)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)	Specific Gravity
คลองระบายน้ำ สุวรรณภูมิ	0.5 - 1.0 m.	71.29	107.93	47.80	60.13	2.72
	1.0 - 1.5 m.	69.09	83.35	27.41	55.94	
	1.5 - 2.0 m.	104.24	100.29	34.63	65.66	2.64
	2.0 - 2.5 m.	121.57	106.66	39.57	67.09	
	2.5 - 3.0 m.	123.84	97.86	33.71	64.15	
	3.0 - 3.5 m.	100.77	96.68	33.32	63.36	
กรุงเทพฯ - ชลบุรี (สายใหม่)	3.5 - 4.0 m.	114.18	103.85	39.90	63.96	2.63
	4.5 - 5.1 m.	110.20	102.35	37.58	64.78	
	6.0 - 6.6 m.	99.31	110.80	48.45	62.35	
	10.5 - 11.1 m.	60.00	79.69	35.48	44.22	2.70

การทดสอบหาเส้นโค้งความอุ่มน้ำ

การศึกษานี้ทำการทดสอบกับดินเหนียวจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ (ตัวอย่าง SWCC - 1 และตัวอย่าง SWCC - 2) และจากบริเวณทางหลวง กรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ (ตัวอย่าง SWCC - 3) โดยผลของการทดสอบแสดงออกในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เห็นความชัดเจนของสภาวะต่างๆ ของดิน แสดงดังภาพที่ 30 (ผลการทดสอบโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) จากความสัมพันธ์ระหว่างระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) กับแรงดูด (Suction, s) ของตัวอย่างดิน พบว่า ตัวอย่าง SWCC - 1, ตัวอย่าง SWCC - 2 และ ตัวอย่าง SWCC - 3 มีช่วงค่าแรงดูดเท่ากับ 0 - 200 กิโลปาสกาล, 0 - 100 กิโลปาสกาล และ 0 - 500 กิโลปาสกาล ตามลำดับ ในช่วงค่าแรงดูดดังกล่าว ตัวอย่างดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำหรือใกล้อิ่มตัว ($S_r > 95\%$) และจากการตรวจวัดปริมาณความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content, $\theta = V_w/V = n \times S_r$) กับแรงดูด (Suction, s) ของตัวอย่างดิน ขณะที่ตัวอย่างดินค่อยๆ แห้ง พบว่าเมื่อค่าแรงดูดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นลดลงตามลำดับซึ่งเป็นเช่นเดียวกับอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการหดตัวเมื่อแห้ง (Desiccation Shrinkage) ของดินเหนียว

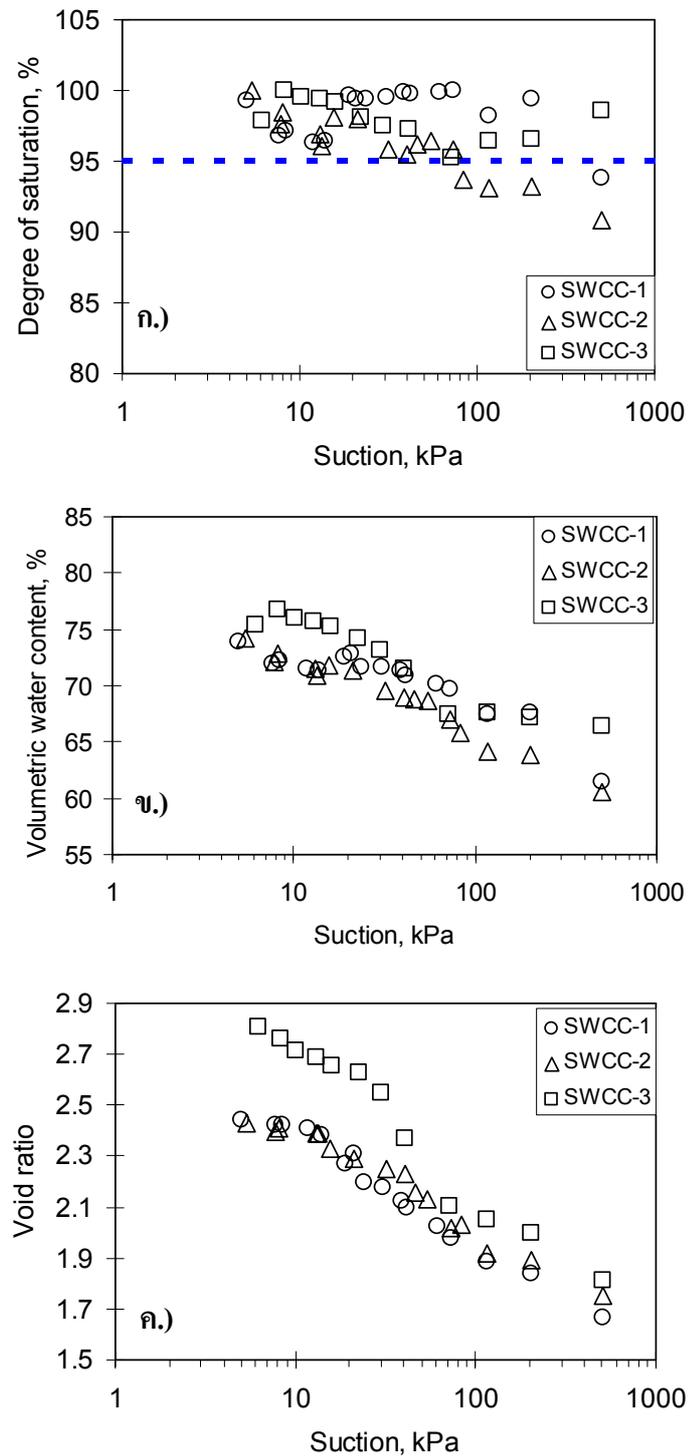
การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง

ผลการศึกษาพฤติกรรมด้านการยุบอัดตัว Isotropic compression ของดินเหนียวเมื่อรับน้ำหนักโดยใช้วิธีการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Compression and Unloading Test) ซึ่งทำการทดสอบกับดินเหนียวจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข) เพื่อหาพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองดิน Modified Cam Clay (ค่า λ และค่า κ) และหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง และลอการิทึมของความเค้นประสิทธิผลเฉลี่ย (Effective Mean Stress) หรือ e กับ $\log p'$ มีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีตหรือ p'_c ประมาณ 31 กิโลปาสกาล และจากภาพที่ 31 พบว่า λ มีค่าเท่ากับ 0.312 และ κ มีค่าเท่ากับ 0.101

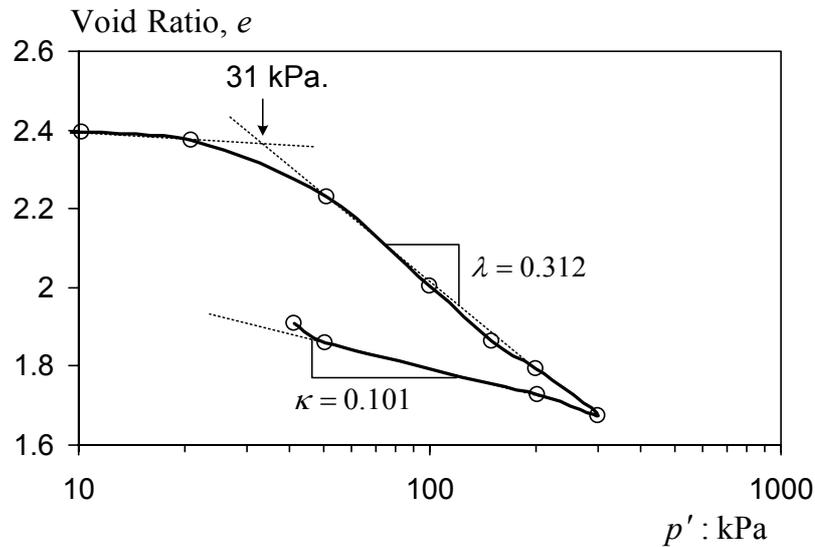
การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด

การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ทำการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวทั้งหมด 19 ตัวอย่าง (รายละเอียดการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3 และแสดงในภาคผนวก ค) โดยดินที่ทดสอบจะต้องอิ่มตัวด้วยน้ำหรือใกล้เคียง (Degree of Saturation, $S_r > 95\%$) เพื่อให้การวิเคราะห์ผลโดยใช้ทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผลจะยังมีความถูกต้อง (Terzaghi, 1943, Cunningham และคณะ, 2003) ดังกล่าวไว้ข้างต้น โดยจากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบนี้มีความอิ่มตัวด้วยน้ำที่ใกล้เคียง ($S_r > 95\%$) ในช่วงแรงดูดตั้งแต่ 0 - 80 กิโลปาสกาล สำหรับขั้นตอนการทดสอบสามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนแรก คือการเตรียมตัวอย่างดิน เพื่อให้ตัวอย่างดินมีค่าแรงดูด (Suction) ที่แตกต่างกัน ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น กระทำโดยการให้ตัวอย่างดินแห้งอย่างช้าๆ และระหว่างนั้นทำการตรวจวัดค่าแรงดูด (Suction) ด้วย (แสดงดังภาพที่ 26) เพื่อให้ได้ค่าแรงดูด (Suction) ตามที่ต้องการ หลังจากนั้น นำตัวอย่างดินบ่มในตู้ควบคุมความชื้น เพื่อให้ตัวอย่างดินสมดุล สำหรับกระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 3 - 4 วัน



ภาพที่ 30 แสดงเส้นโค้งความอู่มน้ำของดิน ก.) ความอู่มน้ำ (Degree of Saturation, S_r)
 ข.) ความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content, θ) ค.) อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio, e)



ภาพที่ 31 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง ของตัวอย่างดินที่ ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร

ส่วนที่สอง คือกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยการกดหรือเฉือนจนตัวอย่างดินจนวิบัติ จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า การทดสอบ Unconfined compression test ชนิดพิเศษนี้จะทำการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำด้านลบ (Negative Pore Water Pressure) ระหว่างการทดสอบไปด้วย สำหรับอัตราการกดที่ใช้ จากตารางที่ 3 เห็นได้ว่าอัตราการกดที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้อัตราการกดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการกดดังกล่าว ระหว่างการเฉือนตัวอย่างการกระจายตัวของแรงดันน้ำค่อนข้างจะสม่ำเสมอทั้งตัวอย่างโดยที่อัตราการกดไม่ช้ามากเกินไปนัก โดยการวิบัติของตัวอย่างดินมีลักษณะการโป่งออก และผลการทดสอบแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียด ดังภาพที่ 32

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียด (ภาพที่ 32) เห็นได้ว่าเมื่อค่าแรงดูด (Suction) ของดินแตกต่างกัน ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินแตกต่างกัน เนื่องจากเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้ความหนาแน่นมวลดินเพิ่มขึ้นแล้ว แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดินและแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น คือเมื่อค่าแรงดูด (Suction) ของดินเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนก็จะเพิ่มขึ้นตาม โดยระหว่างการเฉือนนั้นค่าแรงดูดของดินตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรก (เนื่องจากแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น) แล้วจะเริ่มคงที่ ($\Delta u = 0$) เมื่อถึงจุด Critical state (ตัวอย่างดินมีลักษณะพฤติกรรมชนิด Strain hardening)

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดลองที่ได้จากการทดสอบ Suction - monitored Unconfined Compression Test

Sample No.	Depth	Location	Rate (mm/min)	Initial Water Content, %	Initial Suction, kPa	Final Water Content, %	Degree of Saturation, %	Unit Weight	Void Ratio		
S - 1	3.5(4) - 4.0 m.	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	0.50	114.18	0.68	108.44	95.54	1.41	2.99		
S - 2	3.5(2) - 4.0 m.		2.00	120.47	1.14	117.24	98.12	1.40	3.15		
S - 3	0.5 - 1.0 m.	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	0.10	56.88	37.95	54.88	96.84	1.70	1.54		
S - 4	3.5(3) - 4.0 m.			95.07	22.27	89.70	95.85	1.48	2.47		
S - 5	2.5(2) - 3.0 m.			123.84	0.91	120.87	97.01	1.39	3.29		
S - 6	2.5(4) - 3.0 m.			67.85	40.45	67.43	95.34	1.57	1.87		
S - 7	2.0(3) - 2.5 m.			78.24	57.27	76.65	97.26	1.54	2.08		
S - 8	2.5(3) - 3.0 m.			73.22	55.23	70.31	97.78	1.57	1.90		
S - 9	1.5(1) - 2.0 m.			97.25	38.64	96.01	99.12	1.48	2.56		
S - 10	2.0(2) - 2.5 m.			95.04	28.86	92.99	100.00	1.50	2.44		
S - 11	6.0(1) - 6.6 m.			กรุงเทพฯ - ชลบุรี(สายใหม่)	0.10	89.44	14.09	86.05	97.68	1.51	2.32
S - 12	6.0(3) - 6.6 m.					99.31	5.91	98.92	95.15	1.41	2.73
S - 13	6.0(4) - 6.6 m.	91.52	26.59			91.48	95.00	1.47	2.54		
S - 14	10.5(1) - 11.1 m.	57.71	65.68			57.51	95.41	1.63	1.63		
S - 15	10.5(2) - 11.1 m.	56.52	79.52			54.52	98.08	1.68	1.49		
S - 16	1.5(3) - 2.0 m.	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	0.10	76.32	28.10	74.52	99.22	1.57	1.98		
S - 17	4.5(4) - 5.1 m.	กรุงเทพฯ - ชลบุรี(สายใหม่)	0.10	82.89	40.95	80.94	100.00	1.57	2.08		
S - 19	4.5(1) - 5.1 m.			97.24	25.24	97.52	100.00	1.49	2.52		
S - 20	3.0(N) - 3.5 m.	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	0.10	86.79	16.39	85.64	100.00	1.51	2.25		

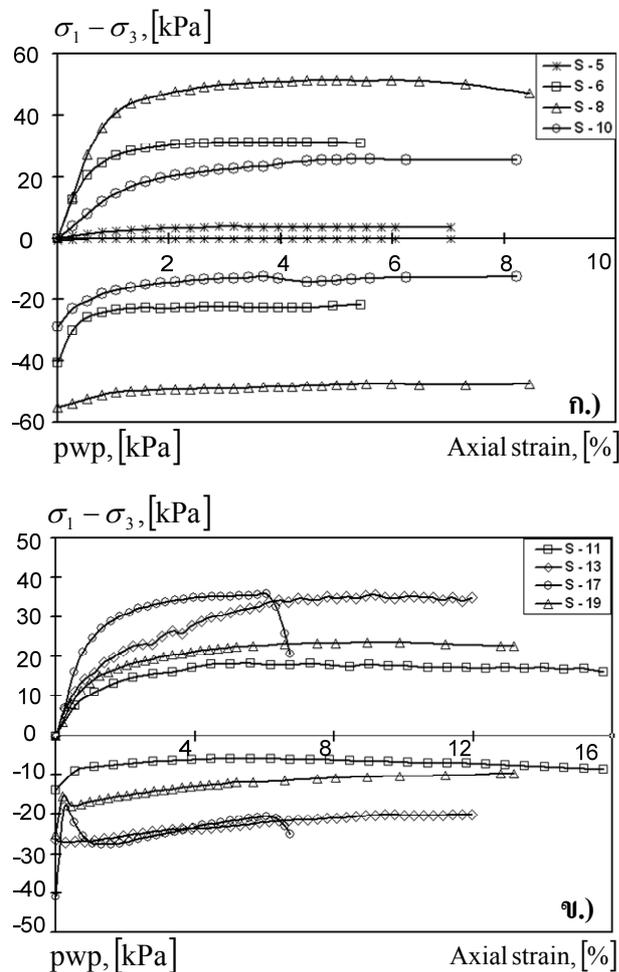
การวิเคราะห์ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) เพื่อหาเส้นขอบเขตการวิบัติ (Failure Envelope) ที่จะกล่าวต่อไปเป็นการเขียนทางเดินหน่วยแรงใช้ระบบ MIT ซึ่งได้จากสมการที่ 7 และสมการที่ 8 การวิเคราะห์ทางเดินของหน่วยแรงจะวิเคราะห์เฉพาะทางเดินของหน่วยแรงในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) เนื่องจากแรงดันน้ำมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนดินนั่นเอง เนื่องจากระหว่างการทดสอบต้องทราบแรงดันน้ำ ดังนั้นจึงได้ทำการหารูปแบบการติดตั้ง KU Tensiometer โดยทำการติดตั้งด้านบน และด้านข้างของตัวอย่างดินดังได้กล่าวไว้ข้างต้น (Cunningham *et al.*, 2003 ซึ่งแสดงในภาพที่ 15) สำหรับผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 33 (ก.) จากภาพแสดงทางเดินของหน่วยแรงในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล เห็นว่าการติดตั้ง KU Tensiometer ด้านข้าง ค่าแรงดันน้ำมีความสม่ำเสมอตลอดช่วงทำการเหนือนตัวอย่างดิน แต่เนื่องมาจากการติดตั้งนี้มีความยุ่งยากอยู่มาก สำหรับการติดตั้งด้านบนเมื่อทำการเหนือนพบว่า แรงดันน้ำ (หรือค่า Suction) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในความเครียดช่วงต้น (เกิดขึ้น 4 ตัวอย่างจากทั้งหมด 19 ตัวอย่างที่ทำการทดสอบ) แต่เมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นลักษณะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลก็จะสอดคล้องกับการติดตั้งด้านข้าง ซึ่งในเบื้องต้นได้ตั้งสมมุติฐานว่าเกิดจากลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรงจะไม่สม่ำเสมอ หรืออาจมีลักษณะ Stress concentration บริเวณด้านบนของตัวอย่างเนื่องมาจากลักษณะของเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ของการทดสอบ และรวมถึงอาจเกิดจากการติดตั้งเครื่องมือ ดังนั้นการแปลผลจึงได้เสนอลักษณะของทางเดินของหน่วยแรงที่น่าจะสอดคล้องกับความเป็นจริงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 33 (ค.) ทั้งนี้ในหัวข้อที่จะกล่าวต่อไป จะได้นำเสนอผลการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อยืนยันสมมุติฐานดังกล่าว

จากภาพที่ 33 (ข.) และภาพที่ 33 (ค.) สามารถจำแนกลักษณะพฤติกรรมของดินได้ว่า ตัวอย่าง S - 8 ตัวอย่าง S - 13 ตัวอย่าง S - 17 และ ตัวอย่าง S - 19 เป็นดินเหนียวที่มีสภาพอัดแน่นปกติ (NC Clay) สำหรับตัวอย่าง S - 6 ตัวอย่าง S - 10 และ ตัวอย่าง S - 11 เป็นดินเหนียวที่มีสภาพอัดแน่นเกินตัว (OC Clay) ส่วนตัวอย่าง S - 5 ไม่สามารถบอกได้ชัดเจนเนื่องมาจากแรงดูดของดิน (Suction) ในการทดสอบมีค่าที่ต่ำ

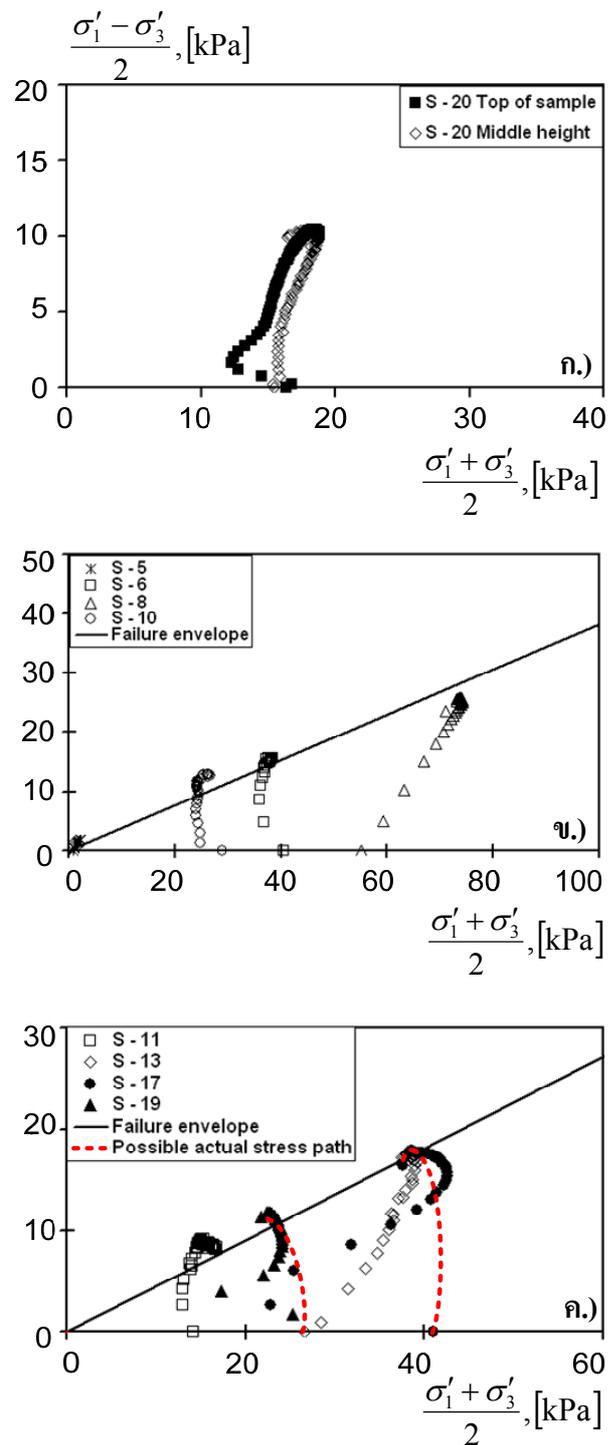
การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ชนิดมีการอัดตัวระบายน้ำในช่วงก่อนเหนือนตัวอย่างแต่ไม่มีการระบายน้ำในช่วงเหนือนตัวอย่าง (Isotropic Consolidated Undrained Compression Test, CIUC Test) โดยการทดสอบนี้ ทดสอบเพื่อประเมิน

ความสอดคล้องกับการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ดังนั้นจึงทำการทดสอบตัวอย่างดินจำนวน 4 ตัวอย่าง ที่ความลึกแตกต่างกัน ข้อมูลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 โดยใช้อัตราการกดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที และผลการทดสอบแสดงดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียด (แสดงในภาพที่ 34) พบว่า ความเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress, $(\sigma_1 - \sigma_3)$) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในความเครียดช่วงแรก และมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความเค้นเบี่ยงเบนมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเล็กน้อยเมื่อทำการทดสอบดำเนินต่อไปจนตัวอย่างดินวิบัติ และมีผลเช่นเดียวกับแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) นั้นเอง



ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียดจากการทดสอบ SUC Test ก.) ตัวอย่างจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ ความลึก 2.0 - 3.0 เมตร และ ข.) ตัวอย่างบริเวณถนนกรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ ความลึก 4.5 - 6.6 เมตร



ภาพที่ 33 กราฟแสดงทางเดินหน่วยแรงในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากการทดสอบ SUC Test ก.) และ ข.) ตัวอย่างจากคลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร และ ความลึก 2.0 - 3.0 เมตร ตามลำดับ ค.) ตัวอย่างจากบริเวณถนนกรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ ความลึก 4.5 - 6.6 เมตร

ประเมินความสอดคล้องของพารามิเตอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

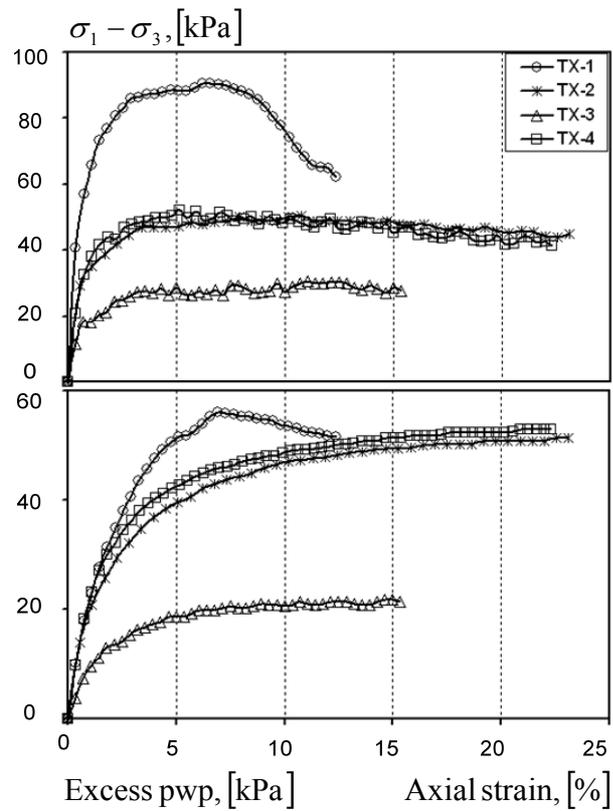
การทดสอบหาค่ารับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) เป็นการพัฒนานวัตกรรมทดสอบขึ้นใหม่ รวมไปถึงการเตรียมตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ในเบื้องต้นจึงต้องประเมินความสอดคล้องของพฤติกรรม Isotropic drying และ Isotropic consolidation จากการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป

ประเมินพฤติกรรมการยุบอัดตัว Isotropic compression ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Triaxial test เปรียบเทียบกับ พฤติกรรม Isotropic drying โดยใช้เครื่องมือ Tensiometer และ Pressure plate ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 35 จากภาพเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผลของตัวอย่างด้วยวิธีทำให้ตัวอย่างดินแห้งอย่างช้าๆ นั้น มีพฤติกรรมการยุบอัดตัวที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ Isotropic consolidation แต่บางตัวอย่างมีค่าที่ไม่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลจากการที่ตัวอย่างดินถูกรบกวน (Disturbance) ไม่ว่าจะเนื่องมาจากการเก็บ การขนย้ายตัวอย่างดิน ซึ่งมีผลทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผล และอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้นภายในตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงไป

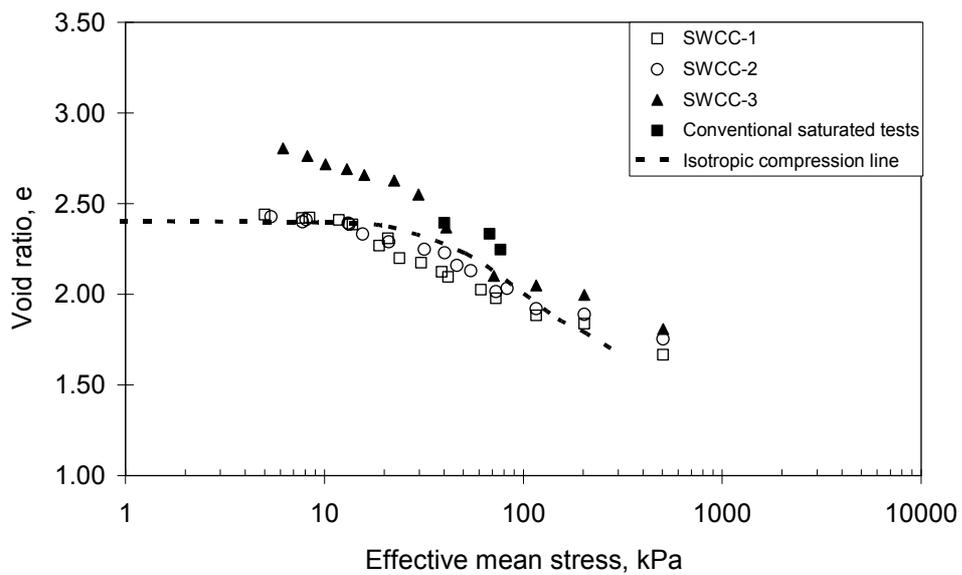
ตารางที่ 4 ข้อมูลการทดสอบ Triaxial compression test

Sample No.	Depth	Location	B ⁽¹⁾ Value	Effective consolidation stress, σ'_c (kPa.)
TX - 1	1.0(1) - 1.5 m.		0.96	119.32
TX - 2	2.0(1) - 2.5 m.	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	0.97	76.81
TX - 3	3.0(2) - 3.5 m.		0.96	40.09
TX - 4	4.5(3) - 5.1 m.	กรุงเทพฯ - ชลบุรี(สายใหม่)	0.97	67.71

หมายเหตุ ¹ Skempton's Pore Pressure Parameter



ภาพที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียดจากการทดสอบ Triaxial Compression Test



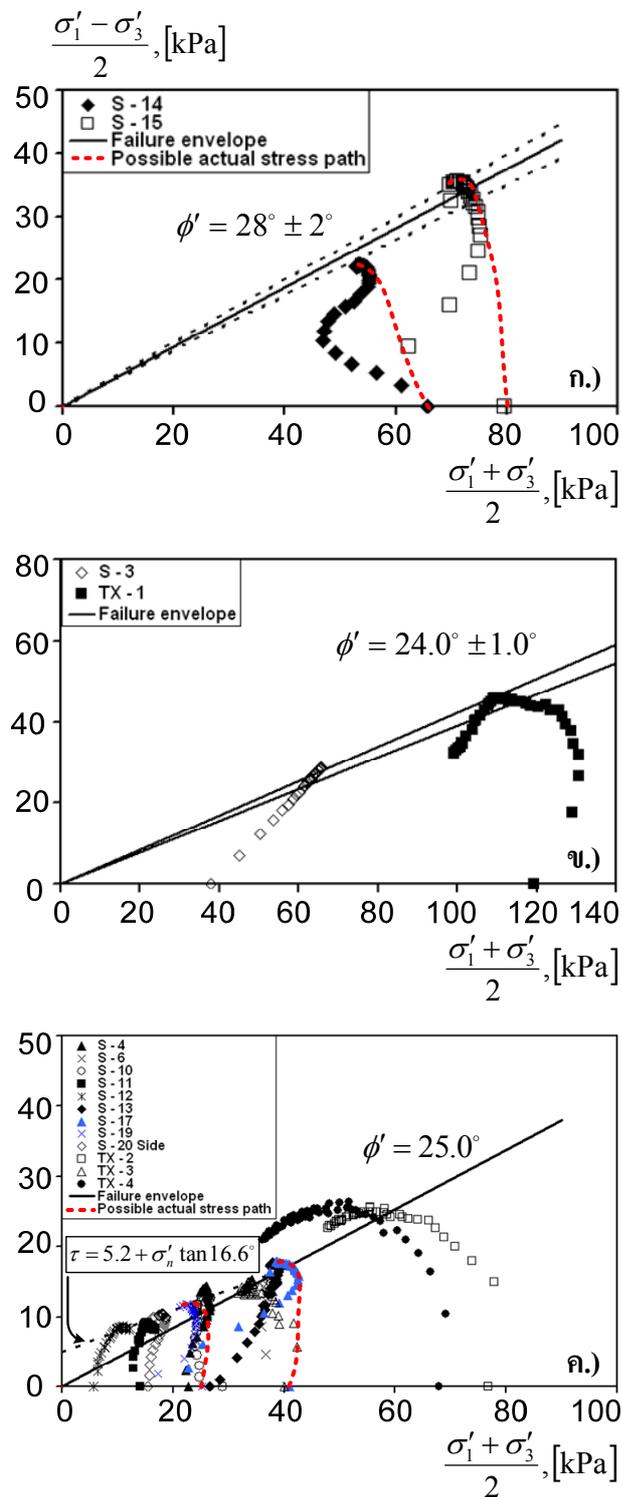
ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Void ratio กับ Effective mean stress

การประเมินความสอดคล้องนั้นแสดงในลักษณะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล แสดงดังภาพที่ 36 จากภาพที่ค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index) เท่ากับ 44, 60 และในช่วง 62 - 68 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าแม้ทางเดินของหน่วยแรงระหว่างการทดสอบแบบสามแกนจะแตกต่างจากการทดสอบ Unconfined compression test ชนิดวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) อยู่บ้าง แต่ทางเดินของหน่วยแรงในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากทั้งสองกรณีก็วิ่งเข้าสู่เส้นวิบัติ (Failure Line) เส้นเดียวกัน และสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ได้ในตารางที่ 4 จากตารางเห็นได้ว่า ค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index, PI) มีอิทธิพลต่อค่ามุมเสียดทาน (Friction Angle, ϕ') หนึ่งพารามิเตอร์ในตารางที่ 5 เป็นการแปรผลโดยอาศัยทฤษฎี Critical state ซึ่งกำหนดให้ $c' = 0$ (Schofield & Wroth, 1968) สำหรับตัวอย่างดินโคลนระบายน้ำสุวรรณภูมิที่ค่า PI เท่ากับ 62 - 68 แต่ถ้าวิเคราะห์ในสถานะอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated Clay) พบว่าได้ค่า $c' = 5.2$ กิโลปาสกาล และ $\phi' = 16.6$ องศา ดังแสดงในภาพที่ 36 (ค.)

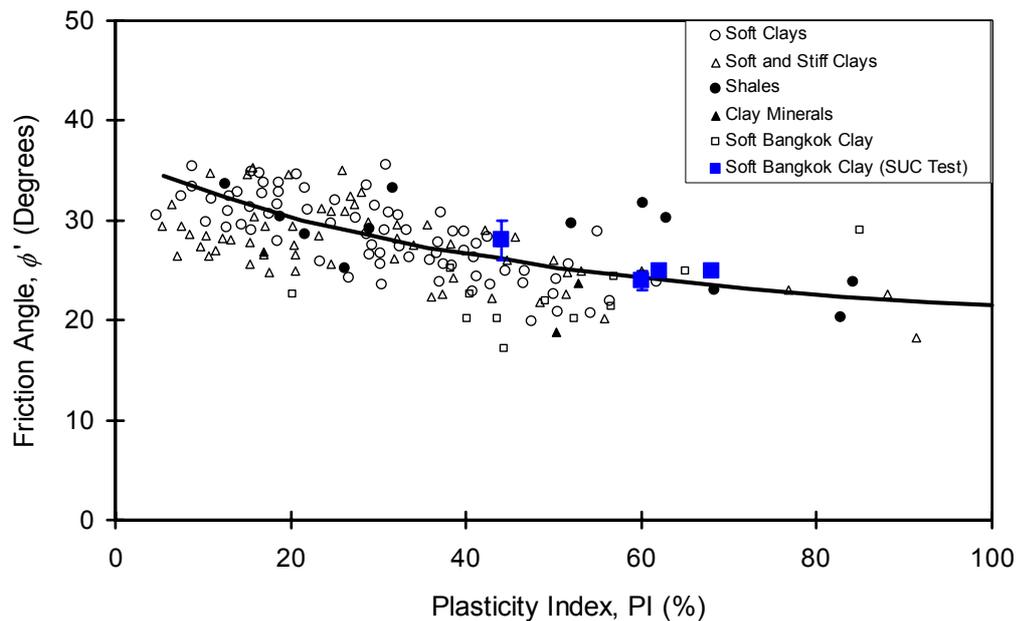
ตารางที่ 5 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล จากการทดสอบ SUC Test ในสถานะอัดแน่นปกติ (NC Clay)

Plasticity Index (PI)	Mohr - Coulomb Parameters			
	At Maximum Deviator Stress		At Critical State	
	c' , kPa	ϕ' , Degree	c' , kPa	ϕ' , Degree
44	0	28.0	0	26.0
60	0	24.0	0	23.0
62 - 68	0	25.0	0	25.0

ภาพที่ 37 เป็นการรวบรวมพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบ SUC Test พบว่าค่า ϕ' และ c' ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพื้นฐานของดิน คือเมื่อค่าดัชนีพลาสติกซิตี (PI) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ') ลดลง และเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนนั้นสอดคล้องกับข้อมูลในอดีตที่รวบรวมโดย Terzaghi และคณะ (1996)



ภาพที่ 36 กราฟแสดงทางดินและเส้นขอบเขตการวิบัติในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียว
 อ่อนกรุงเทพฯ จากการทดสอบ SUC Test ที่ค่า PI ต่างต่างกัน ก.) PI เท่ากับ 44
 ข.) PI เท่ากับ 60 และ ค.) PI เท่ากับ 62 - 68



ภาพที่ 37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทาน กับดัชนีพลาสติกซิตี ของดินเหนียวต่างประเทศ และดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ที่มา: ข้อมูลดินเหนียวต่างประเทศจาก Terzaghi *et al.* (1996)

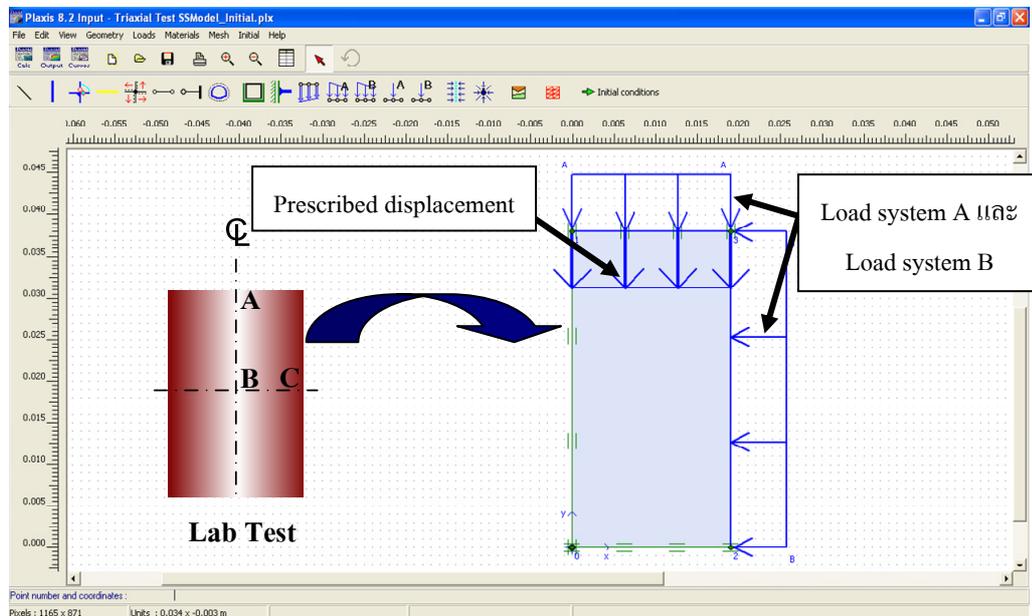
การวิเคราะห์พฤติกรรมของดิน โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข

การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Method) ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของดินในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน ในส่วนแรกเป็นการจำลองพฤติกรรมของดินระหว่างการทดสอบ Triaxial compression test และการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) ส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงลักษณะของปัญหาทางวิศวกรรมที่เหมาะสมในการนำ SUC Test ไปใช้ โดยการวิเคราะห์ทั้งสองส่วนจะได้นำผลการทดสอบ ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้สำหรับวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมของดินและปัญหาทางวิศวกรรมปฏิรูป โดยวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิด Elasto - plastic คือ แบบจำลอง Modified cam clay โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2 ซึ่งได้พัฒนาโดย Brinkgreve *et al.* (1996) สำหรับคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ใช้แสดงดังตารางที่ 6 จากตารางสำหรับพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ความลึก 1.5 - 4.0 เมตร ได้มาจากการทดสอบ SUC Test และสำหรับพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่ความลึกต่างๆ (ที่ความลึก 0.0 - 1.5 และ 4.0 - 22.0 เมตร) ได้จากงานวิจัยโดย Buathong (2552)

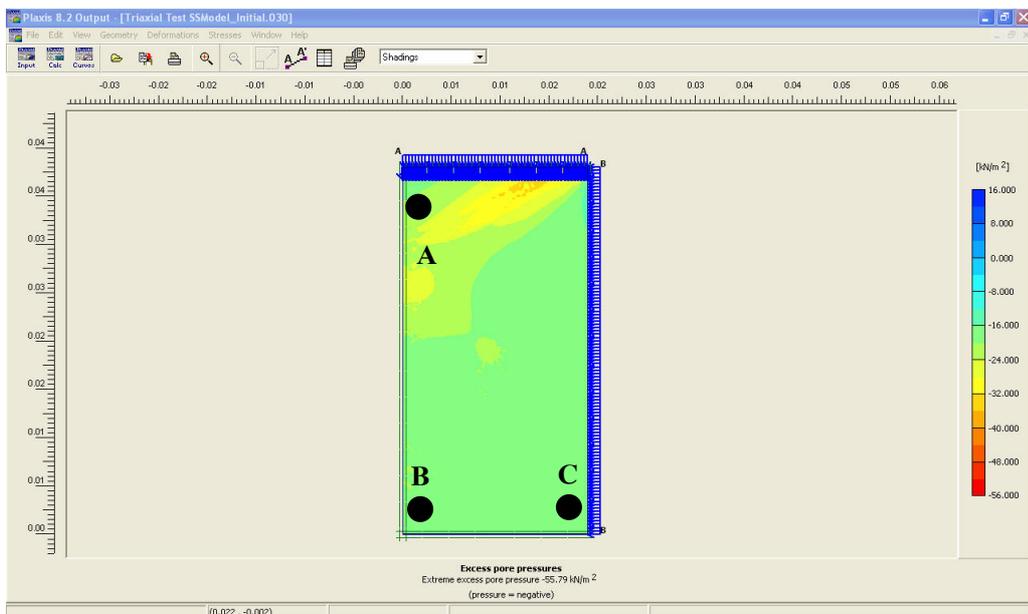
ในส่วนแรกของการวิเคราะห์ เป็นการศึกษาหารูปแบบการติดตั้งเครื่องมือ KU Tensiometer (ติดตั้งด้านบน และด้านข้างของตัวอย่างดินระหว่างทำการเฉือน) ซึ่งจากการทดสอบข้างต้นที่ได้กล่าวไว้พบว่า แรงดันน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในช่วงความเครียด (Strain) ช่วงต้น ซึ่งมีสมมุติฐานอยู่ว่า อาจเกิดจากการกระจายตัวของหน่วยแรงไม่สม่ำเสมอ หรืออาจมีลักษณะของ Stress concentration ดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของดินสำหรับการทดสอบ Triaxial compression test โดยใช้แบบจำลอง Modified Cam Clay และพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์แสดงดังในตารางที่ 6 จึงได้ทำการจำลองสภาพดินที่มีความลึก 3.5 เมตร และเพื่อให้ได้สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1 (H:D = 2:1) ตามขนาดมาตรฐาน ($\varnothing = 38$ มิลลิเมตร) จึงทำการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 4 ส่วน โดยมีเงื่อนไขแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetry) และ 15 - Node triangular elements ลักษณะชั้นดินใช้แบบจำลอง Soft soil model (SSM) สำหรับลักษณะเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ของแบบจำลอง จะกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งเท่านั้น (Horizontal Fixities) สำหรับด้านบน (เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่าง Top cap กับตัวอย่างดิน) และด้านข้างซ้าย (ภาพที่ 38) ส่วนด้านล่างของแบบจำลองกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ตามแนวราบเท่านั้น (Vertical Fixities) การสร้างแบบจำลองแสดงรายละเอียดในภาพที่ 38 สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Stage) การอัดตัวคายน้ำ (Consolidated Stage) โดยกำหนดจากเงื่อนไขขอบด้านแรง (Loading Condition ซึ่งใช้ Distributed Load - Load system A และ Load system B) ซึ่งมีค่าอัดตัวคายน้ำประสิทธิผล (Effective Consolidation Stress, σ'_c) เท่ากับ 40 กิโลปาสกาล และทำการเฉือนตัวอย่าง (Shearing Stage) จนวิบัติ โดยกำหนดการเคลื่อนที่ (Prescribed Displacement) เท่ากับ 0.01 เมตร

ผลที่ได้จากแบบจำลองพฤติกรรมของดิน แสดงในภาพที่ 39 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure, Δu) ที่เกิดขึ้นเมื่อตัวอย่างดินวิบัติ (Strain $\approx 7\%$) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) กับ ความเครียด (Axial Strain) ดังแสดงในภาพที่ 40 และทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ดังแสดงในภาพที่ 41 โดยที่จุด A เมื่อทำการเฉือนตัวอย่างดิน พบว่าในความเครียดช่วงต้นของการเฉือน จะมีแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจุด B และ จุด C (จุด B และ จุด C มีค่าเท่ากัน) ซึ่งเกิดเนื่องมาจาก Stress concentration โดยมีผลกระทบต่อแรงดันน้ำโดยตรง ทำให้การกระจายตัวของหน่วยแรงไม่สม่ำเสมอ ซึ่งตรงกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามที่จุดวิบัติ (Strain $\approx 7\%$)

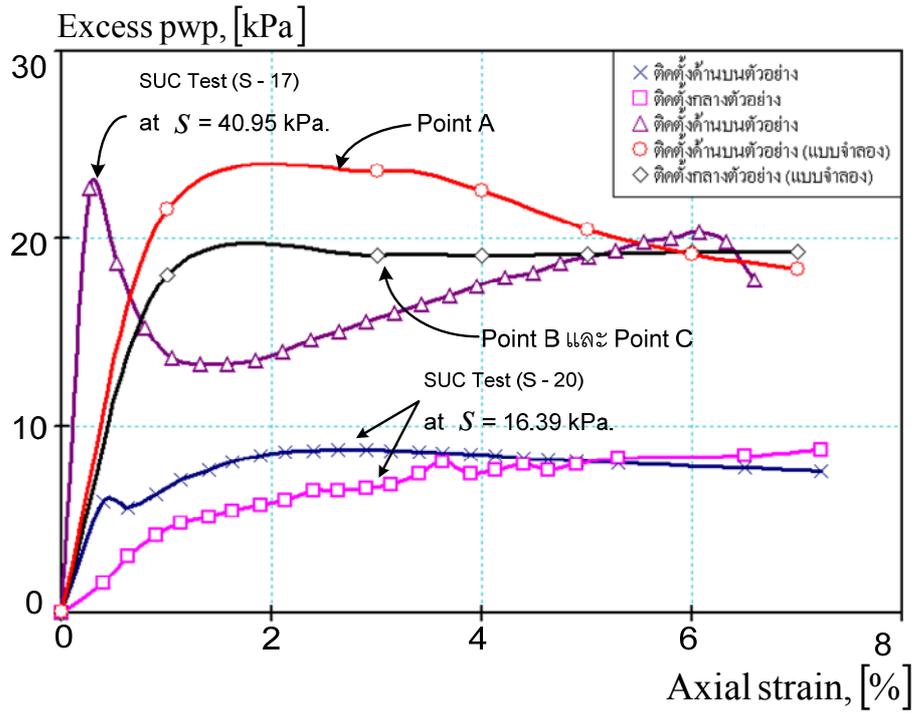
ทั้งจุด A, จุด B และจุด C มีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินเท่ากัน ดังแสดงในภาพที่ 39 และภาพที่ 40 อนึ่ง จากภาพที่ 39 บางบริเวณในตัวอย่างแรงดันน้ำส่วนเกินก็ไม่เท่ากัน



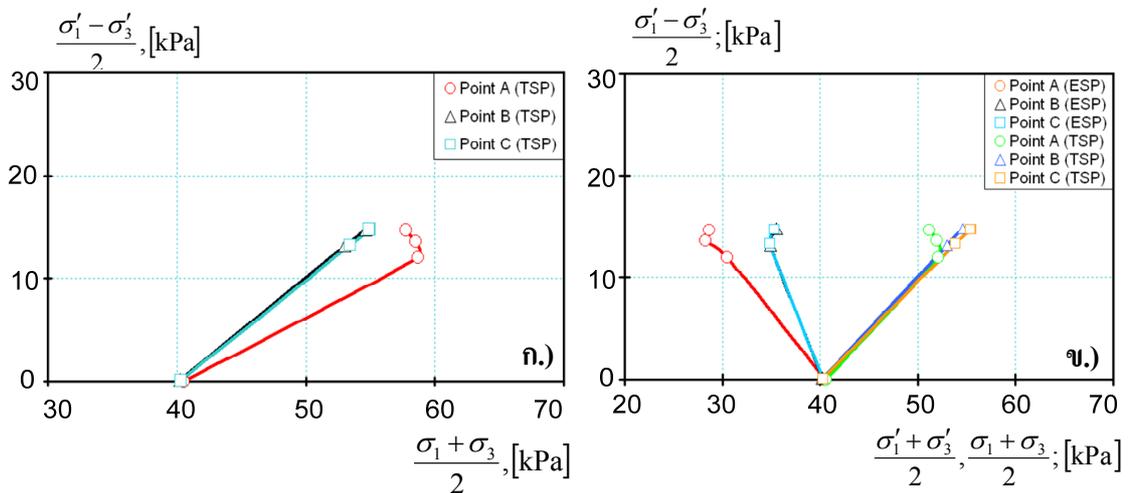
ภาพที่ 38 แบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2



ภาพที่ 39 แสดงการกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure, Δu) ที่เกิดขึ้น ที่ Strain เท่ากับ 7% โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2



ภาพที่ 40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับความเครียด จากการทดสอบ SUC Test และจากแบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2



ภาพที่ 41 กราฟแสดงทางเดินของหน่วยรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล จากแบบจำลองพฤติกรรมของดิน โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2 ก.) Actual total stress path ข.) Global total stress path และ Effective stress path

การวิเคราะห์ ออกแบบ หรืองานแก้ไขปัญหาต่างๆ ทางวิศวกรรมปฐพี ที่จำเป็นต้องใช้ พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ วิศวกรต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง หรือในช่วงสภาวะใช้งาน เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตของหน่วยแรง เพื่อให้การทดสอบในห้องปฏิบัติการครอบคลุมหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นสำหรับส่วนที่สองของการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินความเหมาะสมของกำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากวิธีทดสอบที่ได้ พัฒนาขึ้นใหม่ (Suction - monitored Unconfined Compression Test, SUC Test) ซึ่งแสดงออกในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress) ที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง โดยมีขอบเขตของหน่วยแรงที่ทดสอบด้วยวิธี SUC Test ที่ได้เสนอขึ้นในการวิจัยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 80 กิโลปาสกาล

ในงานวิจัยนี้ได้จำลองพฤติกรรมงานขุด (Excavation) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้แบบจำลอง Modified Cam Clay และพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ได้จากการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6 สำหรับปัญหาที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นงานขุดดินของดินอ่อน กรุงเทพฯ ซึ่งขุดลึก 6.30 เมตร โดยลักษณะของโครงการแสดงดังภาพที่ 42 และคุณสมบัติของเข็มพืด (Sheet Pile) และค้ำยัน (Strut) แสดงดังตารางที่ 7

ลักษณะขบวนการก่อสร้าง โดยเริ่มจากตอกเข็มพืดซึ่งมีความยาวเท่ากับ 16 เมตร และทำการขุดดินถึงระดับใต้ท้องค้ำยันชั้นที่ 1 ที่ความลึก -1.10 เมตร และทำการติดตั้งค้ำยันที่ระดับ -0.60 เมตร โดยค้ำยันแต่ละช่วงห่างกัน 7.10 เมตร จากนั้นทำการขุดดินถึงระดับ -3.50 เมตร และทำการติดตั้งค้ำยันที่ความลึก -3.00 เมตร หลังจากนั้นทำการขุดดินถึงระดับ -6.30 เมตร และเมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วก็ทำการรื้อถอนออก

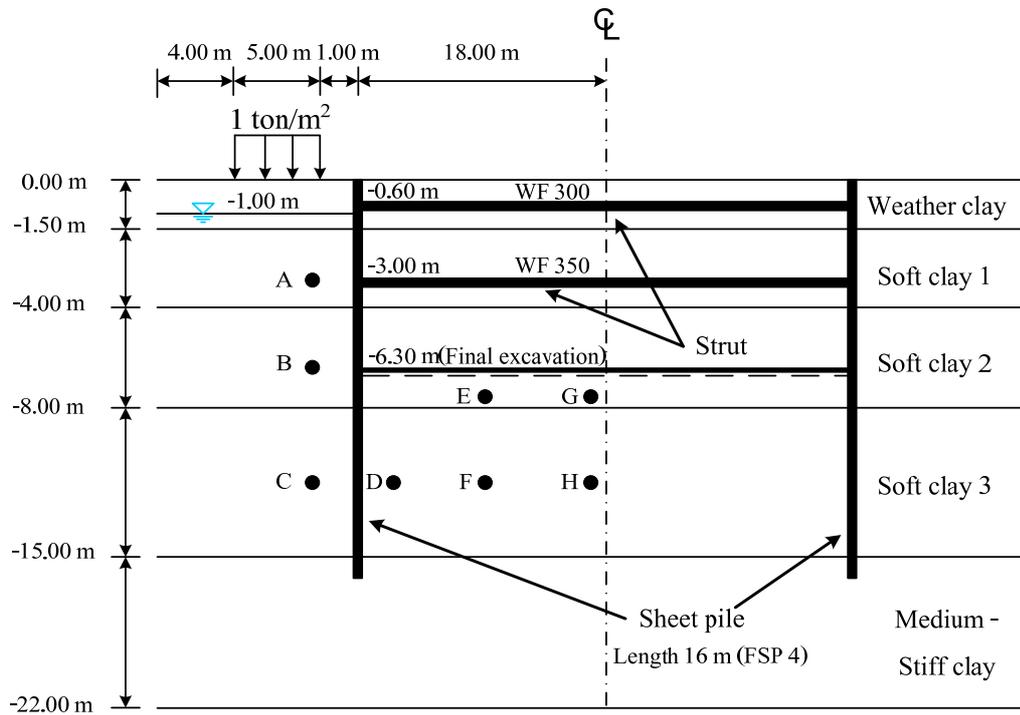
ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ของดินเหนียวอ่อนสำหรับวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

Depth (m)	Soil Model	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E' (kPa)	λ	κ	c' (kPa)	ϕ'	OCR
0.0-1.5	HSM	17.0	17.5	9×10^{-4}	4.5×10^{-4}	4000	-	-	10	25	5.0
1.5-4.0	SSM	14.0	14.5	5×10^{-4}	2.5×10^{-4}	-	0.312	0.101	0	23	1.2
4.0-8.0	SSM	14.0	14.5	5×10^{-4}	2.5×10^{-4}	-	0.130	0.018	10	23	1.2
8.0-15.0	SSM	14.5	15.0	5×10^{-4}	2.5×10^{-4}	-	0.120	0.012	10	23	1.2
15.0-22.0	HSM	16.0	16.5	5×10^{-4}	2.5×10^{-4}	30000	-	-	20	25	2.0

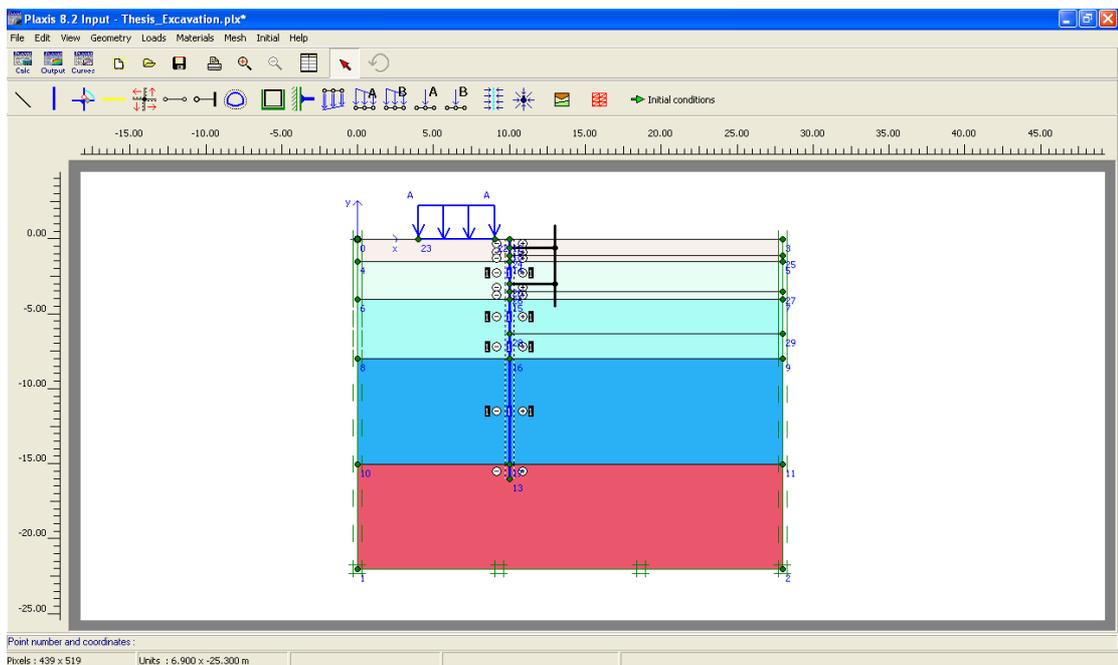
ตารางที่ 7 คุณสมบัติของเข็มพีค (Sheet Pile) ความยาว 16.0 เมตร และค้ำยัน (Strut)

Type	Type of behaviour	Normal stiffness, EA (kN/m)	Flexural rigidity, EI (kNm ² /m)	Weight (kN/m/m)	Spacing out of plane, L_s (m)
FSP 4 (Sheet pile)		2036790	81060	1.00	-
WF 300 (Strut)	Elastic	2515800	42840	1.34	7.10
WF350 (Strut)		3651900	84630	0.92	

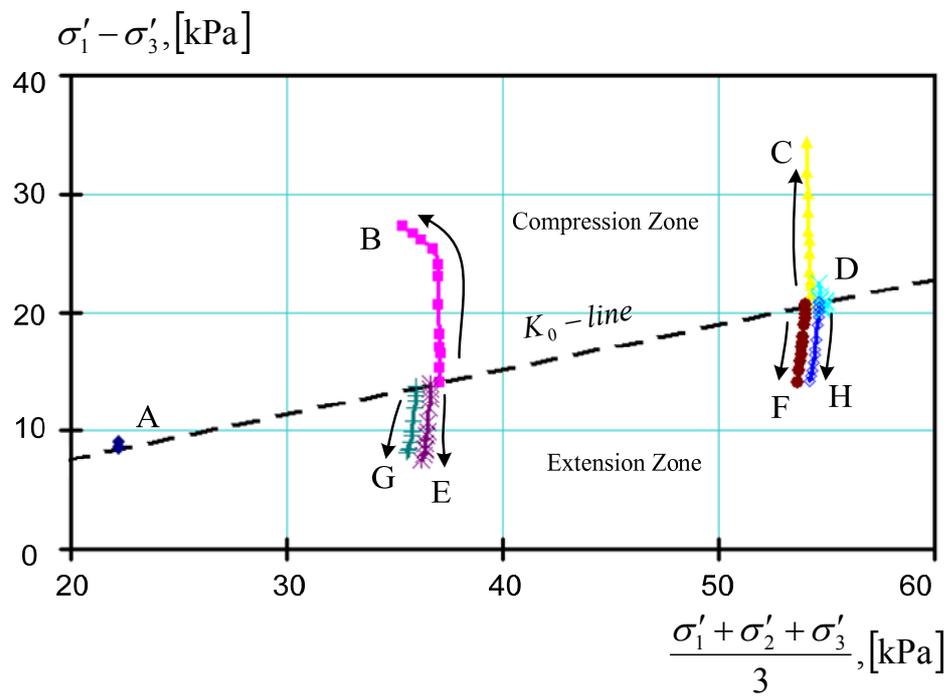
การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจำลองรูปแบบงานขุดดินโดยมีเงื่อนไขของความเค้นแบบระนาบความเครียด (Plane Strain) และ 15 - Node triangular elements ลักษณะชั้นดินแบ่งออกเป็น 5 ชั้น (แสดงดังภาพที่ 42) โดยแต่ละชั้นดินใช้แบบจำลองที่แตกต่างออกไป คือ ชั้นดิน Soft clay 1 ชั้นดิน Soft clay 2 และ ชั้นดิน Soft clay 3 ใช้แบบจำลอง Soft Soil Model (SSM) สำหรับชั้นดิน Weather clay และชั้นดิน Medium clay ใช้แบบจำลอง Hardening Soil Model (HSM) ตามลำดับ สำหรับลักษณะเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ของแบบจำลอง จะกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งเท่านั้น (Horizontal Fixities) สำหรับด้านข้างทั้ง 2 ข้างของแบบจำลอง สำหรับด้านล่างของแบบจำลองกำหนดไม่ให้มีการเคลื่อนที่ทุกทิศทาง (Total Fixities) ดังแสดงในภาพที่ 43 และทำการวิเคราะห์การก่อสร้างแบบขั้นตอน (Stage Construction) สำหรับทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการวิเคราะห์บ่งบอกให้ทราบว่าค่า Effective mean stress สูงสุด ที่ความลึก 11.50 เมตร มีค่าประมาณ 55 กิโลปาสกาล แสดงดังภาพที่ 44 จากภาพแสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลระหว่างการขุด จุด A จุด B และจุด C ลักษณะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลอยู่เหนือ K_0 - line ซึ่งเป็นบริเวณ Compression Zone หรือ Active Zone เนื่องจากจุดต่างๆ มีผลกระทบจาก Lateral unloading และระหว่างการขุด จุด E จุด F จุด G และจุด H ลักษณะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลอยู่ใต้ K_0 - line ซึ่งเป็นบริเวณ Extension Zone หรือ Passive Zone เนื่องจากจุดต่างๆ มีผลกระทบจาก Axial unloading ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า Effective stress ของมวลดินที่เกี่ยวข้องในงานขุดอยู่ในขอบเขตของหน่วยแรงที่ทดสอบได้โดยวิธี SUC Test ที่ได้เสนอขึ้นในการวิจัยนี้ ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของวิธีดังกล่าวในงานวิศวกรรมต่างๆ โดยวิศวกรสามารถใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการประเมินความเหมาะสมของการทดสอบ SUC Test ในงานอื่นๆ เช่น งานดินถม งานอุโมงค์ เป็นต้น



ภาพที่ 42 แสดงลักษณะชั้นดิน การติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile) ค้ำยัน (Strut) และจุดต่างๆ (A - H) ที่แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)



ภาพที่ 43 แบบจำลองงานขุด โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2



ภาพที่ 44 แสดงทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่จุดต่างๆ สำหรับงานขุด ลึก 6.30 เมตร

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective strength parameter) สำหรับดินเหนียวอ่อน โดยใช้วิธีการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test, SUC Test) รวมไปถึงการศึกษาพฤติกรรม Compression shearing ของดินเหนียวอ่อน และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวในการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองพฤติกรรมของดิน คือ แบบจำลอง Modified Cam Clay กับกรณีงานขุด (Excavation) เพื่อประเมินความเหมาะสมของวิธีทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่ สำหรับงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาเส้นโค้งความชุ่มน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) จากการตรวจวัดความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) กับแรงดูดเมทริก (Matric Suction, s) ของตัวอย่างดิน พบว่า ช่วงค่าแรงดูดในช่วงการทดสอบ (ประมาณ 0 - 80 กิโลปาสกาล) ตัวอย่างดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำหรือใกล้อิ่มตัว ($S_r > 95\%$) ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงถึงขนาดและการเรียงตัวของช่องว่างที่มีขนาดเล็กในเม็ดดิน ดังนั้นการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีหน่วยแรงประสิทธิผลจะยังมีความถูกต้องในช่วงดังกล่าว (Terzaghi, 1943) และการทดสอบที่พัฒนาขึ้นใหม่จะมีความถูกต้องสำหรับการตรวจวัดปริมาณความชื้นโดยปริมาตร กับแรงดูด ขณะที่ตัวอย่างดินค่อยๆ แห้ง พบว่าเมื่อค่าแรงดูดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นลดลงตามลำดับซึ่งเป็นเช่นเดียวกับอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการหดตัวเมื่อแห้ง (Desiccation Shrinkage) ของดินเหนียว โดยพฤติกรรมดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับขบวนการเกิดชั้น Weathered clay ของดินเหนียวกรุงเทพฯ นั้นเอง

2. พฤติกรรมการยุบอัดตัว Isotropic compression ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Triaxial test มีผลที่ใกล้เคียงกันกับพฤติกรรม Isotropic drying โดยใช้เครื่องมือ Tensiometer และ Pressure plate หรืออาจพูดได้ว่า ผลจากการลดลงของแรงดันน้ำด้านลบ (Negative Pore Water Pressure หรือ Suction) มีค่าเทียบเท่ากับการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงประสิทธิผล เมื่อดินอยู่ในสภาวะใกล้อิ่มตัว สำหรับค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure, p'_c) มีค่าเท่ากับ 31 กิโลปาสกาล ซึ่งได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง

(Isotropic Consolidation Test) และมีค่าเท่ากับเมื่อหาจากการทดสอบอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (Oedometer Test) และเมื่อศึกษาพฤติกรรมด้านการยุบอัดตัวจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง พบว่า λ มีค่าเท่ากับ 0.312 และ κ มีค่าเท่ากับ 0.101 และมีค่า λ เท่ากับ 0.504 และมีค่า κ เท่ากับ 0.066 ($\lambda = 0.434 C_c$; C_c คือ Compression Index และ $\kappa = 0.434 C_s$; C_s คือ Swelling Index) ซึ่งได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (Oedometer Test)

3. สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยด้านการศึกษารูปแบบการทดสอบ โดยอัตราการกด (Rate of Shearing) ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการกดดังกล่าว ระหว่างทำการเนียนตัวอย่าง การกระจายตัวของแรงดันน้ำก่อนข้างจะสม่ำเสมอทั้งตัวอย่าง สำหรับรูปแบบการติดตั้ง KU Tensiometer เพื่อวัดแรงคูระหว่างทำการเนียนนั้น ทำการติดตั้งไว้ด้านข้างของตัวอย่างดิน พบได้ว่า ค่าแรงดันน้ำมีความสม่ำเสมอตลอดช่วงทำการเนียนตัวอย่างดิน แต่เนื่องมาจากการติดตั้งมีความยุ่งยากอยู่มาก สำหรับการติดตั้งด้านบนเมื่อทำการเนียน ลักษณะการกระจายตัวของแรงจะไม่สม่ำเสมอ (Stress Concentrate) ซึ่งเกิดมาจากการติดตั้ง (โดยลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้น 4 ตัวอย่างจากทั้งหมด 19 ตัวอย่างที่ทำการทดสอบ) โดยมีผลให้แรงดันน้ำ (หรือค่า Suction) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในความเครียดช่วงต้น และเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น ลักษณะทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลก็จะสอดคล้องกับการติดตั้งด้านข้าง ดังนั้นการวิเคราะห์จึงต้องทำการปรับแก้ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล อย่างไรก็ตามข้อสังเกตที่สำคัญคือ ไม่ว่าจะทำการติดตั้ง KU Tensiometer ไว้ด้านบนหรือด้านข้างของตัวอย่างดิน ลักษณะทางเดินของหน่วยแรงในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผลนั้นก็วิ่งเข้าสู่เส้นวิบัติ (Failure Line) เส้นเดียวกัน

4. การทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) ที่พัฒนาขึ้นเป็นการทดสอบในช่วง Effective mean stress หรือ Suction เท่ากับ 0 ถึง 80 กิโลปาสกาล พบว่าเมื่อค่าแรงคู (หรือ Effective Stress) ของดินแตกต่างกัน ทำให้กำลังรับแรงเนียนของดินแตกต่างกันด้วย เนื่องจากเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้ความหนาแน่นมวลดินเพิ่มขึ้นแล้ว แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้น คือเมื่อค่าแรงคู (Suction) ของดินเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงเนียนก็จะเพิ่มขึ้นตาม สำหรับการประเมินความสอดคล้องระหว่างการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test กับการทดสอบ Triaxial compression test จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการแปลผลโดยอาศัยทฤษฎี Critical state ซึ่งกำหนดให้ $c' = 0$ (Schofield & Wroth, 1968) พบว่า ที่ค่าดัชนี

พลาสติกซึติ (Plasticity Index, PI) เท่ากับ 44, 60 และในช่วง 62 - 68 ได้ค่ามุมเสียดทาน (Friction Angle, ϕ') เท่ากับ 26, 23 และ 25 องศา ตามลำดับ และเมื่อรวบรวมพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือน ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบ SUC Test พบว่าเมื่อค่าดัชนีพลาสติกซึติ (PI) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ') ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตของ Terzaghi และคณะ, 1996

5. การวิเคราะห์พฤติกรรมของดินด้วยแบบจำลอง Modified Cam Clay โดยใช้โปรแกรม Plaxis 8.2 พบว่าสำหรับการวิเคราะห์งานขุดลึก 6.30 เมตร สามารถนำพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) ในการวิเคราะห์ได้เนื่องจากค่า Effective mean stress ที่เกิดขึ้นที่ความลึก 11.50 เมตร มีค่าน้อยกว่า 80 กิโลปาสกาล ดังนั้นสำหรับงานขุดดินเหนียวอ่อนที่ขุดลึกอย่างน้อยประมาณ 6.0 เมตร สามารถใช้วิธีการทดสอบ SUC Test วิเคราะห์หาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิภาพ (c' และ ϕ') ได้ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประเมินความเหมาะสมในการนำการทดสอบ SUC Test ไปประยุกต์กับงานทางวิศวกรรมปฐพีประเภทอื่นๆ ได้ เช่น งานดินถม เป็นต้น

6. ข้อดีและข้อเสียระหว่างการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานทั่วไปคือการทดสอบ Triaxial test สามารถสรุปได้ดังนี้ และสำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบสรุปได้ดังในตารางที่ 8

6.1 การทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) เหมาะสมสำหรับทดสอบดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) และอาจไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบดินที่เก็บจากความลึกมากกว่า 15 เมตร (Medium Clay) ถ้ากำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) เท่ากับ 15.5 kN/m^3 เนื่องจากความสามารถของ KU Tensiometer ซึ่งสามารถตรวจวัดค่าแรงดูด (Suction) อยู่ในช่วง 0 ถึง 80 กิโลปาสกาล และไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบหาลำดับรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิภาพ (Effective Strength Parameter) ของดินบดอัด (Compacted Clay) เนื่องจากตัวอย่างดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, S_r) น้อยกว่า 95 - 100% นั้นเอง

6.2 สามารถใช้ KU Tensiometer สำหรับตรวจวัด ติดตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำระหว่างการก่อสร้างได้ เนื่องจากวิธีการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) เป็นการหาลำดับรับแรงเฉือนของตัวอย่างในสภาวะที่แรงดันน้ำ (Pore Water Pressure,

u) มีค่าน้อยกว่า 0 หรือค่าติดลบ จึงเหมาะสมกับงานในสนามที่มักมีค่าแรงดันน้ำติดลบเช่น งานขุด หรืองานก่อสร้างช่วงเหนือระดับน้ำใต้ดิน เพราะว่าสถานะที่ทำการทดสอบสอดคล้องกับในสนามนั่นเอง

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบระยะเวลาในการทดสอบระหว่างการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test และ การทดสอบ Triaxial test

	SUC Test (วิธีการทดสอบซึ่งพัฒนาขึ้นใหม่)	Triaxial Test (วิธีมาตรฐานทั่วไป)
	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	
ขั้นตอนการทดสอบ		
- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน (ตากแล้วร่อนตัวอย่างดินผสม) และเงื่อนไขตัวอย่างดิน	4 วัน/ 3 ตัวอย่าง	-
- ขั้นตอนทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (B Value > 95%)	-	3 วัน/1 ตัวอย่าง
- ขั้นตอนอัดตัวระบายน้ำและเงื่อนไขตัวอย่างดิน	-	1 วัน/1 ตัวอย่าง

จากข้อดีและข้อเสียของการทดสอบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการวิเคราะห์ ออกแบบ หรือการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในงานวิศวกรรมปฐพี ที่จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการนิยมนคือ การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) แต่เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวมีราคาสูง โดยจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ และต้องใช้ผู้ที่มีชำนาญในการทดสอบ ดังนั้นการทดสอบที่เสนอนี้จะทำให้ประหยัดเวลา (แสดงดังตารางที่ 8) ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ และสามารถเพิ่มมูลค่าอย่างมากให้กับ การทดสอบ Unconfined compression test ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวิเคราะห์ สังเกตการณ์ การเก็บ การขนส่งตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของตัวอย่างดิน โดยทำการติดตั้งเครื่องมือ KU Tensiometer ระหว่างการเก็บ การขนย้าย เนื่องมาจากการเก็บ การขนย้าย ตัวอย่างดินเหนียวมีการรบกวนของตัวอย่าง (Sample Disturbance) ซึ่งทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้น หรืออัตราส่วนช่องว่างในตัวอย่างดิน

2. ปัญหาที่พบจากการทดสอบ Suction - monitored unconfined compression test (SUC Test) ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ปัญหาจากตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ (KU Tensiometer) ระหว่างทำการเนียนตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องพัฒนาระบบการติดตั้งขึ้นมาใหม่เช่น ตำแหน่งติดตั้งด้านบนควรทำการติดตั้งให้ผิวของหินพรุน (Porous Ceramic) สัมผัสกับผิวตัวอย่างดิน (โดยไม่ต้องเจาะลึกลงไปในตัวอย่างดิน) และลักษณะผิวของหินพรุน (Porous Ceramic) ควรมีลักษณะเป็นผิวเรียบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- บริษัท เอส ที เอส อินสตรูमेंท์ จำกัด. 2549ข. รายงานผลการเจาะสำรวจดินเพื่อการก่อสร้าง
คลองระบายน้ำและถนนพร้อมอาคารประกอบส่วนที่ 2, กรุงเทพฯ.
- วิชาญ ภูพัฒน์, สิริลักษณ์ จันทรางศุ, ชัย มุกตพันธ์, อรุณ ชัยเสรี, นิพนธ์ วัฒนันทน์, ศรีสุข
จันทรางศุ, เรืองวิทย์ โชติวิทยชานินทร์, ธิติ ปวีณชนา, สุรินทร์ กาญจนภาส และวิจิต
อัจฉรา สรรพกิจจานง. 2520. ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง.
สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์. 2548. **วิศวกรรมปฐพี**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรม
ราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- อภินิติ โชติสังกาศ และ วิชญพงศ์ ฟ่อลิละ. 2551ข. การพัฒนาเครื่องมือวัดศักยภาพแรงดันน้ำในดิน.
การประชุมวิชาการครั้งที่ 46 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน 29 มกราคม - 1
กุมภาพันธ์ 2551.
- Akramongpisai, S. 1970. **Comparison of Strengths Measured by Vane Shear Unconfined
Compression and Triaxial Shear Tests in Bangkok Clay**. M. Eng. Thesis, Asian
Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Arayasiri M. 1969. **Shear strength characteristics of Bangkok clay in the weathered
zone**. M. Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Brinkgreve R. B. J., Vermeer P. A. and Balkema A. A., PLAXIS. 1996. **Finite Element Code for
Soil and Rock**.
- Buathong P., Mairaing W., Soralump S. 2009. **Stress Path Analysis of Road Embankment
Adjacent to Drainage Canals**. 6th Regional Symposium on Infrastructure Development,
Bangkok, Thailand.

- Chandler, R.J., Crilly, M.S., Montgomery - Smith, G. 1992. **A low - cost method of assessing clay desiccation for low - rise building**. Proceedings of the ICE - Civil Engineering, Volume 92, Issue 2, pages 82 - 89.
- Chang, Rong Teng. 1974. **Shear Strength Characteristics of Weathered Nong Ngoo Hao Clay Under Isotropically Consolidated Undrained Compression Test**. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Cunningham, M. R., Ridley, A. M., Dineen, K. & Burland, J. J. 2003. **The mechanical behaviour of a reconstituted unsaturated silty clay**. Geotechnique 53, No. 2, 183- 94.
- Jotisankasa, A., Porlila, W., Soralump, S., Mairiang W. 2007. **Development of a low cost miniature tensiometer and its applications**. 3rd Asian Conference on Unsaturated Soils, Nanjing, China.
- Head, K. H. 1986. **Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3: Effective Stress Tests**. First Edition. London, Pentech Press.
- Lambe, T. W. Nov 1967. **Stress Path Method**. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE Vol.93, No. SM6, pp. 309 - 331.
- Lambe, T.W. and R.B. Whitman. 1979. **Soil Mechanics**, SI Version. John Wiley and Sons Inc., New York. 553p.
- Ladd, C.C., 1964. **Stress - Strain Behavior of Saturated Clay and Basic Strength Principles**. Research Report, Dept. of Civil Engineering, MIT, Cambridge.
- Liu, Wan - Ning. 1973. **The Applicability of Multiple Stage Triaxial Test in Bangkok Clay**. M.Eng.Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

- Moh, Z.C. 1969. **Strength and Compressibility of Soft Bangkok Clay**. Res.Rep. No. 7. Asian Institute of Technology, Bangkok. 79p.
- Muktabhant, C.,P. Teerawong and V. Tengamnuay. 1966. **Engineering Properties of Bangkok subsolis**. Chulalongkorn University, Bangkok. 80 p.
- Muni Budhu. 2007. **Soil Mechanics and Foundations**. 2nd ed. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Ridley, A.M. and Burland, J.B. 1993. **A new instrument for the measurement of soil moisture suction**. Geotechnique 43, No. 2, 321-324.
- Ridley A.M. and Wray W.K. 1996. **Suction measurement - A review of current theory and practices**. In Unsaturated Soils: Proc. 1st International Conference on Unsaturated Soils, Paris (Eds. Alonso & Delage), Vol. 3, Balkema.
- Shibuya, S., Tamrakar, S.B., and Theramast. N. 2001. **Geotechnical Site Characterization on Engineering Properties of Bangkok Clay**. Journal of the Southeast Asia Geotechnical Society, 139 - 151.
- Skempton, A.W. 1964. **Long - term stability of clay slope**. Fourth Rankine Lecture. Geotechnique, 14: 2: 77.
- Terzaghi, K., R.B. Peck, G. Mesri. 1996. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 3rd ed. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Tsai, C.Y. 1982. **A Monograph on the Engineering Properties of Bangkok Subsoils**. M.Eng. Thesis., Asian Institute of Technology, Bangkok.

Wang, W. 1969. **Effect of Anisotropic Consolidation on the shear strength of Bangkok clay.**

M.Eng.Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Wang, W.S. 1967. **Shear strength characteristics of Bangkok clay.** M.Eng.Thesis, SEATO

Graduate School of Engineering, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความชุ่มน้ำ (SWCC)

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SOIL WATER CHARACTERISTIC CURVE																																																																																																																																																																	
PROJECT : <u> คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ </u> LOCATION : <u> - </u> DATE : <u> 17 มิถุนายน 2008 </u> TEST NO. : <u> SWCC - 1 </u> TESTED BY : <u> Wasan Sutthinun </u> SAMPLE DEPTH : <u> 3.0(3)-3.5 </u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u> 62.75 mm. </u> SAMPLE THICKNESS : <u> 27.28 mm. </u> NATURAL WATER CONTENT : <u> 96.30 % </u>																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Sample</th> <th>Diameter (average) mm.</th> <th>Thickness (average) mm.</th> <th>Wet soil mass g.</th> <th>Suction kPa.</th> <th>Void ratio</th> <th>Degree of saturation Sr, %</th> <th>Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>17 มิถุนายน 2008</td><td>initial</td><td>62.75</td><td>27.28</td><td>127.12</td><td>5.00</td><td>2.44</td><td>104.21</td><td>73.91</td></tr> <tr><td>20 มิถุนายน 2008</td><td>1 dry</td><td>62.60</td><td>27.28</td><td>125.42</td><td>8.41</td><td>2.42</td><td>102.05</td><td>72.24</td></tr> <tr><td>2 กรกฎาคม 2008</td><td>2 dry</td><td>62.57</td><td>27.28</td><td>125.05</td><td>7.73</td><td>2.42</td><td>101.58</td><td>71.88</td></tr> <tr><td>5 กรกฎาคม 2008</td><td>3 dry</td><td>62.48</td><td>27.28</td><td>124.56</td><td>11.82</td><td>2.41</td><td>101.14</td><td>71.48</td></tr> <tr><td>10 กรกฎาคม 2008</td><td>4 dry</td><td>62.25</td><td>27.28</td><td>123.99</td><td>13.86</td><td>2.39</td><td>101.24</td><td>71.33</td></tr> <tr><td>13 กรกฎาคม 2008</td><td>5 dry</td><td>61.90</td><td>26.97</td><td>123.88</td><td>20.91</td><td>2.31</td><td>104.42</td><td>72.85</td></tr> <tr><td>17 กรกฎาคม 2008</td><td>6 dry</td><td>61.75</td><td>26.77</td><td>122.95</td><td>18.86</td><td>2.27</td><td>104.61</td><td>72.60</td></tr> <tr><td>28 กรกฎาคม 2008</td><td>7 dry</td><td>61.48</td><td>26.43</td><td>121.03</td><td>23.86</td><td>2.20</td><td>104.31</td><td>71.70</td></tr> <tr><td>4 สิงหาคม 2008</td><td>8 dry</td><td>61.22</td><td>26.45</td><td>120.48</td><td>30.68</td><td>2.17</td><td>104.51</td><td>71.58</td></tr> <tr><td>5 สิงหาคม 2008</td><td>9 dry</td><td>60.83</td><td>26.37</td><td>119.43</td><td>38.86</td><td>2.12</td><td>104.93</td><td>71.34</td></tr> <tr><td>11 สิงหาคม 2008</td><td>10 dry</td><td>60.67</td><td>26.27</td><td>118.57</td><td>41.82</td><td>2.10</td><td>104.70</td><td>70.87</td></tr> <tr><td>29 สิงหาคม 2008</td><td>11 dry</td><td>60.28</td><td>26.00</td><td>116.85</td><td>61.27</td><td>2.03</td><td>104.86</td><td>70.20</td></tr> <tr><td>4 กันยายน 2008</td><td>12 dry</td><td>59.85</td><td>25.97</td><td>115.71</td><td>72.80</td><td>1.98</td><td>104.99</td><td>69.74</td></tr> <tr><td>10 มีนาคม 2009</td><td>13 dry</td><td>59.20</td><td>25.70</td><td>112.43</td><td>116.03</td><td>1.88</td><td>103.17</td><td>67.39</td></tr> <tr><td>13 มีนาคม 2009</td><td>14 dry</td><td>58.88</td><td>25.57</td><td>111.84</td><td>202.70</td><td>1.84</td><td>104.41</td><td>67.63</td></tr> <tr><td>24 มีนาคม 2009</td><td>15 dry</td><td>57.63</td><td>25.07</td><td>104.98</td><td>504.29</td><td>1.67</td><td>98.43</td><td>61.51</td></tr> </tbody> </table>									Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %	17 มิถุนายน 2008	initial	62.75	27.28	127.12	5.00	2.44	104.21	73.91	20 มิถุนายน 2008	1 dry	62.60	27.28	125.42	8.41	2.42	102.05	72.24	2 กรกฎาคม 2008	2 dry	62.57	27.28	125.05	7.73	2.42	101.58	71.88	5 กรกฎาคม 2008	3 dry	62.48	27.28	124.56	11.82	2.41	101.14	71.48	10 กรกฎาคม 2008	4 dry	62.25	27.28	123.99	13.86	2.39	101.24	71.33	13 กรกฎาคม 2008	5 dry	61.90	26.97	123.88	20.91	2.31	104.42	72.85	17 กรกฎาคม 2008	6 dry	61.75	26.77	122.95	18.86	2.27	104.61	72.60	28 กรกฎาคม 2008	7 dry	61.48	26.43	121.03	23.86	2.20	104.31	71.70	4 สิงหาคม 2008	8 dry	61.22	26.45	120.48	30.68	2.17	104.51	71.58	5 สิงหาคม 2008	9 dry	60.83	26.37	119.43	38.86	2.12	104.93	71.34	11 สิงหาคม 2008	10 dry	60.67	26.27	118.57	41.82	2.10	104.70	70.87	29 สิงหาคม 2008	11 dry	60.28	26.00	116.85	61.27	2.03	104.86	70.20	4 กันยายน 2008	12 dry	59.85	25.97	115.71	72.80	1.98	104.99	69.74	10 มีนาคม 2009	13 dry	59.20	25.70	112.43	116.03	1.88	103.17	67.39	13 มีนาคม 2009	14 dry	58.88	25.57	111.84	202.70	1.84	104.41	67.63	24 มีนาคม 2009	15 dry	57.63	25.07	104.98	504.29	1.67	98.43	61.51
Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %																																																																																																																																																									
17 มิถุนายน 2008	initial	62.75	27.28	127.12	5.00	2.44	104.21	73.91																																																																																																																																																									
20 มิถุนายน 2008	1 dry	62.60	27.28	125.42	8.41	2.42	102.05	72.24																																																																																																																																																									
2 กรกฎาคม 2008	2 dry	62.57	27.28	125.05	7.73	2.42	101.58	71.88																																																																																																																																																									
5 กรกฎาคม 2008	3 dry	62.48	27.28	124.56	11.82	2.41	101.14	71.48																																																																																																																																																									
10 กรกฎาคม 2008	4 dry	62.25	27.28	123.99	13.86	2.39	101.24	71.33																																																																																																																																																									
13 กรกฎาคม 2008	5 dry	61.90	26.97	123.88	20.91	2.31	104.42	72.85																																																																																																																																																									
17 กรกฎาคม 2008	6 dry	61.75	26.77	122.95	18.86	2.27	104.61	72.60																																																																																																																																																									
28 กรกฎาคม 2008	7 dry	61.48	26.43	121.03	23.86	2.20	104.31	71.70																																																																																																																																																									
4 สิงหาคม 2008	8 dry	61.22	26.45	120.48	30.68	2.17	104.51	71.58																																																																																																																																																									
5 สิงหาคม 2008	9 dry	60.83	26.37	119.43	38.86	2.12	104.93	71.34																																																																																																																																																									
11 สิงหาคม 2008	10 dry	60.67	26.27	118.57	41.82	2.10	104.70	70.87																																																																																																																																																									
29 สิงหาคม 2008	11 dry	60.28	26.00	116.85	61.27	2.03	104.86	70.20																																																																																																																																																									
4 กันยายน 2008	12 dry	59.85	25.97	115.71	72.80	1.98	104.99	69.74																																																																																																																																																									
10 มีนาคม 2009	13 dry	59.20	25.70	112.43	116.03	1.88	103.17	67.39																																																																																																																																																									
13 มีนาคม 2009	14 dry	58.88	25.57	111.84	202.70	1.84	104.41	67.63																																																																																																																																																									
24 มีนาคม 2009	15 dry	57.63	25.07	104.98	504.29	1.67	98.43	61.51																																																																																																																																																									

ภาพผนวกที่ ก1 ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 1)

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SOIL WATER CHARACTERISTIC CURVE																																																																																																																																																																	
PROJECT : <u> คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ </u> LOCATION : <u> - </u> DATE : <u> 17 มิถุนายน 2008 </u> TEST NO. : <u> SWCC-2 </u> TESTED BY : <u> Wasan Sutthinun </u> SAMPLE DEPTH : <u> 3.0(3)-3.5 </u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u> 61.90 mm. </u> SAMPLE THICKNESS : <u> 23.67 mm. </u> NATURAL WATER CONTENT : <u> 96.30 % </u>																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Sample</th> <th>Diameter (average) mm.</th> <th>Thickness (average) mm.</th> <th>Wet soil mass g.</th> <th>Suction kPa.</th> <th>Void ratio</th> <th>Degree of saturation Sr, %</th> <th>Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>17 มิถุนายน 2008</td><td>initial</td><td>61.90</td><td>23.67</td><td>107.67</td><td>5.40</td><td>2.43</td><td>104.71</td><td>74.17</td></tr> <tr><td>20 มิถุนายน 2008</td><td>1 dry</td><td>61.83</td><td>23.60</td><td>106.46</td><td>8.10</td><td>2.41</td><td>103.03</td><td>72.83</td></tr> <tr><td>2 กรกฎาคม 2008</td><td>2 dry</td><td>61.83</td><td>23.52</td><td>105.79</td><td>7.78</td><td>2.40</td><td>102.21</td><td>72.14</td></tr> <tr><td>5 กรกฎาคม 2008</td><td>3 dry</td><td>61.83</td><td>23.47</td><td>105.27</td><td>13.17</td><td>2.39</td><td>101.47</td><td>71.55</td></tr> <tr><td>10 กรกฎาคม 2008</td><td>4 dry</td><td>61.83</td><td>23.43</td><td>104.73</td><td>13.33</td><td>2.39</td><td>100.59</td><td>70.89</td></tr> <tr><td>13 กรกฎาคม 2008</td><td>5 dry</td><td>61.40</td><td>23.38</td><td>104.60</td><td>15.56</td><td>2.33</td><td>102.66</td><td>71.86</td></tr> <tr><td>17 กรกฎาคม 2008</td><td>6 dry</td><td>61.40</td><td>23.08</td><td>103.65</td><td>21.11</td><td>2.29</td><td>102.58</td><td>71.40</td></tr> <tr><td>28 กรกฎาคม 2008</td><td>7 dry</td><td>61.20</td><td>22.93</td><td>101.72</td><td>31.82</td><td>2.25</td><td>100.40</td><td>69.48</td></tr> <tr><td>4 สิงหาคม 2008</td><td>8 dry</td><td>61.00</td><td>22.95</td><td>101.11</td><td>40.23</td><td>2.23</td><td>99.93</td><td>68.97</td></tr> <tr><td>5 สิงหาคม 2008</td><td>9 dry</td><td>60.70</td><td>22.68</td><td>100.04</td><td>46.36</td><td>2.16</td><td>100.73</td><td>68.85</td></tr> <tr><td>11 สิงหาคม 2008</td><td>10 dry</td><td>60.50</td><td>22.62</td><td>99.50</td><td>54.44</td><td>2.13</td><td>100.93</td><td>68.68</td></tr> <tr><td>29 สิงหาคม 2008</td><td>11 dry</td><td>59.83</td><td>22.27</td><td>96.85</td><td>72.93</td><td>2.01</td><td>100.36</td><td>67.07</td></tr> <tr><td>4 กันยายน 2008</td><td>12 dry</td><td>60.03</td><td>22.26</td><td>96.29</td><td>82.86</td><td>2.03</td><td>98.13</td><td>65.77</td></tr> <tr><td>10 มีนาคม 2009</td><td>13 dry</td><td>58.98</td><td>22.20</td><td>93.74</td><td>116.03</td><td>1.92</td><td>97.51</td><td>64.11</td></tr> <tr><td>13 มีนาคม 2009</td><td>14 dry</td><td>58.78</td><td>22.12</td><td>93.15</td><td>202.70</td><td>1.89</td><td>97.59</td><td>63.81</td></tr> <tr><td>24 มีนาคม 2009</td><td>15 dry</td><td>58.10</td><td>21.58</td><td>89.51</td><td>504.29</td><td>1.75</td><td>95.10</td><td>60.57</td></tr> </tbody> </table>									Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %	17 มิถุนายน 2008	initial	61.90	23.67	107.67	5.40	2.43	104.71	74.17	20 มิถุนายน 2008	1 dry	61.83	23.60	106.46	8.10	2.41	103.03	72.83	2 กรกฎาคม 2008	2 dry	61.83	23.52	105.79	7.78	2.40	102.21	72.14	5 กรกฎาคม 2008	3 dry	61.83	23.47	105.27	13.17	2.39	101.47	71.55	10 กรกฎาคม 2008	4 dry	61.83	23.43	104.73	13.33	2.39	100.59	70.89	13 กรกฎาคม 2008	5 dry	61.40	23.38	104.60	15.56	2.33	102.66	71.86	17 กรกฎาคม 2008	6 dry	61.40	23.08	103.65	21.11	2.29	102.58	71.40	28 กรกฎาคม 2008	7 dry	61.20	22.93	101.72	31.82	2.25	100.40	69.48	4 สิงหาคม 2008	8 dry	61.00	22.95	101.11	40.23	2.23	99.93	68.97	5 สิงหาคม 2008	9 dry	60.70	22.68	100.04	46.36	2.16	100.73	68.85	11 สิงหาคม 2008	10 dry	60.50	22.62	99.50	54.44	2.13	100.93	68.68	29 สิงหาคม 2008	11 dry	59.83	22.27	96.85	72.93	2.01	100.36	67.07	4 กันยายน 2008	12 dry	60.03	22.26	96.29	82.86	2.03	98.13	65.77	10 มีนาคม 2009	13 dry	58.98	22.20	93.74	116.03	1.92	97.51	64.11	13 มีนาคม 2009	14 dry	58.78	22.12	93.15	202.70	1.89	97.59	63.81	24 มีนาคม 2009	15 dry	58.10	21.58	89.51	504.29	1.75	95.10	60.57
Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %																																																																																																																																																									
17 มิถุนายน 2008	initial	61.90	23.67	107.67	5.40	2.43	104.71	74.17																																																																																																																																																									
20 มิถุนายน 2008	1 dry	61.83	23.60	106.46	8.10	2.41	103.03	72.83																																																																																																																																																									
2 กรกฎาคม 2008	2 dry	61.83	23.52	105.79	7.78	2.40	102.21	72.14																																																																																																																																																									
5 กรกฎาคม 2008	3 dry	61.83	23.47	105.27	13.17	2.39	101.47	71.55																																																																																																																																																									
10 กรกฎาคม 2008	4 dry	61.83	23.43	104.73	13.33	2.39	100.59	70.89																																																																																																																																																									
13 กรกฎาคม 2008	5 dry	61.40	23.38	104.60	15.56	2.33	102.66	71.86																																																																																																																																																									
17 กรกฎาคม 2008	6 dry	61.40	23.08	103.65	21.11	2.29	102.58	71.40																																																																																																																																																									
28 กรกฎาคม 2008	7 dry	61.20	22.93	101.72	31.82	2.25	100.40	69.48																																																																																																																																																									
4 สิงหาคม 2008	8 dry	61.00	22.95	101.11	40.23	2.23	99.93	68.97																																																																																																																																																									
5 สิงหาคม 2008	9 dry	60.70	22.68	100.04	46.36	2.16	100.73	68.85																																																																																																																																																									
11 สิงหาคม 2008	10 dry	60.50	22.62	99.50	54.44	2.13	100.93	68.68																																																																																																																																																									
29 สิงหาคม 2008	11 dry	59.83	22.27	96.85	72.93	2.01	100.36	67.07																																																																																																																																																									
4 กันยายน 2008	12 dry	60.03	22.26	96.29	82.86	2.03	98.13	65.77																																																																																																																																																									
10 มีนาคม 2009	13 dry	58.98	22.20	93.74	116.03	1.92	97.51	64.11																																																																																																																																																									
13 มีนาคม 2009	14 dry	58.78	22.12	93.15	202.70	1.89	97.59	63.81																																																																																																																																																									
24 มีนาคม 2009	15 dry	58.10	21.58	89.51	504.29	1.75	95.10	60.57																																																																																																																																																									

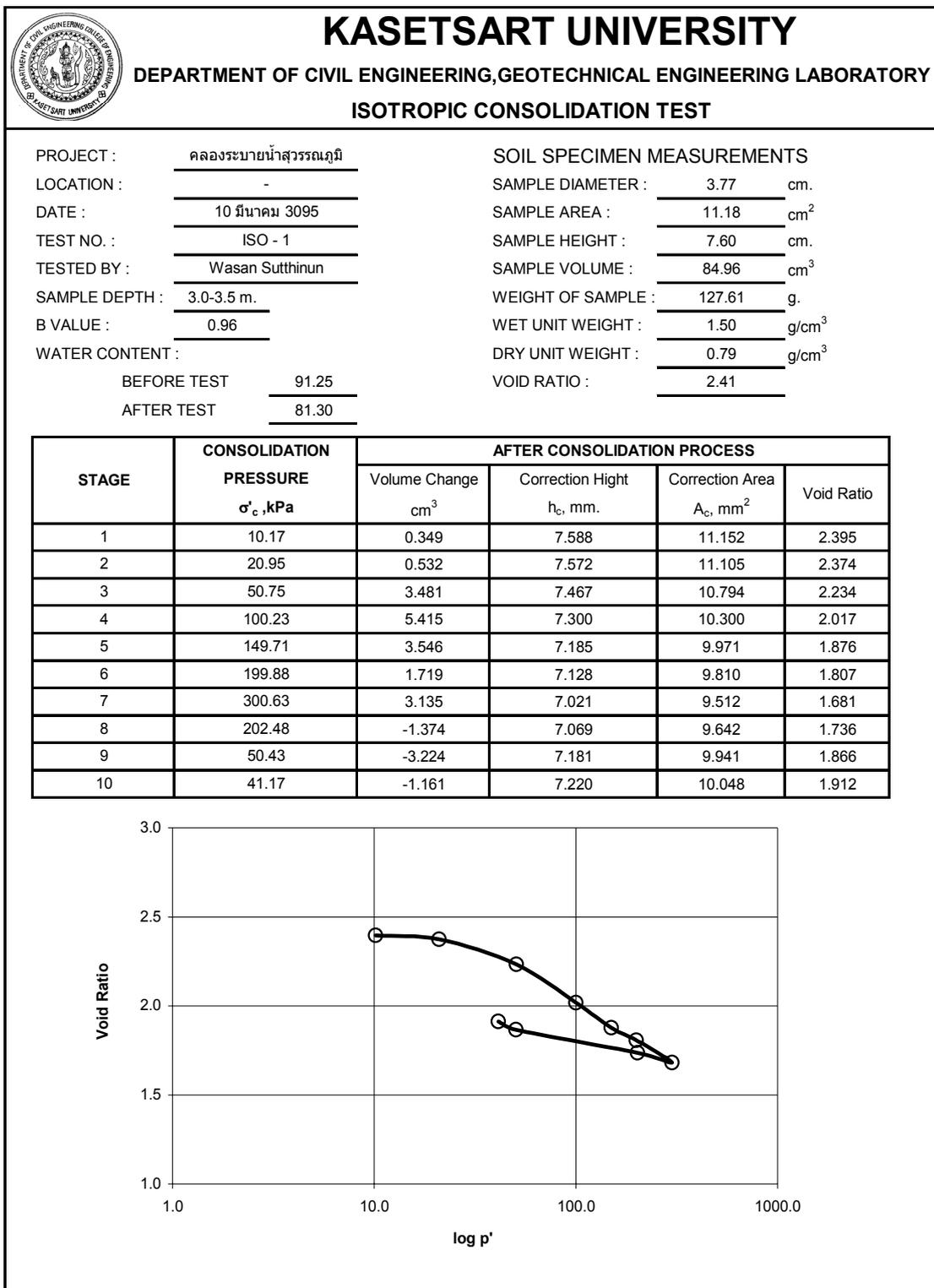
ภาพผนวกที่ ก2 ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความสัมพันธ์ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 2)

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SOIL WATER CHARACTERISTIC CURVE																																																																																																																													
PROJECT : <u>กรุงเทพฯ-ชลบุรี สายใหม่</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>23 กันยายน 2008</u> TEST NO. : <u>SWCC-3</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>6.00-6.60</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>62.55 mm.</u> SAMPLE THICKNESS : <u>34.65 mm.</u> NATURAL WATER CONTENT : <u>109.74 %</u>																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Sample</th> <th>Diameter (average) mm.</th> <th>Thickness (average) mm.</th> <th>Wet soil mass g.</th> <th>Suction kPa.</th> <th>Void ratio</th> <th>Degree of saturation Sr, %</th> <th>Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>23 กันยายน 2008</td><td>initial</td><td>62.55</td><td>34.65</td><td>156.09</td><td>8.20</td><td>2.76</td><td>104.46</td><td>76.70</td></tr> <tr><td>25 กันยายน 2008</td><td>1 dry</td><td>61.83</td><td>34.65</td><td>155.53</td><td>6.19</td><td>2.80</td><td>102.19</td><td>75.33</td></tr> <tr><td>2 ตุลาคม 2008</td><td>2 dry</td><td>61.83</td><td>34.45</td><td>154.34</td><td>10.14</td><td>2.72</td><td>103.94</td><td>75.98</td></tr> <tr><td>14 ตุลาคม 2008</td><td>3 dry</td><td>61.83</td><td>34.25</td><td>153.45</td><td>12.96</td><td>2.69</td><td>103.84</td><td>75.69</td></tr> <tr><td>30 ตุลาคม 2008</td><td>4 dry</td><td>61.83</td><td>34.15</td><td>152.29</td><td>15.87</td><td>2.66</td><td>103.56</td><td>75.24</td></tr> <tr><td>6 มกราคม 2009</td><td>5 dry</td><td>61.40</td><td>34.00</td><td>150.58</td><td>22.43</td><td>2.63</td><td>102.43</td><td>74.19</td></tr> <tr><td>15 มกราคม 2009</td><td>6 dry</td><td>61.40</td><td>33.80</td><td>147.91</td><td>29.68</td><td>2.55</td><td>101.84</td><td>73.15</td></tr> <tr><td>31 มกราคม 2009</td><td>7 dry</td><td>61.20</td><td>33.40</td><td>142.52</td><td>40.95</td><td>2.37</td><td>101.59</td><td>71.43</td></tr> <tr><td>15 กุมภาพันธ์ 2009</td><td>8 dry</td><td>61.00</td><td>32.10</td><td>133.57</td><td>71.14</td><td>2.10</td><td>99.47</td><td>67.40</td></tr> <tr><td>10 มีนาคม 2009</td><td>9 dry</td><td>60.70</td><td>31.93</td><td>132.79</td><td>116.03</td><td>2.05</td><td>100.68</td><td>67.66</td></tr> <tr><td>13 มีนาคม 2009</td><td>10 dry</td><td>60.50</td><td>31.82</td><td>131.37</td><td>202.70</td><td>2.00</td><td>100.81</td><td>67.17</td></tr> <tr><td>24 มีนาคม 2009</td><td>11 dry</td><td>59.83</td><td>30.50</td><td>127.14</td><td>504.29</td><td>1.81</td><td>103.01</td><td>66.34</td></tr> </tbody> </table>									Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %	23 กันยายน 2008	initial	62.55	34.65	156.09	8.20	2.76	104.46	76.70	25 กันยายน 2008	1 dry	61.83	34.65	155.53	6.19	2.80	102.19	75.33	2 ตุลาคม 2008	2 dry	61.83	34.45	154.34	10.14	2.72	103.94	75.98	14 ตุลาคม 2008	3 dry	61.83	34.25	153.45	12.96	2.69	103.84	75.69	30 ตุลาคม 2008	4 dry	61.83	34.15	152.29	15.87	2.66	103.56	75.24	6 มกราคม 2009	5 dry	61.40	34.00	150.58	22.43	2.63	102.43	74.19	15 มกราคม 2009	6 dry	61.40	33.80	147.91	29.68	2.55	101.84	73.15	31 มกราคม 2009	7 dry	61.20	33.40	142.52	40.95	2.37	101.59	71.43	15 กุมภาพันธ์ 2009	8 dry	61.00	32.10	133.57	71.14	2.10	99.47	67.40	10 มีนาคม 2009	9 dry	60.70	31.93	132.79	116.03	2.05	100.68	67.66	13 มีนาคม 2009	10 dry	60.50	31.82	131.37	202.70	2.00	100.81	67.17	24 มีนาคม 2009	11 dry	59.83	30.50	127.14	504.29	1.81	103.01	66.34
Date	Sample	Diameter (average) mm.	Thickness (average) mm.	Wet soil mass g.	Suction kPa.	Void ratio	Degree of saturation Sr, %	Volumetric water content ($\theta = V_w/V$), %																																																																																																																					
23 กันยายน 2008	initial	62.55	34.65	156.09	8.20	2.76	104.46	76.70																																																																																																																					
25 กันยายน 2008	1 dry	61.83	34.65	155.53	6.19	2.80	102.19	75.33																																																																																																																					
2 ตุลาคม 2008	2 dry	61.83	34.45	154.34	10.14	2.72	103.94	75.98																																																																																																																					
14 ตุลาคม 2008	3 dry	61.83	34.25	153.45	12.96	2.69	103.84	75.69																																																																																																																					
30 ตุลาคม 2008	4 dry	61.83	34.15	152.29	15.87	2.66	103.56	75.24																																																																																																																					
6 มกราคม 2009	5 dry	61.40	34.00	150.58	22.43	2.63	102.43	74.19																																																																																																																					
15 มกราคม 2009	6 dry	61.40	33.80	147.91	29.68	2.55	101.84	73.15																																																																																																																					
31 มกราคม 2009	7 dry	61.20	33.40	142.52	40.95	2.37	101.59	71.43																																																																																																																					
15 กุมภาพันธ์ 2009	8 dry	61.00	32.10	133.57	71.14	2.10	99.47	67.40																																																																																																																					
10 มีนาคม 2009	9 dry	60.70	31.93	132.79	116.03	2.05	100.68	67.66																																																																																																																					
13 มีนาคม 2009	10 dry	60.50	31.82	131.37	202.70	2.00	100.81	67.17																																																																																																																					
24 มีนาคม 2009	11 dry	59.83	30.50	127.14	504.29	1.81	103.01	66.34																																																																																																																					

ภาพผนวกที่ ก3 ผลการทดสอบหาเส้นโค้งความชื้นน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (SWCC - 3)

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง
(Isotropic Consolidation Test)



ภาพผนวกที่ ข1 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแรงกระทำเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation Test) ของตัวอย่างดินที่ความลึก 3.0 - 3.5 เมตร

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด

(Suction - monitored Unconfined Compression Test)

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJECT : <u>คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>26 พฤศจิกายน 2550</u> TEST NO. : <u>S - 4</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>3.5(3) - 4.0 m.</u> PROVING RING NO. : <u>8750</u> PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.0778</u> kg/Div LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min PROBE NO. : <u>#25</u> INITIAL VOLT : <u>4.1</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>3.82</u> cm. SAMPLE AREA : <u>11.47</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>7.60</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>87.16</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>129.15</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.48</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.76</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>95.07</u> % AFTER TEST <u>89.70</u> % DEGREE OF SATURATION : <u>96.84</u> %																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$</th> <th>$q'$ (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-22.273</td><td>0.000</td><td>11.468</td><td>0.000</td><td>22.273</td><td>22.273</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.200</td><td>0.311</td><td>-21.136</td><td>0.263</td><td>11.499</td><td>2.654</td><td>23.790</td><td>22.463</td><td>1.327</td></tr> <tr><td>0.400</td><td>1.167</td><td>-18.182</td><td>0.526</td><td>11.529</td><td>9.926</td><td>28.108</td><td>23.145</td><td>4.963</td></tr> <tr><td>0.600</td><td>1.556</td><td>-17.045</td><td>0.789</td><td>11.560</td><td>13.200</td><td>30.245</td><td>23.645</td><td>6.600</td></tr> <tr><td>0.800</td><td>1.898</td><td>-16.818</td><td>1.053</td><td>11.590</td><td>16.061</td><td>32.879</td><td>24.849</td><td>8.030</td></tr> <tr><td>1.000</td><td>2.171</td><td>-16.591</td><td>1.316</td><td>11.621</td><td>18.316</td><td>34.907</td><td>25.749</td><td>9.158</td></tr> <tr><td>1.200</td><td>2.326</td><td>-16.136</td><td>1.579</td><td>11.652</td><td>19.576</td><td>35.713</td><td>25.924</td><td>9.788</td></tr> <tr><td>1.400</td><td>2.420</td><td>-15.909</td><td>1.842</td><td>11.684</td><td>20.307</td><td>36.217</td><td>26.063</td><td>10.154</td></tr> <tr><td>1.600</td><td>2.513</td><td>-15.682</td><td>2.105</td><td>11.715</td><td>21.035</td><td>36.716</td><td>26.199</td><td>10.517</td></tr> <tr><td>1.800</td><td>2.645</td><td>-15.455</td><td>2.368</td><td>11.747</td><td>22.082</td><td>37.537</td><td>26.496</td><td>11.041</td></tr> <tr><td>2.000</td><td>2.723</td><td>-15.227</td><td>2.632</td><td>11.778</td><td>22.670</td><td>37.898</td><td>26.562</td><td>11.335</td></tr> <tr><td>2.500</td><td>2.879</td><td>-14.773</td><td>3.289</td><td>11.858</td><td>23.804</td><td>38.577</td><td>26.675</td><td>11.902</td></tr> <tr><td>3.125</td><td>2.980</td><td>-14.091</td><td>4.112</td><td>11.960</td><td>24.431</td><td>38.522</td><td>26.306</td><td>12.215</td></tr> <tr><td>3.625</td><td>3.089</td><td>-13.864</td><td>4.770</td><td>12.043</td><td>25.150</td><td>39.014</td><td>26.439</td><td>12.575</td></tr> <tr><td>4.125</td><td>3.166</td><td>-13.409</td><td>5.428</td><td>12.127</td><td>25.605</td><td>39.014</td><td>26.212</td><td>12.803</td></tr> <tr><td>4.625</td><td>3.268</td><td>-13.182</td><td>6.086</td><td>12.211</td><td>26.239</td><td>39.421</td><td>26.301</td><td>13.120</td></tr> <tr><td>5.125</td><td>3.369</td><td>-12.955</td><td>6.743</td><td>12.298</td><td>26.862</td><td>39.817</td><td>26.386</td><td>13.431</td></tr> <tr><td>5.625</td><td>3.431</td><td>-12.727</td><td>7.401</td><td>12.385</td><td>27.165</td><td>39.893</td><td>26.310</td><td>13.583</td></tr> <tr><td>6.125</td><td>3.478</td><td>-12.500</td><td>8.059</td><td>12.474</td><td>27.339</td><td>39.839</td><td>26.170</td><td>13.670</td></tr> <tr><td>6.625</td><td>3.555</td><td>-12.273</td><td>8.717</td><td>12.564</td><td>27.751</td><td>40.024</td><td>26.148</td><td>13.875</td></tr> <tr><td>7.125</td><td>3.618</td><td>-12.045</td><td>9.375</td><td>12.655</td><td>28.033</td><td>40.079</td><td>26.062</td><td>14.017</td></tr> <tr><td>8.250</td><td>3.742</td><td>-11.818</td><td>10.855</td><td>12.865</td><td>28.524</td><td>40.342</td><td>26.080</td><td>14.262</td></tr> <tr><td>10.500</td><td>3.874</td><td>-11.591</td><td>13.816</td><td>13.307</td><td>28.551</td><td>40.142</td><td>25.867</td><td>14.276</td></tr> <tr><td>13.000</td><td>3.921</td><td>-11.364</td><td>17.105</td><td>13.835</td><td>27.793</td><td>39.156</td><td>25.260</td><td>13.896</td></tr> <tr><td>15.000</td><td>3.921</td><td>-11.364</td><td>19.737</td><td>14.288</td><td>26.910</td><td>38.274</td><td>24.819</td><td>13.455</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$	q' (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$	0.000	0.000	-22.273	0.000	11.468	0.000	22.273	22.273	0.000	0.200	0.311	-21.136	0.263	11.499	2.654	23.790	22.463	1.327	0.400	1.167	-18.182	0.526	11.529	9.926	28.108	23.145	4.963	0.600	1.556	-17.045	0.789	11.560	13.200	30.245	23.645	6.600	0.800	1.898	-16.818	1.053	11.590	16.061	32.879	24.849	8.030	1.000	2.171	-16.591	1.316	11.621	18.316	34.907	25.749	9.158	1.200	2.326	-16.136	1.579	11.652	19.576	35.713	25.924	9.788	1.400	2.420	-15.909	1.842	11.684	20.307	36.217	26.063	10.154	1.600	2.513	-15.682	2.105	11.715	21.035	36.716	26.199	10.517	1.800	2.645	-15.455	2.368	11.747	22.082	37.537	26.496	11.041	2.000	2.723	-15.227	2.632	11.778	22.670	37.898	26.562	11.335	2.500	2.879	-14.773	3.289	11.858	23.804	38.577	26.675	11.902	3.125	2.980	-14.091	4.112	11.960	24.431	38.522	26.306	12.215	3.625	3.089	-13.864	4.770	12.043	25.150	39.014	26.439	12.575	4.125	3.166	-13.409	5.428	12.127	25.605	39.014	26.212	12.803	4.625	3.268	-13.182	6.086	12.211	26.239	39.421	26.301	13.120	5.125	3.369	-12.955	6.743	12.298	26.862	39.817	26.386	13.431	5.625	3.431	-12.727	7.401	12.385	27.165	39.893	26.310	13.583	6.125	3.478	-12.500	8.059	12.474	27.339	39.839	26.170	13.670	6.625	3.555	-12.273	8.717	12.564	27.751	40.024	26.148	13.875	7.125	3.618	-12.045	9.375	12.655	28.033	40.079	26.062	14.017	8.250	3.742	-11.818	10.855	12.865	28.524	40.342	26.080	14.262	10.500	3.874	-11.591	13.816	13.307	28.551	40.142	25.867	14.276	13.000	3.921	-11.364	17.105	13.835	27.793	39.156	25.260	13.896	15.000	3.921	-11.364	19.737	14.288	26.910	38.274	24.819	13.455
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$	q' (kPa.) $\frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$																																																																																																																																																																																																																																										
0.000	0.000	-22.273	0.000	11.468	0.000	22.273	22.273	0.000																																																																																																																																																																																																																																										
0.200	0.311	-21.136	0.263	11.499	2.654	23.790	22.463	1.327																																																																																																																																																																																																																																										
0.400	1.167	-18.182	0.526	11.529	9.926	28.108	23.145	4.963																																																																																																																																																																																																																																										
0.600	1.556	-17.045	0.789	11.560	13.200	30.245	23.645	6.600																																																																																																																																																																																																																																										
0.800	1.898	-16.818	1.053	11.590	16.061	32.879	24.849	8.030																																																																																																																																																																																																																																										
1.000	2.171	-16.591	1.316	11.621	18.316	34.907	25.749	9.158																																																																																																																																																																																																																																										
1.200	2.326	-16.136	1.579	11.652	19.576	35.713	25.924	9.788																																																																																																																																																																																																																																										
1.400	2.420	-15.909	1.842	11.684	20.307	36.217	26.063	10.154																																																																																																																																																																																																																																										
1.600	2.513	-15.682	2.105	11.715	21.035	36.716	26.199	10.517																																																																																																																																																																																																																																										
1.800	2.645	-15.455	2.368	11.747	22.082	37.537	26.496	11.041																																																																																																																																																																																																																																										
2.000	2.723	-15.227	2.632	11.778	22.670	37.898	26.562	11.335																																																																																																																																																																																																																																										
2.500	2.879	-14.773	3.289	11.858	23.804	38.577	26.675	11.902																																																																																																																																																																																																																																										
3.125	2.980	-14.091	4.112	11.960	24.431	38.522	26.306	12.215																																																																																																																																																																																																																																										
3.625	3.089	-13.864	4.770	12.043	25.150	39.014	26.439	12.575																																																																																																																																																																																																																																										
4.125	3.166	-13.409	5.428	12.127	25.605	39.014	26.212	12.803																																																																																																																																																																																																																																										
4.625	3.268	-13.182	6.086	12.211	26.239	39.421	26.301	13.120																																																																																																																																																																																																																																										
5.125	3.369	-12.955	6.743	12.298	26.862	39.817	26.386	13.431																																																																																																																																																																																																																																										
5.625	3.431	-12.727	7.401	12.385	27.165	39.893	26.310	13.583																																																																																																																																																																																																																																										
6.125	3.478	-12.500	8.059	12.474	27.339	39.839	26.170	13.670																																																																																																																																																																																																																																										
6.625	3.555	-12.273	8.717	12.564	27.751	40.024	26.148	13.875																																																																																																																																																																																																																																										
7.125	3.618	-12.045	9.375	12.655	28.033	40.079	26.062	14.017																																																																																																																																																																																																																																										
8.250	3.742	-11.818	10.855	12.865	28.524	40.342	26.080	14.262																																																																																																																																																																																																																																										
10.500	3.874	-11.591	13.816	13.307	28.551	40.142	25.867	14.276																																																																																																																																																																																																																																										
13.000	3.921	-11.364	17.105	13.835	27.793	39.156	25.260	13.896																																																																																																																																																																																																																																										
15.000	3.921	-11.364	19.737	14.288	26.910	38.274	24.819	13.455																																																																																																																																																																																																																																										

ภาพผนวกที่ ค4 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 4

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																																				
PROJECT : <u>คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>12 มกราคม 2551</u> TEST NO. : <u>S - 8</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>2.5(3) - 3.0 m.</u> PROVING RING NO. : <u>8750</u> PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.0778</u> kg/Div LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min PROBE NO. : <u>#24</u> INITIAL VOLT : <u>4.09</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>3.83</u> cm. SAMPLE AREA : <u>11.54</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>7.60</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>87.67</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>137.22</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.57</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.90</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>73.22</u> % AFTER TEST <u>70.31</u> % DEGREE OF SATURATION : <u>97.78</u> %																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2</th> <th>q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-55.227</td><td>0.000</td><td>11.536</td><td>0.000</td><td>55.227</td><td>55.227</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.200</td><td>1.556</td><td>-53.864</td><td>0.263</td><td>11.566</td><td>13.192</td><td>67.055</td><td>60.460</td><td>6.596</td></tr> <tr><td>0.350</td><td>2.863</td><td>-52.500</td><td>0.461</td><td>11.589</td><td>24.225</td><td>76.725</td><td>64.612</td><td>12.112</td></tr> <tr><td>0.500</td><td>3.859</td><td>-51.591</td><td>0.658</td><td>11.612</td><td>32.586</td><td>84.177</td><td>67.884</td><td>16.293</td></tr> <tr><td>0.650</td><td>4.450</td><td>-50.909</td><td>0.855</td><td>11.635</td><td>37.504</td><td>88.414</td><td>69.661</td><td>18.752</td></tr> <tr><td>0.800</td><td>4.878</td><td>-50.455</td><td>1.053</td><td>11.659</td><td>41.029</td><td>91.483</td><td>70.969</td><td>20.514</td></tr> <tr><td>0.950</td><td>5.158</td><td>-50.000</td><td>1.250</td><td>11.682</td><td>43.298</td><td>93.298</td><td>71.649</td><td>21.649</td></tr> <tr><td>1.100</td><td>5.353</td><td>-49.773</td><td>1.447</td><td>11.705</td><td>44.841</td><td>94.614</td><td>72.193</td><td>22.420</td></tr> <tr><td>1.250</td><td>5.485</td><td>-49.773</td><td>1.645</td><td>11.729</td><td>45.857</td><td>95.630</td><td>72.701</td><td>22.928</td></tr> <tr><td>1.400</td><td>5.609</td><td>-49.545</td><td>1.842</td><td>11.752</td><td>46.803</td><td>96.349</td><td>72.947</td><td>23.402</td></tr> <tr><td>1.550</td><td>5.726</td><td>-49.545</td><td>2.039</td><td>11.776</td><td>47.681</td><td>97.227</td><td>73.386</td><td>23.841</td></tr> <tr><td>1.700</td><td>5.819</td><td>-49.318</td><td>2.237</td><td>11.800</td><td>48.361</td><td>97.679</td><td>73.499</td><td>24.180</td></tr> <tr><td>1.850</td><td>5.889</td><td>-49.318</td><td>2.434</td><td>11.824</td><td>48.844</td><td>98.162</td><td>73.740</td><td>24.422</td></tr> <tr><td>2.000</td><td>5.952</td><td>-49.091</td><td>2.632</td><td>11.848</td><td>49.260</td><td>98.351</td><td>73.721</td><td>24.630</td></tr> <tr><td>2.150</td><td>6.022</td><td>-49.091</td><td>2.829</td><td>11.872</td><td>49.739</td><td>98.830</td><td>73.960</td><td>24.869</td></tr> <tr><td>2.300</td><td>6.068</td><td>-49.091</td><td>3.026</td><td>11.896</td><td>50.023</td><td>99.113</td><td>74.102</td><td>25.011</td></tr> <tr><td>2.450</td><td>6.123</td><td>-48.864</td><td>3.224</td><td>11.920</td><td>50.369</td><td>99.232</td><td>74.048</td><td>25.184</td></tr> <tr><td>2.950</td><td>6.236</td><td>-48.636</td><td>3.882</td><td>12.002</td><td>50.948</td><td>99.584</td><td>74.110</td><td>25.474</td></tr> <tr><td>3.450</td><td>6.356</td><td>-48.182</td><td>4.539</td><td>12.085</td><td>51.578</td><td>99.760</td><td>73.971</td><td>25.789</td></tr> <tr><td>3.950</td><td>6.383</td><td>-47.955</td><td>5.197</td><td>12.168</td><td>51.442</td><td>99.396</td><td>73.675</td><td>25.721</td></tr> <tr><td>4.200</td><td>6.383</td><td>-47.727</td><td>5.526</td><td>12.211</td><td>51.263</td><td>98.991</td><td>73.359</td><td>25.632</td></tr> <tr><td>4.600</td><td>6.457</td><td>-47.727</td><td>6.053</td><td>12.279</td><td>51.568</td><td>99.295</td><td>73.511</td><td>25.784</td></tr> <tr><td>5.300</td><td>6.434</td><td>-47.955</td><td>6.974</td><td>12.401</td><td>50.878</td><td>98.832</td><td>73.393</td><td>25.439</td></tr> <tr><td>5.550</td><td>6.403</td><td>-47.841</td><td>7.303</td><td>12.445</td><td>50.453</td><td>98.294</td><td>73.067</td><td>25.226</td></tr> <tr><td>5.675</td><td>6.380</td><td>-47.727</td><td>7.467</td><td>12.467</td><td>50.180</td><td>97.907</td><td>72.817</td><td>25.090</td></tr> <tr><td>5.800</td><td>6.372</td><td>-47.727</td><td>7.632</td><td>12.489</td><td>50.029</td><td>97.757</td><td>72.742</td><td>25.015</td></tr> <tr><td>6.425</td><td>6.068</td><td>-47.500</td><td>8.454</td><td>12.601</td><td>47.223</td><td>94.723</td><td>71.111</td><td>23.611</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2	0.000	0.000	-55.227	0.000	11.536	0.000	55.227	55.227	0.000	0.200	1.556	-53.864	0.263	11.566	13.192	67.055	60.460	6.596	0.350	2.863	-52.500	0.461	11.589	24.225	76.725	64.612	12.112	0.500	3.859	-51.591	0.658	11.612	32.586	84.177	67.884	16.293	0.650	4.450	-50.909	0.855	11.635	37.504	88.414	69.661	18.752	0.800	4.878	-50.455	1.053	11.659	41.029	91.483	70.969	20.514	0.950	5.158	-50.000	1.250	11.682	43.298	93.298	71.649	21.649	1.100	5.353	-49.773	1.447	11.705	44.841	94.614	72.193	22.420	1.250	5.485	-49.773	1.645	11.729	45.857	95.630	72.701	22.928	1.400	5.609	-49.545	1.842	11.752	46.803	96.349	72.947	23.402	1.550	5.726	-49.545	2.039	11.776	47.681	97.227	73.386	23.841	1.700	5.819	-49.318	2.237	11.800	48.361	97.679	73.499	24.180	1.850	5.889	-49.318	2.434	11.824	48.844	98.162	73.740	24.422	2.000	5.952	-49.091	2.632	11.848	49.260	98.351	73.721	24.630	2.150	6.022	-49.091	2.829	11.872	49.739	98.830	73.960	24.869	2.300	6.068	-49.091	3.026	11.896	50.023	99.113	74.102	25.011	2.450	6.123	-48.864	3.224	11.920	50.369	99.232	74.048	25.184	2.950	6.236	-48.636	3.882	12.002	50.948	99.584	74.110	25.474	3.450	6.356	-48.182	4.539	12.085	51.578	99.760	73.971	25.789	3.950	6.383	-47.955	5.197	12.168	51.442	99.396	73.675	25.721	4.200	6.383	-47.727	5.526	12.211	51.263	98.991	73.359	25.632	4.600	6.457	-47.727	6.053	12.279	51.568	99.295	73.511	25.784	5.300	6.434	-47.955	6.974	12.401	50.878	98.832	73.393	25.439	5.550	6.403	-47.841	7.303	12.445	50.453	98.294	73.067	25.226	5.675	6.380	-47.727	7.467	12.467	50.180	97.907	72.817	25.090	5.800	6.372	-47.727	7.632	12.489	50.029	97.757	72.742	25.015	6.425	6.068	-47.500	8.454	12.601	47.223	94.723	71.111	23.611
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2																																																																																																																																																																																																																																																												
0.000	0.000	-55.227	0.000	11.536	0.000	55.227	55.227	0.000																																																																																																																																																																																																																																																												
0.200	1.556	-53.864	0.263	11.566	13.192	67.055	60.460	6.596																																																																																																																																																																																																																																																												
0.350	2.863	-52.500	0.461	11.589	24.225	76.725	64.612	12.112																																																																																																																																																																																																																																																												
0.500	3.859	-51.591	0.658	11.612	32.586	84.177	67.884	16.293																																																																																																																																																																																																																																																												
0.650	4.450	-50.909	0.855	11.635	37.504	88.414	69.661	18.752																																																																																																																																																																																																																																																												
0.800	4.878	-50.455	1.053	11.659	41.029	91.483	70.969	20.514																																																																																																																																																																																																																																																												
0.950	5.158	-50.000	1.250	11.682	43.298	93.298	71.649	21.649																																																																																																																																																																																																																																																												
1.100	5.353	-49.773	1.447	11.705	44.841	94.614	72.193	22.420																																																																																																																																																																																																																																																												
1.250	5.485	-49.773	1.645	11.729	45.857	95.630	72.701	22.928																																																																																																																																																																																																																																																												
1.400	5.609	-49.545	1.842	11.752	46.803	96.349	72.947	23.402																																																																																																																																																																																																																																																												
1.550	5.726	-49.545	2.039	11.776	47.681	97.227	73.386	23.841																																																																																																																																																																																																																																																												
1.700	5.819	-49.318	2.237	11.800	48.361	97.679	73.499	24.180																																																																																																																																																																																																																																																												
1.850	5.889	-49.318	2.434	11.824	48.844	98.162	73.740	24.422																																																																																																																																																																																																																																																												
2.000	5.952	-49.091	2.632	11.848	49.260	98.351	73.721	24.630																																																																																																																																																																																																																																																												
2.150	6.022	-49.091	2.829	11.872	49.739	98.830	73.960	24.869																																																																																																																																																																																																																																																												
2.300	6.068	-49.091	3.026	11.896	50.023	99.113	74.102	25.011																																																																																																																																																																																																																																																												
2.450	6.123	-48.864	3.224	11.920	50.369	99.232	74.048	25.184																																																																																																																																																																																																																																																												
2.950	6.236	-48.636	3.882	12.002	50.948	99.584	74.110	25.474																																																																																																																																																																																																																																																												
3.450	6.356	-48.182	4.539	12.085	51.578	99.760	73.971	25.789																																																																																																																																																																																																																																																												
3.950	6.383	-47.955	5.197	12.168	51.442	99.396	73.675	25.721																																																																																																																																																																																																																																																												
4.200	6.383	-47.727	5.526	12.211	51.263	98.991	73.359	25.632																																																																																																																																																																																																																																																												
4.600	6.457	-47.727	6.053	12.279	51.568	99.295	73.511	25.784																																																																																																																																																																																																																																																												
5.300	6.434	-47.955	6.974	12.401	50.878	98.832	73.393	25.439																																																																																																																																																																																																																																																												
5.550	6.403	-47.841	7.303	12.445	50.453	98.294	73.067	25.226																																																																																																																																																																																																																																																												
5.675	6.380	-47.727	7.467	12.467	50.180	97.907	72.817	25.090																																																																																																																																																																																																																																																												
5.800	6.372	-47.727	7.632	12.489	50.029	97.757	72.742	25.015																																																																																																																																																																																																																																																												
6.425	6.068	-47.500	8.454	12.601	47.223	94.723	71.111	23.611																																																																																																																																																																																																																																																												

ภาพผนวกที่ ๑๘ ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 8

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																											
PROJECT : กรุงเทพฯ-ชลบุรี(สายใหม่) LOCATION : - DATE : 2 กรกฎาคม 2551 TEST NO. : S - 11 TESTED BY : Wasan Sutthinun SAMPLE DEPTH : 6.0(1) - 6.6 m. PROVING RING NO. : 8750 PROVING RING CONSTANT (K) : 0.0778 kg/Div LOADING RATE : 0.25 mm/min PROBE NO. : A2 INITIAL VOLT : 4.08	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : 3.85 cm. SAMPLE AREA : 11.61 cm ² SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm. SAMPLE VOLUME : 88.25 cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : 132.86 g. WET UNIT WEIGHT : 1.51 g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : 0.79 g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST 89.44 % AFTER TEST 86.05 % DEGREE OF SATURATION : 97.68 %																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2</th> <th>$q'$ (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-14.091</td><td>0.000</td><td>11.611</td><td>0.000</td><td>14.091</td><td>14.091</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.423</td><td>0.894</td><td>-9.091</td><td>0.556</td><td>11.676</td><td>7.512</td><td>16.603</td><td>12.847</td><td>3.756</td></tr> <tr><td>0.844</td><td>1.309</td><td>-7.955</td><td>1.111</td><td>11.742</td><td>10.932</td><td>18.886</td><td>13.420</td><td>5.466</td></tr> <tr><td>1.274</td><td>1.563</td><td>-7.500</td><td>1.676</td><td>11.809</td><td>12.983</td><td>20.483</td><td>13.991</td><td>6.491</td></tr> <tr><td>1.695</td><td>1.782</td><td>-7.045</td><td>2.230</td><td>11.876</td><td>14.711</td><td>21.756</td><td>14.401</td><td>7.355</td></tr> <tr><td>2.127</td><td>1.891</td><td>-6.591</td><td>2.799</td><td>11.946</td><td>15.521</td><td>22.112</td><td>14.351</td><td>7.760</td></tr> <tr><td>2.546</td><td>1.963</td><td>-6.364</td><td>3.350</td><td>12.014</td><td>16.026</td><td>22.390</td><td>14.377</td><td>8.013</td></tr> <tr><td>2.971</td><td>2.109</td><td>-6.136</td><td>3.910</td><td>12.084</td><td>17.114</td><td>23.250</td><td>14.693</td><td>8.557</td></tr> <tr><td>3.401</td><td>2.240</td><td>-5.909</td><td>4.475</td><td>12.155</td><td>18.069</td><td>23.978</td><td>14.944</td><td>9.035</td></tr> <tr><td>3.826</td><td>2.254</td><td>-5.909</td><td>5.034</td><td>12.227</td><td>18.080</td><td>23.989</td><td>14.949</td><td>9.040</td></tr> <tr><td>4.265</td><td>2.276</td><td>-5.909</td><td>5.611</td><td>12.302</td><td>18.144</td><td>24.053</td><td>14.981</td><td>9.072</td></tr> <tr><td>4.693</td><td>2.254</td><td>-5.909</td><td>6.175</td><td>12.375</td><td>17.863</td><td>23.772</td><td>14.840</td><td>8.931</td></tr> <tr><td>5.129</td><td>2.254</td><td>-6.136</td><td>6.748</td><td>12.452</td><td>17.754</td><td>23.890</td><td>15.013</td><td>8.877</td></tr> <tr><td>5.567</td><td>2.327</td><td>-6.136</td><td>7.325</td><td>12.529</td><td>18.213</td><td>24.349</td><td>15.243</td><td>9.106</td></tr> <tr><td>5.989</td><td>2.291</td><td>-6.136</td><td>7.880</td><td>12.605</td><td>17.821</td><td>23.957</td><td>15.047</td><td>8.911</td></tr> <tr><td>6.421</td><td>2.254</td><td>-6.364</td><td>8.448</td><td>12.683</td><td>17.430</td><td>23.794</td><td>15.079</td><td>8.715</td></tr> <tr><td>6.843</td><td>2.349</td><td>-6.591</td><td>9.005</td><td>12.760</td><td>18.051</td><td>24.641</td><td>15.616</td><td>9.025</td></tr> <tr><td>7.271</td><td>2.313</td><td>-6.591</td><td>9.568</td><td>12.840</td><td>17.661</td><td>24.252</td><td>15.421</td><td>8.831</td></tr> <tr><td>7.697</td><td>2.313</td><td>-6.818</td><td>10.128</td><td>12.920</td><td>17.552</td><td>24.370</td><td>15.594</td><td>8.776</td></tr> <tr><td>8.126</td><td>2.276</td><td>-7.045</td><td>10.692</td><td>13.002</td><td>17.167</td><td>24.213</td><td>15.629</td><td>8.584</td></tr> <tr><td>8.554</td><td>2.276</td><td>-7.045</td><td>11.256</td><td>13.084</td><td>17.059</td><td>24.104</td><td>15.575</td><td>8.529</td></tr> <tr><td>9.026</td><td>2.276</td><td>-7.273</td><td>11.876</td><td>13.176</td><td>16.940</td><td>24.213</td><td>15.743</td><td>8.470</td></tr> <tr><td>10.086</td><td>2.313</td><td>-7.727</td><td>13.271</td><td>13.388</td><td>16.938</td><td>24.665</td><td>16.196</td><td>8.469</td></tr> <tr><td>11.170</td><td>2.254</td><td>-8.182</td><td>14.697</td><td>13.612</td><td>16.240</td><td>24.422</td><td>16.302</td><td>8.120</td></tr> <tr><td>12.239</td><td>2.276</td><td>-8.636</td><td>16.104</td><td>13.840</td><td>16.127</td><td>24.763</td><td>16.700</td><td>8.063</td></tr> </tbody> </table>		Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2	0.000	0.000	-14.091	0.000	11.611	0.000	14.091	14.091	0.000	0.423	0.894	-9.091	0.556	11.676	7.512	16.603	12.847	3.756	0.844	1.309	-7.955	1.111	11.742	10.932	18.886	13.420	5.466	1.274	1.563	-7.500	1.676	11.809	12.983	20.483	13.991	6.491	1.695	1.782	-7.045	2.230	11.876	14.711	21.756	14.401	7.355	2.127	1.891	-6.591	2.799	11.946	15.521	22.112	14.351	7.760	2.546	1.963	-6.364	3.350	12.014	16.026	22.390	14.377	8.013	2.971	2.109	-6.136	3.910	12.084	17.114	23.250	14.693	8.557	3.401	2.240	-5.909	4.475	12.155	18.069	23.978	14.944	9.035	3.826	2.254	-5.909	5.034	12.227	18.080	23.989	14.949	9.040	4.265	2.276	-5.909	5.611	12.302	18.144	24.053	14.981	9.072	4.693	2.254	-5.909	6.175	12.375	17.863	23.772	14.840	8.931	5.129	2.254	-6.136	6.748	12.452	17.754	23.890	15.013	8.877	5.567	2.327	-6.136	7.325	12.529	18.213	24.349	15.243	9.106	5.989	2.291	-6.136	7.880	12.605	17.821	23.957	15.047	8.911	6.421	2.254	-6.364	8.448	12.683	17.430	23.794	15.079	8.715	6.843	2.349	-6.591	9.005	12.760	18.051	24.641	15.616	9.025	7.271	2.313	-6.591	9.568	12.840	17.661	24.252	15.421	8.831	7.697	2.313	-6.818	10.128	12.920	17.552	24.370	15.594	8.776	8.126	2.276	-7.045	10.692	13.002	17.167	24.213	15.629	8.584	8.554	2.276	-7.045	11.256	13.084	17.059	24.104	15.575	8.529	9.026	2.276	-7.273	11.876	13.176	16.940	24.213	15.743	8.470	10.086	2.313	-7.727	13.271	13.388	16.938	24.665	16.196	8.469	11.170	2.254	-8.182	14.697	13.612	16.240	24.422	16.302	8.120	12.239	2.276	-8.636	16.104	13.840	16.127	24.763	16.700	8.063
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2																																																																																																																																																																																																																																			
0.000	0.000	-14.091	0.000	11.611	0.000	14.091	14.091	0.000																																																																																																																																																																																																																																			
0.423	0.894	-9.091	0.556	11.676	7.512	16.603	12.847	3.756																																																																																																																																																																																																																																			
0.844	1.309	-7.955	1.111	11.742	10.932	18.886	13.420	5.466																																																																																																																																																																																																																																			
1.274	1.563	-7.500	1.676	11.809	12.983	20.483	13.991	6.491																																																																																																																																																																																																																																			
1.695	1.782	-7.045	2.230	11.876	14.711	21.756	14.401	7.355																																																																																																																																																																																																																																			
2.127	1.891	-6.591	2.799	11.946	15.521	22.112	14.351	7.760																																																																																																																																																																																																																																			
2.546	1.963	-6.364	3.350	12.014	16.026	22.390	14.377	8.013																																																																																																																																																																																																																																			
2.971	2.109	-6.136	3.910	12.084	17.114	23.250	14.693	8.557																																																																																																																																																																																																																																			
3.401	2.240	-5.909	4.475	12.155	18.069	23.978	14.944	9.035																																																																																																																																																																																																																																			
3.826	2.254	-5.909	5.034	12.227	18.080	23.989	14.949	9.040																																																																																																																																																																																																																																			
4.265	2.276	-5.909	5.611	12.302	18.144	24.053	14.981	9.072																																																																																																																																																																																																																																			
4.693	2.254	-5.909	6.175	12.375	17.863	23.772	14.840	8.931																																																																																																																																																																																																																																			
5.129	2.254	-6.136	6.748	12.452	17.754	23.890	15.013	8.877																																																																																																																																																																																																																																			
5.567	2.327	-6.136	7.325	12.529	18.213	24.349	15.243	9.106																																																																																																																																																																																																																																			
5.989	2.291	-6.136	7.880	12.605	17.821	23.957	15.047	8.911																																																																																																																																																																																																																																			
6.421	2.254	-6.364	8.448	12.683	17.430	23.794	15.079	8.715																																																																																																																																																																																																																																			
6.843	2.349	-6.591	9.005	12.760	18.051	24.641	15.616	9.025																																																																																																																																																																																																																																			
7.271	2.313	-6.591	9.568	12.840	17.661	24.252	15.421	8.831																																																																																																																																																																																																																																			
7.697	2.313	-6.818	10.128	12.920	17.552	24.370	15.594	8.776																																																																																																																																																																																																																																			
8.126	2.276	-7.045	10.692	13.002	17.167	24.213	15.629	8.584																																																																																																																																																																																																																																			
8.554	2.276	-7.045	11.256	13.084	17.059	24.104	15.575	8.529																																																																																																																																																																																																																																			
9.026	2.276	-7.273	11.876	13.176	16.940	24.213	15.743	8.470																																																																																																																																																																																																																																			
10.086	2.313	-7.727	13.271	13.388	16.938	24.665	16.196	8.469																																																																																																																																																																																																																																			
11.170	2.254	-8.182	14.697	13.612	16.240	24.422	16.302	8.120																																																																																																																																																																																																																																			
12.239	2.276	-8.636	16.104	13.840	16.127	24.763	16.700	8.063																																																																																																																																																																																																																																			

ภาพผนวกที่ ค11 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 11

Axial Displacement mm.		Axial Load kg.		Pore Pressure kPa.		Axial Strain %		Correction Area Ac, cm ²		Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.		σ'_1 kPa.		p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2		q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2	
0.000	0.000	-5.909	0.000	11.611	0.000	5.909	5.909	0.000	0.000	7.981	6.604	1.377	1.377				
0.262	0.327	-3.864	0.689	11.692	4.879	8.743	6.303	2.440	2.440	9.640	6.297	3.343	3.343				
0.524	0.582	-2.955	1.033	11.733	6.686	9.640	6.297	3.343	3.343	10.253	6.376	3.876	3.876				
0.785	0.800	-2.273	1.728	11.815	9.838	12.110	7.192	4.919	4.919	11.858	7.007	4.961	4.961				
1.047	0.931	-2.045	2.081	11.858	9.922	11.968	7.007	4.961	4.961	11.968	7.007	4.961	4.961				
1.313	1.185	-1.818	2.434	11.901	11.265	13.083	7.451	5.632	5.632	11.901	7.451	5.632	5.632				
1.581	1.200	-1.818	2.778	11.943	11.822	13.640	7.729	5.911	5.911	11.943	7.729	5.911	5.911				
1.850	1.367	-1.591	3.123	11.986	13.387	14.978	8.284	6.693	6.693	11.986	8.284	6.693	6.693				
2.111	1.440	-1.364	3.467	12.028	13.932	15.296	8.330	6.966	6.966	12.028	8.330	6.966	6.966				
2.373	1.636	-1.364	3.812	12.071	14.768	16.132	8.748	7.384	7.384	12.071	8.748	7.384	7.384				
2.635	1.709	-1.364	4.173	12.117	15.184	16.547	8.955	7.592	7.592	12.117	8.955	7.592	7.592				
2.897	1.818	-1.364	4.518	12.161	15.422	16.786	9.075	7.711	7.711	12.161	9.075	7.711	7.711				
3.172	1.876	-1.364	4.862	12.205	15.776	17.139	9.251	7.888	7.888	12.205	9.251	7.888	7.888				
3.434	1.913	-1.591	5.210	12.250	16.766	18.357	9.974	8.383	8.383	12.250	9.974	8.383	8.383				
3.695	1.963	-1.591	5.555	12.294	16.995	18.586	10.088	8.497	8.497	12.294	10.088	8.497	8.497				
3.960	2.094	-1.591	5.913	12.341	16.468	18.059	9.825	8.234	8.234	12.341	9.825	8.234	8.234				
4.222	2.131	-1.591	6.257	12.386	17.156	18.747	10.169	8.578	8.578	12.386	10.169	8.578	8.578				
4.494	2.073	-1.818	6.602	12.432	17.093	18.911	10.365	8.547	8.547	12.432	10.365	8.547	8.547				
4.756	2.167	-1.818	6.950	12.479	16.858	18.676	10.247	8.429	8.429	12.479	10.247	8.429	8.429				
5.017	2.145	-1.818	7.299	12.526	16.966	18.784	10.301	8.483	8.483	12.526	10.301	8.483	8.483				
5.282	2.167	-2.273	8.267	12.658	16.788	19.061	10.667	8.394	8.394	12.658	10.667	8.394	8.394				
5.548	2.167	-3.636	10.205	12.931	16.709	20.346	11.991	8.355	8.355	12.931	11.991	8.355	8.355				
6.283	2.203	-4.091	10.911	13.033	16.031	20.122	12.106	8.015	8.015	13.033	12.106	8.015	8.015				

ภาพผนวกที่ ค12 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดัด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S -12

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJECT : กรุงเทพมหานคร-ชลบุรี(สายใหม่) LOCATION : - DATE : 4 กรกฎาคม 2551 TEST NO. : S - 13 TESTED BY : Wasan Sutthinun SAMPLE DEPTH : 6.0(4) - 6.6 m. PROVING RING NO. : 8750 PROVING RING CONSTANT (K) : 0.0778 kg/Div LOADING RATE : 0.10 mm/min PROBE NO. : A2 INITIAL VOLT : 4.06	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : 3.85 cm. SAMPLE AREA : 11.61 cm ² SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm. SAMPLE VOLUME : 88.25 cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : 129.74 g. WET UNIT WEIGHT : 1.47 g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : 0.77 g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST 91.52 % AFTER TEST 91.63 % DEGREE OF SATURATION : 95.00 %																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2</th> <th>$q'$ (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.004</td><td>0.000</td><td>-26.591</td><td>0.005</td><td>11.612</td><td>0.000</td><td>26.591</td><td>26.591</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.318</td><td>0.458</td><td>-27.500</td><td>0.419</td><td>11.660</td><td>3.853</td><td>31.353</td><td>29.426</td><td>1.926</td></tr> <tr><td>0.632</td><td>1.331</td><td>-27.045</td><td>0.832</td><td>11.709</td><td>11.145</td><td>38.191</td><td>32.618</td><td>5.573</td></tr> <tr><td>0.946</td><td>1.745</td><td>-26.818</td><td>1.245</td><td>11.758</td><td>14.556</td><td>41.374</td><td>34.096</td><td>7.278</td></tr> <tr><td>1.263</td><td>2.218</td><td>-26.364</td><td>1.662</td><td>11.808</td><td>18.420</td><td>44.784</td><td>35.574</td><td>9.210</td></tr> <tr><td>1.588</td><td>2.436</td><td>-25.909</td><td>2.089</td><td>11.859</td><td>20.144</td><td>46.053</td><td>35.981</td><td>10.072</td></tr> <tr><td>1.905</td><td>2.749</td><td>-25.227</td><td>2.506</td><td>11.910</td><td>22.633</td><td>47.860</td><td>36.544</td><td>11.316</td></tr> <tr><td>2.223</td><td>2.931</td><td>-24.773</td><td>2.925</td><td>11.961</td><td>24.026</td><td>48.799</td><td>36.786</td><td>12.013</td></tr> <tr><td>2.550</td><td>3.076</td><td>-24.318</td><td>3.355</td><td>12.014</td><td>25.107</td><td>49.425</td><td>36.871</td><td>12.553</td></tr> <tr><td>2.864</td><td>3.272</td><td>-23.864</td><td>3.769</td><td>12.066</td><td>26.595</td><td>50.458</td><td>37.161</td><td>13.297</td></tr> <tr><td>3.178</td><td>3.454</td><td>-23.864</td><td>4.182</td><td>12.118</td><td>27.952</td><td>51.815</td><td>37.840</td><td>13.976</td></tr> <tr><td>3.495</td><td>3.709</td><td>-23.636</td><td>4.599</td><td>12.171</td><td>29.881</td><td>53.517</td><td>38.577</td><td>14.940</td></tr> <tr><td>3.813</td><td>3.767</td><td>-23.409</td><td>5.017</td><td>12.225</td><td>30.216</td><td>53.625</td><td>38.517</td><td>15.108</td></tr> <tr><td>4.130</td><td>4.000</td><td>-22.955</td><td>5.434</td><td>12.279</td><td>31.942</td><td>54.897</td><td>38.926</td><td>15.971</td></tr> <tr><td>4.455</td><td>4.072</td><td>-22.727</td><td>5.861</td><td>12.334</td><td>32.376</td><td>55.103</td><td>38.915</td><td>16.188</td></tr> <tr><td>4.769</td><td>4.254</td><td>-22.273</td><td>6.275</td><td>12.389</td><td>33.673</td><td>55.946</td><td>39.109</td><td>16.836</td></tr> <tr><td>5.085</td><td>4.363</td><td>-21.818</td><td>6.691</td><td>12.444</td><td>34.383</td><td>56.201</td><td>39.010</td><td>17.191</td></tr> <tr><td>5.406</td><td>4.385</td><td>-21.591</td><td>7.113</td><td>12.501</td><td>34.398</td><td>55.989</td><td>38.790</td><td>17.199</td></tr> <tr><td>5.720</td><td>4.421</td><td>-21.591</td><td>7.527</td><td>12.556</td><td>34.529</td><td>56.120</td><td>38.856</td><td>17.265</td></tr> <tr><td>6.034</td><td>4.400</td><td>-21.364</td><td>7.940</td><td>12.613</td><td>34.205</td><td>55.569</td><td>38.466</td><td>17.103</td></tr> <tr><td>6.349</td><td>4.509</td><td>-21.136</td><td>8.353</td><td>12.670</td><td>34.896</td><td>56.032</td><td>38.584</td><td>17.448</td></tr> <tr><td>6.824</td><td>4.603</td><td>-20.682</td><td>8.979</td><td>12.757</td><td>35.385</td><td>56.066</td><td>38.374</td><td>17.692</td></tr> <tr><td>7.609</td><td>4.581</td><td>-20.227</td><td>10.012</td><td>12.903</td><td>34.817</td><td>55.044</td><td>37.636</td><td>17.409</td></tr> <tr><td>8.879</td><td>4.690</td><td>-20.227</td><td>11.683</td><td>13.147</td><td>34.984</td><td>55.212</td><td>37.719</td><td>17.492</td></tr> <tr><td>9.304</td><td>4.712</td><td>-20.227</td><td>12.243</td><td>13.231</td><td>34.924</td><td>55.151</td><td>37.689</td><td>17.462</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2	0.004	0.000	-26.591	0.005	11.612	0.000	26.591	26.591	0.000	0.318	0.458	-27.500	0.419	11.660	3.853	31.353	29.426	1.926	0.632	1.331	-27.045	0.832	11.709	11.145	38.191	32.618	5.573	0.946	1.745	-26.818	1.245	11.758	14.556	41.374	34.096	7.278	1.263	2.218	-26.364	1.662	11.808	18.420	44.784	35.574	9.210	1.588	2.436	-25.909	2.089	11.859	20.144	46.053	35.981	10.072	1.905	2.749	-25.227	2.506	11.910	22.633	47.860	36.544	11.316	2.223	2.931	-24.773	2.925	11.961	24.026	48.799	36.786	12.013	2.550	3.076	-24.318	3.355	12.014	25.107	49.425	36.871	12.553	2.864	3.272	-23.864	3.769	12.066	26.595	50.458	37.161	13.297	3.178	3.454	-23.864	4.182	12.118	27.952	51.815	37.840	13.976	3.495	3.709	-23.636	4.599	12.171	29.881	53.517	38.577	14.940	3.813	3.767	-23.409	5.017	12.225	30.216	53.625	38.517	15.108	4.130	4.000	-22.955	5.434	12.279	31.942	54.897	38.926	15.971	4.455	4.072	-22.727	5.861	12.334	32.376	55.103	38.915	16.188	4.769	4.254	-22.273	6.275	12.389	33.673	55.946	39.109	16.836	5.085	4.363	-21.818	6.691	12.444	34.383	56.201	39.010	17.191	5.406	4.385	-21.591	7.113	12.501	34.398	55.989	38.790	17.199	5.720	4.421	-21.591	7.527	12.556	34.529	56.120	38.856	17.265	6.034	4.400	-21.364	7.940	12.613	34.205	55.569	38.466	17.103	6.349	4.509	-21.136	8.353	12.670	34.896	56.032	38.584	17.448	6.824	4.603	-20.682	8.979	12.757	35.385	56.066	38.374	17.692	7.609	4.581	-20.227	10.012	12.903	34.817	55.044	37.636	17.409	8.879	4.690	-20.227	11.683	13.147	34.984	55.212	37.719	17.492	9.304	4.712	-20.227	12.243	13.231	34.924	55.151	37.689	17.462
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2																																																																																																																																																																																																																																										
0.004	0.000	-26.591	0.005	11.612	0.000	26.591	26.591	0.000																																																																																																																																																																																																																																										
0.318	0.458	-27.500	0.419	11.660	3.853	31.353	29.426	1.926																																																																																																																																																																																																																																										
0.632	1.331	-27.045	0.832	11.709	11.145	38.191	32.618	5.573																																																																																																																																																																																																																																										
0.946	1.745	-26.818	1.245	11.758	14.556	41.374	34.096	7.278																																																																																																																																																																																																																																										
1.263	2.218	-26.364	1.662	11.808	18.420	44.784	35.574	9.210																																																																																																																																																																																																																																										
1.588	2.436	-25.909	2.089	11.859	20.144	46.053	35.981	10.072																																																																																																																																																																																																																																										
1.905	2.749	-25.227	2.506	11.910	22.633	47.860	36.544	11.316																																																																																																																																																																																																																																										
2.223	2.931	-24.773	2.925	11.961	24.026	48.799	36.786	12.013																																																																																																																																																																																																																																										
2.550	3.076	-24.318	3.355	12.014	25.107	49.425	36.871	12.553																																																																																																																																																																																																																																										
2.864	3.272	-23.864	3.769	12.066	26.595	50.458	37.161	13.297																																																																																																																																																																																																																																										
3.178	3.454	-23.864	4.182	12.118	27.952	51.815	37.840	13.976																																																																																																																																																																																																																																										
3.495	3.709	-23.636	4.599	12.171	29.881	53.517	38.577	14.940																																																																																																																																																																																																																																										
3.813	3.767	-23.409	5.017	12.225	30.216	53.625	38.517	15.108																																																																																																																																																																																																																																										
4.130	4.000	-22.955	5.434	12.279	31.942	54.897	38.926	15.971																																																																																																																																																																																																																																										
4.455	4.072	-22.727	5.861	12.334	32.376	55.103	38.915	16.188																																																																																																																																																																																																																																										
4.769	4.254	-22.273	6.275	12.389	33.673	55.946	39.109	16.836																																																																																																																																																																																																																																										
5.085	4.363	-21.818	6.691	12.444	34.383	56.201	39.010	17.191																																																																																																																																																																																																																																										
5.406	4.385	-21.591	7.113	12.501	34.398	55.989	38.790	17.199																																																																																																																																																																																																																																										
5.720	4.421	-21.591	7.527	12.556	34.529	56.120	38.856	17.265																																																																																																																																																																																																																																										
6.034	4.400	-21.364	7.940	12.613	34.205	55.569	38.466	17.103																																																																																																																																																																																																																																										
6.349	4.509	-21.136	8.353	12.670	34.896	56.032	38.584	17.448																																																																																																																																																																																																																																										
6.824	4.603	-20.682	8.979	12.757	35.385	56.066	38.374	17.692																																																																																																																																																																																																																																										
7.609	4.581	-20.227	10.012	12.903	34.817	55.044	37.636	17.409																																																																																																																																																																																																																																										
8.879	4.690	-20.227	11.683	13.147	34.984	55.212	37.719	17.492																																																																																																																																																																																																																																										
9.304	4.712	-20.227	12.243	13.231	34.924	55.151	37.689	17.462																																																																																																																																																																																																																																										

ภาพผนวกที่ ค13 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 13

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJECT : กรุงเทพฯ-ชลบุรี(สายใหม่) LOCATION : - DATE : 9 กรกฎาคม 2551 TEST NO. : S - 14 TESTED BY : Wasan Sutthinun SAMPLE DEPTH : 10.5(1) - 11.1 m. PROVING RING NO. : 8750 PROVING RING CONSTANT (K) : 0.0778 kg/Div LOADING RATE : 0.10 mm/min PROBE NO. : #41 INITIAL VOLT : 4.06	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : 3.82 cm. SAMPLE AREA : 11.46 cm ² SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm. SAMPLE VOLUME : 87.10 cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : 141.82 g. WET UNIT WEIGHT : 1.63 g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : 1.03 g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST 57.71 % AFTER TEST 57.51 % DEGREE OF SATURATION : 95.41 %																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2</th> <th>$q'$ (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-65.682</td><td>0.000</td><td>11.461</td><td>0.000</td><td>65.682</td><td>65.682</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.080</td><td>0.934</td><td>-55.909</td><td>0.105</td><td>11.473</td><td>7.980</td><td>63.889</td><td>59.899</td><td>3.990</td></tr> <tr><td>0.160</td><td>1.478</td><td>-46.818</td><td>0.211</td><td>11.485</td><td>12.621</td><td>59.439</td><td>53.129</td><td>6.310</td></tr> <tr><td>0.240</td><td>1.945</td><td>-40.909</td><td>0.316</td><td>11.497</td><td>16.589</td><td>57.498</td><td>49.204</td><td>8.295</td></tr> <tr><td>0.420</td><td>2.552</td><td>-35.909</td><td>0.553</td><td>11.525</td><td>21.713</td><td>57.622</td><td>46.766</td><td>10.857</td></tr> <tr><td>0.580</td><td>3.034</td><td>-34.545</td><td>0.763</td><td>11.549</td><td>25.763</td><td>60.308</td><td>47.427</td><td>12.881</td></tr> <tr><td>0.740</td><td>3.423</td><td>-34.318</td><td>0.974</td><td>11.574</td><td>29.004</td><td>63.322</td><td>48.820</td><td>14.502</td></tr> <tr><td>0.900</td><td>3.781</td><td>-35.455</td><td>1.184</td><td>11.598</td><td>31.968</td><td>67.423</td><td>51.439</td><td>15.984</td></tr> <tr><td>1.100</td><td>4.108</td><td>-35.909</td><td>1.447</td><td>11.629</td><td>34.638</td><td>70.547</td><td>53.228</td><td>17.319</td></tr> <tr><td>1.300</td><td>4.365</td><td>-35.909</td><td>1.711</td><td>11.660</td><td>36.705</td><td>72.614</td><td>54.262</td><td>18.352</td></tr> <tr><td>1.500</td><td>4.567</td><td>-35.682</td><td>1.974</td><td>11.692</td><td>38.303</td><td>73.985</td><td>54.833</td><td>19.152</td></tr> <tr><td>1.700</td><td>4.730</td><td>-35.455</td><td>2.237</td><td>11.723</td><td>39.567</td><td>75.022</td><td>55.238</td><td>19.784</td></tr> <tr><td>1.900</td><td>4.863</td><td>-35.000</td><td>2.500</td><td>11.755</td><td>40.564</td><td>75.564</td><td>55.282</td><td>20.282</td></tr> <tr><td>2.100</td><td>4.971</td><td>-34.545</td><td>2.763</td><td>11.787</td><td>41.361</td><td>75.906</td><td>55.226</td><td>20.680</td></tr> <tr><td>2.300</td><td>5.073</td><td>-34.091</td><td>3.026</td><td>11.819</td><td>42.088</td><td>76.179</td><td>55.135</td><td>21.044</td></tr> <tr><td>2.500</td><td>5.150</td><td>-33.636</td><td>3.289</td><td>11.851</td><td>42.617</td><td>76.254</td><td>54.945</td><td>21.309</td></tr> <tr><td>2.700</td><td>5.228</td><td>-33.409</td><td>3.553</td><td>11.883</td><td>43.143</td><td>76.553</td><td>54.981</td><td>21.572</td></tr> <tr><td>2.900</td><td>5.290</td><td>-32.955</td><td>3.816</td><td>11.916</td><td>43.538</td><td>76.492</td><td>54.724</td><td>21.769</td></tr> <tr><td>3.100</td><td>5.337</td><td>-32.727</td><td>4.079</td><td>11.948</td><td>43.802</td><td>76.529</td><td>54.628</td><td>21.901</td></tr> <tr><td>3.300</td><td>5.376</td><td>-32.500</td><td>4.342</td><td>11.981</td><td>44.000</td><td>76.500</td><td>54.500</td><td>22.000</td></tr> <tr><td>3.700</td><td>5.454</td><td>-31.818</td><td>4.868</td><td>12.047</td><td>44.391</td><td>76.209</td><td>54.014</td><td>22.196</td></tr> <tr><td>4.200</td><td>5.516</td><td>-31.364</td><td>5.526</td><td>12.131</td><td>44.587</td><td>75.951</td><td>53.657</td><td>22.294</td></tr> <tr><td>4.950</td><td>5.563</td><td>-30.909</td><td>6.513</td><td>12.259</td><td>44.495</td><td>75.404</td><td>53.157</td><td>22.248</td></tr> <tr><td>5.450</td><td>5.563</td><td>-30.909</td><td>7.171</td><td>12.346</td><td>44.182</td><td>75.091</td><td>53.000</td><td>22.091</td></tr> <tr><td>6.000</td><td>5.563</td><td>-30.909</td><td>7.895</td><td>12.443</td><td>43.837</td><td>74.747</td><td>52.828</td><td>21.919</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2	0.000	0.000	-65.682	0.000	11.461	0.000	65.682	65.682	0.000	0.080	0.934	-55.909	0.105	11.473	7.980	63.889	59.899	3.990	0.160	1.478	-46.818	0.211	11.485	12.621	59.439	53.129	6.310	0.240	1.945	-40.909	0.316	11.497	16.589	57.498	49.204	8.295	0.420	2.552	-35.909	0.553	11.525	21.713	57.622	46.766	10.857	0.580	3.034	-34.545	0.763	11.549	25.763	60.308	47.427	12.881	0.740	3.423	-34.318	0.974	11.574	29.004	63.322	48.820	14.502	0.900	3.781	-35.455	1.184	11.598	31.968	67.423	51.439	15.984	1.100	4.108	-35.909	1.447	11.629	34.638	70.547	53.228	17.319	1.300	4.365	-35.909	1.711	11.660	36.705	72.614	54.262	18.352	1.500	4.567	-35.682	1.974	11.692	38.303	73.985	54.833	19.152	1.700	4.730	-35.455	2.237	11.723	39.567	75.022	55.238	19.784	1.900	4.863	-35.000	2.500	11.755	40.564	75.564	55.282	20.282	2.100	4.971	-34.545	2.763	11.787	41.361	75.906	55.226	20.680	2.300	5.073	-34.091	3.026	11.819	42.088	76.179	55.135	21.044	2.500	5.150	-33.636	3.289	11.851	42.617	76.254	54.945	21.309	2.700	5.228	-33.409	3.553	11.883	43.143	76.553	54.981	21.572	2.900	5.290	-32.955	3.816	11.916	43.538	76.492	54.724	21.769	3.100	5.337	-32.727	4.079	11.948	43.802	76.529	54.628	21.901	3.300	5.376	-32.500	4.342	11.981	44.000	76.500	54.500	22.000	3.700	5.454	-31.818	4.868	12.047	44.391	76.209	54.014	22.196	4.200	5.516	-31.364	5.526	12.131	44.587	75.951	53.657	22.294	4.950	5.563	-30.909	6.513	12.259	44.495	75.404	53.157	22.248	5.450	5.563	-30.909	7.171	12.346	44.182	75.091	53.000	22.091	6.000	5.563	-30.909	7.895	12.443	43.837	74.747	52.828	21.919
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2																																																																																																																																																																																																																																										
0.000	0.000	-65.682	0.000	11.461	0.000	65.682	65.682	0.000																																																																																																																																																																																																																																										
0.080	0.934	-55.909	0.105	11.473	7.980	63.889	59.899	3.990																																																																																																																																																																																																																																										
0.160	1.478	-46.818	0.211	11.485	12.621	59.439	53.129	6.310																																																																																																																																																																																																																																										
0.240	1.945	-40.909	0.316	11.497	16.589	57.498	49.204	8.295																																																																																																																																																																																																																																										
0.420	2.552	-35.909	0.553	11.525	21.713	57.622	46.766	10.857																																																																																																																																																																																																																																										
0.580	3.034	-34.545	0.763	11.549	25.763	60.308	47.427	12.881																																																																																																																																																																																																																																										
0.740	3.423	-34.318	0.974	11.574	29.004	63.322	48.820	14.502																																																																																																																																																																																																																																										
0.900	3.781	-35.455	1.184	11.598	31.968	67.423	51.439	15.984																																																																																																																																																																																																																																										
1.100	4.108	-35.909	1.447	11.629	34.638	70.547	53.228	17.319																																																																																																																																																																																																																																										
1.300	4.365	-35.909	1.711	11.660	36.705	72.614	54.262	18.352																																																																																																																																																																																																																																										
1.500	4.567	-35.682	1.974	11.692	38.303	73.985	54.833	19.152																																																																																																																																																																																																																																										
1.700	4.730	-35.455	2.237	11.723	39.567	75.022	55.238	19.784																																																																																																																																																																																																																																										
1.900	4.863	-35.000	2.500	11.755	40.564	75.564	55.282	20.282																																																																																																																																																																																																																																										
2.100	4.971	-34.545	2.763	11.787	41.361	75.906	55.226	20.680																																																																																																																																																																																																																																										
2.300	5.073	-34.091	3.026	11.819	42.088	76.179	55.135	21.044																																																																																																																																																																																																																																										
2.500	5.150	-33.636	3.289	11.851	42.617	76.254	54.945	21.309																																																																																																																																																																																																																																										
2.700	5.228	-33.409	3.553	11.883	43.143	76.553	54.981	21.572																																																																																																																																																																																																																																										
2.900	5.290	-32.955	3.816	11.916	43.538	76.492	54.724	21.769																																																																																																																																																																																																																																										
3.100	5.337	-32.727	4.079	11.948	43.802	76.529	54.628	21.901																																																																																																																																																																																																																																										
3.300	5.376	-32.500	4.342	11.981	44.000	76.500	54.500	22.000																																																																																																																																																																																																																																										
3.700	5.454	-31.818	4.868	12.047	44.391	76.209	54.014	22.196																																																																																																																																																																																																																																										
4.200	5.516	-31.364	5.526	12.131	44.587	75.951	53.657	22.294																																																																																																																																																																																																																																										
4.950	5.563	-30.909	6.513	12.259	44.495	75.404	53.157	22.248																																																																																																																																																																																																																																										
5.450	5.563	-30.909	7.171	12.346	44.182	75.091	53.000	22.091																																																																																																																																																																																																																																										
6.000	5.563	-30.909	7.895	12.443	43.837	74.747	52.828	21.919																																																																																																																																																																																																																																										

ภาพผนวกที่ ค14 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 14

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																																				
PROJECT : กรุงเทพมหานคร (สายใหม่) LOCATION : - DATE : 31 กรกฎาคม 2551 TEST NO. : S - 15 TESTED BY : Wasan Sutthinun SAMPLE DEPTH : 10.5(2) - 11.1 m. PROVING RING NO. : 8750 PROVING RING CONSTANT (K) : 0.0778 kg/Div LOADING RATE : 0.10 mm/min PROBE NO. : #new type INITIAL VOLT : 4.06	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : 3.81 cm. SAMPLE AREA : 11.37 cm ² SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm. SAMPLE VOLUME : 86.42 cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : 144.89 g. WET UNIT WEIGHT : 1.68 g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : 1.07 g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST 56.52 % AFTER TEST 54.17 % DEGREE OF SATURATION : 98.08 %																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$)</th> <th>q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-79.523</td><td>0.000</td><td>11.371</td><td>0.000</td><td>79.523</td><td>79.523</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.100</td><td>0.506</td><td>-63.523</td><td>0.132</td><td>11.386</td><td>4.355</td><td>67.878</td><td>65.700</td><td>2.178</td></tr> <tr><td>0.250</td><td>2.178</td><td>-52.886</td><td>0.329</td><td>11.409</td><td>18.724</td><td>71.610</td><td>62.248</td><td>9.362</td></tr> <tr><td>0.400</td><td>3.703</td><td>-53.750</td><td>0.526</td><td>11.431</td><td>31.768</td><td>85.518</td><td>69.634</td><td>15.884</td></tr> <tr><td>0.550</td><td>4.901</td><td>-52.341</td><td>0.724</td><td>11.454</td><td>41.962</td><td>94.303</td><td>73.322</td><td>20.981</td></tr> <tr><td>0.700</td><td>5.742</td><td>-50.295</td><td>0.921</td><td>11.477</td><td>49.058</td><td>99.353</td><td>74.824</td><td>24.529</td></tr> <tr><td>0.850</td><td>6.333</td><td>-48.273</td><td>1.118</td><td>11.500</td><td>54.002</td><td>102.275</td><td>75.274</td><td>27.001</td></tr> <tr><td>1.000</td><td>6.691</td><td>-46.591</td><td>1.316</td><td>11.523</td><td>56.940</td><td>103.531</td><td>75.061</td><td>28.470</td></tr> <tr><td>1.150</td><td>7.002</td><td>-45.227</td><td>1.513</td><td>11.546</td><td>59.469</td><td>104.697</td><td>74.962</td><td>29.735</td></tr> <tr><td>1.300</td><td>7.243</td><td>-44.091</td><td>1.711</td><td>11.569</td><td>61.394</td><td>105.485</td><td>74.788</td><td>30.697</td></tr> <tr><td>1.450</td><td>7.461</td><td>-42.955</td><td>1.908</td><td>11.592</td><td>63.114</td><td>106.068</td><td>74.511</td><td>31.557</td></tr> <tr><td>1.600</td><td>7.593</td><td>-42.045</td><td>2.105</td><td>11.616</td><td>64.103</td><td>106.149</td><td>74.097</td><td>32.052</td></tr> <tr><td>1.750</td><td>7.757</td><td>-41.364</td><td>2.303</td><td>11.639</td><td>65.351</td><td>106.714</td><td>74.039</td><td>32.675</td></tr> <tr><td>1.900</td><td>7.866</td><td>-40.455</td><td>2.500</td><td>11.663</td><td>66.134</td><td>106.589</td><td>73.522</td><td>33.067</td></tr> <tr><td>2.050</td><td>7.990</td><td>-40.000</td><td>2.697</td><td>11.686</td><td>67.045</td><td>107.045</td><td>73.523</td><td>33.523</td></tr> <tr><td>2.200</td><td>8.083</td><td>-39.318</td><td>2.895</td><td>11.710</td><td>67.691</td><td>107.009</td><td>73.164</td><td>33.845</td></tr> <tr><td>2.350</td><td>8.169</td><td>-38.864</td><td>3.092</td><td>11.734</td><td>68.269</td><td>107.132</td><td>72.998</td><td>34.134</td></tr> <tr><td>2.500</td><td>8.255</td><td>-38.409</td><td>3.289</td><td>11.758</td><td>68.843</td><td>107.252</td><td>72.831</td><td>34.422</td></tr> <tr><td>2.700</td><td>8.340</td><td>-37.727</td><td>3.553</td><td>11.790</td><td>69.368</td><td>107.095</td><td>72.411</td><td>34.684</td></tr> <tr><td>2.900</td><td>8.426</td><td>-37.273</td><td>3.816</td><td>11.822</td><td>69.888</td><td>107.161</td><td>72.217</td><td>34.944</td></tr> <tr><td>3.300</td><td>8.558</td><td>-36.591</td><td>4.342</td><td>11.887</td><td>70.597</td><td>107.188</td><td>71.889</td><td>35.298</td></tr> <tr><td>3.500</td><td>8.620</td><td>-36.136</td><td>4.605</td><td>11.920</td><td>70.915</td><td>107.051</td><td>71.594</td><td>35.457</td></tr> <tr><td>3.800</td><td>8.659</td><td>-35.682</td><td>5.000</td><td>11.969</td><td>70.940</td><td>106.622</td><td>71.152</td><td>35.470</td></tr> <tr><td>4.000</td><td>8.690</td><td>-35.455</td><td>5.263</td><td>12.003</td><td>70.998</td><td>106.452</td><td>70.953</td><td>35.499</td></tr> <tr><td>4.200</td><td>8.690</td><td>-35.227</td><td>5.526</td><td>12.036</td><td>70.800</td><td>106.028</td><td>70.628</td><td>35.400</td></tr> <tr><td>4.400</td><td>8.636</td><td>-34.773</td><td>5.789</td><td>12.070</td><td>70.161</td><td>104.934</td><td>69.853</td><td>35.080</td></tr> <tr><td>4.600</td><td>7.998</td><td>-37.500</td><td>6.053</td><td>12.104</td><td>64.796</td><td>102.296</td><td>69.898</td><td>32.398</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$)	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$)	0.000	0.000	-79.523	0.000	11.371	0.000	79.523	79.523	0.000	0.100	0.506	-63.523	0.132	11.386	4.355	67.878	65.700	2.178	0.250	2.178	-52.886	0.329	11.409	18.724	71.610	62.248	9.362	0.400	3.703	-53.750	0.526	11.431	31.768	85.518	69.634	15.884	0.550	4.901	-52.341	0.724	11.454	41.962	94.303	73.322	20.981	0.700	5.742	-50.295	0.921	11.477	49.058	99.353	74.824	24.529	0.850	6.333	-48.273	1.118	11.500	54.002	102.275	75.274	27.001	1.000	6.691	-46.591	1.316	11.523	56.940	103.531	75.061	28.470	1.150	7.002	-45.227	1.513	11.546	59.469	104.697	74.962	29.735	1.300	7.243	-44.091	1.711	11.569	61.394	105.485	74.788	30.697	1.450	7.461	-42.955	1.908	11.592	63.114	106.068	74.511	31.557	1.600	7.593	-42.045	2.105	11.616	64.103	106.149	74.097	32.052	1.750	7.757	-41.364	2.303	11.639	65.351	106.714	74.039	32.675	1.900	7.866	-40.455	2.500	11.663	66.134	106.589	73.522	33.067	2.050	7.990	-40.000	2.697	11.686	67.045	107.045	73.523	33.523	2.200	8.083	-39.318	2.895	11.710	67.691	107.009	73.164	33.845	2.350	8.169	-38.864	3.092	11.734	68.269	107.132	72.998	34.134	2.500	8.255	-38.409	3.289	11.758	68.843	107.252	72.831	34.422	2.700	8.340	-37.727	3.553	11.790	69.368	107.095	72.411	34.684	2.900	8.426	-37.273	3.816	11.822	69.888	107.161	72.217	34.944	3.300	8.558	-36.591	4.342	11.887	70.597	107.188	71.889	35.298	3.500	8.620	-36.136	4.605	11.920	70.915	107.051	71.594	35.457	3.800	8.659	-35.682	5.000	11.969	70.940	106.622	71.152	35.470	4.000	8.690	-35.455	5.263	12.003	70.998	106.452	70.953	35.499	4.200	8.690	-35.227	5.526	12.036	70.800	106.028	70.628	35.400	4.400	8.636	-34.773	5.789	12.070	70.161	104.934	69.853	35.080	4.600	7.998	-37.500	6.053	12.104	64.796	102.296	69.898	32.398
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$)	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$)																																																																																																																																																																																																																																																												
0.000	0.000	-79.523	0.000	11.371	0.000	79.523	79.523	0.000																																																																																																																																																																																																																																																												
0.100	0.506	-63.523	0.132	11.386	4.355	67.878	65.700	2.178																																																																																																																																																																																																																																																												
0.250	2.178	-52.886	0.329	11.409	18.724	71.610	62.248	9.362																																																																																																																																																																																																																																																												
0.400	3.703	-53.750	0.526	11.431	31.768	85.518	69.634	15.884																																																																																																																																																																																																																																																												
0.550	4.901	-52.341	0.724	11.454	41.962	94.303	73.322	20.981																																																																																																																																																																																																																																																												
0.700	5.742	-50.295	0.921	11.477	49.058	99.353	74.824	24.529																																																																																																																																																																																																																																																												
0.850	6.333	-48.273	1.118	11.500	54.002	102.275	75.274	27.001																																																																																																																																																																																																																																																												
1.000	6.691	-46.591	1.316	11.523	56.940	103.531	75.061	28.470																																																																																																																																																																																																																																																												
1.150	7.002	-45.227	1.513	11.546	59.469	104.697	74.962	29.735																																																																																																																																																																																																																																																												
1.300	7.243	-44.091	1.711	11.569	61.394	105.485	74.788	30.697																																																																																																																																																																																																																																																												
1.450	7.461	-42.955	1.908	11.592	63.114	106.068	74.511	31.557																																																																																																																																																																																																																																																												
1.600	7.593	-42.045	2.105	11.616	64.103	106.149	74.097	32.052																																																																																																																																																																																																																																																												
1.750	7.757	-41.364	2.303	11.639	65.351	106.714	74.039	32.675																																																																																																																																																																																																																																																												
1.900	7.866	-40.455	2.500	11.663	66.134	106.589	73.522	33.067																																																																																																																																																																																																																																																												
2.050	7.990	-40.000	2.697	11.686	67.045	107.045	73.523	33.523																																																																																																																																																																																																																																																												
2.200	8.083	-39.318	2.895	11.710	67.691	107.009	73.164	33.845																																																																																																																																																																																																																																																												
2.350	8.169	-38.864	3.092	11.734	68.269	107.132	72.998	34.134																																																																																																																																																																																																																																																												
2.500	8.255	-38.409	3.289	11.758	68.843	107.252	72.831	34.422																																																																																																																																																																																																																																																												
2.700	8.340	-37.727	3.553	11.790	69.368	107.095	72.411	34.684																																																																																																																																																																																																																																																												
2.900	8.426	-37.273	3.816	11.822	69.888	107.161	72.217	34.944																																																																																																																																																																																																																																																												
3.300	8.558	-36.591	4.342	11.887	70.597	107.188	71.889	35.298																																																																																																																																																																																																																																																												
3.500	8.620	-36.136	4.605	11.920	70.915	107.051	71.594	35.457																																																																																																																																																																																																																																																												
3.800	8.659	-35.682	5.000	11.969	70.940	106.622	71.152	35.470																																																																																																																																																																																																																																																												
4.000	8.690	-35.455	5.263	12.003	70.998	106.452	70.953	35.499																																																																																																																																																																																																																																																												
4.200	8.690	-35.227	5.526	12.036	70.800	106.028	70.628	35.400																																																																																																																																																																																																																																																												
4.400	8.636	-34.773	5.789	12.070	70.161	104.934	69.853	35.080																																																																																																																																																																																																																																																												
4.600	7.998	-37.500	6.053	12.104	64.796	102.296	69.898	32.398																																																																																																																																																																																																																																																												

ภาพผนวกที่ 15 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงกด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 15

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJECT : <u>กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>24 กันยายน 2551</u> TEST NO. : <u>S - 17</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>4.50(4) - 5.10 m.</u> PROVING RING NO. : <u>8750</u> PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.0778</u> kg/Div LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min PROBE NO. : <u>#new type</u> INITIAL VOLT : <u>0.848</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>3.80</u> cm. SAMPLE AREA : <u>11.31</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>7.58</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>85.74</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>134.22</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.57</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.86</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>82.89</u> % AFTER TEST <u>80.94</u> % DEGREE OF SATURATION : <u>100.00</u> %																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2</th> <th>q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-40.952</td><td>0.000</td><td>11.311</td><td>0.000</td><td>40.952</td><td>40.952</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.150</td><td>0.607</td><td>-20.159</td><td>0.198</td><td>11.334</td><td>5.250</td><td>25.409</td><td>22.784</td><td>2.625</td></tr> <tr><td>0.300</td><td>1.408</td><td>-19.365</td><td>0.396</td><td>11.356</td><td>12.159</td><td>31.525</td><td>25.445</td><td>6.080</td></tr> <tr><td>0.450</td><td>1.999</td><td>-23.175</td><td>0.594</td><td>11.379</td><td>17.231</td><td>40.405</td><td>31.790</td><td>8.615</td></tr> <tr><td>0.600</td><td>2.466</td><td>-25.714</td><td>0.792</td><td>11.402</td><td>21.211</td><td>46.926</td><td>36.320</td><td>10.606</td></tr> <tr><td>0.750</td><td>2.801</td><td>-27.143</td><td>0.989</td><td>11.424</td><td>24.040</td><td>51.183</td><td>39.163</td><td>12.020</td></tr> <tr><td>0.900</td><td>3.050</td><td>-27.619</td><td>1.187</td><td>11.447</td><td>26.125</td><td>53.744</td><td>40.682</td><td>13.063</td></tr> <tr><td>1.050</td><td>3.236</td><td>-27.619</td><td>1.385</td><td>11.470</td><td>27.669</td><td>55.288</td><td>41.454</td><td>13.834</td></tr> <tr><td>1.200</td><td>3.408</td><td>-27.619</td><td>1.583</td><td>11.493</td><td>29.074</td><td>56.693</td><td>42.156</td><td>14.537</td></tr> <tr><td>1.350</td><td>3.517</td><td>-27.460</td><td>1.781</td><td>11.516</td><td>29.943</td><td>57.403</td><td>42.432</td><td>14.971</td></tr> <tr><td>1.500</td><td>3.618</td><td>-27.143</td><td>1.979</td><td>11.540</td><td>30.742</td><td>57.885</td><td>42.514</td><td>15.371</td></tr> <tr><td>1.650</td><td>3.719</td><td>-26.825</td><td>2.177</td><td>11.563</td><td>31.538</td><td>58.363</td><td>42.594</td><td>15.769</td></tr> <tr><td>1.800</td><td>3.812</td><td>-26.349</td><td>2.375</td><td>11.586</td><td>32.264</td><td>58.613</td><td>42.481</td><td>16.132</td></tr> <tr><td>1.950</td><td>3.874</td><td>-26.032</td><td>2.573</td><td>11.610</td><td>32.724</td><td>58.756</td><td>42.394</td><td>16.362</td></tr> <tr><td>2.100</td><td>3.921</td><td>-25.714</td><td>2.770</td><td>11.634</td><td>33.051</td><td>58.765</td><td>42.240</td><td>16.526</td></tr> <tr><td>2.250</td><td>3.976</td><td>-25.238</td><td>2.968</td><td>11.657</td><td>33.442</td><td>58.680</td><td>41.959</td><td>16.721</td></tr> <tr><td>2.450</td><td>4.053</td><td>-24.762</td><td>3.232</td><td>11.689</td><td>34.004</td><td>58.766</td><td>41.764</td><td>17.002</td></tr> <tr><td>2.950</td><td>4.178</td><td>-23.651</td><td>3.892</td><td>11.769</td><td>34.809</td><td>58.460</td><td>41.055</td><td>17.405</td></tr> <tr><td>3.450</td><td>4.256</td><td>-22.698</td><td>4.551</td><td>11.851</td><td>35.214</td><td>57.912</td><td>40.305</td><td>17.607</td></tr> <tr><td>3.700</td><td>4.318</td><td>-22.063</td><td>4.881</td><td>11.892</td><td>35.605</td><td>57.669</td><td>39.866</td><td>17.803</td></tr> <tr><td>3.950</td><td>4.302</td><td>-21.587</td><td>5.211</td><td>11.933</td><td>35.354</td><td>56.941</td><td>39.264</td><td>17.677</td></tr> <tr><td>4.200</td><td>4.333</td><td>-21.111</td><td>5.541</td><td>11.975</td><td>35.486</td><td>56.597</td><td>38.854</td><td>17.743</td></tr> <tr><td>4.500</td><td>4.392</td><td>-20.794</td><td>5.937</td><td>12.025</td><td>35.813</td><td>56.607</td><td>38.700</td><td>17.907</td></tr> <tr><td>4.800</td><td>4.046</td><td>-21.111</td><td>6.332</td><td>12.076</td><td>32.851</td><td>53.962</td><td>37.537</td><td>16.426</td></tr> <tr><td>5.100</td><td>2.567</td><td>-25.238</td><td>6.728</td><td>12.127</td><td>20.760</td><td>45.998</td><td>35.618</td><td>10.380</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2	0.000	0.000	-40.952	0.000	11.311	0.000	40.952	40.952	0.000	0.150	0.607	-20.159	0.198	11.334	5.250	25.409	22.784	2.625	0.300	1.408	-19.365	0.396	11.356	12.159	31.525	25.445	6.080	0.450	1.999	-23.175	0.594	11.379	17.231	40.405	31.790	8.615	0.600	2.466	-25.714	0.792	11.402	21.211	46.926	36.320	10.606	0.750	2.801	-27.143	0.989	11.424	24.040	51.183	39.163	12.020	0.900	3.050	-27.619	1.187	11.447	26.125	53.744	40.682	13.063	1.050	3.236	-27.619	1.385	11.470	27.669	55.288	41.454	13.834	1.200	3.408	-27.619	1.583	11.493	29.074	56.693	42.156	14.537	1.350	3.517	-27.460	1.781	11.516	29.943	57.403	42.432	14.971	1.500	3.618	-27.143	1.979	11.540	30.742	57.885	42.514	15.371	1.650	3.719	-26.825	2.177	11.563	31.538	58.363	42.594	15.769	1.800	3.812	-26.349	2.375	11.586	32.264	58.613	42.481	16.132	1.950	3.874	-26.032	2.573	11.610	32.724	58.756	42.394	16.362	2.100	3.921	-25.714	2.770	11.634	33.051	58.765	42.240	16.526	2.250	3.976	-25.238	2.968	11.657	33.442	58.680	41.959	16.721	2.450	4.053	-24.762	3.232	11.689	34.004	58.766	41.764	17.002	2.950	4.178	-23.651	3.892	11.769	34.809	58.460	41.055	17.405	3.450	4.256	-22.698	4.551	11.851	35.214	57.912	40.305	17.607	3.700	4.318	-22.063	4.881	11.892	35.605	57.669	39.866	17.803	3.950	4.302	-21.587	5.211	11.933	35.354	56.941	39.264	17.677	4.200	4.333	-21.111	5.541	11.975	35.486	56.597	38.854	17.743	4.500	4.392	-20.794	5.937	12.025	35.813	56.607	38.700	17.907	4.800	4.046	-21.111	6.332	12.076	32.851	53.962	37.537	16.426	5.100	2.567	-25.238	6.728	12.127	20.760	45.998	35.618	10.380
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2																																																																																																																																																																																																																																										
0.000	0.000	-40.952	0.000	11.311	0.000	40.952	40.952	0.000																																																																																																																																																																																																																																										
0.150	0.607	-20.159	0.198	11.334	5.250	25.409	22.784	2.625																																																																																																																																																																																																																																										
0.300	1.408	-19.365	0.396	11.356	12.159	31.525	25.445	6.080																																																																																																																																																																																																																																										
0.450	1.999	-23.175	0.594	11.379	17.231	40.405	31.790	8.615																																																																																																																																																																																																																																										
0.600	2.466	-25.714	0.792	11.402	21.211	46.926	36.320	10.606																																																																																																																																																																																																																																										
0.750	2.801	-27.143	0.989	11.424	24.040	51.183	39.163	12.020																																																																																																																																																																																																																																										
0.900	3.050	-27.619	1.187	11.447	26.125	53.744	40.682	13.063																																																																																																																																																																																																																																										
1.050	3.236	-27.619	1.385	11.470	27.669	55.288	41.454	13.834																																																																																																																																																																																																																																										
1.200	3.408	-27.619	1.583	11.493	29.074	56.693	42.156	14.537																																																																																																																																																																																																																																										
1.350	3.517	-27.460	1.781	11.516	29.943	57.403	42.432	14.971																																																																																																																																																																																																																																										
1.500	3.618	-27.143	1.979	11.540	30.742	57.885	42.514	15.371																																																																																																																																																																																																																																										
1.650	3.719	-26.825	2.177	11.563	31.538	58.363	42.594	15.769																																																																																																																																																																																																																																										
1.800	3.812	-26.349	2.375	11.586	32.264	58.613	42.481	16.132																																																																																																																																																																																																																																										
1.950	3.874	-26.032	2.573	11.610	32.724	58.756	42.394	16.362																																																																																																																																																																																																																																										
2.100	3.921	-25.714	2.770	11.634	33.051	58.765	42.240	16.526																																																																																																																																																																																																																																										
2.250	3.976	-25.238	2.968	11.657	33.442	58.680	41.959	16.721																																																																																																																																																																																																																																										
2.450	4.053	-24.762	3.232	11.689	34.004	58.766	41.764	17.002																																																																																																																																																																																																																																										
2.950	4.178	-23.651	3.892	11.769	34.809	58.460	41.055	17.405																																																																																																																																																																																																																																										
3.450	4.256	-22.698	4.551	11.851	35.214	57.912	40.305	17.607																																																																																																																																																																																																																																										
3.700	4.318	-22.063	4.881	11.892	35.605	57.669	39.866	17.803																																																																																																																																																																																																																																										
3.950	4.302	-21.587	5.211	11.933	35.354	56.941	39.264	17.677																																																																																																																																																																																																																																										
4.200	4.333	-21.111	5.541	11.975	35.486	56.597	38.854	17.743																																																																																																																																																																																																																																										
4.500	4.392	-20.794	5.937	12.025	35.813	56.607	38.700	17.907																																																																																																																																																																																																																																										
4.800	4.046	-21.111	6.332	12.076	32.851	53.962	37.537	16.426																																																																																																																																																																																																																																										
5.100	2.567	-25.238	6.728	12.127	20.760	45.998	35.618	10.380																																																																																																																																																																																																																																										

ภาพผนวกที่ ค17 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 17

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																																		
PROJECT : <u>กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>3 กุมภาพันธ์ 2552</u> TEST NO. : <u>S - 19</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>4.50(4) - 5.10 m.</u> PROVING RING NO. : <u>8750</u> PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.0778</u> kg/Div LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min PROBE NO. : <u>#new type</u> INITIAL VOLT : <u>0.848</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>3.82</u> cm. SAMPLE AREA : <u>11.43</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>7.59</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>86.70</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>128.79</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.49</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.75</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>97.24</u> % AFTER TEST <u>97.52</u> % DEGREE OF SATURATION : <u>100.00</u> %																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac , cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2</th> <th>q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-25.238</td><td>0.000</td><td>11.431</td><td>0.000</td><td>25.238</td><td>25.238</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.150</td><td>0.412</td><td>-15.556</td><td>0.198</td><td>11.454</td><td>3.530</td><td>19.086</td><td>17.321</td><td>1.765</td></tr> <tr><td>0.350</td><td>0.941</td><td>-17.937</td><td>0.461</td><td>11.484</td><td>8.038</td><td>25.975</td><td>21.956</td><td>4.019</td></tr> <tr><td>0.550</td><td>1.323</td><td>-17.619</td><td>0.725</td><td>11.514</td><td>11.264</td><td>28.883</td><td>23.251</td><td>5.632</td></tr> <tr><td>0.750</td><td>1.572</td><td>-16.984</td><td>0.989</td><td>11.545</td><td>13.348</td><td>30.332</td><td>23.658</td><td>6.674</td></tr> <tr><td>0.950</td><td>1.774</td><td>-16.349</td><td>1.252</td><td>11.576</td><td>15.026</td><td>31.376</td><td>23.862</td><td>7.513</td></tr> <tr><td>1.150</td><td>1.906</td><td>-16.032</td><td>1.516</td><td>11.607</td><td>16.104</td><td>32.135</td><td>24.084</td><td>8.052</td></tr> <tr><td>1.350</td><td>2.015</td><td>-15.556</td><td>1.780</td><td>11.638</td><td>16.978</td><td>32.534</td><td>24.045</td><td>8.489</td></tr> <tr><td>1.550</td><td>2.108</td><td>-15.238</td><td>2.044</td><td>11.669</td><td>17.717</td><td>32.955</td><td>24.097</td><td>8.859</td></tr> <tr><td>1.750</td><td>2.194</td><td>-14.921</td><td>2.307</td><td>11.701</td><td>18.387</td><td>33.307</td><td>24.114</td><td>9.193</td></tr> <tr><td>1.950</td><td>2.272</td><td>-14.603</td><td>2.571</td><td>11.732</td><td>18.987</td><td>33.591</td><td>24.097</td><td>9.494</td></tr> <tr><td>2.150</td><td>2.334</td><td>-14.286</td><td>2.835</td><td>11.764</td><td>19.455</td><td>33.740</td><td>24.013</td><td>9.727</td></tr> <tr><td>2.350</td><td>2.412</td><td>-13.968</td><td>3.098</td><td>11.796</td><td>20.049</td><td>34.017</td><td>23.993</td><td>10.024</td></tr> <tr><td>2.550</td><td>2.466</td><td>-13.651</td><td>3.362</td><td>11.829</td><td>20.446</td><td>34.096</td><td>23.874</td><td>10.223</td></tr> <tr><td>2.750</td><td>2.513</td><td>-13.333</td><td>3.626</td><td>11.861</td><td>20.776</td><td>34.109</td><td>23.721</td><td>10.388</td></tr> <tr><td>2.950</td><td>2.567</td><td>-13.175</td><td>3.889</td><td>11.893</td><td>21.168</td><td>34.343</td><td>23.759</td><td>10.584</td></tr> <tr><td>3.150</td><td>2.614</td><td>-12.857</td><td>4.153</td><td>11.926</td><td>21.494</td><td>34.351</td><td>23.604</td><td>10.747</td></tr> <tr><td>3.400</td><td>2.661</td><td>-12.540</td><td>4.483</td><td>11.967</td><td>21.802</td><td>34.342</td><td>23.441</td><td>10.901</td></tr> <tr><td>3.900</td><td>2.746</td><td>-12.222</td><td>5.142</td><td>12.050</td><td>22.348</td><td>34.570</td><td>23.396</td><td>11.174</td></tr> <tr><td>4.300</td><td>2.801</td><td>-11.905</td><td>5.669</td><td>12.118</td><td>22.665</td><td>34.569</td><td>23.237</td><td>11.332</td></tr> <tr><td>5.200</td><td>2.886</td><td>-11.270</td><td>6.856</td><td>12.272</td><td>23.063</td><td>34.333</td><td>22.802</td><td>11.532</td></tr> <tr><td>6.600</td><td>3.011</td><td>-10.794</td><td>8.701</td><td>12.520</td><td>23.581</td><td>34.375</td><td>22.584</td><td>11.791</td></tr> <tr><td>8.300</td><td>3.050</td><td>-10.159</td><td>10.943</td><td>12.835</td><td>23.300</td><td>33.458</td><td>21.809</td><td>11.650</td></tr> <tr><td>9.000</td><td>3.050</td><td>-10.000</td><td>11.866</td><td>12.970</td><td>23.058</td><td>33.058</td><td>21.529</td><td>11.529</td></tr> <tr><td>10.000</td><td>3.050</td><td>-9.841</td><td>13.184</td><td>13.167</td><td>22.713</td><td>32.554</td><td>21.198</td><td>11.357</td></tr> </tbody> </table>									Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac , cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2	0.000	0.000	-25.238	0.000	11.431	0.000	25.238	25.238	0.000	0.150	0.412	-15.556	0.198	11.454	3.530	19.086	17.321	1.765	0.350	0.941	-17.937	0.461	11.484	8.038	25.975	21.956	4.019	0.550	1.323	-17.619	0.725	11.514	11.264	28.883	23.251	5.632	0.750	1.572	-16.984	0.989	11.545	13.348	30.332	23.658	6.674	0.950	1.774	-16.349	1.252	11.576	15.026	31.376	23.862	7.513	1.150	1.906	-16.032	1.516	11.607	16.104	32.135	24.084	8.052	1.350	2.015	-15.556	1.780	11.638	16.978	32.534	24.045	8.489	1.550	2.108	-15.238	2.044	11.669	17.717	32.955	24.097	8.859	1.750	2.194	-14.921	2.307	11.701	18.387	33.307	24.114	9.193	1.950	2.272	-14.603	2.571	11.732	18.987	33.591	24.097	9.494	2.150	2.334	-14.286	2.835	11.764	19.455	33.740	24.013	9.727	2.350	2.412	-13.968	3.098	11.796	20.049	34.017	23.993	10.024	2.550	2.466	-13.651	3.362	11.829	20.446	34.096	23.874	10.223	2.750	2.513	-13.333	3.626	11.861	20.776	34.109	23.721	10.388	2.950	2.567	-13.175	3.889	11.893	21.168	34.343	23.759	10.584	3.150	2.614	-12.857	4.153	11.926	21.494	34.351	23.604	10.747	3.400	2.661	-12.540	4.483	11.967	21.802	34.342	23.441	10.901	3.900	2.746	-12.222	5.142	12.050	22.348	34.570	23.396	11.174	4.300	2.801	-11.905	5.669	12.118	22.665	34.569	23.237	11.332	5.200	2.886	-11.270	6.856	12.272	23.063	34.333	22.802	11.532	6.600	3.011	-10.794	8.701	12.520	23.581	34.375	22.584	11.791	8.300	3.050	-10.159	10.943	12.835	23.300	33.458	21.809	11.650	9.000	3.050	-10.000	11.866	12.970	23.058	33.058	21.529	11.529	10.000	3.050	-9.841	13.184	13.167	22.713	32.554	21.198	11.357
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac , cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\sigma'_1 + \sigma'_3$) 2	q' (kPa.) ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) 2																																																																																																																																																																																																																																										
0.000	0.000	-25.238	0.000	11.431	0.000	25.238	25.238	0.000																																																																																																																																																																																																																																										
0.150	0.412	-15.556	0.198	11.454	3.530	19.086	17.321	1.765																																																																																																																																																																																																																																										
0.350	0.941	-17.937	0.461	11.484	8.038	25.975	21.956	4.019																																																																																																																																																																																																																																										
0.550	1.323	-17.619	0.725	11.514	11.264	28.883	23.251	5.632																																																																																																																																																																																																																																										
0.750	1.572	-16.984	0.989	11.545	13.348	30.332	23.658	6.674																																																																																																																																																																																																																																										
0.950	1.774	-16.349	1.252	11.576	15.026	31.376	23.862	7.513																																																																																																																																																																																																																																										
1.150	1.906	-16.032	1.516	11.607	16.104	32.135	24.084	8.052																																																																																																																																																																																																																																										
1.350	2.015	-15.556	1.780	11.638	16.978	32.534	24.045	8.489																																																																																																																																																																																																																																										
1.550	2.108	-15.238	2.044	11.669	17.717	32.955	24.097	8.859																																																																																																																																																																																																																																										
1.750	2.194	-14.921	2.307	11.701	18.387	33.307	24.114	9.193																																																																																																																																																																																																																																										
1.950	2.272	-14.603	2.571	11.732	18.987	33.591	24.097	9.494																																																																																																																																																																																																																																										
2.150	2.334	-14.286	2.835	11.764	19.455	33.740	24.013	9.727																																																																																																																																																																																																																																										
2.350	2.412	-13.968	3.098	11.796	20.049	34.017	23.993	10.024																																																																																																																																																																																																																																										
2.550	2.466	-13.651	3.362	11.829	20.446	34.096	23.874	10.223																																																																																																																																																																																																																																										
2.750	2.513	-13.333	3.626	11.861	20.776	34.109	23.721	10.388																																																																																																																																																																																																																																										
2.950	2.567	-13.175	3.889	11.893	21.168	34.343	23.759	10.584																																																																																																																																																																																																																																										
3.150	2.614	-12.857	4.153	11.926	21.494	34.351	23.604	10.747																																																																																																																																																																																																																																										
3.400	2.661	-12.540	4.483	11.967	21.802	34.342	23.441	10.901																																																																																																																																																																																																																																										
3.900	2.746	-12.222	5.142	12.050	22.348	34.570	23.396	11.174																																																																																																																																																																																																																																										
4.300	2.801	-11.905	5.669	12.118	22.665	34.569	23.237	11.332																																																																																																																																																																																																																																										
5.200	2.886	-11.270	6.856	12.272	23.063	34.333	22.802	11.532																																																																																																																																																																																																																																										
6.600	3.011	-10.794	8.701	12.520	23.581	34.375	22.584	11.791																																																																																																																																																																																																																																										
8.300	3.050	-10.159	10.943	12.835	23.300	33.458	21.809	11.650																																																																																																																																																																																																																																										
9.000	3.050	-10.000	11.866	12.970	23.058	33.058	21.529	11.529																																																																																																																																																																																																																																										
10.000	3.050	-9.841	13.184	13.167	22.713	32.554	21.198	11.357																																																																																																																																																																																																																																										

ภาพผนวกที่ ค18 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 19

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST																																																																																																																																																																																																																																											
PROJECT : <u>คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>13 มีนาคม 2552</u> TEST NO. : <u>S - 20</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>3.0(N) - 3.5 m.</u> PROVING RING NO. : <u>8750</u> PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.0778</u> kg/Div LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min PROBE NO. : <u>#new type</u> INITIAL VOLT : <u>4.083</u>	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>5.00</u> cm. SAMPLE AREA : <u>19.60</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>10.00</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>196.04</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>296.12</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.51</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.81</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>86.79</u> % AFTER TEST <u>85.64</u> % DEGREE OF SATURATION : <u>100.00</u> %																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.</th> <th>σ'_1 kPa.</th> <th>p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2</th> <th>$q'$ (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-16.386</td><td>0.000</td><td>19.604</td><td>0.000</td><td>16.386</td><td>16.386</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.330</td><td>0.638</td><td>-10.659</td><td>0.330</td><td>19.668</td><td>3.181</td><td>13.840</td><td>12.249</td><td>1.590</td></tr> <tr><td>0.530</td><td>1.229</td><td>-10.705</td><td>0.530</td><td>19.708</td><td>6.116</td><td>16.821</td><td>13.763</td><td>3.058</td></tr> <tr><td>0.730</td><td>1.719</td><td>-10.545</td><td>0.730</td><td>19.748</td><td>8.538</td><td>19.083</td><td>14.814</td><td>4.269</td></tr> <tr><td>0.930</td><td>2.132</td><td>-9.886</td><td>0.930</td><td>19.788</td><td>10.564</td><td>20.450</td><td>15.168</td><td>5.282</td></tr> <tr><td>1.130</td><td>2.482</td><td>-9.295</td><td>1.130</td><td>19.828</td><td>12.274</td><td>21.570</td><td>15.433</td><td>6.137</td></tr> <tr><td>1.330</td><td>2.762</td><td>-8.864</td><td>1.330</td><td>19.868</td><td>13.632</td><td>22.495</td><td>15.679</td><td>6.816</td></tr> <tr><td>1.530</td><td>3.034</td><td>-8.477</td><td>1.530</td><td>19.908</td><td>14.945</td><td>23.423</td><td>15.950</td><td>7.473</td></tr> <tr><td>1.730</td><td>3.268</td><td>-8.159</td><td>1.730</td><td>19.949</td><td>16.062</td><td>24.221</td><td>16.190</td><td>8.031</td></tr> <tr><td>1.930</td><td>3.478</td><td>-7.955</td><td>1.930</td><td>19.989</td><td>17.060</td><td>25.015</td><td>16.485</td><td>8.530</td></tr> <tr><td>2.130</td><td>3.641</td><td>-7.795</td><td>2.130</td><td>20.030</td><td>17.825</td><td>25.621</td><td>16.708</td><td>8.913</td></tr> <tr><td>2.330</td><td>3.797</td><td>-7.682</td><td>2.330</td><td>20.071</td><td>18.549</td><td>26.231</td><td>16.956</td><td>9.274</td></tr> <tr><td>2.530</td><td>3.906</td><td>-7.636</td><td>2.530</td><td>20.112</td><td>19.042</td><td>26.678</td><td>17.157</td><td>9.521</td></tr> <tr><td>2.730</td><td>4.014</td><td>-7.659</td><td>2.730</td><td>20.154</td><td>19.533</td><td>27.192</td><td>17.426</td><td>9.766</td></tr> <tr><td>2.930</td><td>4.092</td><td>-7.682</td><td>2.930</td><td>20.195</td><td>19.870</td><td>27.552</td><td>17.617</td><td>9.935</td></tr> <tr><td>3.130</td><td>4.162</td><td>-7.705</td><td>3.130</td><td>20.237</td><td>20.169</td><td>27.873</td><td>17.789</td><td>10.084</td></tr> <tr><td>3.330</td><td>4.217</td><td>-7.773</td><td>3.330</td><td>20.279</td><td>20.390</td><td>28.163</td><td>17.968</td><td>10.195</td></tr> <tr><td>3.530</td><td>4.263</td><td>-7.795</td><td>3.530</td><td>20.321</td><td>20.574</td><td>28.369</td><td>18.082</td><td>10.287</td></tr> <tr><td>3.730</td><td>4.283</td><td>-7.864</td><td>3.730</td><td>20.363</td><td>20.625</td><td>28.488</td><td>18.176</td><td>10.312</td></tr> <tr><td>3.930</td><td>4.302</td><td>-7.932</td><td>3.930</td><td>20.405</td><td>20.675</td><td>28.607</td><td>18.269</td><td>10.338</td></tr> <tr><td>4.130</td><td>4.333</td><td>-8.000</td><td>4.130</td><td>20.448</td><td>20.781</td><td>28.781</td><td>18.391</td><td>10.391</td></tr> <tr><td>4.600</td><td>4.357</td><td>-8.182</td><td>4.600</td><td>20.549</td><td>20.791</td><td>28.973</td><td>18.577</td><td>10.395</td></tr> <tr><td>5.500</td><td>4.357</td><td>-8.409</td><td>5.500</td><td>20.744</td><td>20.595</td><td>29.004</td><td>18.706</td><td>10.297</td></tr> <tr><td>6.500</td><td>4.357</td><td>-8.636</td><td>6.500</td><td>20.966</td><td>20.377</td><td>29.013</td><td>18.825</td><td>10.188</td></tr> <tr><td>7.230</td><td>4.279</td><td>-8.818</td><td>7.230</td><td>21.131</td><td>19.857</td><td>28.675</td><td>18.747</td><td>9.928</td></tr> </tbody> </table>		Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2	0.000	0.000	-16.386	0.000	19.604	0.000	16.386	16.386	0.000	0.330	0.638	-10.659	0.330	19.668	3.181	13.840	12.249	1.590	0.530	1.229	-10.705	0.530	19.708	6.116	16.821	13.763	3.058	0.730	1.719	-10.545	0.730	19.748	8.538	19.083	14.814	4.269	0.930	2.132	-9.886	0.930	19.788	10.564	20.450	15.168	5.282	1.130	2.482	-9.295	1.130	19.828	12.274	21.570	15.433	6.137	1.330	2.762	-8.864	1.330	19.868	13.632	22.495	15.679	6.816	1.530	3.034	-8.477	1.530	19.908	14.945	23.423	15.950	7.473	1.730	3.268	-8.159	1.730	19.949	16.062	24.221	16.190	8.031	1.930	3.478	-7.955	1.930	19.989	17.060	25.015	16.485	8.530	2.130	3.641	-7.795	2.130	20.030	17.825	25.621	16.708	8.913	2.330	3.797	-7.682	2.330	20.071	18.549	26.231	16.956	9.274	2.530	3.906	-7.636	2.530	20.112	19.042	26.678	17.157	9.521	2.730	4.014	-7.659	2.730	20.154	19.533	27.192	17.426	9.766	2.930	4.092	-7.682	2.930	20.195	19.870	27.552	17.617	9.935	3.130	4.162	-7.705	3.130	20.237	20.169	27.873	17.789	10.084	3.330	4.217	-7.773	3.330	20.279	20.390	28.163	17.968	10.195	3.530	4.263	-7.795	3.530	20.321	20.574	28.369	18.082	10.287	3.730	4.283	-7.864	3.730	20.363	20.625	28.488	18.176	10.312	3.930	4.302	-7.932	3.930	20.405	20.675	28.607	18.269	10.338	4.130	4.333	-8.000	4.130	20.448	20.781	28.781	18.391	10.391	4.600	4.357	-8.182	4.600	20.549	20.791	28.973	18.577	10.395	5.500	4.357	-8.409	5.500	20.744	20.595	29.004	18.706	10.297	6.500	4.357	-8.636	6.500	20.966	20.377	29.013	18.825	10.188	7.230	4.279	-8.818	7.230	21.131	19.857	28.675	18.747	9.928
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2																																																																																																																																																																																																																																			
0.000	0.000	-16.386	0.000	19.604	0.000	16.386	16.386	0.000																																																																																																																																																																																																																																			
0.330	0.638	-10.659	0.330	19.668	3.181	13.840	12.249	1.590																																																																																																																																																																																																																																			
0.530	1.229	-10.705	0.530	19.708	6.116	16.821	13.763	3.058																																																																																																																																																																																																																																			
0.730	1.719	-10.545	0.730	19.748	8.538	19.083	14.814	4.269																																																																																																																																																																																																																																			
0.930	2.132	-9.886	0.930	19.788	10.564	20.450	15.168	5.282																																																																																																																																																																																																																																			
1.130	2.482	-9.295	1.130	19.828	12.274	21.570	15.433	6.137																																																																																																																																																																																																																																			
1.330	2.762	-8.864	1.330	19.868	13.632	22.495	15.679	6.816																																																																																																																																																																																																																																			
1.530	3.034	-8.477	1.530	19.908	14.945	23.423	15.950	7.473																																																																																																																																																																																																																																			
1.730	3.268	-8.159	1.730	19.949	16.062	24.221	16.190	8.031																																																																																																																																																																																																																																			
1.930	3.478	-7.955	1.930	19.989	17.060	25.015	16.485	8.530																																																																																																																																																																																																																																			
2.130	3.641	-7.795	2.130	20.030	17.825	25.621	16.708	8.913																																																																																																																																																																																																																																			
2.330	3.797	-7.682	2.330	20.071	18.549	26.231	16.956	9.274																																																																																																																																																																																																																																			
2.530	3.906	-7.636	2.530	20.112	19.042	26.678	17.157	9.521																																																																																																																																																																																																																																			
2.730	4.014	-7.659	2.730	20.154	19.533	27.192	17.426	9.766																																																																																																																																																																																																																																			
2.930	4.092	-7.682	2.930	20.195	19.870	27.552	17.617	9.935																																																																																																																																																																																																																																			
3.130	4.162	-7.705	3.130	20.237	20.169	27.873	17.789	10.084																																																																																																																																																																																																																																			
3.330	4.217	-7.773	3.330	20.279	20.390	28.163	17.968	10.195																																																																																																																																																																																																																																			
3.530	4.263	-7.795	3.530	20.321	20.574	28.369	18.082	10.287																																																																																																																																																																																																																																			
3.730	4.283	-7.864	3.730	20.363	20.625	28.488	18.176	10.312																																																																																																																																																																																																																																			
3.930	4.302	-7.932	3.930	20.405	20.675	28.607	18.269	10.338																																																																																																																																																																																																																																			
4.130	4.333	-8.000	4.130	20.448	20.781	28.781	18.391	10.391																																																																																																																																																																																																																																			
4.600	4.357	-8.182	4.600	20.549	20.791	28.973	18.577	10.395																																																																																																																																																																																																																																			
5.500	4.357	-8.409	5.500	20.744	20.595	29.004	18.706	10.297																																																																																																																																																																																																																																			
6.500	4.357	-8.636	6.500	20.966	20.377	29.013	18.825	10.188																																																																																																																																																																																																																																			
7.230	4.279	-8.818	7.230	21.131	19.857	28.675	18.747	9.928																																																																																																																																																																																																																																			

ภาพผนวกที่ ค19 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงดูด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 20 (Top of sample)

		<h1 style="margin: 0;">KASETSART UNIVERSITY</h1>	
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY			
SUCTION - MONITORED UNCONFINED COMPRESSION TEST			
PROJECT :	ทดลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS	
LOCATION :	-	SAMPLE DIAMETER :	5.00 cm.
DATE :	13 มีนาคม 2552	SAMPLE AREA :	19.60 cm ²
TEST NO. :	S - 20	SAMPLE HEIGHT :	10.00 cm.
TESTED BY :	Wasan Sutthinun	SAMPLE VOLUME :	196.04 cm ³
SAMPLE DEPTH :	3.0(N) - 3.5 m.	WEIGHT OF SAMPLE :	296.12 g.
PROVING RING NO. :	8750	WET UNIT WEIGHT :	1.51 g/cm ³
PROVING RING CONSTANT (K) :	0.0778 kg/Div	DRY UNIT WEIGHT :	0.81 g/cm ³
LOADING RATE :	0.10 mm/min	WATER CONTENT :	
PROBE NO. :	#new type	BEFORE TEST	86.79 %
INITIAL VOLT :	0.846	AFTER TEST	85.64 %
		DEGREE OF SATURATION :	100.00 %

Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ_1 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$) 2
0.000	0.000	-15.397	0.000	19.604	0.000	15.397	15.397	0.000
0.330	0.638	-14.127	0.330	19.668	3.181	17.308	15.717	1.590
0.530	1.229	-12.698	0.530	19.708	6.116	18.815	15.757	3.058
0.730	1.719	-11.746	0.730	19.748	8.538	20.284	16.015	4.269
0.930	2.132	-11.111	0.930	19.788	10.564	21.675	16.393	5.282
1.130	2.482	-10.635	1.130	19.828	12.274	22.909	16.772	6.137
1.330	2.762	-10.476	1.330	19.868	13.632	24.108	17.292	6.816
1.530	3.034	-10.159	1.530	19.908	14.945	25.104	17.631	7.473
1.730	3.268	-9.841	1.730	19.949	16.062	25.904	17.872	8.031
1.930	3.478	-9.683	1.930	19.989	17.060	26.743	18.213	8.530
2.130	3.641	-9.365	2.130	20.030	17.825	27.190	18.278	8.913
2.330	3.797	-9.206	2.330	20.071	18.549	27.755	18.481	9.274
2.530	3.906	-9.048	2.530	20.112	19.042	28.090	18.569	9.521
2.730	4.014	-8.889	2.730	20.154	19.533	28.422	18.655	9.766
2.930	4.092	-8.730	2.930	20.195	19.870	28.601	18.665	9.935
3.130	4.162	-8.571	3.130	20.237	20.169	28.740	18.656	10.084
3.330	4.217	-7.937	3.330	20.279	20.390	28.327	18.132	10.195
3.530	4.263	-7.778	3.530	20.321	20.574	28.351	18.065	10.287
3.730	4.283	-7.937	3.730	20.363	20.625	28.561	18.249	10.312
3.930	4.302	-7.937	3.930	20.405	20.675	28.612	18.274	10.338
4.130	4.333	-7.778	4.130	20.448	20.781	28.559	18.168	10.391
4.600	4.357	-7.778	4.600	20.549	20.791	28.569	18.173	10.395
5.500	4.357	-7.143	5.500	20.744	20.595	27.738	17.440	10.297
6.500	4.357	-6.984	6.500	20.966	20.377	27.361	17.173	10.188
7.230	4.279	-6.667	7.230	21.131	19.857	26.523	16.595	9.928

ภาพผนวกที่ ค20 ผลการทดสอบ Unconfined compression test แบบวัดแรงกด (Suction - monitored Unconfined Compression Test) ของตัวอย่างดินเหนียว S - 20 (Middle height of sample)

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน
(Triaxial Compression Test)

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY ISOTROPIC CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST (ASTM D 4767-04)																																																																																																																																																																																																																																											
PROJECT : <u>คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ</u> LOCATION : <u>-</u> DATE : <u>8 สิงหาคม 2551</u> TEST NO. : <u>TX - 1</u> TESTED BY : <u>Wasan Sutthinun</u> SAMPLE DEPTH : <u>1.0(1)-1.5 m.</u> PROVING RING NO. : <u>J 2616</u> LOADING RATE : <u>0.10</u> mm/min B VALUE : <u>0.96</u> CONSOLIDATION PRESSURE : <u>119.323</u> kPa. PROVING RING CONSTANT (K) : <u>0.2062</u> kg/Div	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : <u>3.81</u> cm. SAMPLE AREA : <u>11.41</u> cm ² SAMPLE HEIGHT : <u>7.60</u> cm. SAMPLE VOLUME : <u>86.72</u> cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : <u>138.10</u> g. WET UNIT WEIGHT : <u>1.59</u> g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : <u>0.94</u> g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST <u>69.09</u> % AFTER TEST <u>51.99</u> % AFTER CONSOLIDATION PROCESS ΔV_c : <u>11.74</u> cm ³																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Excess Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress (σ₁ - σ₃) kPa.</th> <th>σ₃ kPa.</th> <th>p' (kPa.) (σ'₁ + σ'₃) 2</th> <th>q' (kPa.) (σ'₁ - σ'₃) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>10.333</td><td>0.000</td><td>119.323</td><td>119.323</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.292</td><td>4.640</td><td>11.178</td><td>0.402</td><td>10.374</td><td>43.854</td><td>107.989</td><td>130.427</td><td>22.439</td></tr> <tr><td>0.583</td><td>6.363</td><td>18.977</td><td>0.803</td><td>10.416</td><td>59.902</td><td>100.190</td><td>130.812</td><td>30.622</td></tr> <tr><td>0.870</td><td>7.236</td><td>24.437</td><td>1.199</td><td>10.458</td><td>67.845</td><td>94.367</td><td>129.220</td><td>34.854</td></tr> <tr><td>1.158</td><td>7.963</td><td>29.116</td><td>1.596</td><td>10.500</td><td>74.364</td><td>89.687</td><td>127.865</td><td>38.177</td></tr> <tr><td>1.453</td><td>8.545</td><td>33.016</td><td>2.002</td><td>10.544</td><td>79.468</td><td>85.788</td><td>126.568</td><td>40.780</td></tr> <tr><td>1.741</td><td>8.930</td><td>36.239</td><td>2.399</td><td>10.587</td><td>82.716</td><td>82.044</td><td>124.740</td><td>42.696</td></tr> <tr><td>2.035</td><td>9.345</td><td>39.619</td><td>2.805</td><td>10.631</td><td>86.195</td><td>79.185</td><td>123.395</td><td>44.210</td></tr> <tr><td>2.323</td><td>9.330</td><td>42.738</td><td>3.202</td><td>10.674</td><td>85.710</td><td>76.585</td><td>120.288</td><td>43.703</td></tr> <tr><td>2.622</td><td>9.476</td><td>45.494</td><td>3.613</td><td>10.720</td><td>86.676</td><td>73.829</td><td>118.025</td><td>44.195</td></tr> <tr><td>2.910</td><td>9.585</td><td>47.678</td><td>4.010</td><td>10.764</td><td>87.313</td><td>71.646</td><td>116.166</td><td>44.520</td></tr> <tr><td>3.201</td><td>9.657</td><td>49.497</td><td>4.410</td><td>10.809</td><td>87.608</td><td>69.566</td><td>114.367</td><td>44.801</td></tr> <tr><td>3.492</td><td>9.708</td><td>50.693</td><td>4.812</td><td>10.855</td><td>87.700</td><td>68.110</td><td>113.087</td><td>44.977</td></tr> <tr><td>3.783</td><td>9.890</td><td>51.577</td><td>5.213</td><td>10.901</td><td>88.966</td><td>67.070</td><td>112.771</td><td>45.701</td></tr> <tr><td>4.078</td><td>9.839</td><td>52.097</td><td>5.619</td><td>10.948</td><td>88.129</td><td>66.290</td><td>111.695</td><td>45.404</td></tr> <tr><td>4.372</td><td>9.890</td><td>53.137</td><td>6.024</td><td>10.995</td><td>88.204</td><td>65.251</td><td>110.693</td><td>45.443</td></tr> <tr><td>4.660</td><td>10.094</td><td>54.697</td><td>6.421</td><td>11.042</td><td>89.640</td><td>64.107</td><td>110.073</td><td>45.967</td></tr> <tr><td>4.948</td><td>10.108</td><td>55.736</td><td>6.818</td><td>11.089</td><td>89.389</td><td>63.587</td><td>109.165</td><td>45.579</td></tr> <tr><td>5.236</td><td>10.203</td><td>56.152</td><td>7.215</td><td>11.136</td><td>89.840</td><td>63.171</td><td>108.980</td><td>45.809</td></tr> <tr><td>5.524</td><td>10.130</td><td>55.477</td><td>7.612</td><td>11.184</td><td>88.819</td><td>63.691</td><td>109.057</td><td>45.366</td></tr> <tr><td>5.812</td><td>10.094</td><td>55.217</td><td>8.009</td><td>11.232</td><td>88.120</td><td>63.691</td><td>108.830</td><td>45.139</td></tr> <tr><td>6.104</td><td>10.035</td><td>54.957</td><td>8.411</td><td>11.282</td><td>87.229</td><td>63.847</td><td>108.584</td><td>44.737</td></tr> <tr><td>6.392</td><td>9.926</td><td>54.697</td><td>8.808</td><td>11.331</td><td>85.907</td><td>64.107</td><td>108.170</td><td>44.063</td></tr> <tr><td>7.893</td><td>8.036</td><td>52.617</td><td>10.877</td><td>11.594</td><td>67.966</td><td>66.706</td><td>101.362</td><td>34.655</td></tr> <tr><td>8.944</td><td>7.512</td><td>51.577</td><td>12.325</td><td>11.785</td><td>62.505</td><td>66.810</td><td>99.149</td><td>32.339</td></tr> </tbody> </table>		Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress (σ ₁ - σ ₃) kPa.	σ ₃ kPa.	p' (kPa.) (σ' ₁ + σ' ₃) 2	q' (kPa.) (σ' ₁ - σ' ₃) 2	0.000	0.000	0.000	0.000	10.333	0.000	119.323	119.323	0.000	0.292	4.640	11.178	0.402	10.374	43.854	107.989	130.427	22.439	0.583	6.363	18.977	0.803	10.416	59.902	100.190	130.812	30.622	0.870	7.236	24.437	1.199	10.458	67.845	94.367	129.220	34.854	1.158	7.963	29.116	1.596	10.500	74.364	89.687	127.865	38.177	1.453	8.545	33.016	2.002	10.544	79.468	85.788	126.568	40.780	1.741	8.930	36.239	2.399	10.587	82.716	82.044	124.740	42.696	2.035	9.345	39.619	2.805	10.631	86.195	79.185	123.395	44.210	2.323	9.330	42.738	3.202	10.674	85.710	76.585	120.288	43.703	2.622	9.476	45.494	3.613	10.720	86.676	73.829	118.025	44.195	2.910	9.585	47.678	4.010	10.764	87.313	71.646	116.166	44.520	3.201	9.657	49.497	4.410	10.809	87.608	69.566	114.367	44.801	3.492	9.708	50.693	4.812	10.855	87.700	68.110	113.087	44.977	3.783	9.890	51.577	5.213	10.901	88.966	67.070	112.771	45.701	4.078	9.839	52.097	5.619	10.948	88.129	66.290	111.695	45.404	4.372	9.890	53.137	6.024	10.995	88.204	65.251	110.693	45.443	4.660	10.094	54.697	6.421	11.042	89.640	64.107	110.073	45.967	4.948	10.108	55.736	6.818	11.089	89.389	63.587	109.165	45.579	5.236	10.203	56.152	7.215	11.136	89.840	63.171	108.980	45.809	5.524	10.130	55.477	7.612	11.184	88.819	63.691	109.057	45.366	5.812	10.094	55.217	8.009	11.232	88.120	63.691	108.830	45.139	6.104	10.035	54.957	8.411	11.282	87.229	63.847	108.584	44.737	6.392	9.926	54.697	8.808	11.331	85.907	64.107	108.170	44.063	7.893	8.036	52.617	10.877	11.594	67.966	66.706	101.362	34.655	8.944	7.512	51.577	12.325	11.785	62.505	66.810	99.149	32.339
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress (σ ₁ - σ ₃) kPa.	σ ₃ kPa.	p' (kPa.) (σ' ₁ + σ' ₃) 2	q' (kPa.) (σ' ₁ - σ' ₃) 2																																																																																																																																																																																																																																			
0.000	0.000	0.000	0.000	10.333	0.000	119.323	119.323	0.000																																																																																																																																																																																																																																			
0.292	4.640	11.178	0.402	10.374	43.854	107.989	130.427	22.439																																																																																																																																																																																																																																			
0.583	6.363	18.977	0.803	10.416	59.902	100.190	130.812	30.622																																																																																																																																																																																																																																			
0.870	7.236	24.437	1.199	10.458	67.845	94.367	129.220	34.854																																																																																																																																																																																																																																			
1.158	7.963	29.116	1.596	10.500	74.364	89.687	127.865	38.177																																																																																																																																																																																																																																			
1.453	8.545	33.016	2.002	10.544	79.468	85.788	126.568	40.780																																																																																																																																																																																																																																			
1.741	8.930	36.239	2.399	10.587	82.716	82.044	124.740	42.696																																																																																																																																																																																																																																			
2.035	9.345	39.619	2.805	10.631	86.195	79.185	123.395	44.210																																																																																																																																																																																																																																			
2.323	9.330	42.738	3.202	10.674	85.710	76.585	120.288	43.703																																																																																																																																																																																																																																			
2.622	9.476	45.494	3.613	10.720	86.676	73.829	118.025	44.195																																																																																																																																																																																																																																			
2.910	9.585	47.678	4.010	10.764	87.313	71.646	116.166	44.520																																																																																																																																																																																																																																			
3.201	9.657	49.497	4.410	10.809	87.608	69.566	114.367	44.801																																																																																																																																																																																																																																			
3.492	9.708	50.693	4.812	10.855	87.700	68.110	113.087	44.977																																																																																																																																																																																																																																			
3.783	9.890	51.577	5.213	10.901	88.966	67.070	112.771	45.701																																																																																																																																																																																																																																			
4.078	9.839	52.097	5.619	10.948	88.129	66.290	111.695	45.404																																																																																																																																																																																																																																			
4.372	9.890	53.137	6.024	10.995	88.204	65.251	110.693	45.443																																																																																																																																																																																																																																			
4.660	10.094	54.697	6.421	11.042	89.640	64.107	110.073	45.967																																																																																																																																																																																																																																			
4.948	10.108	55.736	6.818	11.089	89.389	63.587	109.165	45.579																																																																																																																																																																																																																																			
5.236	10.203	56.152	7.215	11.136	89.840	63.171	108.980	45.809																																																																																																																																																																																																																																			
5.524	10.130	55.477	7.612	11.184	88.819	63.691	109.057	45.366																																																																																																																																																																																																																																			
5.812	10.094	55.217	8.009	11.232	88.120	63.691	108.830	45.139																																																																																																																																																																																																																																			
6.104	10.035	54.957	8.411	11.282	87.229	63.847	108.584	44.737																																																																																																																																																																																																																																			
6.392	9.926	54.697	8.808	11.331	85.907	64.107	108.170	44.063																																																																																																																																																																																																																																			
7.893	8.036	52.617	10.877	11.594	67.966	66.706	101.362	34.655																																																																																																																																																																																																																																			
8.944	7.512	51.577	12.325	11.785	62.505	66.810	99.149	32.339																																																																																																																																																																																																																																			

ภาพผนวกที่ ๑1 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)

ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 1

KASETSART UNIVERSITY		
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY		
ISOTROPIC CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST (ASTM D 4767-04)		
PROJECT :	คลองระบายน้ำสุวรรณภูมิ	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS
LOCATION :	-	SAMPLE DIAMETER : 3.82 cm.
DATE :	13 สิงหาคม 2551	SAMPLE AREA : 11.44 cm ²
TEST NO. :	TX - 2	SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm.
TESTED BY :	Wasan Sutthinun	SAMPLE VOLUME : 86.95 cm ³
SAMPLE DEPTH :	2.0(1)-2.5 m.	WEIGHT OF SAMPLE : 120.81 g.
PROVING RING NO. :	J 2616	WET UNIT WEIGHT : 1.39 g/cm ³
LOADING RATE :	0.10 mm/min	DRY UNIT WEIGHT : 0.63 g/cm ³
B VALUE :	0.97	WATER CONTENT :
CONSOLIDATION PRESSURE :	76.81 kPa.	BEFORE TEST 121.57 %
PROVING RING CONSTANT (K) :	0.2062 kg/Div	AFTER TEST 81.30 %
		AFTER CONSOLIDATION PROCESS
		ΔV_c : 19.91 cm ³

Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_3 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2
0.000	0.000	0.000	0.000	9.550	0.000	76.814	76.814	0.000
0.554	3.200	17.101	0.789	9.626	32.594	59.714	76.333	16.620
1.103	3.767	24.582	1.572	9.703	38.070	52.125	71.590	19.465
1.656	4.327	29.926	2.359	9.781	43.379	46.888	69.006	22.119
2.206	4.581	33.667	3.142	9.860	45.562	43.307	66.459	23.152
2.766	4.763	36.767	3.940	9.942	46.980	40.314	64.136	23.821
3.318	4.894	38.904	4.727	10.024	47.876	37.910	62.321	24.411
3.881	5.003	40.614	5.529	10.109	48.531	36.467	61.079	24.612
4.438	5.003	42.218	6.321	10.195	48.124	34.863	59.268	24.405
4.991	5.090	43.447	7.110	10.281	48.551	33.634	58.257	24.622
5.550	5.294	44.355	7.906	10.370	50.060	32.726	58.118	25.392
6.113	5.345	45.424	8.708	10.461	50.101	31.657	57.070	25.413
6.667	5.345	46.493	9.497	10.553	49.668	30.482	55.727	25.246
7.219	5.476	47.027	10.284	10.645	50.442	30.054	55.641	25.587
7.773	5.476	47.562	11.072	10.740	49.999	29.519	54.880	25.361
8.329	5.381	47.829	11.865	10.836	48.698	28.879	53.763	24.884
8.879	5.403	48.630	12.648	10.933	48.461	28.184	52.894	24.710
9.435	5.440	48.630	13.441	11.033	48.344	28.344	52.914	24.570
9.988	5.418	49.165	14.227	11.135	47.713	27.810	52.058	24.248
10.544	5.585	49.325	15.020	11.238	48.731	27.489	52.337	24.848
11.100	5.490	49.699	15.812	11.344	47.460	27.115	51.314	24.199
11.654	5.527	50.234	16.601	11.451	47.326	26.581	50.712	24.131
12.206	5.490	50.234	17.388	11.561	46.571	26.741	50.407	23.666
13.827	5.621	50.768	19.696	11.893	46.349	25.940	49.626	23.686
15.411	5.672	50.928	21.953	12.237	45.455	25.619	48.930	23.310
16.199	5.672	51.302	23.075	12.415	44.801	25.245	48.222	22.977

ภาพผนวกที่ 2 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)

ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 2

Axial Displacement mm.		Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa.	σ'_3 kPa.	p' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$) 2	q' (kPa.) ($\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$) 2
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.907	0.000	40.093	40.093	0.000
0.390	1.513	5.823	0.526	10.964	13.528	34.270	41.034	6.764	
0.789	2.022	9.359	1.065	11.024	17.983	30.214	39.206	8.991	
1.185	2.313	12.218	1.598	11.084	20.459	28.238	38.468	10.230	
1.581	2.763	13.518	2.133	11.144	24.315	26.419	38.576	12.158	
1.981	2.894	14.558	2.671	11.206	25.327	24.859	37.522	12.663	
2.373	3.149	16.222	3.201	11.267	27.404	24.235	37.937	13.702	
2.779	3.127	16.898	3.748	11.331	27.060	23.039	36.569	13.530	
3.174	3.309	17.678	4.281	11.395	28.475	22.675	36.913	14.238	
3.571	3.331	18.717	4.816	11.459	28.503	21.635	35.887	14.251	
3.970	3.149	18.717	5.355	11.524	26.794	20.855	34.253	13.397	
4.366	3.149	19.237	5.888	11.589	26.644	20.700	34.021	13.322	
4.762	3.185	19.757	6.423	11.655	26.798	20.180	33.579	13.399	
5.161	3.272	19.757	6.961	11.723	27.374	19.660	33.347	13.687	
5.557	3.512	20.641	7.494	11.790	29.213	19.816	34.422	14.606	
5.960	3.527	20.277	8.038	11.860	29.161	19.660	34.240	14.581	
6.359	3.272	20.537	8.576	11.930	26.898	19.660	33.109	13.449	
6.758	3.549	20.797	9.115	12.001	28.998	19.660	34.159	14.499	
7.151	3.709	20.797	9.645	12.071	30.129	19.140	34.204	15.064	
7.544	3.454	20.797	10.174	12.142	27.897	19.140	33.088	13.948	
7.939	3.745	21.317	10.707	12.215	30.066	19.036	34.069	15.033	
8.336	3.803	20.797	11.242	12.288	30.350	18.880	34.055	15.175	
9.232	3.512	21.421	12.452	12.458	27.647	18.776	32.599	13.824	
10.031	3.658	20.797	13.529	12.613	28.438	19.036	33.255	14.219	
10.819	3.512	21.837	14.591	12.770	26.972	18.516	32.002	13.486	
11.342	3.636	21.421	15.298	12.876	27.690	18.256	32.101	13.845	

ภาพผนวกที่ 3 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)

ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 3

 KASETSART UNIVERSITY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNICAL ENGINEERING LABORATORY ISOTROPIC CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST (ASTM D 4767-04)																																																																																																																																																																																																																																																				
PROJECT : กรุงเทพมหานคร (สายใหม่) LOCATION : - DATE : 17 สิงหาคม 2551 TEST NO. : TX - 4 TESTED BY : Wasan Sutthinun SAMPLE DEPTH : 4.5(3)-5.1 m. PROVING RING NO. : J 2616 LOADING RATE : 0.10 mm/min B VALUE : 0.97 CONSOLIDATION PRESSURE : 67.71 kPa. PROVING RING CONSTANT (K) : 0.2062 kg/Div	SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS SAMPLE DIAMETER : 3.82 cm. SAMPLE AREA : 11.48 cm ² SAMPLE HEIGHT : 7.60 cm. SAMPLE VOLUME : 87.25 cm ³ WEIGHT OF SAMPLE : 124.89 g. WET UNIT WEIGHT : 1.43 g/cm ³ DRY UNIT WEIGHT : 0.68 g/cm ³ WATER CONTENT : BEFORE TEST 110.20 % AFTER TEST 95.42 % AFTER CONSOLIDATION PROCESS ΔV_c : 12.65 cm ³																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Axial Displacement mm.</th> <th>Axial Load kg.</th> <th>Excess Pore Pressure kPa.</th> <th>Axial Strain %</th> <th>Correction Area Ac, cm²</th> <th>Deviator Stress (σ₁ - σ₃) kPa.</th> <th>σ₃ kPa.</th> <th>p' (kPa.) (σ'₁ + σ'₃) 2</th> <th>q' (kPa.) (σ'₁ - σ'₃) 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>10.315</td><td>0.000</td><td>68.191</td><td>67.949</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>0.554</td><td>3.469</td><td>18.704</td><td>0.766</td><td>10.395</td><td>32.724</td><td>49.487</td><td>65.930</td><td>16.443</td></tr> <tr><td>1.113</td><td>4.414</td><td>27.789</td><td>1.538</td><td>10.476</td><td>41.318</td><td>40.295</td><td>61.174</td><td>20.879</td></tr> <tr><td>1.669</td><td>4.909</td><td>33.133</td><td>2.308</td><td>10.559</td><td>45.588</td><td>34.951</td><td>58.007</td><td>23.056</td></tr> <tr><td>2.245</td><td>5.418</td><td>37.034</td><td>3.104</td><td>10.645</td><td>49.905</td><td>31.050</td><td>56.308</td><td>25.257</td></tr> <tr><td>2.805</td><td>5.454</td><td>39.813</td><td>3.878</td><td>10.731</td><td>49.838</td><td>28.271</td><td>53.495</td><td>25.223</td></tr> <tr><td>3.362</td><td>5.432</td><td>41.844</td><td>4.648</td><td>10.818</td><td>49.242</td><td>26.507</td><td>51.293</td><td>24.786</td></tr> <tr><td>3.911</td><td>5.745</td><td>43.286</td><td>5.408</td><td>10.905</td><td>51.661</td><td>24.905</td><td>51.004</td><td>26.100</td></tr> <tr><td>4.470</td><td>5.832</td><td>44.890</td><td>6.181</td><td>10.994</td><td>52.018</td><td>23.195</td><td>49.529</td><td>26.335</td></tr> <tr><td>5.027</td><td>5.745</td><td>45.691</td><td>6.950</td><td>11.085</td><td>50.819</td><td>22.233</td><td>48.036</td><td>25.803</td></tr> <tr><td>5.580</td><td>5.578</td><td>46.493</td><td>7.715</td><td>11.177</td><td>48.934</td><td>21.591</td><td>46.353</td><td>24.762</td></tr> <tr><td>6.137</td><td>5.505</td><td>47.562</td><td>8.484</td><td>11.271</td><td>47.893</td><td>20.629</td><td>44.807</td><td>24.178</td></tr> <tr><td>6.693</td><td>5.672</td><td>48.096</td><td>9.254</td><td>11.367</td><td>48.934</td><td>19.988</td><td>44.750</td><td>24.762</td></tr> <tr><td>7.243</td><td>5.687</td><td>48.630</td><td>10.014</td><td>11.463</td><td>48.648</td><td>19.561</td><td>44.124</td><td>24.563</td></tr> <tr><td>7.795</td><td>5.723</td><td>49.165</td><td>10.777</td><td>11.561</td><td>48.544</td><td>18.919</td><td>43.483</td><td>24.563</td></tr> <tr><td>8.345</td><td>5.890</td><td>49.699</td><td>11.538</td><td>11.660</td><td>49.537</td><td>18.385</td><td>43.455</td><td>25.069</td></tr> <tr><td>8.901</td><td>5.905</td><td>50.234</td><td>12.307</td><td>11.763</td><td>49.227</td><td>17.851</td><td>42.762</td><td>24.912</td></tr> <tr><td>9.451</td><td>5.563</td><td>50.234</td><td>13.067</td><td>11.865</td><td>45.976</td><td>17.957</td><td>41.158</td><td>23.201</td></tr> <tr><td>10.014</td><td>5.600</td><td>50.768</td><td>13.845</td><td>11.973</td><td>45.862</td><td>17.316</td><td>40.512</td><td>23.196</td></tr> <tr><td>10.574</td><td>5.650</td><td>51.196</td><td>14.620</td><td>12.081</td><td>45.863</td><td>16.995</td><td>40.138</td><td>23.143</td></tr> <tr><td>11.133</td><td>5.818</td><td>51.302</td><td>15.393</td><td>12.192</td><td>46.793</td><td>16.889</td><td>40.506</td><td>23.617</td></tr> <tr><td>11.905</td><td>5.869</td><td>51.837</td><td>16.460</td><td>12.347</td><td>46.607</td><td>16.354</td><td>39.876</td><td>23.522</td></tr> <tr><td>13.225</td><td>5.832</td><td>52.371</td><td>18.285</td><td>12.623</td><td>45.307</td><td>15.713</td><td>38.626</td><td>22.913</td></tr> <tr><td>14.553</td><td>5.527</td><td>52.371</td><td>20.122</td><td>12.913</td><td>41.969</td><td>15.713</td><td>36.924</td><td>21.211</td></tr> <tr><td>15.610</td><td>5.469</td><td>52.906</td><td>21.582</td><td>13.154</td><td>40.768</td><td>15.179</td><td>35.777</td><td>20.598</td></tr> <tr><td>16.133</td><td>5.614</td><td>52.906</td><td>22.306</td><td>13.276</td><td>41.466</td><td>15.019</td><td>36.053</td><td>21.034</td></tr> </tbody> </table>		Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress (σ ₁ - σ ₃) kPa.	σ ₃ kPa.	p' (kPa.) (σ' ₁ + σ' ₃) 2	q' (kPa.) (σ' ₁ - σ' ₃) 2	0.000	0.000	0.000	0.000	10.315	0.000	68.191	67.949	0.000	0.554	3.469	18.704	0.766	10.395	32.724	49.487	65.930	16.443	1.113	4.414	27.789	1.538	10.476	41.318	40.295	61.174	20.879	1.669	4.909	33.133	2.308	10.559	45.588	34.951	58.007	23.056	2.245	5.418	37.034	3.104	10.645	49.905	31.050	56.308	25.257	2.805	5.454	39.813	3.878	10.731	49.838	28.271	53.495	25.223	3.362	5.432	41.844	4.648	10.818	49.242	26.507	51.293	24.786	3.911	5.745	43.286	5.408	10.905	51.661	24.905	51.004	26.100	4.470	5.832	44.890	6.181	10.994	52.018	23.195	49.529	26.335	5.027	5.745	45.691	6.950	11.085	50.819	22.233	48.036	25.803	5.580	5.578	46.493	7.715	11.177	48.934	21.591	46.353	24.762	6.137	5.505	47.562	8.484	11.271	47.893	20.629	44.807	24.178	6.693	5.672	48.096	9.254	11.367	48.934	19.988	44.750	24.762	7.243	5.687	48.630	10.014	11.463	48.648	19.561	44.124	24.563	7.795	5.723	49.165	10.777	11.561	48.544	18.919	43.483	24.563	8.345	5.890	49.699	11.538	11.660	49.537	18.385	43.455	25.069	8.901	5.905	50.234	12.307	11.763	49.227	17.851	42.762	24.912	9.451	5.563	50.234	13.067	11.865	45.976	17.957	41.158	23.201	10.014	5.600	50.768	13.845	11.973	45.862	17.316	40.512	23.196	10.574	5.650	51.196	14.620	12.081	45.863	16.995	40.138	23.143	11.133	5.818	51.302	15.393	12.192	46.793	16.889	40.506	23.617	11.905	5.869	51.837	16.460	12.347	46.607	16.354	39.876	23.522	13.225	5.832	52.371	18.285	12.623	45.307	15.713	38.626	22.913	14.553	5.527	52.371	20.122	12.913	41.969	15.713	36.924	21.211	15.610	5.469	52.906	21.582	13.154	40.768	15.179	35.777	20.598	16.133	5.614	52.906	22.306	13.276	41.466	15.019	36.053	21.034
Axial Displacement mm.	Axial Load kg.	Excess Pore Pressure kPa.	Axial Strain %	Correction Area Ac, cm ²	Deviator Stress (σ ₁ - σ ₃) kPa.	σ ₃ kPa.	p' (kPa.) (σ' ₁ + σ' ₃) 2	q' (kPa.) (σ' ₁ - σ' ₃) 2																																																																																																																																																																																																																																												
0.000	0.000	0.000	0.000	10.315	0.000	68.191	67.949	0.000																																																																																																																																																																																																																																												
0.554	3.469	18.704	0.766	10.395	32.724	49.487	65.930	16.443																																																																																																																																																																																																																																												
1.113	4.414	27.789	1.538	10.476	41.318	40.295	61.174	20.879																																																																																																																																																																																																																																												
1.669	4.909	33.133	2.308	10.559	45.588	34.951	58.007	23.056																																																																																																																																																																																																																																												
2.245	5.418	37.034	3.104	10.645	49.905	31.050	56.308	25.257																																																																																																																																																																																																																																												
2.805	5.454	39.813	3.878	10.731	49.838	28.271	53.495	25.223																																																																																																																																																																																																																																												
3.362	5.432	41.844	4.648	10.818	49.242	26.507	51.293	24.786																																																																																																																																																																																																																																												
3.911	5.745	43.286	5.408	10.905	51.661	24.905	51.004	26.100																																																																																																																																																																																																																																												
4.470	5.832	44.890	6.181	10.994	52.018	23.195	49.529	26.335																																																																																																																																																																																																																																												
5.027	5.745	45.691	6.950	11.085	50.819	22.233	48.036	25.803																																																																																																																																																																																																																																												
5.580	5.578	46.493	7.715	11.177	48.934	21.591	46.353	24.762																																																																																																																																																																																																																																												
6.137	5.505	47.562	8.484	11.271	47.893	20.629	44.807	24.178																																																																																																																																																																																																																																												
6.693	5.672	48.096	9.254	11.367	48.934	19.988	44.750	24.762																																																																																																																																																																																																																																												
7.243	5.687	48.630	10.014	11.463	48.648	19.561	44.124	24.563																																																																																																																																																																																																																																												
7.795	5.723	49.165	10.777	11.561	48.544	18.919	43.483	24.563																																																																																																																																																																																																																																												
8.345	5.890	49.699	11.538	11.660	49.537	18.385	43.455	25.069																																																																																																																																																																																																																																												
8.901	5.905	50.234	12.307	11.763	49.227	17.851	42.762	24.912																																																																																																																																																																																																																																												
9.451	5.563	50.234	13.067	11.865	45.976	17.957	41.158	23.201																																																																																																																																																																																																																																												
10.014	5.600	50.768	13.845	11.973	45.862	17.316	40.512	23.196																																																																																																																																																																																																																																												
10.574	5.650	51.196	14.620	12.081	45.863	16.995	40.138	23.143																																																																																																																																																																																																																																												
11.133	5.818	51.302	15.393	12.192	46.793	16.889	40.506	23.617																																																																																																																																																																																																																																												
11.905	5.869	51.837	16.460	12.347	46.607	16.354	39.876	23.522																																																																																																																																																																																																																																												
13.225	5.832	52.371	18.285	12.623	45.307	15.713	38.626	22.913																																																																																																																																																																																																																																												
14.553	5.527	52.371	20.122	12.913	41.969	15.713	36.924	21.211																																																																																																																																																																																																																																												
15.610	5.469	52.906	21.582	13.154	40.768	15.179	35.777	20.598																																																																																																																																																																																																																																												
16.133	5.614	52.906	22.306	13.276	41.466	15.019	36.053	21.034																																																																																																																																																																																																																																												

ภาพผนวกที่ 4 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test)

ของตัวอย่างดินเหนียว TX - 4

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายวสัน สุทธิคุ้ม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 29 สิงหาคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-