



การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิและอัตรา
ของดินเหนียวปากพนัง
Study Strength Behavior due to Temperature and Rate Effect
of Pakphanang Clay

วัชระ ศรีสะกุล
Watchara Srisakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราของดิน
เหนียวปากพั้ง
ผู้เขียน นายวัชระ ศรีสะเกษกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนนท์ ชูบุอุปการ)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เถลิษยานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนนท์ ชูบุอุปการ)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนนท์ ชูบุญอุปการ)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นายวัชระ ศรีสะเกษกุล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายวัชระ ศรีสะกุล)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังเนื่องจากผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราของดินเหนียวปากพั้ง
ผู้เขียน	นายวัชระ ศรีสะกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านวิศวกรรมของดินเนื่องด้วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อความแข็งแรงของดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การตอบสนองของพื้นดินทั้งหมดขึ้นอยู่กับพฤติกรรมที่ขึ้นกับเวลาหรือความหนืดของดินโดยเฉพาะในดินเหนียว เพื่อทำนายพฤติกรรมของดิน และการออกแบบโครงสร้างรากฐาน วิศวกรต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมที่ขึ้นกับเวลาอย่างชัดเจน พฤติกรรมที่ขึ้นกับความชอบเป็นผลมาจากความหนืด ของดินที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพลาสติก ของดินที่มีความหนืดที่เด่นในดินเหนียว

อำเภอปากพั้ง จังหวัดนครศรีธรรมราชมีการพัฒนาเมืองอย่างรวดเร็วทางชายฝั่งด้านตะวันออกของภาคใต้ ธรณีวิทยาของปากพั้งเป็นดินเหนียวอ่อนซึ่งเป็นแหล่งที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากความร้อนใต้พิภพ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอพฤติกรรมความเค้น ความเครียด และกำลังของดินเหนียวอ่อนปากพั้ง ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราเฉือน โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่พัฒนาขึ้น ทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ และเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และอัตราความเครียดที่แตกต่างกัน 0.02%, 0.075%, 1.0% และ 6.0% ต่อมาที่ตามลำดับ ในตอนท้ายของงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนปากพั้งอุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิห้อง

จากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดดิน แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อค่าขีดจำกัดอัตรเตอร์เบิร์ก โดยดินที่ปล่อยให้แห้งเองจะมีค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) ได้ร้อยละ 36.9 ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, LL) ได้ร้อยละ 109.0 ดัชนีพลาสติก (Plastic index, PI) ได้ค่า 72.1 ส่วนดินที่ทำให้แห้งด้วยความร้อน มีค่าขีดจำกัดเหลวร้อยละ ร้อยละ 70.7 ค่าขีดจำกัดพลาสติกร้อยละ 31.0 จึงทำให้ทราบว่าดินเหนียวปากพั้งเป็นดินเหนียวอินทรีย์

นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังมีผลพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพั้งให้มีความแข็งแรงมากขึ้นด้วยในทุก ๆ การอัดแน่นเกินตัว และส่งผลให้ดินถึงจุดวิบัติด้วยการเคลื่อนตัวที่น้อย ดินที่อุณหภูมิห้องดินจะถึงจุดวิบัติอยู่ที่ประมาณ 12.1 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแนวแกน ดินที่ได้รับอุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส มีจุดวิบัติอยู่ที่ประมาณ 8.3 และ 6.2 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแนวแกน ตามลำดับ อุณหภูมิยังส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

(6)

และมีเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์ รวมถึงไม่มีผลทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินอย่างมีนัยสำคัญ และมีผลต่อเส้นทางเดินของหน่วยแรงด้วย รวมถึงมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนักตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

คำหลัก : ดินเหนียวปากพนัง, การพัฒนาเครื่องมือ, เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน, อัตราความเครียด, อุณหภูมิ

Thesis Title	Study Strength Behavior due to Temperature and Rate Effect of Pakphanang Clay
Author	Mr.Watchara Srisakul
Major Program	Civil Engineering
Academic Year	2016

Abstract

Changes in soil engineering behavior because of the changing temperature affect the strength of the soil, especially saturated clay. The total ground response depends on time-dependent behavior or viscosity of soil, especially in clay. To predict soil behavior and design structure foundation, the engineer must clearly understand the time-dependent behavior of dependent behavior is the result of the viscosity of soil that relates to the plasticity of soil that viscosity of soil is predominant in clay.

Pakphanang, Nakhon Si Thammarat province rapidly developing city, eastern coast of southern of Thailand. The geology of Pakphanang is soft marine clay that is a potential host formation for geothermal utilization. Therefore this research aimed to present stress-strain behavior and shear strength of soft Pakphanang clay by developed triaxial compression apparatus at varying of temperature and shear rate. Triaxial tests, consolidated undrained type. The shear temperature were 45 and 60 degrees Celsius, shear rates were 0.02%, 0.075%, 1.0%, and 6.0% per minute. At the end of this paper, we will present a comparative study of the relationship between stress and strain, shear strength of soft clay, high temperature, and room temperature.

The test results were showed that the increased temperature did not affect molecular structure of soil but it's was effect to Atterberg's limits. The dried soils have plastic limit (PL) of 36.9 percent, liquid limit (LL) of 109.0 percent, and 72.1. of plastic index (PI). The soil that dried by heat the liquid limit is 70.7 percent, plastic limit is 31.0 percent. It's showed that Pakphanang Clay is organic clay.

In addition, increased temperatures also contribute to the strength of Pakphanang clay, the strength of the clay is increased in every overconsolidation ratio, a few moving to the point of failure, The soil at room temperature reaches to the point of failure about 12.1 percent of the axial strain. The soil at 45 and 60 degrees Celsius had a failure point about 8.3 and 6.2 percent of the axial strain, respectively. The temperature also contributes to the modulus of elasticity at the point of failure, a clear increase in the modulus of elasticity secant, no significant effect of excess water

pressure. It's affects the path of the force, water pressure coefficient at the failure point was few increases that not increase the temperature.

Keywords : Pakphanang clay, Apparatus development, Triaxial apparatus, strain rate, Temperature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายหลายท่าน ท่านแรกและผู้วิจัยอยากขอบคุณเป็นอย่างยิ่งคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนันท์ ชูบุอุปการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และท่านต่อมาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมพู่รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความความรู้ คำปรึกษา รวมทั้งชี้แนะแนวทางให้กับผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยชิ้นนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยผ่านมาด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณบริษัททีเอสไอ และห้างหุ้นส่วนสามัญ ที.เอ็ม.ฮาร์ดแวร์ ที่ให้คำปรึกษาและผลิตชุดควบคุมอุณหภูมิ จนสามารถผลิตเครื่องทดสอบได้สำเร็จ ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี สำหรับความอนุเคราะห์น้ำยาพาราฟสมในการผลิตปลอกยาง

ขอขอบคุณพีศิรพร พิษลดา ที่คอยสอนเรื่องงานวิจัย ขอขอบคุณ วาริส น้องอาร์ม บั๊ยกำลังสำคัญในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณพีสุพิศ สำหรับคำแนะนำในการทำเอกสาร ขอขอบคุณเพื่อนสนิท โบว์ อารักษ์ นัย พาง มด สำหรับกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณความห่วงใย กำลังใจจากพี่ๆ ศูนย์ส่งเสริมศิลปะและวัฒนธรรมและน้องๆ โขนสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณทุกอุปสรรคที่ทำให้แกร่งขึ้น ขอขอบคุณทุกความรักที่ทำให้มีความหวัง ขอขอบคุณน้ำใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่าน

ท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดูตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่าน ที่คอยไถ่ถามความคืบหน้า ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วัชระ ศรีสะเกษกุล

สารบัญ

		หน้า
	สารบัญ	(5)
	บทคัดย่อ	(7)
	Abstract	(10)
	กิตติกรรมประกาศ	(12)
	สารบัญ	(13)
	สารบัญตาราง	(10)
	สารบัญรูปภาพ	(12)
	บทที่	(13)
1	บทนำ	1
	1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
	1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
	1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1. สภาพทางธรณีวิทยา	3
	2.2. การกำเนิดของดิน	5
	2.3. ชนิดของแร่ดินเหนียว	7
	2.4. คุณสมบัติทางกายภาพและการจำแนกประเภทของดิน	10
	2.5. คุณสมบัติของดินมวลละเอียด	17
	2.6. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน	19
	2.7. การทดสอบแรงอัดสามแกนและการแปลผล	26
	2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
3	วิธีดำเนินการวิจัย	53
	3.1. การพัฒนาเครื่องทดสอบใหม่	54
	3.2. การเก็บตัวอย่างดิน	62
	3.3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	63
	3.4. การวิเคราะห์และการสรุปผล	68
4	การพัฒนาเครื่องทดสอบ ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ	69
	4.1. ผลการพัฒนาเครื่องทดสอบใหม่	69
	4.2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	73
	4.3. ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน	78
5	สรุป และข้อเสนอแนะ	115

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	121
ก แบบแปลนเซลล์สามแกน	122
ข ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ	127
ค ข้อมูลการทดสอบแรงอัดสามแกน	130
ง การเผยแพร่วิทยานิพนธ์	194

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทั่วไปของดินเหนียวปากพนัง	5
2.2	ความถ่วงจำเพาะของดินประเภทต่างๆ	11
2.3	การอธิบายค่าดัชนีพลาสติก	11
2.4	การอธิบายค่าดัชนีความเหลว	12
2.5	สภาพดินเหนียว	14
2.6	การจำแนกชนิดของดินแบบเอเอเอชทีโอ	16
2.7	ค่าทั่วไปของโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับดินเหนียว	20
2.8	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติของดินชนิดต่าง	21
3.1	รายละเอียดเงื่อนไขการทดสอบแรงอัดสามแกน	53
3.2	ส่วนผสมสำหรับทำปลอกยางในน้ำยาล 1 ลิตร	61
3.3	ค่าแรงดันสำหรับการอัดตัวคายน้ำ	67
3.4	เงื่อนไขต่างๆ ของตัวอย่างที่ต้องทดสอบ	68
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวปากพนัง	76
4.2	คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวอ่อนปากพนัง	77
4.3	แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด	79
4.4	ความชันของเส้นแนวโน้มเชิงเส้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตรา ความเครียด	81
4.5	ความชันของอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอุณหภูมิ	83
4.6	ค่าร้อยละการลดลงของความเค้น	95
4.7	ความความหนาแน่นของตัวอย่างหลังการให้ความร้อนแบบระบายน้ำ	97
4.8	ความเครียดแนวแกนที่จุดวิบัติ	99
4.9	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติ	100
4.10	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนด์	100
4.11	ความชันของเส้นสถานะวิกฤติที่อุณหภูมิและอัตราต่างกัน	112
4.12	ความชันของเส้นฮอฟสลิปที่อุณหภูมิและอัตราต่างกัน	112
4.13	ค่าสัมประสิทธิ์ของความดันน้ำที่จุดวิบัติของดินเหนียวปากพนัง	113
4.14	ความชันของเส้นแนวโน้มเชิงเส้นของสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติ	114

สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช	3
2.2	ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ เมื่อ 6000 ปีที่แล้วเทียบกับปัจจุบัน	4
2.3	โครงสร้างการรวมตัวของอนุภาคดินเหนียว	8
2.4	แผนภูมิพลาสติกซิตีตี้แสดงชนิดของแร่ดินเหนียว	10
2.5	แผนภูมิพลาสติกซิตีตี้แสดงชนิดของดิน	15
2.6	การยุบตัวระยะที่สอง (Secondary compression)	24
2.7	เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน	27
2.8	ทางเดินของความเค้น (Stress Path)	27
2.9	ทางเดินของความเค้นของดินที่อัดแน่นเกินตัว	29
2.10	แผนผังระบบทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (Mitchell and Campanella, 1963)	33
2.11	แบบเครื่องทดสอบสามแกนของ (Demars and Charles, 1982)	33
2.12	เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)	34
2.13	ระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)	35
2.14	เครื่องทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (Kuntiwattanakul et al, 1995)	35
2.15	ระบบทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (De Bruyn and Thimus, 1996)	36
2.16	เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิและแรงดันสูงของ (Delage et al, 2000)	37
2.17	เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Abuel-Naga et al. (2006)	37
2.18	เครื่องทดสอบสามแกนสำหรับอุณหภูมิต่ำของบริษัท มารูอิ จำกัด ประเทศญี่ปุ่น	38
2.19	เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิสูง-ต่ำและความดันสูง ของบริษัท ไฮเกน จำกัด ประเทศญี่ปุ่น	39
2.20	ความสัมพันธ์ของความเค้น - ความเครียด ในงานวิจัยของ Vaid และ Campanella (1977)	42
2.21	ผลกระทบของอัตราความเครียดต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในงานวิจัยของ Vaid และ Campanella (1977)	42
2.22	ความสัมพันธ์ระหว่างการค่าความเค้นเบี่ยงเบนประสิทธิผล กับความเครียดแนวแกน	43
2.23	พฤติกรรมความเค้น - ความเครียดของดินเหนียวในการทดสอบด้วยอัตราความเครียดคงที่ โดยสมการของ Viad (1979)	44
2.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด โดยอัตราความเครียดคงที่ของดินทราย โดยสมการของ Matsushita et al. (1999)	44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.25	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพูนัง	45
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพูนัง	45
2.27	ผลการทดสอบด้วยการเฉือนเร็วของ Moritz (1995)	46
2.28	ผลการทดสอบด้วยการเฉือนช้าของ Moritz (1995)	47
2.29	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่สภาวะอัดแน่นปกติ	48
2.30	ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่สภาวะอัดแน่นเกินตัว	48
2.31	ผลการทดสอบกำลังอัดสามแกนตัวอย่างสภาพอัดแน่นปกติของ Tanak และคณะ (1997)	49
2.32	ผลการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวอ่อน (Abuel-Naga และคณะ 2006)	50
2.33	ผลการทดสอบของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	51
2.34	ความแข็งแรงของดินที่เพิ่มขึ้นตามการให้อุณหภูมิของ Grino (2004)	51
2.35	เส้นทางความเค้นของของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ	52
3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	54
3.2	แบบเซลล์สามแกนที่ปรับปรุงใหม่	55
3.3	การสอบเทียบระหว่างอุณหภูมิในตัวอย่างและอุณหภูมิน้ำรอบตัวอย่าง	57
3.4	รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแรงอัดสามแกน	58
3.5	การติดตั้งเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ	59
3.6	อุปกรณ์ในการทำปลอกยาง	61
3.7	แผนที่โรงเรียนบ้านปากคลอง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช	62
3.8	การเก็บตัวอย่างดินเหนียวปากพูนัง	63
3.9	การเปรียบเทียบอัตราความเครียดที่ความเค้นประสิทธิผลใดๆ ที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ	67
4.1	เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ	70
4.2	ระบบควบคุมอุณหภูมิ	70
4.3	โพลดเซลล์	71
4.4	ตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่	71
4.5	เครื่องวัดสัญญาณแรงดัน	71
4.6	เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ	72
4.7	อุปกรณ์การทดสอบอื่นๆ	72
4.8	ผลการศึกษาคุนสมบัติความเป็นผลึกของดินเหนียวที่มีความลึก 4 เมตร	73

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลการศึกษาคุณสมบัติความเป็นผลึก ของดินเหนียวที่ความลึก 8 เมตร	74
4.10 ผลเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของดินเหนียวปากพั้ง	75
4.11 ปริมาณธาตุต่างๆ ของดินเหนียวปากพั้ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	76
4.12 ผลการศึกษาอนุกรมที่มีผลต่อค่าขีดจำกัดอัตราเปอร์ก	78
4.13 แผนภูมิพลาสติกซีดีของดินเหนียวปากพั้ง	78
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียด ที่อัตราการอัดแน่นเกินตัวต่างๆ	80
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์เมิลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเดือนตัวอย่างกับอนุกรม ที่ OCR=1	81
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์เมิลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเดือนตัวอย่างกับอนุกรม ที่ OCR=2	82
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์เมิลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเดือนตัวอย่างกับอนุกรม ที่ OCR=4	82
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์เมิลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเดือนตัวอย่างกับอนุกรม ที่ OCR=8	83
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อนุกรมแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที	85
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 0.02%ต่อนาที	86
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อนุกรมแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.075%ต่อนาที	88
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 0.075%ต่อนาที	89
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อนุกรมแตกต่างกัน อัตราความเครียด 1.0%ต่อนาที	91
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 1.0%ต่อนาที	92
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อนุกรมแตกต่างกัน อัตราความเครียด 6.0%ต่อนาที	93
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 6.0%ต่อนาที	94
4.27 ผลการทดสอบแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างขนาดแตกต่างกัน	96

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอุณหภูมิแตกต่างกัน	98
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากพุ้งทดสอบที่อุณหภูมิห้อง	101
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากพุ้งทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	102
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากพุ้งทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	102
4.32 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที	104
4.33 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที	105
4.34 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที	106
4.35 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที	107
4.36 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที	108
4.37 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 1.0% ต่อ นาที	109
4.38 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 6.0% ต่อนาที	110
4.39 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 6.0% ต่อ นาที	111
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤตกับอัตราความเครียด	114

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศที่มีโครงการขนาดใหญ่ที่ใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนในด้านอุตสาหกรรม เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ กระบวนการนำความร้อนมาใช้ในการอบแผ่นยางพาราติบ หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น ปัญหาที่อาจจะพบได้ คือ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านวิศวกรรมของดินเนื่องด้วยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้อุณหภูมิของสสารเพิ่มขึ้นและมีการขยายตัว ทำให้ปริมาตรเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นดินภายใต้หรือรอบ ๆ โครงสร้างอาคารที่ใช้ประโยชน์จากความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการขยายตัวของโมเลกุลของแร่ที่เป็นส่วนประกอบของดิน และส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของดินได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นดินมวลเม็ดขนาดเล็ก

ดินเหนียวปากพั้ง เกิดจากการพัดพามาและตกตะกอนสะสมตัวบริเวณชายฝั่ง (Marine deposits) เป็นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) ที่มีความเป็นพลาสติกสูง (High plasticity clay, CH) (อัครเดช 2552) ทำให้ดินรับกำลังได้น้อยและมีการยุบตัวสูง จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปากพั้ง พบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นดินที่มีความไวตัว (Sensitivity) ดินประเภทนี้มีการสูญเสียกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear strength) อย่างมากเมื่อถูกรบกวน นอกจากนี้ คุณสมบัติความเป็นพลาสติกของดินสามารถพิจารณาจากการควบคุมอัตราความเครียดจะส่งผลต่อพฤติกรรมการรับหน่วยแรงและกำลังรับแรงเฉือนของดินเช่นกัน ในอดีตได้มีนักวิจัยมากมายที่พยายามศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดหรือผลกระทบจากอัตราความเครียด (Strain rate) ที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรง เช่น Vaid และ Campanella (1977) ได้ทำการทดสอบดินเหนียวแฮนนี่ (Haney clay) ซึ่งเป็นดินเหนียวตกตะกอนที่ค่อนข้างไวตัว (Sensitive) สูง โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่เปลี่ยนไปตามระดับอัตราความเครียดเฉือน ผลการวิจัยพบว่า การปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับแรง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด (Peak deviator stress) ที่ทำการนอร์มัลไลซ์ (Normalized) ด้วยความเค้นประสิทธิผลของการอัดตัวคายน้ำ จะมีค่ามากที่สุดที่ระดับอัตราความเครียดที่สูงสุด

ดังนั้นการศึกษานี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราความเครียดและอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมด้านกำลัง (shear strength) แรงดันน้ำส่วนเกิน (access pore pressure) ลักษณะวิถีความเค้น (Stress part) ของดินเหนียวปากพั้ง รวมทั้งผลกระทบของอัตราการอัดแน่นเกินตัว ด้วยการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเซลล์การทดลองได้ตามต้องการ

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1. เพื่อออกแบบพัฒนาเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของดิน

1.2.2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน ที่มีต่อพฤติกรรมของความเค้น – ความเครียดของดินเหนียวปากพูนัง

1.2.3. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมของความเค้น – ความเครียดของดินเหนียวปากพูนัง

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ

1.3.2. ตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาเป็นดินเหนียวอ่อนแบบไม่ถูกรบกวนโดยมีอัตราการอัดแน่นเกินตัวปกติ ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความลึกที่ประมาณ 3 ถึง 12 เมตร หรือถึงชั้นดินเหนียวแข็งจะถูกเก็บ ในบริเวณ อำเภอปากพูนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.3.3. ทดสอบโดยใช้แรงอัดสามแกน (Triaxial Test) แบบไม่ระบายน้ำ และเลื่อนด้วยอัตราความเครียดคงที่ (Constant strain rate) ที่ 0.020% 0.075% 1.000% 6.000% ต่อหน้าที่รวมทั้งอุณหภูมิตั้งที่ อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนค่าอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation ratio , OCRs) ที่ 4 ค่า คือเท่ากับ 1 , 2 , 4 และ 8 ตามลำดับ

1.3.4. นำผลการทดสอบที่อุณหภูมิต้องเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในข้อ 1.3.3

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. สามารถพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมด้านกำลังของดินได้

1.4.2. สามารถอธิบายพฤติกรรมของความเค้น – ความเครียดที่ได้จากการทดสอบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินเหนียวปากพูนัง

1.4.3. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดของดินเหนียวปากพูนัง

1.4.4. สามารถพัฒนาความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินเหนียวที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำได้

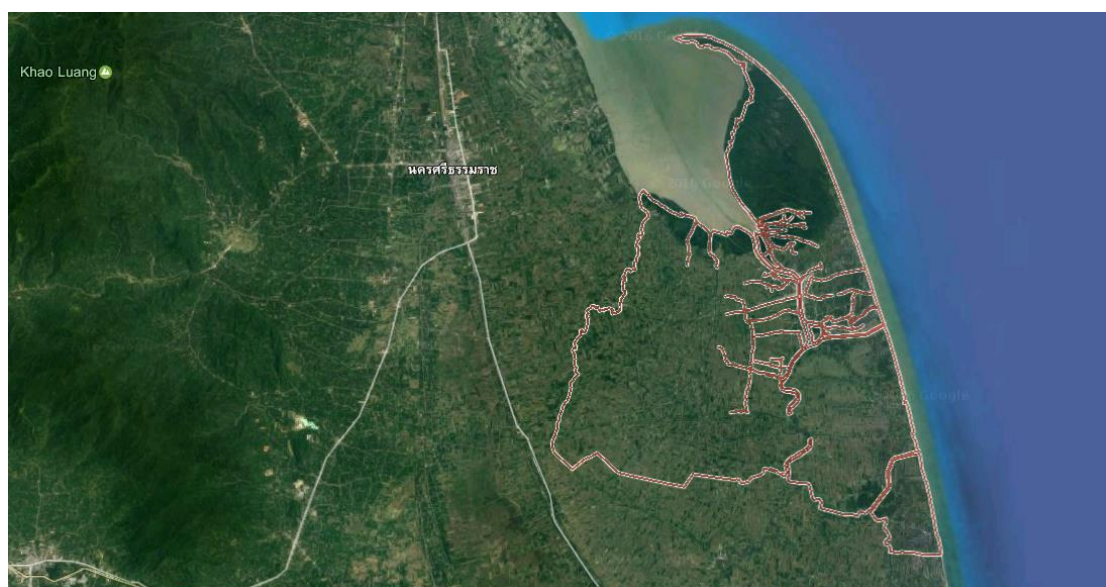
บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิจึงและอัตราความเครียดต่อพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพั้ง โดยการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย สภาพทางธรณีวิทยา ลักษณะของชั้นดินเหนียวปากพั้ง คุณสมบัติดัชนี คุณสมบัติทางวิศวกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินเหนียว ทฤษฎีกำลังเฉือนของดิน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. สภาพทางธรณีวิทยา

ลุ่มน้ำปากพั้ง ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ครอบคลุมพื้นที่รวม 13 อำเภอ คือ พื้นที่ทั้งหมดของอำเภอปากพั้ง อำเภอเชียรใหญ่ อำเภอหัวไทร อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอชะอวด อำเภอร่อนพิบูลย์ อำเภอจุฬาภรณ์ พื้นที่บางส่วนของอำเภอลานสกา อำเภอพระพรหม และอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช รวมทั้งพื้นที่บางส่วนของอำเภอควนขนุน อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา



รูปที่ 2.1 อำเภอปากพั้ง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ที่มา: <https://www.google.co.th/maps>

ในปี พ.ศ.2546 อภิชัยได้มีการเสนอข้อมูลสภาพทางธรณีวิทยาและลักษณะของชั้นดินบริเวณภาคใต้ไว้ว่า ภาคใต้มีลักษณะแหลมยื่นออกไปในทะเล ด้านตะวันออกติดกับอ่าวไทย ส่วนด้านตะวันตกติดทะเลอันดามัน การเปลี่ยนแปลงทางธรณีของชายฝั่งทางภาคใต้เริ่มในช่วงระยะเวลาประมาณ 10,000 ปีที่แล้ว โดยคาบสมุทรทางใต้ได้มีการตัวยกตัวเอียงไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทำให้ชายฝั่งทะเลด้านทิศตะวันออกยกตัวขึ้นและชายฝั่งด้านตะวันตกจมลง ประกอบกับการลดลง

ของระดับน้ำทะเลฝั่งทะเลตะวันออกที่เคยจมอยู่ใต้น้ำถูกยกขึ้นสูงกว่าระดับน้ำทะเล เกิดเป็นที่ราบกว้างชายฝั่งที่มีระดับต่ำกว่าที่ราบเดิมและเกิดเป็นบันไดชายฝั่ง (Marine terrace) ขึ้นใหม่ ซึ่งแนวชายฝั่งทะเลบริเวณนี้จะมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ นอกจากนี้การยกตัวขึ้นของแผ่นดินทำให้แม่น้ำต้องมีการปรับการไหลและการกัดเซาะ โดยลำน้ำจะกัดเซาะบริเวณกลางและปลายน้ำให้ลึกลงไป ทำให้มีบันไดริมแม่น้ำ (River terrace) ใหม่เกิดขึ้น สภาพภูมิประเทศในบริเวณนี้จึงมีการกัดเซาะในลักษณะของตัวยู (U - shape) จากรูปที่ 2.2 แสดงบริเวณที่เคยเป็นชายฝั่งทะเลในอดีตเทียบกับปัจจุบันในบริเวณภาคใต้ให้เห็นอย่างชัดเจน ในตัวอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งอยู่ตามแนวสันทรายเก่า และอยู่ห่างจากสันทรายริมทะเลปัจจุบันประมาณ 20 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีร่องรอยของการเกิดแอ่งน้ำหลังสันทรายเก่า (Lagoon) ทำให้เห็นเป็นแนวยาวในบริเวณด้านทิศตะวันตกของตัวเมือง



รูปที่ 2.2 ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ เมื่อ 6000 ปีที่แล้วเทียบกับปัจจุบัน
ที่มา: อภิชัย (2546)

บริเวณที่ราบชายฝั่งตะวันออกขึ้นดินส่วนใหญ่จะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ในบริเวณที่เป็นชายหาดเก่าอาจจะมีชั้นทรายทับถมอยู่ข้างบน ในบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช จะมีชั้นทรายและทรายนดินสลับอยู่เบื้องล่าง ชั้นดินเหล่านี้เกิดจากการสะสมของตะกอนแม่น้ำก่อนที่ชายฝั่งจะถอยร่นออกไป ดินเหนียวบริเวณนี้รวมไปจนถึงอำเภอปากพนัง เรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของดินเหนียวปากพั้ง

รายละเอียดคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม		ช่วงของค่า
ค่าความชื้นในธรรมชาติ (W_n)	(%)	81.78
ค่าพิกัดเหลว (LL)	(%)	73.10
ค่าพิกัดพลาสติก (PL)	(%)	44.40
ค่าดัชนีพลาสติก (PI)	(%)	28.70
ค่าหน่วยน้ำหนัก (unit weight)	t/m ³	1.52
ค่าความถ่วงจำเพาะ (G_s)	-	2.67
ทราย (sand) (0.06 – 2 mm.)	(%)	0.75
ดินตะกอน (silt) (0.002 – 0.06 mm.)	(%)	52.67
ดินเหนียว (clay) (< 0.002 mm.)	(%)	43.69
ค่าดัชนีการยุบตัว (C_c)	-	0.668
ค่าดัชนีการยุบตัวช้า (C_r)	-	0.140
อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio)	-	2.253

ที่มา : อัครเดช (2552),ศิริพรและคณะ (2556) คุณสมบัติทั่วไปของดินเหนียวปากพั้ง

2.2. การกำเนิดของดิน

ดิน เกิดจากการกัดกร่อนผุพัง แตกสลายของหินและแร่ต่างๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรีย์วัตถุ ดิน สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลซึ่งกันและกันเป็นอย่างมาก โดยดินจะตั้งธาตุไนโตรเจน และคาร์บอนจากบรรยากาศมาสร้างธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต ในขณะที่สิ่งมีชีวิตก็ทำให้หินผุพังกลายเป็นดิน เริ่มแรกนั้นหินหนืดร้อนภายในโลก (Magma) และหินหนืดร้อนบนพื้นผิวโลก (Lava) กระทบกับบรรยากาศของโลกจะเกิดเย็นตัวลงกลายเป็นหินอัคนี (Igenous Rock) ลม ฟ้า อากาศ น้ำ และแสงแดด ทำให้หินผุพังสีกกร่อนเป็นตะกอนทับถมกันเป็นเวลานานจนแข็งแกร่ง แรงอัดที่เกิดจากน้ำหนักของชั้นดินที่อยู่เหนือขึ้นไปทำให้ดินตะกอนเข้าอยู่แทรกตามช่องว่างของเม็ดดิน โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานยึดเม็ดดินจนเม็ดดินเกิดการรวมตัวเป็นหินตะกอนหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าหินชั้น (Sedimentary Rock) การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก การเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และความร้อนทำให้เนื้อหินเกิดการแปรสภาพขึ้นเป็นหินแปร (Metamorphic Rock) กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นเป็นวงรอบเรียกว่า วัฏจักรดิน

อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับ หินอัคนี หินชั้น และหินแปร การเปลี่ยนแปลงประเภทหินอาจเกิดขึ้นย้อนกลับไปได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมดิน การแยกชนิดของดินอาจแยกได้ตามสมมติฐานของการเกิดดินได้เป็น ดินเกิดในที่และดินตกตะกอนจากการพัดพา

2.2.1) ดินเกิดในที่ (Residual soils)

เกิดจากการย่อยสลายของหินต้นกำเนิดโดยมีน้ำเป็นสารละลายหลัก การละลายมีดีกรีสูงจากผิวดินลงสู่ความลึกด้านล่าง ซึ่งจะเห็นได้จากรูปตัดหน้าดิน เม็ดดินที่หน้าดินจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดดินชั้นล่างซึ่งอาจจะมีหินกรวดที่ยังไม่สมบูรณ์รวมอยู่ด้วย ดินชนิดนี้มีกระบวนการในการเกิดได้หลายรูปแบบ

1.) กระบวนการการผุพัง (Weathering) คือการที่หินผุพังทำลายลง (อยู่กับที่) ด้วยกรรมวิธีต่างๆ จากลมฟ้าอากาศ สารละลาย และรวมทั้งการกระทำของต้นไม้ แบคทีเรีย ตลอดจนการแตกตัวทางกลศาสตร์ มีการเพิ่มและลดอุณหภูมิ

2.) กระบวนการการย่อยสลาย (Mechanical Disintegration) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการย่อยทำลายก้อนหินทางกายภาพ คือ การสลายตัวของก้อนหินลงเป็นเม็ดหินย่อยและดินเม็ดหยาบ เกิดจากการกระทำของกระแสน้ำ คลื่น และแรงโน้มถ่วง

2.2.2) ดินตกตะกอนจากการพัดพา (Sedimented soils, Transported soils)

เป็นดินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเม็ดดินเกิดการกัดกร่อน (Erosion) และถูกการพัดพา (Transportation) จากแหล่งกำเนิดไปอีกที่โดยอาศัยตัวกลาง เช่น ลมฟ้าอากาศ กระแสน้ำธารน้ำแข็ง และเกิดการตกตะกอนทับถม (Deposit) เป็นเวลานาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิตั้งแต่ความกดดัน ปฏิกิริยาเคมี และเกิดการตกผลึกเกิดเป็นชั้นดิน และในบางกรณีจะเกิดกระบวนการการกลับคืนเป็นหิน (Lithification) ซึ่งดินชนิดนี้จะมีชื่อเรียกตามลักษณะการพามา เช่น

1.) อัลลูเวียม (Alluvium)

เป็นดินที่เกิดขึ้นใหม่ มีอายุน้อย เกิดจากการพัดพาของน้ำจืด ทับถมตกตะกอนในน้ำจืด ตามที่ราบลุ่ม เช่น ที่ราบลุ่มริมแม่น้ำ ทะเลสาบ ปากแม่น้ำ ชายทะเล และเนินตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan) เป็นต้น ส่วนมากจะมีเนื้อดินละเอียด และการระบายน้ำเลว มักพบลักษณะที่แสดงการซังน้ำ ยกเว้นบริเวณสันดินริมน้ำ และที่เนินตะกอนน้ำพารูปพัด ที่เนื้อดินจะหยาบกว่า และดินมีการระบายน้ำดี มีการทรุดตัวสูง ส่วนประกอบและแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินอัลลูเวียมมักแตกต่างกันมาก และมักจะผสมปนเปจากบริเวณต้นกำเนิดที่มาจากหลายแห่ง

2.) มารีน (Marine)

ดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำจืด ทับถมตกตะกอนในน้ำทะเล ดินทะเลเป็นดินเหนียวชนิดหนึ่งจะมีสารอินทรีย์ปน พบในบริเวณชายฝั่งทะเลทั่วโลก

3.) ลาคัสตริเน (Lacustrine)

ดินประเภทนี้เกิดจากการทับถมอย่างต่อเนื่องโดยกระแสน้ำจากแม่น้ำลงสู่ทะเลสาบ การตกตะกอนเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับ โดยน้ำจะพัดพาเม็ดดินจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำดินที่มีเม็ดดินขนาดใหญ่ เช่น กรวด หินทราย ที่มีน้ำหนักมากจะเริ่มตกตะกอนทับถมก่อน ในขณะที่ดินที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่า และตกตะกอนทับถมในทะเลสาบ

4.) กราเซียล ดริฟท์

ดินที่เกิดโดยการพัดพาของธารน้ำแข็ง ในช่วงยุคน้ำแข็งไพลิสโตซีน (Pleistocene Ice Age) พื้นที่ขนาดใหญ่ของโลกได้ถูกปกคลุมไปด้วยธารน้ำแข็ง ในระหว่างที่ธารน้ำแข็งสะสมตัวเพิ่มขึ้น ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว กรวด และเศษหินแตก ได้ถูกรวมเข้าไปกับธารน้ำแข็ง เมื่อธารน้ำแข็งเคลื่อนตัวไปก็จะพัดพาดินเหล่านี้ติดไปด้วย และละลายดินเหล่านี้ก็จะเกิดการตกตะกอนทับถมกันในบริเวณนั้น ซึ่งถูกเรียกว่าเศษหินธารน้ำแข็ง (Moraines) มีหนาแน่นสูง ทрудตัวน้อย แต่บวมตัวมากเมื่อโดนน้ำ

5.) เอาโอเลน (Aeolian)

ดินที่เกิดโดยการพัดพาของลม (Aeolian Soil Deposits) ดินประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดแห้ง เนื่องจากลมมีพลังงานในการพัดพาไม่มากจึงสามารถพัดพาได้เฉพาะดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก ลมเป็นตัวกลางที่สำคัญโดยเฉพาะบริเวณทะเลทราย ซึ่งเม็ดทรายจะทับถมสะสมตัวกันในรูปของเนินทราย (Dunes) เม็ดทรายจะถูกลมพัดขึ้นไปตามเนินทรายจนกระทั่งข้ามสันทราย เม็ดทรายจะกลิ้งตามความลาดหลังเนินทราย กระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดการอัดตัวของเม็ดทรายบริเวณด้านหน้าเนินทรายและเกิดทรายหลวมบริเวณด้านหลังเนินทราย

2.3. ชนิดของแร่ดินเหนียว

แร่ดินเหนียว (clay mineral) เป็นแร่ทุติยภูมิเกิดจากการผุพังของหิน มีผลึกขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร และมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้าเคมี (Electrochemically very active) ซึ่งจะมีปฏิกิริยามากขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลงตามลำดับ รูปร่างของอนุภาคดินเหนียวนั้น มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ประกอบด้วย ผลึกของแร่ที่มีโครงสร้างแบนบางเช่นเดียวกับแร่ไมกา ประกบซ้อนกันอยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับขนาดของอนุภาคนั้นจะมีขนาดแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดและองค์ประกอบทางแร่ อนุภาคของดินเหนียวจะมีประจุลบ อยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่ออยู่ในสภาพธรรมชาติ ก็จะมีการดูดยึดประจุบวกไว้เป็นจำนวนมากในสัดส่วนที่เท่าๆ กับประจุลบที่มีอยู่จึงทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า ไอออนิกสองชั้น (ionic double layer) ชั้น คือสภาพที่มีประจุ 2 ชั้น ชั้นในได้แก่ประจุลบของอนุภาคดินเหนียว ชั้นนอกได้แก่ประจุบวกที่ถูกดูดยึดไว้ (adsorbed cation)

การจัดเรียงตัวอนุภาคดินเหนียวมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed Structures) จะเกิดเมื่อตัวรวมของแรงระหว่างอนุภาคดินเหนียวเป็นแรงผลัก แต่ละอนุภาคของดินเหนียวจะผลักกัน และพยายามที่จะเคลื่อนที่แยกจากกันและกัน มีการจัดเรียงอนุภาคให้ขนานซึ่งโดยปกติจะเป็นโครงสร้างของดินเหนียวเกิดจากตกตะกอนในน้ำจืด ที่เป็นการจัดเรียงตัวกันแบบหน้าชนหน้า (Face to Face) ดังนั้นจะเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ โครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculated Structure) จะเกิดเมื่อผลรวมของแรงแหว่างอนุภาคดินเหนียวเป็นแรงดึงดูดแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหากันอย่างไม่เป็นระเบียบได้โครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculated Structure) ซึ่งโดยปกติจะเป็นโครงสร้างของดินเหนียวที่ตกตะกอนในทะเลและผลจากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินทำให้เม็ดดินตกตะกอนและทับถมกันแล้วเกิดการจัดเรียงแบบขอบชนหน้า (Edge to Face) เม็ดดินจะยึดตัวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างผิวที่สัมผัสได้เป็นโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



(ก) แบบเป็นระเบียบ

(ข) แบบระเกะระกะ

รูปที่ 2.3 โครงสร้างการรวมตัวของอนุภาคดินเหนียว

แร่ธาตุดินเหนียวหลักประกอบด้วยไฮดรอลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrous Aluminum silicates) เหล็ก (Iron) และแมกนีเซียม (Magnesium) กับรูปแบบแร่ธาตุต่าง (Alkaline minerals) แร่ธาตุเหล่านี้จะไม่ละลายในกรด (Acid) มีลักษณะซึมซับน้ำได้ดี ยืดหยุ่นเมื่อเปียก และยัดน้ำได้ดี มีความเชื่อมแน่นเมื่อแห้ง รูปลักษณะแร่ธาตุส่วนใหญ่เป็นผลึก ซึ่งโครงสร้างของผลึกประกอบขึ้นด้วยหน่วยพื้นฐาน (unit cell) 2 ชนิด คือ หน่วยรูปเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral unit) และหน่วยรูปเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral unit) มาเรียงต่อกันในลักษณะต่าง ๆ เป็นแผ่น หรือเป็นโครงสร้างเรียงชั้นของแร่สองชนิดคือแผ่นซิลิกาและแผ่นอลูมินา

แผ่นซิลิกา (silica) เป็นรูปสี่เหลี่ยมประกอบจากอะตอมซิลิก้า 4 ด้าน มีอะตอมออกซิเจน (Oxygen Atom) อยู่ที่จุดยอดระยะห่างเท่ากันและอะตอมซิลิก้าอยู่ภายในมีระยะห่างจากอะตอมออกซิเจนเท่ากัน แผ่นซิลิกาแต่ละหน่วยจะรวมซ้อนกันเป็นรูปหกเหลี่ยมและเป็นโครงสร้างผลึกของแร่

แผ่นอลูมินา (Alumina) เป็นแถวเรียงสอง โดยมีอะตอมของอลูมินาอยู่ตรงกลางรูปแปดเหลี่ยม ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนไฮดรอกซิล (OH) ในแนวตั้งในแถวสลับกันตามลำดับ

แร่ดินเหนียวสามารถบอกได้ด้วยข้อมูลของขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์ก โดยการแสดงขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติกในแผนภูมิพลาสติกซีดี สามารถแสดงแร่ดินเหนียวได้ดังรูปที่ 2.4 โดยแร่ดินเหนียวปกติจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักซึ่งจะแยกตามลักษณะโครงสร้างการจับตัวของแร่ธาตุประกอบด้วย

2.3.1) กลุ่มมอนท์มอร์ริลโลไนท์ (Montmorillonite)

เป็นส่วนประกอบของแผ่นอลูมินารูปแปดเหลี่ยม ระหว่างแผ่นซิลิการูปแปดเหลี่ยมสองแผ่น การจับตัวกันระหว่างแผ่นแร่ธาตุค่อนข้างหลวม ทำให้เป็นแร่ธาตุที่ไม่อยู่ตัวโดยเฉพาะเมื่อเปียก โดยมีลักษณะลักษณะดูดซับน้ำได้มาก หลังจากนั้นจะบวมตัวและขยายตัวสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อแห้งจะหดตัวมากซึ่งจะเห็นรอยแตกได้อย่างชัดเจน มอนท์มอร์ริลโลไนท์เกิดจากการผุร่อนของแร่ธาตุเฟอร์โรแมกนีเซียม (Ferromagnesian) และจะมีแร่ธาตุย่อยอีก 2 ตัว คือ ไบเบเดลไลท์ (Beidellite) และนอนไทรท์ (Nontrite) จะมีส่วนประกอบผสมอยู่ในดินเป็นส่วนใหญ่ที่รู้จักกันแพร่หลายคือเบนโทไนท์ (Bentonite) ที่มีส่วนผสมหลักของมอนท์มอร์ริลโลไนท์ มีคุณสมบัติพิเศษ

จะบวมตัวหลายเท่าตัวเมื่อนำมาผสมน้ำ มีค่าพิกัดเหลวสูงกว่า 500% ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม เช่น การผสมน้ำนำไปอัดในชั้นดินใต้ฐานเขื่อนให้ทับน้ำ นำมาผสมน้ำเป็นน้ำโคลนเจาะดิน เจาะบ่อบาดาล เจาะบ่อน้ำมัน เจาะเสาเข็มเจาะ เจาะกำแพงพืด เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติพิเศษของน้ำโคลนเบนโทไนท์จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำเล็กน้อย และจากเคลือบผนังบ่อดินไม่ให้น้ำซึมออกจากบ่อดินได้เร็ว สามารถเวียนน้ำโคลนกลับมาใช้ได้ใหม่ และนำน้ำโคลนที่จะทำให้เกิดแรงดันทดแทนดินที่ขุดออกไปจากกลุ่มดินผนังไม่ให้ดินพัง ในขณะที่เครื่องมือขุดเจาะลงไปทำงานใต้ระดับน้ำโคลนได้ตามปกติ เทคอนกรีตได้ด้วยวิธีเทใต้น้ำ

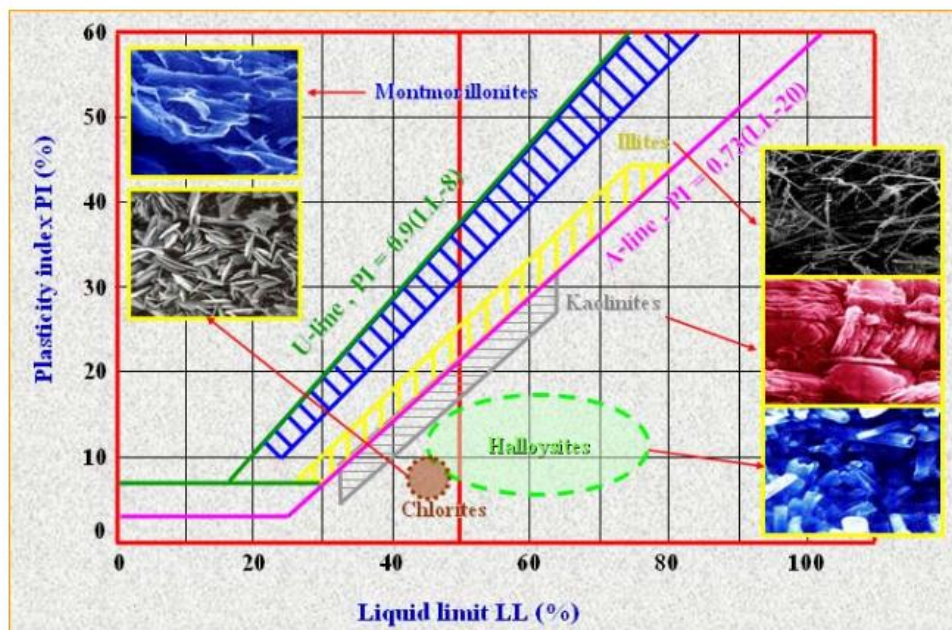
2.3.2) กลุ่มกาอลินไนท์ (Kaolinite ; $Al_2Si_2O_5(OH)_4$)

เกิดจากแผ่นซิลิกาสี่เหลี่ยมเดี่ยว และแผ่นอลูมินาแปดเหลี่ยมเดี่ยวซึ่งจะเกิดซ้อนกันหลายชั้นไม่สิ้นสุดเกิดเป็นโครงผลึกของแร่ธาตุการจัดเรียงของแร่ธาตุ กาอลินไนท์เกิดจากการผุกร่อนของเฟลสปาร์ (Felspar) สลับชั้นกับซิลิกอนอลูมิเนียม (Silicon Aluminium) และยังมีแร่ย่อยอีก คือ ดิกไคท์ (Dickite) นาโคริท์ (Nacrite) และฮาลลอยไซต์ (Halloysite) รูปหลอดแบน เกิดโดยมีดินเหนียวที่เกิดในที่เป็นส่วนประกอบหลักกาอลินไนท์มีสภาวะคงตัวมาก มีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างเชื่อมแน่นสูง ทำให้น้ำซึมเข้าได้ยาก และไม่ขยายตัวเมื่ออ้อมตัวด้วยน้ำใช้เป็นวัสดุพิเศษสำหรับทำอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

2.3.3) กลุ่มอินไลท์ (Illite ; $2K_2O \cdot 3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 24SiO_2 \cdot 12H_2O$)

มีโครงสร้างคล้ายกลุ่มมอนท์มอร์ริลโลไนท์แต่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกัน ส่วนประกอบพื้นฐานของอินไลท์ประกอบด้วยแผ่นกิบไซต์รูปแปดเหลี่ยม (Gibbsite Octrahedron) ระหว่างแผ่นซิลิกาสี่เหลี่ยมสองแผ่น มีคุณสมบัติไม่เหมือนมอนท์มอร์ริลโลไนท์ที่ซึมซับน้ำได้ดีและมีขนาดเล็ก แต่อินไลท์จะรวมกันเป็นขนาดใหญ่จึงสามารถซึมซับน้ำได้น้อยกว่ามอนท์มอร์ริลโลไนท์สามารถขยายตัวได้น้อยกว่า โดยปกติอินไลท์เกิดในลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นแบน (Flaky) เล็กๆ ปนกับแร่ธาตุดินเหนียว (Clay) และแร่ธาตุไม่ใช่ดินเหนียว (Non clay) อื่นๆ

โครงสร้างการจัดเรียงตัวของดินเหนียว เมื่อดินเหนียวจะมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้า ถ้าเม็ดดินมีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวอยู่ใกล้กันจะผลัดกันกันโดยโครงสร้างของดินจะเป็นระเบียบ (Dispersed) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเม็ดดินที่อยู่ติดกันมีประจุไฟฟ้าแตกต่างกันดินจะติดกัน และมีโครงสร้างแบบเป็นระเกะระกะ (Flocculated)



รูปที่ 2.4 แผนภูมิพลาสติกซิตีแสดงชนิดของแร่ดินเหนียว
ที่มา : ชูศักดิ์ (2552)

2.4. คุณสมบัติทางกายภาพและการจำแนกประเภทของดิน

2.4.1) คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ดินจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามลักษณะการกำเนิดเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง ซึ่งจะมีผลต่องานด้านวิศวกรรม ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลดินสามารถแบ่งได้ดังนี้

หน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทั้งหมดของมวลดินกับปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน

ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับดินในอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของดินได้ และยังจะสามารถที่จะนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ในการคำนวณค่าคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความพรุน อัตราส่วนช่องว่างของดิน ระดับความอิ่มตัว ความหนาแน่น เป็นต้น โดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของดินแต่ละประเภทจะไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ความชื้นของดินตามธรรมชาติ (Natural Water Content, w) เป็นการทดสอบพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของดิน เช่น แร่เหนียว อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัวของดิน เป็นต้น ค่าขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์เกอร์ต่างๆ ที่ทดสอบก็คือค่าความชื้นของดิน ในสถานะต่างกับความชื้นตามธรรมชาตินั่นเอง การทดสอบความชื้นของดินจึงมีความจำเป็นในงานทดสอบดิน

ขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์เกอร์ (Atterberg Limits) คือ ขีดจำกัดสถานะภาพของดินตามสภาพความเหนียวดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะของดินประเภทต่างๆ

ประเภทของดิน	ความถ่วงจำเพาะ
ทราย (Sand)	2.65 ถึง 2.67
ทรายปนดินตะกอน (Silt)	2.67 ถึง 2.70
ดินเหนียว (Inorganic Clay)	2.70 ถึง 2.80
ดินที่มีแร่ไมก้าหรือแร่เหล็ก (Soil with Mica or Iron)	2.75 ถึง 3.00
ดินอินทรีย์ (Organic Soil)	1.00 ถึง 2.60

ที่มา: สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ, คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์ (2549)

ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง หรือปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่ดินยังสามารถปั้นเป็นก้อนได้

ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นสารหนืดตัวในสภาพพลาสติก หรือปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาวะไหลตัวได้ ดินเหนียวสามารถไหลได้เหมือนของเหลวเมื่อความชื้นของดินมีมากกว่าค่าขีดจำกัดเหลว ($w > LL$)

ดัชนีพลาสติก (Plastic Index, PI) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดจำกัดเหลวและค่าขีดจำกัดพลาสติก ($PI = LL - PL$) ซึ่งค่าดัชนีพลาสติกสามารถอธิบายสภาพความเหนียวของดินได้ดังตารางที่ 2.3 ดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกสูง (High Plasticity Index) จะแสดงว่ามีช่วงความเป็นพลาสติกกว้าง มีค่าขีดจำกัดเหลวสูง และขีดจำกัดพลาสติกต่ำ เป็นดินเม็ดละเอียด มีความยืดหยุ่น ทрудตัวมาก รับกำลังได้น้อย ซึมผ่านน้ำไม่ดี แร่ดินเหนียวจะเป็นกลุ่มมอนท์โมริลโลไนท์ อิลไลท์

ดัชนีความเหลว (Liquidity Index, LI) เป็นค่าแสดงสภาพของดินตามธรรมชาติดังกล่าวอธิบายในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 การอธิบายค่าดัชนีพลาสติก

ค่าดัชนีพลาสติก (PI)	คำอธิบาย
0	ไม่มีความเหนียว
1 ถึง 5	มีความเหนียวเล็กน้อย
5 ถึง 10	มีความเหนียวน้อย
10 ถึง 20	มีความเหนียวปานกลาง
20 ถึง 40	มีความเหนียวสูง
มากกว่า 40	มีความเหนียวสูงมาก

ที่มา : ชูศักดิ์ (2552)

ตารางที่ 2.4 การอธิบายค่าดัชนีความเหลว

ค่าดัชนีความเหลว (LI)	คำอธิบาย
มากกว่า 1	แสดงว่าความชื้นของดินมากกว่าค่าขีดจำกัดเหลว ($w > LL$) ดินจะอยู่ในสภาพเหลว
เท่ากับ 1	แสดงว่าความชื้นของดินเท่ากับค่าขีดจำกัดเหลว ($w = LL$) ดินจะอยู่ที่ขีดจำกัดเหลว
มากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1	แสดงว่าความชื้นของดินมีค่าอยู่ระหว่างขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดเหลวดินจะอยู่ในสภาพพลาสติก
เท่ากับ 0	แสดงว่าความชื้นของดินเท่ากับค่าขีดจำกัดพลาสติก ($w = PL$) ดินจะอยู่ในขีดจำกัดพลาสติก
น้อยกว่า 0	แสดงว่าความชื้นของดินมากกว่าค่าขีดจำกัดพลาสติก ($w > PL$) ดินจะอยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง

ที่มา : ชูศักดิ์ (2552)

2.4.2) ประเภทของดิน

ดินเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีความซับซ้อน ไม่สามารถคาดการณ์คุณสมบัติได้เหมือนวัสดุก่อสร้างที่ได้จากการผลิตอื่นๆ เช่น เหล็ก คอนกรีต เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สามารถแยกประเภทดินได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ ดินเชื่อมแน่น (Cohesive soil) เป็นดินที่มีแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ดดินน้ำซึมผ่านได้ยาก มีการยึด พองตัว (heave) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ และดินไม่เชื่อมแน่น (Cohesionless soils) เป็นดินที่ไม่มีแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ด น้ำซึมผ่านได้ง่าย รับแรงแบกทานได้ดี หากพิจารณาตามขนาดและส่วนประกอบของเม็ดดินจะสามารถแยกประเภทดินได้ดังนี้

1.) ดินเม็ดหยาบ (Coarse grained soils)

เป็นดินที่มีอนุภาคใหญ่กว่า 75 ไมครอน เนื้อดินมีการเกาะตัวกันหลวมๆ มองเห็นเป็นเม็ดเดี่ยวๆ ได้ ถ้าสัมผัสดินที่อยู่ในสภาพแห้งจะรู้สึกสากมือ เช่น หิน กรวด ทราย เป็นต้น เป็นดินที่สามารถรับค่าน้ำหนักบรรทุกได้ดี รวมทั้งไม่มีคุณสมบัติทางประจุไฟฟ้า เมื่อดำเนินการที่แห้งนี้ไว้ในอุ้งมือแล้วคลายมือออกดินก็จะแตกออกจากกันได้ แต่ถ้ากำดินที่อยู่ในสภาพชื้นจะสามารถทำให้เป็นก้อนหลวมๆ ได้ แต่พอสัมผัสจะแตกออกจากกันทันที

2.) ดินเม็ดละเอียด (Fine grained soils)

เป็นดินที่มีอนุภาคเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 50% มีความเหนียว สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อย มีความทรุดตัวสูง และมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้า เช่น ตะกอนทราย (Silt) ดินเหนียว (Clay) วัสดุแขวนลอย (Suspension) เป็นต้น

ดินในประเภทนี้ที่สำคัญในงานวิศวกรรม คือ ดินเหนียวอ่อน โดยทั่วไปเป็นดินที่ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำ โดยลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณนี้ เมื่อดินจะถูกพัดพาจากแม่น้ำลงสู่ทะเล และน้ำทะเลก็หนุนกลับเข้ามาตกตะกอน ทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นมีทั้งแบบตกตะกอนในแม่น้ำและในทะเล ซึ่งเป็นลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างหรือที่เรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) โดยมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 10-15 เมตร ชั้นถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายสลับกันไป

สำหรับดินเหนียวพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน (cohesion, c) ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงอัดไม่โอบรัด (Unconfined compressive strength, q_u) ค่า q_u โดยทั่วไปของดินเหนียวมีค่าดังตารางที่ 2.5

3.) ดินอินทรีย์ (Organic soil)

ดินอินทรีย์ หมายถึง ดินที่เกิดจากการสลายตัวเน่าเปื่อยผุพังของพืชพรรณไม้ตามธรรมชาติที่ขึ้นอยู่ในแอ่งที่ลุ่มน้ำแช่ขัง ล้มตายทับถมกันเป็นเวลานานนับพันปีจน เป็นชั้นหนา มีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 20 % ดินชั้นล่าง เป็นดินเหนียวมีสภาพเป็นกรดจัด

ในเชิงเกษตร ดินอินทรีย์ หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยวัสดุดินเชิงอินทรีย์ (Organic soil material) หรือเรียกว่า ดินพรุ (peat) เป็นชั้นหนามากกว่า 40 เซนติเมตร ขึ้นไป มีอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) มากกว่า 18% ถ้ามีอนุภาคดินเหนียวมากกว่า 60% หรือมีอินทรีย์คาร์บอน 12-18% ถ้ามีอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่า 60% (Vijarnsorn,1985) เกิดจากการทับถมของซากพืชเป็นเวลานานนับพันปี มีการผุเน่าเนื่องจากหลายปัจจัย แต่ปัจจัยที่สำคัญมาก ๆ คือ ความชื้น อุณหภูมิ องค์ประกอบของตะกอน ความเป็นกรด กิจกรรมของจุลินทรีย์ และเวลา

ในเชิงวิศวกรรม ดินเหนียวอินทรีย์ คือ ดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมทางวิศวกรรมของพวกมันอย่างมีนัยสำคัญจะจัดเป็นดินอินทรีย์ ซึ่งสามารถระบุความเป็นอินทรีย์ได้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการดำเนินการทดสอบขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยอากาศและตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยการอบ ถ้าขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยการอบน้อยกว่าร้อยละ 75 ของขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยอากาศ จึงจำแนกดินประเภทนี้เป็นดินอินทรีย์ โดยจะเป็นได้ทั้งดินเหนียวอินทรีย์ขีดจำกัดเหลวต่ำ (low liquid limit organic clay ,OL) หรือดินเหนียวอินทรีย์ขีดจำกัดเหลวสูง (high liquid limit organic clay ,OH) ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยอากาศ และนำไปพล็อตในแผนภูมิพลาสติกซิตี (plasticity chart)

ดินอินทรีย์มีลักษณะทางกายภาพเป็นดินที่มีความจุในการอุ้มน้ำสูง โดยทั้งน้ำหนักแลปริมาตรน้ำที่อยู่ในดินนี้ทั้งที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่และที่อยู่ในช่องว่างขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายๆ ฟองน้ำที่สามารถรับน้ำได้ และปลดปล่อยออกไปได้ สามารถหดตัวได้สูงเมื่อแห้ง ความหนาแน่นรวมต่ำ และมีความพรุนสูง

ตารางที่ 2.5 สภาพดินเหนียว

สภาพของดินเหนียว	ความเค้นอัดไม่โอเบิร์ต, q_u (ตันต่อตารางเมตร)
อ่อนมาก (very soft)	น้อยกว่า 2.50
อ่อน (Soft)	2.50 ถึง 5.00
ปานกลาง (Medium)	5.00 ถึง 10.00
แข็ง (Stiff)	10.00 ถึง 20.00
แข็งมาก (Very stiff)	20.00 ถึง 40.00
แข็งที่สุด (Hard)	มากกว่า 40.00

ที่มา : อมร และคณะ (2556)

2.4.3) การจำแนกประเภทของดิน

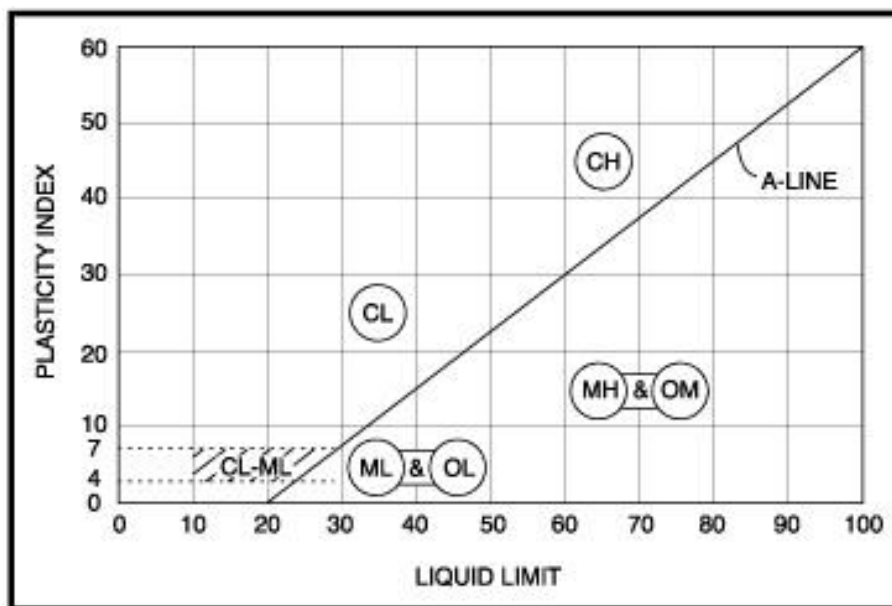
การจำแนกประเภทของดิน เป็นการบ่งถึงลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างของดินแต่ละประเภท ดินมักถูกจำแนกประเภทตามลักษณะงานที่จะนำไปใช้โดยอาศัยคุณสมบัติต่างๆของดินเป็นเกณฑ์ นักธรณีวิทยาที่แยกประเภทของดินตามสภาพธรณีวิทยา ตามปริมาณแร่ธาตุที่ปนอยู่ วิศวกรก็แยกประเภทของดินตามขนาดของดินและหรือตามสภาวะความเหลวของดิน แล้วจัดเป็นหมวดหมู่หรือกลุ่มที่มีพฤติกรรมเหมือนกัน มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน การจำแนกนี้ช่วยให้ทราบในทันทีอย่างคร่าวๆว่าดินตัวอย่างที่ได้มีความเหมาะสมกับงานนั้นๆหรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางที่จะวางแผนการทดสอบหาคุณสมบัติอื่นๆของดินต่อไป การจำแนกดินที่นิยมใช้ คือ

1.) การจำแนกชนิดของดินแบบเอกภาพ (Unified soil classification, USC)

เป็นการจำแนกคุณสมบัติของดินสำหรับบดอัดเป็นคันทาง ดัดแปลงมาจากการจำแนกประเภทของดินของคาซากรานเด โดยอาศัยขนาดของเม็ดดินและสถานภาพความเหลวของดินเป็นเกณฑ์พิจารณาเพื่อประเมินคุณสมบัติด้วยการเขียนจุด ค่าพิกัดเหลวและดัชนีพลาสติกในแผนภูมิพลาสติกซีตีตั้งรูปที่ 2.5

เมื่อพิจารณาตามขนาดของเม็ดดิน จะแบ่งดินออกเป็น ดินเม็ดหยาบ กับ ดินเม็ดละเอียด โดยใช้อักษรย่อตัวแรกกำกับชื่อของกลุ่มดินต่าง ๆ ดังนี้

ดินเม็ดหยาบ คือ ดินที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 50 หากค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 จะเป็นกรวด (G) นอกจากนั้นจะเป็นทราย (S) ดินเม็ดละเอียด คือ ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ ดินตะกอน (M) และดินเหนียว (C) ส่วนดินอินทรีย์ใช้สัญลักษณ์ (O)



รูปที่ 2.5 แผนภูมิพลาสติกชี้ให้เห็นชนิดของดิน

ในแต่ละกลุ่มข้างต้นยังใช้ส่วนขนาดละเอียดและสถานภาพความเหลวที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นเกณฑ์ในการแบ่งย่อยได้อีก โดยใช้อักษรย่อตัวต่อไปกำกับชื่อของกลุ่ม ดังนี้ ขนาดละเอียดมีดินเม็ดละเอียดปนน้อยกว่าร้อยละ 12 (W) ขนาดละเอียดมีดินเม็ดละเอียดปนน้อยกว่าร้อยละ 12 (P) มีดินเหนียวปนมากกว่าร้อยละ 12 (C) มีดินเหนียวปนมากกว่าร้อยละ 12 (C) มีตะกอนทรายปนมากกว่าร้อยละ 12 (M) มีพิกัดความเหลวน้อยกว่าร้อยละ 50 (L) มีพิกัดความเหลวมากกว่าร้อยละ 50 (H)

2.) การจำแนกชนิดของดินแบบเอเอเอชทีโอ (AASHTO)

ระบบ AASHTO (Classification) การจำแนกดินระบบ AASHTO นิยมใช้ในงานวิศวกรรมทาง โดยจัดประเภทของดินที่ความสามารถรับน้ำหนักใกล้เคียงกัน 7 กลุ่ม โดยเรียงลำดับจากความเหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นดินถมคันทาง ใช้สัญลักษณ์ A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 และ A-7 ตามลำดับ สำหรับดิน A-1, A-2, A-3 เป็นดินมวลหยาบผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 30% ส่วนดินกลุ่ม A-4, A-5, A-6 และ A-7 เป็นดินมวลละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 35% ทั้งนี้ ดินกลุ่ม A-1 ถึง A-3 ซึ่งเป็นดินเม็ดหยาบ โดย A-1 เป็นพวกกรวดและทรายที่มีขนาดละเอียดแบ่งย่อยเป็น A-1-a และ A-1-b ดินกลุ่ม A-2 เป็นพวกกรวดและทรายที่มีดินพวกเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทรายหรือดินเหนียวปนอยู่แบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกคือ A-2-4, A-2-5, A-2-6 และ A-2-7 สำหรับดินกลุ่ม A-3 เป็นพวกทรายที่มีขนาดละเอียด

ตารางที่ 2.6 การจำแนกชนิดของดินแบบเอเอเอชทีโอ

การจำแนก	กรวดและดินทราย (Gravel and Sand Materials)						ดินตะกอนและดินเหนียว (Silt and Clay Materials)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
กลุ่ม	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
%ผ่านตะแกรง											
#10	≤50										
#40	≤30	≤50	≥51								
#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36
LL				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41
PL	≥6		ไม่แสดง	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11

หมายเหตุ: A-7-5 เมื่อ $PI \leq LL-30$
A-7-6 เมื่อ $PI > LL-30$

ดินกลุ่ม A-4 ถึง A-7 เป็นดินเม็ดละเอียดเช่น ตะกอนทรายหรือดินเหนียว โดย A-4 และ A-5 เป็นพวกตะกอนทราย ส่วน A-6 และ A-7 เป็นพวกดินเหนียว สำหรับ A-7 ยังแบ่งย่อยออกไปเป็น A-7-5 และ A-7-6 ดินกลุ่ม A-4 ถึง A-7 สามารถจำแนกประเภทได้เลยจากค่าขีดความเหลว และดัชนีสภาพพลาสติกโดยอาศัยแผนภูมิความเหนียวในรูปที่ 6.2 นอกจากนี้ยังมีดินอีกกลุ่มหนึ่งคือ A-8 เป็นดินที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่ เช่น ซากพืชซากสัตว์ (Peat) ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานทางวิศวกรรมได้และสามารถจำแนกประเภทได้ด้วยตาเปล่า จึงไม่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

2.5. คุณสมบัติของดินมวลละเอียด

ดินมวลละเอียดจำพวกดินตะกอน (Silt) และดินเหนียว (Clay) ลักษณะของเนื้อดินเป็นเม็ดละเอียดมาก มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 75 ไมครอน มากกว่า 50% ซึ่งมีคุณสมบัติ ที่บ่งชี้ให้น้ำซึมผ่านได้ยาก มีความเหนียว (Plasticity) เมื่อให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะสามารถนำมาปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ เมื่อนำไปเผาจะแปรสภาพเป็นวัตถุแข็งไม่เปลี่ยนรูป โดยส่วนใหญ่ส่วนใหญ่แล้วดินมวลละเอียดจะเป็นดินเชื่อมแน่น และมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้า แต่หากเป็นดินตะกอนที่ไม่มีพลาสติกซีดี (Non plastic silt) จะเป็นดินไม่เชื่อมแน่น มีอัตราส่วนช่องว่างแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 93 มีการบวมตัว เปลี่ยนปริมาตรและรูปร่างได้แม้ขณะไม่ต้องรับน้ำหนักหรือเมื่อบรรจุทุกน้ำหนักอยู่ หรือแม้ภายหลังจากเอาน้ำหนักบรรจุออกแล้ว ความสามารถต้านทานต่อแรงเฉือนขึ้นอยู่กับแรงเชื่อมแน่นที่ยึดเกาะเม็ดดิน

ในส่วนของดินเหนียวจะประกอบด้วยแร่เคลโอไลต์ (kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยแร่เคลโอไลต์ที่พบในดินเหนียว มักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่นๆ อาทิ มอนมอริลโลไนต์ (monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควอร์ทซ์ (quartz) แร่ไมกา (mica) แร่เหล็กออกไซด์ (iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ ดินเหนียวมีสีต่างๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน อาทิ สีดำ เทา ครีม และน้ำตาล ดินเหนียวที่มีสีเทาหรือดำนั้น จะมีอินทรีย์วัตถุปนมาก ส่วนดินเหนียวสีครีมหรือน้ำตาล มาจากแร่เหล็กที่ปะปนอยู่

เนื่องจากอนุภาคของดินเหนียวมีลักษณะเป็นแผ่นแบนและบาง จึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายนอกต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (specific surface) มีค่าสูงมาก ซึ่งเป็นเหตุให้มีปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและฟิสิกส์เกิดขึ้นได้มาก

ความเหนียวและการอ่อนตัว (Cohesion and plasticity) ดินเหนียวแต่ละชนิดจะมีความเหนียวและการอ่อนตัวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของโมเลกุลดินเหนียวแต่ละชนิด โมเลกุลดินเหนียวที่มีความเหนียวและการอ่อนตัวสูงจะเป็นพวกที่มีพื้นที่ผิวภายนอกมาก จึงมีโอกาสดูดยึดอนุภาคของน้ำไว้ที่ผิวได้มาก การเกาะยึดระหว่างอนุภาคของดินก็จะเกิดขึ้นมากตามไปด้วย

คำว่าความเหนียว (cohesion) นั้น หมายถึงความสามารถเกาะยึดกันได้ระหว่างอนุภาคของดินเหนียว การที่ดินเหนียวชนิดหนึ่งมีความเหนียวสูง ก็เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้น้ำเกาะยึดอยู่มาก จึงทำให้อนุภาคของดินเหนียวนั้นเกาะยึดกันได้ดีด้วย ดังนั้นดินเหนียวที่มีความเหนียวสูง จะมีสภาพเหนียวและเกาะติดมือ การไถ พรุนดินทำได้ลำบากเมื่อดินนั้นเปียก ถ้ามีความชื้นที่เหมาะสมจะมีความอ่อนนุ่ม บีบปั้นให้เป็นรูปต่างๆ และคงสภาพเช่นนั้นอยู่ได้คุณสมบัตินี้เรียกว่าการอ่อนตัว

(plasticity) สวนดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ ส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียวที่มีพื้นที่ผิวให้น้ำเกาะยึดน้ำน้อย ดังนั้นจึงมีผลทำให้การเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคของดินเหนียวไม่เหนียวถึงแม้ว่าดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม

การขยายตัวและการหดตัว การที่ดินเหนียวแต่ละชนิดจะขยายตัวได้มากหรือน้อยนั้นขึ้น อยู่กับลักษณะทางโครงสร้าง เช่นดินเหนียวบางชนิดแผ่น ผลึกที่ซ้อนทับกัน จะมีช่องหรือหลืบระหว่างแผ่นผลึกค่อนข้างกว้างและเกาะยึดกันไม่เหนียวแน่นนัก โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปได้ง่าย จึงมีผลทำให้ดินพวกนี้เกิดการพองตัวเมื่อเปียกน้ำ แต่ถ้าทำให้แห้ง เช่น นำเข้าเตาอบน้ำที่เข้าไปอยู่ในระหว่างหลืบ จะระเหยออกไป ก็จะเกิดการยุบตัวจึงทำให้ดินนั้นเกิดการหดตัว

คุณสมบัติของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แต่คุณสมบัติอย่างหนึ่งซึ่งดินทุกประเภทจะต้องมีเหมือนกัน คือแรงระหว่างอนุภาคได้แก่แรงผลึก (Repulsive Force) และแรงดึงดูด (Attractive Force) ในอนุภาคของดินมีน้ำ เป็นส่วนประกอบ อยู่ 3 ชั้น ซึ่งมีผลต่อกำลังของดินด้วย คือ

- 1) ชั้นน้ำแอลซอบด์ (absorbed water) เป็นชั้นที่อยู่ล้อมรอบชั้นอนุภาคของดินเหนียว (clay paricle) จะมีการจับกันแน่นหนามาก หนาประมาณ 2 - 3 เท่าของโมเลกุลน้ำ
- 2) ชั้นวงน้ำสองชั้น (double layer water) อยู่ถัดมาจากชั้นน้ำแอลซอบด์ออกไปเป็นชั้นสุดท้ายที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างชั้นอนุภาคของดินเหนียวกับแรงไฟฟ้า (electrical force)
- 3) ชั้นน้ำอิสระ (free water) อยู่ถัดจากชั้นวงน้ำสองชั้นออกไปสามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ถ้ามีแรงภายในมากระทำ

แรงผลึก (bond repulsion) เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุเมื่ออนุภาคดินเหนียวเข้ามาอยู่ใกล้กันมากจนเกิดการซ้อนกันของหมอกอิเล็กตรอน (Electron Cloud) ในอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะทำให้แรงผลึกกันสูงมาก โดยที่การจัดเรียงตัวของอนุภาคเป็นหน้าชนหน้า (Face to Face) หรือขอบชนหน้า (Edge to Face) ก็ได้ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาค (Electrostatic Attraction) เกิดจากสาเหตุหลายประการกล่าวคือ ขอบของผิวอนุภาคดินเหนียวมีประจุแตกต่างกันที่ชั้นวงน้ำสองชั้น ซึ่งระยะระหว่างอนุภาคดินเหนียวที่เกิดการดึงดูดแบบนี้ต้องห่างกันไม่เกิน 30Å ในดินที่มีเนื้อละเอียด (Fine Grained Soil)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินเหนียว (Volume Change of Clay) การหดและบวมตัวของดินเหนียว (Shrinkage and Swelling of Clay) ภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อปริมาตรความชื้นในดินเหนียวมีการเปลี่ยนแปลง ถ้าปริมาณความชื้นลดลงจะทำให้เกิดการหดตัว และ ถ้าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการบวมตัว การเปลี่ยนแปลงนี้จะมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ เช่น ชนิดของแร่ที่มีอยู่ในดินเหนียว ความถ่วงจำเพาะของดิน ความเข้มข้นของเกลือที่มีอยู่ในน้ำ เป็นต้น ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินมากจะมีผลทำให้เกิดอันตรายแก่โครงสร้าง การบวมตัวของดินเป็นผลมาจากการเพิ่มความหนาของชั้นประจุที่มีน้ำท่วม

2.6. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

2.6.1. ทฤษฎีกำลังเฉือนของดิน (Shear Strength Theory)

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินที่สำคัญก็คือ ความแข็งแรงหรือกำลังของดิน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบและวิเคราะห์ฐานราก และสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับดินและหินอีกหลายอย่าง ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ เราถือว่ากำลังของดินหรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength of Soil) คือความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน หมายถึง กำลังต้านทานต่อการเฉือนสูงสุดที่ดินจะสามารถรับได้โดยไม่วิบัติ หรือพังทลาย (Failure) ซึ่งหลักการของ กำลังเฉือนของดินเป็นหลักสำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อใช้ในการหาความสามารถของดินต่อการต้านทานน้ำหนักที่มากระทำในรูปแบบต่าง ๆ และเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมปฐพี เช่น การออกแบบฐานราก (Foundation design) การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด (Slope stability) การออกแบบโครงสร้างรับแรงด้านข้าง (Lateral earth pressure) เป็นต้น

ความสามารถของดินในการต้านทานต่อแรงเฉือนของดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ แรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดิน และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน สำหรับเม็ดดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่นกรวด ทราย ค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินจะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามน้ำหนัก ที่กดกระทำตั้งฉากกับระนาบแรงเฉือน และสำหรับดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียวค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินจะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำในดิน ขนาดของเม็ดดิน และความหนาแน่นของดิน

ดินแห้งจ๋าพวกไม่มีแรงเหนี่ยวน้ำ ได้แก่ ดินประเภทดินทรายความหนาแน่นของมวลดินจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของดินในขณะทดสอบการเฉือนดิน สำหรับทรายหลวมกำลังต้านทานแรงเฉือนจะค่อยๆ สูงขึ้นระหว่างผิวของเม็ดทราย จนกระทั่งถึงจุดประลัยสำหรับทรายแน่น กำลังต้านทานแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นในอัตราสูง จนกระทั่ง มวลดินมีกำลังสูงสุดซึ่งสูงกว่ากำลังประลัย

2.6.2. โมดูลัสของมวลดิน

โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ความรู้เกี่ยวกับสมบัติสภาพยืดหยุ่นของวัสดุจึงมีประโยชน์ในด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก เช่น ในการเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นโครงสร้างอาคาร สะพานหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องเลือกวัสดุที่มีสมบัติสภาพยืดหยุ่นเหมาะสมกับงาน

วัสดุที่มีโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นต่างกัน สามารถทนต่อแรงภายนอกต่างกัน วัสดุที่มีโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูง จะสามารถทนต่อแรงภายนอกได้มากหรือทำให้ผิดรูปได้ยาก ส่วนความเค้นที่ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นจะบอกให้ทราบว่าวัสดุนั้นสามารถทนต่อแรงภายนอกมากที่สุดเพียงใด เพื่อสามารถกับสู่สภาพเดิมได้ โมดูลัสของมวลดิน (Soil Modulus) คือ อัตราส่วนระหว่าง ความเค้น (Stress) ต่อ ความเครียด (Strain) หรือหาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น – ความเครียด โดยค่าโมดูลัสโดยทั่วไปแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

โมดูลัสของดินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายกรณี กล่าวคือ เมื่อต้องการทราบทั้งระดับของความเค้นและความเครียดในมวลดินพร้อมกัน หากใช้คุณสมบัติเฉพาะความแข็งแรง (c, ϕ) จะไม่เพียงพอ ต้องคำนวณจากค่าโมดูลัสของดินด้วย ดังกรณีต่อไปนี้

1. เมื่อโครงสร้างสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนตัวมากจนไม่สามารถใช้งานได้ แต่ยังไม่วิบัติ เช่น ดินหลังเข็มพืดกันดินจนทำให้สิ่งก่อสร้างข้างเคียงเสียหาย
2. ชั้นดินฐานรากที่เมื่อรับน้ำหนักแล้วมีการทรุดตัวทันทีโดยสูง อาจทำให้เกิดความเสียหายได้โดยที่ยังไม่เกิดการวิบัติ เช่น ดินใต้ถังน้ำมัน
3. การศึกษาการเคลื่อนตัวของฐานรากหรือโครงสร้างที่ส่งผ่านแรงให้ดิน ทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน
4. การวิเคราะห์พฤติกรรมโดยละเอียดของมวลดินเมื่อรับแรงกระทำต่าง ๆ โดยวิธี Finite Element Method (FEM)

ตารางที่ 2.7 ค่าทั่วไปของโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับดินเหนียว

ประเภทดินเหนียว	โมดูลัสความยืดหยุ่น, E_s (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
อ่อนมาก (Very soft)	2 ถึง 15
อ่อน (Soft)	5 ถึง 25
ปานกลาง (Medium)	15 ถึง 50
แข็ง (Hard)	50 ถึง 100
มีทรายมาก (Sandy)	25 ถึง 250

ที่มา : (Subramanian 2010)

2.6.3. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำ (Pore Pressure Parameter)

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำ (Pore Pressure Parameter) A และ B (Skempton 1954) ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในความเครียดรวมของการไหลแบบไม่ระบายน้ำได้ ซึ่งแตกต่างกันในดินแต่ละชนิดดังแสดงใน ตารางที่ 2.8 สำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ ความสัมพันธ์เป็นดังนี้:

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (2.1)$$

เมื่อ Δu การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำโพรงที่เกิดระหว่างการเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

$\Delta\sigma_1$ การเปลี่ยนแปลงของความเค้นรวมในแนวตั้งที่เกิดระหว่างการเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

$\Delta\sigma_3$ การเปลี่ยนแปลงของความเค้นรวมในแนวนอนที่เกิดระหว่างการเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

A, B ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำของ Skempton

เมื่อทำการทดสอบแรงอัดสามแกนกับดินเหนียวที่มีความอิ่มตัวน้ำ ค่า B ควรได้รับการพิจารณาก่อนการเฉือนตัวอย่างดิน กระบวนการประกอบด้วยการปิดการระบายน้ำของตัวอย่างแล้วเพิ่มแรงดันปิดล้อมแก่ตัวอย่าง โดยการเพิ่มความดันเซลล์ ในกรณีนี้ $\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3$ ดังสมการ (2.1) การเพิ่มขึ้นของความดันปิดล้อม $\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_3$ และการวัดการเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำโพรง Δu ระหว่างการทำงานของความดันปิดล้อม ค่า B สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2)

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_3} \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติของดินชนิดต่าง

ชนิดของดินเหนียว	A_f
ดินเหนียวไวตัวสูง (Highly Sensitive Clay)	+0.75 ถึง +1.50
ดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally Consolidation Clay)	+0.50 ถึง +1.00
ดินเหนียวปนทรายบดอัด (Compacted Sandy Clay)	+0.25 ถึง +0.75
ดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวน้อย (Lightly Overconsolidated Clay)	0.00 ถึง +0.50
ดินบดอัด (Compacted Clay-Gravel)	-0.25 ถึง +0.25
ดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมาก (Heavily Overconsolidated Clay)	-0.50 ถึง 0.00

ที่มา : Craig (1997)

2.6.4. อัตราความเครียด

พื้นฐานของทฤษฎีกระบวนการเป็นทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมด้านกำลังและการจัดเรียงอนุภาคของวัสดุ มีงานวิจัยนำเสนอว่าอัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลดินจะแปรผันตรงกับความถี่ของพลังงานการกระตุ้น (Mitchell และ Soga, 2005)

การกำหนดอัตราความเครียดที่นำมาใช้ในการทดสอบแรงอัดสามแกนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ พิจารณาจากอัตราความเครียดที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM 4767 และอีกวิธีถูกนำเสนอโดย Head (1986) โดยการเลือกจากผลการอัดตัวคายนน้ำโดยการทดสอบการอัดตัวคายนน้ำแบบหนึ่งมิติ (Oedometer test) และผลการอัดตัวคายนน้ำโดยวิธีการทดสอบแรงอัดสามแกน

2.6.4.1. คุณสมบัติการยุบตัว (Compressibility)

Terzaghi (1925) ได้เป็นผู้เขียนบทความทฤษฎีการอัดตัวคายนน้ำ (Consolidation theory) เป็นผู้ริเริ่มกำหนดเครื่องมือและวิธีการทดสอบการอัดตัวคายนน้ำ (Consolidation test) ของ

ดินแบบคานงัด ไซ้กับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) เท่านั้น ส่วนดินชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติไม่สมบูรณ์ตามคุณสมบัตินี้ ก็มีพฤติกรรมไม่ตรงตามทฤษฎีการอัดตัวคายนํ้าหนัก แต่ในบางกรณีก็จะพออนุโลมให้ใช้ทฤษฎีการอัดตัวคายนํ้าหนักได้ เช่น ตัวอย่างดินเหนียวที่มีทรายผสม (Sandy clay) ที่ไม่อิ่มตัว (Partially saturated) เป็นต้น ในปัจจุบันการทดสอบการอัดตัวคายนํ้าหนักยังใช้เครื่องมือที่ไม่ แตกต่างไปจากเครื่องมือที่ได้พัฒนาใช้ในสมัยก่อนมากนัก และการทดสอบการอัดตัวคายนํ้าหนักชนิดเดียวกันนี้ก็ยังเป็นการทดสอบมาตรฐานสำหรับหาคุณสมบัติการทรุดตัวของดินเหนียวที่จะถูกกดทับด้วยน้ำหนักบรรทุกฐานราก เช่นดินถมบริเวณ (Fill) คันดินถม (Embankment) ฐานแผ่ (Spread footing) ลานเก็บสินค้า (Storage area) เป็นต้น

โรว์ (Rowe) ได้พัฒนาเครื่องมือทดสอบอัดตัวคายนํ้าแบบอัดความดันนํ้า (Hydraulically pressurized) ในปี 1966 โดยใช้ตัวอย่างดินเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 - 9 นิ้ว บิชอป (Bishop) ก็ได้ออกแบบเครื่องมือทดสอบแบบอัดความดันนํ้าเช่นเดียวกัน แต่ใช้ขนาดตัวอย่างดินเท่าแบบธรรมดา (2.5 - 3.0) ซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีความก้าวหน้ากว่าสามารถอัดความดันนํ้าให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยนํ้า (Saturate) และสามารถวัดความดันนํ้า (Pore water pressure measurement) ได้ในขณะที่อัดทดสอบซึ่งเป็นค่าคงตัวอีกตัวหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับค่าอำนาจการทรุดตัวของดินที่วัดอยู่ตามปกติสำหรับการทดสอบการอัดตัวทั่วไป

ในการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบอัดตัวคายนํ้า (Consolidation machine, Consolidometer หรือ Odometer) จะบรรจุตัวอย่างดินไว้ในวงแหวนตัวอย่าง (Sample ring) น้ำหนักจะกดเฉพาะในแนวตั้ง ผ่านแผ่นหินพรุนบน (Top porous stone) ซึ่งระบายนํ้าได้ มีหรือไม่มีแผ่นหินพรุนด้านล่าง (Bottom porous stone) และสมมติว่าตัวอย่างดินจะไม่ขยายดินจะไม่ขยายตัวด้านข้าง จะทรุดตัวในเฉพาะแนวตั้งเป็นการทรุดตัวแกนตั้งเพียงแกนเดียว (One dimensional consolidation) ซึ่งเป็นการสมมติฐานใกล้เคียงกับสภาพจริงในธรรมชาติ มิมีมิติด้านข้างไม่จำกัด และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในแนวอนน้อยมาก

การทดสอบการอัดตัวคายนํ้า ดินจะทรุดตัว 3 ระดับ คือ

- 1) การอัดตัวขั้นแรก (Initial consolidation) เกิดขึ้นในทันทีในสภาวะยืดหยุ่น (Elastic) มีค่าน้อยและค่าความชื้นไม่เปลี่ยนแปลง
- 2) การอัดตัวหลัก (Primary consolidation) มีค่ามากที่สุด เป็นค่าการทรุดตัวหลัก เนื่องจากนํ้า ถูกบีบตัวออกตามทฤษฎีการอัดคายนํ้าของเทอร์ซากิ (Terzaghi) มีปริมาณมากและใช้เวลานาน มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความชื้นและปริมาตรลดลง
- 3) การอัดตัวระยะที่สอง (Secondary consolidation) การคืบ (Creep) ของดินเกิดขึ้นหลังจากการอัดตัวหลักเสร็จสมบูรณ์แล้วมีค่าน้อย

การทดสอบการอัดตัวคายนํ้า จะได้คุณสมบัติการอัดตัวของดินที่สำคัญ 2 ตัว คือ

- 1) ระยะเวลาและอัตราการอัดตัวของดิน (Consolidation rate) ค่าคงตัวสัมประสิทธิ์การอัด (Coefficient of consolidation, C_v)

2) ปริมาณการทรุดตัวของดินทั้งหมด (Total settlement) ค่าดัชนีการยุบตัว (Compression index, C_c)

2.6.4.2. เวลาและอัตราการอัดตัวของดิน (Consolidation rate)

จากการทดสอบการอัดตัวจะได้สัมประสิทธิ์การอัดตัว (Coefficient of consolidation, C_v) จากสมการ (2.3)

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2 d}{t} \quad (2.3)$$

เมื่อ H_d = ระยะทางระบายน้ำยาวที่สุด (Longest drainage path)
 t = ระยะเวลาทรุดตัว
 T_v = องค์กรประกอบเวลา (Time factor) ไม่มีหน่วยได้มาจากการแก้สมการอัดตัวคายน้ำ

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.4)$$

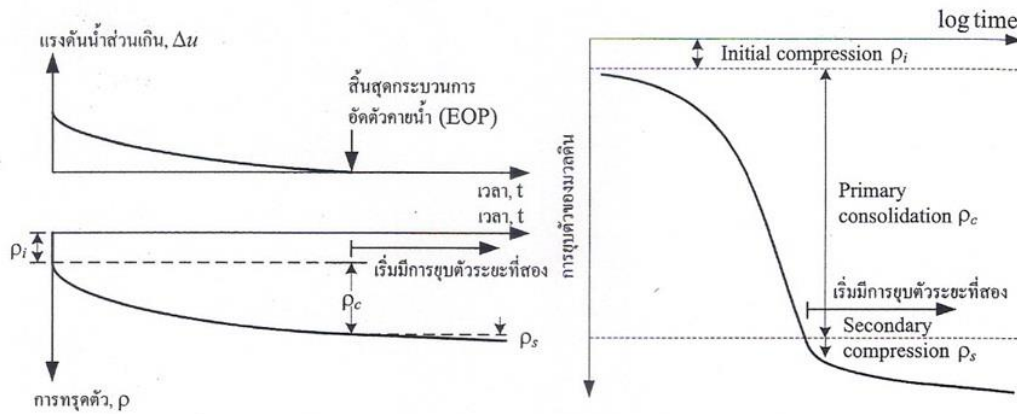
ซึ่ง Terzaghi (1934) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_v และ u ,

$$\begin{aligned} u &= \text{เปอร์เซ็นต์การคายตัวของน้ำ (Percentage pore water pressure dissipation)} \\ &= \frac{u_t}{u_0} \times 100 \quad \% \\ &= \text{ความดันในน้ำขณะนั้น} / \text{ความดันน้ำเริ่มแรก} \times 100 \quad \% \\ &= \frac{S_t}{S} \times 100 \quad \% \\ &= \text{ค่าทรุดตัวในขณะนั้น} / \text{ค่าทรุดตัวทั้งหมด} \times 100 \quad \% \end{aligned}$$

2.6.4.3. การยุบตัวระยะที่สอง การคืบและสมมติฐานการยุบตัว

พฤติกรรมดินที่ขึ้นกับเวลา (Time effect on soil behavior) หรือพฤติกรรมที่ขึ้นกับเวลา (Rate – dependent behavior) เป็นพฤติกรรมตอบสนองของดินต่อการกระทำเนื่องจากน้ำหนักภายนอกด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของพฤติกรรมนี้ เช่น การคืบ (Creep) คือ การที่ดินถูกน้ำหนักคงที่กระทำและเมื่อปล่อยเวลาผ่านไปจะเกิดการเคลื่อนตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หรือการผ่อนคลายของความเค้น (Stress relaxation) คือ การที่ดินลดระดับความเค้นภายในเมื่อเวลาผ่านไปโดยไม่มีการเคลื่อนตัวหรือความเครียดเกิดขึ้น ซึ่งจะตรงข้ามกับการคืบนั่นเอง แต่จะแตกต่างจากกระบวนการอัดตัวคายน้ำ เพราะกระบวนการอัดตัวคายน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งความ

เค้นประสิทธิผลและความเครียดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากน้ำในโพรงดินไหลออกไปไม่ได้ เกิดจากอนุภาคของดินเอง



(ก) แรงดันน้ำส่วนเกินกับการทรุดตัวตามเวลา
(Excess pore pressure and soil settlements with time)

(ข) การยุบตัวของมวลดินกับลอกล็อกของเวลา
(Soil compression vs. log time)

รูปที่ 2.6 การยุบตัวระยะที่สอง (Secondary compression)

ที่มา : สุเชษฐ์ (2551)

พฤติกรรมของดินที่ขึ้นกับเวลาเป็นที่รู้จักกันดีอันหนึ่ง คือ พฤติกรรมการอัดตัวระยะที่สอง (Secondary compression , ρ_s) นั่นคือ ภายหลังจากดินเกิดกระบวนการอัดตัวคายน้ำแล้วเสร็จ (After primary consolidation) ดินที่ปราศจากแรงดันน้ำส่วนเกินในมวลดินอาจจะยังคงเกิดการยุบตัวเพิ่มขึ้นต่อเนื่องไปอย่างช้า ๆ การยุบตัวนี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6

การคืบ คือพฤติกรรมการทรุดตัวของดินขณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเค้นภายในมวลดิน ในทางทฤษฎีการคืบจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะที่น้ำยังไม่ระบายออกจากมวลดินหรือเงื่อนไขแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained creep) และ หลังกระบวนการอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นหรือเงื่อนไขระบายน้ำ (Drained creep) แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถแยกการคืบแบบไม่ระบายน้ำออกจากทรุดตัวจากกระบวนการอัดตัวคายน้ำได้

นอกจากนี้ ชาลส์ แลตต์ และคณะ (Ladd et al. 1977) ได้ตั้งสมมติฐานสองประการเกี่ยวกับการยุบตัวระยะที่สองไว้ว่า สมมติฐาน A (Hypothesis A) การยุบตัวระยะที่สองจะเกิดขึ้นหลังเสร็จสิ้นกระบวนการอัดตัวคายน้ำและจะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ส่วนสมมติฐาน B (Hypothesis B) การยุบตัวระยะที่สองจะเริ่มเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กับกระบวนการอัดตัวคายน้ำ และยังคงดำเนินต่อไปหลังสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้วและยังดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ซึ่งถ้ายุบตัวระยะที่สองเป็นกระบวนการที่ขึ้นกับอัตรา (Rate - dependence) สมมติฐาน B น่าจะสมเหตุสมผลมากกว่านั่นเอง

2.6.5. อุณหภูมิของดิน

ดิน ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานตามธรรมชาติที่สำคัญที่สุด เพราะดินจะมี ส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ มากมายที่เป็นตัวให้กำเนิดพลังงาน โดย ความร้อน คือพลังงานอีก อย่างหนึ่งที่ได้จากดิน อุณหภูมิของดินมีความสำคัญในการกำหนดอัตราและทิศทางของการเกิด กระบวนการทางฟิสิกส์ ทางเคมี และชีวภาพในดิน สิ่งสำคัญของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินคือ แหล่งที่มาของพลังงานความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อน และความชื้นของดิน

ในแต่ละระดับความลึกของดินจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยทั่วไปอุณหภูมิของดิน ในระดับความลึกต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับคือ

- 1) แหล่งอุณหภูมิต่ำ คือ ต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส
- 2) แหล่งอุณหภูมิปานกลาง คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 90 - 150 องศาเซลเซียส
- 3) แหล่งอุณหภูมิสูง คือ สูงกว่า 150 องศาเซลเซียส

โดยปกติอุณหภูมิของดินจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามสภาพปัจจัยต่าง ๆ ของ ภูมิอากาศ ชนิดของดิน ความชื้น ในดินความลึกและสภาพภูมิศาสตร์ อุณหภูมิดินมีความสำคัญต่อ กระบวนการต่าง ๆ ของดิน ได้แก่ กระบวนการทางฟิสิกส์ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทาง ชีวภาพ สมศรี (2544) ได้เก็บข้อมูลอุณหภูมิดิน โดยการวัดอุณหภูมิในหลุมลึกตั้งแต่ 10 - 81 เมตร ในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าอุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วง ความลึกน้อยๆ หลังจากนั้นเมื่อความลึกมากขึ้นการเปลี่ยนจะเริ่มน้อยลงจนเกือบจะคงที่ อุณหภูมิที่ วัดได้อยู่ในช่วง 25 - 79 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิบรรยากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน คือในพื้นที่เดียวกัน หากอุณหภูมิบรรยากาศต่ำกว่า จะส่งผลให้อุณหภูมิ โดยรวมของดินต่ำลงด้วย

ซึ่งประโยชน์ของแหล่งอุณหภูมิสูงมักจะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ส่วนแหล่งอุณหภูมิปานกลางและต่ำ สามารถนำไปใช้งานโดยตรงในบ้าน เช่น การทำน้ำร้อน หรือใช้ในงานเกษตร เช่น อบอุ่นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 38 - 149 องศาเซลเซียส นอกจากนี้แหล่ง อุณหภูมิต่ำในช่วง 4 - 38 องศาเซลเซียส สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศ โดยเมื่อ เราทราบถึงสภาวะของดินในแต่ละระดับความลึกแล้ว เราก็สามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความ ร้อนของสารสองชนิดได้เช่นเดียวกับ ระบบปรับอากาศ ที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ อาจจะนำ พลังงานความร้อนดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับระบบการทำน้ำร้อนที่ใช้ตามบ้านเรือนได้อีกด้วย การนำ พลังงานความร้อนที่มีอยู่ในดินไปใช้ประโยชน์ จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้

พลังงานที่อยู่ใต้พื้นดิน (Geothermal energy) ซึ่งมีอยู่อย่างไม่จำกัดและมี ประโยชน์อย่างมากมายมหาศาล เช่น พลังงานที่ได้จากน้ำใต้พื้นดินซึ่งถูกทำให้มีความร้อนเพิ่มขึ้น อย่างมากเนื่องจากการเคลื่อนตัวของหินหนืด (magma) ขึ้นมาใกล้ๆ พื้นผิวโลกนั้น เราสามารถที่จะ ดึงน้ำส่วนนี้มาเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นไอน้ำและนำไปทำ ความร้อนในอาคารต่างๆได้ หรืออาจจะ นำ ไปขับเทอร์โบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งหลังจากนั้นไอน้ำก็จะกลับสภาพกลายเป็นน้ำและส่งกลับสู่ พื้นดิน น้ำก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถนำ กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกหมุนเวียนเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของ พลังงานใต้พื้นดิน ก็คือ ไม่มีสารที่เป็นตัว

ทำลายสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียประการสำคัญก็คือการลงทุนที่ค่อนข้างสูงมากในการที่จะตั้งพลังงานส่วนนี้มาใช้ แต่อย่างไรก็ตาม 20 ประเทศทั่วโลกมีการลงทุนกับพลังงานนี้ เช่น อเมริกา ฝรั่งเศส เป็นต้น (Anonymous, 1998)

ในด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค อุณหภูมิของดินมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดิน โดยเฉพาะในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากความร้อนจะทำให้ น้ำ และ แร่ ในดินมีการขยายตัวส่งผลให้ค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกลดลง (Youssef, et al. 1961) (Lagurous, et al. 1969) และจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของน้ำและโมเลกุลของเม็ดดิน จะทำให้เกิดแรงดันน้ำในดินและการจัดเรียงตัวใหม่ของเม็ดดิน ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเครียดประสิทธิผลและทำให้เกิดการวิบัติ และยังมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินด้วย

2.7. การทดสอบแรงอัดสามแกนและการแปลผล

2.7.1. การทดสอบแรงอัดสามแกน

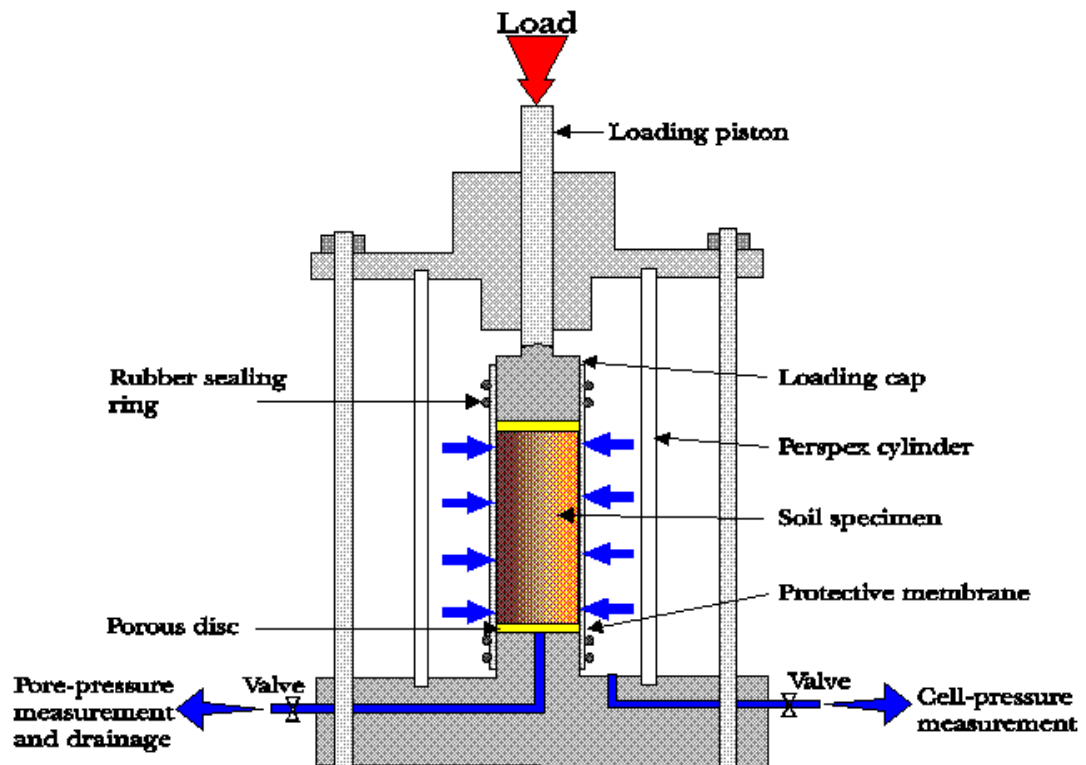
การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial compression test) เป็นวิธีทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่นิยมมากในห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถปรับสภาพของดินให้ใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติ เหมาะสำหรับการทดสอบดินเหนียว โดยมีวิธีการกลึงดินให้เป็นรูปทรงกระบอก โดยให้มีอัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เท่า หุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และกั้นน้ำในกล่องทรงกระบอกซึมเข้าไปในตัวอย่างขณะทำการทดสอบที่ปลายทั้ง 2 ข้างจะมีหินพรุน (Porous stone) เพื่อให้ น้ำ ในมวลดินมีโอกาสระบายออกในการวัดความดันของน้ำ เติมน้ำพร้อมอัดความดันเข้าไปรอบตัวอย่าง เพื่อให้ดินตัวอย่างที่จะทดสอบอยู่ในสถานะที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ ดังรูปที่ 2.7 แสดงเครื่องมือทดสอบสามแกน (Triaxial Test) ซึ่งการทดสอบจะมี 2 กรณี คือ ที่แรงแนวแกนมากกว่าแรงโอบรัด หรือ $\sigma_a = \sigma_1 > \sigma_r = \sigma_3$ จะเป็นการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial compression test) แต่ในทางตรงข้ามถ้าแรงโอบรัดมากกว่าแรงแนวแกน $\sigma_r = \sigma_1 > \sigma_a = \sigma_3$ จะเป็นการทดสอบแรงดึงสามแกน (Triaxial extension test)

ผลการทดสอบแรงอัด 3 แกน ซึ่งมีหน่วยมีค่าความเค้น (stress) แต่ค่าคงตัวกำลังของดิน (Strength parameters) ที่ใช้จะเป็นค่าแรงเฉือน (Shear) จึงต้องนำผลการสอบมาแสดงผลด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีการแสดงผลการทดสอบด้วยวงกลมมอร์ (Mohr)

2.7.2. ทางเดินของความเค้น (stress Path)

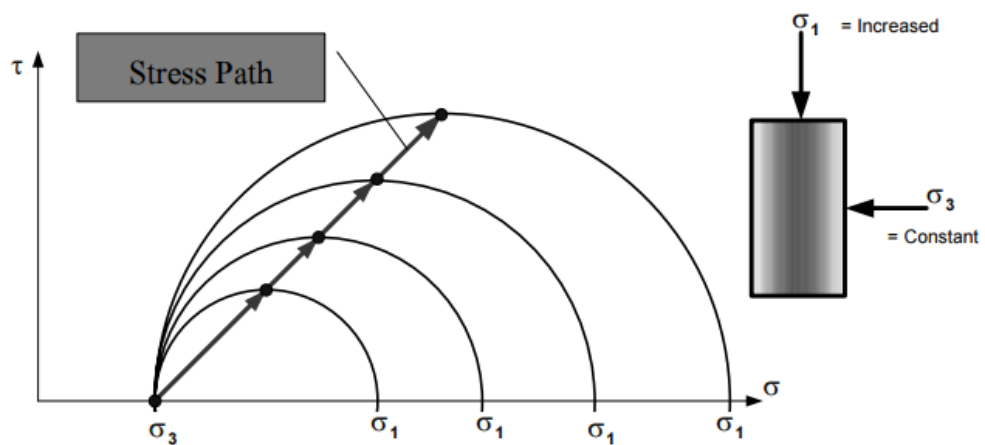
ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่แสดงผลในรูปวงกลมมอร์ไม่สามารถจะให้ความเข้าใจพฤติกรรมสถานะของความเค้นของดินในระดับสมบูรณ์ได้ ซึ่งมักจะต้องแสดงผลด้วย แสดงได้ ด้วยเส้น และ ลูกศรที่ลากผ่านจุดยอดของวงกลมมอร์ดังรูปที่ 2.8 หรือที่เรียกว่า ทางเดินความเค้น ซึ่งยังคงให้ข้อมูลที่เทียบเท่าการเขียนวงกลมมอร์ แต่จะแสดงได้ง่ายกว่าเพราะไม่ต้องเขียนวงกลมหลาย

วงศ์ต่อเนื่องกัน และยังคงเปลี่ยนกลับมาเขียนวงกลมมอร์ไดง่าย พัฒนาขึ้นโดย Lambe และ Whitman (1969)



รูปที่ 2.7 เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน

ที่มา : www.gf.su.ac.yu/%7Ewus/wus07/web4/triaxial.html



รูปที่ 2.8 ทางเดินของความเค้น (Stress Path)

พารามิเตอร์ความเค้นประกอบไปด้วยความเค้นเบี่ยงเบน (deviator stress) และความเค้นประสิทธิผลเฉลี่ย (mean effective stress) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานปฐพีกลศาสตร์ พารามิเตอร์นี้มีใช้กันอยู่ทั่วไปสองสถาบัน คือ สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) และมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ แต่น่าเสียดายที่ ทั้งสองกลุ่มใช้สัญลักษณ์เดียวกัน คือ q และ p แต่เพื่อให้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์จะใช้ $q - p$ และสำหรับสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์จะใช้ $t - s$ แทน $q - p$ ตามลำดับ ในแง่ของค่าความเครียดหลัก (σ_1, σ_3) และเทียบเท่าความเค้นประสิทธิผล (effective stress)

$$t = t' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (2.5)$$

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (2.6)$$

$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (2.7)$$

พารามิเตอร์ q p ของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ คือค่าคงที่ความเค้น

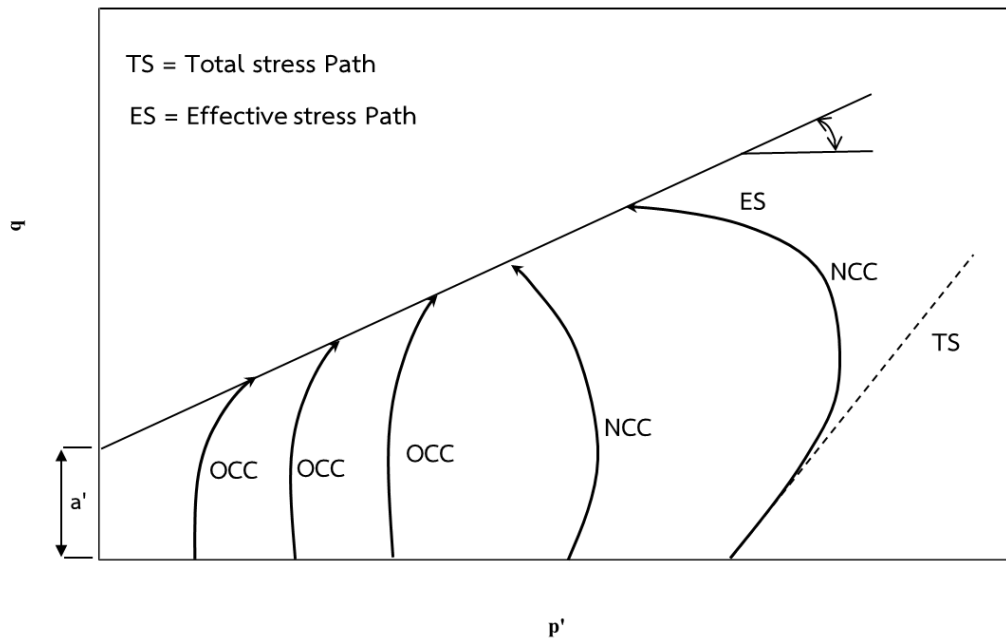
$$q = \frac{1}{2^{1/2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)]^{1/2} \quad (2.8)$$

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3) \quad (2.9)$$

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3) \quad (2.10)$$

เมื่อความดันด้านข้าง σ_3 คงที่ และทำการเฉือนทำให้มีค่า σ_1 เพิ่มขึ้นตามแนวแกน ถ้านำมาเขียนวงกลมมอร์ตามระดับความเค้นที่เพิ่มขึ้น จะได้วงกลมมอร์จำนวนมาก ซึ่งไม่สะดวกในการอ่าน เมื่อพล็อตผลการทดสอบในแกน $p - q$ จะได้ทางเดินของจุด หรือทางเดินของความเค้น ซึ่งสำหรับแรงดันรวมเส้นทางเดินของความเค้นจะทำมุม 45 องศากับแกนนอน สำหรับการแสดงทางเดินของความเค้นในรูปของความเค้นประสิทธิผล โดยนำค่าแรงดันน้ำ u ที่วัดได้ในระหว่างการทดสอบ ไปลบค่าแกน p เป็นค่าประสิทธิผล $p' = p - u$ ซึ่งความดันน้ำไม่มีผลในแกน q เนื่องจากค่าแกน q เป็นค่าแรงเฉือนและน้ำไม่สามารถรับแรงเฉือนนั้นได้

ลักษณะของทางเดินความเค้นประสิทธิผลจะบอกถึงประวัติการถูกกดทับของดินในอดีต ดินอัดแน่นตามปกติ (NCC) เมื่อกระทำแรงกดค่าความดันน้ำจะเพิ่มขึ้นมากและเป็นบวก ส่วนดินที่เคยอัดแน่นเกินตัว (OCC) เมื่อกระทำแรงกดค่าความดันน้ำจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรืออาจเป็นลบ จะทำให้ทางเดินความเค้นประสิทธิผลมีรูปร่างเฉพาะดังแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อนำมาพิจารณาในรูปของการพล็อต $p' - q$ ค่าความเค้นประสิทธิผลจะเห็นผลดินที่แตกต่างกันของดินดินอัดแน่นตามปกติ และดินที่เคยอัดแน่นเกินตัวได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.9 ทางเดินของความเค้นของดินที่อัดแน่นเกินตัว

ข้อดีของทางเดินความเค้น คือง่ายต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเค้นในมวลดิน จากสาเหตุต่างๆ และสามารถทราบพฤติกรรมและประวัติของดินจากรูปร่างของทางเดินความเค้น อีกทั้งยังสามารถจำลองสถานการณ์ของสิ่งที่อาจเกิดขึ้นในมวลดินและนำมาทดสอบเพื่อคาดการณ์ในห้องทดลองได้

2.7.3. พารามิเตอร์สถานะวิกฤติ (Critical state Parameter)

สาระสำคัญของปฐพีกลศาสตร์ คือ ช่วงสถานะวิกฤติ (Critical state) สถานะขอบเขตที่อ้างถึงความเครียดที่มากกว่า 10% หรือที่จุดวิบัติ (failure) และการไหลอย่างรวดเร็วของน้ำในมวลดิน ความสัมพันธ์กันระหว่างความเค้นเฉือน ความเค้นตั้งฉาก และอัตราส่วนช่องว่างของดินที่สภาวะวิกฤติสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\tau'_f = \sigma'_f \tan \phi'_f \quad (2.11)$$

$$e_f = e_\Gamma - C_c \log \sigma'_f \quad (2.12)$$

โดยที่ τ'_f = ความเค้นเฉือนที่จุดวิบัติ
 σ'_f = ความเค้นตั้งฉาก

ϕ'_f = มุมเสียดทานสถานะวิกฤติ
 e_f = อัตราส่วนช่องว่างของดินบนเส้นสถานะวิกฤติที่ความเค้นตั้งฉากที่จุด
 วิกฤติ

e_{Γ} = อัตราส่วนช่องว่างของดินบนเส้นสถานะวิกฤติที่ $p' = 0.1$ ตันต่อตารางเมตร

สำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนสามารถวัดแรงดันน้ำได้ โดยการวัดแรงดันน้ำสามารถทำให้เกิดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดในรูปแบบของความเค้นประสิทธิภาพ และการหาพารามิเตอร์สถานะวิกฤตินั้น การวิเคราะห์ต่างๆ ต้องมีความสัมพันธ์กับแรงดันน้ำดังสมการ

$$q'_f = Mp'_f \quad (2.13)$$

$$v_f = \Gamma - \lambda \ln p'_f \quad (2.14)$$

โดยที่ q'_f = พารามิเตอร์ q ของเส้นทางความเค้นที่จุดวิกฤติ
 p'_f = พารามิเตอร์ p ของเส้นทางความเค้นที่จุดวิกฤติ
 M = ความชันของเส้นสถานะวิกฤติบนระนาบ $p' : q'$
 v_f = ปริมาตรจำเพาะที่จุดวิกฤติ
 Γ = ปริมาตรจำเพาะของดินบนเส้นสถานะวิกฤติที่ $p' = 0.1$ ตันต่อตาราง
 เมตร
 λ = ความชันของเส้นสถานะวิกฤติ

2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลของอุณหภูมิของดินโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนมีการศึกษาไม่มากนัก ส่วนมากจะเป็นการศึกษาในต่างประเทศ สำหรับภายในประเทศยังไม่เป็นที่นิยม อาจเป็นเพราะขาดเครื่องมือที่มีคุณภาพ โดยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ใช้ในการทดสอบดังกล่าวนี้ โดยส่วนมากจะมีการพัฒนาขึ้นมาเองโดยผู้วิจัยเพื่อทำการทดสอบหาผลของงานวิจัยนั้นๆ แต่จะไม่มีกรกล่าวเน้นหรือแสดงรายละเอียดแบบแปลนของเครื่องมือไว้

2.8.1. อุปกรณ์ทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิ

2.8.1.1. เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบดั้งเดิม

มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) D 4767 – 04 วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำและไม่ระบายน้ำสำหรับดินเหนียว (standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils) การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวไม่ระบายน้ำ เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนจะต้องมีอุปกรณ์ที่จำเป็นประกอบไปด้วย

1. อุปกรณ์ให้แรงแนวแกน (axial loading device) หรือ เครื่องกดตัวอย่าง (compression machine) มีฟังก์ชันการกดครอบคลุม อัตราการกดที่จะทดสอบ การสั่นสะเทือนของเครื่องจะต้องน้อยและไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง หรือก่อให้เกิดแรงดันน้ำในขณะปิดท่อระบายน้ำ

2. อุปกรณ์วัดแรงแนวแกน (axial load-measuring devices) สามารถเลือกเป็นวงแหวนวัดแรง (proving ring) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดแรง (load cell) ที่มีขนาดพิกัดพอเหมาะกับค่ากำลังของตัวอย่างที่ทดสอบ และจะต้องไม่มีผลจากแรงด้านข้างหรือแรงดันในกล่อง

3. เครื่องชี้บอกการเสียรูป (deformation Indicator) การวัดการเสียรูปส่วนมากจะเป็นการวัดการเคลื่อนตัวของลูกสูบให้แรงแนวแกนที่กระทำกับด้านบนของตัวอย่าง จะใช้เป็นมาตรหน้าปัด (dial Gauge) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดค่าเปลี่ยนรูป (LVDT) ความถูกต้องจะต้องไม่น้อยกว่า 0.25% ของความสูงตัวอย่างตอนเริ่มต้น และต้องมีความสามารถในการวัดอย่างน้อย 15% ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น

4. กล่องรับแรงอัดสามแกน (triaxial compression chamber) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เซลล์สามแกน (triaxial cell) ต้องประกอบด้วยท่อทรงกระบอกโลหะหรือหากต้องการให้สามารถทนต่อแรงดันที่สูงมากเป็นพิเศษสามารถใช้ท่อโลหะแทนได้ แต่ต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมของตัวอย่าง มีแผ่นประกบบนที่มีวาล์วทางออกของอากาศเมื่อภายในเซลล์มีของเหลวเต็ม ลูกสูบให้แรงแนวแกน (axial load piston) ที่ทะลุผ่านด้านบนของกล่องโดยไม่มีการรั่วซึมของของเหลวภายใน และไม่เกิดแรงเสียดทาน แผ่นประกบล่างต้องมีทางเข้าของของเหลวมีแรงดันให้กับกล่อง แป้นบนและฐานตัวอย่าง (specimen cap and base) จะต้องออกแบบให้มีช่องระบายน้ำทั้งด้านบนและฐานของตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำหรือใช้ระบายน้ำออกตามต้องการ หน้าตัดต้องเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับตัวอย่าง และต้องอยู่แนวเดียวกันแกนกวาล์ว (valves) ทั้งหมดต้องทนต่อความดันได้และไม่มีการรั่วซึม

5. อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (pressure and vacuum-control devices) ส่วนมากจะใช้แผงควบคุมความดัน (pressure control panel) ที่สามารถควบคุมแรงดันกล่องและแรงดันหลัง (แรงดันภายในตัวอย่าง) ได้อยู่ภายใน ± 2 กิโลปาสกาล สำหรับแรงดันอัดตัวคายน้ำ ประสิทธิภาพที่น้อยกว่า 200 กิโลปาสกาล และภายใน ± 1 กิโลปาสกาล สำหรับแรงดันอัดตัวคายน้ำ ประสิทธิภาพที่มากกว่า 200 กิโลปาสกาล และเนื่องจากการทดลองนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการทดลอง

หลายวัน อุปกรณ์ควบคุมแรงดันที่ใช้ต้องมีสามารถประยุกต์ใช้และควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาที่ทดสอบ

6. อุปกรณ์เตรียมตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินต้องทำการตัดแต่งให้เป็นรูปโดยใช้เลื่อยเส้นลวด และเครื่องตัดแต่งตัวอย่างดิน ใช้กระบอบแบบผ่า (miter box) ในการที่จะตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ แล้วทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) จากนั้นวางตัวอย่างดินลงบนฐานของเซลล์สามแกน โดยมีแผ่นหินพรุน (porous discs) อยู่ทั้งบนและล่างตัวอย่างเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก ใส่กระดาษกรอง (filter paper) เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการระบายน้ำลง และเพิ่มการระบายน้ำทางด้านข้างด้วย มีสองแบบ คือ แบบแผ่นจะวางไว้ระหว่างแผ่นหินพรุนและตัวอย่างเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นหินพรุน และกระดาษกรองแบบแถบวางอยู่รอบตัวอย่าง จากนั้นใส่ยางหุ้มรัด (rubber membrane) ครอบตัวอย่างดิน รวมถึงแป้นบนและฐานตัวอย่างบางส่วน แล้วรัดด้วยยางรัด (O-ring) ให้ยางหุ้มรัดติดแน่นกับฐาน เพื่อไม่ให้ของเหลวภายนอกสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้

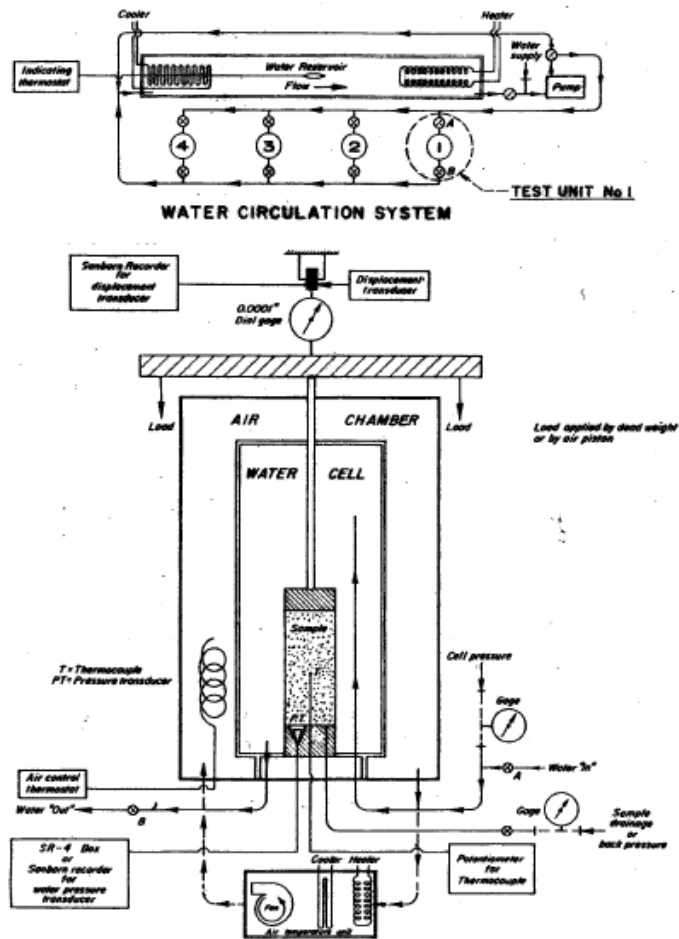
7. อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด เช่น เครื่องชั่ง (balance) ต้องสามารถอ่านค่าได้ถึง 0.1% ของมวลทดสอบหรือดีกว่า เครื่องจับเวลา (timer) มีความละเอียดสามารถบอกหน่วยเป็นวินาที เครื่องไล่อากาศออกจากน้ำ (water deaeration devices) ถ้าใช้น้ำธรรมดาในการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ จะไม่เป็นผล ต้องไล่อากาศออกจากรูน้ำก่อน เป็นต้น

2.8.1.2. การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในอดีต

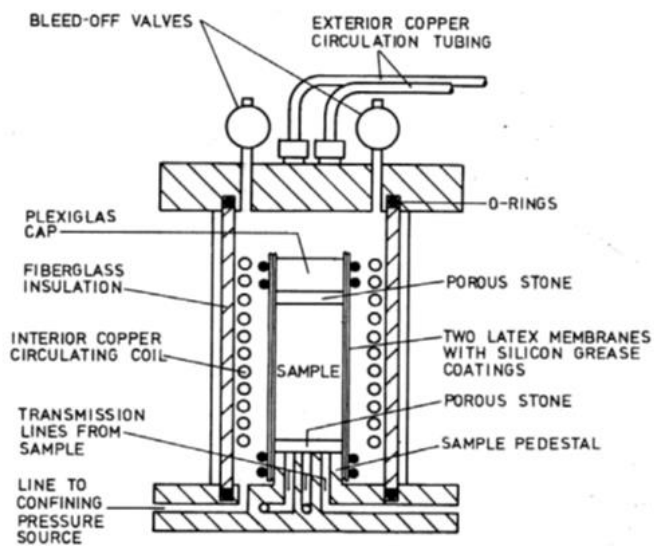
ในการทดสอบแรงอัดสามแกนที่มีการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างมาเกี่ยวข้องมีไม่มาก ซึ่งมีตัวอย่างของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิที่ได้มีการพัฒนาในรูปแบบต่างๆ ที่พอจะนำมาเป็นตัวอย่างได้ดังนี้

Mitchell และ Campanella (1963) ได้พัฒนาอุปกรณ์สามแกนที่ควบคุมอุณหภูมิเซลล์สามแกนมาตรฐานถูกวางไว้ในกล่องที่ประกอบด้วยอากาศอุณหภูมิสูงที่ถูกควบคุมโดยใช้เครื่องควบคุมความร้อน (thermostat) อุณหภูมิของตัวอย่างเปลี่ยนไปโดยการหมุนเวียนน้ำอุ่นในเซลล์สามแกนจนกระทั่งตัวอย่างถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และอุณหภูมิตัวอย่างถูกทำให้คงที่โดยอากาศรอบเซลล์สามแกนดังรูปที่ 2.10 อุปกรณ์นี้มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างได้อย่างอิสระในช่วง 40 ถึง 140 องศาฟาเรนไฮต์ ด้วยความถูกต้อง 0.5 องศาฟาเรนไฮต์ อุณหภูมิของตัวอย่างวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเหล็กที่อยู่ในท่อสเตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/16 นิ้วซึ่งสอดเข้าไปในฐานของตัวอย่างประมาณ 0.5 นิ้ว ความดันน้ำพรุนถูกวัดโดยตัวแปลงความดันอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งอยู่ในฐานตัวอย่างใต้หินมีรูพรุน

Demars และ Charles (1982) ได้ออกแบบเซลล์สามแกนเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณดินเนื่องจากการหมุนเวียนของอุณหภูมิดังรูปที่ 2.11 ใช้ทดสอบตัวอย่างที่มีความยาวเริ่มต้นและเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.2 และ 3.6 เซนติเมตร ตามลำดับ อุณหภูมิของตัวอย่างถูกควบคุมโดยน้ำและขดลวดทองแดง ความแปรผันของอุณหภูมิน้ำ 2 องศาเซลเซียสจากค่าที่ต้องการ อุณหภูมิถูกตรวจสอบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิวางอยู่ในอ่างน้ำ ตัวอย่างทั้งหมดถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มสองชั้นแยกจากกันโดยใช้จาระบีซิลิโคนเพื่อลดการไหลแบบออสโมติก



รูปที่ 2.10 แผนผังระบบทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (Mitchell and Campanella, 1963)

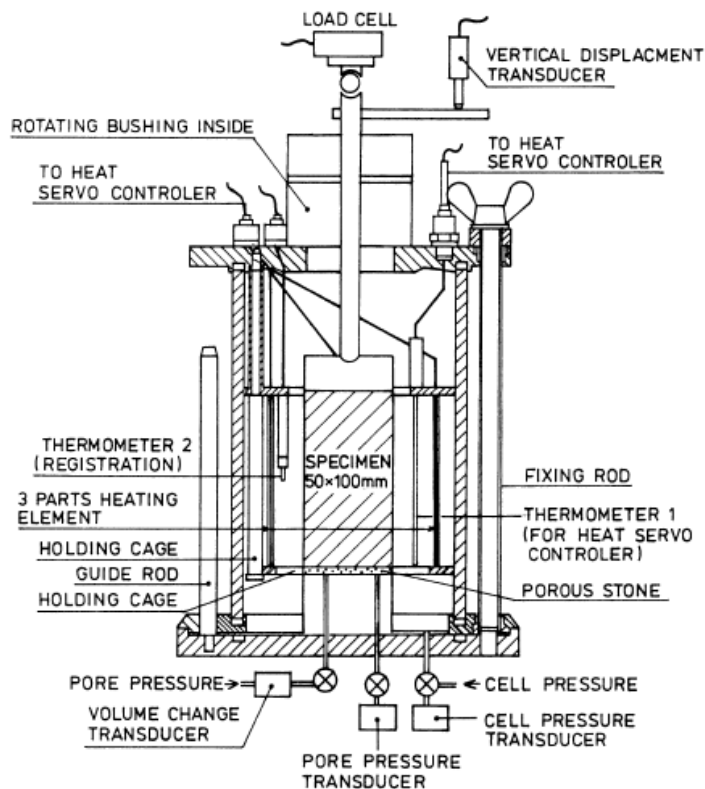


รูปที่ 2.11 แบบเครื่องทดสอบสามแกนของ (Demars and Charles, 1982)

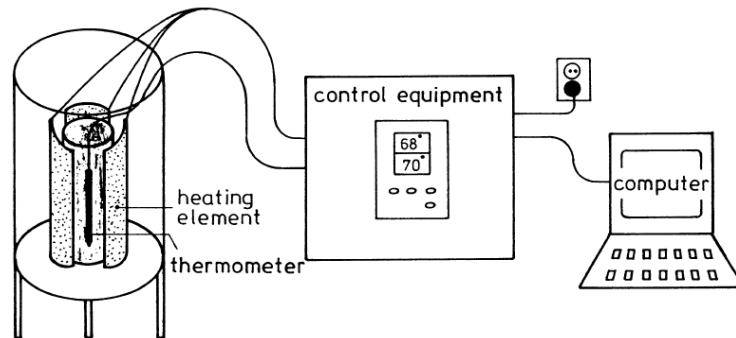
ในปี 1995 Lovisa Moritz ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบสามแกนที่อุณหภูมิสูง เพื่อใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง โดยมีการแก้ไขเซลล์สามแกนเพื่อให้เพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างได้ถึง 70 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.12 แสดงเครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz ของเหลวในเซลล์ประกอบด้วยน้ำกับชั้นน้ำมันหนา 20 มิลลิเมตร อยู่ชั้นบน เซลล์สามแกนจะมีความสูงมากกว่าปกติเพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนและวัดอุณหภูมิ และเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสตัวอย่างโดยตรง การระบายน้ำของตัวอย่างจะเกิดขึ้นที่ช่องด้านล่าง

อุปกรณ์ทำความร้อนได้รับการติดตั้งภายในเซลล์สามแกน เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวนสองชิ้นถูกสร้างขึ้นภายในเซลล์ ชั้นแรกใช้สำหรับเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ทำความร้อนและอีกชั้นใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิของของเหลวในเซลล์สามแกน แผ่นประกบกลางจะเสริมด้วยเสา 3 แท่ง เพื่อให้เซลล์สามารถติดตั้งโดยไม่ต้องสัมผัสตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร

การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจะใช้แผ่นทำความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น แผ่นทำความร้อนจะถูกติดตั้งอยู่บนที่วางเพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับตัวอย่างและผนังของเซลล์โดยตรง แผ่นทำความร้อนจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อไปยังตัววัดอุณหภูมิด้วย โดยเครื่องวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่างแผ่นทำความร้อนและตัวอย่าง แหล่งจ่ายไฟสำหรับแผ่นทำความร้อนจะถูกควบคุมเพื่อให้แน่ใจในเซลล์มีอุณหภูมิตามที่ต้องการและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 องศาเซลเซียส ระบบการควบคุมอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.13

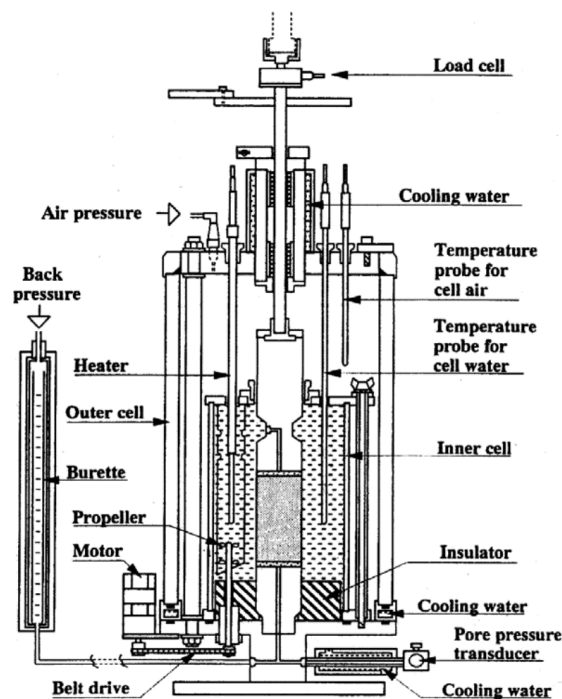


รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)

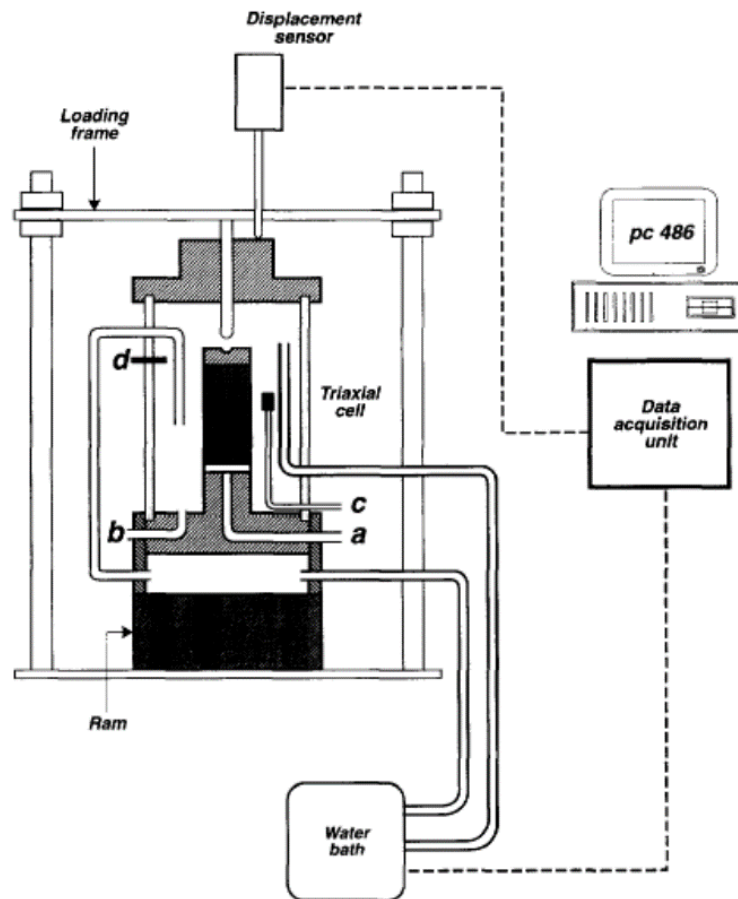


รูปที่ 2.13 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)

ในปีเดียวกัน Kuntiwattanakul และคณะ (1995) ได้ออกแบบอุปกรณ์สามแกนที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.14 อุปกรณ์ประกอบด้วยสองเซลล์ คือเซลล์ภายในและเซลล์ด้านนอก เซลล์ภายในเต็มไปด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ ควบคุมโดยเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าที่จมอยู่ในน้ำโดยตรง ปริมาณพลังงานที่จ่ายให้เครื่องทำความร้อนถูกปรับโดยหน่วยควบคุมเพื่อปรับสมดุลของปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจากเซลล์ไปยังสภาพแวดล้อมโดยรอบ วิธีการควบคุมอุณหภูมินี้ช่วยให้อุณหภูมิสามารถรักษาได้ด้วย ความแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส ช่องระหว่างเซลล์ภายในและด้านนอกเต็มไปด้วยอากาศเป็นสื่อในการถ่ายโอนความดันจากชุดควบคุมความดันไปยังน้ำในเซลล์ภายใน นอกจากนี้ยังใช้เป็นฉนวนเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากเซลล์ภายใน การทดสอบทำโดยใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรและสูง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 2.14 เครื่องทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (Kuntiwattanukul et al, 1995)



a: Pore-water pressure measurement

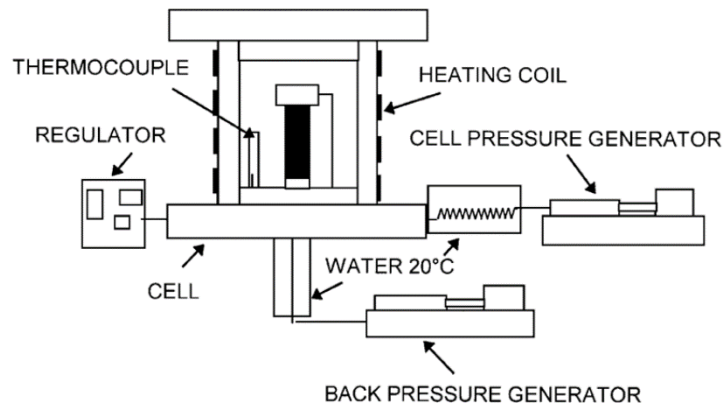
b: Confining pressure measurement

c: Temperature sensor (close to the specimen)

d: Temperature sensor (in confining liquid)

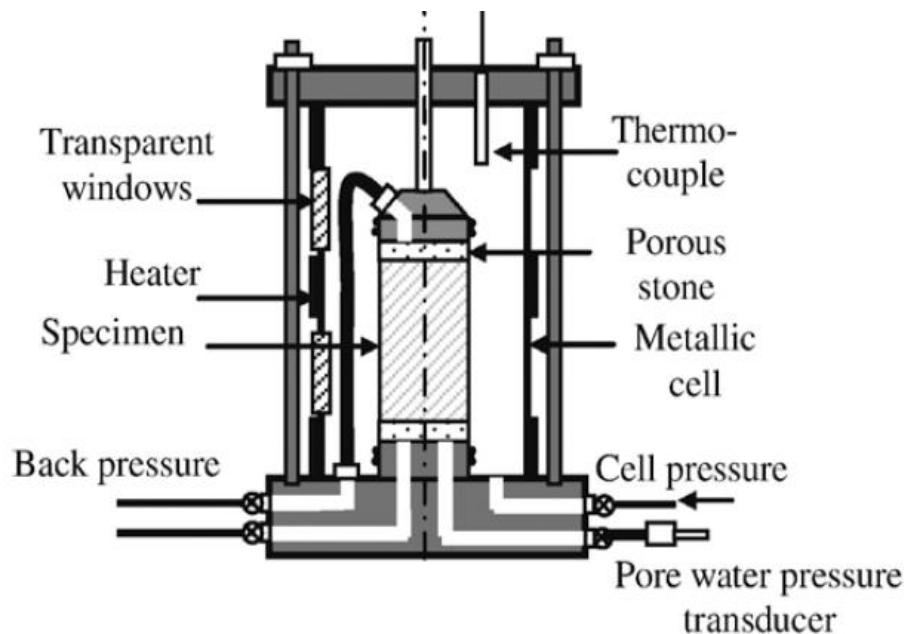
รูปที่ 2.15 ระบบทดสอบสามแกนควบคุมอุณหภูมิของ (De Bruyn and Thimus, 1996)

Delage และคณะ (2000) ศึกษาการรวมตัวของดินเหนียว ใช้อุปกรณ์สามแกนที่ออกแบบมาสำหรับการทดสอบตัวอย่าง ที่ความดันและอุณหภูมิสูงดังแสดงในรูปที่ 2.16 ความดันและอุณหภูมิสามารถใช้งานได้ถึง 60 เมกะปาสคาล และ 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ให้อุณหภูมิโดยใช้ชุดลดความร้อนบนผนังด้านนอกของเซลล์ และควบคุมโดยเทอร์โมคัปเปิ้ลภายในเซลล์สามแกน ความแม่นยำของระบบควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ ± 0.05 องศาเซลเซียส การวัดปริมาตรโดยรวมของตัวอย่างถูกวัดโดยใช้เทคนิคการวัดค่าของเหลวของเซลล์เพื่อป้องกันการบีบอัดอุปกรณ์ภายใน



รูปที่ 2.16 เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิและแรงดันสูงของ (Delage et al, 2000)

ในปี 2006 Abuel-Naga et al. ได้พัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนขึ้นใหม่ เพื่อศึกษาความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินภายใต้เงื่อนไขทำความร้อนไม่ระบายน้ำของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยแสดงในรูปที่ 2.17 ประกอบด้วยเซลล์สามแกนโลหะที่มีช่องหน้าต่างโปร่งใส 2 ช่อง ใช้สำหรับดูพฤติกรรมของตัวอย่าง สามารถรองรับตัวอย่างดินได้ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความสูง 100 มิลลิเมตร ใช้ตัวทำความร้อนแบบวงแหวนติดตั้งอยู่ด้านนอกของผนังเซลล์สามแกนโลหะ อุณหภูมิจะถูกควบคุมโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งวางอยู่ภายในเซลล์สามแกน ความแม่นยำของระบบควบคุมความร้อนคือ ± 0.1 องศาเซลเซียส การวัดแรงดันน้ำด้วยตัวแปลงสัญญาณแรงดันที่สามารถทนกับอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส การทดสอบเทียบเพื่อประเมินผลกระทบของน้ำที่มีอยู่ในต่อระหว่างฐานล่างของตัวอย่างและตัวแปลงสัญญาณแรงดันน้ำโดยใช้ตัวอย่างสแตนเลส ผลปรากฏว่าแรงดันส่วนเกินที่เกิดจากความร้อนในกรณีนี้มีค่าประมาณ 0.03 กิโลปาสกาลต่อองศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่น้อยจนสามารถมองข้ามได้



รูปที่ 2.17 เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Abuel-Naga et al. (2006)

2.8.1.3. เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิแบบสำเร็จ

นอกจากการศึกษาผลของอุณหภูมิของดินที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนมีการศึกษาและพัฒนาขึ้นมาเองแล้ว ยังมีผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบทางวิศวกรรมได้ทำการผลิตเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิขึ้นมาเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้ผลิตเพื่อจำหน่ายจึงไม่มีการแสดงรายละเอียดแบบแปลนของเครื่องทดสอบไว้ จะอธิบายเพียงความสามารถของตัวเครื่องเท่านั้น



รูปที่ 2.18 เครื่องทดสอบสามแกนสำหรับอุณหภูมิต่ำของบริษัท มารูอิ จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 2.18 เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิต่ำ (low temperature triaxial testing apparatus) เป็นเครื่องมือทดสอบที่ใช้หลักการทำให้ดินชุ่มก๊าซมีเทนที่มีอุณหภูมิและความดันที่ต้องการ สามารถทดสอบด้วยแรงแนวแกนสูงสุด 200 กิโลนิวตัน แรงดันด้านข้าง 20 เมกะปาสกาล การควบคุมอุณหภูมิใช้วิธีการไหลเวียนของน้ำเค็ม ช่วงของอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง - 10 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 20 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมอัตราการเนียนแบบคงที่ได้ 0.001 ถึง 20 มิลลิเมตร ต่อนาที อุปกรณ์นี้มีความสามารถในการวัดความดันแนวแกน การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเคลื่อนที่ด้านข้าง ความดันด้านข้าง ความดันภายในตัวอย่าง อุณหภูมิภายในเซลล์ และอุณหภูมิของตัวอย่าง ผลิตและจำหน่ายโดยบริษัท มารูอิ จำกัด (MARUI&CO.,LTD) ประเทศญี่ปุ่น

อุปกรณ์ชุดนี้สามารถใช้ทดสอบได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การทดสอบแบบไม่อัดตัวคายน้ำและไม่ระบายน้ำ (unconsolidated undrained test, UU) การทดสอบแบบอัดตัวคายน้ำและระบายน้ำ (consolidated drained test, CD) การทดสอบแบบอัดตัวคายน้ำและไม่ระบายน้ำ (consolidated undrained test, CU) การทดสอบแบบอัดตัวคายน้ำและไม่ระบายน้ำและวัดค่าแรงดันน้ำไปพร้อมกัน รวมถึงการทดสอบคืบ (creep test) นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์หรือเพิ่มเติมความสามารถของอุปกรณ์ได้ตามความต้องการของลูกค้า เช่น ต้องการเพิ่มช่วงของอุณหภูมิให้กว้างกว่านี้ ความดันที่สูงเป็นพิเศษ ขนาดตัวอย่าง ฯลฯ

บริษัท ไชเกน จำกัด (SEIKEN, INC.) ประเทศญี่ปุ่น ได้ผลิตเครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิสูง-ต่ำ และความดันสูง (high-low temperature & high pressure triaxial apparatus) หมายเลขรุ่น DTC-495 ดังแสดงในรูปที่ 2.19 มีการนำเสนอว่าออกแบบมาเพื่อความกะทัดรัดและสามารถทำการทดสอบในสภาวะความดันสูง ค่าแรงแนวแกนสูง และมีความแม่นยำที่ดีมาก มีการให้ความสำคัญกับความปลอดภัย การใช้งานง่าย เครื่องมือชุดนี้ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก คืออุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดได้ถึง -35 องศาเซลเซียส ความดันสูงสูงสุด 10 ถึง 80 เมกะปาสกาล แรงตามแนวแกนแนวตั้งมากที่สุด 100 ถึง 500 กิโลนิวตัน สามารถรองรับตัวอย่างขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 30 มิลลิเมตร ไปจนถึง 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.19 เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิสูง-ต่ำและความดันสูง ของบริษัท ไชเกน จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

จากตัวอย่างของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่มีการผลิตเพื่อการจำหน่ายของทั้งสองบริษัทที่กล่าวมานั้น การออกแบบจะเน้นเพื่อความสะดวก ใช้งานง่าย และสามารถนำไปทดสอบได้หลายรูปแบบ แต่เครื่องทดสอบที่ผลิตออกมามีขนาดใหญ่เพราะต้องติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ไว้มากมาย และจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์พิเศษต่างๆ ของเครื่องทดสอบจะผลิตมาโดยเฉพาะรุ่นและจำหน่ายพร้อมกันทั้งชุด ความยุ่งยากต่อมา คือ การขนย้าย การติดตั้งเข้ากับที่รวมถึงเมื่อมีการขัดข้องของอุปกรณ์ต้องมีช่างผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไขซ่อมแซม

2.8.1.4. ผลของอุณหภูมิของดิน

ดินมีส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นตัวให้กำเนิดพลังงาน โดยความร้อนคือพลังงานอีกอย่างหนึ่งที่ได้จากดิน ดินมีอุณหภูมิโดยประมาณ 27 - 29 องศาเซลเซียส (ฉกาจ 2552) อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ทำให้เกิดความร้อนและสามารถทำให้อุณหภูมิของดินเปลี่ยนไปได้

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติพื้นฐานของดินมีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาไว้ เช่น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกลดลง (Youssef, et al. 1961) อุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างและความหนืดของดิน (Towhata, et al. 1993) อุณหภูมิส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Towhata, et al. 1993) (Abuel-Naga, et al. 2006) และอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Abuel-Naga, et al. 2006)

นอกจากนี้ Lagurous กล่าวว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้น้ำระเหยออกจากตัวอย่างดิน ส่งผลให้ความอิ่มตัวของมวลดิน (degree of saturation) ลดลง และเพิ่มแรงดูด (suction) ในตัวอย่าง (Lagurous et al. 1969) เป็นผลให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว (unconfined compressive strength) เพิ่มขึ้น และ sherif and Burrous ได้กล่าวเพิ่มว่าอุณหภูมิดินที่เปลี่ยนแปลงเป็นสาเหตุให้แรงดันน้ำในดินเปลี่ยนแปลง และเป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินด้วย (Sherif and C.M. 1969)

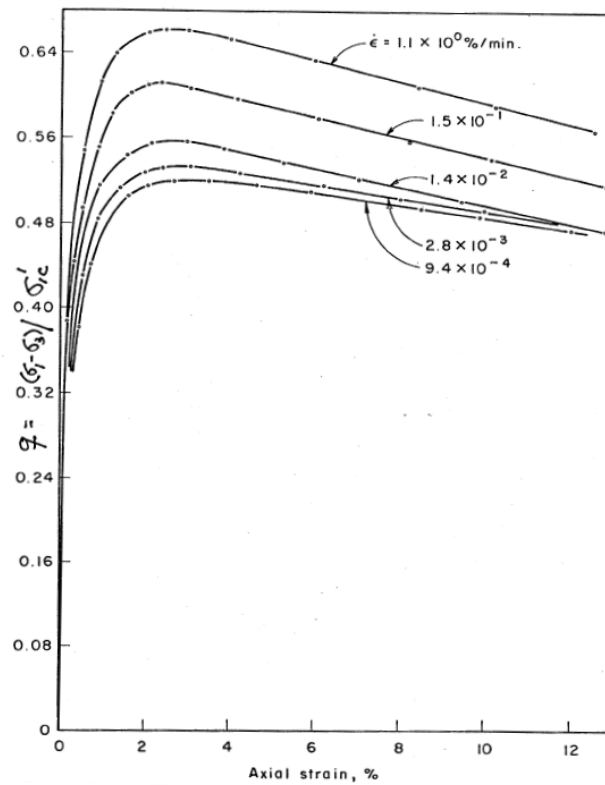
สำหรับงานวิจัยในประเทศไทย เพิ่มพรและพิสิทธิ์ (2548) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ ในการศึกษาจะทำที่อุณหภูมิ 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบตรง ตัวอย่างจะถูกอัดตัวคายน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนดและทำการเฉือนที่อุณหภูมิเดียวกันภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การอัดตัวคายน้ำที่ความดันต่ำกำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อความดันในการอัดตัวคายน้ำสูงขึ้นกำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นจะค่อยๆ ลดลงและที่ความดันที่ใช้ในการอัดตัวคายน้ำ 16 ตันต่อตารางเมตร ผลกระทบของอุณหภูมิจะไม่มีผลกับกำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรง

2.8.2. ผลกระทบของดินต่ออัตราความเครียด

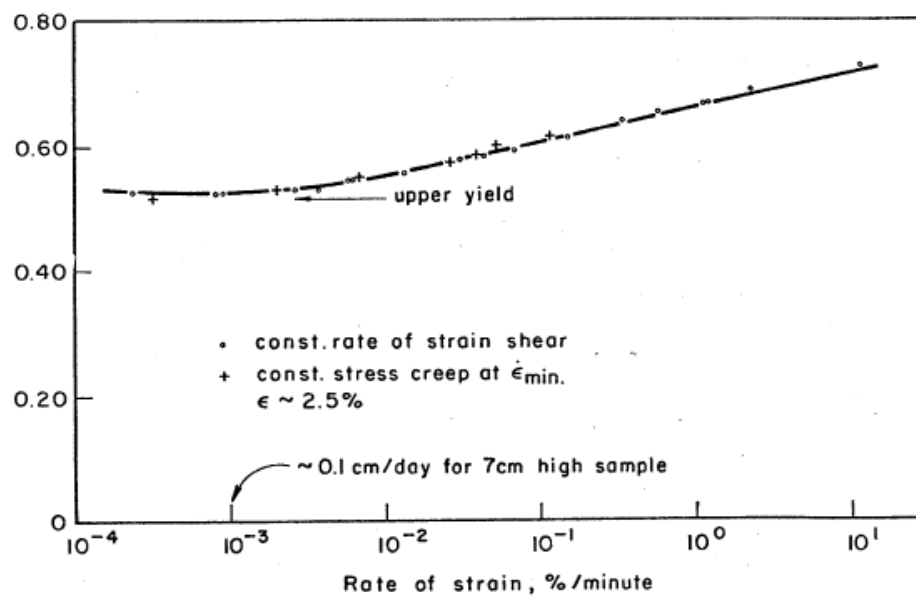
การวิเคราะห์อิทธิพลของอัตราความเครียดที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของความเค้น – ความเครียดของดิน ได้มีผู้ให้ความสนใจและศึกษาด้านนี้กันอย่างแพร่หลาย บทสรุปที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก คือการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียด (Strain rate) จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรม การรับความเค้น (Vaid and Campanella 1977) หรือค่าความเค้นเบี่ยงเบนจะมากที่สุดที่อัตราความเครียดเร็วที่สุด และพฤติกรรมที่ขึ้นกับอัตรา นั้นจะไม่ส่งผลกับดินทราย แต่จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับดินเหนียว

งานวิจัยเรื่องนี้เริ่มตั้งแต่ปี 1977 ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอัตราความเครียดและผลกระทบด้านเวลา (Time effect) ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) – ความเครียด (Strain) และพฤติกรรมด้านกำลังของดินเหนียว Haney เป็นดินเหนียวที่มีความไวตัว (Sensitive) สูง Vaid. และ Campanella ได้ข้อสรุปว่า การทดสอบโดยการเฉือนตัวอย่างด้วยอัตราความเครียดที่เร็วที่สุดจะได้ค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่สูงที่สุดด้วย ดังรูปที่ 2.20 จะมีค่ามากที่สุดที่อัตราความเครียดเร็วที่สุด ซึ่งให้ค่าสูงกว่าค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่อัตราความเครียดช้าสุดถึงร้อยละ 30 ในขณะที่ระดับของอัตราความเครียดไม่มีอิทธิพลต่อระดับความเครียดที่เกิดจากความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด ซึ่งทุกการทดสอบจะให้ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ระดับความเครียดประมาณ ร้อยละ 2.5 ถึง 3.0 ซึ่งตรงกับข้อมูลการทดสอบในดินเหนียวเม็กซิโก (Mexico City clay) คงสภาพ โดยการวิจัยของ Alberro และ Santaya (1973)

และยังพบว่า ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำกับลอคการิทึมของอัตราความเครียด จะเป็นแบบเส้นตรงในช่วงระดับอัตราความเครียดช่วงหนึ่งและเมื่อระดับอัตราความเครียดลดต่ำลง พบว่าจะเกิดขอบเขตล่างของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่จะไม่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำลดลงไปอีก ดังรูปที่ 2.21 งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ พบว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 5 – 10 ในช่วงลอคการิทึมของอัตราความเครียด (10 - fold) ซึ่งดินเหนียว Haney จะมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ต่อ 1 ช่วงลอคการิทึมของอัตราความเครียด ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับดินคงสภาพ Norwegian clay ที่วิจัยโดย Berre และ Bjerrum (1973)

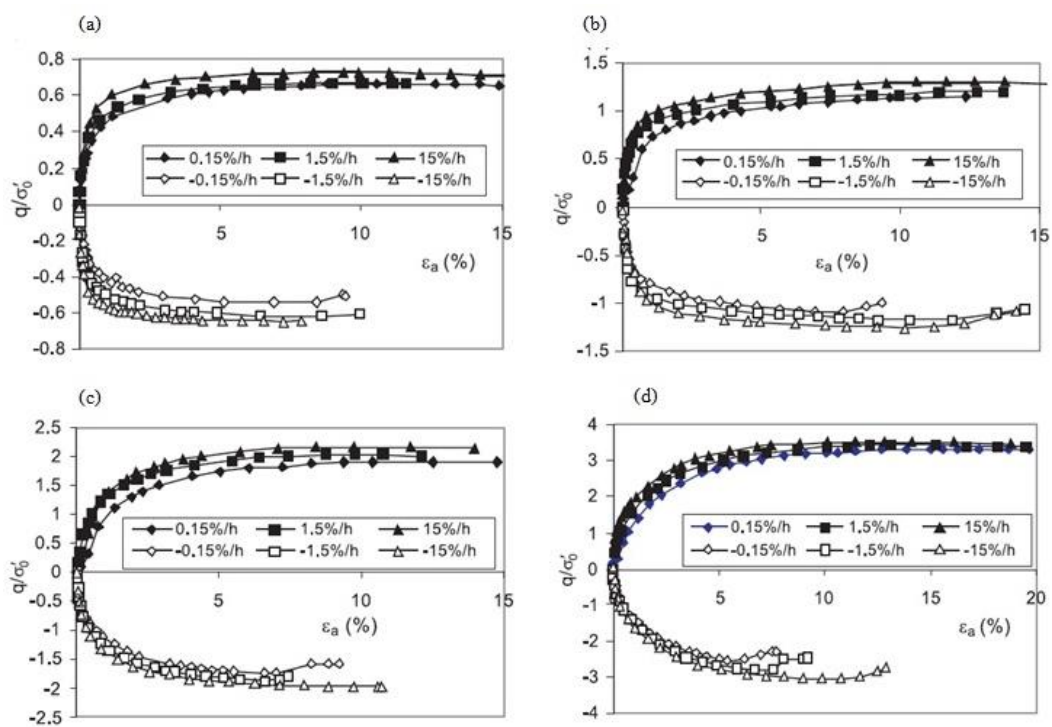


รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ของความเค้น - ความเครียด ในงานวิจัยของ Vaid และ Campanella (1977)



รูปที่ 2.21 ผลกระทบของอัตราความเครียดต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในงานวิจัยของ Vaid และ Campanella (1977)

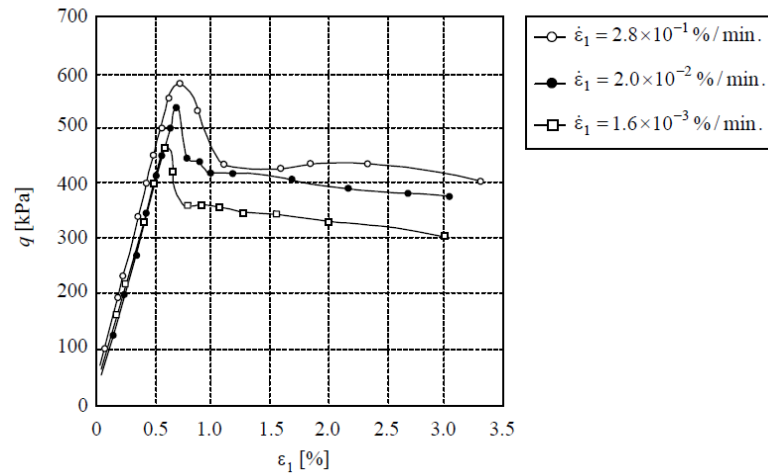
ต่อมาในปี 1999 Zhu และ Yin ได้นำเสนองานวิจัยการศึกษาผลกระทบของอัตรา (rate) ต่อพฤติกรรมของความเค้น - ความเครียด - กำลังของดิน (Strength) รวมทั้งแรงดันน้ำโพรง (Pore water pressure) ของดินเหนียวฮ่องกง (Hong Kong Marine Clay, HKMC) ที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation ratios, OCRs) ให้ได้เท่ากับ 1, 2, 4 และ 8 ทำการเฉือนตัวอย่างที่อัตราความเครียดคงที่ ± 0.15 %ต่อชั่วโมง ± 1.5 %ต่อชั่วโมง และ ± 15 %ต่อชั่วโมง ทั้งสภาวะการทดสอบแรงอัด (Compression shear state) และการทดสอบแรงดึง (extension shear state) จากรูปที่ 2.22 แสดงผลการทดสอบแรงอัดสามแกน ในกรณีการทดสอบแรงอัด พบว่าค่าความเค้นจะมากที่สุดที่อัตราความเครียดเร็วที่สุด ส่วนในกรณีการทดสอบแรงดึง นั้นให้ผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือจะลดต่ำสุดเมื่อค่าความเค้นสูงสุด ในทุก ๆ ค่าของอัตราการอัดตัวคายน้ำ



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการค่าความเค้นเป็ยงเบนประลิตธิผล กับความเครียดแนวแกน

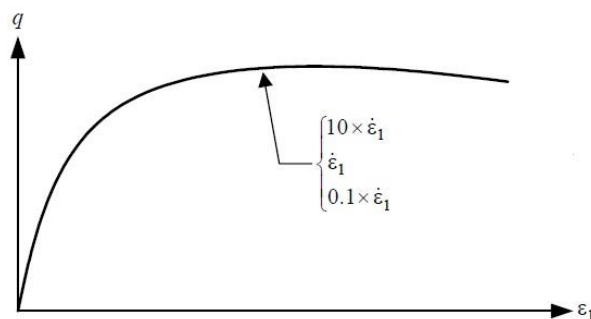
(a) OCR= 1 (b) OCR= 2 (c) OCR= 4 (d) OCR= 8

ที่มา : Zhu และ Yin (1999)



รูปที่ 2.23 พฤติกรรมความเค้น - ความเครียดของดินเหนียวในการทดสอบด้วยอัตราความเครียดคงที่ โดยสมการของ Viad (1979)

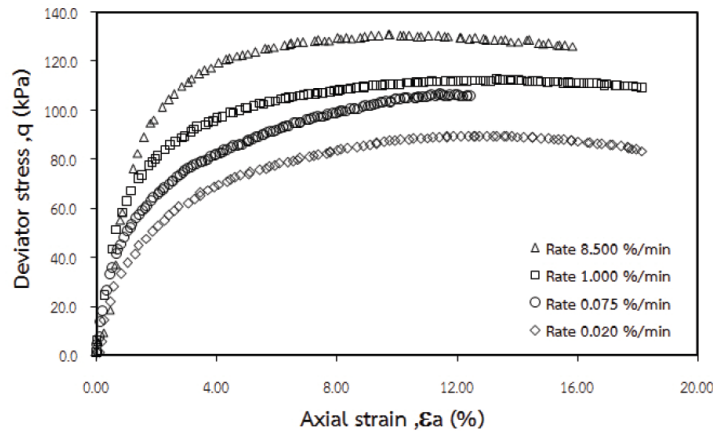
ปี 2002 ได้มีการนำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับ พฤติกรรมที่ขึ้นกับอัตราของดินทรายและดินเหนียว ที่มีผลกระทบต่อกรคืบ (Creep behaviour) - การผ่อนคลายของความเค้น (Stress relaxation behaviour) รวมทั้งผลกระทบของความเครียดสะสม (Accumulated effect) เนื่องจากเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Isotach) (Morten, et al. 2002) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมดังกล่าวจากรูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นว่าดินเหนียวมีขอบเขตการแสดงพฤติกรรม Isotach และในรูปที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่าดินทรายแสดงพฤติกรรมที่ไม่ Isotach นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า พฤติกรรมที่ขึ้นกับอัตราานั้นจะไม่ส่งผลกับดินทราย แต่จะส่งผลกระทบต่อดินเหนียวนั่นเอง



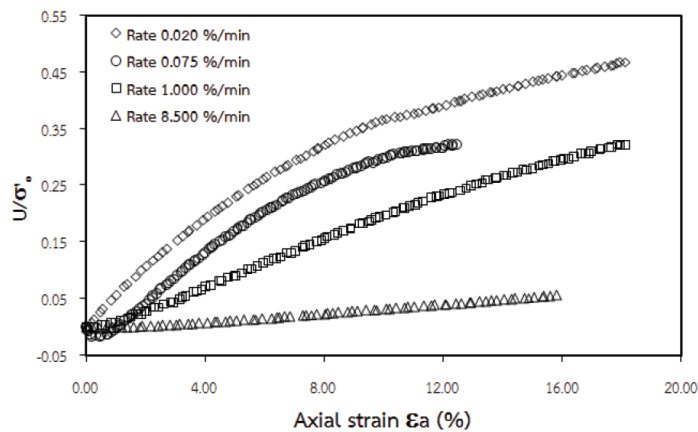
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด โดยอัตราความเครียดคงที่ของดินทราย โดยสมการของ Matsushita et al. (1999)

สำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 ศิริพร และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราความเครียดที่มีต่อพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของดินเหนียวปากพนัง โดยทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำของตัวอย่างดินเหนียวที่ค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 1 เดือน

ด้วยอัตราความเครียด 4 อัตรา คือ 0.020% 0.075% 1.0% และ 8.5% ต่อนาที ผลการทดสอบปรากฏว่าอัตราความเครียดมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวปากพั้ง ในทุกๆค่าของอัตราการอัดแน่นเกินตัวดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพั้ง
ที่มา : ศิริพร และคณะ (2556)



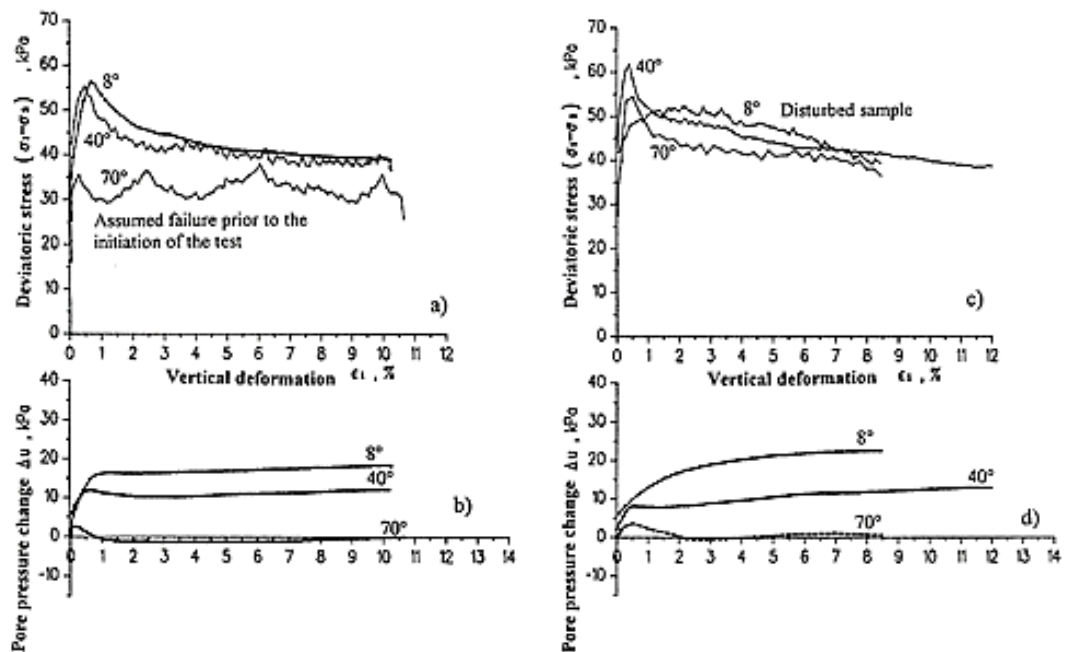
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพั้ง
ที่มา : ศิริพร และคณะ (2556)

นอกจากนี้อัตราความเครียดยังมีผลต่อการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่ต่างกันในด้านขณะทำการเฉือน (รูปที่ 2.26) โดยแรงดันน้ำส่วนเกินที่อัตราความเครียดต่ำจะมีค่าสูงกว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่อัตราความเครียดสูง และเส้นทางเดินของความเค้นประสิทธิผลด้วย สังเกตได้ว่าการทดสอบนี้ทำเพียงที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น

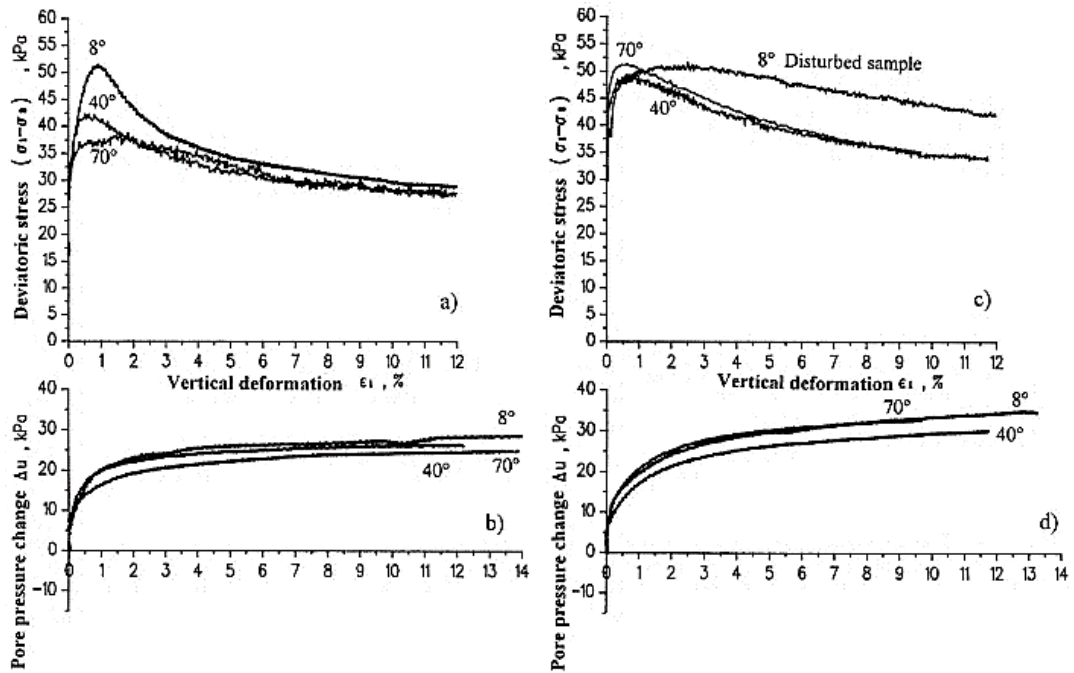
2.8.3. ผลกระทบของดินต่ออุณหภูมิ

อิทธิพลของอุณหภูมิจากที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของความเค้น ความเครียดของดินได้มีผู้ให้ความสนใจและศึกษาด้านนี้ไม่มากนัก โดยในปี 1995 Moritz ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง โดยนำตัวอย่างดินมาจากสถานที่ใกล้กับความร้อน ทำการทดสอบออกแบบให้มีการจำลองสถานการณ์การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างและหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) ที่อุณหภูมิต่างๆ 3 อุณหภูมิ คือ 8 40 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการอัดตัวคายน้ำ (consolidation) ที่ความเค้นในที่ (in situ stress) แล้วทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่ระบายน้ำที่อัตราการเสียรูปแตกต่างกัน 2 ค่า ตัวอย่างที่ได้รับความร้อนภายใต้เงื่อนไขไม่ระบายน้ำจะถูกเฉือนเร็วแบบไม่ระบายน้ำด้วยอัตราการเสียรูป 1.0% ต่อขณะที่ ส่วนตัวอย่างที่ได้รับความร้อนภายใต้เงื่อนไขระบายน้ำจะถูกเฉือนช้าแบบไม่ระบายน้ำด้วยอัตราการเสียรูป 0.006% ต่อขณะที่

ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนด้วยการเฉือนเร็ว (รับความร้อนแบบไม่ระบายน้ำ) ไม่สามารถประเมินค่ากำลังรับแรงเฉือน นอกจากนี้มีตัวอย่างหลายตัวอย่างใช้ไม่ได้ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 2.27 จะเห็นว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนในเรื่องการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการทดสอบเหล่านี้ถูกให้ความร้อนแบบไม่ระบายน้ำ สภาพความเครียดเปลี่ยนแปลงไปโดยสิ้นเชิงตั้งแต่เริ่มทดสอบ



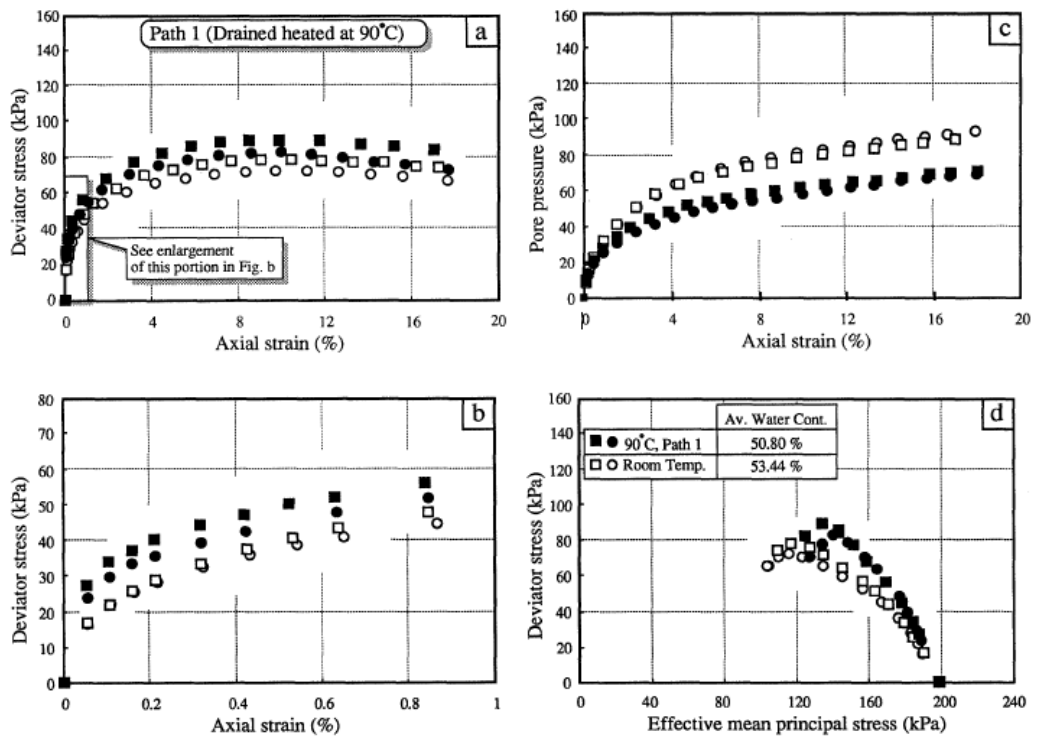
รูปที่ 2.27 ผลการทดสอบด้วยการเฉือนเร็วของ Moritz (1995) ตัวอย่างที่มีความลึก 6 เมตร (a) และ (b) ที่ความลึก 9 เมตร (c) และ (d)



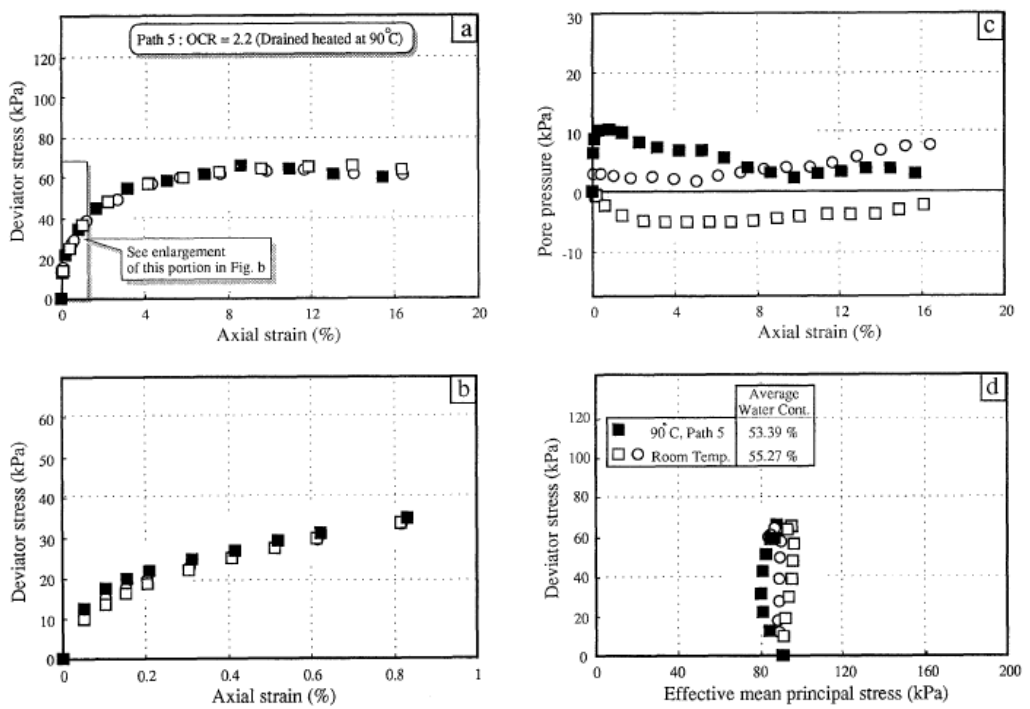
รูปที่ 2.28 ผลการทดสอบด้วยการเฉือนซ้ำของ Moritz (1995)
ตัวอย่างที่ความลึก 6 เมตร (a) และ (b) ที่ความลึก 9 เมตร (c) และ (d)

ในส่วนของผลที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนด้วยการเฉือนซ้ำ และได้รับความร้อนแบบระบายน้ำ ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นสำหรับตัวอย่างที่ความลึก 6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.28 แต่แนวโน้มของผลที่ได้จากตัวอย่างที่ความลึก 9 เมตร ยังมีข้อสงสัยอยู่มาก

Kuntiwattanukul และคณะ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียสของดินเหนียวกรุงเทพฯ ทั้งในสภาวะอัดแน่นปกติและอัดแน่นเกินตัว พบว่า ในสภาวะอัดแน่นปกติมีค่าโมดูลัสเริ่มต้นเพิ่มขึ้นและกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และในสภาวะอัดแน่นเกินตัว ค่าโมดูลัสเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่กำลังรับแรงเฉือนไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ถึง รูปที่ 2.30 นอกจากนี้ยังสรุปว่าการเสริมสร้างความแข็งแกร่งของดินสามารถอธิบายเหตุผลได้ โดยทฤษฎีที่ว่าความร้อนช่วยลดการดูดซึมน้ำรอบอนุภาคดิน จึงทำให้อนุภาคสามารถสัมผัสกันได้ใกล้ชิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการต่อต้านการเสียวรูปใด ๆ



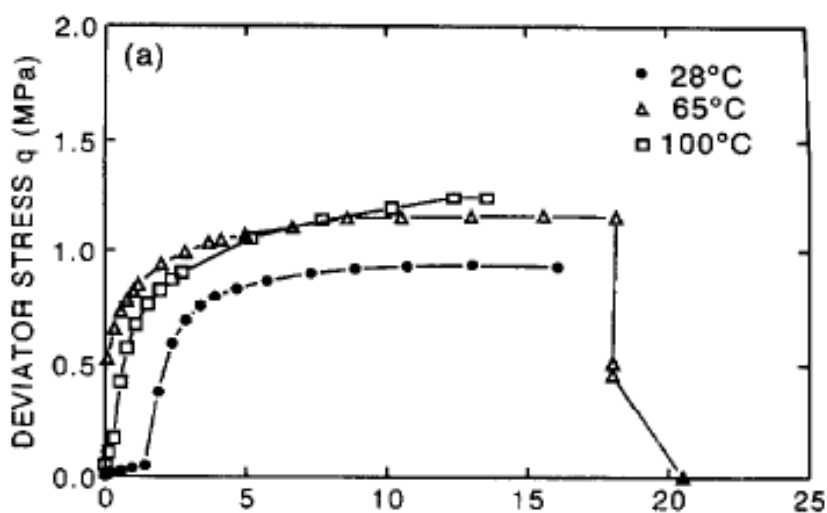
รูปที่ 2.29 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่สภาวะอัดแน่นปกติ
ที่มา : Kuntiwattanukul และคณะ (1995)



รูปที่ 2.30 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่สภาวะอัดแน่นเกินตัว
ที่มา : Kuntiwattanukul และคณะ (1995)

ในปีต่อๆ มา มีงานวิจัยที่มีผลแตกต่างออกไปจากงานวิจัยข้างต้น เช่น ในปี 1996 ได้มีงานวิจัยเรื่องพฤติกรรมความเค้น - ความเครียดของดินเหนียวโอลิโอสต์สร้างใหม่ที่อุณหภูมิต่างกัน (Tanaka, et al. 1997) ในปี 2006 ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน และความเครียดที่แตกต่างกัน ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Abuel-Naga, et al. 2006) ในปี 2008 ได้มีงานวิจัยเรื่องทดสอบหาผลของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินอ่อนกรุงเทพฯ ในสภาพอัดแน่นปกติ (Trani, et al. 2008) ซึ่งผลงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่อ ดินได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดินจะมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

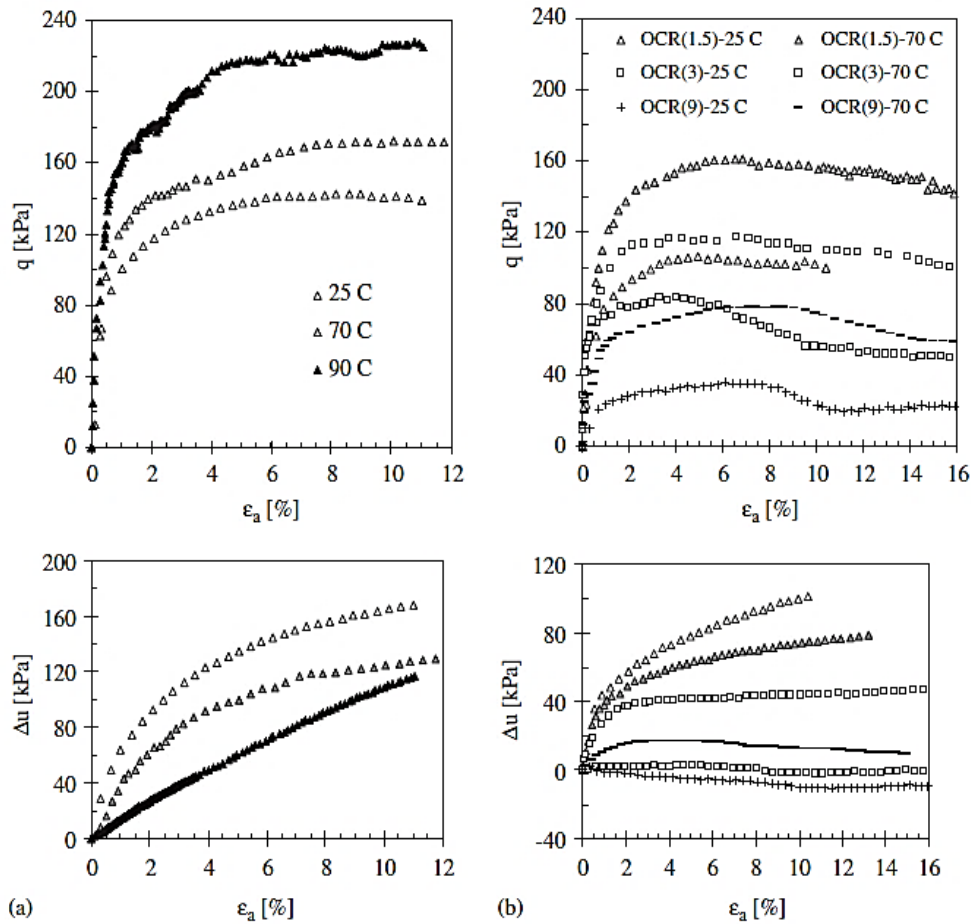
งานวิจัยที่กล่าวมามีความแตกต่างกันบ้างในรายละเอียด Tanaka และคณะ ปี 1997 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดินเหนียวที่เตรียมขึ้นเอง ได้ตรวจสอบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมทางกลของดินเหนียว ให้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส และการทดสอบตัวอย่างอัดตัวปกติและอัดแน่นเกินตัวที่ OCR = 2 สำหรับผลการเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ดังรูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าแรงเฉือนสูงขึ้น



รูปที่ 2.31 ผลการทดสอบกำลังอัดสามแกนตัวอย่างสภาพอัดแน่นปกติของ Tanaka และคณะ (1997)

ในปี 2006 ได้ทำการทำวิจัยหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างกัน อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียสโดยการทำให้ตัวอย่างดินมีอุณหภูมิตั้งแต่ระดับที่ต้องการแล้วปล่อยให้เย็นตัวก่อนการเฉือน ให้ความร้อนแบบระบายน้ำ การเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีอัตราความเครียด 2% ต่อชั่วโมง ผลของการทดสอบแรงอัดสามแกนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของดินทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย รูปที่ 2.32a แสดงผลการทดสอบของตัวอย่างสภาพอัดตัวปกติ

สำหรับผลการทดสอบของตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัว OCR เท่ากับ 1.5 3.0 และ 9.0 แสดงในรูปที่ 2.32b กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มในทุกๆ OCR นอกจากนี้ สำหรับตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัวเล็กน้อย แรงดันน้ำส่วนเกินลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม แต่สำหรับสำหรับตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัวสูงแรงดันน้ำส่วนเกินที่สร้างขึ้นเพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม

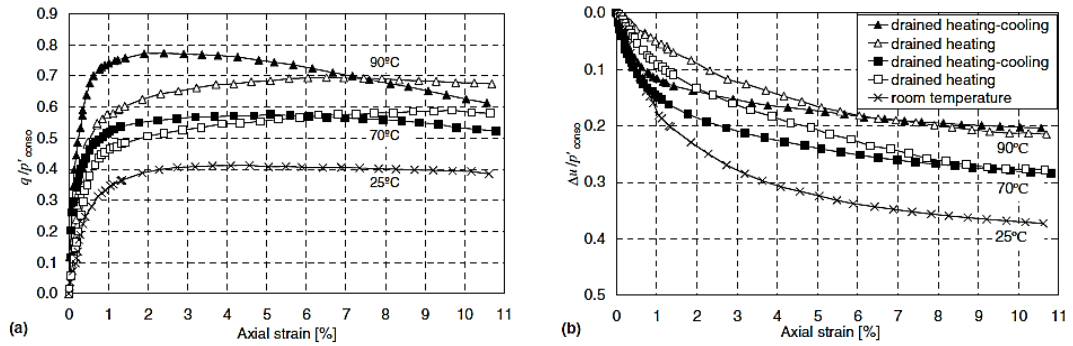


รูปที่ 2.32 ผลการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวอ่อน (Abuel-Naga และคณะ 2006)

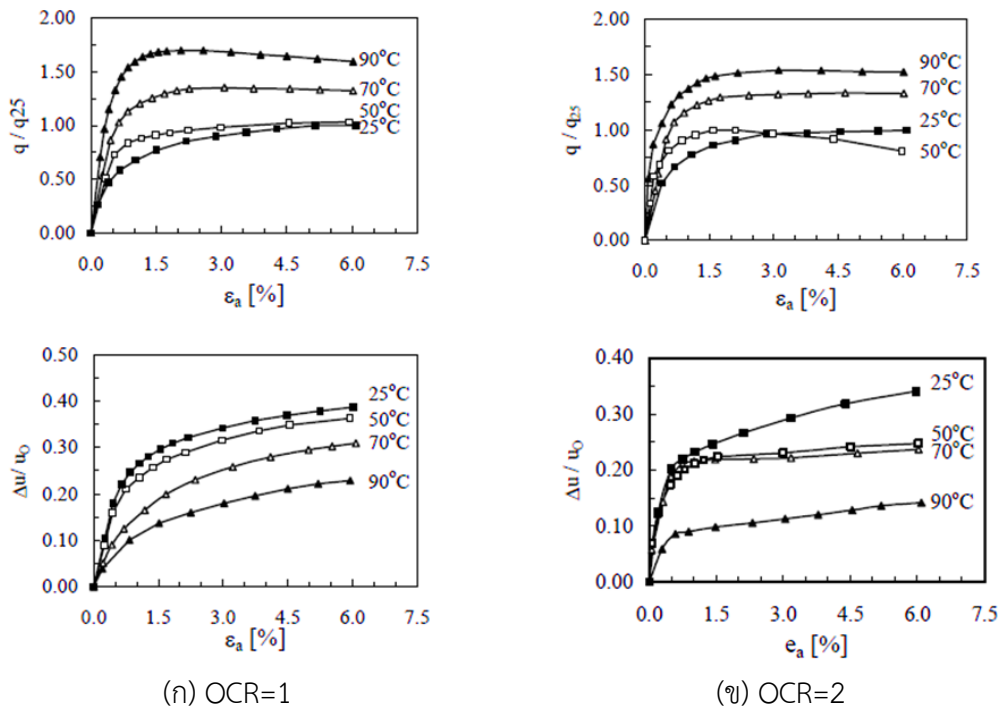
(a) สภาพอัดแน่นปกติ และ (b) สภาพอัดแน่นเกินตัว

งานวิจัยในปี 2008 ได้ทดสอบหาผลของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินอ่อนกรุงเทพในสภาพอัดแน่นปกติ (NC) ภายใต้เงื่อนไขให้ความร้อนพร้อมระบายน้ำ ใช้ 2 กระบวนการในการทดสอบ คือ 1) การทดสอบโดยให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 70 หรือ 90 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะความเค้นคงที่ และ 2) การทดสอบโดยให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง เฉือนด้วยอัตราความเครียดคงที่ 2% ต่อชั่วโมง ผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 2.33a แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเพิ่ม แต่แรงดันน้ำส่วนเกินจะลดลง รูปที่ 2.33b และยังแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวก่อนการ

เฉือน จะถึงจุดแข็งแรงสูงสุดที่ระดับความเครียดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนคงที่ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับการทดสอบเพื่อตรวจสอบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของดินเหนียวอ่อนเนื่องมาจากการให้ความร้อนของ Grino (2004) ดังแสดงในรูปที่ 2.34

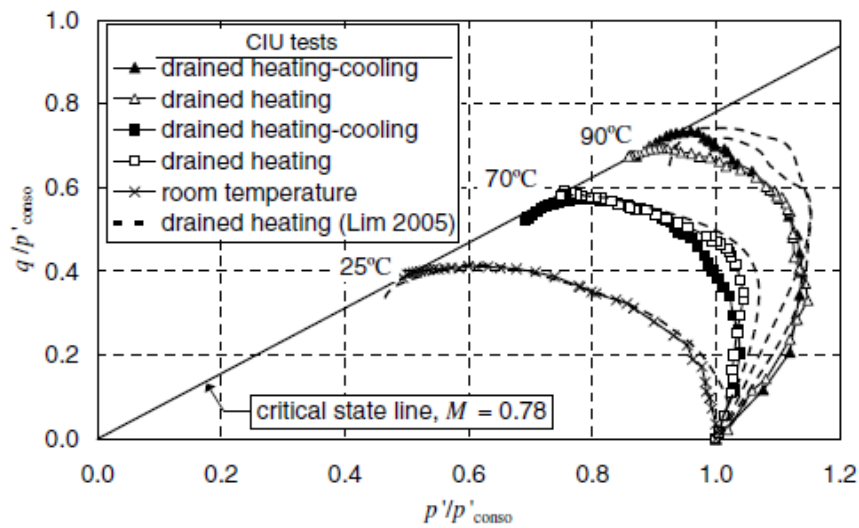


รูปที่ 2.33 ผลการทดสอบของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
ที่มา: Trani, et al. (2008)



รูปที่ 2.34 ความแข็งแรงของดินที่เพิ่มขึ้นตามการให้อุณหภูมิของ Grino (2004)

ผลของอุณหภูมิต่อเส้นสภาวะวิกฤต (critical state line) จะเห็นว่าความชัน (M) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $q:p$ เป็นอิสระกับอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.35 โดยมีค่าเท่ากับ 0.78 นอกจากนี้เส้นทางความเครียด (stress paths) ของตัวอย่างที่มีความร้อนจะมีแนวโน้มที่จะย้ายไปทางขวาของตัวตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง แสดงให้เห็นว่าที่จุดวิบัติดินอาจเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่ต่ำกว่า สรุปได้ว่าอุณหภูมิจะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้กำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.35 เส้นทางความเค้นของของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
ที่มา: Trani, et al. (2008)

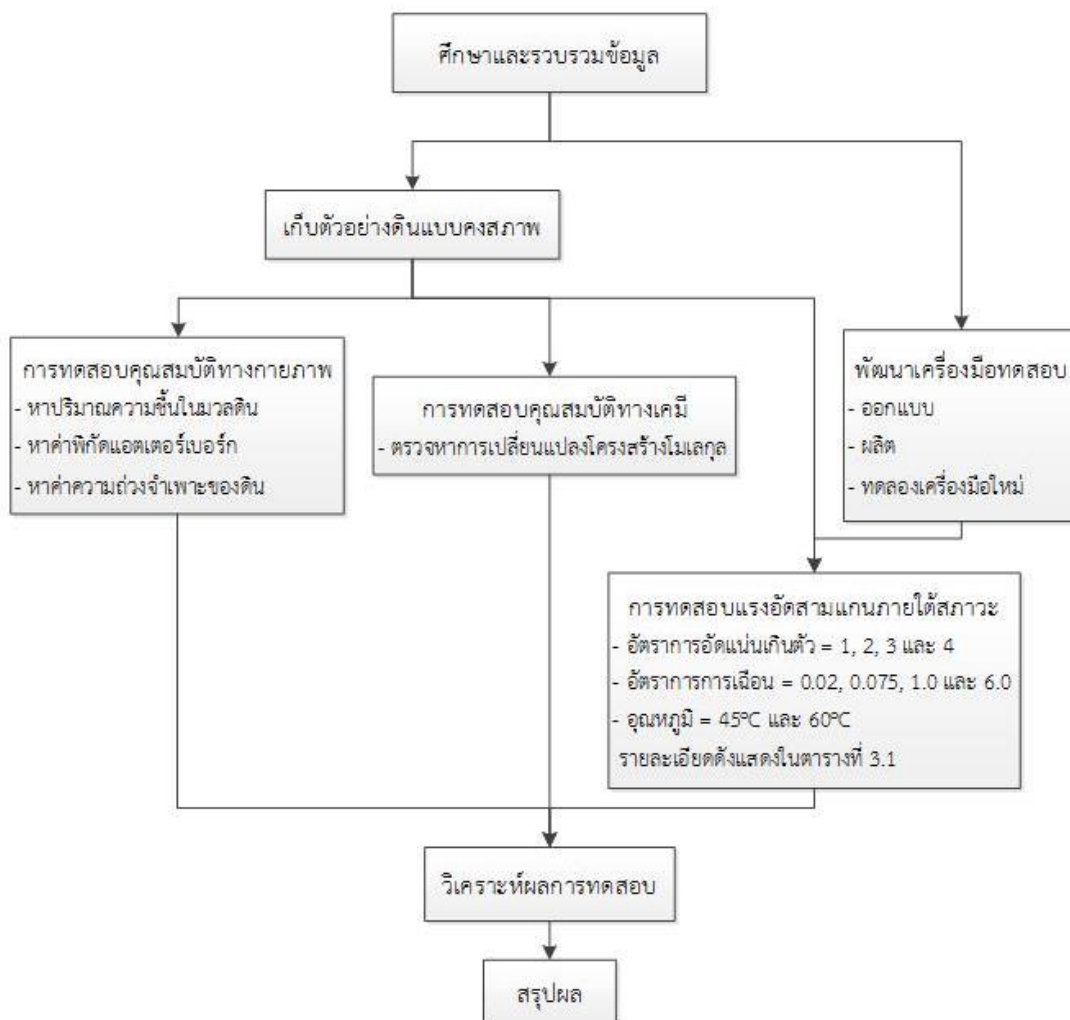
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมความแข็งแรงของดินภายใต้ภาระอัตราความเครียดและอุณหภูมิ ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยสามส่วน คือ ก) การออกแบบและสร้างเครื่องมือทดสอบ ข) การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของดินภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดในห้องปฏิบัติการ ค) วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลการทดสอบ กระบวนการดำเนินการวิจัยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- ทบทวนการศึกษาก่อนหน้านี้ กลไกพื้นฐานของดินและพฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของการวิเคราะห์ดินเกี่ยวกับอัตราความเครียดและสภาพการให้ความร้อน
- การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดของดินภายใต้สภาพอัตราความเครียดและการให้ความร้อน อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยสี่ส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งคือเครื่องควบคุมความเร็วในการบีบอัดและดึงแบบทั่วไป ส่วนที่สอง ระบบควบคุมความดัน ที่สามารถควบคุมความดันปิดล้อมรอบๆ ตัวอย่าง ส่วนที่สาม กล้องความดันที่สามารถควบคุมอุณหภูมิรอบตัวอย่าง และ ระบบการวัดและเก็บข้อมูลในการตรวจสอบพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของตัวอย่างทดสอบ
- เก็บตัวอย่างดินเหนียวปากพวงจากอำเภopakพวง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการเจาะล้าง ได้ทั้งตัวอย่างดินแบบที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวน
- หากคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวตามมาตรฐานของ ASTM คุณสมบัตินี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นและอ้างอิงผลของการอธิบายพฤติกรรมของดินภายใต้อัตราความเครียดและสภาวะการให้แรงด้วยความร้อน
- การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การทดสอบแบบแรงอัดเพียงอย่างเดียวและกำลังรับแรงเฉือนของของดินภายใต้อัตราความเครียดและสภาวะการให้แรงด้วยความร้อน รวมถึงผลของการอัดแน่นเกินตัว (OCR= 1,2,4 และ 8) และการระบายน้ำระหว่างการให้ความร้อน
- ตรวจสอบพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ความเครียด ของดินภายใต้อัตราความเครียดและสภาวะการให้แรงด้วยความร้อน

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเงื่อนไขการทดสอบแรงอัดสามแกน

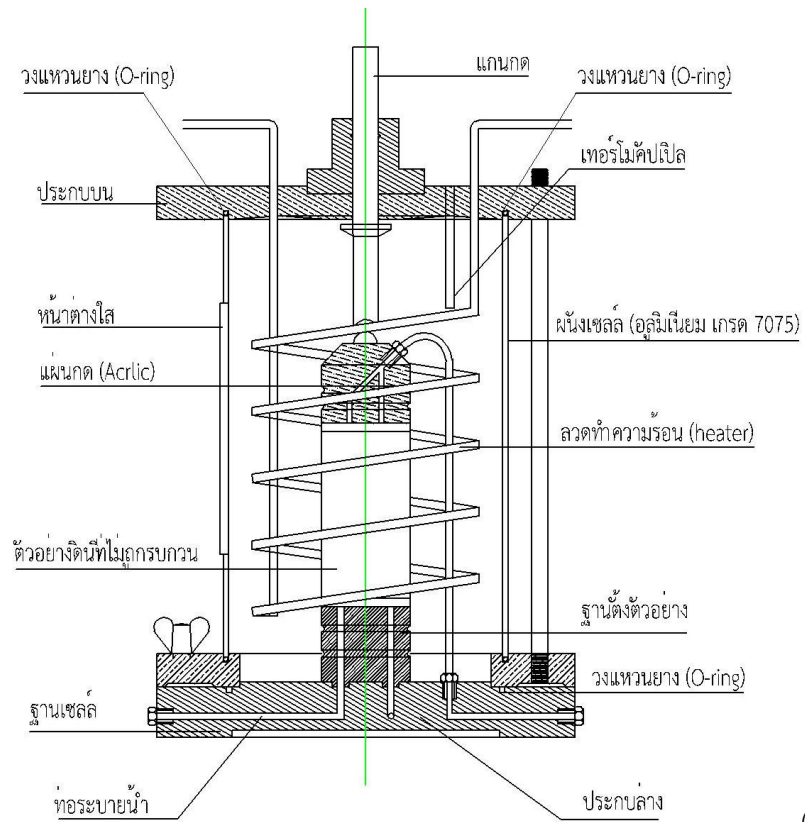
อัตรา OCR	0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	6.0%ต่อนาที
1	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C
2	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C
4	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C
8	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C	45°C , 60°C



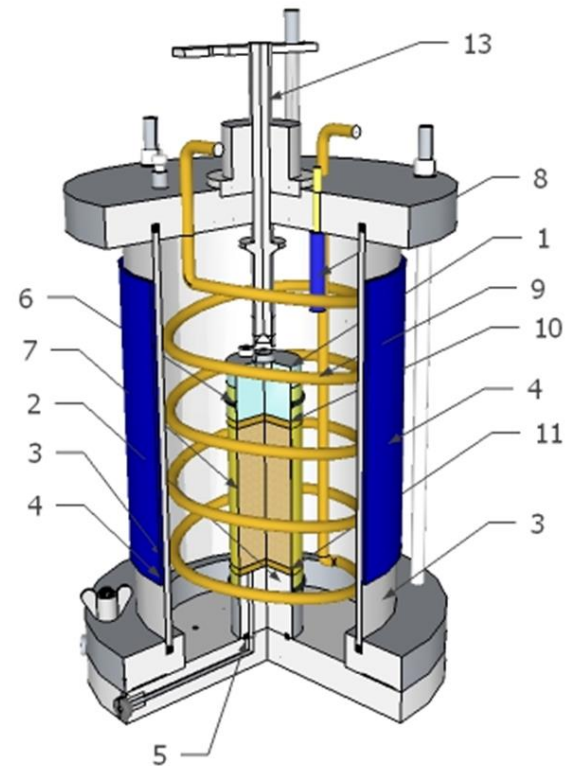
รูปที่ 3.1แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1. การพัฒนาเครื่องทดสอบใหม่

การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมด้านกำลังของดินที่อุณหภูมิต่างกัน จำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องมือนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ก) เซลล์สามแกน ข) ระบบการทำความร้อนและควบคุมอุณหภูมิ โดยการออกแบบของเซลล์สามแกนอยู่ในพื้นฐานของเซลล์แบบดั้งเดิม แต่เพิ่มระบบการจัดการอุณหภูมิ และเปลี่ยนแปลงวัสดุเซลล์เป็นโลหะเพื่อลดผลกระทบของความแข็งแรงเนื่องจากอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.2 แบบเซลล์สามแกนที่พัฒนาโดยมีหลักการการออกแบบเครื่องมือการทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดังนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 แบบเซลล์สามแกนที่ปรับปรุงใหม่
(ก) แบบแปลน (ข) รูปตัดสามมิติ

1. มีขนาดกะทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และมีความปลอดภัยในขณะใช้งาน
2. สามารถทดสอบเทียบเท่าการทดสอบแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิตามมาตรฐาน D 4767 - 02 Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soil และสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องทดสอบแรงอัดแนวแกน (compression mechanics) แบบเดิมที่มีอยู่ได้
3. ระบบความร้อนจะต้องทำงานอิสระจากระบบอื่นๆ ของการทดสอบ (ระบบให้แรงอัด การตรวจวัด และการจัดเก็บข้อมูล)
4. ให้ความร้อนคงที่กับตัวอย่างด้วยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำรอบตัวอย่าง และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่
5. การตรวจวัดค่าการทดสอบตรวจวัดค่าความดันน้ำ การหลุดตัว อุณหภูมิของน้ำรอบตัวอย่าง และแรงกระทำตัวอย่าง
6. ระบบให้ความร้อนควรจะถูกอยู่ใกล้ตัวอย่าง (ภายในเซลล์) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วและคงที่

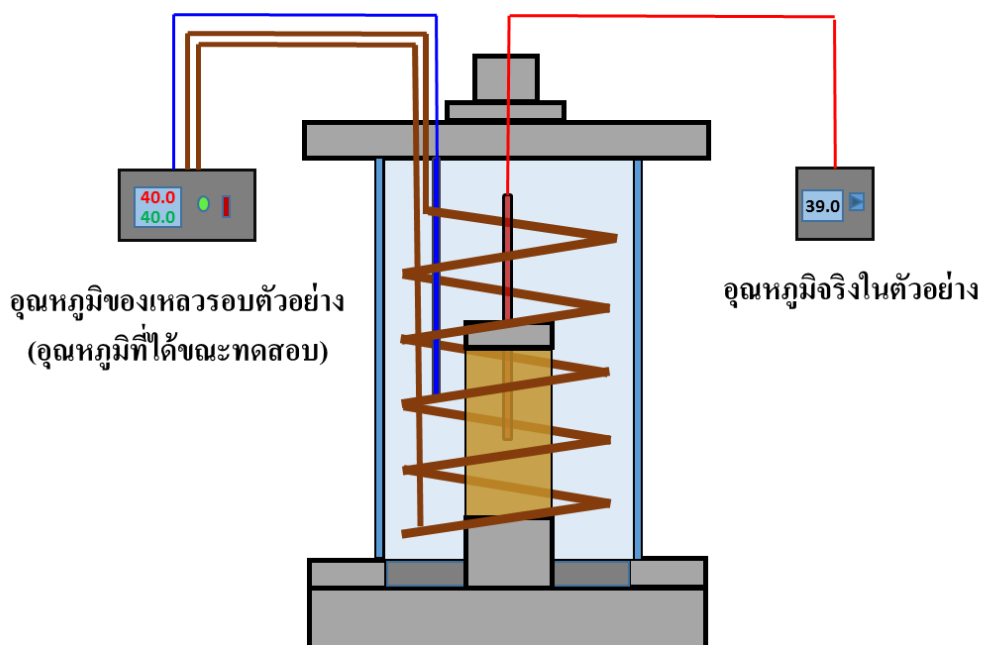
3.1.1. เซลล์ทดสอบแรงอัดสามแกน

จากรูปที่ 3.2(ข) (1) แผ่นกด (load disc) และ (2) ฐานตั้งตัวอย่าง (pedestal) ถูกออกแบบให้รองรับตัวอย่างที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และความสูง 100 มิลลิเมตร เล็กใช้ (3) ผนังเซลล์ (cell wall) อลูมิเนียม เกรด 7075 หนา 0.5 เซนติเมตร เพื่อต้องการให้เซลล์สามแกนรับแรงดันสูงได้ ด้านนอกของผนังเซลล์หุ้มด้วย (4) ฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันอันตรายและรักษาอุณหภูมิให้คงที่

ฐานตั้งตัวอย่างและฐานเซลล์ถูกออกแบบเป็นพิเศษสำหรับเชื่อมต่อท่อระบายน้ำ โดยไม่มีการซึม โดยออกแบบให้ส่วนต่อ (5) ท่อระบายน้ำมีลักษณะเป็นสลักยื่นออกมา (6) วงแหวนยาง (O-ring) สองคู่อยู่รอบฐานตั้งตัวอย่างและแผ่นกดเพื่อปิดผนึก (7) ปลอกยาง (rubber membrane) ชนิดทนความร้อน (8) เทอร์โมคัปเปิ้ลถูกติดตั้งกับประกบบนอยู่ภายในเซลล์สามแกน ระหว่างตัวอย่างกับ (9) ลวดทำความร้อน (heater) อุณหภูมิสูงสุดของการทดลองจำกัดไว้เพียง 60 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องมือสร้างความดันคงที่สำหรับการควบคุมที่แม่นยำและการวัดแรงดันของเหลว และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำ ทางระบายน้ำมีสองทาง (10,11) เป็นแผ่นหินปูน (porous stone) บนและล่างถ้าต้องการระบายน้ำ ซึ่งปกติจะระบายผ่านกระดาดกรองด้านข้าง ออกทางแผ่นหินปูนล่างด้านเดียว

(13) แกนกดติดตั้งที่ประกบบนของเซลล์ สามารถเคลื่อนขึ้นและลงในแนวตั้งได้ และจะออกแบบพิเศษให้มีแรงฝืดเกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่ต้องสามารถกันความดันไม่ให้รั่วออกมาได้ อุปกรณ์สำหรับการวัดเพิ่มเติมจะประกอบด้วย โหลดเซลล์เพื่อวัดความแรงตามแนวแกน ตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่ เครื่องแปลงสัญญาณแรงดันเพื่อวัดแรงดันน้ำในเซลล์และในตัวอย่าง ทุกจุดที่มีโอกาสรั่วซึมเสริมด้วยวงแหวนยางกันซึมทุกจุด

หน่วยทั้งหมดของอุปกรณ์จะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์และข้อมูลระหว่างการเดินที่ได้รับจากการทดสอบอย่างต่อเนื่องถูกเก็บโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการแปลงแรงดันขาออกของตัวแปลงสัญญาณที่แตกต่างกันใช้สำหรับการตีความด้วยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน เช่น ลอการิทึมของเวลากับความเครียดเชิงปริมาตร ($\log t - \epsilon_v$) ความเค้นเบี่ยงเบนกับความเครียดแนวแกน ($q - \epsilon_a$) ความเค้นเฉลี่ยประสิทธิผลกับความเค้นเบี่ยงเบน ($p' - q$) ความเครียดเชิงปริมาตรประสิทธิผลกับความเครียดแนวแกน ($\epsilon_v - \epsilon_a$) เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทการทดสอบ



รูปที่ 3.3 การสอบเทียบระหว่างอุณหภูมิในตัวอย่างและอุณหภูมิน้ำรอบตัวอย่าง

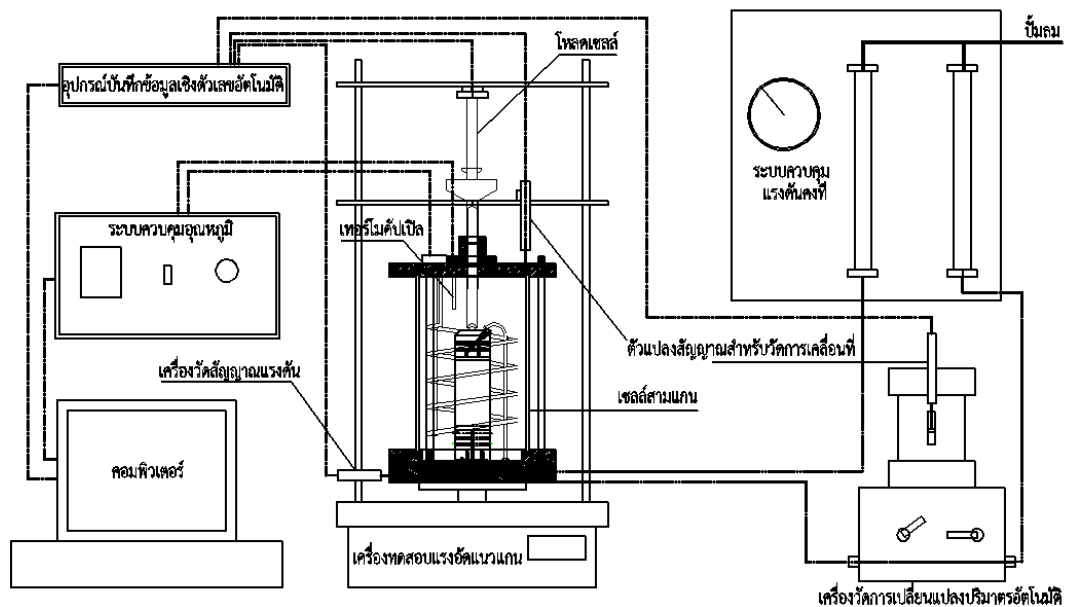
3.1.2. ระบบควบคุมและทำความร้อน

ระบบควบคุมและทำความร้อนประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ทำความร้อน ฉนวนกันความร้อนและชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ระบบความร้อนของตัวอย่างถูกนำไปใช้โดยตรงจากหลอดทำความร้อนไฟฟ้าใต้น้ำภายในเซลล์ และวางไว้เป็นเกลียวรอบตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.3. พลังงานไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยใช้เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ (JCS-33A-S/M,BK,A2,C5 100-240 VAC , Multi-rang) ตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (TPS-103-6.35x130 + 4M(S2 NPT) RTD (PT-100)) ภายในเซลล์สามแกนใกล้ตัวอย่าง

เนื่องจากอุณหภูมิตัวอย่างไม่สามารถวัดได้โดยตรง เพราะจะทำให้มีผลของการรบกวนตัวอย่าง จึงจำเป็นต้องใช้การตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำรอบตัวอย่างแทน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในของตัวอย่างจึงต้องมีการสอบเทียบให้เสร็จสมบูรณ์ การสอบเทียบนี้ทำโดยการแทรกเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าไปในใจกลางของตัวอย่าง และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัด

อุณหภูมิอีกชุดอยู่ใกล้กับกลุ่มตัวอย่างที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3 ทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในเซลล์สามแกนครึ่งละ 10 องศาเซลเซียส ตรวจสอบอุณหภูมิภายในตัวอย่างและอุณหภูมิของน้ำรอบตัวอย่าง ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตัวอย่างและอุณหภูมิของน้ำรอบตัวอย่างเปรียบเทียบกับเวลา ความสัมพันธ์นี้ช่วยในการเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้อุณหภูมิที่ต้องการ

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหภูมิโดยปกติจะมีความผันผวนของอุณหภูมิน้อยมากในสภาวะปกติ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยของสิ่งแวดล้อมนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุณหภูมิ และเนื่องจากอุณหภูมิสูงอาจก่อให้เกิดผลที่ไม่พึงประสงค์ในระบบการวัด ควรให้การดูแลเป็นพิเศษในระหว่างทำการทดลองโดยไม่ควรให้เครื่องทดสอบนี้อยู่ใกล้แหล่งทำความร้อนอื่นๆ หรือโดนแสงแดดโดยตรงเพราะจะทำให้การทดลองมีความผิดพลาดได้



รูปที่ 3.4 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแรงอัดสามแกน

3.1.3. ระบบความดันจากชุดสร้างความดันคงที่

ชุดสร้างแรงดันคงที่เป็นอุปกรณ์ที่แทบจะไม่ต้องปรับปรุง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงดันเพียงอย่างเดียว โดยทั่วไปมักจะใช้ชนิดบีมลมที่สามารถปรับความดันคงที่ได้ระหว่างการทดสอบ ความดันที่ใช้ในการทดสอบจะมี 2 ส่วน คือ

1) ความดันภายนอกตัวอย่างหรือความดันเซลล์ (cell pressure) กระทำความดันสัมผัสยางหุ้มรัดที่ห่อหุ้มตัวอย่างดิน ความดันได้จากสายความดันเซลล์ ซึ่งจะก่อให้เกิดความดันภายในกล้อง (chamber) รอบๆ ตัวอย่าง

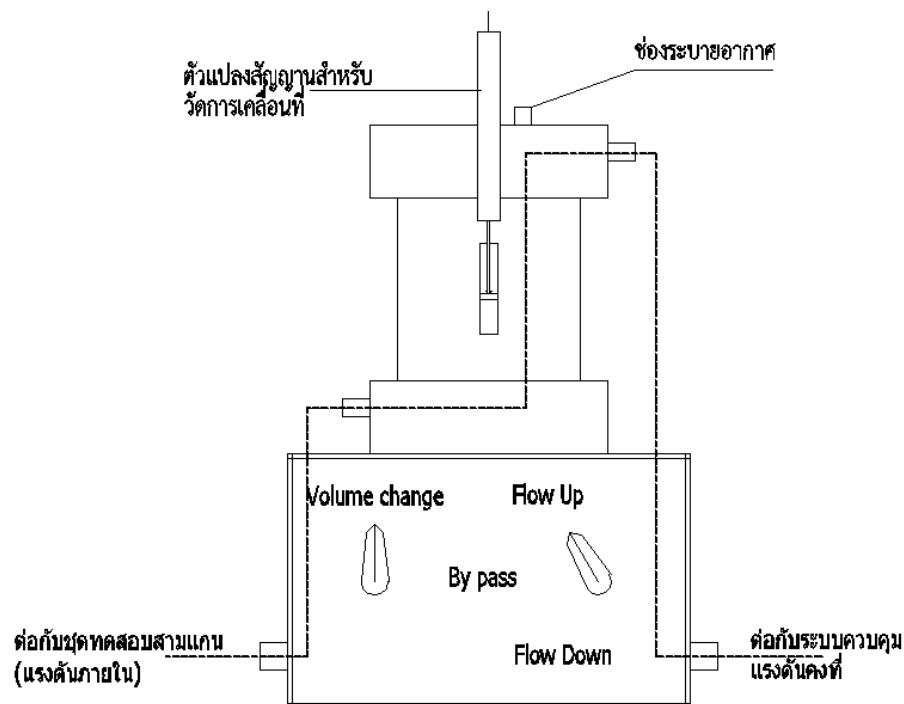
2) ความดันภายในตัวอย่าง (back pressure) ในกรณีของการอัดความดันน้ำ (saturate) ภายในตัวอย่างดิน และเป็นทางระบาย (drain) เมื่อมีค่าความต่างศักย์ของน้ำด้านนอกตัวอย่างสูงกว่า ความดันได้จากการต่อสายความดันภายใน (back pressure line) เข้าเซลล์ ผ่านหิน

พรุนล่าง และจะต่อออกทะเลอีกสายหนึ่งไปยังที่วัดความดันน้ำ ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องวัดสัญญาณแรงดัน (pressure transducer) เป็นตัวตรวจวัดและบันทึกผ่านระบบบันทึกข้อมูลเชิงอัตโนมัติ

เห็นได้ว่าเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมินี้ไม่แตกต่างไปจากอุปกรณ์ดั้งเดิมมากนัก อุปกรณ์ชิ้นหลักที่ต้องปรับปรุงใหม่มีเพียงเซลล์สามแกนเท่านั้น และสามารถผลิตขึ้นเองได้ อุปกรณ์หรือเครื่องมือชิ้นอื่นๆ ยังสามารถใช้ของดั้งเดิม เช่น ชุดควบคุมแรงดันคงที่ เครื่องทดสอบแรงอัดแนวแกน รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแรงอัดสามแกนดังรูปที่ 3.4 อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มเติมขึ้นมาส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาด และแยกออกจากอุปกรณ์อื่นๆ หากเกิดการเสียหาย สามารถซ่อมแซมหรือเปลี่ยนได้ด้วยตัวเอง ความสามารถของเครื่องทดสอบที่ได้ก็มีความใกล้เคียงกับกับเครื่องมือที่เคยมีการพัฒนา

3.1.4. การบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ในขั้นตอนการอัดตัวคายนํ้าต้องมีการบันทึกค่าปริมาตรนํ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ (Auto volume change) ของบริษัท Wykehem Fanance ร่วมกับตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่ (Displacement transducer) ในการตรวจวัดและบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ดังรูปที่ 3.5 และก่อนการใช้งานต้องทำการเตรียมและสอบเทียบอุปกรณ์ก่อน



รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ

การเตรียมเครื่องมือ เริ่มจากเตรียมน้ำที่ใช้ในระบบต้องเป็นน้ำที่ทำการไล่อากาศแล้ว ปรับวาล์วด้านซ้าย (valve Volume change) ไปที่ตำแหน่ง “Volume change” และปรับวาล์วด้านขวา (valve flow) ไปที่ตำแหน่ง “flow up” ทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อไล่อากาศออกจากระบบโดยการเปิดช่องระบายอากาศ (bleed) ด้านบนของตัวอุปกรณ์จนกระทั่งน้ำล้นออก จึงปิดช่องระบายอากาศให้แน่น ทำซ้ำขั้นตอนเดิมอีกครั้งโดยเปลี่ยนวาล์วด้านขวา (valve flow) ไปที่ตำแหน่ง “flow down” ทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบโดยการเปิดช่องระบายอากาศ (bleed) ด้านล่างของตัวอุปกรณ์จนกระทั่งน้ำล้นออกมาจนหมด จึงปิดช่องระบายอากาศให้แน่น

หลังจากนั้นให้คงน้ำในระบบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ภายใต้อัตโนมัติ 700 กิโลปาสกาล แล้วทำการปล่อยน้ำออกจากระบบโดยเติมน้ำที่ทำการไล่อากาศเข้าไปในระบบใหม่อีกครั้ง ทั้งด้านบนและล่างเพื่อให้ระบบเป็นน้ำที่ไม่มีอากาศ

การใช้งาน

1. ปรับวาล์วทั้งซ้ายและขวาไปที่ตำแหน่ง “by pass” เพื่อทำให้น้ำไหลเข้าสู่ระบบการทดสอบสามแกนโดยตรง

2. เมื่อน้ำเข้าสู่เซลล์สามแกนจนเต็มและทำการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำ B ได้ตามต้องการแล้ว

3. ในการอัดตัวคายนํ้าจะต้องปรับวาล์วด้านซ้าย (valve Volume change) ไปที่ตำแหน่ง “Volume change” และปรับวาล์วด้านขวา (valve flow) ไปที่ตำแหน่ง “flow up” ในกรณีที่เชื่อมต่อกับเซลล์สามแกนทางด้านซ้าย

3.1.5. การผลิตปลอกยาง

ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ปลอกยาง (rubber membrane) มาตรฐานจึงไม่สามารถใช้สำหรับทดสอบได้ จึงจำเป็นต้องทำการผลิตปลอกยางขึ้นมาใหม่ โดยมีอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6

(ก) นํ้ายางผสมได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ซึ่งเป็นนํ้ายางที่มีการผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้ยางแข็งแรงและทนความร้อนได้ดีขึ้น ในนํ้ายาง 1 ลิตรจะใส่สารเคมีที่ผสมเพิ่มดังแสดงในตารางที่ 3.2

(ข) โม่ลแกว้ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตรสำหรับชুবนํ้ายางก่อนชুবต้องทำความสะอาดโม่ลด้วยนํ้าเกลือ เพื่อให้นํ้ายางติดโม่ลได้ดีขึ้น โดยจะชুবประมาณ 2 ชั้นเพื่อกันรั่วซึม และต้องระวังให้ความหนาของนํ้ายางเท่ากันตลอด หากชুবมากเกินไปก็จะทำให้ปลอกยางหนาเกินไป เมื่อชুবเสร็จจึงนํ้าไปอบให้ยางสุกเพื่อให้ยางมีคุณภาพและแข็งแรง สังเกตจากนํ้ายางจะเปลี่ยนสีจากสีขาวขุ่นเป็นสีเหลืองและใส จากนั้นถอดออกจากโม่ลแกว้

(ค) ดินขาว สำหรับคลุกปลอกยางภายหลังจากขั้นตอนการอบสุกแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ปลอกยางติดกัน

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมสำหรับทำปลอกยางในน้ำยาง 1 ลิตร

สัดส่วนโดยน้ำหนัก	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% กรดไฮยาลูโรนิก (Hyaluronic Acid, HA)	100	167
20% โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH)	0.3	3.0
20% โพแทสเซียม โอลิเอต (K-oleate)	0.2	1.0
50% ดิสเพิซชันกำมะถัน (Sulphur dispersion)	0.5	1.0
50% ดิสเพิซชันแซดดีอีซี (ZDEC dispersion)	0.75	1.5
50% ดิสเพิซชันแซดเอ็มบีที (ZMBT dispersion)	0.5	1.0
50% ซิงค์ ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)	0.4	0.8



(ก)



(ข)

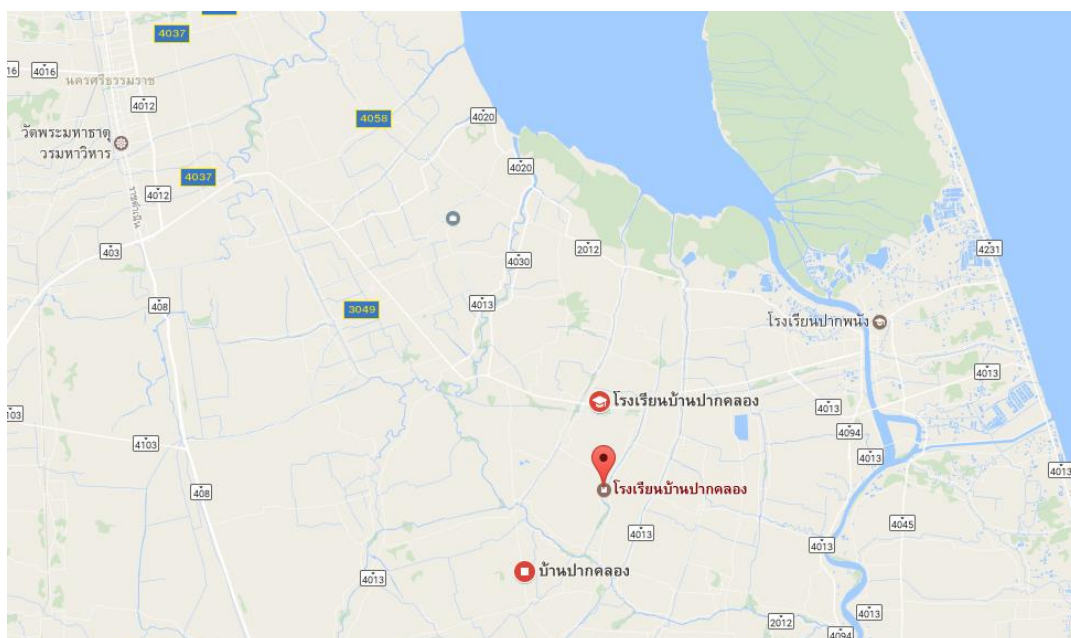


(ค)

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ในการทำปลอกยาง

3.2. การเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวอย่างดินคงสภาพจากบริเวณตำบลโรงเรียนบ้านปากคลอง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช แผนที่แสดงในรูปที่ 3.7 เป็นดินที่ประกอบด้วย ตะกอนดินเหนียวชายทะเล (mangrove deposits) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยน้ำทะเล เรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang clay) จัดเก็บตัวอย่างโดยใช้การฉีดล้าง (wash boring) และการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเปลือกบาง (thin walled tube) ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 3.0 – 12.0 เมตร หรือจนกว่าจะถึงชั้นดินแข็ง ดังรูปที่ 3.8 ดินเหนียวปากพนังมีลักษณะสีเทาถึงดำ เป็นดินเหนียวอ่อนอัดแน่นเกินตัวปกติ (NC) เป็นดินจำพวกดินเม็ดละเอียดที่มีสารอินทรีย์ (OC) ที่มีสภาพพลาสติกซีตีสุงมาก (very high plasticity) มีความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากสภาพเหลวและความชื้นในธรรมชาติค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.7 แผนที่โรงเรียนบ้านปากคลอง อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่มา: <https://www.google.co.th/maps>



รูปที่ 3.8 การเก็บตัวอย่างดินเหนียวปากพั้ง

3.3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.3.1. การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุล

เพื่อเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุลของดินเหนียว จึงต้องทำการศึกษาระดับความเป็นผลึกของสารกึ่งผลึก โดยการวัด wide angle X-ray scattering (WAXS) ซึ่งสามารถศึกษาโครงสร้างผลึกได้ โดยการยิงรังสีเอกซ์ไปยังตัวอย่างดินเหนียวปากพั้งที่อุณหภูมิต่างๆ และวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาที่มุมต่างๆ คล้ายกับการวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray diffraction (XRD) ผลการวัด WAXS ที่ได้จะแสดงจุดได้รับพลังงานสูงสุด (bragg peak) ของโครงสร้างผลึก ซึ่งสามารถใช้ระบุโครงสร้างผลึกได้ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลที่อุณหภูมิต่างๆ ได้

3.3.2. เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD / XRF Techniques, X-ray)

เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอกซ์มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันอาศัยหลักการของการยิงรังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวคลื่นไป

กระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่าง ๆ กันโดยมีห้วงเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้น ของสารประกอบในสารตัวอย่าง

เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและสารแขวนลอยได้ เทคนิคนี้อาศัยหลักการของการที่เมื่อรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงไปกระทบชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการปล่อยโฟตอนออกมา (fluoresced) เนื่องจากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาจากธาตุต่างชนิดในชิ้นงานจะมีความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆ จึงทำให้สามารถบ่งชี้ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ทั้งนี้ปริมาณโฟตอนเปล่งออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุนั้นในสารตัวอย่าง ข้อมูลนี้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้

3.3.3. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

จะทดสอบหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรของตัวอย่างดินเหนียวปากพั้ง และหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งหาค่าพิกัดแอดเตอร์เบอร์เกอร์ของตัวอย่างที่ทำให้แห้งด้วยอากาศ และตัวอย่างที่ทำให้แห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน 5 อุณหภูมิ คือ 45 60 75 90 และ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และก่อนการทดสอบแรงอัดสามแกนจะทำการหาปริมาณความชื้นในมวลดินของตัวอย่างเหล่านี้ จะเป็นสูตรที่มีความสัมพันธ์ตามสมการในการนำค่าคงตัวของดินไปใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์งานต่าง ๆ จะมีการแปลงค่าระหว่างกันตลอดเวลาตามความสัมพันธ์ของสูตร จึงต้องมีความเข้าใจค่าจำกัดความต่าง ๆ ที่กำหนดใช้เป็นมาตรฐานสากลสถานะและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของดินในการนำคุณสมบัติทางกายภาพของดินไปประยุกต์ใช้ ในการทดสอบนี้เพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียวปากพั้ง

3.3.4. การทดสอบแรงอัด 3 แกน (CU Test)

ทำการทดสอบแรงอัดสามแกนที่อัตราความเครียดที่แตกต่างกัน อุณหภูมิต่างกัน 2 อุณหภูมิ คือ 45 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนค่าอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation ratio , OCRs) ที่ 4 ค่า คือ 1 , 2 , 4 และ 8 ตามลำดับ และนำข้อมูลการทดสอบแรงอัดสามแกนกับดินเหนียวปากพั้งที่อุณหภูมิห้องของศิริพร (2556) มาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างดินคงสภาพมาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความสูงของตัวอย่างจะต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งนี้เพื่อให้รอยเฉือน (failure plane) ไม่อยู่ในส่วนของผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่าง การตัดแต่งจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ใช้กระบอกแบบ (miter box) แบบผ่าหุ้มตัวอย่างในการที่จะตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ

ทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนีย วางตัวอย่างดินลงบนฐานเซลล์สามแกน โดยมีหินพรุนอยู่ระหว่างตัวอย่างและฐานเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก ใส่ปลอกยาง (rubber membrane) แล้วรัดด้วยยางรัด (O-ring) ให้ปลอกยางติดแน่นกับฐาน ของเหลวภายนอก จะไม่สามารถซึมผ่านเข้าในตัวอย่างได้ วางหินพรุนบน (top porous stone) และแป้นบน (top cap) ลงบนตัวอย่าง ประกอบตัวเครื่องทดสอบสามแกนครอบสวมลงบนตัวอย่างดิน ต้องระวังให้แกนกด (piston) อยู่บนกึ่งกลางของแป้นบนพอดี

2. การทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ

หลังจากที่ตัวอย่างได้รับการตัดแต่งและเตรียมใส่ในเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแล้ว ให้แรงดันเซลล์ (cell pressure) และแรงดันภายใน (back pressure) ผ่านสายแรงดันเท่ากับ 50 และ 40 กิโลปาสคาล ตามลำดับ เปิดวาล์วเพื่อให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง น้ำและอากาศในตัวอย่างดินจะถูกดันออกมา หลังจากนั้นจึงเพิ่มแรงดันเซลล์และแรงดันภายในอย่างช้า ๆ และสลับกันอย่างต่อเนื่องครั้งละประมาณ 50 กิโลปาสคาล โดยระหว่างการเพิ่มแรงดันควรให้แรงดันเซลล์มีค่ามากกว่าแรงดันภายในประมาณ 10 กิโลปาสคาลเพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างบวม ทำการเพิ่มแรงดันไปจนกระทั่งแรงดันเซลล์และแรงดันภายในเท่ากับ 210 และ 200 กิโลปาสคาล ตามลำดับ รักษาระดับแรงดันคงที่ไว้ 24 ชั่วโมงจะทำให้อากาศละลายรวมตัวไปกับน้ำ หลังจากนั้นต้องทำการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำ B โดยการเพิ่มแรงดันเซลล์ 10 กิโลปาสคาล ตรวจวัดค่าค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เพิ่มที่เกิดขึ้น ถ้าสัดส่วนค่าแรงดันน้ำส่วนเกินต่อค่าแรงดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 98% ในเวลา 1 นาที จะถือว่าตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ

3. การอัดตัวคายน้ำ

ผลต่างของแรงดันเซลล์กับแรงดันภายในมีค่าเท่ากับความเค้นประสิทธิผล โดยทั่วไป การทดสอบแรงอัดสามแกนจะใช้แรงดันประสิทธิผลที่อ้างอิงจากความเค้นสูงสุดในอดีต ในงานวิจัยนี้จะใช้แรงดันประสิทธิผลเท่ากับ 250 กิโลปาสคาล โดยการเพิ่มแรงดันเซลล์ 450 กิโลปาสคาล และคงแรงดันภายในไว้ที่ 200 กิโลปาสคาล และจะเพิ่มอัตราส่วนการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 ค่า คือ 1 2 4 และ 8 โดยการลดแรงดันเซลล์ลงหลังจากการอัดตัวคายน้ำจบลง แรงดันเซลล์ที่ปรับลดลงแสดงในตารางที่ 3.3 โดยขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 3 จะใช้อุณหภูมิห้องปกติ เพื่อปรับสภาพของตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงกับในธรรมชาติ

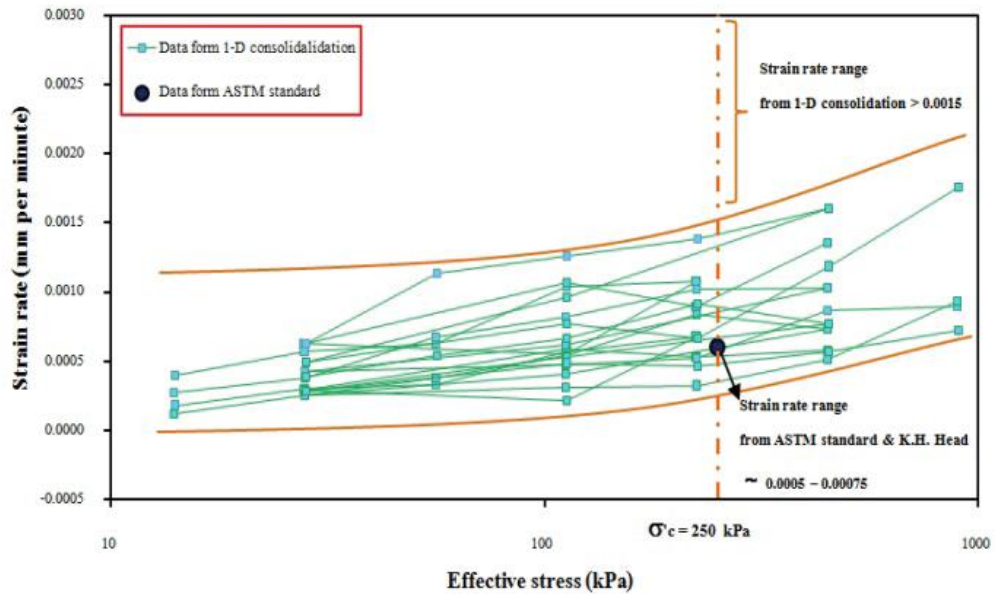
4. การให้ความร้อน

การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างกำหนดไว้ 2 อุณหภูมิ คือ 45 และ 60 องศาเซลเซียส หลังจากทำการอัดตัวคายนํ้าเสร็จสมบูรณ์ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ตัวอย่างครั้งละ 10 องศาเซลเซียสใช้เวลา 30 นาทีในแต่ละขั้นของการเพิ่มอุณหภูมิ จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด เปิดวาล์วให้ดินตัวอย่างได้อัดตัวคายนํ้าด้วยความร้อนและรักษาอุณหภูมิให้คงที่ไว้ 24 ชั่วโมง

5. การเนียนตัวอย่าง

ในการกำหนดอัตราความเครียดที่นำมาใช้ในการทดสอบแรงอัดสามแกนทำได้สองทาง คือ พิจารณาจากอัตราความเครียดที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM ซึ่งได้จากผลการทดสอบการอัดตัวคายนํ้าแบบหนึ่งมิติ และผลของการอัดตัวคายนํ้าจากการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ ศิริพรและคณะ (2556) ได้เสนออัตราความเครียดที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของอัตราความเครียดต่อพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของดินเหนียวอ่อนปากพั้งไว้ดังรูปที่ 3.9 ผลที่ได้ทั้งสองแนวทางค่าขอบล่างคือ 0.00035 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าขอบบนคือ 0.0014 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงถึงการสิ้นสุดการทรุดตัวหลักซึ่งจะหมายถึงการกระจายตัวของแรงดันน้ำในมวลดินมีความสม่ำเสมอ และการจัดเรียงตัวของอนุภาคเม็ดดินเป็นไปอย่างสมบูรณ์ เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียด จึงกำหนดให้ค่าอัตราความเครียดที่ใช้ครอบคลุม โดยเลือก อัตราความเครียด 0.0002 และ 0.00075 ต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM และ K.H. Head (1980) เพื่อให้เห็นความแตกต่างของผลกระทบของอัตราความเครียดได้อย่างชัดเจนจึงเลือกอัตราความเครียด 0.01 และ 0.85 ต่อนาทีด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่ารวมทั้งข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มี อัตราความเครียดเร็วสุดจึงต้องใช้ 0.6 ต่อนาที

นอกจากนี้ต้องพิจารณาจากขนาดของค่าความเค้นประสิทธิผลภายในเซลล์ 250 กิโลปาสคาล และความเค้นประสิทธิผลเฉลี่ยก่อนการเนียนเท่ากับ 250 125 63 และ 31 กิโลปาสคาล สำหรับค่าการอัดแน่นเกินตัว (over consolidation ratio, OCR) ก่อนการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง กำหนดไว้ 4 ค่า คือ 1 2 4 และ 8 การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างกำหนดไว้ 4 ค่า คือ 1 2 4 และ 8 แล้วจึงนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่อุณหภูมิห้องของศิริพร และคณะ สำหรับตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมด ในตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบในแต่ละเงื่อนไข (S) คือ ข้อมูลจาก ศิริพร และคณะ



รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบอัตราการความเครียดที่ความเค้นประสิทธิผลใดๆ ที่ได้จากทดสอบอัดตัวคายนํ้าแบบ 1 มิติ

ที่มา ; ศิริพร และคณะ (2556)

ตารางที่ 3.3 ค่าแรงดันสำหรับการอัดตัวคายนํ้า

OCR	แรงดันภายใน ∥ (กิโลปาสคาล)	แรงดันเซลล์เริ่มต้น σ_c (กิโลปาสคาล)	แรงดันเซลล์ลดลง $\Delta\sigma_c$ (กิโลปาสคาล)	σ'_c (กิโลปาสคาล)	σ'_0 (กิโลปาสคาล)
1	200	450	-	250	250
2	200	450	325	250	125
4	200	450	263	250	63
8	200	450	231	250	31

หมายเหตุ σ'_c คือ ความเค้นประสิทธิผลภายในเซลล์

σ'_0 คือ ความเค้นประสิทธิผลเฉลี่ยก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขต่างๆ ของตัวอย่างที่ต้องทดสอบ

อุณหภูมิ (°C)	OCR	อัตราความเครียดคงที่			
		0.02 %ต่อนาที	0.075 %ต่อนาที	1.0 %ต่อนาที	6.0 %ต่อนาที
อุณหภูมิห้อง ของซีริพรและคณะ (2556)	1	S	S	S	S
	2	S	S	S	S
	4	S	S	S	S
	8	S	S	S	S
45	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	4	1	1	1	1
	8	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	4	1	1	1	1
	8	1	1	1	1

หมายเหตุ : S คือข้อมูลที่ได้จากการทดสอบของซีริพร (2556)

การเก็บข้อมูลระหว่างการเขื่อนทั้งหมดถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบอย่างต่อเนื่องถูกเก็บโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ข้อมูลที่ได้ใช้สำหรับการตีความด้วยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

3.4. การวิเคราะห์และการสรุปผล

1. วิเคราะห์ผลและสรุปคุณสมบัติของดินทางกายภาพ
2. วิเคราะห์ผลโครงสร้างของดินต่ออุณหภูมิ
3. วิเคราะห์ผลกำลังของดินต่ออัตรา
4. วิเคราะห์ผลกำลังของดินต่ออุณหภูมิ
5. วิเคราะห์ผลการทดสอบในรูปของ สถานะวิกฤติและเส้นทางของความ
เค้น
6. สรุปผลกระทบด้านกำลังต่ออุณหภูมิและอัตรา

บทที่ 4

การพัฒนาเครื่องทดสอบ ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทนี้จะอธิบายผลการพัฒนาเซลล์ทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ข้อมูลของการทดสอบตัวอย่างดินให้ห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวอ่อนปากพั้ง คุณสมบัติวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนปากพั้ง ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนภายใต้อุณหภูมิและอัตราความเครียดตามแนวแกน และสภาวะอัดแน่นเกินตัว ตามตารางที่ 3.4 และการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่อุณหภูมิห้องของศิริพรและคณะ (2556) ความสัมพันธ์ของตัวแปรคุณสมบัติต่างๆ ของดินเหนียวปากพั้ง ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.1. ผลการพัฒนาเครื่องทดสอบใหม่

ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราความเครียดที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิตลอดการทดสอบได้ โดยเรื่องทดสอบถูกพัฒนาจากเครื่องทดสอบสามแกนแบบมาตรฐานและเพิ่มระบบควบคุมอุณหภูมิ ตามแบบในภาคผนวก ก สร้างขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังรูปที่ 4.1 โดยมีลักษณะหลักดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร
2. ตัวเซลล์พัฒนาจากเซลล์ของบริษัท Wykehem Fanance
3. ระบบความร้อนถูกออกแบบให้ทำงานอิสระจากส่วนประกอบอื่น ของเซลล์สามแกน เช่น ระบบให้แรง การตรวจวัดและการจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น ให้ความร้อนกับตัวอย่างกระทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำภายในเซลล์รอบก้อนตัวอย่าง และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ระบบควบคุมอุณหภูมิให้อุณหภูมิคงที่ดังรูปที่ 4.2
4. การตรวจวัดความดันน้ำกระทำผ่านแรงดันภายในตัวอย่างและเซลล์ โดยเครื่องวัดสัญญาณแรงดัน (Pressure transducer) ดังรูปที่ 4.5 จำนวน 2 ตัวเพื่อวัดแรงดันน้ำในเซลล์และในตัวอย่าง
5. การตรวจวัดการทรุดตัวและแรงกระทำ ตรวจวัดโดยใช้ตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่ (Displacement transducer) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ใช้สำหรับตรวจวัดการเคลื่อนที่ในขั้นตอนการเนียนตัวอย่าง และโหลดเซลล์ (Load cell) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ใช้วัดแรงตามแนวแกน โดยติดตั้งโหลดเซลล์สำหรับวัดค่าแรงแนวแกนไว้ภายนอกเซลล์เพื่อป้องกันผลกระทบของอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้น
6. การเปลี่ยนแปลงปริมาตรใช้อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ (Auto volume change) ดังรูปที่ 4.6 ใช้สำหรับบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำ โดยติดตั้งไว้ระหว่างแผงควบคุมความดันและวาล์วสำหรับระบายน้ำของตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.3 โหลดเซลล์



รูปที่ 4.4 ตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.5 เครื่องวัดสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอัตโนมัติ

7. อุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นต่อการทดสอบ

อุปกรณ์บางอย่างต้องขยายขนาดให้ใหญ่กว่าปกติดังรูปที่ 4.7 เพื่อให้สามารถใช้กับตัวอย่างขนาดใหญ่ได้ เช่น (ก) ที่เบ่งปลอกยาง (rubber membrane stretcher) (ข) ครอบแบบผ่า (split former) (ค) ปลอกยาง (rubber membrane) เป็นต้น



(ก)



(ข)



(ค)

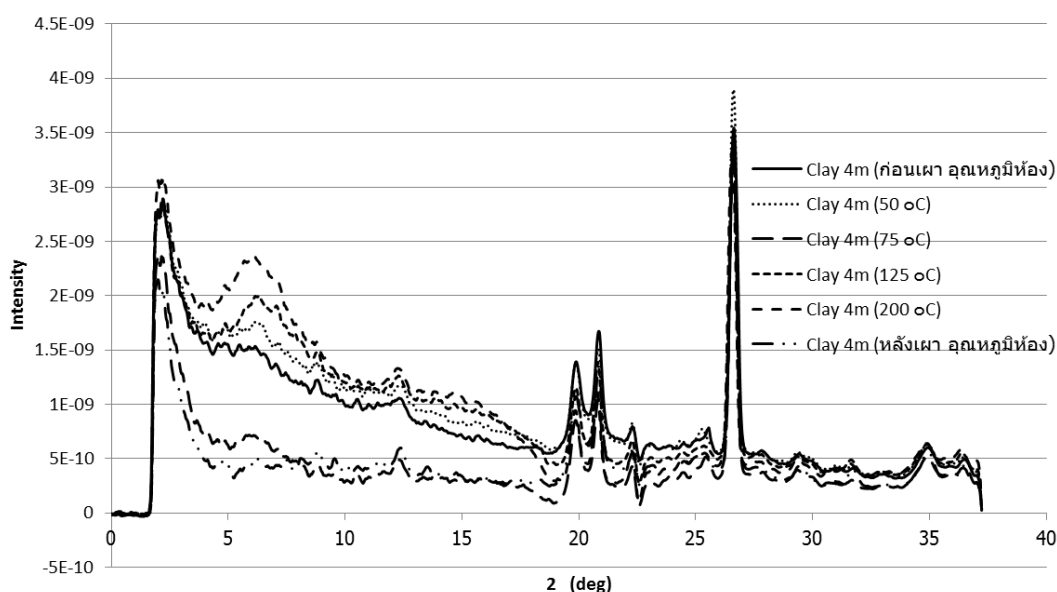
รูปที่ 4.7 อุปกรณ์การทดสอบอื่นๆ

4.2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

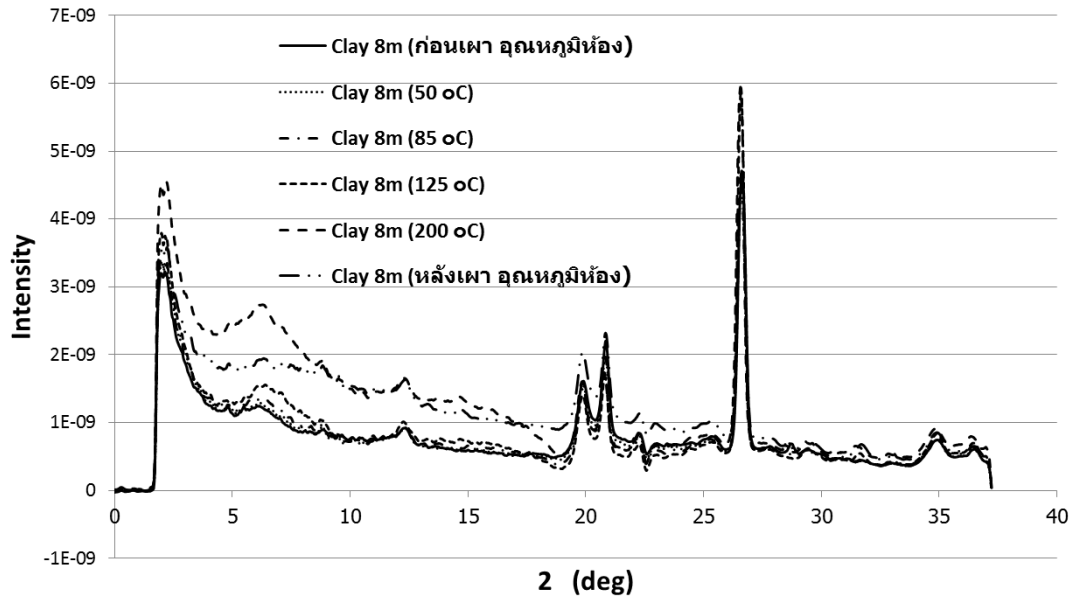
4.2.1. การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุล

ผลการศึกษาคูณสมบัติความเป็นผลึก โดยการวัด wide angle X-ray scattering (WAXS) เพื่อจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของดินที่ระดับความลึก 4 เมตร เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่า ทุกๆ อุณหภูมิ กราฟมีเลื่อมสูงต่ำกันเล็กน้อย และแนวโน้มลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.8 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ามีจุดยอดของกราฟอยู่ในจุดเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลต่อโครงสร้างโมเลกุลของดินเหนียว ค่าที่ไม่ซ้อนทับกันเนื่องจากสภาวะแวดล้อมเริ่มต้นต่างกัน แต่รูปร่างเหมือนกันเป็นตัวบอกร่องการคงรูปของผลึกของอนุภาคที่ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ ทำให้สรุปได้ว่าอุณหภูมิไม่ได้ทำให้โครงสร้างดินเปลี่ยนแปลง

ซึ่งผลที่ได้มีความคล้ายคลึงกันในการทดสอบกับดินที่ความลึก 8 เมตร ดังรูปที่ 4.9 เพราะฉะนั้นปัจจัยที่ทำให้พฤติกรรมทางด้านกำลังของดินเหนียวเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่างๆ จึงเป็นเพียงอิทธิพลของแรงดันน้ำส่วนเกิน ความหนืดของน้ำและดินที่เปลี่ยนไป รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นไอออนิกสองชั้น (ionic double layer) ของอนุภาคที่เปลี่ยนไปเนื่องจากพลังงานความร้อน ไม่มีผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของดิน



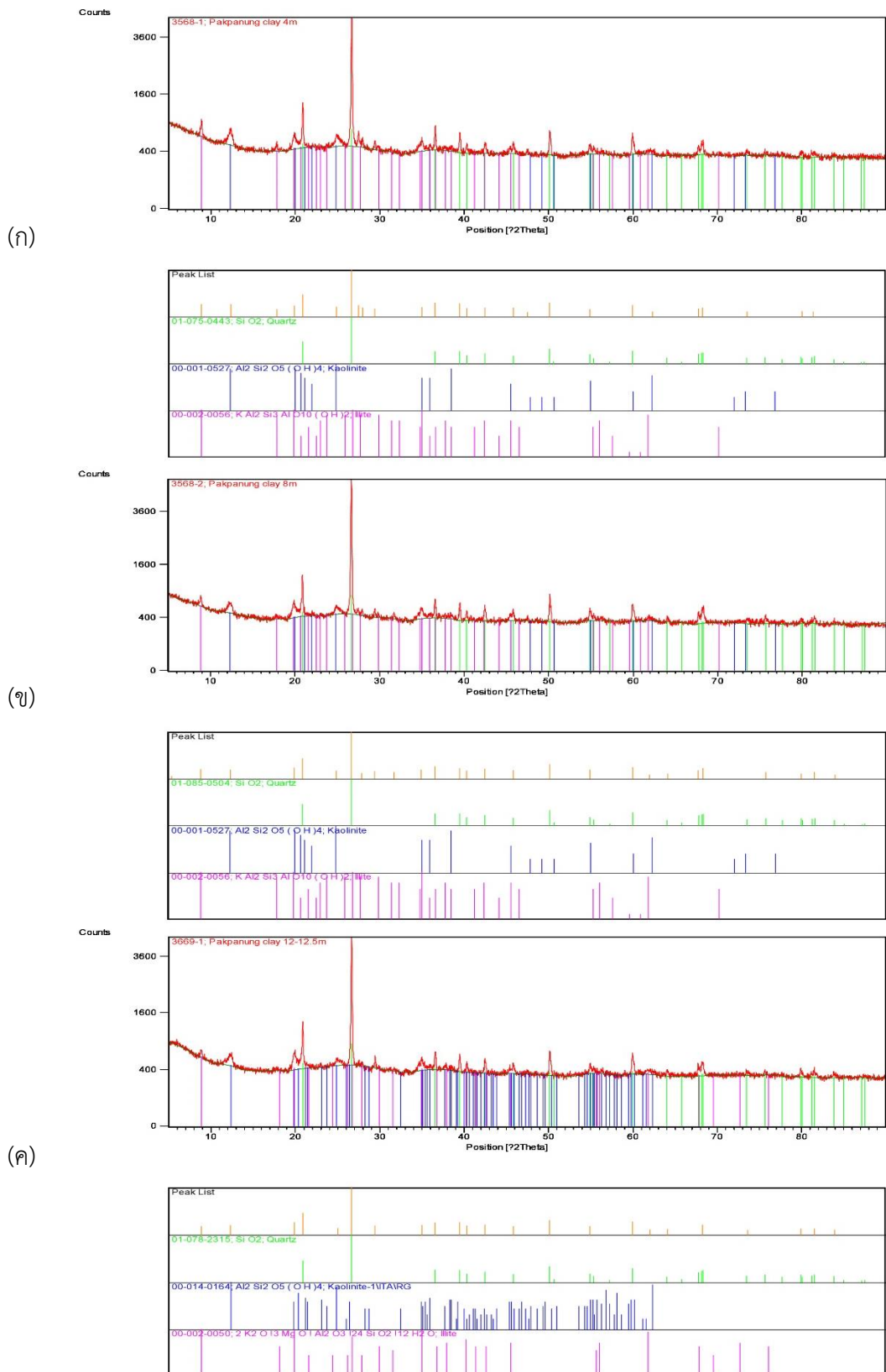
รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาคูณสมบัติความเป็นผลึกของดินเหนียวที่ความลึก 4 เมตร



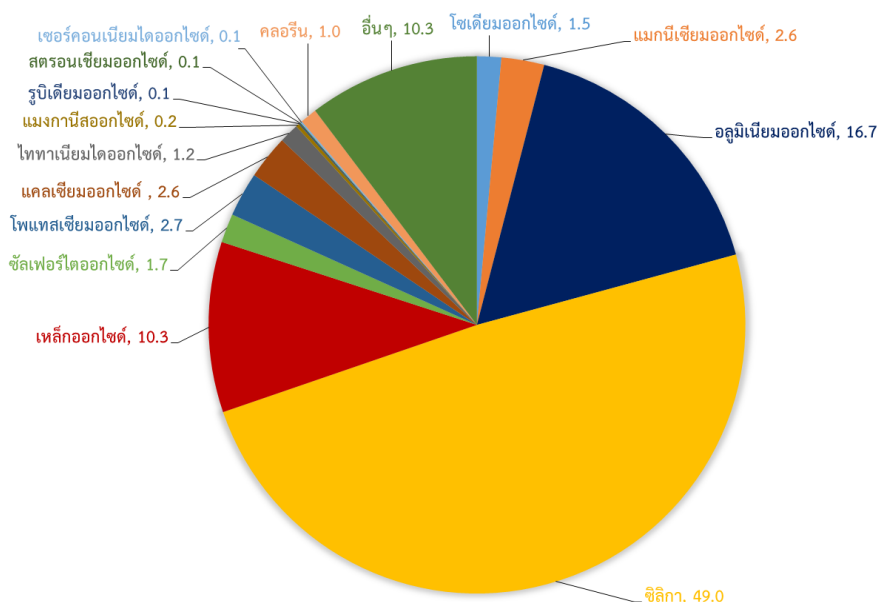
รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาคุณสมบัติความเป็นผลึกของดินเหนียวที่ความลึก 8 เมตร

4.2.2. ผลการศึกษาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD / XRF Techniques, X-ray)

จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของวัสดุประสานด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันกับดินเหนียวปากพั้งจำนวน 3 ตัวอย่าง คือ ดินเหนียวปากพั้งที่ความลึก 4 เมตร 8 เมตร และ 12 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าดินเหนียวปากพั้งมีส่วนประกอบของแร่เป็น ควอตซ์ (Quartz ; SiO_2) ที่มีส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกา เกาลินไนท์ (Kaolinite ; $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) และ อิลไลต์ (Illite ; $2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการนำขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติกแสดงในแผนภูมิพลาสติกชี้ให้เห็นว่า ดินเหนียวปากพั้งอยู่ใต้เส้น A line ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินเหนียวปากพั้งมีแร่หลักอยู่ในกลุ่มเกาลินไนท์ แร่ทั้ง 3 ชนิดที่พบ มีส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกา และอลูมินา ตรงกับผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีวัสดุประสานด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ ดังตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวปากพั้งที่ความลึกแตกต่างกัน 3 ตัวอย่าง ที่มีส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ผลเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของดินเหนียวปากพนัง
ที่ความลึก (ก) 4 เมตร (ข) 8 เมตร และ (ค) 12 เมตร



รูปที่ 4.11 ปริมาณธาตุต่างๆ ของดินเหนียวปากพนัง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวปากพนัง

สารประกอบ		ความเข้มข้น (%)		
		4 เมตร	8 เมตร	12 เมตร
โซเดียมออกไซด์	Na ₂ O	1.20	1.10	2.08
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	2.28	2.59	2.85
อลูมิเนียมออกไซด์	Al ₂ O ₃	17.04	16.55	16.65
ซิลิกา	SiO ₂	49.56	49.21	48.10
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₃	1.67	2.17	1.38
โพแทสเซียมออกไซด์	K ₂ O	2.58	2.37	3.08
แคลเซียมออกไซด์ (ไลม์)	CaO	2.19	2.70	3.05
ไททาเนียมไดออกไซด์	TiO ₂	1.16	1.18	1.21
แมงกานีสออกไซด์	MnO	0.22	0.21	0.20
เหล็กออกไซด์	Fe ₂ O ₃	10.74	10.29	9.74
รูบิเดียมออกไซด์	Rb ₂ O	0.09	0.09	0.03
สตรอนเชียมออกไซด์	SrO	0.07	0.07	0.03
เซอร์คอนเนียมไดออกไซด์	ZrO ₂	0.12	0.15	0.04
คลอรีน	Cl	0.77	1.15	1.13
อื่นๆ		P Cr Zn Br Nb Pb		

4.2.3. คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวอ่อนปากพั้ง

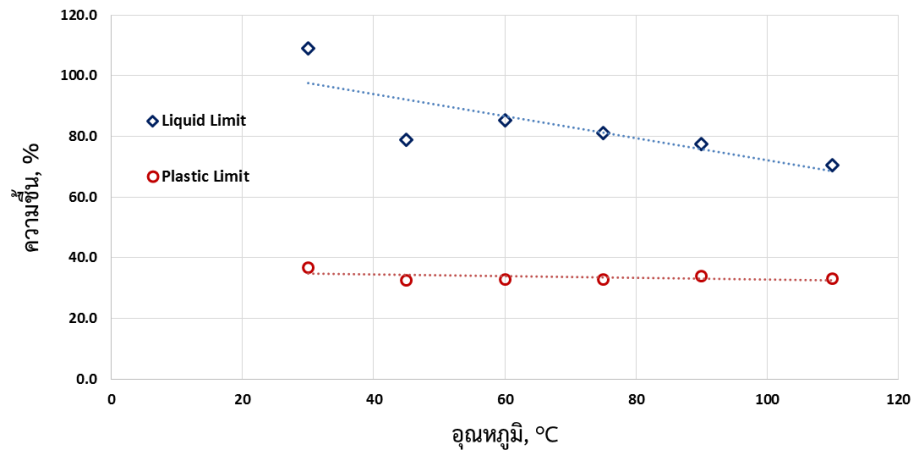
ดินเหนียวปากพั้งเกิดจากการตกตะกอนที่บึงบริเวณชายฝั่งทะเล ลักษณะดินสีเทา เนื้อค่อนข้างละเอียดสัมผัสแล้วรู้สึกลื่น จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่างได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าดินเหนียวปากพั้งมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 2.55 เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะของดินเหนียวปากพั้งอยู่ในช่วงของดินอินทรีย์ ความชื้นในมวลดิน (Water content, w_n) ร้อยละ 79.9 ทำการทดสอบค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) และค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, LL) ได้ร้อยละ 36.9 และ ร้อยละ 109.0 ตามลำดับ เมื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีพลาสติก (Plastic index, PI) และค่าดัชนีเหลว (Liquid index, LI) ได้ค่า 72.1 และ 0.6 ตามลำดับ จากคำอธิบายในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 แสดงว่าให้เห็นว่าดินเหนียวปากพั้งอยู่ในสภาพพลาสติกและมีความเหนียวสูงมาก

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวอ่อนปากพั้ง

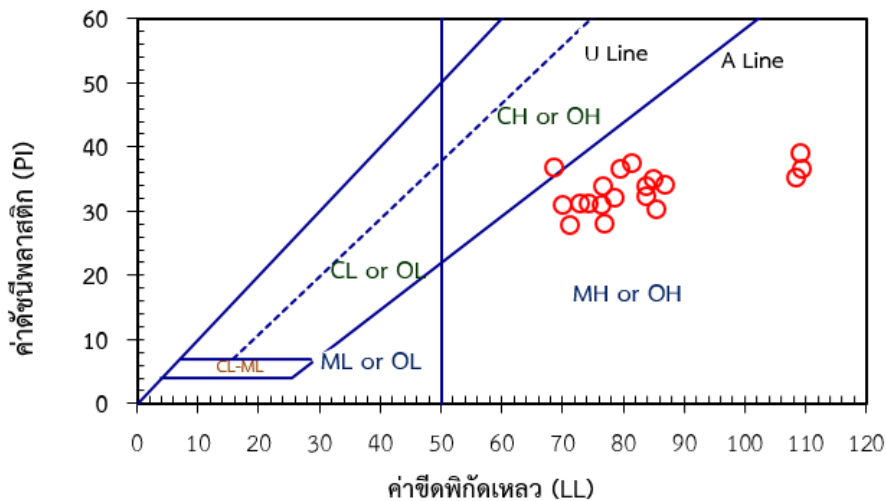
ตัวอย่างดิน	คุณสมบัติดัชนี	จำนวนตัวอย่าง	ช่วงข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	S.D.
ไม่ผ่าน การให้ความร้อน	ค่าขีดจำกัดเหลว	3	108.5 ถึง 109.3	109.0	0.401
	ค่าขีดพิกัดพลาสติก	3	35.2 ถึง 39.0	36.9	1.931
	ค่าดัชนีพลาสติก	3	70.2 ถึง 73.3	72.1	1.689
	หน่วยน้ำหนักรวม	32	1.48 ถึง 1.53	1.51	0.014
	ความชื้นในมวลดิน	32	58.9 ถึง 89.1	79.9	6.010
ผ่าน การให้ความร้อน นาน 24 ชั่วโมง	ค่าขีดจำกัดเหลว	4	68.7 ถึง 72.8	70.7	1.527
	ค่าขีดพิกัดพลาสติก	4	27.8 ถึง 36.9	31.0	3.706
	ค่าดัชนีพลาสติก	4	31.8 ถึง 43.3	39.7	4.760
	ความถ่วงจำเพาะ	4	2.25 ถึง 2.67	2.55	0.203
สี			สีเทา	-	-
การจำแนกดิน			OH	-	-

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบหาค่าขีดพิกัดพลาสติกและค่าขีดจำกัดเหลวกับตัวอย่างดินเหนียวปากพั้งที่ทำให้แห้งด้วยความร้อนด้วยอุณหภูมิคงที่นาน 24 ชั่วโมง ให้อุณหภูมิแตกต่างกัน ตั้งแต่ 45 ถึง 110 องศาเซลเซียส รายละเอียดผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าขีดจำกัดเหลวอย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.12 โดยตัวอย่างดินที่ไม่ได้รับการให้ความร้อนมีค่าขีดจำกัดเหลรร้อยละ 108.99 และตัวอย่างดินที่ทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส มีค่าขีดจำกัดเหลรร้อยละ 70.47 มีค่าลดลงร้อยละ 35.34 ในส่วนของค่าขีดพิกัดพลาสติกมีการลดลงเล็กน้อย คือในการทดสอบของดินปกติได้ค่าร้อยละ 36.90 เมื่อทดสอบกับดินที่ได้รับอุณหภูมิจะลดลงอยู่ที่ร้อยละ 32.53 ถึง 33.83 เมื่อพิจารณาค่าขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงได้ร้อยละ 65 ของค่าขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างทำให้แห้งโดยอากาศมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 จึงจำแนกดินประเภทนี้เป็นดินอินทรีย์ (O)

และนำค่าขีดจำกัดเหลวและค่าดัชนีพลาสติกของการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ มาแสดงในแผนภูมิพลาสติกซีดี (plasticity chart) ดังรูปที่ 4.13 โดยข้อมูลของทุกอุณหภูมิจะแสดงอยู่ใต้เส้น A line ด้านขวาจากเส้นขีดจำกัดเหลวร้อยละ 50 ตัวอย่างที่ไม่ได้รับความร้อนจะอยู่ทางขวาที่สุด และตัวอย่างที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะขยับเข้าใกล้เส้น A line มากขึ้น ดินเหนียวปากพวงจึงเป็นดินเหนียวอินทรีย์ซีดีจำกัดเหลวสูง (high liquid limit organic clay ,OH)



รูปที่ 4.12 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าขีดจำกัดแอดเตอร์เบิร์ก



รูปที่ 4.13 แผนภูมิพลาสติกซีดีของดินเหนียวปากพวง

4.3. ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 45 และ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนแบบระบายน้ำ เฝื่อนด้วยอัตราความเครียด 0.02% ต่อหน้าที่ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของดินเหนียวปากพวง คือ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด 111.78 กิโลปาสคาล และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเพียง

118.58 กิโลปาสกาล เช่นเดียวกับการเชื่อมด้วยอัตราความเครียด 0.075% ต่อหน้าที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวสามารถรับแรงได้มากขึ้นเช่นกัน มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 121.35 และ 127.00 กิโลปาสกาล ตามลำดับ สำหรับอัตราความเครียดที่เร็วขึ้นตั้งการเชื่อมด้วยอัตราความเครียด 1.0% ต่อหน้าที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวสามารถรับแรงได้มากขึ้นเช่นกัน แต่จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่น้อย โดยมีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 125.49 และ 129.43 กิโลปาสกาล ลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเป็นไปในทางเดียวกันกับการเชื่อมด้วยอัตราเร็วที่สุดด้วยอัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่ ดินเหนียวปากพ้งมีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 129.43 และ 131.03 กิโลปาสกาล ตามลำดับ

จากการทดสอบแรงอัดสามแกนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิและอัตราดังแสดงในตารางที่ 3.4 เป็นจำนวน 32 ตัวอย่างตามข้อมูลการทดสอบในภาคผนวก ค มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแรงอัดสามแกนของดินเหนียวปากพ้งที่อุณหภูมิห้องซึ่งทดสอบโดย ศิริพร และคณะ (2556) สามารถนำมาแปลผลการทดสอบจะได้ดังตารางที่ 4.3 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวปากพ้งสามารถรับแรงได้มากขึ้นเช่นเดียวกับการทดสอบในดินเหนียวกรุงเทพฯ (Abuel-Naga, et al. 2006) (Trani, et al. 2008)

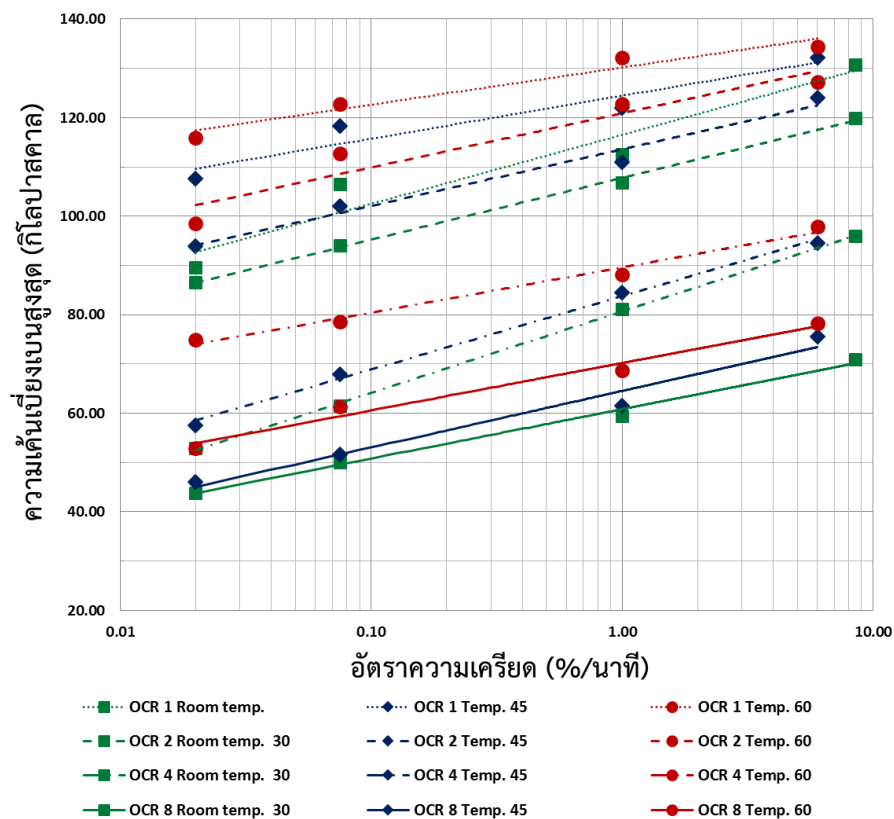
ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด

อัตราความเครียด	อุณหภูมิ, °C	ความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์เมลไรซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผล			
		OCR=1	OCR=2	OCR=4	OCR=8
0.02%ต่อหน้าที่	อุณหภูมิห้อง (~30)	0.358	0.695	0.853	1.392
	45	0.431	0.751	0.922	1.452
	60	0.464	0.788	1.200	1.680
0.075%ต่อหน้าที่	อุณหภูมิห้อง (~30)	0.426	0.761	0.984	1.613
	45	0.473	0.816	1.086	1.637
	60	0.491	0.901	1.257	1.946
1.0%ต่อหน้าที่	อุณหภูมิห้อง (~30)	0.450	0.854	1.297	1.920
	45	0.488	0.888	1.353	1.952
	60	0.508	0.982	1.411	2.181
6.0%ต่อหน้าที่	อุณหภูมิห้อง (~30)	0.523	0.960	1.535	2.312
	45	0.528	0.992	1.513	2.175
	60	0.538	1.018	1.566	2.484

หมายเหตุ : ทำการอัดตัวคาน้ำที่แรงดันเซลล์เท่ากับ 450 กิโลปาสกาล แรงดันภายในเท่ากับ 200 กิโลปาสกาล

4.3.1. ผลกระทบของอัตราความเครียดที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพูนัง

จากผลการทดสอบค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียดในแนวแกนของการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวปากพูนัง พบว่าค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อทดสอบด้วยการเฉือนที่อัตราความเครียดเร็วขึ้นในทุกค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวและอุณหภูมิ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดในแต่ละค่าของอัตราการอัดแน่นเกินตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเครียดกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะแปรผันตรงกับลอการิทึมของอัตราความเครียดในช่วงอัตราความเครียดร้อยละ 0.02 ถึง 6% ต่อ นาที แสดงให้เห็นว่าดินเหนียวปากพูนังมีคุณสมบัติทางของการตอบสนองด้านอัตราความเครียดแบบไม่เชิงเส้นเช่นเดียวกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ทั้งนี้ลักษณะของอัตราความไม่เชิงเส้นในทุกๆ ค่าของอัตราการอัดแน่นเกินตัวและอุณหภูมิมียุทธศาสตร์คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียด ที่อัตราการอัดแน่นเกินตัวต่างๆ

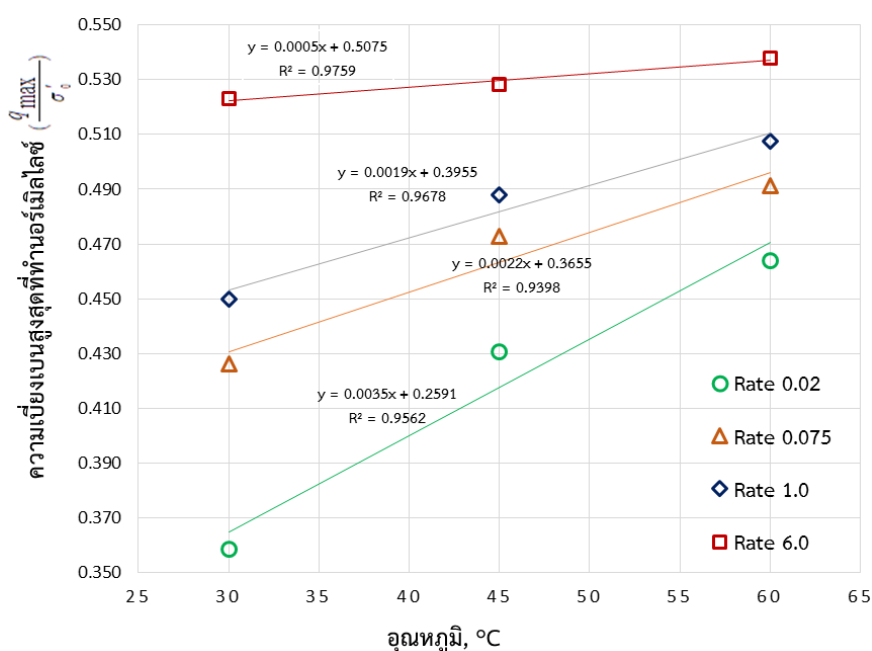
เมื่อหาค่าความชันของเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียด ที่อัตราการอัดแน่นเกินตัวต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.4 ผลกระทบของอัตรา

ความเครียดแสดงเด่นชัดในผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิห้อง เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างสูงขึ้น จะเห็นผลกระทบของอัตราได้น้อยลง ในทุกอัตราการอัดแน่นเกินตัว

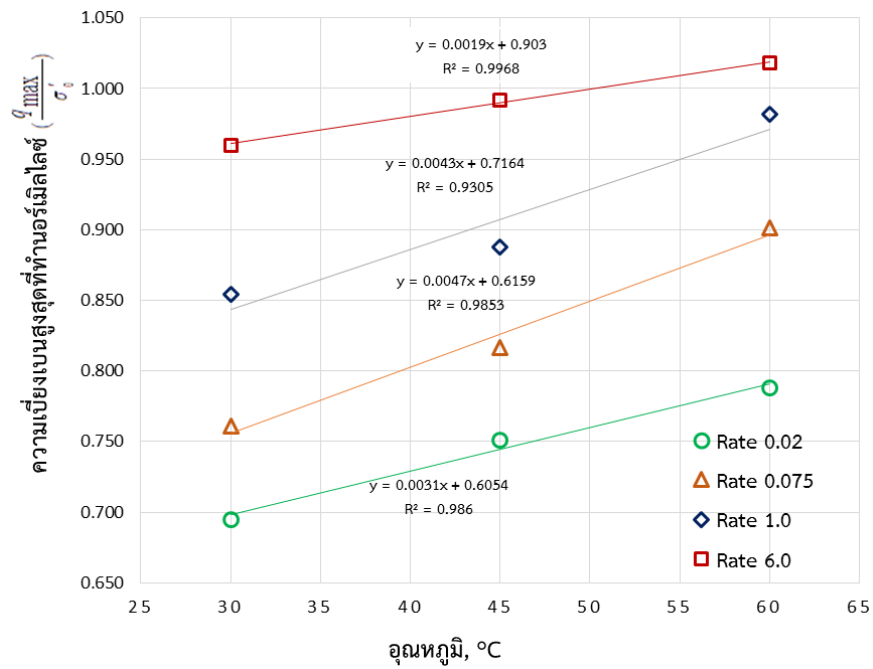
ตารางที่ 4.4 ความชันของเส้นแนวโน้มเชิงเส้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียด

อุณหภูมิ	ความชันของเส้นแนวโน้ม			
	OCR = 1	OCR = 2	OCR = 4	OCR = 8
อุณหภูมิห้อง	6.0865	5.4373	7.1813	4.3528
45°C	3.7843	4.9798	6.4561	4.9700
60°C	3.2641	4.7743	3.9889	4.1646

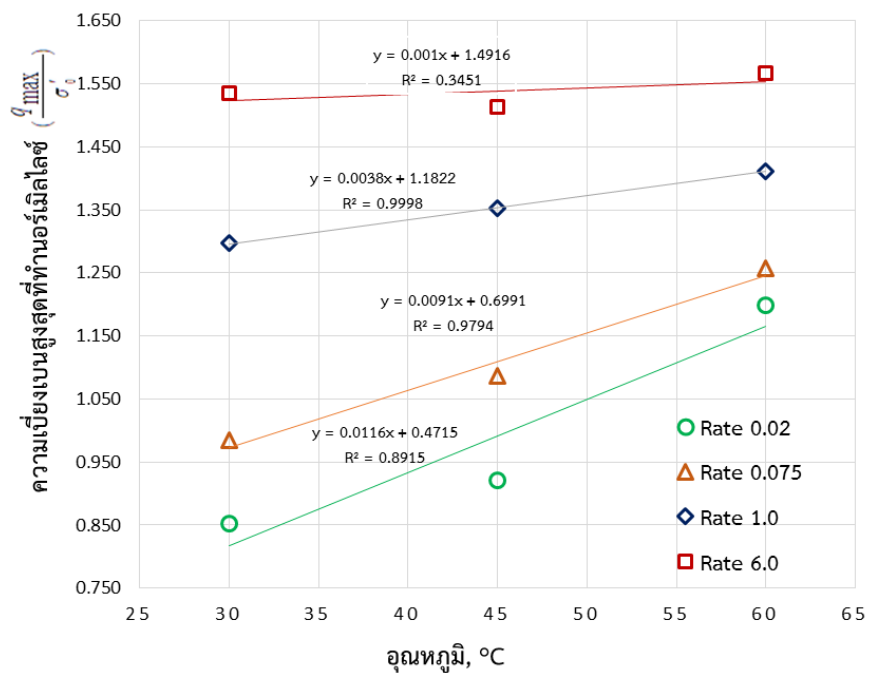
เมื่อนำค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนการเฉือนตัวอย่างมาแสดงในรูปกราฟเชิงเส้น ความสัมพันธ์ที่อุณหภูมิต่างกันในแต่ละอัตราความเครียดของแต่ละค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวได้ดังรูปที่ 4.15 ถึง รูปที่ 4.18 เห็นได้ชัดเจนว่าในทุกอัตราการอัดแน่นเกินตัว ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลแปรผกผันกับอัตราการความเครียดแนวแกน แต่แปรผันตรงกับอุณหภูมิ และค่าความชันของกราฟจะลดน้อยลงเมื่อทำการเฉือนด้วยอัตราความเครียดแนวแกนที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของอุณหภูมิมิมีอิทธิพลต่ออัตราความเครียดแนวแกนช้ามากกว่าอัตราความเครียดแนวแกนเร็วด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.5



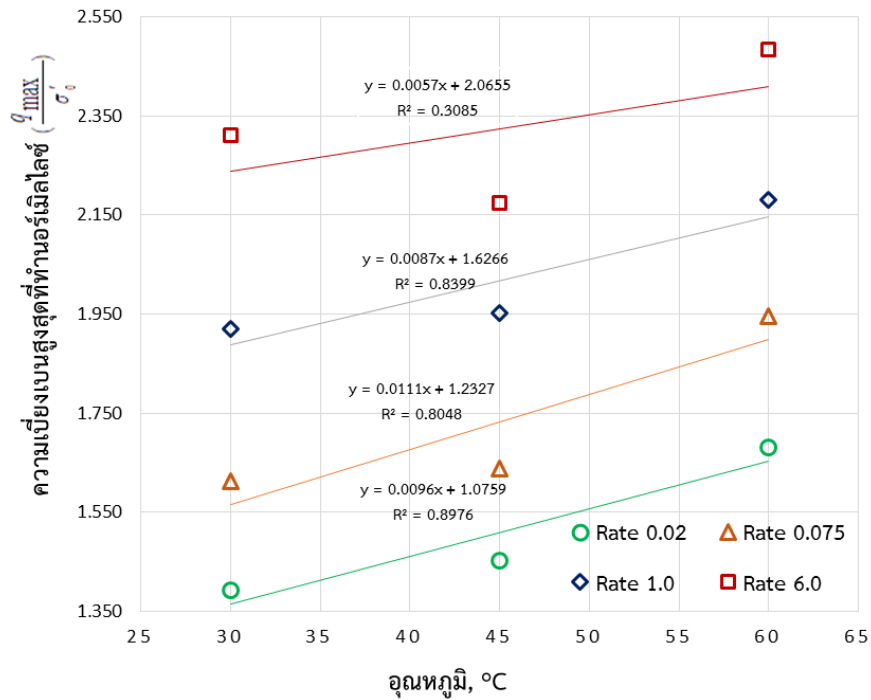
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเฉือนตัวอย่างกับอุณหภูมิ ที่ OCR=1



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิภาพก่อนเงื่อนไขตัวอย่างกับอุณหภูมิ ที่ OCR=2



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิภาพก่อนเงื่อนไขตัวอย่างกับอุณหภูมิ ที่ OCR=4



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่ทำงานอร์เมิลไลซ์ด้วยค่าความเค้นประสิทธิผลก่อนเหมือนตัวอย่างกับอุณหภูมิ ที่ OCR=8

ตารางที่ 4.5 ความชันของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอุณหภูมิ

อัตรา (%ต่อนาที)	ความชัน			
	OCR=1	OCR=2	OCR=4	OCR=8
0.02	0.0035	0.0031	0.0116	0.0096
0.075	0.0022	0.0047	0.0091	0.0111
1.0	0.0019	0.0043	0.0038	0.0087
6.0	0.0005	0.0019	0.0010	0.0057

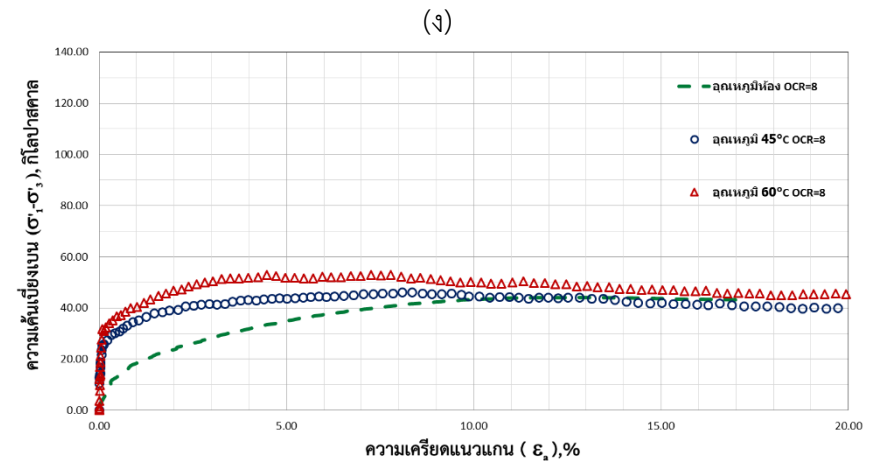
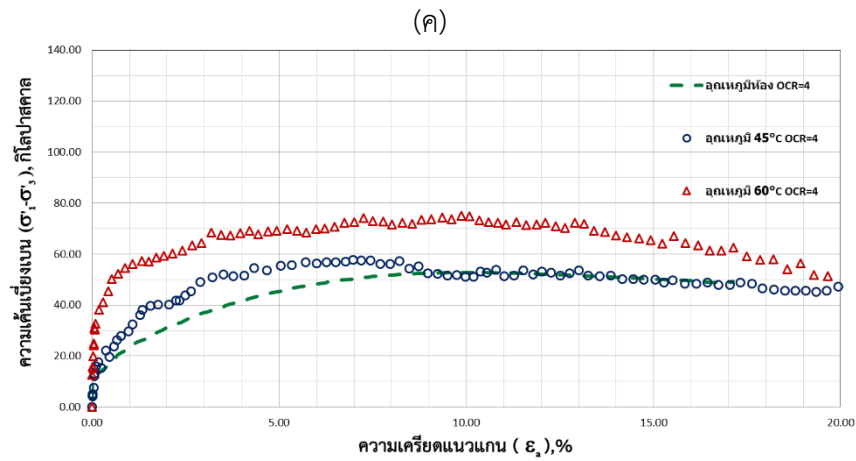
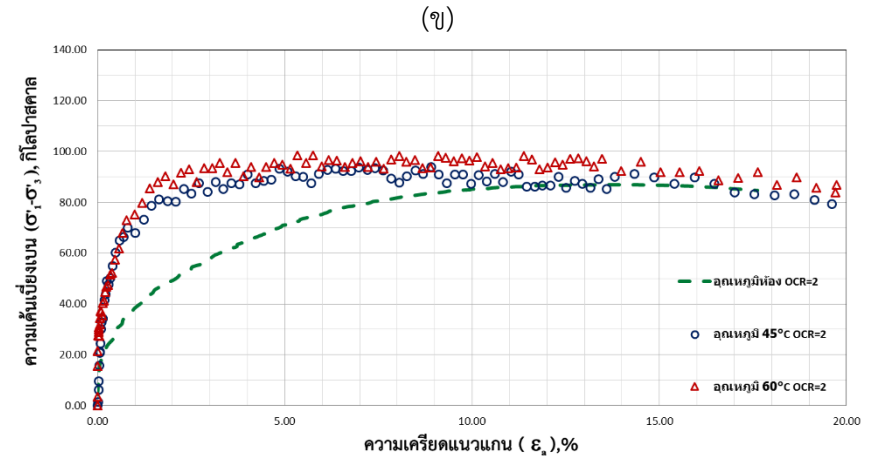
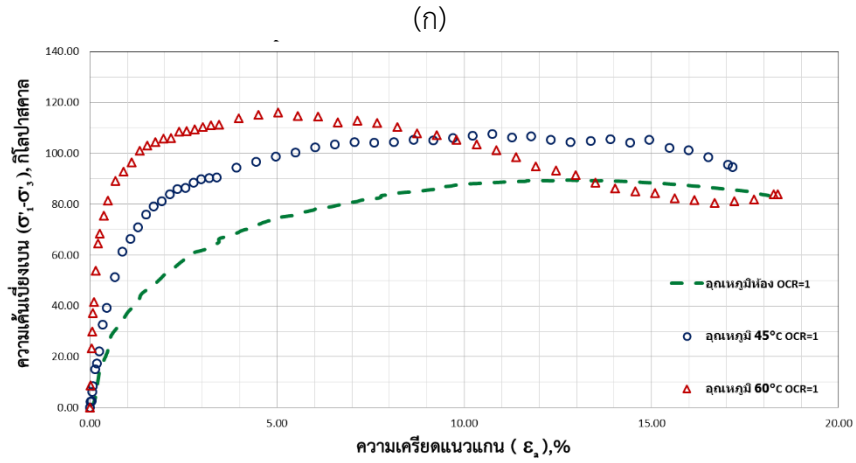
4.3.2. ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพั้ง

4.3.2.1 กรณีค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อหน้าที่

ผลการทดสอบกรณีค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อหน้าที่แสดงให้เห็นว่าผลของค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกรณีค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อหน้าที่ อุณหภูมิมีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพั้งสูงสุดเมื่อดินเหนียวปากพั้งได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนของดินก็จะสูงขึ้น และเมื่อนำค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิสูงมาเทียบกับตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิห้องพบว่า ดินที่ทดสอบที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่น้อยกว่าดินที่ได้รับอุณหภูมิสูงกว่า จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดและอุณหภูมิ จะสังเกตได้ว่าค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4% ของอัตราความเครียดตามแนวแกนจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ จากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเข้าใกล้ค่าคงที่ แต่ในตัวอย่างดินที่ให้อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.19(ก) ที่สภาวะการอัดแน่นเกินตัวปกติ ลักษณะเส้นกราฟความเค้นเบี่ยงเบนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1% ของอัตราความเครียดตามแนวแกน จากนั้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนลดลงเล็กน้อยจนเกือบค่อนข้างคงที่ จะเห็นได้ชัดเจนที่สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 (รูปที่ 4.19(ข)) และ เท่ากับ 4 (รูปที่ 4.19(ค)) แต่สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 (รูปที่ 4.19(ง))

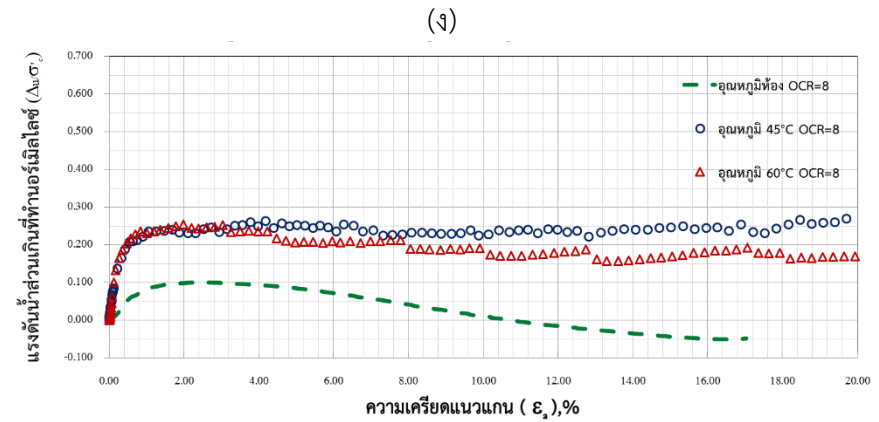
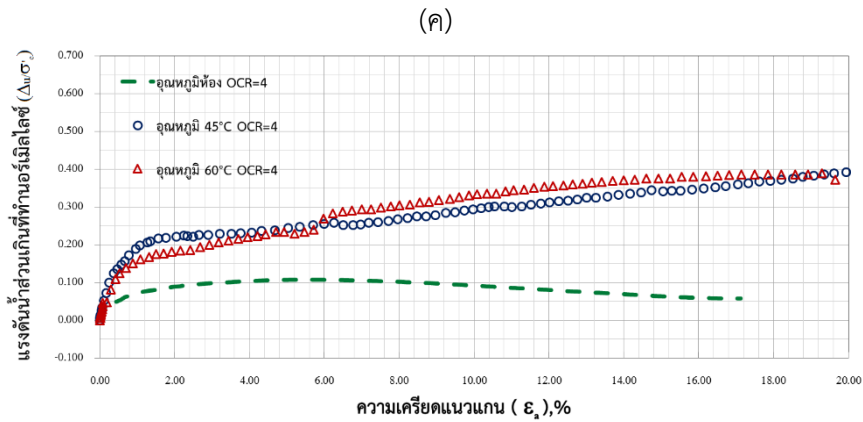
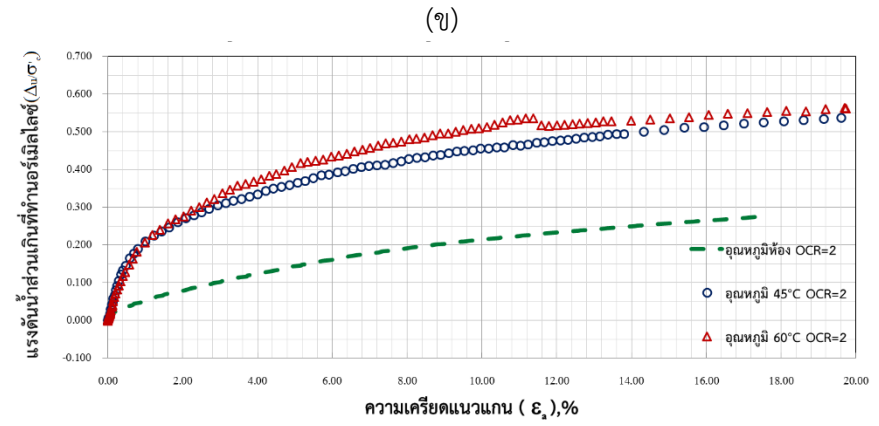
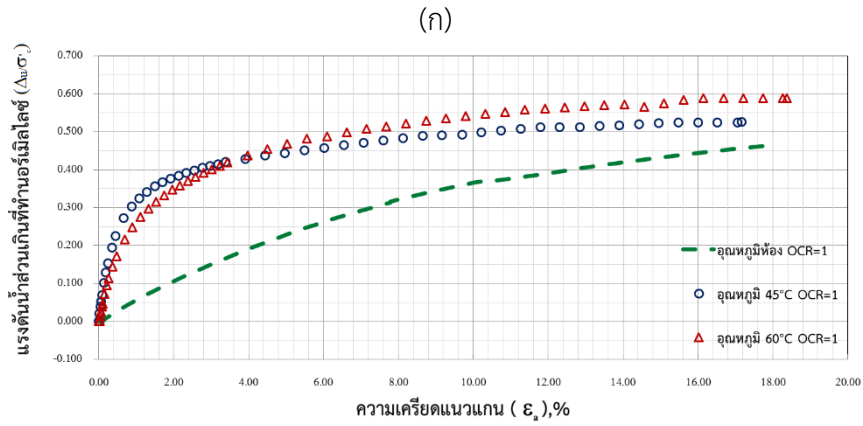
ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันน้ำส่วนเกินของกรณีการทดสอบที่ค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อหน้าที่ พบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ที่สภาวะอัดแน่นปกติจะมีแรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของอัตราความเครียดตามแนวแกน หลังจากนั้นแรงดันน้ำส่วนเกินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยไปจนหมดการทดสอบ เมื่อนำผลการทดสอบที่อุณหภูมิห้องมาเปรียบเทียบ จะเห็นได้ชัดว่า อุณหภูมิมีผลกระทบทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นมากระหว่างการทดสอบ และที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ต่างกันมากซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันทั้งสภาวะอัดแน่นเกินตัวปกติ และสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2

ที่สภาวะอัดแน่นเกินตัวสูง แรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างจากแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างที่ทดสอบที่อุณหภูมิห้องมาก ผลการทดสอบจากสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 ที่อุณหภูมิห้องแรงดันน้ำส่วนเกินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความเครียดตามแนวแกนเพิ่ม จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากความแข็งของดินที่เพิ่มขึ้น แต่ผลของตัวอย่างที่ทดสอบที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่ลดลงตลอดการทดสอบ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกันที่สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 เป็นเพราะความพยายามในการขยายตัวของเม็ดดินในขณะที่เฉือนซึ่งจะส่งผลให้แรงดันน้ำลดลงนั้นเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากเม็ดดินได้ขยายตัวไปในช่วงการให้ความร้อนแล้ว รวมทั้งความหนืดของน้ำและชั้นน้ำสองชั้นของดินลดลงเนื่องจากความร้อน ทำให้น้ำไหลได้ง่ายขึ้นส่งผลให้แรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นตลอดเวลา



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที

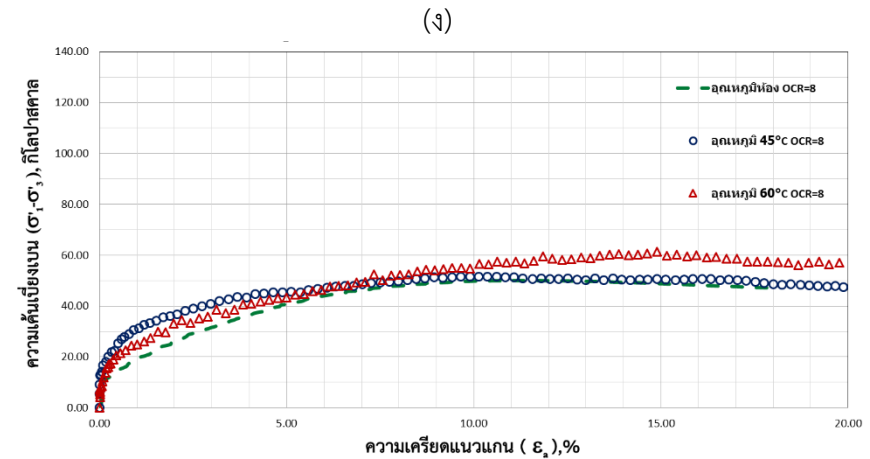
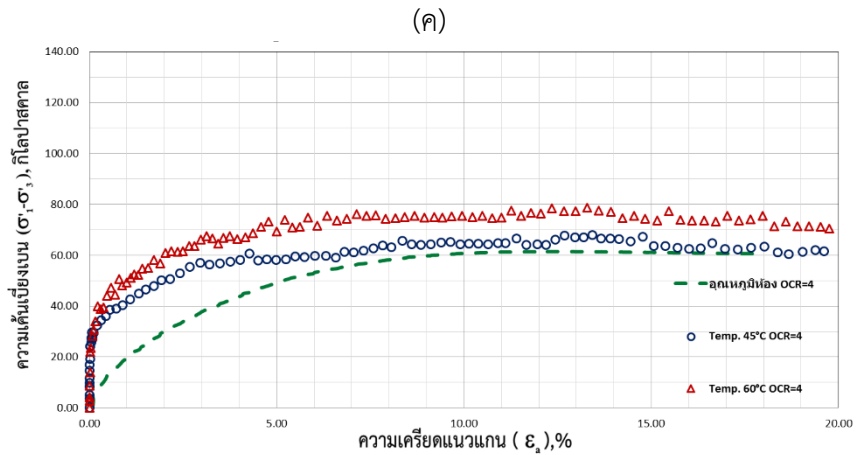
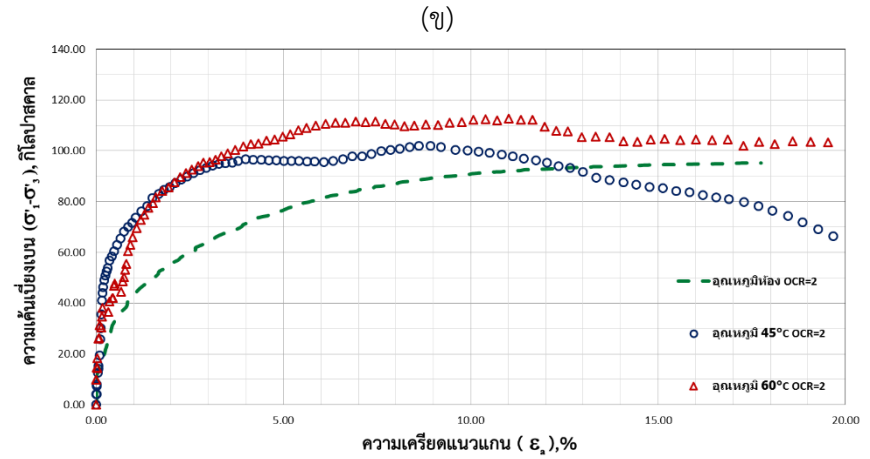
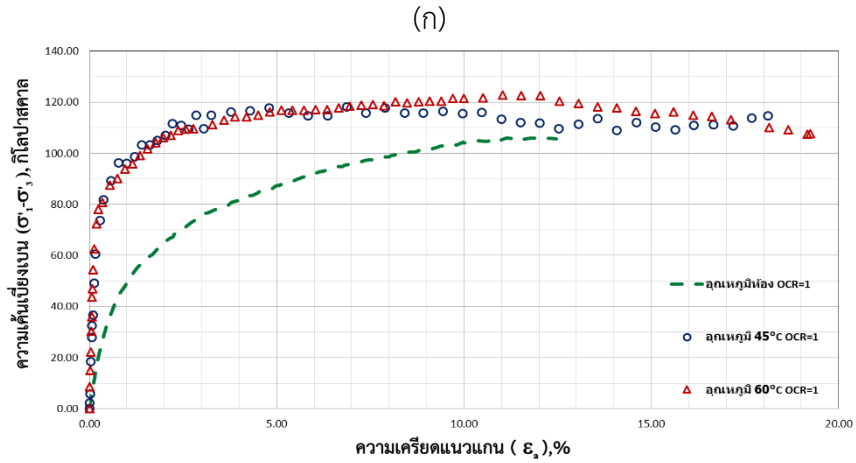
(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8

4.3.2.2 กรณีค่าอัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที

เมื่อพิจารณาผลของค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกรณีค่าอัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราความเครียดปกติ พบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบกับการรับแรงของดินเหนียวปากพราง โดยค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างดินจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย เมื่อนำค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิสูงมาเทียบกับตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิห้องก็จะพบว่าตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่น้อยกว่าดินที่ได้รับอุณหภูมิที่สูง จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดและอุณหภูมิ ค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของอัตราความเครียดตามแนวแกนจนกระทั่งดินเกิดการวิบัติ จากนั้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนจะลดลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ แต่ตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะเส้นกราฟความเค้นเบี่ยงเบนจะมีค่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่า จากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเกือบค่อนข้างคงที่ และมีการลดลงเล็กน้อยหลังจากเลยจุดวิบัติไปแล้ว ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันในทุก ๆ สภาวะการอัดแน่นเกินตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.21

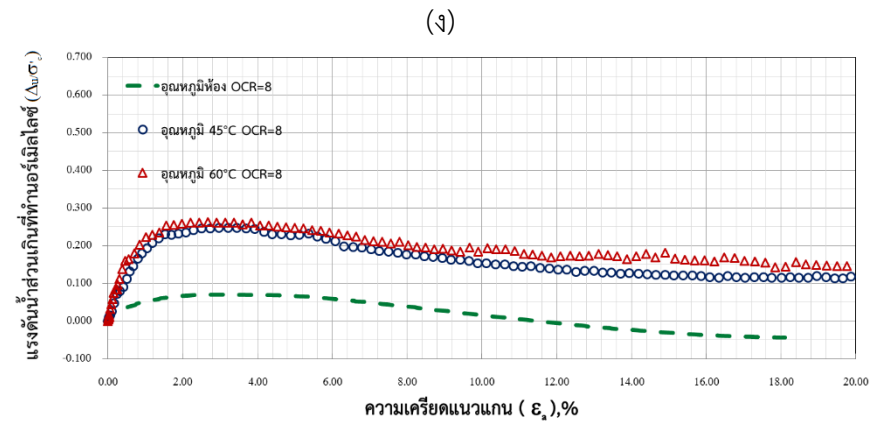
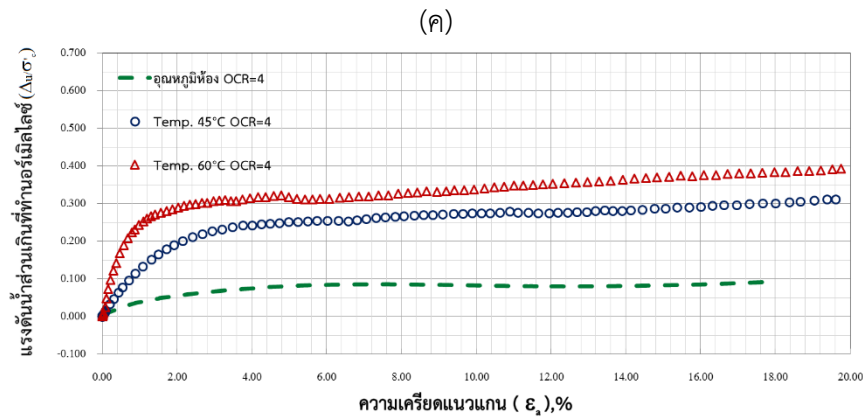
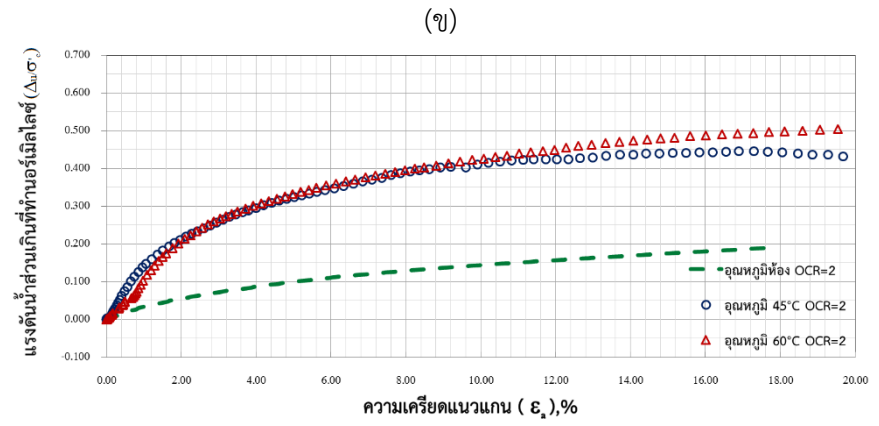
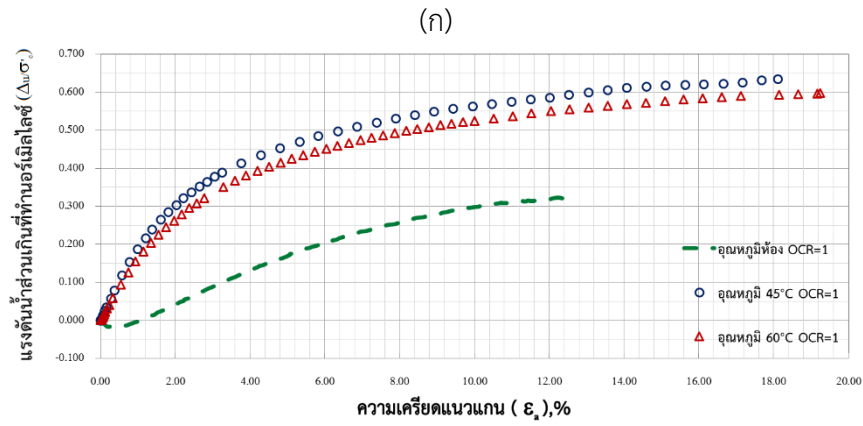
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อแรงดันน้ำส่วนเกินของกรณีการทดสอบที่ค่าอัตราความเครียด 0.075 ต่อนาที พบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิทั้ง 45 และ 60 องศาเซลเซียส มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิห้องมาเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิมีผลกระทบทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นมากระหว่างการทดสอบตัวอย่างสภาวะอัดแน่นปกติทดสอบที่อุณหภูมิห้องซึ่งแรงดันน้ำจะเป็นลบในช่วง 1.8 เปอร์เซ็นต์ของอัตราความเครียดแนวแกน เนื่องจากภายในตัวอย่างมีแรงดันค้างอยู่ก่อนการเฉือน จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่สำหรับแรงดันน้ำของตัวอย่างดินที่ได้รับความร้อนจะไม่แสดงช่วงที่ค่าแรงดันน้ำติดลบดังรูปที่ 4.22(ก) เห็นได้ว่าแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องจะมีแรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของอัตราความเครียดแนวแกน หลังจากนั้นแรงดันน้ำส่วนเกินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ต่างกันมากซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันในสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 ดังรูปที่ 4.22(ข) และในสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 ดังรูปที่ 4.22(ค) เพียงแต่ในสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 ในช่วงหลังจะมีการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มขึ้นน้อยกว่า

ที่สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 ทดสอบที่อุณหภูมิห้องแรงดันน้ำส่วนเกินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความเครียดแนวแกนเพิ่มดังรูปที่ 4.22(ง) จากนั้นค่อย ๆ ลดลงจนแรงดันน้ำส่วนเกินแสดงค่าเป็นลบ แต่ผลของตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิสูงค่าแรงดันน้ำในช่วงแรกเพิ่มขึ้นมากกว่าและลดลงเล็กน้อยในช่วงท้ายแต่ไม่ได้แสดงค่าติดลบ เป็นเพราะการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินในช่วงต้นนั้นมีมากกว่า



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.075%ต่อนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8



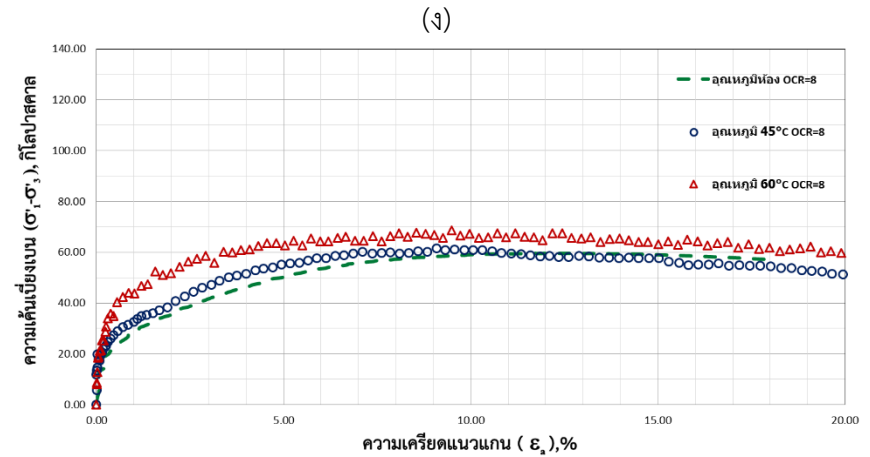
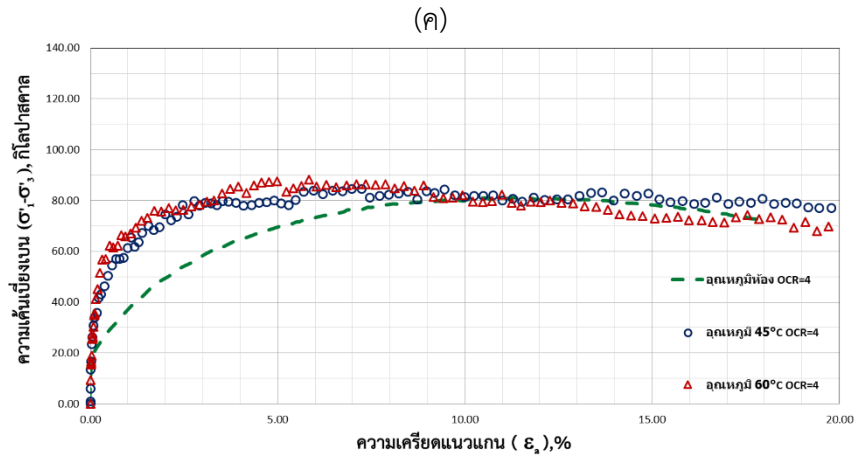
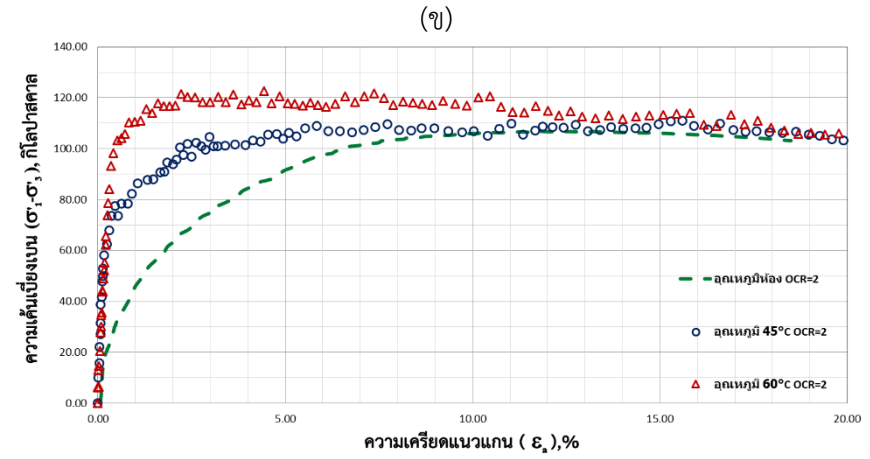
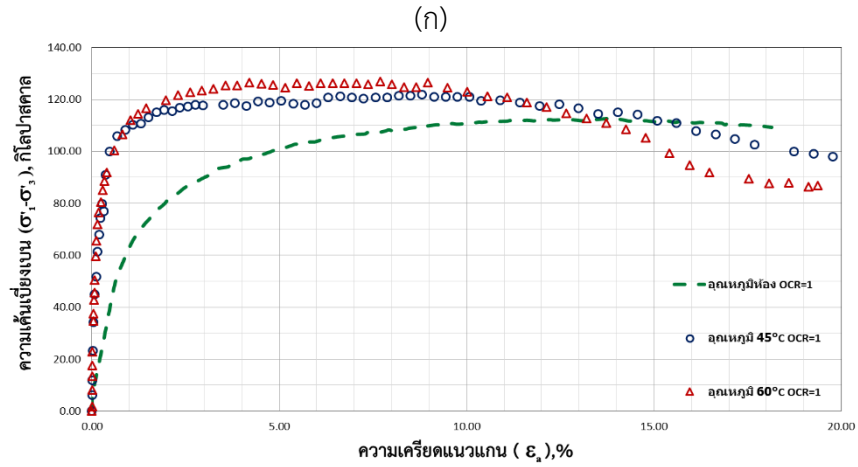
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8

4.3.2.3 กรณีค่าอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที

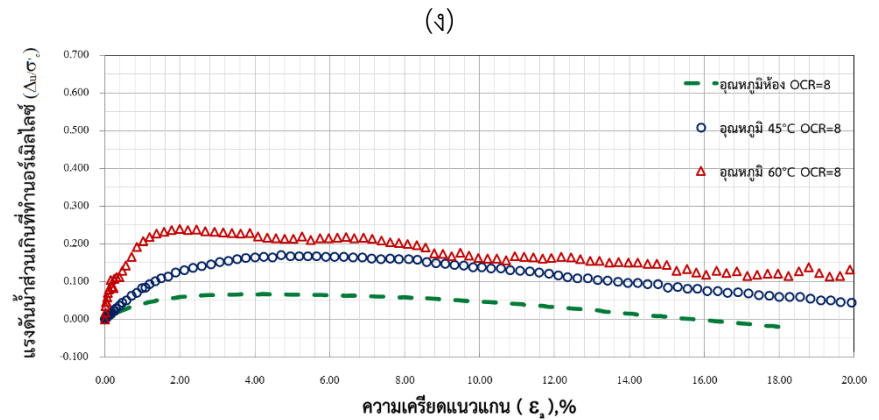
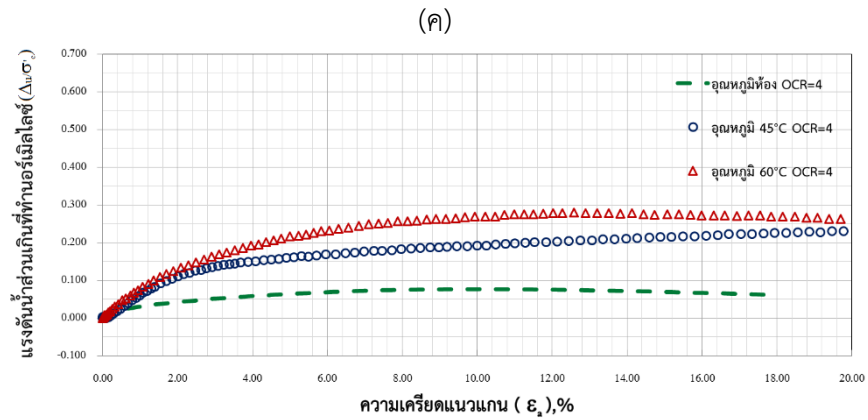
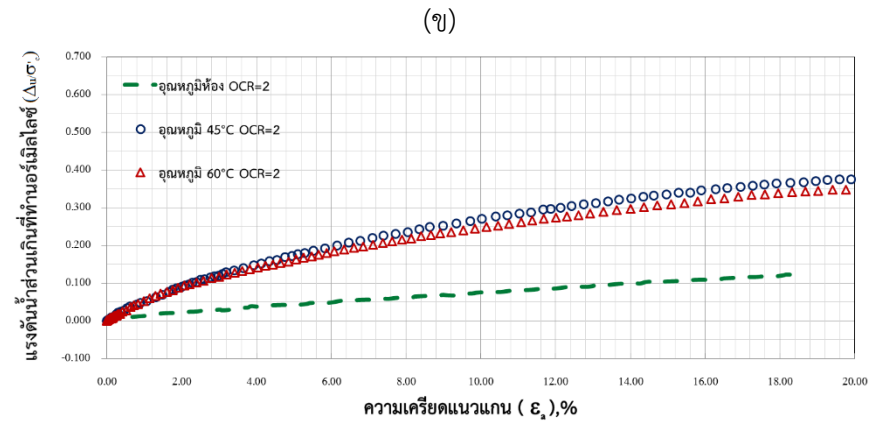
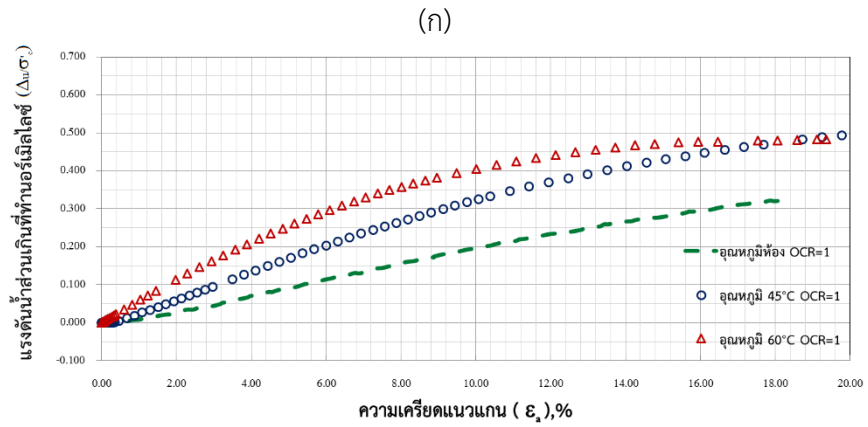
ผลของค่าความเค้นเบี่ยงเบนกรณีค่าอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราความเครียดที่ค่อนข้างเร็ว คงแสดงผลเช่นเดียวกับการเฉือนช้า คืออุณหภูมิมีผลกระทบต่อค่าความเค้นเบี่ยงเบนของดินเหนียวปากพรางมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเค้นเบี่ยงเบนน้อยกว่าตัวอย่างดินที่ได้รับอุณหภูมิสูงกว่า ดังรูปที่ 4.23(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดและอุณหภูมิที่สภาวะอัดแน่นปกติ โดยในกรณีการเฉือนด้วยอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที เห็นได้ชัดว่าค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หรือประมาณ 0.5% ของอัตราความเครียดตามแนวแกน จากนั้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติและค่าความเค้นเบี่ยงเบนมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 ดังรูปที่ 4.23(ข) จะมีการลดลงของความเค้นเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยหลังจากถึงจุดวิบัติไปแล้ว ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันในสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 ดังรูปที่ 4.23(ค) และสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 ดังรูปที่ 4.23(ง)

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อแรงดันน้ำส่วนเกินของกรณีการทดสอบที่ค่าอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที พบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่ได้รับอุณหภูมิทั้ง 2 อุณหภูมิ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและอัตราการเกิดของแรงดันน้ำส่วนเกินจะค่อย ๆ น้อยลง ทำให้กราฟแรงดันน้ำส่วนเกินมีลักษณะเพิ่มขึ้นที่ชะงักโดยเห็นได้ชัดในสภาวะอัดแน่นปกติ โดยเฉพาะในตัวอย่างที่ได้รับอุณหภูมิจึง 60 องศาเซลเซียส ในสภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 การเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินในช่วงแรกจะมีความรวดเร็วกว่าเล็กน้อย ส่วนในสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 การเกิดแรงดันน้ำในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกัน แต่ในช่วงท้ายการทดสอบอุณหภูมิที่ 60 องศา มีแนวโน้มการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งคล้ายกับผลการทดสอบที่อุณหภูมิห้องของสภาวะเดียวกัน และการลดลงของแรงดันน้ำส่วนเกินจะเห็นได้ชัดในสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 ดังรูปที่ 4.24 แต่ก็ได้ไม่ได้แสดงค่าเป็นลบเหมือนผลการทดสอบที่อุณหภูมิห้องที่สภาวะเดียวกัน เมื่อนำอุณหภูมิห้องมาเปรียบเทียบ จะเห็นว่า อุณหภูมิที่สูงมีผลทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นมากกว่าการทดสอบเช่นกัน และแรงดันน้ำส่วนเกินจะเพิ่มมากที่สุดที่สภาวะอัดแน่นเกินตัวปกติและจะลดลงเมื่อสภาวะการอัดแน่นเกินตัวเพิ่มขึ้น



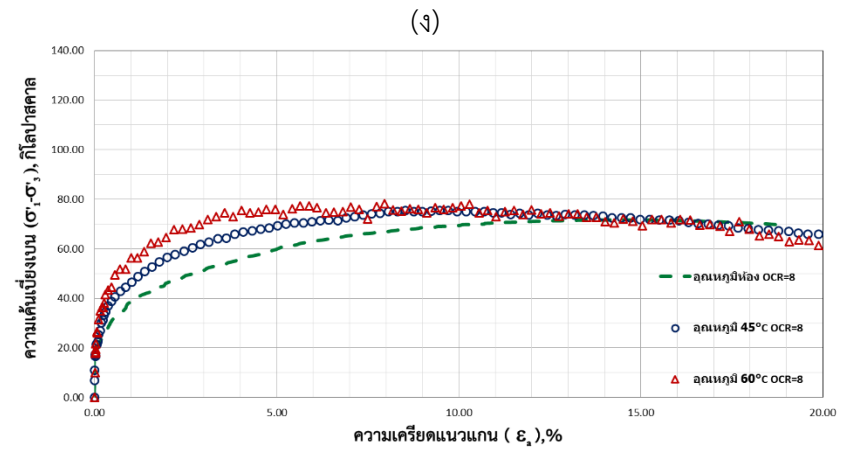
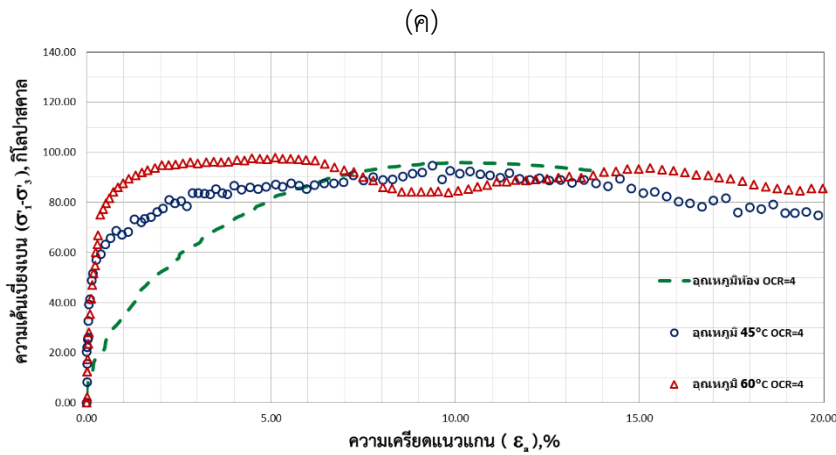
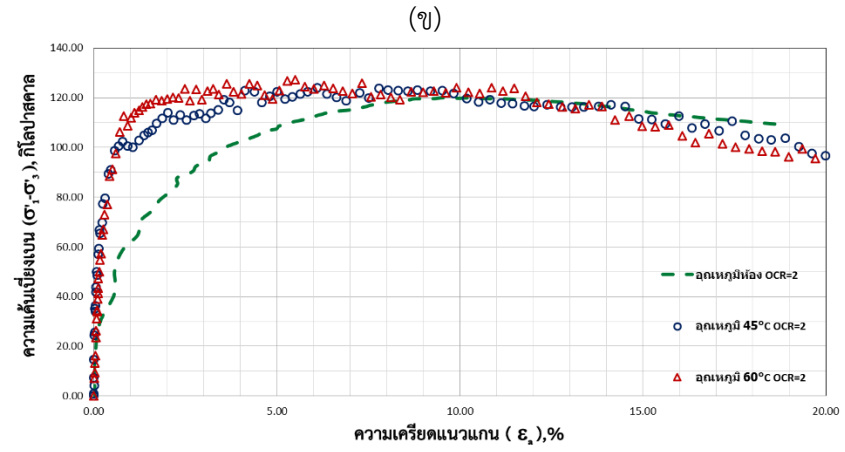
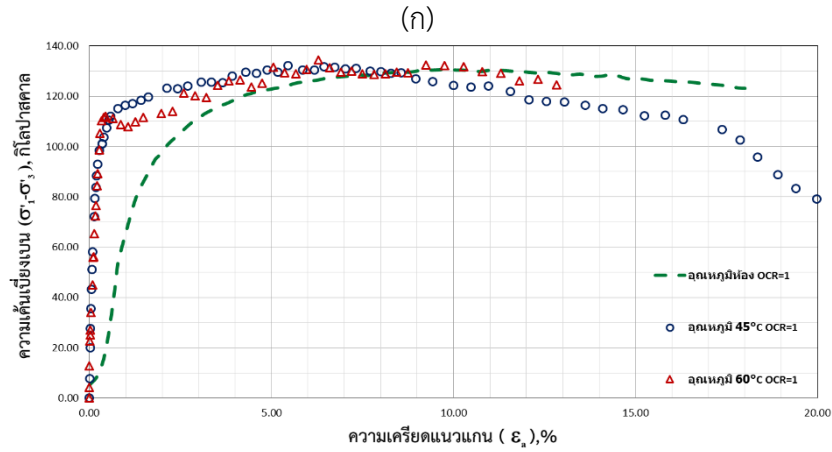
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน อัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8



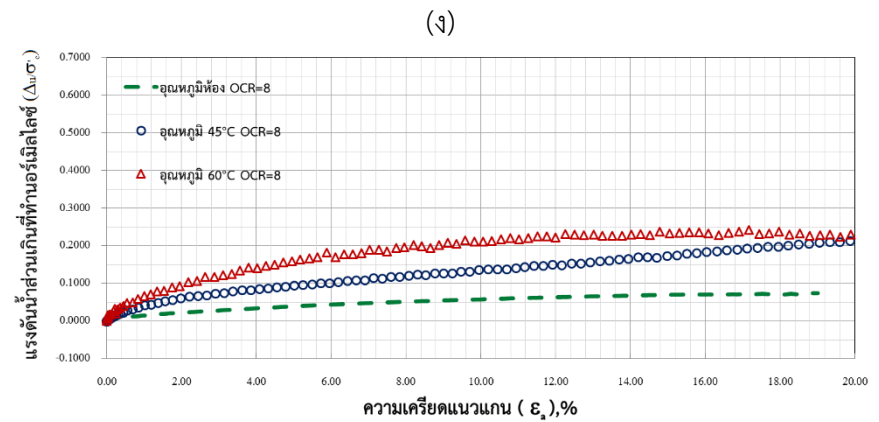
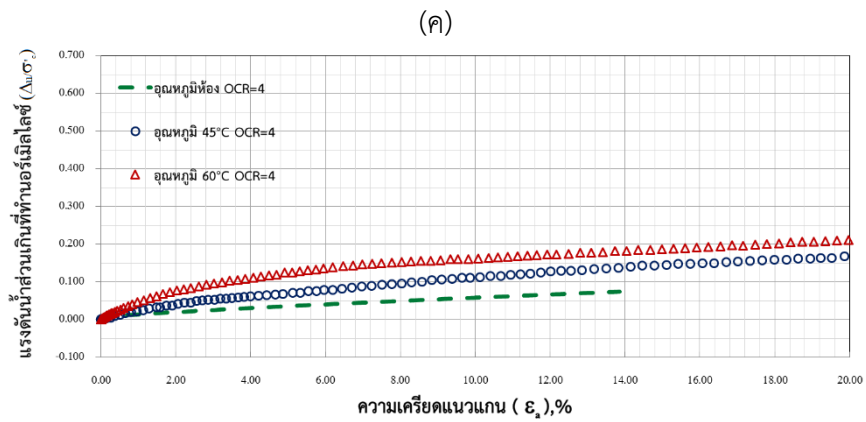
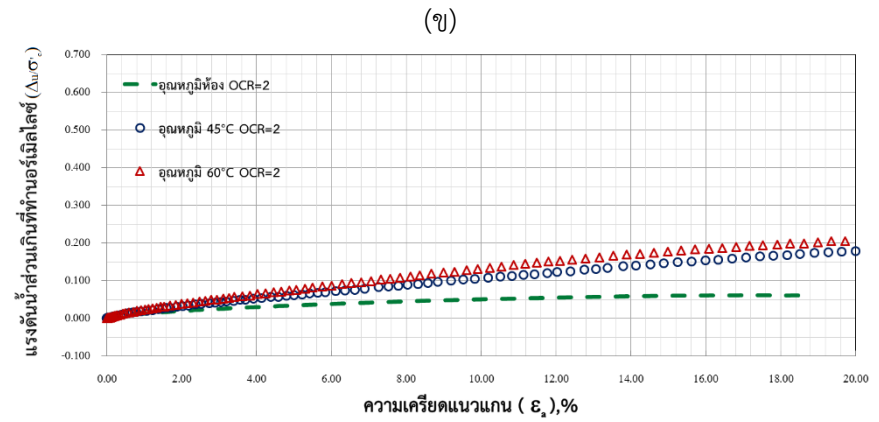
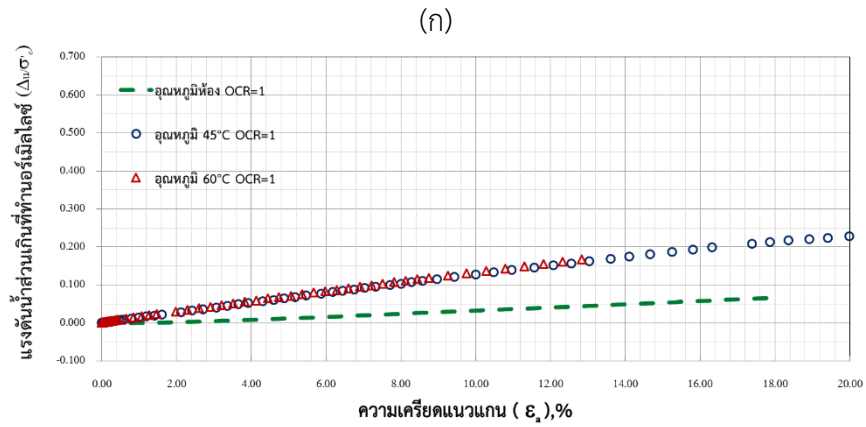
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 1.0% ต่ออนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน อัตราความเครียด 6.0% ต่อนาที

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่อัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่

(ก) OCR=1 (ข) OCR=2 (ค) OCR=4 (ง) OCR=8

4.3.2.4 กรณีค่าอัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่

ผลของค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกรณีค่าอัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่ ซึ่งเป็นอัตราความเครียดเร็วที่สุด พบว่าอุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับแรงของดินเหนียวปากพั้งเช่นเดียวกับทุกกรณีอัตราความเครียด เมื่อดินเหนียวปากพั้งได้รับอุณหภูมิสูงค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างดินจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีความใกล้เคียงกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนของตัวอย่างดินทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดและอุณหภูมิ ที่สภาวะอัดแน่นปกติและสภาวะอัดแน่นเกินตัวค่าความเค้นเบี่ยงเบนที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกอย่างเห็นได้ชัด หรือประมาณ 0.5% ของอัตราความเครียดตามแนวแกน จากนั้นค่าความเค้นเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งดินเกิดการวิบัติแล้วจึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละการลดลงของความเค้น

อัตราความเครียด	อุณหภูมิ	ร้อยละการลดลงของความเค้น			
		OCR = 1	OCR = 2	OCR = 4	OCR = 8
0.02% ต่อหน้าที่	30	6.8	2.2	6.8	1.9
	45	12.1	15.5	17.0	13.3
	60	27.7	11.8	31.6	14.3
0.075% ต่อหน้าที่	30	0.8	0.0	1.5	6.0
	45	3.1	37.3	12.2	8.2
	60	12.3	8.0	10.3	7.0
1.0% ต่อหน้าที่	30	3.0	3.4	11.2	4.3
	45	21.1	10.6	10.4	16.6
	60	34.2	16.4	25.1	12.9
6.0% ต่อหน้าที่	30	5.8	8.9	12.6	1.9
	45	44.7	21.5	21.2	19.9
	60	7.4	23.2	11.0	21.1

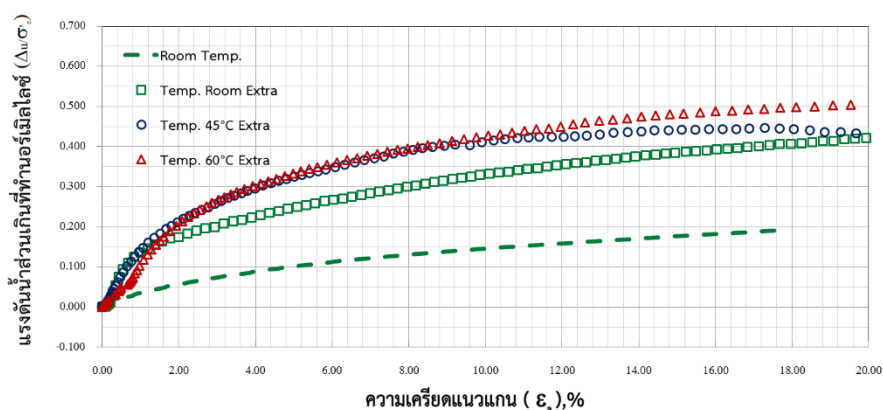
เมื่อนำค่าความเค้นเบี่ยงเบนสุดท้ายหรือที่ความเครียดแนวแกนประมาณ 20% จากกราฟของค่าความเบี่ยงเบนทุกอัตราความเครียดมาพิจารณาเทียบกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดที่จุดวิบัติสามารถคำนวณเป็นร้อยละการลดลงของความเค้นเบี่ยงเบนในช่วงอ่อนตัวของความเค้น (strain

softening) พบว่า ค่าความเค้นลดลงจากค่าความเค้นสูงสุดมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.6 แสดงค่าร้อยละการลดลงของความเค้นในช่วงอ่อนตัวของความเค้น เมื่อพิจารณาที่ค่าสภาวะอัดแน่นเกินตัวพบว่าที่สภาวะการอัดแน่นปกติความเค้นลดลงมากที่สุดในช่วงหลังจากเกิดการวิบัติ และมีแนวโน้มว่าที่สภาวะการอัดแน่นเกินตัวมากขึ้น การลดของความเค้นในช่วงหลังจากเกิดการวิบัติจะน้อยลง

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อแรงดันน้ำส่วนเกินของกรณีการทดสอบที่ค่าอัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่ พบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่ได้รับอุณหภูมิทั้ง 2 อุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดการทดสอบ เมื่อนำอุณหภูมิห้องมาเปรียบเทียบกับ จะเห็นว่า อุณหภูมิมีผลทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้นมากระหว่างการทดสอบเช่นกันดังรูปที่ 4.26 แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ต่างกันมากในแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวซึ่งแตกต่างจากกรณีค่าอัตราความเครียดที่ช้ากว่า เนื่องจาก อัตราความเครียดที่เร็วมีผลต่อการกระจายตัวของแรงดันน้ำในมวลดินที่ไม่สม่ำเสมอ รวมถึงการจัดเรียงตัวได้ไม่สมบูรณ์ของโมเลกุลของเม็ดดิน

4.3.2.5 ผลของแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างขนาดแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแรงดันน้ำส่วนเกินจากผลการทดสอบที่ผ่านมาจะพบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบของตัวอย่างดินที่ได้รับความร้อนมีความใกล้เคียงกันและมีเส้นกราฟที่สูงกว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิห้อง ความแตกต่างอีกอย่างของการทดสอบนี้คือ ขนาดของตัวอย่างที่ทดสอบ กล่าวคือ การทดสอบที่อุณหภูมิห้องของศิริพร และคณะ (2556) ทำการทดสอบกับตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร และการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร จึงทำการทดสอบเปรียบเทียบในเงื่อนไขอุณหภูมิห้อง การอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 ทำการเฉือนด้วยอัตราความเครียด 0.075% ต่อหน้าที่ กับตัวอย่างขนาดใหญ่



รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างขนาดแตกต่างกัน

เมื่อนำผลของแรงดันน้ำที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิห้อง มาเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบตัวอย่างขนาดเล็กที่อุณหภูมิเดียวกัน รวมถึงผลที่ได้จากการทดสอบที่เงื่อนไขเดียวกันที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.27 พบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบของตัวอย่างขนาดใหญ่กว่ามีค่ามากกว่าแรงดันน้ำที่ทำการทดสอบด้วยตัวอย่างขนาดเล็ก และแรงดันน้ำส่วนเกินของตัวอย่างขนาดใหญ่ทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะกราฟที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้ทราบว่าผลของแรงดันน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังของดิน จึงต้องพิจารณาในส่วนอื่น

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินดังตารางที่ 4.7 หลังทำการให้ความร้อนพบว่า เมื่อตัวอย่างได้รับการอัดตัวคายน้ำ และให้อุณหภูมิเพิ่มโดยการให้ระบายน้ำด้วยทำให้ความหนาแน่นของตัวอย่างดินเพิ่มขึ้นเมื่อดินได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น จึงเป็นผลให้ความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้น

จึงกล่าวได้ว่า ดินอินทรีย์มีลักษณะคล้ายฟองน้ำที่สามารถซับและปล่อยน้ำได้ เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจะซับน้ำไว้เต็ม เมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว น้ำในส่วนของฟองน้ำจะโดนดันออกไป จนถึงขั้นตอนการให้ความร้อน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำขยายตัว ทำให้น้ำมีความหนืดลดลง มีความสามารถในการไหลได้ดีขึ้น จึงทำให้น้ำในมวลดินถูกดันออกไปมากเนื่องจากการเปิดวาล์วให้ระบายน้ำ ในขั้นตอนการเค้นจึงไม่สามารถเห็นการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินได้อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจาก น้ำในมวลดินได้โดนอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นไปในขั้นตอนการให้ความร้อนแบบระบายน้ำแล้ว

ตารางที่ 4.7 ความความหนาแน่นของตัวอย่างหลังการให้ความร้อนแบบระบายน้ำ

OCR	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่นของตัวอย่างหลังการให้ความร้อนแบบระบายน้ำ			
		อัตรา			
		0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	8.5or6.0%ต่อนาที
1	45	1.12	1.07	1.08	1.08
	60	1.28	1.15	1.31	1.13
2	45	1.07	1.04	1.04	1.05
	60	1.11	1.15	1.10	1.12
4	45	1.03	1.01	1.04	1.05
	60	1.05	1.06	1.07	1.10
8	45	1.03	1.03	1.03	0.96
	60	1.05	1.07	1.05	0.98

ความเครียดแนวแกน ซึ่งมีค่าความเครียดแนวแกนที่จุดวิบัติต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง แต่สำหรับดินที่ได้รับอุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียสนั้นจุดวิบัติไม่ได้แตกต่างกันมาก และเมื่อพิจารณาในแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวก็ไม่มี ความแตกต่างกันมาก

ผลกระทบต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

จากกราฟค่าความเค้นเบี่ยงเบนต่อความเครียดแนวแกน จะได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดในเทอมของความเค้นเบี่ยงเบน และจากกราฟนี้สามารถนำไปหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของตัวอย่างดินสำหรับใช้วิเคราะห์ปัญหาธรณีเทคนิคขั้นสูง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนี้หาได้จากการลากจากจุดเริ่มต้นของกราฟลากผ่านจุดวิบัติ ค่าความชันของเส้นนี้คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติ ซึ่งผลการทดสอบที่ผ่านมา สามารถหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติได้ดังตารางที่ 4.9 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 3.57 ถึง 14.43 ซึ่งอยู่ในช่วงดินเหนียวอ่อนมากตามตารางที่ 2.7

นอกจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติแล้ว จากกราฟค่าความเค้นเบี่ยงเบนต่อความเครียดแนวแกน ยังสามารถนำไปหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์ (Secant Modulus of Elasticity) ของตัวอย่างดิน จากค่าความเค้นสูงสุดที่จุดวิบัติ กำหนดจุดในกราฟเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความเค้นสูงสุด จากจุดที่กำหนดลากต่อไปยังจุดกำเนิด ค่าความชันของเส้นที่ลาก คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์ จากผลการทดสอบที่ผ่านมาสามารถหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 ความเครียดแนวแกนที่จุดวิบัติ

OCR	อุณหภูมิ (°C)	ความเครียดแนวแกนที่จุดวิบัติ (Axial strain at Failure),%			
		อัตรา			
		0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	8.5or6.0%ต่อนาที
1	30	12.73	11.44	13.32	9.75
	45	10.74	6.87	5.05	7.03
	60	5.03	5.73	3.57	6.28
2	30	14.16	16.30	11.77	9.58
	45	8.90	8.92	6.15	6.11
	60	5.76	6.13	4.43	5.50
4	30	9.87	12.49	11.70	10.03
	45	6.98	8.60	7.24	9.38
	60	4.21	6.07	5.84	5.11
8	30	12.52	10.72	12.18	14.43
	45	8.36	9.18	9.08	9.99
	60	4.97	7.09	8.08	7.96

ตารางที่ 4.9 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติ

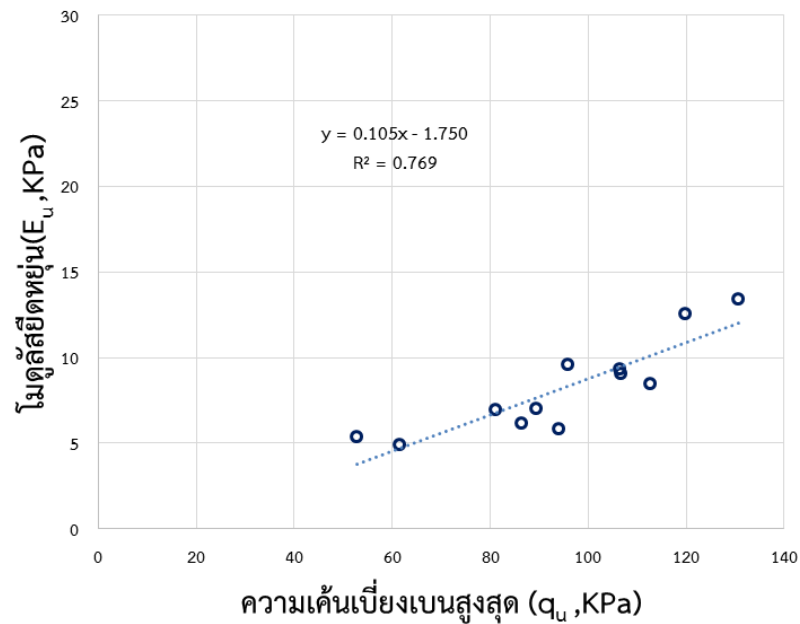
OCR	อุณหภูมิ	โมดูลัสยืดหยุ่นที่จุดวิบัติ (Modulus of Elasticity at Failure)			
		อัตราความเครียด (Rate)			
		0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	8.5or6.0%ต่อนาที
1	30	7.04	9.31	8.45	13.41
	45	10.02	14.98	24.14	18.78
	60	23.06	21.43	35.58	21.40
2	30	6.13	5.81	9.07	12.52
	45	10.54	11.43	18.03	20.29
	60	17.10	18.37	27.68	23.13
4	30	5.36	4.92	6.93	9.56
	45	8.26	7.89	11.67	10.08
	60	17.82	12.94	15.11	19.14
8	30	3.52	4.67	4.89	4.97
	45	5.51	5.62	6.77	6.86
	60	10.64	8.64	8.50	9.83

ตารางที่ 4.10 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์

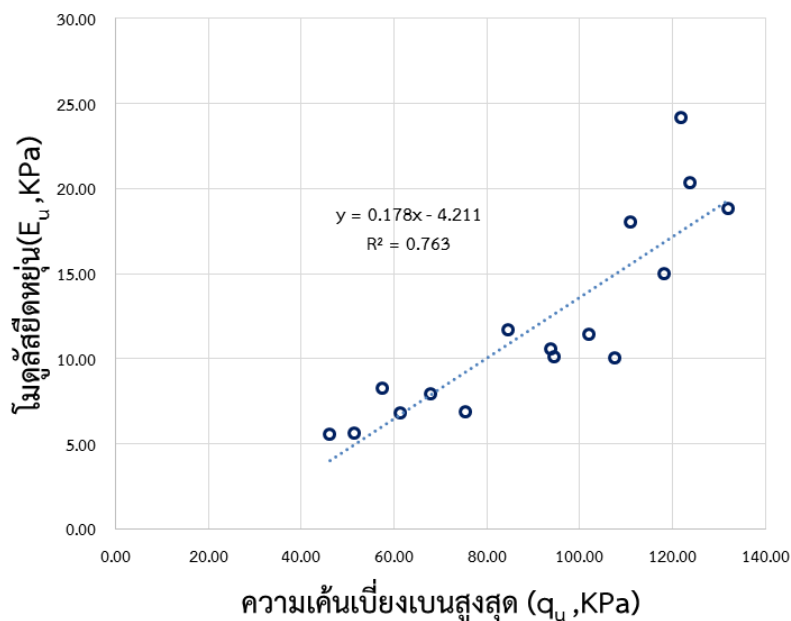
OCR	อุณหภูมิ	โมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนต์ (Secant Modulus of Elasticity)			
		อัตราความเครียด (Rate)			
		0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	8.5or6.0%ต่อนาที
1	30	32.54	45.60	68.59	63.72
	45	81.35	493.69	556.42	759.93
	60	369.95	615.64	673.60	481.73
2	30	33.58	36.86	44.49	77.17
	45	218.94	210.63	407.76	458.73
	60	173.67	69.91	351.22	314.07
4	30	20.43	15.42	33.51	30.04
	45	37.30	167.36	183.86	523.41
	60	429.10	238.36	295.41	313.97
8	30	14.41	13.15	26.90	49.71
	45	380.08	51.76	43.61	219.52
	60	501.17	17.38	112.34	155.73

รูปที่ 4.29 ถึง รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการทดสอบที่อุณหภูมิตั้ง 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมาหาความสัมพันธ์กับค่าความเค้นเบี่ยงเบนของการทดสอบทั้ง 2 อุณหภูมิจะได้ดังสมการ

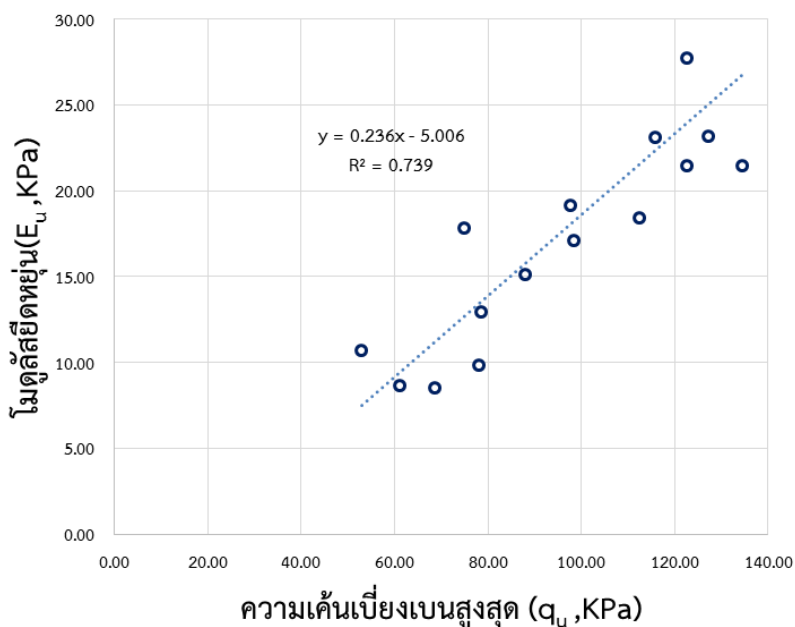
อุณหภูมิห้อง	$E_u=0.105(q_u)-1.750$
45 องศาเซลเซียส	$E_u=0.178(q_u)-4.211$
60 องศาเซลเซียส	$E_u=0.236(q_u)-5.006$



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากพั้งทดสอบที่อุณหภูมิตั้ง



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากผนังทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดของดินเหนียวปากผนังทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.3.3. ผลกระทบต่อเส้นทางความเค้น (stress paths)

พิจารณาเส้นทางความเค้น (stress paths) เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันของตัวอย่างดินเหนียวปากผนัง ในทุก ๆ กรณีค่าอัตราความเครียดแตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อเส้นทางความเค้นดังนี้

4.3.3.1 กรณีค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที

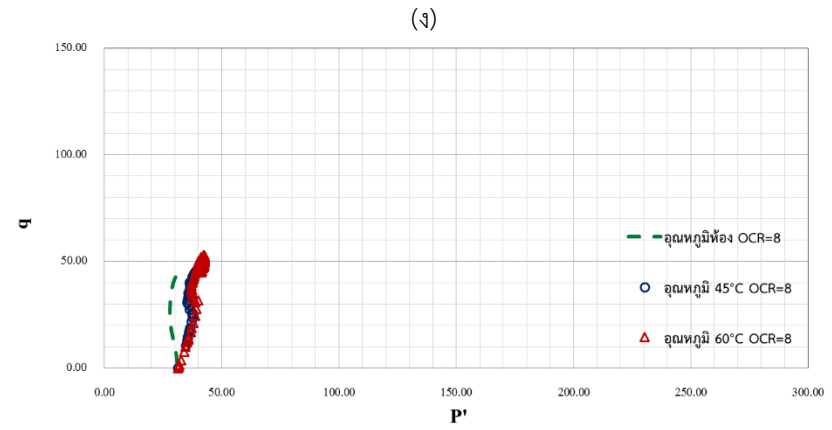
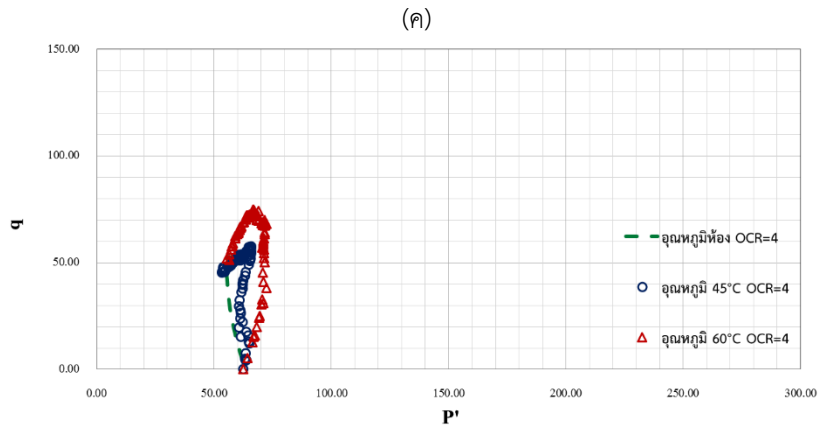
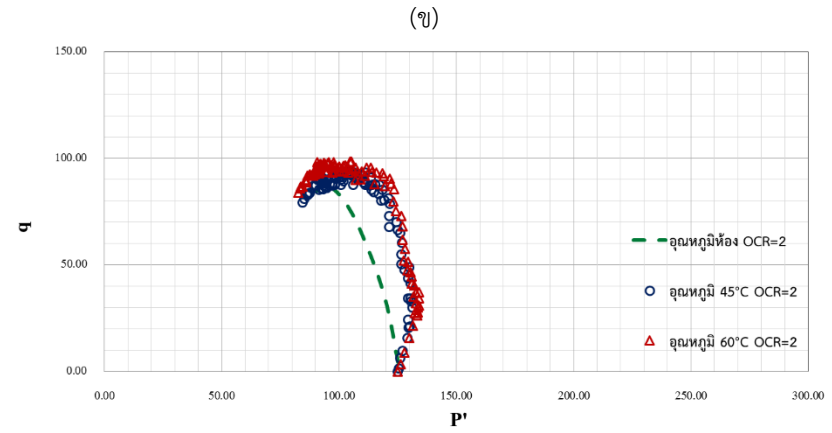
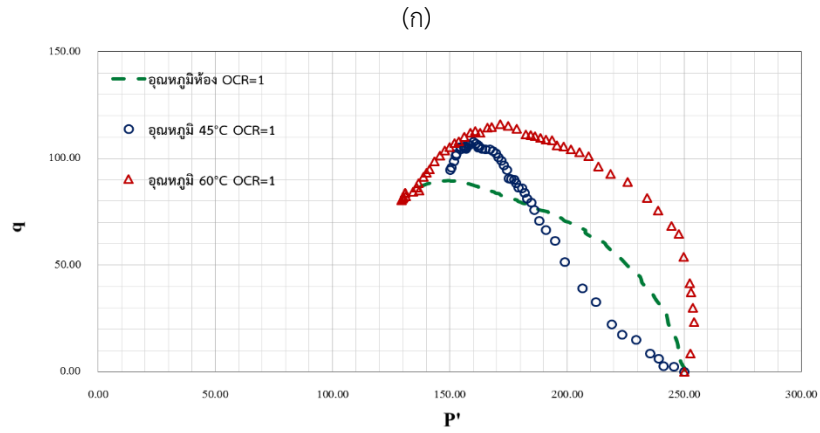
เมื่อพิจารณาเส้นทางความเค้น (stress paths) เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกัน ของตัวอย่างดินเหนียวปากพั้งใน กรณีค่าอัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที พบว่าเส้นทางความเค้น มีแนวโน้มย้ายไปทางซ้ายของกราฟที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกัน โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะอยู่ ทางด้านซ้ายสุด แต่สำหรับดินที่ให้อุณหภูมิกกราฟจะไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลใกล้เคียงกันในทุก ๆ สถานะ การอัดแน่นเกินตัว ต่อนาที ดังรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าการทดสอบที่ (ก) สถานะการอัดแน่นเกินตัว ปกติ (ข) สถานะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 และ (ค) สถานะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 เส้นทาง ความเค้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นและเบี่ยงไปทางซ้ายของเส้นทางความเค้นของการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า หลังจากนั้นจะวกกลับมาที่จุดสุดท้ายจุดเดียวกัน มีเพียง (ง) สถานะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 ที่เส้นทาง ความเค้นจะขยับไปทางซ้ายและไม่วกกลับมาจุดเดียวกับเส้นทางความเค้นของการทดสอบที่ อุณหภูมิต่ำกว่าจะขยับไปทางซ้ายนิดหน่อยเท่านั้น

เมื่อนำค่าเส้นทางความเค้นของแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวที่การเลื่อนด้วยอัตรา ความเครียด 0.02% ต่อนาที ซึ่งแสดงใน รูปที่ 4.33(ก) เป็นการเลื่อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เมื่อลากเส้นสถานะวิกฤติ (Critical state line, CSL) ซึ่งลากจากไปหาจุดสูงสุดของเส้นทางความเค้น ของตัวอย่างที่สถานะอัดแน่นปกติ ซึ่งเส้นทางวิกฤติของดินที่สถานะอัดแน่นเกินตัวมาก จะวิ่งจนอยู่ เหนือเส้นสถานะวิกฤติ และจะวิ่งกลับสู่เข้าหาเส้นเส้นทางวิกฤติ และเมื่อลากเส้นเชื่อมต่อกจากจุด สูงสุดท้ายของเส้นทางความเค้นที่สถานะอัดแน่นเกินตัวมาก จะได้เส้นของฮอฟสเลฟ (Hvorslev line) และในช่วงต้นของจะเริ่มต้นจากจุดตัดของเส้นช่วงแรงดึง (Tension cut-off) ซึ่งมีค่าอัตราส่วน $q/P' = 3$

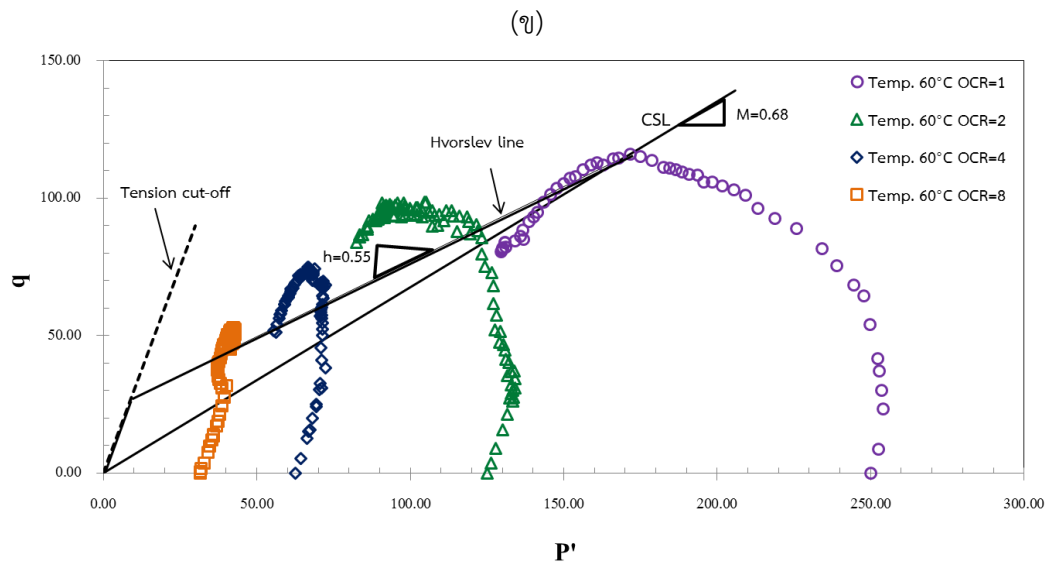
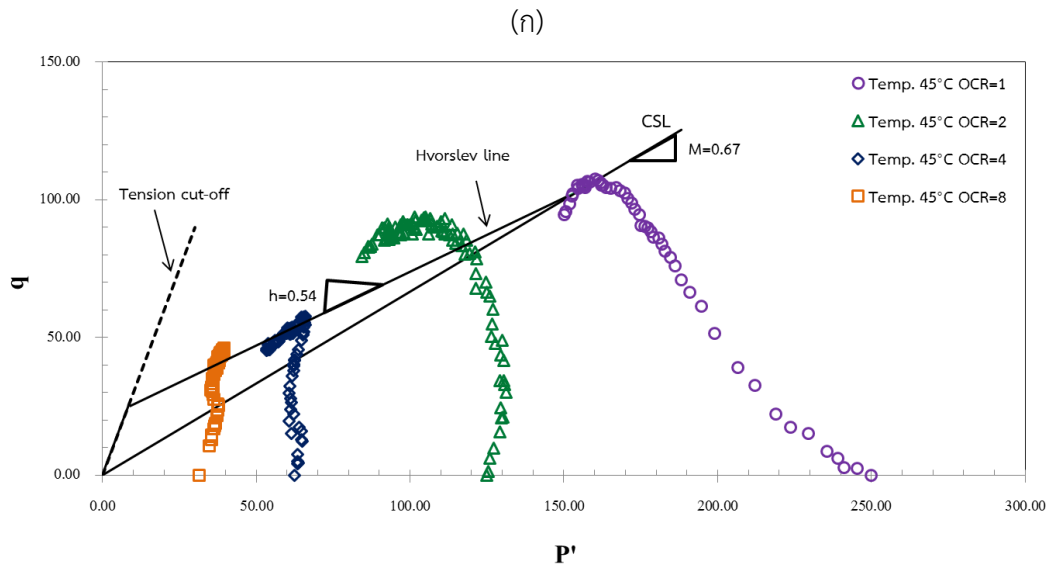
ในกรณีนี้ ความชันของเส้นสถานะวิกฤติมีค่าเท่ากับ 0.67 ซึ่งใกล้เคียงกับความชัน เส้นสถานะวิกฤติของตัวอย่างที่เลื่อนภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.33(ข) ซึ่งมี ค่าเท่ากับ 0.68 และเมื่อพิจารณาความชันเส้นของฮอฟสเลฟซึ่งทั้ง 2 อุณหภูมิต่ำกว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ 0.54 และ 0.55 ตามลำดับ

4.3.3.2 กรณีค่าอัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที

เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันของตัวอย่างดินเหนียวปากพั้ง ที่อัตรา ความเครียด 0.075% ต่อนาที พบว่า เส้นทางความเค้นมีลักษณะของกราฟที่ใกล้เคียงกัน เกือบจะ ซ้อนทับกันในการทดสอบที่มีอุณหภูมิต่างกัน นอกจากนี้เส้นทางความเค้นของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมี แนวโน้มที่จะย้ายไปทางซ้ายของกราฟอุณหภูมิต่ำกว่า จากรูปที่ 4.34(ก) จุดสุดท้ายของเส้นทางความ เค้นใกล้เคียงกับจุดสุดท้ายของเส้นทางความเค้นที่อุณหภูมิต่ำกว่ามากเพียงขยับไปทางขวาเล็กน้อย สำหรับสถานะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 รูปที่ 4.34(ข) เส้นทางความเค้นในช่วงต้นเกือบจะซ้อนทับ กัน แต่ในช่วงท้ายมีการขยับออกจากกันบ้าง สำหรับในสถานะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 รูปที่ 4.34(ค) และสถานะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 รูปที่ 4.34(ง) เส้นทางความเค้นของการทดสอบที่ให้อุณหภูมิต่ำกว่า เกือบซ้อนทับเป็นเส้นเดียวกัน แต่จุดสุดท้ายของกราฟมีการขยับไปทางซ้ายเล็กน้อย

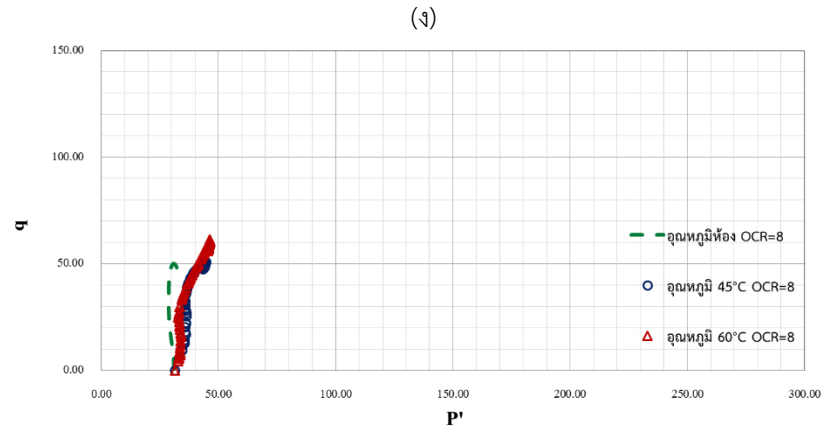
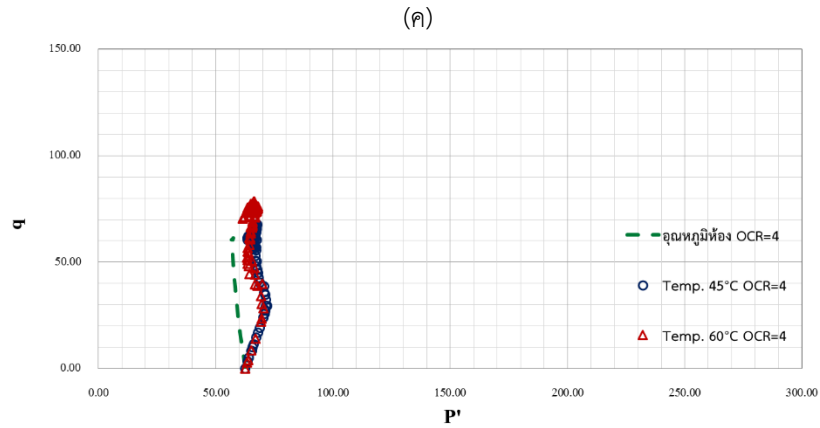
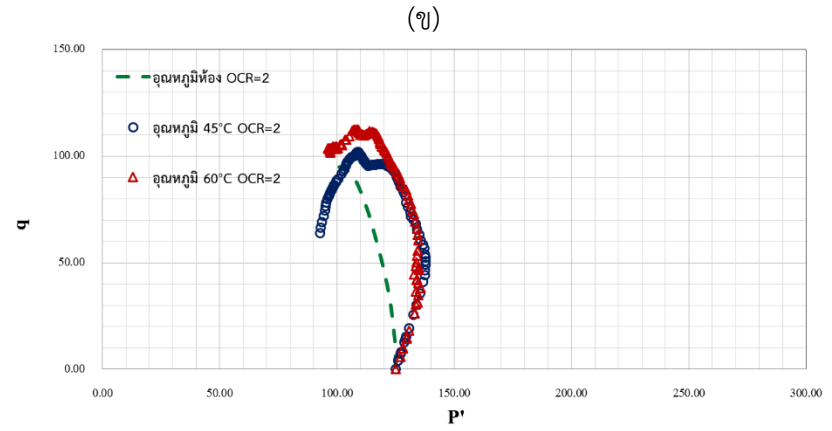
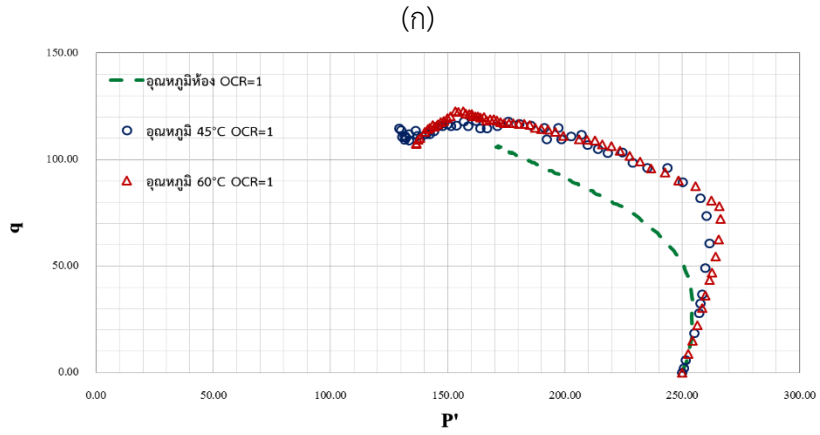


รูปที่ 4.32 เส้นทางการค้ำของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 0.02%ต่อนาที
 (ก) OCR=1 , (ข) OCR=2 , (ค) OCR=4 , (ง) OCR=8



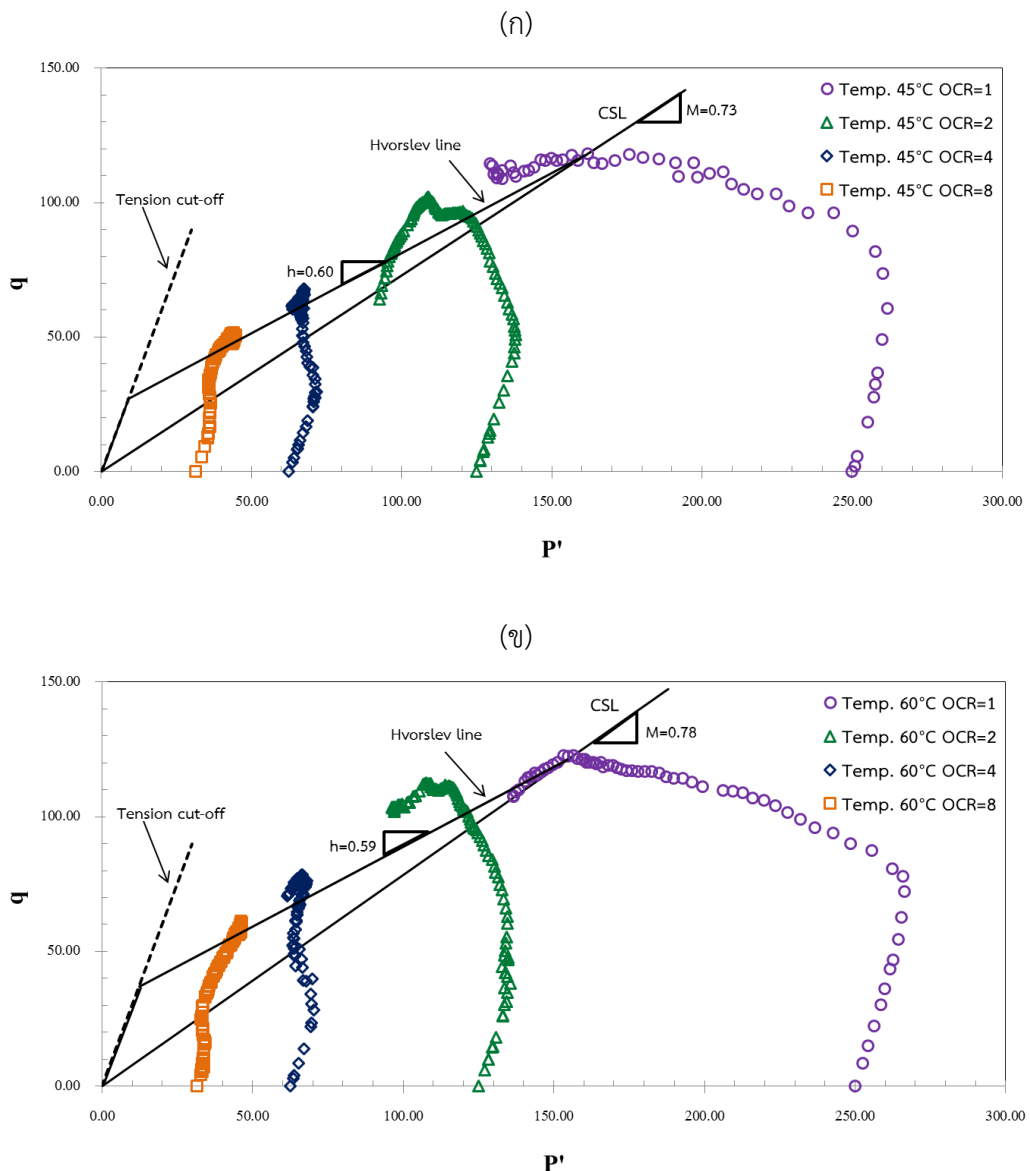
รูปที่ 4.33 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกันอัตราความเครียด 0.02% ต่อ นาที

(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



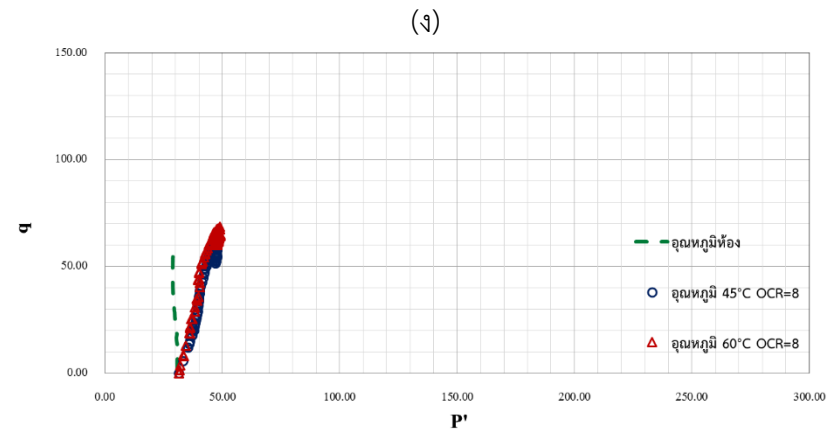
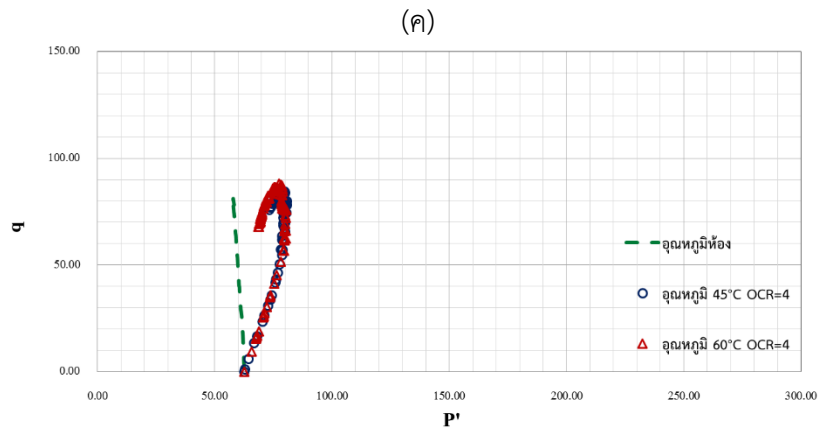
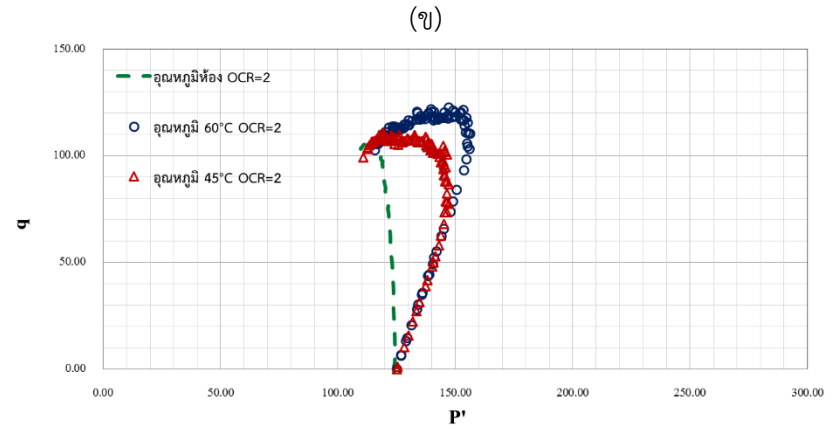
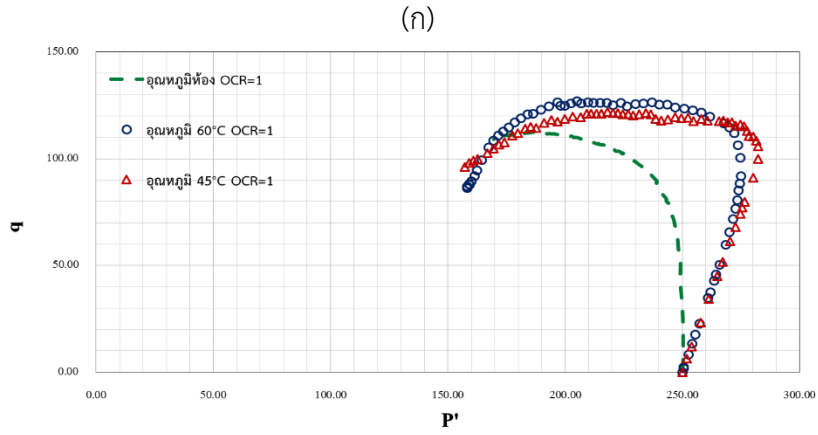
รูปที่ 4.34 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 0.075%ต่อนาที
 (ก) OCR=1 , (ข) OCR=2 , (ค) OCR=4 , (ง) OCR=8

เมื่อนำค่าเส้นทางความเค้นของแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวที่การเฉือนด้วยอัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที มารวมกัน ในรูปที่ 4.35(ก) เป็นการเฉือนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และ รูปที่ 4.35(ข) เป็นการเฉือนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อลากเส้นสถานะวิกฤติ จะได้ความชันของเส้นสถานะวิกฤติมีค่าเท่ากับ 0.73 และ 0.78 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าความชันที่ทดสอบด้วยอัตราความเครียด 0.02 % ต่อนาที และเมื่อพิจารณาความชันเส้นของฮอฟสลิฟซึ่งทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ 0.60 และ 0.59 ตามลำดับ ความชันเส้นของฮอฟสลิฟก็มีค่ามากกว่าความชันเส้นของฮอฟสลิฟที่ทดสอบด้วยอัตราความเครียด 0.02 % ต่อนาทีเช่นกัน



รูปที่ 4.35 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 0.075% ต่อ นาที

(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

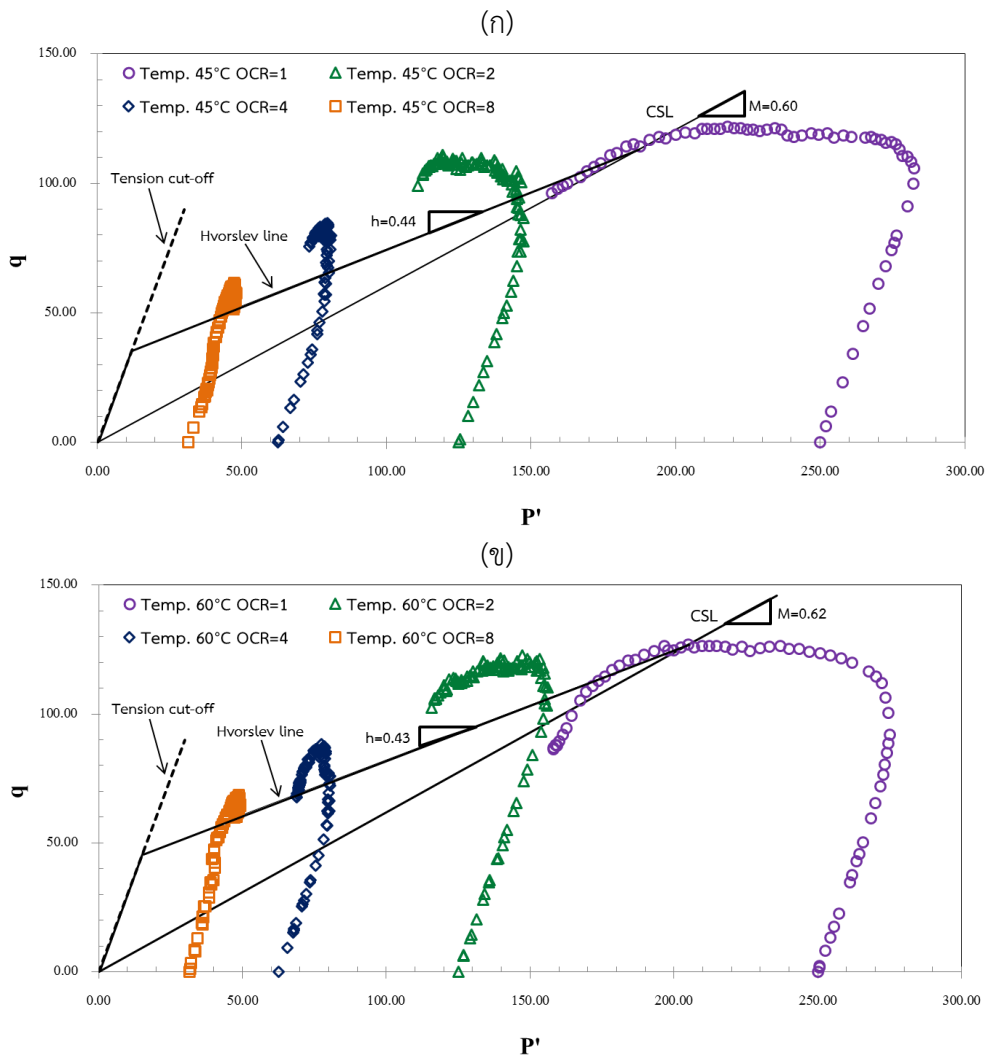


รูปที่ 4.36 เส้นทางความเค้นของตัวอย่าง ที่อัตราความเครียด 1.0%ต่อนาที
 (ก) OCR=1 , (ข) OCR=2 , (ค) OCR=4 , (ง) OCR=8

4.3.3.3 กรณีค่าอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที

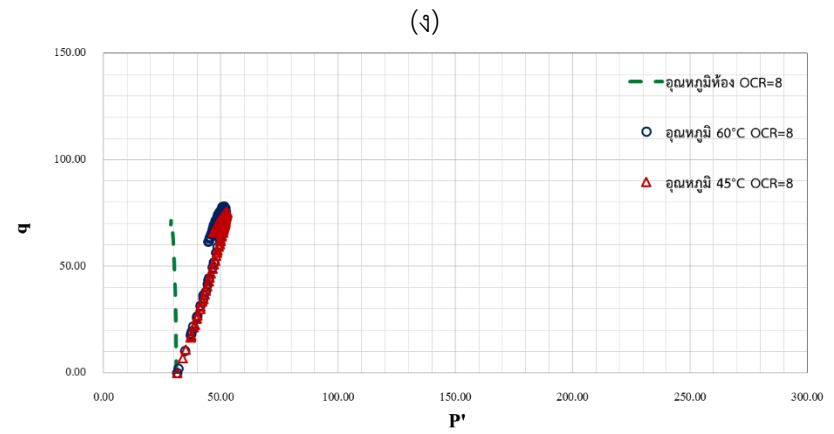
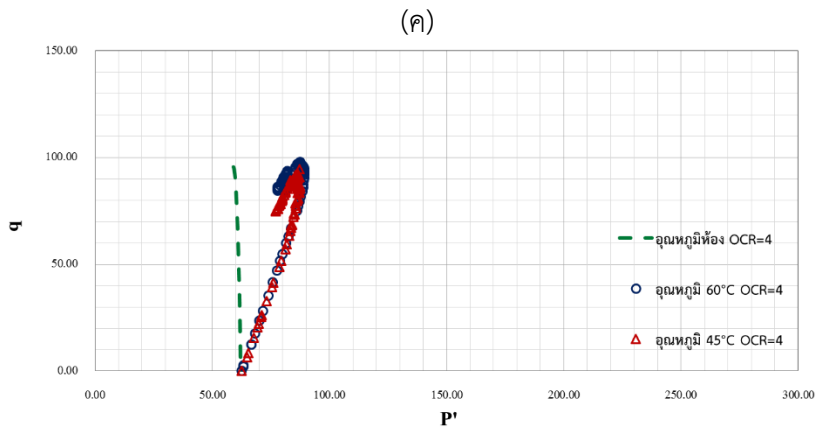
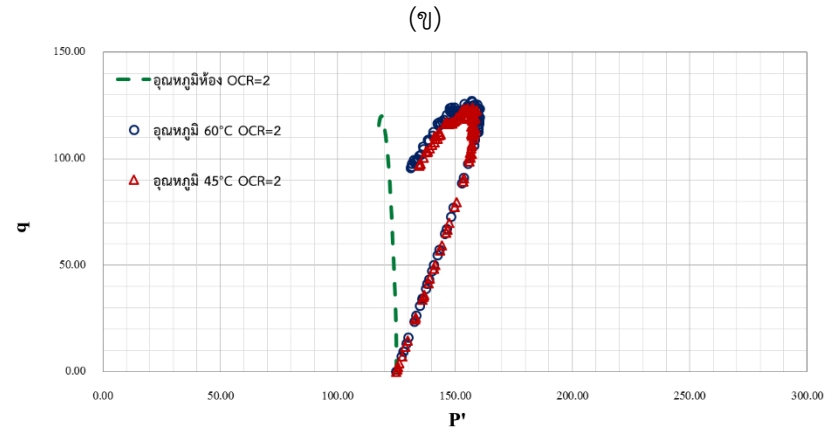
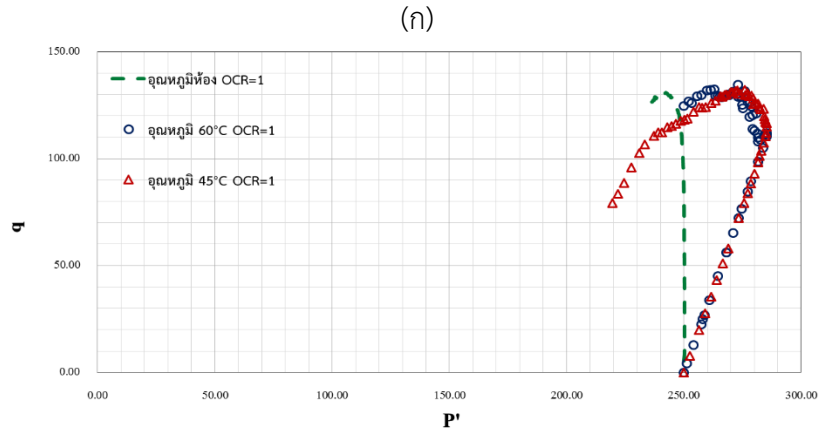
เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันของตัวอย่างดินเหนียวปากผนังที่อัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที พบว่าเส้นทางความเค้นมีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกัน เส้นทางความเค้นของตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงมีแนวโน้มย้ายไปทางซ้ายของกราฟอุณหภูมิห้องดังรูปที่ 4.36

เมื่อลากเส้นสถานะวิกฤติโดยนำค่าเส้นทางความเค้นของแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวที่การเฉือนด้วยอัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที มารวมกันดังรูปที่ 4.37(ก) และรูปที่ 4.37(ข) เป็นการเฉือนที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะได้ความชันของเส้นสถานะวิกฤติที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับการทดสอบด้วยการเฉือนช้า คือ มีค่าเท่ากับ 0.60 และ 0.62 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความชันเส้นของฮอฟสลิฟซึ่งทั้งอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความชัน 0.44 และ 0.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 เส้นทางความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 1.0% ต่อ นาที

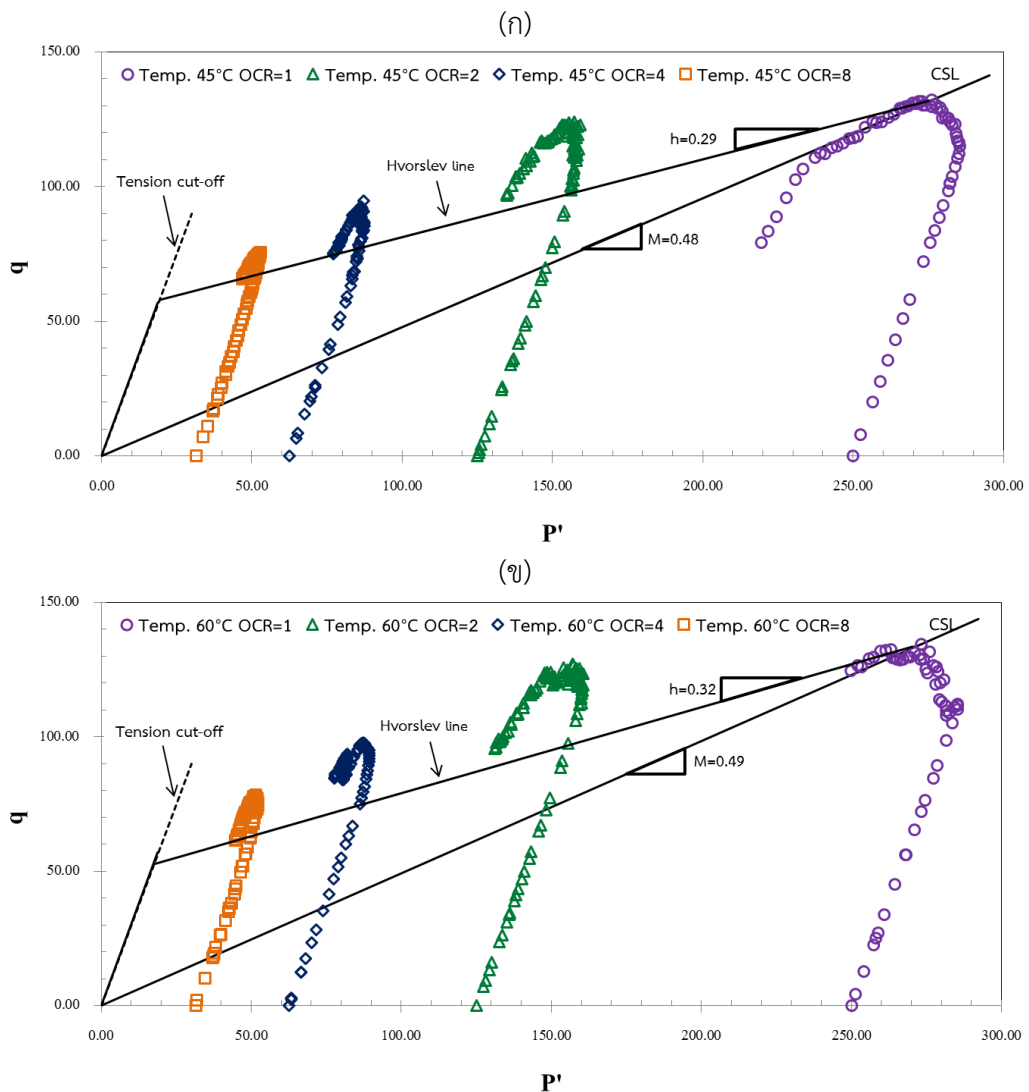
(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.38 เส้นทางการคายน้ำของตัวอย่าง ที่อัตราความเคียด 6.0% ต่อหน้าที่
 (ก) OCR=1 , (ข) OCR=2 , (ค) OCR=4 , (ง) OCR=8

4.3.3.4 กรณีค่าอัตราความเครียด 6.0% ต่อนาที

เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันของตัวอย่างดินเหนียวปากพั้ง ที่อัตราความเครียด 6.0% ต่อนาที พบว่า เส้นทางการความเค้นมีลักษณะของกราฟที่ใกล้เคียงกัน แต่ไม่ซ้อนทับกันในแต่ละอุณหภูมิ นอกจากนี้เส้นทางการความเค้นของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิมากจะมีแนวโน้มที่จะย้ายไปทางซ้ายของกราฟพยุฆุมมิห้อง โดยที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจะอยู่ทางด้านซ้ายสุด แต่สำหรับดินที่ให้อุณหภูมิกกราฟจะไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 เส้นทางการความเค้นที่ค่าการอัดแน่นเกินตัวแตกต่างกัน อัตราความเครียด 6.0% ต่อ นาที

(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เมื่อนำค่าเส้นทางความเค้นของแต่ละอัตราการอัดแน่นเกินตัวที่การเค้นด้วยอัตราความเครียด 6.0% ต่อหน้าที่ซึ่งเป็นการเค้นที่เร็วที่สุด มาลากเส้นสถานะวิกฤติ ได้ดังรูปที่ 4.39(ก) เป็นการเค้นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และรูปที่ 4.39(ข) เป็นการเค้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อลากเส้นสถานะวิกฤติ จะได้ความชันของเส้นสถานะวิกฤติมีค่าเท่ากับ 0.48 และ 0.49 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความชันที่การทดสอบด้วยอัตราความเครียดที่ผ่านมา และเมื่อพิจารณาความชันเส้นของฮอฟสลิฟซึ่งทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ 0.29 และ 0.32 ตามลำดับ ความชันเส้นของฮอฟสลิฟก็มีค่ามากกว่าความชันเส้นของฮอฟสลิฟที่ทดสอบด้วยอัตราความเครียด 0.02 % ต่อหน้าที่เช่นกัน

เมื่อนำความชันของเส้นสถานะวิกฤติของตัวอย่างที่ทดสอบที่อุณหภูมิห้องมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทดสอบที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าความชันของเส้นสถานะวิกฤติเพิ่มขึ้นเมื่อดินได้รับอุณหภูมิก่อนการเค้นดังแสดงในตารางที่ 4.11 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัครเดช (2552) ได้ค่าความชันอยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 0.68 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราความเครียด 0.02% และ 0.075% ต่อหน้าที่ ความชันของเส้นสถานะวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม แต่ที่อัตราความเครียด 1.0% และ 6.0% ต่อหน้าที่ ความชันของเส้นสถานะวิกฤติจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม เมื่อนำค่าความชันของเส้นฮอฟสลิฟของการทดสอบที่อุณหภูมิห้องมาพิจารณาร่วมกับการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าค่าความชันของเส้นฮอฟสลิฟมีค่ามากขึ้นเมื่อดินได้รับอุณหภูมิ ดังตารางที่ 4.9 โดยเฉพาะกรณีการเค้นด้วยอัตราความเครียดต่ำ แต่จะไม่ส่งผลต่อกรณีการเค้นด้วยอัตราความเครียดเร็ว เนื่องจากการเค้นเร็วส่งผลให้อนุภาคจัดเรียงตัวไม่ทันผลกระทบของอุณหภูมिन้อย

ตารางที่ 4.11 ความชันของเส้นสถานะวิกฤติที่อุณหภูมิและอัตราต่างกัน

อุณหภูมิ	ความชันของเส้นสถานะวิกฤติ			
	อัตราความเครียด			
	0.02% ต่อหน้าที่	0.075% ต่อหน้าที่	1.0% ต่อหน้าที่	6.0% ต่อหน้าที่
อุณหภูมิห้อง	0.60	0.67	0.71	0.50
45	0.67	0.73	0.60	0.48
60	0.68	0.78	0.62	0.49

ตารางที่ 4.12 ความชันของเส้นฮอฟสลิฟที่อุณหภูมิและอัตราต่างกัน

อุณหภูมิ	ความชันของเส้นฮอฟสลิฟ			
	อัตราความเครียด			
	0.02% ต่อหน้าที่	0.075% ต่อหน้าที่	1.0% ต่อหน้าที่	6.0% ต่อหน้าที่
อุณหภูมิห้อง	0.35	0.46	0.42	0.33
45	0.54	0.60	0.44	0.29
60	0.55	0.59	0.43	0.32

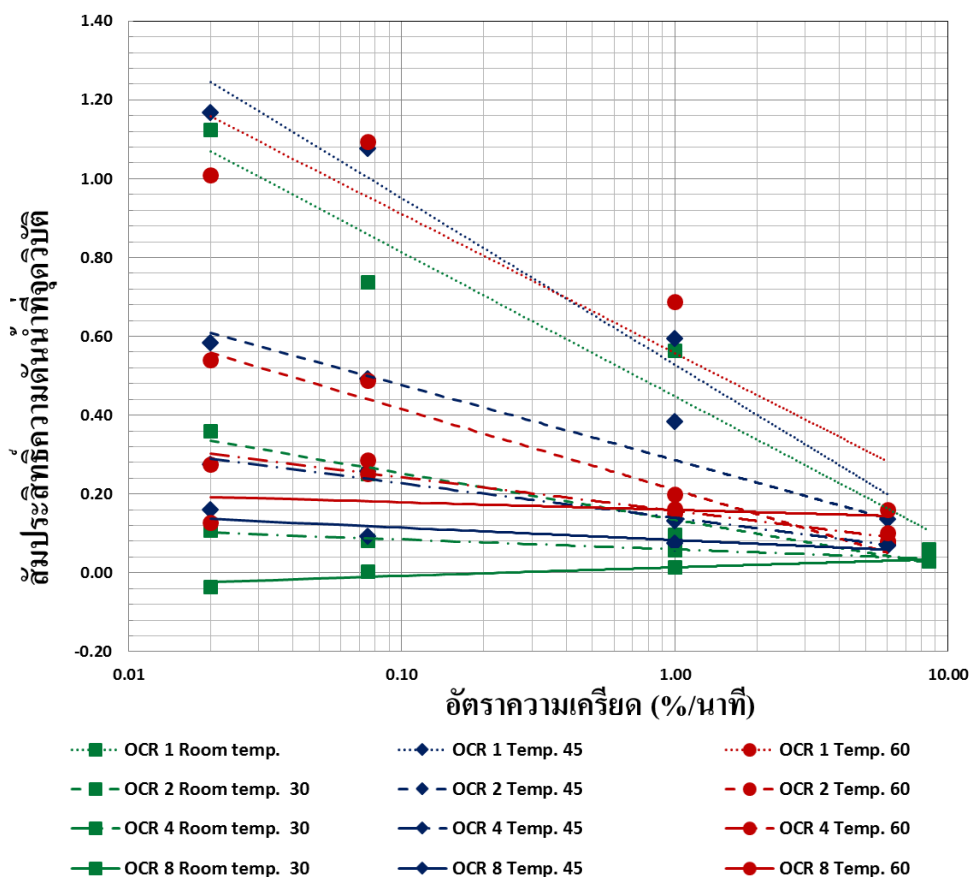
4.3.4. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำ A

Pore pressure parameter A เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความดันน้ำที่ได้ในขณะทำการทดสอบแรงอัดสามแกน โดยค่าสัมประสิทธิ์นี้สามารถใช้แสดงถึงชนิดของดินและสภาพของการรับน้ำหนักบรรทุกที่ผ่านมาในอดีต โดยค่าพารามิเตอร์ A ที่จุดวิกฤติของดินเรียกว่า parameter A at failure (A_f) โดยค่าของ A_f ของดินเหนียวปากพั้งที่ทำการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิจึงอัตราเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่อุณหภูมิจึงของศิริพรแสดงในตารางที่ 4.13

สัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติ โดนมากพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิจึงที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิจึง 45 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักโดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิจึงเพิ่ม และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการเอื้อนสูงขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของการอัดแน่นเกินตัวที่เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำจะลดลง

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของความดันน้ำที่จุดวิกฤติของดินเหนียวปากพั้ง

OCR	อุณหภูมิจึง	สัมประสิทธิ์ของความดันน้ำ A_f (Parameter A at Failure)			
		อัตราการความเครียด			
		0.02%ต่อนาที	0.075%ต่อนาที	1.0%ต่อนาที	6.0%ต่อนาที
1	30	1.124	0.738	0.564	0.059
	45	1.168	1.077	0.595	0.136
	60	1.010	1.093	0.688	0.161
2	30	0.361	0.251	0.098	0.052
	45	0.585	0.493	0.383	0.073
	60	0.541	0.488	0.152	0.081
4	30	0.108	0.082	0.059	0.038
	45	0.275	0.259	0.132	0.071
	60	0.275	0.286	0.163	0.079
8	30	-0.035	0.005	0.015	0.030
	45	0.159	0.092	0.075	0.070
	60	0.127	0.250	0.200	0.101



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติกับอัตราความเครียด

จากข้อมูลตารางที่ 4.13 สามารถสรุปค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติของดินเหนียวปากผนังที่อุณหภูมิต่างกัน ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาอัตราความเครียดที่ใช้ในการเนียนตัวอย่างจะเห็นได้ว่าเมื่อเนียนด้วยอัตราความเครียดช้าจะมีความสัมพันธ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติสูงกว่าการเนียนด้วยอัตราความเครียดเร็ว ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันน้ำส่วนเกินจะเห็นชัดเมื่อดินมีอัตราการอัดแน่นเกินตัวสูงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ความชันของเส้นแนวโน้มเชิงเส้นของสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิบัติ

อุณหภูมิ	OCR = 1	OCR = 2	OCR = 4	OCR = 8
อุณหภูมิห้อง	-0.159	-0.051	-0.001	0.009
45°C	-0.184	-0.083	-0.038	-0.014
60°C	-0.153	-0.089	-0.037	-0.008

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราที่มีต่อพฤติกรรมด้านกำลังของดินเหนียวปากพั้ง โดยแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วน คือการพัฒนาเครื่องมือ การศึกษาคุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวปากพั้ง และทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ ที่ค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 1 2 4 และ 8 ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และเดือนด้วยอัตราความเครียด 4 อัตรา คือ 0.02%, 0.075%, 1.0% และ 6.0% ต่ออนาที จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่อุณหภูมิห้อง สามารถสรุปผลการทดสอบทั้งหมดได้ดังนี้

5.1. พัฒนาเครื่องมือ

1. พัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำการทดสอบได้ถึง 80 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้ในห้องทดสอบมีอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เพราะเนื่องจากต้องการทดสอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ จึงเลือกทดสอบที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
2. การให้ความร้อนที่เหมาะสมเพื่อการไล่ระดับอุณหภูมิในตัวอย่าง คือประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อ 30 นาที เนื่องจากศูนย์กลางของตัวอย่างเป็นที่ที่ห่างไกลที่สุดจากแหล่งให้ความร้อน 30 นาทีถือว่าเป็นเวลาที่ให้เหมาะสมในการกระจายอุณหภูมิภายในตัวอย่างคงที่

5.2. ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวปากพั้ง

- 5.2.1. อุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของดินเหนียวปากพั้ง
- 5.2.2. ดินเหนียวปากพั้งมีส่วนประกอบของแร่เป็น ควอตซ์ เกลินไนท์ และอิลไลต์ มีแร่ดินเหนียวหลักอยู่ในกลุ่มเกลินไนท์ มีองค์ประกอบหลักทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก
- 5.2.3. อุณหภูมิส่งผลต่อค่าขีดพิกต์พลาสติกและค่าขีดจำกัดเหลวของดินเหนียวปากพั้ง โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ดินขีดจำกัดเหลวลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของค่าขีดพิกต์พลาสติกมีการลดลง โดยดินที่ปล่อยให้แห้งเองจะมีค่าขีดพิกต์พลาสติกร้อยละ 36.9 ค่าขีดจำกัดเหลวร้อยละ 109.0 ค่าดัชนีพลาสติกได้ 72.1 และค่าขีดพิกต์พลาสติกและค่าขีดจำกัดเหลวกับตัวอย่างดินเหนียวปากพั้งที่ได้รับการให้อุณหภูมิที่อุณหภูมิแตกต่างกันถึง 110 องศาเซลเซียส มีค่าขีดจำกัดเหลวร้อยละ 70.7 มีค่าลดลง ในส่วนของค่าขีดพิกต์พลาสติกมีการลดลงเล็กน้อยอยู่ที่ร้อยละ 31.0
- 5.2.4. เมื่อพิจารณาค่าขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างที่ทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงได้ร้อยละ 65 ของค่าขีดจำกัดเหลวของตัวอย่างทำให้แห้งโดยอากาศมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 จึงจำแนกดินประเภทนี้เป็นดินอินทรีย์ (O) และนำไปแสดงในแผนภูมิ

พลาสติกซีต (plasticity chart) พบว่าดินเหนียวปากพั้งเป็นดินเหนียวอินทรีย์ซีตจำกัดเหลวสูง (high liquid limit organic clay ,OH)

5.3. ผลของอุณหภูมิต่อกำลังของดินเหนียวปากพั้ง

5.3.1. อุณหภูมิมีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของดินเหนียวปากพั้ง ทดสอบที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ที่อัตราความเครียด 0.02% ต่อนาที มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด 111.78 และ 118.58 กิโลปาสคาล ตามลำดับ การเฉือนด้วยอัตราความเครียด 0.075% ต่อนาที เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 121.35 และ 127.00 กิโลปาสคาล ตามลำดับ อัตราความเครียด 1.0% ต่อนาที ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 125.49 และ 129.43 กิโลปาสคาล ลำดับ การเฉือนด้วยอัตราเร็วที่สุดด้วยอัตราความเครียด 6.0% ต่อนาที มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 129.43 และ 131.03 กิโลปาสคาล ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวปากพั้งสามารถรับแรงได้มากขึ้นเช่นเดียวกับการทดสอบในดินเหนียวกรุงเทพฯ

5.3.2. แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นในขณะการเฉือนของตัวอย่างทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะกราฟที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้ทราบว่าผลของแรงดันน้ำไม่ได้บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของกำลังของดิน

5.3.3. ดินที่อุณหภูมิต้องจะถึงจุดวิบัติอยู่ที่ประมาณ 12.1 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแนวแกน ดินที่ได้รับอุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส มีจุดวิบัติอยู่ที่ประมาณ 8.3 และ 6.2 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแนวแกน ตามลำดับ

5.4. ผลของอัตราความเครียดต่อกำลังของดินเหนียวปากพั้ง

5.4.1. อัตราความเครียดในแนวแกนมีผลให้ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราความเครียดเร็วขึ้นในทุกค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวและอุณหภูมิ ดินเหนียวปากพั้งมีคุณสมบัติทางของการตอบสนองด้านอัตราความเครียดแบบไม่เชิงเส้นเช่นเดียวกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ทั้งนี้ลักษณะของอัตราความไม่เชิงเส้นในทุกๆ ค่าของอัตราการอัดแน่นเกินตัวและอุณหภูมิ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ผลกระทบของอัตราความเครียดแสดงเด่นชัดในผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิต้อง เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างสูงขึ้นจะเห็นผลกระทบของอัตราได้น้อยลง ในทุกอัตราการอัดแน่นเกินตัว

5.4.2. แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดในขณะทำการเฉือนจะมีค่าสูงเมื่อเฉือนด้วยอัตราความเครียดที่น้อย และแรงดันน้ำส่วนเกินจะมีค่าน้อยเมื่อเฉือนด้วยอัตราความเครียดที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราความเครียดที่เร็วมีผลต่อการกระจายตัวของแรงดันน้ำในมวลดินที่ไม่สม่ำเสมอ รวมถึงการจัดเรียงตัวได้ไม่สมบูรณ์ของโมเลกุลของเม็ดดิน

5.5. ผลของอุณหภูมิและอัตราความเครียด

5.5.1. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนช่วยลดการดูดซึมน้ำรอบอนุภาคดิน จึงทำให้อนุภาคสามารถสัมผัสกันได้ใกล้ชิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการต่อต้านการเสีรูบไต ๆ หากอัตราการเคลื่อนตัวที่สูงด้วยการจะทำให้ค่าความเค้นเปื่อยเบนที่สูงด้วย

5.5.2. ความชื้นของเส้นสถานะวิกฤติมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราความเครียด 0.02% และ 0.075% ต่อหน้าที่ ความชื้นของเส้นสถานะวิกฤติจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม แต่ที่อัตราความเครียด 1.0% และ 6.0% ต่อหน้าที่ ความชื้นของเส้นสถานะวิกฤติจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม เมื่อนำค่าความชื้นของเส้นฮอฟสลิฟของการทดสอบที่อุณหภูมิห้องมาพิจารณาร่วมกับการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าค่าความชื้นของเส้นฮอฟสลิฟมีค่ามากขึ้นเมื่อดินได้รับอุณหภูมิ

5.5.3. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำที่จุดวิกฤติมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักโดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการเฉือนสูงขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการอัดแน่นเกินตัวที่เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันน้ำจะลดลง

5.6. ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเงื่อนไขการให้ความร้อนแบบระบายน้ำ เพื่อให้ได้รับความเข้าใจที่ชัดเจนขึ้น ควรศึกษาต่อในเงื่อนไขการให้ความร้อนแบบไม่ระบายน้ำด้วย

2. การทดสอบสามแกนสามารถทดสอบได้ทั้งแบบแรงดึงและแรงอัด ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบแบบแรงอัด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาจึงควรทดสอบแบบแรงดึงเพิ่มด้วย

บรรณานุกรม

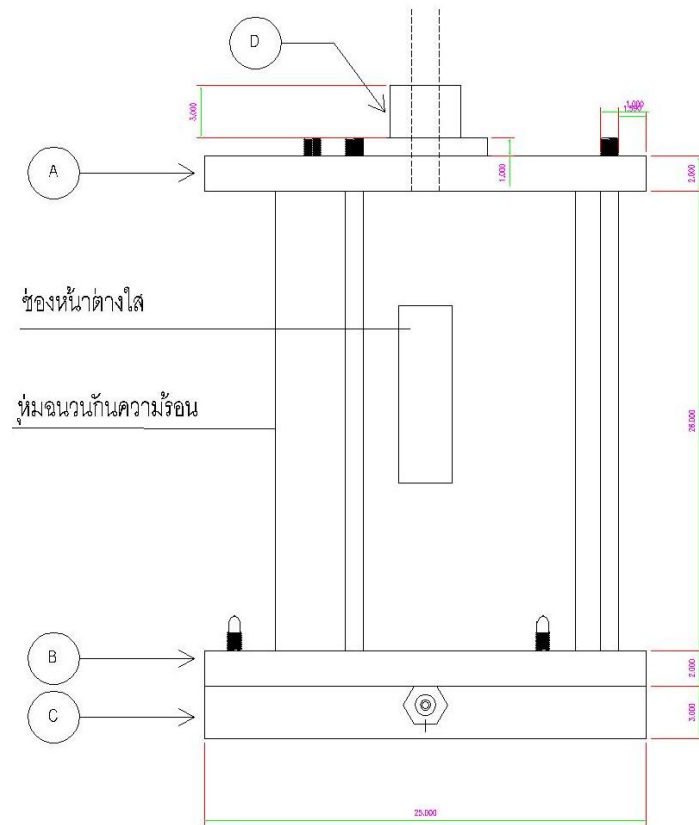
- เพิ่มพร บัวทอง, และ พิสิทธิ์ ชัดดีวัฒนกุล. 2548. ผลของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพฯ. *วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10*. ชลบุรี : GTE 160-GTE 165.
- ฉกาจ ดำรงค์เกียรติ. 2552. ประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนอากาศฝังดิน กรณีศึกษา : หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์. วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ชูศักดิ์ ศิริรัตน์. 2552. Consistency Limits. สื่อการสอนวิชา Soil Mechanics Laboratory. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- ศิริพร ชีวะกุล, ธนันท์ ชูอุปการ, และ ธนกร ชมพูรัตน์ . 2556. ผลกระทบของอัตราความเครียดต่อพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของดินเหนียวอ่อนปากพนัง. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*. เชียงใหม่.
- สมศรี ฤทธิดำ. 2544. การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดินในแต่ละระดับความลึก. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 5-7 กุมภาพันธ์ 2544*. กรุงเทพฯ : 504-510.
- สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ. 2549. คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์. เล่มที่ 1.
- สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. ปฐพีกลศาสตร์ : หลักการพื้นฐาน. 1. แก้ไขโดย ทิพยวรรณ โทละสุด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- อภิชัย จุฑาศิริวงศ์. 2546. สภาพทางธรณีและลักษณะของชั้นดินในบริเวณภาคใต้. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- อมร พیمانมาศ, ภาณุวัฒน์ จ้อยกัลด, และ ปรีดา ไชยมหาวัน. 2556. วิศวกรรมธรณีเทคนิคเบื้องต้น. สภาวิศวกร.
- อัครเดช แซ่จิ๋ว. 2552. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนปากพนัง. สงขลา: สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมธรณีเทคนิค), คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อัครเดช แซ่จิ๋ว, ธนิต เฉลิมยานนท์, และ พิพัฒน์ ทองฉิม. 2551. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนปากพนัง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13*. ชลบุรี.
- Abuel-Naga, H.M., Bergado, D.T., and S. Chaiprakaikeow, 2006. Innovative thermal technique for enhancing the performance of prefabricated vertical drain during the preloading process. *In Geotextiles and Geomembranes 24* : 359–370.
- American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. *ASTM International* : ASTM D4767-04.
- Anonymous. 1998. Geothermal Energy. In The Association for the Promotion and Advancement of Science Education. San Francisco: APASE.

- ASTM D4 7 6 7 - 0 4 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. In Annual Book of ASTM Standards. n.d.
- Craig, G. 1997. Clinical calculations using dimensional analysis. Philadelphia, Lippincott-Raven.
- Deshpande, V.S., and Cebon, D., 1999. Steady-state constitutive relationship for idealised asphalt mixes. *In Mechanics of Materials 31: 271-287.*
- Head, K.H. 1986. Manual of soil laboratory testing. 3 vols. London: Pentech Press.
- Ladd, C., Foot, R., Ishihara, K., Schlosser, F., and Poulos, H. 1977. Stress-deformation and strength characteristics. *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engng*, 2 ed.: 421-494.
- Lagurous, and J., G. 1969. Effects of temperature on some engineering properties of clay soils. *Proceedings of an International Conference on Effects of Temperature and Heat on Engineering Behavior of Soils: 189-193.*
- Lambe, T., William, and Robert, W. 1969. Soil Mechanics. Wiley.
- MARUI&CO.,LTD. marui-group.co.jp. n.d. <https://www.marui-group.co.jp/en/>.
- Mitchell, J.K., and Soga, K. 2005. Fundamentals of soil behavior. Wiley.
- Moritz, Lovisa. Geotechnical Properties of Clay at Elevated Temperatures. Report 47 vols. Sweden: Roland Offset, 1995.
- Morten, L., Augustesen, A., Lade, P.V., and Member ASCE. 2002. OBSERVED TIME DEPENDENT BEHAVIOR OF SOIL. *In ASCE Engineering Mechanics Conference.* New York.
- SEIKEN,INC. Soil & Rock Testing Apparatus. n.d. <http://www.seikensha.com/>.
- Sherif, M.A., and Burrous C.M. . 1969. Temperature Effects on The Confined Shear Strength of Saturated. Cohesive Soil. *Proceedings of n International Conference on Effects of Temperature and Heat on engineering Behavior of Soils.* Highway Research Board: 267-272.
- Skempton. 1954. The Pore-Pressure Coefficients A and B. *Geotechnique Vol. 4: 143-147.*
- Subramanian, N. 2010. Properties of Soils. Design of Steel Structures.
- Tanaka, N., Graham, J., and Crilly, T. 1997. Stress-strain behaviour of reconstituted illitic clay at different temperatures. *Engineering Geology: 339-350.*
- Terzaghi, K. 1925. Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage. Franz Deuticke.
- Terzaghi, K. 1934. Large Retaining Wall Tests. Engineering News Record.
- Towhata, I., Kuntiwattanakul P., Seko, I., and et al. 1993. Volume change of clays induced by heating as observed in consolidation tests. *Soils and Foundation: 170 - 183.*

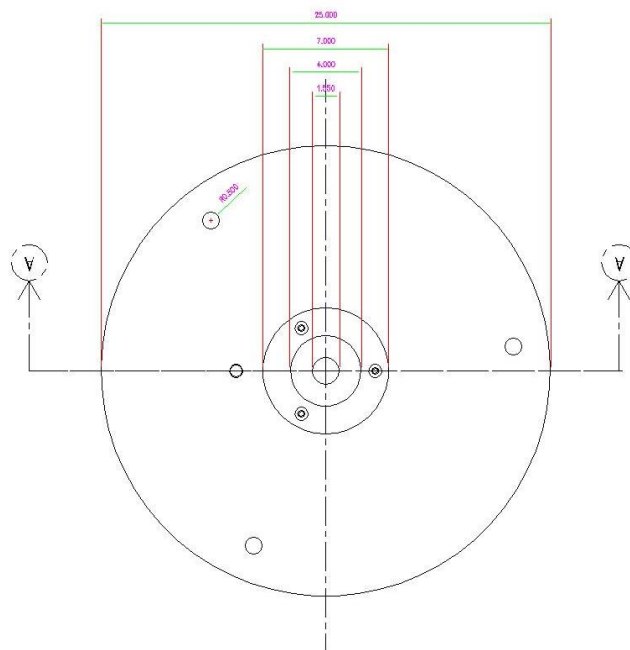
- Trani, L.D., Bergado, T., and Abuel-Naga, H.M. 2008. Thermal Effects on Undrained Shear Strength of Normally Consolidated Soft Bangkok Clay. *Geotechnical special publication*. Louisiana, 1069-1705.
- Trani, L.D., Dennes, O., Bergado, T., and Abuel-Naga, H.M.. 2008. Thermal Effects on Undrained Shear Strength of Normally Consolidated Soft Bangkok Clay. *In Geotechnical special publication*, New Orleans, Louisiana: 1069-1705.
- Vaid, and Campanella. 1977. Time dependent behavior of undisturbed clay. Vol. 103 , in *Journal of geotechnical engineering division*.
- Vijarnsorn, P. 1985. Characteristics, genesis, classification and agricultural potential of peat and saline/acid sulphate soils of Thailand, the University of Tokyo.
- Youssef, M.S., Sabry, A., and Raml, A.H. 1961. Temperature Changes and Their Effects on Some Physical Properties of Soil. *5th International Conference on Soil Mechanics and Foundations*.
- Zhu, J. G., and Yin, J. H.. 2000. Strain – rate – dependent stress – strain behavior of over consolidated Hong Kong marine clay. Vol. 37 , in *Journal of geotechnical engineering*: 1272 – 1282.

ภาคผนวก

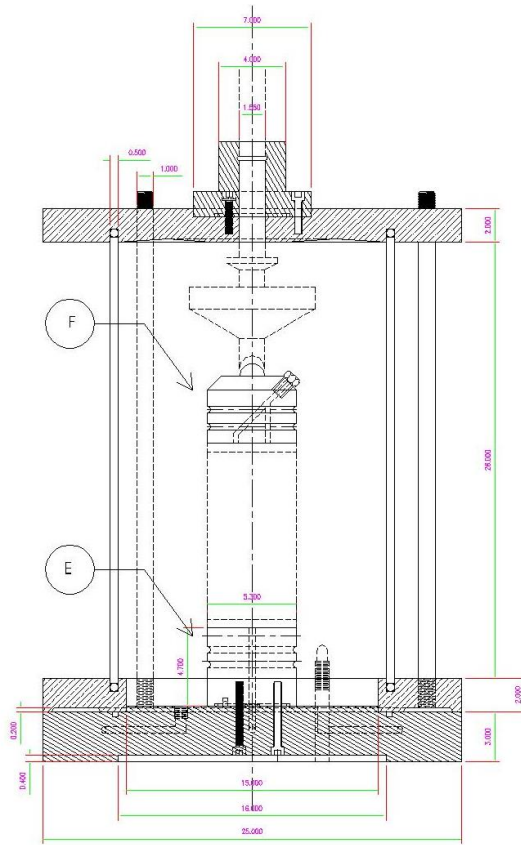
ภาคผนวก ก
แบบแปลนเซลล์สามแกน



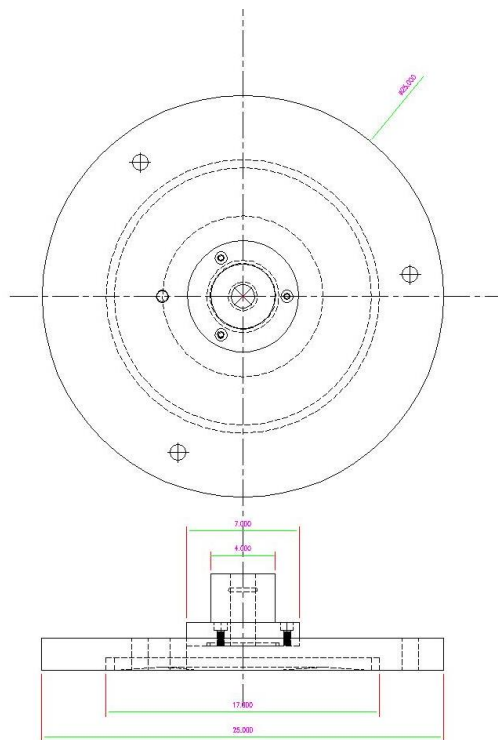
FRONT VIEW



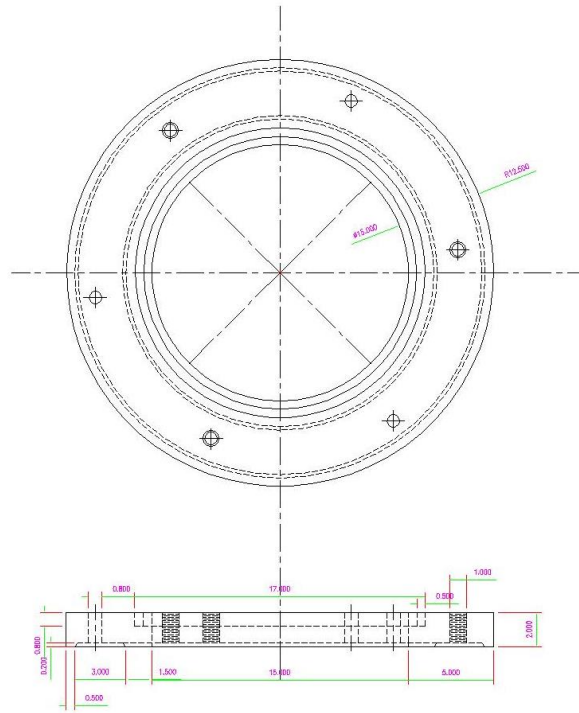
TOP VIEW



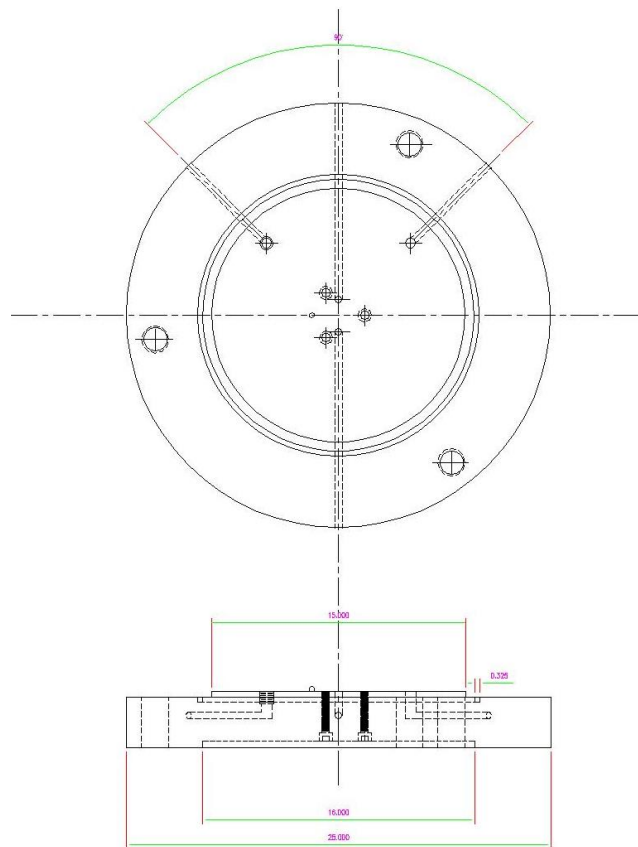
SECTION A-A



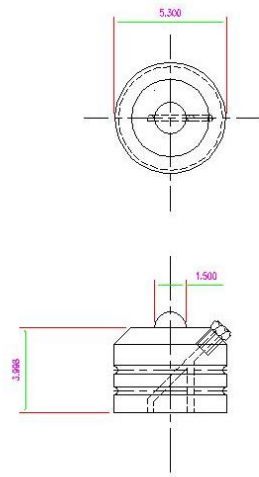
အပိုင်း A



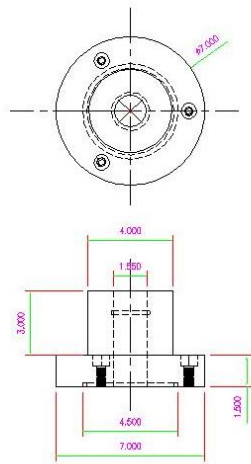
ขยาย B



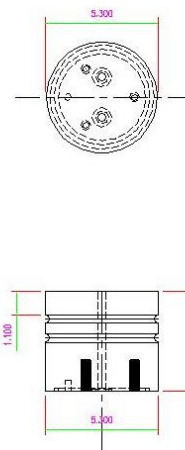
ขยาย C



ส่วนที่เพิ่ม



ขยาย D



ขยาย E

ภาคผนวก ข
ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ

1.) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของดินเหนียวปากพนัง

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		Specific Gravity				
PROJECT ดินเหนียวปากพนัง						
LOCATION ห้อง CELAB						
OWNER						
SOIL DESCRIPTION ดินเหนียวปากพนัง						
TESTED BY Mr.Watchara Srisakul			DATE : 11/11/2012			
Specific Gravity Determination						
Trial no.		1	2	3	4	5
Temperatere (upper)	°C	32.5	39	36	31.5	29
Temperatere (middle)	°C	32.5	39	36	31.5	29
Temperatere (lower)	°C	32.5	38.5	36	31.5	29
Avg. Temperature	°C	32.5	38.83	36	31.5	29
Calb. Wt. Of flask + Water	gm	653.2	652.09	652.62	653.4	653.62
Wt. Of flask + Water + Soil	gm	684.65				
CAN No.		1				
Wt. Of Can + Dry Soil	gm	299.44				
Wt. Of Can	gm	243.11				
Wt. Of Dry Soil	gm	56.33				
Gs of Water from Table		0.9949				
Gs of Soil		2.25				
From Calibration Graph						
Slope		-0.1591				
Y - Intercept		658.31				

Wt. Of Flask + Water (gm)

Temperature. °C


$y = -0.1591x + 658.31$


2.) ขีดจำกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg Limits)

ตัวอย่างดิน	ตัวอย่าง ที่	ค่าขีดจำกัดเหลว LL (%)	ขีดจำกัดพลาสติก PL (%)	ดัชนีพลาสติก PI (%)
ตัวอย่างดินอบแห้ง	1	71.12	27.83	43.29
ตัวอย่างดิน แห้งโดยอากาศ	1	109.15	39	70.17
	2	108.53	35.2	73.32
	3	109.28	36.5	72.8
	เฉลี่ย	108.99	36.90	72.10
ตัวอย่างดินอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 45 °C นาน 24 ชั่วโมง	1	81.32	37.5	43.78
	2	76.93	28	48.97
	3	78.44	32.1	46.39
	เฉลี่ย	78.90	32.53	46.38
ตัวอย่างดินอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 60 °C นาน 24 ชั่วโมง	1	86.91	34.1	52.81
	2	83.78	34	49.83
	3	85.41	30.3	55.09
	เฉลี่ย	85.37	32.80	52.58
ตัวอย่างดินอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 75 °C นาน 24 ชั่วโมง	1	83.75	32.3	51.5
	2	74.24	31.3	42.9
	3	85.06	35	50.02
	เฉลี่ย	81.02	32.87	48.14
ตัวอย่างดินอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 90 °C นาน 24 ชั่วโมง	1	79.48	36.7	42.76
	2	76.58	33.8	42.82
	3	76.43	31	45.48
	เฉลี่ย	77.50	33.83	43.69
ตัวอย่างดินอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 110 °C นาน 24 ชั่วโมง	1	68.68	36.9	31.77
	2	72.81	31.2	41.65
	3	69.91	31	38.87
	เฉลี่ย	70.47	33.03	37.43


ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดสอบแรงอัดสามแกน

1.) สภาวะอัดแน่นปกติ (OCR=1)


 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)																	1/2
Triaxial Shearing																	
Loc.No.		Location อ.บางจาก อ.ป่าอ้อ อ.นครศรีธรรมราช					Sample No		1 0					Δv _c = 46.3 mm ³		ε _v = 23.02 %	
Test type CU		without side					Proving Ring No.		1153-21					Effective Cell Pressure		Initially 250 kN/m ²	
Rate of Strain		0.02 % per min					Operation A.F.W.							Cell Pressure		450 kN/m ²	
Strain		1.2 % per hour					Consolidated Length		95.20 mm					Back Pressure		200 kN/m ²	
Membranes l x o.d.		mm					Consolidated Area		1652.76 mm ²					Consolidated Volume		154.967 cm ³	
Undrained excess pwp due to change temp. (Δi)														207.9 kPa			
Axial Strain ε _a (%)	Major Principle Stress, σ ₁ (kPa.)	Minor Principle Stress, σ ₃ (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ' ₁ (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ' ₃ (kPa.)	σ' ₁ /σ' ₃	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, σ ₁ -σ ₃ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ' _c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ' _c	Normalised Deviator Stress, q/σ' _c	Normalised Access PWP, Δu/σ' _c	Skemton's PWP Parameter A	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)		
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	250.00		
0.016	252.4	250.0	5.3	247.1	244.7	1.01	250.79	245.49	2.36	1.00	0.98	0.01	0.02	2.244	245.49		
0.042	252.7	250.0	9.7	243.0	240.3	1.01	250.89	241.19	2.66	1.00	0.96	0.01	0.04	3.648	241.19		
0.056	256.2	250.0	13.0	243.2	237.0	1.03	252.07	239.07	6.22	1.01	0.96	0.02	0.05	2.091	239.07		
0.084	258.6	250.0	17.4	241.2	232.6	1.04	252.86	235.46	8.57	1.01	0.94	0.03	0.07	2.031	235.46		
0.136	265.1	250.0	25.4	239.7	224.6	1.07	255.02	229.62	15.07	1.02	0.92	0.06	0.10	1.686	229.62		
0.185	267.4	250.0	32.2	235.2	217.8	1.08	255.81	223.61	17.42	1.02	0.89	0.07	0.13	1.849	223.61		
0.242	272.1	250.0	38.4	233.7	211.6	1.10	257.38	218.98	22.13	1.03	0.88	0.09	0.15	1.735	218.98		
0.346	282.7	250.0	48.7	234.0	201.3	1.16	260.91	212.21	32.73	1.04	0.85	0.13	0.19	1.488	212.21		
0.445	289.2	250.0	56.4	232.8	193.6	1.20	263.06	206.66	39.17	1.05	0.83	0.16	0.23	1.440	206.66		
0.662	301.4	250.0	68.0	233.4	182.0	1.28	267.14	199.14	51.41	1.07	0.80	0.21	0.27	1.323	199.14		
0.872	311.2	250.0	75.6	235.6	174.4	1.35	270.42	194.82	61.25	1.08	0.78	0.24	0.30	1.234	194.82		
1.076	316.4	250.0	81.2	235.2	168.8	1.39	272.12	190.92	66.35	1.09	0.76	0.27	0.32	1.224	190.92		
1.288	320.8	250.0	85.5	235.3	164.5	1.43	273.61	188.11	70.84	1.09	0.75	0.28	0.34	1.207	188.11		
1.498	325.9	250.0	89.1	236.8	160.9	1.47	275.30	186.20	75.90	1.10	0.74	0.30	0.36	1.174	186.20		
1.706	329.2	250.0	91.7	237.5	158.3	1.50	276.40	184.70	79.19	1.11	0.74	0.32	0.37	1.158	184.70		
1.921	331.3	250.0	94.1	237.2	155.9	1.52	277.09	182.99	81.28	1.11	0.73	0.33	0.38	1.158	182.99		
2.132	334.0	250.0	96.1	237.9	153.9	1.55	277.99	181.89	83.96	1.11	0.73	0.34	0.38	1.145	181.89		
2.339	336.0	250.0	97.9	238.1	152.1	1.57	278.68	180.78	86.04	1.11	0.72	0.34	0.39	1.138	180.78		
2.553	336.4	250.0	99.6	236.8	150.4	1.57	278.79	179.19	86.38	1.12	0.72	0.35	0.40	1.153	179.19		
2.763	338.4	250.0	101.2	237.2	148.8	1.59	279.48	178.28	88.44	1.12	0.71	0.35	0.40	1.144	178.28		
2.973	339.9	250.0	102.6	237.3	147.4	1.61	279.97	177.37	89.92	1.12	0.71	0.36	0.41	1.141	177.37		
3.181	340.3	250.0	103.8	236.5	146.2	1.62	280.08	176.28	90.25	1.12	0.71	0.36	0.42	1.150	176.28		
3.386	340.6	250.0	105.1	235.5	144.9	1.63	280.19	175.09	90.58	1.12	0.70	0.36	0.42	1.160	175.09		
3.915	344.5	250.0	107.0	237.5	143.0	1.66	281.50	174.50	94.50	1.13	0.70	0.38	0.43	1.132	174.50		
4.442	346.7	250.0	109.2	237.5	140.8	1.69	282.23	173.03	96.68	1.13	0.69	0.39	0.44	1.130	173.03		
4.966	348.8	250.0	110.8	238.0	139.2	1.71	282.94	172.14	98.83	1.13	0.69	0.40	0.44	1.121	172.14		
5.490	350.4	250.0	112.7	237.7	137.3	1.73	283.46	170.76	100.38	1.13	0.68	0.40	0.45	1.123	170.76		
6.019	352.5	250.0	114.4	238.1	135.6	1.76	284.15	169.75	102.46	1.14	0.68	0.41	0.46	1.116	169.75		
6.539	353.4	250.0	116.1	237.3	133.9	1.77	284.47	168.37	103.42	1.14	0.67	0.41	0.46	1.123	168.37		
7.067	354.3	250.0	117.8	236.5	132.2	1.79	284.78	166.98	104.34	1.14	0.67	0.42	0.47	1.129	166.98		
7.592	354.2	250.0	119.4	234.8	130.6	1.80	284.72	165.32	104.16	1.14	0.66	0.42	0.48	1.146	165.32		
8.117	354.5	250.0	121.0	233.5	129.0	1.81	284.84	163.84	104.51	1.14	0.66	0.42	0.48	1.158	163.84		
8.643	355.4	250.0	122.4	233.0	127.6	1.83	285.13	162.73	105.39	1.14	0.65	0.42	0.49	1.161	162.73		
9.168	355.2	250.0	122.8	232.4	127.2	1.83	285.06	162.26	105.17	1.14	0.65	0.42	0.49	1.168	162.26		
9.696	356.0	250.0	123.3	232.7	126.7	1.84	285.34	162.04	106.02	1.14	0.65	0.42	0.49	1.163	162.04		
10.219	356.9	250.0	124.5	232.4	125.5	1.85	285.62	161.12	106.85	1.14	0.64	0.43	0.50	1.165	161.12		
10.743	357.7	250.0	125.8	231.9	124.2	1.87	285.89	160.09	107.67	1.14	0.64	0.43	0.50	1.168	160.09		
11.271	356.3	250.0	127.0	229.3	123.0	1.86	285.45	158.45	106.35	1.14	0.63	0.43	0.51	1.194	158.45		
11.789	356.6	250.0	127.9	228.7	122.1	1.87	285.54	157.64	106.63	1.14	0.63	0.43	0.51	1.200	157.64		
12.308	355.3	250.0	128.1	227.2	121.9	1.86	285.11	157.01	105.33	1.14	0.63	0.42	0.51	1.216	157.01		
12.842	354.5	250.0	128.0	226.5	122.0	1.86	284.84	156.84	104.53	1.14	0.63	0.42	0.51	1.225	156.84		
13.371	354.8	250.0	128.7	226.1	121.3	1.86	284.92	156.22	104.76	1.14	0.62	0.42	0.51	1.228	156.22		
13.898	355.5	250.0	129.3	226.2	120.7	1.87	285.17	155.87	105.50	1.14	0.62	0.42	0.52	1.226	155.87		
14.423	354.2	250.0	130.0	224.2	120.0	1.87	284.73	154.73	104.19	1.14	0.62	0.42	0.52	1.248	154.73		
14.946	355.4	250.0	130.6	224.8	119.4	1.88	285.14	154.54	105.42	1.14	0.62	0.42	0.52	1.239	154.54		
15.473	352.1	250.0	131.1	221.0	118.9	1.86	284.03	152.93	102.09	1.14	0.61	0.41	0.52	1.284	152.93		
15.996	351.3	250.0	131.1	220.2	118.9	1.85	283.77	152.67	101.30	1.14	0.61	0.41	0.52	1.294	152.67		
16.521	348.5	250.0	131.0	217.5	119.0	1.83	282.84	151.84	98.53	1.13	0.61	0.39	0.52	1.330	151.84		
17.049	345.6	250.0	131.3	214.4	118.7	1.81	281.88	150.61	95.63	1.13	0.60	0.38	0.53	1.373	150.61		
17.167	344.7	250.0	131.4	213.3	118.6	1.80	281.56	150.16	94.68	1.13	0.60	0.38	0.53	1.388	150.16		

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															
Triaxial Shearing															
Loc.No.	1		Location อ.เมืองจ.ปัทมมัง อ.นครศรีธรรมราช			Sample No	2 0		$\Delta v_c =$ 49.5 mm ³			$\epsilon_v =$ 23.46 %			
Test type	CU	without side	Proving Ring No. 1153-21			Effective Cell Pressure initially			250	kN/m ²		Lc =	97.03	mm	(1/3) $\epsilon_v =$ 7.82 %
Rate of	0.075	% per min	Operation A.F.W.			Cell Pressure			450	kN/m ²		Ac =	1692.51	mm ²	(2/3) $\epsilon_v =$ 15.64 %
Strain	4.5	% per hour	Consolidated Length 97.03 mm			Back Pressure			200	kN/m ²		Vc =	161.64	mm ³	shear temp 45 C°
Membranes 1 x 0.2	mm		Consolidated Area 1692.51 mm ²			Consolidated Volume			161.637	cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 200.6563 kPa			
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A	
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.007	252.2	250.0	-0.1	252.2	250.1	1.01	250.73	250.79	2.19	1.00	1.00	0.01	0.00	-0.029	
0.016	255.8	250.0	0.3	255.5	249.7	1.02	251.92	251.61	5.77	1.01	1.01	0.02	0.00	0.054	
0.032	268.5	250.0	1.0	267.5	249.0	1.07	256.15	255.18	18.46	1.02	1.02	0.07	0.00	0.052	
0.060	277.8	250.0	2.0	275.8	248.0	1.11	259.27	257.27	27.81	1.04	1.03	0.11	0.01	0.072	
0.067	282.4	250.0	3.0	279.4	247.0	1.13	260.80	257.77	32.39	1.04	1.03	0.13	0.01	0.094	
0.090	286.7	250.0	3.8	283.0	246.2	1.15	262.25	258.48	36.74	1.05	1.03	0.15	0.02	0.102	
0.120	299.1	250.0	6.4	292.7	243.6	1.20	266.35	259.95	49.06	1.07	1.04	0.20	0.03	0.131	
0.164	310.6	250.0	8.5	302.1	241.5	1.25	270.19	261.69	60.56	1.08	1.05	0.24	0.03	0.140	
0.276	323.6	250.0	14.3	309.3	235.7	1.31	274.53	260.26	73.58	1.10	1.04	0.29	0.06	0.194	
0.368	331.8	250.0	19.5	312.4	230.5	1.35	277.28	257.82	81.83	1.11	1.03	0.33	0.08	0.238	
0.580	339.3	250.0	29.6	309.7	220.4	1.41	279.77	250.16	89.32	1.12	1.00	0.36	0.12	0.331	
0.783	346.2	250.0	38.3	308.0	211.8	1.45	282.07	243.82	96.20	1.13	0.98	0.38	0.15	0.398	
0.997	346.1	250.0	46.8	299.3	203.2	1.47	282.05	235.23	96.14	1.13	0.94	0.38	0.19	0.487	
1.204	348.6	250.0	54.0	294.7	196.0	1.50	282.88	228.91	98.64	1.13	0.92	0.39	0.22	0.547	
1.389	353.3	250.0	59.9	293.4	190.1	1.54	284.44	224.57	103.32	1.14	0.90	0.41	0.24	0.580	
1.614	353.2	250.0	66.1	287.1	183.9	1.56	284.41	218.31	103.22	1.14	0.87	0.41	0.26	0.640	
1.817	354.9	250.0	71.0	283.9	179.0	1.59	284.97	213.97	104.91	1.14	0.86	0.42	0.28	0.677	
2.029	357.0	250.0	76.0	281.0	174.0	1.61	285.66	209.70	106.97	1.14	0.84	0.43	0.30	0.710	
2.220	361.6	250.0	80.2	281.4	169.8	1.66	287.19	206.96	111.58	1.15	0.83	0.45	0.32	0.719	
2.441	360.9	250.0	84.3	276.5	165.7	1.67	286.96	202.62	110.89	1.15	0.81	0.44	0.34	0.761	
2.646	359.4	250.0	87.9	271.5	162.1	1.68	286.48	198.57	109.44	1.15	0.79	0.44	0.35	0.803	
2.853	365.0	250.0	91.2	273.8	158.8	1.72	288.32	197.15	114.95	1.15	0.79	0.46	0.36	0.793	
3.051	359.6	250.0	94.4	265.3	155.6	1.70	286.55	192.17	109.65	1.15	0.77	0.44	0.38	0.861	
3.254	365.0	250.0	97.1	267.8	152.9	1.75	288.32	191.19	114.95	1.15	0.76	0.46	0.39	0.845	
3.770	366.1	250.0	103.2	262.9	146.8	1.79	288.71	185.52	116.12	1.15	0.74	0.46	0.41	0.889	
4.288	366.7	250.0	108.5	258.2	141.5	1.82	288.90	180.41	116.69	1.16	0.72	0.47	0.43	0.930	
4.804	367.8	250.0	113.4	254.4	136.6	1.86	289.27	175.90	117.82	1.16	0.70	0.47	0.45	0.962	
5.322	365.7	250.0	117.5	248.3	132.5	1.87	288.57	171.11	115.72	1.15	0.68	0.46	0.47	1.015	
5.828	364.6	250.0	121.4	243.2	128.6	1.89	288.20	166.84	114.59	1.15	0.67	0.46	0.49	1.059	
6.356	364.7	250.0	124.2	240.5	125.8	1.91	288.25	164.01	114.74	1.15	0.66	0.46	0.50	1.083	
6.869	368.2	250.0	127.4	240.8	122.6	1.96	289.41	162.02	118.24	1.16	0.65	0.47	0.51	1.077	
7.385	365.8	250.0	130.0	235.8	120.0	1.96	288.59	158.61	115.78	1.15	0.63	0.46	0.52	1.123	
7.894	367.8	250.0	132.5	235.3	117.5	2.00	289.25	156.77	117.76	1.16	0.63	0.47	0.53	1.125	
8.412	365.9	250.0	134.9	230.9	115.1	2.01	288.62	153.68	115.85	1.15	0.61	0.46	0.54	1.165	
8.917	365.8	250.0	137.1	228.7	112.9	2.03	288.60	151.52	115.80	1.15	0.61	0.46	0.55	1.184	
9.437	366.4	250.0	139.0	227.4	111.0	2.05	288.81	149.77	116.44	1.16	0.60	0.47	0.56	1.194	
9.960	365.6	250.0	140.8	224.8	109.2	2.06	288.54	147.73	115.62	1.15	0.59	0.46	0.56	1.218	
10.476	366.1	250.0	142.4	223.7	107.6	2.08	288.69	146.28	116.06	1.15	0.59	0.46	0.57	1.227	
10.996	363.3	250.0	143.6	219.7	106.4	2.06	287.76	144.17	113.28	1.15	0.58	0.45	0.57	1.268	
11.505	362.0	250.0	145.1	216.9	104.9	2.07	287.32	142.23	111.96	1.15	0.57	0.45	0.58	1.296	
12.018	361.9	250.0	146.5	215.4	103.5	2.08	287.29	140.80	111.86	1.15	0.56	0.45	0.59	1.310	
12.532	359.7	250.0	148.4	211.2	101.6	2.08	286.56	138.12	109.67	1.15	0.55	0.44	0.59	1.354	
13.055	361.3	250.0	150.0	211.3	100.0	2.11	287.09	137.13	111.28	1.15	0.55	0.45	0.60	1.348	
13.568	363.6	250.0	151.5	212.0	98.5	2.15	287.86	136.31	113.57	1.15	0.55	0.45	0.61	1.334	
14.075	359.0	250.0	152.8	206.2	97.2	2.12	286.33	133.53	108.99	1.15	0.53	0.44	0.61	1.402	
14.595	361.9	250.0	153.8	208.2	96.3	2.16	287.31	133.56	111.92	1.15	0.53	0.45	0.62	1.374	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff.Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
15.118	360.2	250.0	154.6	205.6	95.4	2.16	286.74	132.15	110.23	1.15	0.53	0.44	0.62	1.402
15.634	359.2	250.0	154.6	204.6	95.4	2.15	286.41	131.77	109.24	1.15	0.53	0.44	0.62	1.416
16.140	360.9	250.0	155.1	205.9	94.9	2.17	286.98	131.90	110.94	1.15	0.53	0.44	0.62	1.398
16.663	361.1	250.0	155.5	205.6	94.5	2.17	287.03	131.57	111.08	1.15	0.53	0.44	0.62	1.399
17.179	360.7	250.0	156.3	204.5	93.8	2.18	286.91	130.66	110.73	1.15	0.52	0.44	0.63	1.411
17.686	363.8	250.0	157.8	206.0	92.2	2.24	287.94	130.12	113.83	1.15	0.52	0.46	0.63	1.386
18.109	364.6	250.0	158.8	205.8	91.2	2.26	288.19	129.38	114.58	1.15	0.52	0.46	0.64	1.386

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองศรีนครินทร์			Sample No 3 0			$\Delta v_c = 43.8 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 21.08 \%$				
Loc.No.	1		Proving Ring No. 1153-21			Effective Cell Pressure initially 250 kN/m^2			$L_c = 95.81 \text{ mm}$		$(1/3)\epsilon_v = 7.03 \%$				
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure 450 kN/m^2			$A_c = 1732.25 \text{ mm}^2$		$(2/3)\epsilon_v = 14.06 \%$				
Rate of	1 % per min		Consolidated Length 95.81 mm			Back Pressure 200 kN/m^2			$V_c = 163.91 \text{ mm}^3$		shear temp 45 $^\circ\text{C}$				
Strain	60.0 % per hour		Consolidated Area 1732.25 mm^2			Consolidated Volume 163.912 cm^3			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 203.5 kPa						
Membranes 1 x 0.2 mm															
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.006	256.2	250.0	0.1	256.1	249.9	1.02	252.07	251.97	6.22	1.01	1.01	0.02	0.00	0.016	
0.009	261.9	250.0	0.1	261.8	249.9	1.05	253.96	253.86	11.88	1.02	1.02	0.05	0.00	0.008	
0.016	273.2	250.0	0.0	273.2	250.0	1.09	257.73	257.73	23.20	1.03	1.03	0.09	0.00	0.000	
0.043	284.2	250.0	0.2	284.0	249.8	1.14	261.41	261.21	34.24	1.05	1.04	0.14	0.00	0.006	
0.076	295.0	250.0	0.1	294.9	249.9	1.18	264.99	264.89	44.98	1.06	1.06	0.18	0.00	0.002	
0.110	301.7	250.0	0.1	301.6	249.9	1.21	267.24	267.14	51.72	1.07	1.07	0.21	0.00	0.002	
0.143	311.3	250.0	0.2	311.1	249.8	1.25	270.44	270.24	61.31	1.08	1.08	0.25	0.00	0.003	
0.186	318.1	250.0	0.1	318.0	249.9	1.27	272.69	272.59	68.06	1.09	1.09	0.27	0.00	0.001	
0.224	324.2	250.0	0.1	324.1	249.9	1.30	274.75	274.65	74.24	1.10	1.10	0.30	0.00	0.001	
0.272	329.8	250.0	0.1	329.7	249.9	1.32	276.61	276.51	79.84	1.11	1.11	0.32	0.00	0.001	
0.310	327.0	250.0	0.1	326.9	249.9	1.31	275.66	275.56	76.97	1.10	1.10	0.31	0.00	0.001	
0.359	341.0	250.0	0.2	340.8	249.8	1.36	280.34	280.14	91.03	1.12	1.12	0.36	0.00	0.002	
0.466	349.9	250.0	1.1	348.8	248.9	1.40	283.31	282.21	99.93	1.13	1.13	0.40	0.00	0.011	
0.677	355.8	250.0	2.9	352.9	247.1	1.43	285.28	282.38	105.85	1.14	1.13	0.42	0.01	0.027	
0.882	358.4	250.0	4.7	353.7	245.3	1.44	286.13	281.43	108.38	1.14	1.13	0.43	0.02	0.043	
1.087	360.3	250.0	6.7	353.6	243.3	1.45	286.78	280.08	110.35	1.15	1.12	0.44	0.03	0.061	
1.303	360.6	250.0	8.5	352.1	241.5	1.46	286.87	278.37	110.61	1.15	1.11	0.44	0.03	0.077	
1.506	363.1	250.0	10.2	352.9	239.8	1.47	287.71	277.51	113.12	1.15	1.11	0.45	0.04	0.090	
1.720	365.0	250.0	12.1	352.9	237.9	1.48	288.35	276.25	115.04	1.15	1.10	0.46	0.05	0.105	
1.926	365.9	250.0	13.9	352.0	236.1	1.49	288.62	274.72	115.86	1.15	1.10	0.46	0.06	0.120	
2.138	365.6	250.0	15.9	349.7	234.1	1.49	288.52	272.62	115.56	1.15	1.09	0.46	0.06	0.138	
2.346	366.9	250.0	17.9	349.0	232.1	1.50	288.97	271.07	116.92	1.16	1.08	0.47	0.07	0.153	
2.552	367.2	250.0	19.9	347.3	230.1	1.51	289.06	269.16	117.17	1.16	1.08	0.47	0.08	0.170	
2.765	368.0	250.0	21.8	346.2	228.2	1.52	289.32	267.52	117.96	1.16	1.07	0.47	0.09	0.185	
2.968	367.7	250.0	23.7	344.0	226.3	1.52	289.22	265.52	117.66	1.16	1.06	0.47	0.09	0.201	
3.496	368.0	250.0	28.6	339.4	221.4	1.53	289.32	260.72	117.97	1.16	1.04	0.47	0.11	0.242	
3.806	368.6	250.0	31.5	337.1	218.5	1.54	289.53	258.03	118.60	1.16	1.03	0.47	0.13	0.266	
4.118	367.6	250.0	34.4	333.2	215.6	1.55	289.20	254.80	117.59	1.16	1.02	0.47	0.14	0.293	
4.432	369.3	250.0	37.3	332.0	212.7	1.56	289.76	252.46	119.29	1.16	1.01	0.48	0.15	0.313	
4.741	368.8	250.0	40.1	328.7	209.9	1.57	289.61	249.51	118.82	1.16	1.00	0.48	0.16	0.337	
5.052	369.4	250.0	42.8	326.6	207.2	1.58	289.81	247.01	119.43	1.16	0.99	0.48	0.17	0.358	
5.369	368.4	250.0	45.7	322.7	204.3	1.58	289.47	243.77	118.41	1.16	0.98	0.47	0.18	0.386	
5.681	367.9	250.0	48.3	319.6	201.7	1.58	289.31	241.01	117.94	1.16	0.96	0.47	0.19	0.410	
5.997	368.5	250.0	50.9	317.6	199.1	1.60	289.51	238.61	118.52	1.16	0.95	0.47	0.20	0.429	
6.308	370.7	250.0	53.6	317.1	196.4	1.61	290.23	236.63	120.70	1.16	0.95	0.48	0.21	0.444	
6.621	371.3	250.0	56.1	315.2	193.9	1.63	290.42	234.32	121.27	1.16	0.94	0.49	0.22	0.463	
6.937	370.8	250.0	58.6	312.2	191.4	1.63	290.26	231.66	120.77	1.16	0.93	0.48	0.23	0.485	
7.250	370.3	250.0	61.1	309.2	188.9	1.64	290.09	228.99	120.28	1.16	0.92	0.48	0.24	0.508	
7.563	370.8	250.0	63.4	307.4	186.6	1.65	290.28	226.88	120.84	1.16	0.91	0.48	0.25	0.525	
7.876	370.9	250.0	65.6	305.3	184.4	1.66	290.29	224.69	120.86	1.16	0.90	0.48	0.26	0.543	
8.191	371.4	250.0	67.9	303.5	182.1	1.67	290.47	222.57	121.40	1.16	0.89	0.49	0.27	0.559	
8.493	371.4	250.0	70.2	301.2	179.8	1.68	290.48	220.28	121.44	1.16	0.88	0.49	0.28	0.578	
8.811	372.0	250.0	72.6	299.4	177.4	1.69	290.65	218.05	121.96	1.16	0.87	0.49	0.29	0.595	
9.130	370.9	250.0	74.8	296.1	175.2	1.69	290.31	215.51	120.93	1.16	0.86	0.48	0.30	0.619	
9.440	370.9	250.0	77.0	293.9	173.0	1.70	290.32	213.32	120.95	1.16	0.85	0.48	0.31	0.637	
9.758	370.9	250.0	79.3	291.6	170.7	1.71	290.31	211.01	120.94	1.16	0.84	0.48	0.32	0.656	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
10.069	370.9	250.0	81.2	289.7	168.8	1.72	290.32	209.12	120.95	1.16	0.84	0.48	0.32	0.671
10.380	369.4	250.0	83.3	286.1	166.7	1.72	289.81	206.51	119.43	1.16	0.83	0.48	0.33	0.697
10.902	369.6	250.0	86.6	283.0	163.4	1.73	289.87	203.27	119.60	1.16	0.81	0.48	0.35	0.724
11.425	368.7	250.0	89.6	279.1	160.4	1.74	289.58	199.98	118.75	1.16	0.80	0.47	0.36	0.755
11.946	367.4	250.0	92.5	274.9	157.5	1.75	289.13	196.63	117.40	1.16	0.79	0.47	0.37	0.788
12.468	368.0	250.0	95.1	272.9	154.9	1.76	289.35	194.25	118.04	1.16	0.78	0.47	0.38	0.806
12.991	366.7	250.0	97.9	268.8	152.1	1.77	288.90	191.00	116.69	1.16	0.76	0.47	0.39	0.839
13.503	364.4	250.0	100.4	264.0	149.6	1.76	288.13	187.73	114.39	1.15	0.75	0.46	0.40	0.878
14.035	365.0	250.0	102.9	262.1	147.1	1.78	288.33	185.43	114.99	1.15	0.74	0.46	0.41	0.895
14.558	364.1	250.0	105.2	258.9	144.8	1.79	288.04	182.84	114.13	1.15	0.73	0.46	0.42	0.922
15.081	361.8	250.0	107.5	254.3	142.5	1.78	287.28	179.78	111.84	1.15	0.72	0.45	0.43	0.961
15.600	361.0	250.0	109.6	251.4	140.4	1.79	287.00	177.40	111.00	1.15	0.71	0.44	0.44	0.987
16.116	357.8	250.0	111.7	246.1	138.3	1.78	285.93	174.23	107.79	1.14	0.70	0.43	0.45	1.036
16.646	356.5	250.0	113.6	242.9	136.4	1.78	285.49	171.89	106.48	1.14	0.69	0.43	0.45	1.067
17.165	354.7	250.0	115.5	239.2	134.5	1.78	284.91	169.41	104.72	1.14	0.68	0.42	0.46	1.103
17.687	352.5	250.0	117.2	235.3	132.8	1.77	284.17	166.97	102.50	1.14	0.67	0.41	0.47	1.143
18.734	350.0	250.0	120.7	229.3	129.3	1.77	283.32	162.62	99.96	1.13	0.65	0.40	0.48	1.208
19.255	349.2	250.0	122.1	227.1	127.9	1.78	283.05	160.95	99.15	1.13	0.64	0.40	0.49	1.231
19.777	347.9	250.0	123.5	224.4	126.5	1.77	282.63	159.13	97.90	1.13	0.64	0.39	0.49	1.262
20.299	346.2	250.0	124.8	221.4	125.2	1.77	282.06	157.26	96.19	1.13	0.63	0.38	0.50	1.297

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>														
Triaxial Shearing														
Loc.No.	1		Location อ.เมืองจ.ป.ท.บึงจ.บ.นครศรีธรรมราช			Sample No.	4 0		$\Delta v_c =$ 47.7 mm ³			$\epsilon_v =$ 22.70 %		
Test type	CU	without side	Proving Ring No.	Load cell No. 11073		Effective Cell Pressure initially			250 kN/m ²	Lc = 96.40 mm		(1/3) $\epsilon_v =$ 7.57 %		
Rate of	6 % per min		Operation A.F.W.			Cell Pressure			450 kN/m ²	Ac = 1709.40 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 15.13 %		
Strain	360.0 % per hour		Consolidated Length 96.40 mm			Back Pressure			200 kN/m ²	Vc = 162.38 mm ³		shear temp 45 C°		
Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Area 1709.40 mm ²			Consolidated Volume			162.381 cm ³	Undrained excess pwp due to change temp. (Δt : 201.0196 kPa)				
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
0.011	257.8	250.0	0.1	257.7	249.9	1.03	252.59	252.54	7.78	1.01	1.01	0.03	0.00	0.007
0.022	269.9	250.0	0.1	269.8	249.9	1.08	256.62	256.51	19.87	1.03	1.03	0.08	0.00	0.006
0.033	277.7	250.0	0.2	277.5	249.8	1.11	259.22	259.05	27.66	1.04	1.04	0.11	0.00	0.006
0.044	285.4	250.0	0.2	285.2	249.8	1.14	261.82	261.59	35.45	1.05	1.05	0.14	0.00	0.006
0.055	293.2	250.0	0.3	292.9	249.7	1.17	264.41	264.13	43.23	1.06	1.06	0.17	0.00	0.007
0.066	301.0	250.0	0.3	300.7	249.7	1.20	267.00	266.66	51.01	1.07	1.07	0.20	0.00	0.007
0.087	308.1	250.0	0.4	307.7	249.6	1.23	269.36	268.93	58.08	1.08	1.08	0.23	0.00	0.007
0.129	322.2	250.0	0.6	321.6	249.4	1.29	274.08	273.48	72.23	1.10	1.09	0.29	0.00	0.008
0.149	329.3	250.0	0.7	328.6	249.3	1.32	276.43	275.75	79.30	1.11	1.10	0.32	0.00	0.009
0.174	333.9	250.0	0.8	333.1	249.2	1.34	277.95	277.18	83.85	1.11	1.11	0.34	0.00	0.009
0.198	338.4	250.0	0.9	337.5	249.1	1.35	279.47	278.60	88.40	1.12	1.11	0.35	0.00	0.010
0.223	343.0	250.0	1.0	342.0	249.0	1.37	280.98	280.03	92.95	1.12	1.12	0.37	0.00	0.010
0.271	348.4	250.0	1.1	347.3	248.9	1.40	282.80	281.66	98.40	1.13	1.13	0.39	0.00	0.012
0.344	351.1	250.0	1.4	349.7	248.6	1.41	283.70	282.29	101.11	1.13	1.13	0.40	0.01	0.014
0.344	351.1	250.0	1.4	349.7	248.6	1.41	283.70	282.29	101.11	1.13	1.13	0.40	0.01	0.014
0.395	353.7	250.0	1.6	352.1	248.4	1.42	284.57	282.98	103.70	1.14	1.13	0.41	0.01	0.015
0.467	357.3	250.0	1.8	355.5	248.2	1.43	285.78	283.96	107.34	1.14	1.14	0.43	0.01	0.017
0.530	360.5	250.0	2.1	358.4	247.9	1.45	286.83	284.77	110.49	1.15	1.14	0.44	0.01	0.019
0.583	362.1	250.0	2.2	359.9	247.8	1.45	287.36	285.14	112.09	1.15	1.14	0.45	0.01	0.020
0.786	365.0	250.0	2.9	362.1	247.1	1.47	288.35	285.45	115.04	1.15	1.14	0.46	0.01	0.025
0.989	366.5	250.0	3.5	363.0	246.5	1.47	288.84	285.31	116.51	1.16	1.14	0.47	0.01	0.030
1.191	367.1	250.0	4.2	362.9	245.8	1.48	289.03	284.86	117.09	1.16	1.14	0.47	0.02	0.036
1.412	368.4	250.0	4.9	363.5	245.1	1.48	289.48	284.59	118.43	1.16	1.14	0.47	0.02	0.041
1.613	369.7	250.0	5.5	364.2	244.5	1.49	289.90	284.36	119.69	1.16	1.14	0.48	0.02	0.046
2.122	373.2	250.0	7.1	366.1	242.9	1.51	291.06	283.99	123.18	1.16	1.14	0.49	0.03	0.057
2.419	372.9	250.0	8.1	364.8	241.9	1.51	290.98	282.85	122.93	1.16	1.13	0.49	0.03	0.066
2.706	374.0	250.0	9.0	365.0	241.0	1.51	291.34	282.30	124.02	1.17	1.13	0.50	0.04	0.073
3.072	375.6	250.0	10.2	365.4	239.8	1.52	291.85	281.64	125.56	1.17	1.13	0.50	0.04	0.081
3.355	375.7	250.0	11.2	364.5	238.8	1.53	291.90	280.73	125.70	1.17	1.12	0.50	0.04	0.089
3.654	375.4	250.0	12.2	363.2	237.8	1.53	291.81	279.62	125.42	1.17	1.12	0.50	0.05	0.097
3.916	378.0	250.0	13.0	365.0	237.0	1.54	292.68	279.68	128.04	1.17	1.12	0.51	0.05	0.101
4.301	379.5	250.0	14.3	365.2	235.7	1.55	293.17	278.86	129.50	1.17	1.12	0.52	0.06	0.110
4.593	379.2	250.0	15.2	364.0	234.8	1.55	293.07	277.89	129.22	1.17	1.11	0.52	0.06	0.118
4.882	380.4	250.0	16.1	364.3	233.9	1.56	293.48	277.37	130.44	1.17	1.11	0.52	0.06	0.123
5.170	379.6	250.0	17.1	362.5	232.9	1.56	293.20	276.12	129.59	1.17	1.10	0.52	0.07	0.132
5.460	382.1	250.0	18.0	364.1	232.0	1.57	294.03	276.07	132.10	1.18	1.10	0.53	0.07	0.136
5.863	380.3	250.0	19.3	361.0	230.7	1.56	293.44	274.15	130.32	1.17	1.10	0.52	0.08	0.148
6.173	380.4	250.0	20.3	360.1	229.7	1.57	293.45	273.19	130.36	1.17	1.09	0.52	0.08	0.155
6.447	381.7	250.0	21.1	360.7	228.9	1.58	293.92	272.86	131.75	1.18	1.09	0.53	0.08	0.160
6.744	381.6	250.0	21.9	359.7	228.1	1.58	293.87	271.94	131.62	1.18	1.09	0.53	0.09	0.167
7.033	380.9	250.0	22.9	358.1	227.1	1.58	293.65	270.78	130.95	1.17	1.08	0.52	0.09	0.175
7.323	381.0	250.0	23.7	357.3	226.3	1.58	293.67	269.92	131.01	1.17	1.08	0.52	0.09	0.181
7.717	380.0	250.0	25.1	354.9	224.9	1.58	293.33	268.27	129.98	1.17	1.07	0.52	0.10	0.193
8.009	379.7	250.0	25.9	353.8	224.1	1.58	293.22	267.34	129.67	1.17	1.07	0.52	0.10	0.200
8.285	379.0	250.0	26.7	352.3	223.3	1.58	293.01	266.29	129.02	1.17	1.07	0.52	0.11	0.207
8.570	379.3	250.0	27.6	351.7	222.4	1.58	293.09	265.50	129.26	1.17	1.06	0.52	0.11	0.213


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
8.957	377.0	250.0	28.8	348.2	221.2	1.57	292.33	263.54	126.99	1.17	1.05	0.51	0.12	0.227
9.435	375.8	250.0	30.2	345.6	219.8	1.57	291.95	261.71	125.84	1.17	1.05	0.50	0.12	0.240
9.998	374.2	250.0	32.0	342.2	218.0	1.57	291.39	259.41	124.18	1.17	1.04	0.50	0.13	0.258
10.480	373.7	250.0	33.4	340.4	216.6	1.57	291.25	257.87	123.74	1.16	1.03	0.49	0.13	0.270
10.962	374.2	250.0	34.8	339.4	215.2	1.58	291.39	256.58	124.16	1.17	1.03	0.50	0.14	0.280
11.558	371.9	250.0	36.5	335.4	213.5	1.57	290.65	254.12	121.94	1.16	1.02	0.49	0.15	0.300
12.077	368.6	250.0	38.0	330.7	212.0	1.56	289.55	251.55	118.65	1.16	1.01	0.47	0.15	0.320
12.554	368.0	250.0	39.2	328.8	210.8	1.56	289.35	250.13	118.04	1.16	1.00	0.47	0.16	0.332
13.041	367.8	250.0	40.6	327.2	209.4	1.56	289.25	248.68	117.75	1.16	0.99	0.47	0.16	0.345
13.614	366.3	250.0	42.2	324.1	207.8	1.56	288.77	246.57	116.30	1.16	0.99	0.47	0.17	0.363
14.096	365.2	250.0	43.6	321.6	206.4	1.56	288.39	244.78	115.17	1.15	0.98	0.46	0.17	0.379
14.657	364.6	250.0	45.2	319.4	204.8	1.56	288.20	243.03	114.59	1.15	0.97	0.46	0.18	0.394
15.248	362.3	250.0	46.8	315.5	203.2	1.55	287.43	240.60	112.28	1.15	0.96	0.45	0.19	0.417
15.811	362.4	250.0	48.3	314.1	201.7	1.56	287.45	239.16	112.36	1.15	0.96	0.45	0.19	0.430
16.312	360.7	250.0	49.6	311.1	200.4	1.55	286.91	237.28	110.72	1.15	0.95	0.44	0.20	0.448
17.385	356.7	250.0	52.2	304.5	197.8	1.54	285.56	233.38	106.69	1.14	0.93	0.43	0.21	0.489
17.869	352.5	250.0	53.3	299.2	196.7	1.52	284.17	230.88	102.51	1.14	0.92	0.41	0.21	0.520
18.358	345.8	250.0	54.2	291.5	195.8	1.49	281.93	227.68	95.79	1.13	0.91	0.38	0.22	0.566
18.914	338.7	250.0	55.2	283.6	194.8	1.46	279.58	224.41	88.73	1.12	0.90	0.35	0.22	0.622
19.411	333.4	250.0	56.0	277.4	194.0	1.43	277.81	221.79	83.42	1.11	0.89	0.33	0.22	0.671
19.978	329.2	250.0	56.9	272.3	193.1	1.41	276.39	219.54	79.18	1.11	0.88	0.32	0.23	0.718
20.458	326.5	250.0	57.5	269.0	192.5	1.40	275.50	217.98	76.51	1.10	0.87	0.31	0.23	0.752
20.959	323.1	250.0	58.2	264.8	191.8	1.38	274.35	216.14	73.06	1.10	0.86	0.29	0.23	0.797


 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>														
1/2														
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองสุพรรณบุรี		Sample No 17 0		$\Delta v_c = 40.4 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 19.78 \%$						
Loc.No. 1	without side			Proving Ring No. 1153-21	Effective Cell Pressure initially 250 kN/m^2		Lc = 94.42 mm		$(1/3)\epsilon_v = 6.59 \%$					
Test type CU				Operation A.F.W.	Cell Pressure 450 kN/m^2		Ac = 1752.08 mm^2		$(2/3)\epsilon_v = 13.19 \%$					
Rate of 0.02 % per min				Consolidated Length 94.42 mm	Back Pressure 200 kN/m^2		Vc = 163.66 mm^3		shear temp 60 $^{\circ}\text{C}$					
Strain 1.2 % per hour				Consolidated Area 1752.08 mm^2	Consolidated Volume 163.656 cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 204.3 kPa							
Membranes 1 x 0.2 mm														
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/ σ'_1	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_1	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_1	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_1$	Skemton's PWP Parameter A
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
0.021	258.7	250.0	0.2	258.5	249.8	1.03	252.89	252.69	8.67	1.01	1.01	0.03	0.00	0.023
0.041	273.2	250.0	3.6	269.6	246.4	1.09	257.74	254.14	23.22	1.03	1.02	0.09	0.01	0.155
0.062	279.9	250.0	6.3	273.6	243.7	1.12	259.98	253.68	29.93	1.04	1.01	0.12	0.03	0.211
0.083	287.2	250.0	9.6	277.6	240.4	1.15	262.40	252.80	37.19	1.05	1.01	0.15	0.04	0.258
0.103	291.6	250.0	11.5	280.1	238.5	1.17	263.88	252.38	41.63	1.06	1.01	0.17	0.05	0.276
0.157	303.9	250.0	18.1	285.8	231.9	1.23	267.97	249.87	53.90	1.07	1.00	0.22	0.07	0.336
0.211	314.5	250.0	23.8	290.7	226.2	1.29	271.49	247.69	64.47	1.09	0.99	0.26	0.10	0.369
0.263	318.3	250.0	28.3	290.0	221.7	1.31	272.78	244.48	68.33	1.09	0.98	0.27	0.11	0.414
0.364	325.5	250.0	36.2	289.3	213.8	1.35	275.16	238.96	75.49	1.10	0.96	0.30	0.14	0.480
0.476	331.5	250.0	43.0	288.5	207.0	1.39	277.17	234.17	81.51	1.11	0.94	0.33	0.17	0.528
0.686	339.1	250.0	53.9	285.2	196.1	1.45	279.69	225.79	89.07	1.12	0.90	0.36	0.22	0.605
0.898	342.7	250.0	62.2	280.5	187.8	1.49	280.90	218.70	92.71	1.12	0.87	0.37	0.25	0.671
1.108	346.3	250.0	68.8	277.5	181.2	1.53	282.11	213.31	96.33	1.13	0.85	0.39	0.28	0.714
1.323	351.0	250.0	74.4	276.6	175.6	1.58	283.68	209.28	101.04	1.13	0.84	0.40	0.30	0.736
1.533	353.0	250.0	79.0	274.0	171.0	1.60	284.33	205.33	102.98	1.14	0.82	0.41	0.32	0.767
1.744	354.4	250.0	83.1	271.3	166.9	1.63	284.78	201.68	104.35	1.14	0.81	0.42	0.33	0.796
1.958	355.7	250.0	86.8	268.9	163.2	1.65	285.24	198.44	105.72	1.14	0.79	0.42	0.35	0.821
2.165	356.0	250.0	89.6	266.4	160.4	1.66	285.33	195.73	105.99	1.14	0.78	0.42	0.36	0.845
2.381	358.4	250.0	92.6	265.8	157.4	1.69	286.14	193.54	108.43	1.14	0.77	0.43	0.37	0.854
2.590	358.7	250.0	95.3	263.4	154.7	1.70	286.23	190.93	108.69	1.14	0.76	0.43	0.38	0.877
2.802	359.5	250.0	97.9	261.6	152.1	1.72	286.50	188.60	109.49	1.15	0.75	0.44	0.39	0.894
3.017	360.3	250.0	100.3	260.0	149.7	1.74	286.76	186.46	110.28	1.15	0.75	0.44	0.40	0.910
3.229	361.1	250.0	102.5	258.6	147.5	1.75	287.02	184.52	111.07	1.15	0.74	0.44	0.41	0.923
3.441	361.3	250.0	104.7	256.6	145.3	1.77	287.10	182.40	111.31	1.15	0.73	0.45	0.42	0.941
3.968	363.8	250.0	109.3	254.5	140.7	1.81	287.93	178.63	113.79	1.15	0.71	0.46	0.44	0.961
4.500	365.2	250.0	113.5	251.7	136.5	1.84	288.39	174.89	115.16	1.15	0.70	0.46	0.45	0.986
5.029	366.0	250.0	117.1	248.9	132.9	1.87	288.66	171.56	115.98	1.15	0.69	0.46	0.47	1.010
5.556	364.7	250.0	120.3	244.4	129.7	1.88	288.22	167.92	114.67	1.15	0.67	0.46	0.48	1.049
6.089	364.4	250.0	122.1	242.3	127.9	1.89	288.13	166.03	114.40	1.15	0.66	0.46	0.49	1.067
6.616	362.1	250.0	124.5	237.6	125.5	1.89	287.35	162.85	112.05	1.15	0.65	0.45	0.50	1.111
7.147	362.8	250.0	126.8	236.0	123.2	1.92	287.61	160.81	112.83	1.15	0.64	0.45	0.51	1.124
7.674	362.0	250.0	128.5	233.5	121.5	1.92	287.35	158.85	112.05	1.15	0.64	0.45	0.51	1.147
8.205	360.2	250.0	130.5	229.7	119.5	1.92	286.74	156.24	110.23	1.15	0.62	0.44	0.52	1.184
8.737	357.9	250.0	132.1	225.8	117.9	1.92	285.97	153.87	107.91	1.14	0.62	0.43	0.53	1.224
9.264	357.1	250.0	133.7	223.4	116.3	1.92	285.72	152.02	107.15	1.14	0.61	0.43	0.53	1.248
9.795	355.4	250.0	135.2	220.2	114.8	1.92	285.12	149.92	105.36	1.14	0.60	0.42	0.54	1.283
10.324	353.6	250.0	136.7	216.9	113.3	1.91	284.53	147.83	103.59	1.14	0.59	0.41	0.55	1.320
10.853	351.3	250.0	138.1	213.2	111.9	1.91	283.78	145.68	101.34	1.14	0.58	0.41	0.55	1.363
11.381	348.6	250.0	139.5	209.1	110.5	1.89	282.87	143.37	98.60	1.13	0.57	0.39	0.56	1.415
11.914	344.9	250.0	140.3	204.6	109.7	1.87	281.63	141.33	94.90	1.13	0.57	0.38	0.56	1.478
12.443	343.2	250.0	141.0	202.2	109.0	1.86	281.07	140.07	93.20	1.12	0.56	0.37	0.56	1.513
12.970	341.5	250.0	141.8	199.7	108.2	1.85	280.50	138.70	91.51	1.12	0.55	0.37	0.57	1.550
13.500	338.4	250.0	142.7	195.7	107.3	1.82	279.46	136.76	88.38	1.12	0.55	0.35	0.57	1.615
14.032	336.2	250.0	142.9	193.3	107.1	1.81	278.75	135.85	86.24	1.11	0.54	0.34	0.57	1.657
14.561	335.1	250.0	141.5	193.6	108.5	1.78	278.36	136.86	85.07	1.11	0.55	0.34	0.57	1.663
15.091	334.4	250.0	143.9	190.5	106.1	1.80	278.13	134.23	84.39	1.11	0.54	0.34	0.58	1.705

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff.Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
15.620	332.3	250.0	146.2	186.1	103.8	1.79	277.43	131.23	82.29	1.11	0.52	0.33	0.58	1.777
16.150	331.6	250.0	147.0	184.6	103.0	1.79	277.20	130.20	81.61	1.11	0.52	0.33	0.59	1.801
16.680	330.5	250.0	147.3	183.2	102.7	1.78	276.82	129.52	80.47	1.11	0.52	0.32	0.59	1.830
17.209	331.2	250.0	147.2	184.0	102.8	1.79	277.06	129.86	81.19	1.11	0.52	0.32	0.59	1.813
17.735	331.9	250.0	147.2	184.7	102.8	1.80	277.30	130.10	81.90	1.11	0.52	0.33	0.59	1.797
18.268	334.0	250.0	147.1	186.9	102.9	1.82	277.98	130.88	83.95	1.11	0.52	0.34	0.59	1.752
18.373	333.8	250.0	147.0	186.8	103.0	1.81	277.94	130.94	83.81	1.11	0.52	0.34	0.59	1.754

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)															1/2
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี จ.ปทุมธานี				Sample No 18 0		$\Delta v_c = 40.4 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 19.67 \%$					
Loc.No.	1		Proving Ring No. 1153-21		Effective Cell Pressure initially 250 kN/m^2		Lc = 98.25 mm		(1/3) $\epsilon_v = 6.56 \%$						
Test type	CU without side		Operation A.F.W.		Cell Pressure 450 kN/m^2		Ac = 1698.58 mm^2		(2/3) $\epsilon_v = 13.12 \%$						
Rate of	0.075 % per min		Consolidated Length 98.25 mm		Back Pressure 200 kN/m^2		Vc = 165.11 mm^3		shear temp 60 $^\circ\text{C}$						
Strain	4.5 % per hour		Membranes 1 x 0.2 mm		Consolidated Volume 165.112 cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 201 kPa								
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.010	258.7	250.0	0.3	258.4	249.7	1.03	252.88	252.58	8.65	1.01	1.01	0.03	0.00	0.035	
0.017	265.0	250.0	0.6	264.4	249.4	1.06	255.00	254.40	15.00	1.02	1.02	0.06	0.00	0.040	
0.027	272.2	250.0	1.0	271.2	249.0	1.09	257.41	256.41	22.22	1.03	1.03	0.09	0.00	0.045	
0.050	280.3	250.0	1.6	278.7	248.4	1.12	260.10	258.50	30.29	1.04	1.03	0.12	0.01	0.053	
0.061	286.1	250.0	2.1	284.0	247.9	1.15	262.02	259.92	36.06	1.05	1.04	0.14	0.01	0.058	
0.070	293.6	250.0	2.9	290.7	247.1	1.18	264.52	261.62	43.56	1.06	1.05	0.17	0.01	0.067	
0.078	297.0	250.0	3.1	293.9	246.9	1.19	265.67	262.57	47.02	1.06	1.05	0.19	0.01	0.066	
0.100	304.5	250.0	3.9	300.6	246.1	1.22	268.16	264.26	54.49	1.07	1.06	0.22	0.02	0.072	
0.130	312.5	250.0	5.4	307.1	244.6	1.26	270.85	265.45	62.54	1.08	1.06	0.25	0.02	0.086	
0.181	322.3	250.0	7.8	314.5	242.2	1.30	274.10	266.30	72.29	1.10	1.07	0.29	0.03	0.108	
0.231	328.0	250.0	10.2	317.8	239.8	1.33	276.00	265.80	78.01	1.10	1.06	0.31	0.04	0.131	
0.336	330.8	250.0	14.5	316.3	235.5	1.34	276.93	262.43	80.78	1.11	1.05	0.32	0.06	0.180	
0.538	337.5	250.0	23.5	314.0	226.5	1.39	279.15	255.65	87.45	1.12	1.02	0.35	0.09	0.269	
0.741	340.1	250.0	31.6	308.5	218.4	1.41	280.03	248.43	90.09	1.12	0.99	0.36	0.13	0.351	
0.939	343.9	250.0	38.6	305.3	211.4	1.44	281.29	242.69	93.86	1.13	0.97	0.38	0.15	0.411	
1.147	345.9	250.0	45.2	300.7	204.8	1.47	281.97	236.77	95.90	1.13	0.95	0.38	0.18	0.471	
1.354	349.1	250.0	51.1	298.0	198.9	1.50	283.02	231.92	99.06	1.13	0.93	0.40	0.20	0.516	
1.554	351.7	250.0	56.4	295.3	193.6	1.53	283.88	227.48	101.65	1.14	0.91	0.41	0.23	0.555	
1.759	354.2	250.0	61.3	292.9	188.7	1.55	284.74	223.44	104.22	1.14	0.89	0.42	0.25	0.588	
1.963	356.2	250.0	65.6	290.6	184.4	1.58	285.41	219.81	106.22	1.14	0.88	0.42	0.26	0.618	
2.168	357.1	250.0	69.8	287.3	180.2	1.59	285.69	215.89	107.07	1.14	0.86	0.43	0.28	0.652	
2.371	359.1	250.0	73.7	285.4	176.3	1.62	286.35	212.65	109.05	1.15	0.85	0.44	0.29	0.676	
2.570	359.3	250.0	77.1	282.2	172.9	1.63	286.45	209.35	109.34	1.15	0.84	0.44	0.31	0.705	
2.773	359.6	250.0	80.5	279.1	169.5	1.65	286.54	206.04	109.62	1.15	0.82	0.44	0.32	0.734	
3.287	361.1	250.0	87.8	273.3	162.2	1.69	287.05	199.25	111.14	1.15	0.80	0.44	0.35	0.790	
3.592	362.9	250.0	91.7	271.2	158.3	1.71	287.65	195.95	112.94	1.15	0.78	0.45	0.37	0.812	
3.890	364.2	250.0	95.2	269.0	154.8	1.74	288.06	192.86	114.17	1.15	0.77	0.46	0.38	0.834	
4.202	364.3	250.0	98.2	266.1	151.8	1.75	288.09	189.89	114.27	1.15	0.76	0.46	0.39	0.859	
4.507	364.9	250.0	101.1	263.8	148.9	1.77	288.31	187.21	114.93	1.15	0.75	0.46	0.40	0.880	
4.814	366.1	250.0	103.8	262.3	146.2	1.79	288.71	184.91	116.13	1.15	0.74	0.46	0.42	0.894	
5.119	366.8	250.0	106.4	260.4	143.6	1.81	288.92	182.52	116.77	1.16	0.73	0.47	0.43	0.911	
5.423	366.9	250.0	108.8	258.1	141.2	1.83	288.95	180.15	116.86	1.16	0.72	0.47	0.44	0.931	
5.730	366.9	250.0	111.0	255.9	139.0	1.84	288.98	177.98	116.94	1.16	0.71	0.47	0.44	0.949	
6.036	367.0	250.0	113.0	254.0	137.0	1.85	289.01	176.01	117.02	1.16	0.70	0.47	0.45	0.966	
6.341	367.1	250.0	114.9	252.2	135.1	1.87	289.03	174.13	117.10	1.16	0.70	0.47	0.46	0.981	
6.646	367.7	250.0	116.8	250.9	133.2	1.88	289.24	172.44	117.72	1.16	0.69	0.47	0.47	0.992	
6.948	368.3	250.0	118.5	249.8	131.5	1.90	289.44	170.94	118.33	1.16	0.68	0.47	0.47	1.001	
7.251	368.9	250.0	120.1	248.8	129.9	1.92	289.64	169.54	118.93	1.16	0.68	0.48	0.48	1.010	
7.563	369.0	250.0	121.6	247.4	128.4	1.93	289.66	168.06	118.98	1.16	0.67	0.48	0.49	1.022	
7.865	368.5	250.0	123.1	245.4	126.9	1.93	289.50	166.40	118.51	1.16	0.67	0.47	0.49	1.039	
8.172	370.1	250.0	124.5	245.6	125.5	1.96	290.05	165.55	120.15	1.16	0.66	0.48	0.50	1.036	
8.477	369.7	250.0	125.9	243.8	124.1	1.96	289.89	163.99	119.66	1.16	0.66	0.48	0.50	1.052	
8.783	370.2	250.0	127.1	243.1	122.9	1.98	290.08	162.98	120.23	1.16	0.65	0.48	0.51	1.057	
9.086	370.3	250.0	128.4	241.9	121.6	1.99	290.09	161.69	120.27	1.16	0.65	0.48	0.51	1.068	
9.393	370.3	250.0	129.3	241.0	120.7	2.00	290.10	160.80	120.30	1.16	0.64	0.48	0.52	1.075	
9.700	371.4	250.0	130.2	241.2	119.8	2.01	290.46	160.26	121.37	1.16	0.64	0.49	0.52	1.073	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
9.999	371.4	250.0	131.2	240.2	118.8	2.02	290.47	159.27	121.41	1.16	0.64	0.49	0.52	1.081
10.511	371.6	250.0	132.8	238.8	117.2	2.04	290.54	157.74	121.61	1.16	0.63	0.49	0.53	1.092
11.023	372.8	250.0	134.3	238.5	115.7	2.06	290.94	156.64	122.82	1.16	0.63	0.49	0.54	1.093
11.525	372.5	250.0	136.2	236.3	113.8	2.08	290.83	154.63	122.49	1.16	0.62	0.49	0.54	1.112
12.041	372.6	250.0	137.6	235.0	112.4	2.09	290.88	153.28	122.65	1.16	0.61	0.49	0.55	1.122
12.549	370.3	250.0	138.9	231.4	111.1	2.08	290.09	151.19	120.27	1.16	0.60	0.48	0.56	1.155
13.058	369.4	250.0	140.0	229.4	110.0	2.09	289.81	149.81	119.43	1.16	0.60	0.48	0.56	1.172
13.562	368.1	250.0	141.1	227.0	108.9	2.08	289.36	148.26	118.09	1.16	0.59	0.47	0.56	1.195
14.075	367.7	250.0	142.2	225.5	107.8	2.09	289.24	147.04	117.73	1.16	0.59	0.47	0.57	1.208
14.582	366.4	250.0	143.1	223.3	106.9	2.09	288.80	145.70	116.39	1.16	0.58	0.47	0.57	1.229
15.095	365.5	250.0	144.2	221.3	105.8	2.09	288.51	144.31	115.54	1.15	0.58	0.46	0.58	1.248
15.600	366.2	250.0	145.1	221.1	104.9	2.11	288.72	143.62	116.16	1.15	0.57	0.46	0.58	1.249
16.110	364.8	250.0	145.9	218.9	104.1	2.10	288.27	142.37	114.82	1.15	0.57	0.46	0.58	1.271
16.620	364.4	250.0	146.7	217.7	103.3	2.11	288.15	141.45	114.45	1.15	0.57	0.46	0.59	1.282
17.129	363.1	250.0	147.4	215.7	102.6	2.10	287.71	140.31	113.12	1.15	0.56	0.45	0.59	1.303
18.141	360.0	250.0	148.4	211.6	101.6	2.08	286.67	138.27	110.01	1.15	0.55	0.44	0.59	1.349
18.656	359.2	250.0	148.9	210.3	101.1	2.08	286.38	137.48	109.15	1.15	0.55	0.44	0.60	1.364
19.163	357.4	250.0	149.2	208.2	100.8	2.07	285.79	136.59	107.38	1.14	0.55	0.43	0.60	1.389
19.244	357.7	250.0	149.3	208.4	100.7	2.07	285.90	136.60	107.71	1.14	0.55	0.43	0.60	1.386

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY </p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี จ.ปทุมธานี			Sample No 19 0			$\Delta v_e = 52.5 \text{ mm}^3$			$\epsilon_v = 25.16 \%$			
Loc.No.	1		Proving Ring No. 1153-21			Effective Cell Pressure initially 250 kN/m^2			$L_c = 94.50 \text{ mm}$			$(1/3)\epsilon_v = 8.39 \%$			
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure 450 kN/m^2			$A_c = 1683.00 \text{ mm}^2$			$(2/3)\epsilon_v = 16.77 \%$			
Rate of	1 % per min		Consolidated Length 94.50 mm			Back Pressure 200 kN/m^2			$V_c = 156.11 \text{ mm}^3$			shear temp 60 $^\circ\text{C}$			
Strain	60.0 % per hour		Consolidated Area 1683.00 mm^2			Consolidated Volume 156.108 cm^3			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 202.1 kPa						
Membranes 1 x 0.2	mm		Excess PWP, Δu (kPa)			Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)			Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)			Skempton's PWP Parameter A			
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A		
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.002	251.7	250.0	0.0	251.7	250.0	1.01	250.58	250.58	1.75	1.00	1.00	0.01	0.00	0.000	
-0.002	252.3	250.0	0.1	252.2	249.9	1.01	250.78	250.68	2.33	1.00	1.00	0.01	0.00	0.043	
0.001	258.2	250.0	0.1	258.1	249.9	1.03	252.72	252.62	8.16	1.01	1.01	0.03	0.00	0.012	
0.007	263.4	250.0	0.2	263.2	249.8	1.05	254.47	254.27	13.40	1.02	1.02	0.05	0.00	0.015	
0.008	267.5	250.0	0.2	267.3	249.8	1.07	255.83	255.63	17.48	1.02	1.02	0.07	0.00	0.011	
0.011	272.7	250.0	0.2	272.5	249.8	1.09	257.57	257.37	22.72	1.03	1.03	0.09	0.00	0.009	
0.033	284.7	250.0	0.5	284.2	249.5	1.14	261.55	261.05	34.66	1.05	1.04	0.14	0.00	0.014	
0.042	287.6	250.0	0.6	287.0	249.4	1.15	262.52	261.92	37.57	1.05	1.05	0.15	0.00	0.016	
0.051	292.8	250.0	0.7	292.1	249.3	1.17	264.27	263.57	42.81	1.06	1.05	0.17	0.00	0.016	
0.066	295.7	250.0	0.9	294.8	249.1	1.18	265.24	264.34	45.72	1.06	1.06	0.18	0.00	0.020	
0.073	300.4	250.0	1.0	299.4	249.0	1.20	266.79	265.79	50.37	1.07	1.06	0.20	0.00	0.020	
0.094	309.7	250.0	1.4	308.3	248.6	1.24	269.89	268.49	59.66	1.08	1.07	0.24	0.01	0.023	
0.115	315.5	250.0	1.8	313.7	248.2	1.26	271.82	270.02	65.46	1.09	1.08	0.26	0.01	0.027	
0.144	321.8	250.0	2.2	319.6	247.8	1.29	273.95	271.75	71.84	1.10	1.09	0.29	0.01	0.031	
0.172	326.5	250.0	2.7	323.8	247.3	1.31	275.49	272.79	76.46	1.10	1.09	0.31	0.01	0.035	
0.233	330.5	250.0	3.5	327.0	246.5	1.33	276.82	273.32	80.47	1.11	1.09	0.32	0.01	0.043	
0.284	335.1	250.0	4.3	330.8	245.7	1.35	278.36	274.06	85.07	1.11	1.10	0.34	0.02	0.051	
0.338	338.5	250.0	4.9	333.6	245.1	1.36	279.50	274.60	88.49	1.12	1.10	0.35	0.02	0.055	
0.387	341.9	250.0	5.7	336.2	244.3	1.38	280.64	274.94	91.92	1.12	1.10	0.37	0.02	0.062	
0.602	350.4	250.0	8.8	341.6	241.2	1.42	283.45	274.65	100.36	1.13	1.10	0.40	0.04	0.088	
0.813	356.5	250.0	11.9	344.6	238.1	1.45	285.48	273.58	106.45	1.14	1.09	0.43	0.05	0.112	
1.028	361.9	250.0	15.1	346.8	234.9	1.48	287.31	272.21	111.93	1.15	1.09	0.45	0.06	0.135	
1.236	364.5	250.0	18.0	346.5	232.0	1.49	288.17	270.17	114.52	1.15	1.08	0.46	0.07	0.157	
1.448	366.5	250.0	21.0	345.5	229.0	1.51	288.84	267.84	116.52	1.16	1.07	0.47	0.08	0.180	
1.977	369.8	250.0	28.1	341.7	221.9	1.54	289.92	261.82	119.76	1.16	1.05	0.48	0.11	0.235	
2.294	371.6	250.0	32.4	339.2	217.6	1.56	290.52	258.12	121.56	1.16	1.03	0.49	0.13	0.267	
2.615	372.8	250.0	36.5	336.3	213.5	1.58	290.93	254.43	122.78	1.16	1.02	0.49	0.15	0.297	
2.931	373.4	250.0	40.4	333.0	209.6	1.59	291.14	250.74	123.43	1.16	1.00	0.49	0.16	0.327	
3.246	374.1	250.0	44.4	329.7	205.6	1.60	291.36	246.96	124.08	1.17	0.99	0.50	0.18	0.358	
3.566	375.3	250.0	48.1	327.2	201.9	1.62	291.76	243.66	125.27	1.17	0.97	0.50	0.19	0.384	
3.880	375.3	250.0	51.7	323.6	198.3	1.63	291.78	240.08	125.34	1.17	0.96	0.50	0.21	0.412	
4.200	376.5	250.0	55.2	321.3	194.8	1.65	292.17	236.97	126.51	1.17	0.95	0.51	0.22	0.436	
4.516	376.0	250.0	58.7	317.3	191.3	1.66	292.00	233.30	126.01	1.17	0.93	0.50	0.23	0.466	
4.834	375.5	250.0	61.9	313.6	188.1	1.67	291.83	229.93	125.50	1.17	0.92	0.50	0.25	0.493	
5.151	374.4	250.0	65.2	309.2	184.8	1.67	291.48	226.28	124.44	1.17	0.91	0.50	0.26	0.524	
5.471	376.1	250.0	68.3	307.8	181.7	1.69	292.05	223.75	126.14	1.17	0.89	0.50	0.27	0.541	
5.789	375.1	250.0	71.3	303.8	178.7	1.70	291.69	220.39	125.08	1.17	0.88	0.50	0.29	0.570	
6.101	376.2	250.0	74.2	302.0	175.8	1.72	292.08	217.88	126.23	1.17	0.87	0.50	0.30	0.588	
6.423	376.2	250.0	77.2	299.0	172.8	1.73	292.08	214.88	126.25	1.17	0.86	0.50	0.31	0.611	
6.741	376.3	250.0	79.9	296.4	170.1	1.74	292.09	212.19	126.28	1.17	0.85	0.51	0.32	0.633	
7.057	376.3	250.0	82.4	293.9	167.6	1.75	292.10	209.70	126.30	1.17	0.84	0.51	0.33	0.652	
7.375	375.8	250.0	85.0	290.8	165.0	1.76	291.93	206.93	125.78	1.17	0.83	0.50	0.34	0.676	
7.692	376.9	250.0	87.3	289.6	162.7	1.78	292.29	204.99	126.88	1.17	0.82	0.51	0.35	0.688	
8.011	375.8	250.0	89.5	286.3	160.5	1.78	291.94	202.44	125.82	1.17	0.81	0.50	0.36	0.711	
8.329	374.8	250.0	91.7	283.1	158.3	1.79	291.59	199.89	124.76	1.17	0.80	0.50	0.37	0.735	
8.646	374.8	250.0	93.6	281.2	156.4	1.80	291.59	197.99	124.77	1.17	0.79	0.50	0.37	0.750	


 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)															1/2																				
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจ.ป.ราชบุรี อ.เมืองจ.ราชบุรี			Sample No	20 0			$\Delta v_c =$	44.6	mm^3	$\epsilon_v =$	21.05	%																				
Loc.No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially			250	kN/m^2			$L_c =$	97.66	mm	$(1/3)\epsilon_v =$	7.02	%																	
Test type	CU	without side	Operation A.F.W.			Cell Pressure			450	kN/m^2			$A_c =$	1733.89	mm^2	$(2/3)\epsilon_v =$	14.03	%																	
Rate of	6	% per min	Consolidated Length			97.66	Back Pressure			200	kN/m^2			$V_c =$	167.24	mm^3	shear temp	60	$^{\circ}C$																
Strain	360.0	% per hour	Consolidated Area			1733.89	Consolidated Volume			167.24	cm^3			Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 200.6094 kPa																					
Membranes	1 x 0.2	mm	Excess PWP, Δu			Eff. Major Principle Stress, σ_1'			Eff. Minor Principle Stress, σ_3'			Mean Stress, p			Mean Eff. Stress, p'			Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$			Normalised Mean Stress, p'/σ_c'			Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ_c'			Normalised Deviator Stress, q/σ_c'			Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma_c'$			Skemton's PWP Parameter A		
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ_1' (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ_3' (kPa.)	σ_1'/σ_3'	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/σ_c'	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ_c'	Normalised Deviator Stress, q/σ_c'	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma_c'$	Skemton's PWP Parameter A																					
0	250.0	250.0	0.0	250.0	250.0	1.00	250.00	250.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-																					
0.002	254.2	250.0	0.1	254.1	249.9	1.02	251.41	251.27	4.24	1.01	1.01	0.02	0.00	0.033																					
0.002	262.8	250.0	0.1	262.7	249.9	1.05	254.26	254.14	12.79	1.02	1.02	0.05	0.00	0.010																					
0.011	272.5	250.0	0.1	272.4	249.9	1.09	257.50	257.44	22.51	1.03	1.03	0.09	0.00	0.003																					
0.025	276.9	250.0	0.2	276.8	249.8	1.11	258.97	258.82	26.92	1.04	1.04	0.11	0.00	0.006																					
0.032	275.0	250.0	0.3	274.7	249.7	1.10	258.32	258.04	24.97	1.03	1.03	0.10	0.00	0.011																					
0.048	283.9	250.0	0.3	283.6	249.7	1.14	261.30	260.96	33.91	1.05	1.04	0.14	0.00	0.010																					
0.080	295.0	250.0	0.5	294.5	249.5	1.18	264.99	264.52	44.98	1.06	1.06	0.18	0.00	0.010																					
0.101	306.0	250.0	0.4	305.6	249.6	1.22	268.67	268.27	56.02	1.07	1.07	0.22	0.00	0.007																					
0.114	306.2	250.0	0.7	305.5	249.3	1.23	268.73	268.05	56.20	1.07	1.07	0.22	0.00	0.012																					
0.140	315.3	250.0	0.8	314.6	249.3	1.26	271.77	271.02	65.31	1.09	1.08	0.26	0.00	0.011																					
0.160	322.3	250.0	0.7	321.6	249.3	1.29	274.09	273.39	72.28	1.10	1.09	0.29	0.00	0.010																					
0.183	326.5	250.0	1.0	325.6	249.0	1.31	275.51	274.56	76.53	1.10	1.10	0.31	0.00	0.012																					
0.204	334.5	250.0	0.9	333.6	249.1	1.34	278.16	277.25	84.47	1.11	1.11	0.34	0.00	0.011																					
0.233	339.3	250.0	1.2	338.1	248.8	1.36	279.76	278.56	89.28	1.12	1.11	0.36	0.00	0.013																					
0.265	348.6	250.0	1.2	347.4	248.8	1.40	282.85	281.65	98.56	1.13	1.13	0.39	0.00	0.012																					
0.288	355.1	250.0	1.3	353.8	248.7	1.42	285.04	283.71	105.12	1.14	1.13	0.42	0.01	0.013																					
0.336	360.3	250.0	1.5	358.8	248.5	1.44	286.76	285.26	110.29	1.15	1.14	0.44	0.01	0.014																					
0.398	361.6	250.0	1.9	359.7	248.1	1.45	287.19	285.33	111.57	1.15	1.14	0.45	0.01	0.017																					
0.448	362.1	250.0	2.0	360.0	248.0	1.45	287.36	285.33	112.08	1.15	1.14	0.45	0.01	0.018																					
0.645	361.0	250.0	2.7	358.3	247.3	1.45	287.01	284.31	111.03	1.15	1.14	0.44	0.01	0.024																					
0.856	358.8	250.0	3.6	355.2	246.4	1.44	286.27	282.63	108.82	1.15	1.13	0.44	0.01	0.033																					
1.064	358.0	250.0	4.4	353.6	245.6	1.44	285.99	281.60	107.96	1.14	1.13	0.43	0.02	0.041																					
1.263	359.8	250.0	5.0	354.8	245.0	1.45	286.60	281.63	109.80	1.15	1.13	0.44	0.02	0.045																					
1.473	361.6	250.0	5.8	355.9	244.3	1.46	287.21	281.46	111.62	1.15	1.13	0.45	0.02	0.052																					
1.981	363.0	250.0	7.6	355.4	242.4	1.47	287.67	280.11	113.01	1.15	1.12	0.45	0.03	0.067																					
2.286	363.9	250.0	8.6	355.4	241.4	1.47	287.97	279.41	113.91	1.15	1.12	0.46	0.03	0.075																					
2.597	371.2	250.0	9.5	361.7	240.5	1.50	290.41	280.90	121.24	1.16	1.12	0.48	0.04	0.078																					
2.906	370.2	250.0	10.6	359.6	239.4	1.50	290.07	279.48	120.21	1.16	1.12	0.48	0.04	0.088																					
3.205	369.6	250.0	11.7	357.9	238.3	1.50	289.86	278.17	119.57	1.16	1.11	0.48	0.05	0.098																					
3.517	374.4	250.0	12.7	361.6	237.3	1.52	291.45	278.72	124.36	1.17	1.11	0.50	0.05	0.102																					
3.826	376.1	250.0	13.8	362.4	236.3	1.53	292.04	278.29	126.12	1.17	1.11	0.50	0.06	0.109																					
4.137	376.6	250.0	14.8	361.8	235.2	1.54	292.19	277.39	126.57	1.17	1.11	0.51	0.06	0.117																					
4.443	373.7	250.0	16.0	357.6	234.0	1.53	291.22	275.21	123.66	1.16	1.10	0.49	0.06	0.130																					
4.741	375.2	250.0	16.9	358.3	233.1	1.54	291.75	274.81	125.24	1.17	1.10	0.50	0.07	0.135																					
5.056	381.6	250.0	17.9	363.7	232.1	1.57	293.86	276.00	131.57	1.18	1.10	0.53	0.07	0.136																					
5.361	379.2	250.0	19.0	360.3	231.0	1.56	293.08	274.11	129.23	1.17	1.10	0.52	0.08	0.147																					
5.670	378.9	250.0	19.9	359.0	230.1	1.56	292.97	273.05	128.91	1.17	1.09	0.52	0.08	0.155																					
5.972	380.6	250.0	20.8	359.8	229.2	1.57	293.54	272.72	130.61	1.17	1.09	0.52	0.08	0.159																					
6.283	384.5	250.0	21.6	362.8	228.4	1.59	294.82	273.20	134.47	1.18	1.09	0.54	0.09	0.161																					
6.594	381.4	250.0	22.8	358.6	227.2	1.58	293.80	270.99	131.39	1.18	1.08	0.53	0.09	0.174																					
6.901	379.6	250.0	23.7	355.9	226.3	1.57	293.20	269.47	129.61	1.17	1.08	0.52	0.09	0.183																					
7.207	380.0	250.0	24.7	355.3	225.3	1.58	293.33	268.63	130.00	1.17	1.07	0.52	0.10	0.190																					
7.502	378.8	250.0	25.7	353.1	224.3	1.57	292.93	267.26	128.79	1.17	1.07	0.52	0.10	0.199																					
7.818	378.6	250.0	26.7	351.9	223.3	1.58	292.87	266.17	128.62	1.17	1.06	0.51	0.11	0.208																					
8.129	378.8	250.0	27.7	351.1	222.3	1.58	292.94	265.27	128.82	1.17	1.06	0.52	0.11	0.215																					
8.436	379.6	250.0	28.6	350.9	221.4	1.59	293.18	264.57	129.55	1.17	1.06	0.52	0.11	0.221																					

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff.Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
8.745	379.4	250.0	29.5	349.8	220.5	1.59	293.13	263.58	129.38	1.17	1.05	0.52	0.12	0.228
9.250	382.4	250.0	31.0	351.4	219.0	1.60	294.14	263.09	132.41	1.18	1.05	0.53	0.12	0.234
9.761	382.2	250.0	32.7	349.6	217.3	1.61	294.08	261.40	132.23	1.18	1.05	0.53	0.13	0.247
10.278	381.8	250.0	34.2	347.6	215.8	1.61	293.95	259.75	131.85	1.18	1.04	0.53	0.14	0.259
10.792	379.7	250.0	35.8	343.9	214.2	1.61	293.24	257.46	129.73	1.17	1.03	0.52	0.14	0.276
11.303	379.2	250.0	37.3	341.9	212.7	1.61	293.06	255.78	129.19	1.17	1.02	0.52	0.15	0.289
11.815	376.1	250.0	38.7	337.3	211.3	1.60	292.02	253.29	126.07	1.17	1.01	0.50	0.15	0.307
12.325	376.7	250.0	40.1	336.7	209.9	1.60	292.24	252.18	126.73	1.17	1.01	0.51	0.16	0.316
12.833	374.5	250.0	41.6	332.9	208.4	1.60	291.50	249.89	124.49	1.17	1.00	0.50	0.17	0.334


2.) สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 2 (OCR=2)

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)															1/2		
Triaxial Shearing																	
Loc. No.	1	Location	ต. บางซอก อ. ปากน้ำ จ. นครศรีธรรมราช			Sample No.	5	0	$\Delta v_c =$		65.4	mm^3	$\epsilon_v =$	31.56	%		
Test type	CU	without side		Proving Ring No.	(Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure	initially	125	kN/m^2	$L_c =$	93.80	mm	$(1/3)\epsilon_v =$	10.52	%
Rate of Strain	0.02	% per min		Operation A.F.W.				Cell Pressure	325	kN/m^2	$A_c =$	1559.69	mm^2	$(2/3)\epsilon_v =$	21.04	%	
Rate of Strain	1.2	% per hour		Consolidated Length	93.80	mm	Back Pressure	200	kN/m^2	$V_c =$	141.72	mm^3	shear temp	45	$^{\circ}C$		
Membranes 1 x 0.2	mm		Consolidated Area	1559.69	mm^2		Consolidated Volume	141.723		cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)	200.5976			kPa	
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A			
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-			
0.010	125.0	125.0	0.1	124.9	124.9	1.00	125.00	124.90	-0.01	1.00	1.00	0.00	0.00	-12.460			
0.017	126.3	125.0	0.0	126.3	125.0	1.01	125.43	125.40	1.28	1.00	1.00	0.01	0.00	0.024			
0.019	125.0	125.0	0.7	124.3	124.3	1.00	124.99	124.29	-0.02	1.00	0.99	0.00	0.01	-46.757			
0.029	131.2	125.0	1.1	130.1	123.9	1.05	127.07	126.00	6.20	1.02	1.01	0.05	0.01	0.172			
0.033	134.7	125.0	1.1	133.5	123.9	1.08	128.22	127.11	9.66	1.03	1.02	0.08	0.01	0.115			
0.038	140.7	125.0	1.1	139.6	123.9	1.13	130.24	129.14	15.71	1.04	1.03	0.13	0.01	0.070			
0.060	146.1	125.0	1.8	144.3	123.2	1.17	132.03	130.26	21.10	1.06	1.04	0.17	0.01	0.084			
0.062	145.7	125.0	2.1	143.5	122.9	1.17	131.89	129.76	20.67	1.06	1.04	0.17	0.02	0.103			
0.081	149.3	125.0	3.7	145.7	121.3	1.20	133.11	129.44	24.32	1.06	1.04	0.19	0.03	0.151			
0.088	155.1	125.0	3.8	151.4	121.2	1.25	135.05	131.26	30.15	1.08	1.05	0.24	0.03	0.126			
0.110	157.9	125.0	5.2	152.8	119.8	1.27	135.98	130.81	32.94	1.09	1.05	0.26	0.04	0.157			
0.133	159.2	125.0	6.0	153.2	119.0	1.29	136.41	130.39	34.23	1.09	1.04	0.27	0.05	0.176			
0.143	159.2	125.0	7.1	152.1	117.9	1.29	136.41	129.29	34.22	1.09	1.03	0.27	0.06	0.208			
0.181	166.5	125.0	8.4	158.1	116.6	1.36	138.84	130.43	41.53	1.11	1.04	0.33	0.07	0.203			
0.214	168.7	125.0	10.1	158.6	114.9	1.38	139.56	129.48	43.67	1.12	1.04	0.35	0.08	0.231			
0.250	174.0	125.0	11.4	162.6	113.6	1.43	141.35	129.95	49.04	1.13	1.04	0.39	0.09	0.232			
0.298	172.7	125.0	13.2	159.5	111.8	1.43	140.90	127.73	47.71	1.13	1.02	0.38	0.11	0.276			
0.345	175.3	125.0	15.3	160.0	109.7	1.46	141.75	126.47	50.26	1.13	1.01	0.40	0.12	0.304			
0.400	180.0	125.0	16.7	163.3	108.3	1.51	143.32	126.64	54.95	1.15	1.01	0.44	0.13	0.304			
0.484	185.3	125.0	18.2	167.0	106.8	1.56	145.09	126.87	60.26	1.16	1.01	0.48	0.15	0.302			
0.591	189.9	125.0	20.6	169.3	104.4	1.62	146.63	126.02	64.90	1.17	1.01	0.52	0.16	0.318			
0.700	191.3	125.0	22.2	169.1	102.8	1.64	147.10	124.90	66.30	1.18	1.00	0.53	0.18	0.335			
0.803	195.1	125.0	23.8	171.3	101.2	1.69	148.35	124.59	70.06	1.19	1.00	0.56	0.19	0.339			
1.010	192.9	125.0	26.3	166.6	98.7	1.69	147.64	121.35	67.93	1.18	0.97	0.54	0.21	0.387			
1.231	198.1	125.0	28.0	170.0	97.0	1.75	149.35	121.31	73.06	1.19	0.97	0.58	0.22	0.384			
1.439	203.6	125.0	29.6	174.1	95.4	1.82	151.20	121.65	78.61	1.21	0.97	0.63	0.24	0.376			
1.632	206.2	125.0	30.8	175.3	94.2	1.86	152.05	121.22	81.16	1.22	0.97	0.65	0.25	0.380			
1.865	205.5	125.0	32.5	173.0	92.5	1.87	151.83	119.30	80.48	1.21	0.95	0.64	0.26	0.404			
2.079	205.3	125.0	33.9	171.4	91.1	1.88	151.75	117.87	80.25	1.21	0.94	0.64	0.27	0.422			
2.299	210.3	125.0	34.9	175.4	90.1	1.95	153.43	118.50	85.29	1.23	0.95	0.68	0.28	0.410			
2.508	208.4	125.0	35.8	172.6	89.2	1.93	152.79	117.00	83.37	1.22	0.94	0.67	0.29	0.429			
2.713	212.6	125.0	36.9	175.6	88.1	1.99	154.18	117.28	87.55	1.23	0.94	0.70	0.30	0.422			
2.935	209.1	125.0	38.1	171.0	86.9	1.97	153.05	114.92	84.14	1.22	0.92	0.67	0.31	0.453			
3.151	212.9	125.0	38.8	174.0	86.2	2.02	154.29	115.46	87.87	1.23	0.92	0.70	0.31	0.442			
3.361	210.3	125.0	39.7	170.6	85.3	2.00	153.44	113.76	85.33	1.23	0.91	0.68	0.32	0.465			
3.578	212.6	125.0	40.2	172.3	84.8	2.03	154.19	113.95	87.58	1.23	0.91	0.70	0.32	0.460			
3.785	212.1	125.0	41.1	171.0	83.9	2.04	154.04	112.93	87.12	1.23	0.90	0.70	0.33	0.472			
4.002	216.0	125.0	41.8	174.2	83.2	2.09	155.34	113.54	91.02	1.24	0.91	0.73	0.33	0.459			
4.216	212.4	125.0	42.9	169.6	82.1	2.06	154.15	111.28	87.44	1.23	0.89	0.70	0.34	0.490			
4.430	213.4	125.0	43.7	169.8	81.3	2.09	154.48	110.81	88.43	1.24	0.89	0.71	0.35	0.494			
4.640	213.8	125.0	44.2	169.6	80.8	2.10	154.60	110.37	88.79	1.24	0.88	0.71	0.35	0.498			
4.854	218.3	125.0	44.8	173.5	80.2	2.16	156.09	111.30	93.26	1.25	0.89	0.75	0.36	0.480			
5.069	217.2	125.0	45.6	171.6	79.4	2.16	155.72	110.13	92.17	1.25	0.88	0.74	0.36	0.495			
5.283	215.3	125.0	46.3	169.0	78.7	2.15	155.09	108.82	90.27	1.24	0.87	0.72	0.37	0.513			
5.488	215.0	125.0	47.1	167.9	77.9	2.16	155.00	107.88	90.01	1.24	0.86	0.72	0.38	0.524			
5.707	212.5	125.0	48.1	164.4	76.9	2.14	154.17	106.07	87.50	1.23	0.85	0.70	0.38	0.550			


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
5.910	216.1	125.0	48.3	167.8	76.7	2.19	155.37	107.07	91.12	1.24	0.86	0.73	0.39	0.530
6.136	217.7	125.0	49.2	168.5	75.8	2.22	155.89	106.71	92.66	1.25	0.85	0.74	0.39	0.531
6.350	218.2	125.0	49.5	168.7	75.5	2.23	156.07	106.54	93.20	1.25	0.85	0.75	0.40	0.531
6.557	217.3	125.0	50.2	167.1	74.8	2.23	155.78	105.59	92.33	1.25	0.84	0.74	0.40	0.544
6.774	217.3	125.0	50.8	166.4	74.2	2.24	155.75	104.94	92.25	1.25	0.84	0.74	0.41	0.551
6.977	218.6	125.0	51.3	167.3	73.7	2.27	156.20	104.92	93.60	1.25	0.84	0.75	0.41	0.548
7.201	217.7	125.0	51.5	166.2	73.5	2.26	155.90	104.42	92.71	1.25	0.84	0.74	0.41	0.555
7.413	218.4	125.0	51.6	166.8	73.4	2.27	156.15	104.52	93.44	1.25	0.84	0.75	0.41	0.553
7.622	217.6	125.0	52.2	165.4	72.8	2.27	155.86	103.67	92.57	1.25	0.83	0.74	0.42	0.564
7.841	214.3	125.0	52.8	161.4	72.2	2.24	154.77	101.92	89.30	1.24	0.82	0.71	0.42	0.592
8.051	212.6	125.0	53.5	159.1	71.5	2.23	154.21	100.69	87.64	1.23	0.81	0.70	0.43	0.611
8.261	215.2	125.0	53.9	161.3	71.1	2.27	155.05	101.18	90.16	1.24	0.81	0.72	0.43	0.597
8.482	217.4	125.0	54.0	163.4	71.0	2.30	155.82	101.81	92.45	1.25	0.81	0.74	0.43	0.584
8.694	216.2	125.0	54.6	161.6	70.4	2.30	155.40	100.77	91.19	1.24	0.81	0.73	0.44	0.599
8.904	218.9	125.0	54.9	164.0	70.1	2.34	156.29	101.40	93.87	1.25	0.81	0.75	0.44	0.585
9.111	216.0	125.0	55.4	160.7	69.6	2.31	155.35	99.97	91.04	1.24	0.80	0.73	0.44	0.608
9.330	212.4	125.0	56.0	156.4	69.0	2.27	154.14	98.12	87.42	1.23	0.78	0.70	0.45	0.641
9.540	215.9	125.0	56.2	159.7	68.8	2.32	155.29	99.12	90.88	1.24	0.79	0.73	0.45	0.618
9.761	216.0	125.0	56.4	159.5	68.6	2.33	155.33	98.89	90.98	1.24	0.79	0.73	0.45	0.620
9.973	212.4	125.0	57.1	155.3	67.9	2.29	154.13	97.08	87.39	1.23	0.78	0.70	0.46	0.653
10.183	215.8	125.0	57.1	158.8	67.9	2.34	155.27	98.22	90.82	1.24	0.79	0.73	0.46	0.628
10.395	213.2	125.0	57.4	155.8	67.6	2.30	154.41	97.04	88.22	1.24	0.78	0.71	0.46	0.650
10.604	216.2	125.0	57.3	158.9	67.7	2.35	155.41	98.06	91.23	1.24	0.78	0.73	0.46	0.629
10.826	213.0	125.0	58.1	154.9	66.9	2.32	154.35	96.22	88.05	1.23	0.77	0.70	0.47	0.660
11.036	217.0	125.0	58.0	159.0	67.0	2.37	155.67	97.63	92.01	1.25	0.78	0.74	0.46	0.631
11.240	216.0	125.0	58.3	157.7	66.7	2.36	155.32	97.03	90.97	1.24	0.78	0.73	0.47	0.641
11.467	211.1	125.0	58.9	152.2	66.1	2.30	153.69	94.81	86.07	1.23	0.76	0.69	0.47	0.684
11.674	211.2	125.0	59.1	152.1	65.9	2.31	153.73	94.64	86.19	1.23	0.76	0.69	0.47	0.686
11.881	211.5	125.0	59.6	151.9	65.4	2.32	153.83	94.26	86.50	1.23	0.75	0.69	0.48	0.689
12.100	211.6	125.0	59.7	151.9	65.3	2.33	153.87	94.21	86.60	1.23	0.75	0.69	0.48	0.689
12.305	215.1	125.0	60.0	155.2	65.0	2.39	155.04	95.07	90.13	1.24	0.76	0.72	0.48	0.665
12.515	210.7	125.0	60.3	150.4	64.7	2.32	153.56	93.30	85.69	1.23	0.75	0.69	0.48	0.703
12.741	213.4	125.0	60.7	152.7	64.3	2.38	154.47	93.74	88.41	1.24	0.75	0.71	0.49	0.687
12.951	212.4	125.0	60.8	151.6	64.2	2.36	154.13	93.38	87.38	1.23	0.75	0.70	0.49	0.695
13.163	210.8	125.0	61.1	149.7	63.9	2.34	153.60	92.50	85.79	1.23	0.74	0.69	0.49	0.712
13.377	214.1	125.0	61.5	152.5	63.5	2.40	154.69	93.16	89.07	1.24	0.75	0.71	0.49	0.691
13.598	210.2	125.0	61.9	148.4	63.1	2.35	153.41	91.54	85.23	1.23	0.73	0.68	0.49	0.726
13.806	215.0	125.0	61.7	153.3	63.3	2.42	155.00	93.29	89.99	1.24	0.75	0.72	0.49	0.686
14.339	216.1	125.0	62.6	153.5	62.4	2.46	155.37	92.77	91.12	1.24	0.74	0.73	0.50	0.687
14.868	214.8	125.0	63.2	151.6	61.8	2.45	154.95	91.75	89.84	1.24	0.73	0.72	0.51	0.703
15.409	212.3	125.0	64.0	148.3	61.0	2.43	154.09	90.12	87.27	1.23	0.72	0.70	0.51	0.733
15.942	214.8	125.0	64.1	150.7	60.9	2.48	154.94	90.83	89.82	1.24	0.73	0.72	0.51	0.714
16.476	212.3	125.0	64.7	147.6	60.3	2.45	154.09	89.37	87.28	1.23	0.71	0.70	0.52	0.742
17.007	208.9	125.0	65.3	143.6	59.7	2.40	152.95	87.66	83.86	1.22	0.70	0.67	0.52	0.779
17.541	208.2	125.0	65.7	142.5	59.3	2.40	152.72	87.03	83.15	1.22	0.70	0.67	0.53	0.790
18.074	207.8	125.0	66.1	141.7	58.9	2.40	152.60	86.55	82.79	1.22	0.69	0.66	0.53	0.798
18.605	208.1	125.0	66.4	141.8	58.6	2.42	152.71	86.35	83.14	1.22	0.69	0.67	0.53	0.798
19.141	205.8	125.0	66.7	139.1	58.3	2.39	151.95	85.24	80.84	1.22	0.68	0.65	0.53	0.825
19.603	204.4	125.0	67.1	137.2	57.9	2.37	151.45	84.32	79.36	1.21	0.67	0.63	0.54	0.846

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)														
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจัตวา อ.ป่าพะยอม อ.บันนังสตา อ.นบพิตำ อ.ศรีนครินทร์ อ.นครหลวง			Sample No 6 0			$\Delta v_e =$ 37.4 mm³			$\epsilon_v =$ 18.29 %		
Loc.No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 125 kN/m²			Lc = 98.71 mm			(1/3) $\epsilon_v =$ 6.10 %		
Test type	CU		Operation A.F.W.			Cell Pressure 325 kN/m²			Ac = 1708.05 mm²			(2/3) $\epsilon_v =$ 12.19 %		
Rate of	0.075 % per min		Consolidated Length 98.71 mm			Back Pressure 200 kN/m²			Vc = 167.08 mm³			shear temp 45 °C		
Strain	4.5 % per hour		Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Volume 167.08 cm³			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 200.8171 kPa					
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
0.005	129.1	125.0	0.2	128.8	124.8	1.03	126.35	126.12	4.06	1.01	1.01	0.03	0.00	0.058
0.011	129.2	125.0	0.3	128.9	124.7	1.03	126.41	126.12	4.22	1.01	1.01	0.03	0.00	0.067
0.023	132.4	125.0	0.3	132.1	124.7	1.06	127.45	127.15	7.36	1.02	1.02	0.06	0.00	0.040
0.023	133.1	125.0	0.3	132.8	124.7	1.07	127.72	127.42	8.15	1.02	1.02	0.07	0.00	0.037
0.043	137.6	125.0	0.5	137.2	124.5	1.10	129.21	128.76	12.64	1.03	1.03	0.10	0.00	0.036
0.057	139.2	125.0	0.5	138.6	124.5	1.11	129.73	129.19	14.18	1.04	1.03	0.11	0.00	0.038
0.057	140.2	125.0	0.5	139.7	124.5	1.12	130.08	129.55	15.25	1.04	1.04	0.12	0.00	0.035
0.088	144.4	125.0	0.7	143.7	124.3	1.16	131.47	130.73	19.40	1.05	1.05	0.16	0.01	0.038
0.104	150.7	125.0	1.0	149.7	124.0	1.21	133.57	132.57	25.71	1.07	1.06	0.21	0.01	0.039
0.120	155.2	125.0	1.2	154.0	123.8	1.24	135.05	133.86	30.15	1.08	1.07	0.24	0.01	0.040
0.136	160.5	125.0	1.5	159.0	123.5	1.29	136.84	135.30	35.51	1.09	1.08	0.28	0.01	0.043
0.158	166.0	125.0	2.0	164.0	123.0	1.33	138.66	136.65	40.97	1.11	1.09	0.33	0.02	0.049
0.174	169.2	125.0	2.3	166.8	122.7	1.36	139.72	137.38	44.16	1.12	1.10	0.35	0.02	0.053
0.195	171.4	125.0	2.9	168.5	122.1	1.38	140.46	137.61	46.39	1.12	1.10	0.37	0.02	0.062
0.224	174.1	125.0	3.5	170.6	121.5	1.40	141.38	137.83	49.13	1.13	1.10	0.39	0.03	0.072
0.242	175.8	125.0	4.1	171.8	120.9	1.42	141.95	137.87	50.85	1.14	1.10	0.41	0.03	0.080
0.276	177.5	125.0	4.8	172.7	120.2	1.44	142.49	137.73	52.47	1.14	1.10	0.42	0.04	0.091
0.306	178.9	125.0	5.6	173.3	119.4	1.45	142.98	137.39	53.95	1.14	1.10	0.43	0.04	0.104
0.355	181.7	125.0	6.6	175.1	118.4	1.48	143.91	137.31	56.74	1.15	1.10	0.45	0.05	0.116
0.412	183.4	125.0	7.8	175.6	117.2	1.50	144.46	136.65	58.38	1.16	1.09	0.47	0.06	0.134
0.475	185.5	125.0	9.4	176.1	115.6	1.52	145.15	135.78	60.45	1.16	1.09	0.48	0.08	0.155
0.555	188.0	125.0	10.8	177.2	114.2	1.55	146.00	135.20	63.01	1.17	1.08	0.50	0.09	0.171
0.647	190.5	125.0	12.7	177.9	112.3	1.58	146.84	134.19	65.52	1.17	1.07	0.52	0.10	0.193
0.749	193.2	125.0	14.2	179.0	110.8	1.62	147.74	133.56	68.21	1.18	1.07	0.55	0.11	0.208
0.853	195.1	125.0	15.8	179.4	109.2	1.64	148.37	132.61	70.11	1.19	1.06	0.56	0.13	0.225
0.958	196.6	125.0	17.2	179.3	107.8	1.66	148.86	131.63	71.57	1.19	1.05	0.57	0.14	0.241
1.059	198.7	125.0	18.4	180.3	106.6	1.69	149.58	131.17	73.74	1.20	1.05	0.59	0.15	0.250
1.209	201.2	125.0	20.1	181.2	104.9	1.73	150.41	130.33	76.24	1.20	1.04	0.61	0.16	0.263
1.358	203.2	125.0	21.5	181.6	103.5	1.76	151.06	129.52	78.19	1.21	1.04	0.63	0.17	0.275
1.508	206.4	125.0	22.9	183.5	102.1	1.80	152.14	129.20	81.42	1.22	1.03	0.65	0.18	0.282
1.668	208.0	125.0	24.3	183.7	100.7	1.82	152.65	128.38	82.95	1.22	1.03	0.66	0.19	0.293
1.815	209.7	125.0	25.4	184.3	99.6	1.85	153.23	127.86	84.69	1.23	1.02	0.68	0.20	0.300
1.965	210.8	125.0	26.4	184.4	98.6	1.87	153.60	127.21	85.80	1.23	1.02	0.69	0.21	0.308
2.123	212.4	125.0	27.5	184.9	97.5	1.90	154.13	126.65	87.40	1.23	1.01	0.70	0.22	0.314
2.270	213.7	125.0	28.4	185.3	96.6	1.92	154.56	126.14	88.69	1.24	1.01	0.71	0.23	0.320
2.427	214.8	125.0	29.3	185.5	95.7	1.94	154.94	125.64	89.82	1.24	1.01	0.72	0.23	0.326
2.596	216.2	125.0	30.2	186.0	94.8	1.96	155.41	125.19	91.24	1.24	1.00	0.73	0.24	0.331
2.773	217.4	125.0	31.1	186.3	93.9	1.98	155.79	124.68	92.37	1.25	1.00	0.74	0.25	0.337
2.945	218.2	125.0	32.2	186.0	92.8	2.00	156.06	123.89	93.19	1.25	0.99	0.75	0.26	0.345
3.115	219.2	125.0	33.1	186.1	91.9	2.03	156.40	123.26	94.21	1.25	0.99	0.75	0.27	0.352
3.287	219.9	125.0	34.0	185.9	91.0	2.04	156.64	122.62	94.91	1.25	0.98	0.76	0.27	0.358
3.452	220.1	125.0	34.7	185.4	90.3	2.05	156.71	121.97	95.13	1.25	0.98	0.76	0.28	0.365
3.633	220.3	125.0	35.5	184.8	89.5	2.07	156.77	121.26	95.32	1.25	0.97	0.76	0.28	0.373
3.792	221.1	125.0	36.2	184.9	88.8	2.08	157.02	120.86	96.07	1.26	0.97	0.77	0.29	0.376
3.995	221.7	125.0	37.0	184.7	88.0	2.10	157.23	120.28	96.69	1.26	0.96	0.77	0.30	0.382
4.197	221.4	125.0	37.9	183.5	87.1	2.11	157.13	119.25	96.39	1.26	0.95	0.77	0.30	0.393


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
4.410	221.3	125.0	38.6	182.8	86.4	2.11	157.12	118.53	96.35	1.26	0.95	0.77	0.31	0.400
4.613	221.2	125.0	39.3	181.8	85.7	2.12	157.05	117.73	96.16	1.26	0.94	0.77	0.31	0.409
4.812	221.1	125.0	40.0	181.2	85.0	2.13	157.05	117.07	96.14	1.26	0.94	0.77	0.32	0.416
5.018	220.9	125.0	40.6	180.3	84.4	2.14	156.98	116.36	95.95	1.26	0.93	0.77	0.32	0.423
5.220	220.9	125.0	41.2	179.7	83.8	2.15	156.97	115.74	95.91	1.26	0.93	0.77	0.33	0.430
5.417	221.0	125.0	41.8	179.2	83.2	2.15	156.99	115.21	95.96	1.26	0.92	0.77	0.33	0.435
5.627	220.9	125.0	42.3	178.5	82.7	2.16	156.96	114.63	95.88	1.26	0.92	0.77	0.34	0.442
5.833	220.7	125.0	42.9	177.8	82.1	2.17	156.91	113.98	95.72	1.26	0.91	0.77	0.34	0.448
6.082	220.5	125.0	43.5	177.0	81.5	2.17	156.83	113.30	95.48	1.25	0.91	0.76	0.35	0.456
6.331	221.0	125.0	44.3	176.7	80.7	2.19	156.99	112.73	95.97	1.26	0.90	0.77	0.35	0.461
6.592	221.6	125.0	45.0	176.6	80.0	2.21	157.21	112.17	96.63	1.26	0.90	0.77	0.36	0.466
6.841	222.8	125.0	45.7	177.0	79.3	2.23	157.59	111.86	97.77	1.26	0.89	0.78	0.37	0.468
7.099	222.9	125.0	46.4	176.5	78.6	2.25	157.64	111.23	97.91	1.26	0.89	0.78	0.37	0.474
7.348	223.7	125.0	47.0	176.7	78.0	2.27	157.90	110.92	98.71	1.26	0.89	0.79	0.38	0.476
7.606	224.9	125.0	47.9	177.0	77.1	2.29	158.29	110.42	99.86	1.27	0.88	0.80	0.38	0.479
7.855	225.4	125.0	48.4	177.0	76.6	2.31	158.48	110.07	100.44	1.27	0.88	0.80	0.39	0.482
8.108	225.8	125.0	49.0	176.8	76.0	2.33	158.59	109.58	100.78	1.27	0.88	0.81	0.39	0.486
8.364	226.4	125.0	49.5	176.9	75.5	2.34	158.80	109.32	101.40	1.27	0.87	0.81	0.40	0.488
8.618	226.9	125.0	49.8	177.1	75.2	2.36	158.97	109.13	101.92	1.27	0.87	0.82	0.40	0.489
8.923	227.0	125.0	50.3	176.7	74.7	2.37	159.01	108.72	102.03	1.27	0.87	0.82	0.40	0.493
9.204	226.5	125.0	50.7	175.8	74.3	2.36	158.82	108.17	101.46	1.27	0.87	0.81	0.41	0.499
9.598	225.3	125.0	50.4	175.0	74.6	2.34	158.44	108.07	100.33	1.27	0.86	0.80	0.40	0.502
9.912	225.1	125.0	51.3	173.8	73.7	2.36	158.36	107.08	100.08	1.27	0.86	0.80	0.41	0.512
10.211	224.7	125.0	51.9	172.9	73.1	2.36	158.24	106.37	99.73	1.27	0.85	0.80	0.42	0.520
10.510	224.1	125.0	52.3	171.9	72.7	2.36	158.05	105.78	99.14	1.26	0.85	0.79	0.42	0.527
10.827	223.6	125.0	52.6	171.0	72.4	2.36	157.86	105.27	98.59	1.26	0.84	0.79	0.42	0.533
11.126	222.8	125.0	52.8	170.0	72.2	2.36	157.61	104.77	97.83	1.26	0.84	0.78	0.42	0.540
11.413	222.0	125.0	53.0	169.0	72.0	2.35	157.32	104.30	96.97	1.26	0.83	0.78	0.42	0.547
11.735	221.1	125.0	53.0	168.1	72.0	2.34	157.05	104.04	96.15	1.26	0.83	0.77	0.42	0.551
12.038	220.3	125.0	53.1	167.2	71.9	2.32	156.76	103.70	95.28	1.25	0.83	0.76	0.42	0.557
12.337	219.0	125.0	53.1	165.9	71.9	2.31	156.33	103.20	94.00	1.25	0.83	0.75	0.43	0.565
12.647	218.2	125.0	53.4	164.8	71.6	2.30	156.07	102.67	93.20	1.25	0.82	0.75	0.43	0.573
12.993	216.7	125.0	53.7	163.0	71.3	2.29	155.57	101.84	91.70	1.24	0.81	0.73	0.43	0.586
13.348	214.4	125.0	54.2	160.2	70.8	2.26	154.81	100.58	89.44	1.24	0.80	0.72	0.43	0.606
13.711	213.4	125.0	54.6	158.9	70.4	2.26	154.47	99.91	88.41	1.24	0.80	0.71	0.44	0.617
14.068	212.6	125.0	54.7	157.9	70.3	2.25	154.20	99.53	87.60	1.23	0.80	0.70	0.44	0.624
14.417	211.6	125.0	55.0	156.6	70.0	2.24	153.86	98.89	86.57	1.23	0.79	0.69	0.44	0.635
14.775	210.8	125.0	55.1	155.8	69.9	2.23	153.61	98.53	85.83	1.23	0.79	0.69	0.44	0.642
15.125	210.3	125.0	55.2	155.1	69.8	2.22	153.44	98.23	85.31	1.23	0.79	0.68	0.44	0.647
15.481	209.1	125.0	55.2	153.9	69.8	2.21	153.04	97.79	84.11	1.22	0.78	0.67	0.44	0.657
15.841	208.6	125.0	55.4	153.3	69.6	2.20	152.88	97.52	83.64	1.22	0.78	0.67	0.44	0.662
16.192	207.5	125.0	55.5	152.1	69.5	2.19	152.51	97.06	82.53	1.22	0.78	0.66	0.44	0.672
16.547	206.6	125.0	55.5	151.1	69.5	2.17	152.21	96.70	81.64	1.22	0.77	0.65	0.44	0.680
16.893	206.1	125.0	55.7	150.4	69.3	2.17	152.02	96.32	81.06	1.22	0.77	0.65	0.45	0.687
17.287	204.9	125.0	55.8	149.1	69.2	2.15	151.62	95.87	79.87	1.21	0.77	0.64	0.45	0.698
17.672	203.3	125.0	55.6	147.7	69.4	2.13	151.10	95.46	78.31	1.21	0.76	0.63	0.45	0.711
18.052	201.4	125.0	55.3	146.1	69.7	2.10	150.48	95.14	76.44	1.20	0.76	0.61	0.44	0.724
18.464	199.4	125.0	55.0	144.4	70.0	2.06	149.82	94.82	74.45	1.20	0.76	0.60	0.44	0.739
18.860	196.9	125.0	54.6	142.3	70.4	2.02	148.97	94.40	71.91	1.19	0.76	0.58	0.44	0.759
19.272	194.0	125.0	54.5	139.5	70.5	1.98	148.01	93.50	69.03	1.18	0.75	0.55	0.44	0.790
19.671	191.4	125.0	54.1	137.3	70.9	1.94	147.14	93.06	66.43	1.18	0.74	0.53	0.43	0.814
20.087	189.0	125.0	53.7	135.3	71.3	1.90	146.33	92.67	64.00	1.17	0.74	0.51	0.43	0.839

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>															
1/2															
Triaxial Shearing															
Loc. No.	1				Location	อ. บางจาก อ. ป่าหนาม อ. นครศรีธรรมราช				Sample No.	7 0				$\Delta v_c =$ 64.5 mm ³ $\epsilon_v =$ 30.85 %
Test type	CU		without side		Proving Ring No.	(Load cell) No. 11073				Effective Cell Pressure	initially 125 kN/m ²				$L_c =$ 95.26 mm $(1/3)\epsilon_v =$ 10.28 %
Rate of	1 % per min		Operation A.F.W.		Consolidated Length	95.26 mm				Cell Pressure	325 kN/m ²				$A_c =$ 1563.85 mm ² $(2/3)\epsilon_v =$ 20.57 %
Strain	60.0 % per hour		Consolidated Area		1563.85 mm ²				Back Pressure	200 kN/m ²				$V_c =$ 144.55 mm ³ shear temp. 45 °C	
Membranes 1 x 0.2	mm		Consolidated Volume		144.547 cm ³				Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 198.887 kPa						
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.007	126.1	125.0	-0.1	126.2	125.1	1.01	125.36	125.46	1.08	1.00	1.00	0.01	0.00	-0.087	
0.007	135.1	125.0	0.1	135.0	124.9	1.08	128.38	128.28	10.13	1.03	1.03	0.08	0.00	0.009	
0.033	140.7	125.0	0.2	140.5	124.8	1.13	130.22	130.02	15.67	1.04	1.04	0.13	0.00	0.013	
0.045	147.1	125.0	0.4	146.8	124.6	1.18	132.38	132.00	22.13	1.06	1.06	0.18	0.00	0.017	
0.063	152.1	125.0	0.5	151.6	124.5	1.22	134.03	133.57	27.08	1.07	1.07	0.22	0.00	0.017	
0.075	156.4	125.0	0.6	155.8	124.4	1.25	135.46	134.85	31.39	1.08	1.08	0.25	0.00	0.019	
0.075	163.7	125.0	0.6	163.1	124.4	1.31	137.90	137.28	38.71	1.10	1.10	0.31	0.01	0.016	
0.101	166.7	125.0	0.8	165.9	124.2	1.34	138.90	138.15	41.69	1.11	1.11	0.33	0.01	0.018	
0.110	172.9	125.0	0.9	172.1	124.1	1.39	140.98	140.10	47.93	1.13	1.12	0.38	0.01	0.018	
0.127	174.9	125.0	1.0	173.8	124.0	1.40	141.62	140.60	49.86	1.13	1.12	0.40	0.01	0.020	
0.136	177.9	125.0	1.0	176.8	124.0	1.43	142.62	141.60	52.87	1.14	1.13	0.42	0.01	0.019	
0.169	183.0	125.0	1.1	181.9	123.9	1.47	144.34	143.19	58.01	1.15	1.15	0.46	0.01	0.020	
0.244	187.5	125.0	2.0	185.4	123.0	1.51	145.82	143.78	62.46	1.17	1.15	0.50	0.02	0.033	
0.296	193.0	125.0	2.6	190.4	122.4	1.56	147.67	145.08	68.01	1.18	1.16	0.54	0.02	0.038	
0.368	198.5	125.0	3.0	195.5	122.0	1.60	149.51	146.47	73.52	1.20	1.17	0.59	0.02	0.041	
0.457	202.5	125.0	3.5	199.0	121.5	1.64	150.84	147.36	77.51	1.21	1.18	0.62	0.03	0.045	
0.537	198.6	125.0	4.1	194.4	120.9	1.61	149.52	145.38	73.57	1.20	1.16	0.59	0.03	0.056	
0.619	203.4	125.0	4.7	198.7	120.3	1.65	151.14	146.45	78.41	1.21	1.17	0.63	0.04	0.060	
0.790	203.4	125.0	5.3	198.1	119.7	1.66	151.15	145.83	78.45	1.21	1.17	0.63	0.04	0.068	
0.901	207.2	125.0	6.0	201.2	119.0	1.69	152.39	146.42	82.18	1.22	1.17	0.66	0.05	0.073	
1.058	211.5	125.0	6.5	204.9	118.5	1.73	153.83	147.29	86.48	1.23	1.18	0.69	0.05	0.076	
1.318	212.7	125.0	7.9	204.8	117.1	1.75	154.22	146.34	87.67	1.23	1.17	0.70	0.06	0.090	
1.475	212.9	125.0	8.6	204.3	116.4	1.76	154.31	145.68	87.92	1.23	1.17	0.70	0.07	0.098	
1.658	215.7	125.0	9.5	206.2	115.5	1.78	155.22	145.74	90.67	1.24	1.17	0.73	0.08	0.105	
1.766	216.0	125.0	10.3	205.7	114.7	1.79	155.32	145.05	90.97	1.24	1.16	0.73	0.08	0.113	
1.848	219.5	125.0	10.7	208.8	114.3	1.83	156.49	145.83	94.47	1.25	1.17	0.76	0.09	0.113	
2.006	218.9	125.0	11.3	207.6	113.7	1.83	156.28	145.01	93.85	1.25	1.16	0.75	0.09	0.120	
2.090	220.6	125.0	11.7	209.0	113.3	1.84	156.88	145.19	95.65	1.26	1.16	0.77	0.09	0.122	
2.196	225.6	125.0	12.0	213.6	113.0	1.89	158.53	146.53	100.58	1.27	1.17	0.80	0.10	0.119	
2.282	222.5	125.0	12.6	209.9	112.4	1.87	157.50	144.88	97.51	1.26	1.16	0.78	0.10	0.129	
2.388	226.8	125.0	12.9	213.9	112.1	1.91	158.93	146.00	101.80	1.27	1.17	0.81	0.10	0.127	
2.503	221.8	125.0	13.5	208.3	111.5	1.87	157.27	143.74	96.81	1.26	1.15	0.77	0.11	0.140	
2.615	227.3	125.0	13.8	213.5	111.2	1.92	159.11	145.32	102.34	1.27	1.16	0.82	0.11	0.135	
2.765	225.9	125.0	14.4	211.4	110.6	1.91	158.63	144.19	100.88	1.27	1.15	0.81	0.12	0.143	
2.873	224.5	125.0	14.8	209.7	110.2	1.90	158.16	143.36	99.49	1.27	1.15	0.80	0.12	0.149	
2.984	229.6	125.0	14.9	214.7	110.1	1.95	159.86	144.95	104.57	1.28	1.16	0.84	0.12	0.143	
3.089	225.9	125.0	15.5	210.4	109.5	1.92	158.63	143.14	100.88	1.27	1.15	0.81	0.12	0.154	
3.192	226.0	125.0	16.1	209.8	108.9	1.93	158.65	142.53	100.95	1.27	1.14	0.81	0.13	0.160	
3.401	226.1	125.0	16.7	209.3	108.3	1.93	158.70	141.95	101.09	1.27	1.14	0.81	0.13	0.166	
3.654	226.6	125.0	17.5	209.1	107.5	1.94	158.86	141.40	101.59	1.27	1.13	0.81	0.14	0.172	
3.929	226.4	125.0	18.4	208.0	106.6	1.95	158.81	140.39	101.43	1.27	1.12	0.81	0.15	0.182	
4.131	228.2	125.0	19.0	209.2	106.0	1.97	159.41	140.42	103.23	1.28	1.12	0.83	0.15	0.184	
4.344	227.7	125.0	19.8	208.0	105.2	1.98	159.24	139.49	102.73	1.27	1.12	0.82	0.16	0.192	
4.546	230.5	125.0	20.2	210.4	104.8	2.01	160.18	139.99	105.55	1.28	1.12	0.84	0.16	0.191	
4.769	230.6	125.0	21.0	209.6	104.0	2.02	160.22	139.18	105.65	1.28	1.11	0.85	0.17	0.199	
4.945	229.0	125.0	21.4	207.5	103.6	2.00	159.66	138.22	103.97	1.28	1.11	0.83	0.17	0.206	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
5.099	231.2	125.0	22.0	209.2	103.0	2.03	160.40	138.38	106.21	1.28	1.11	0.85	0.18	0.207
5.296	229.9	125.0	22.5	207.4	102.5	2.02	159.97	137.51	104.92	1.28	1.10	0.84	0.18	0.214
5.524	233.1	125.0	23.2	209.8	101.8	2.06	161.02	137.79	108.06	1.29	1.10	0.86	0.19	0.215
5.831	233.8	125.0	24.0	209.8	101.0	2.08	161.28	137.28	108.84	1.29	1.10	0.87	0.19	0.221
6.155	232.0	125.0	24.9	207.0	100.1	2.07	160.65	135.71	106.96	1.29	1.09	0.86	0.20	0.233
6.460	231.9	125.0	25.8	206.1	99.2	2.08	160.64	134.81	106.93	1.29	1.08	0.86	0.21	0.242
6.774	231.5	125.0	26.6	204.9	98.4	2.08	160.49	133.90	106.48	1.28	1.07	0.85	0.21	0.250
7.096	232.4	125.0	27.5	204.9	97.5	2.10	160.81	133.28	107.42	1.29	1.07	0.86	0.22	0.256
7.403	233.6	125.0	28.2	205.4	96.8	2.12	161.19	133.02	108.58	1.29	1.06	0.87	0.23	0.259
7.722	234.7	125.0	28.8	205.9	96.2	2.14	161.57	132.74	109.70	1.29	1.06	0.88	0.23	0.263
8.041	232.4	125.0	29.4	203.0	95.6	2.12	160.82	131.37	107.45	1.29	1.05	0.86	0.24	0.274
8.353	232.2	125.0	30.3	201.9	94.7	2.13	160.73	130.42	107.19	1.29	1.04	0.86	0.24	0.283
8.641	233.0	125.0	31.1	201.8	93.9	2.15	160.98	129.88	107.95	1.29	1.04	0.86	0.25	0.288
8.984	233.0	125.0	31.6	201.5	93.4	2.16	161.01	129.45	108.03	1.29	1.04	0.86	0.25	0.292
9.345	231.9	125.0	32.3	199.6	92.7	2.15	160.64	128.29	106.91	1.29	1.03	0.86	0.26	0.303
9.720	231.4	125.0	33.0	198.4	92.0	2.16	160.45	127.47	106.36	1.28	1.02	0.85	0.26	0.310
10.028	231.9	125.0	33.8	198.1	91.2	2.17	160.63	126.87	106.88	1.29	1.01	0.86	0.27	0.316
10.403	230.2	125.0	34.5	195.7	90.5	2.16	160.05	125.56	105.16	1.28	1.00	0.84	0.28	0.328
10.710	232.8	125.0	35.0	197.8	90.0	2.20	160.93	125.97	107.79	1.29	1.01	0.86	0.28	0.324
11.029	234.8	125.0	35.5	199.3	89.5	2.23	161.60	126.14	109.80	1.29	1.01	0.88	0.28	0.323
11.343	230.5	125.0	36.0	194.5	89.0	2.19	160.17	124.19	105.50	1.28	0.99	0.84	0.29	0.341
11.665	232.2	125.0	36.8	195.4	88.2	2.22	160.74	123.93	107.22	1.29	0.99	0.86	0.29	0.343
11.871	233.7	125.0	37.1	196.6	87.9	2.24	161.24	124.10	108.72	1.29	0.99	0.87	0.30	0.342
12.136	233.5	125.0	37.5	196.0	87.5	2.24	161.17	123.69	108.52	1.29	0.99	0.87	0.30	0.345
12.427	233.3	125.0	38.1	195.2	86.9	2.25	161.10	123.01	108.31	1.29	0.98	0.87	0.30	0.352
12.748	234.5	125.0	38.6	195.9	86.4	2.27	161.49	122.89	109.46	1.29	0.98	0.88	0.31	0.353
13.070	231.9	125.0	39.1	192.8	85.9	2.24	160.63	121.56	106.88	1.29	0.97	0.86	0.31	0.366
13.396	232.4	125.0	39.5	192.8	85.5	2.26	160.79	121.25	107.38	1.29	0.97	0.86	0.32	0.368
13.701	233.4	125.0	40.2	193.2	84.8	2.28	161.15	120.94	108.45	1.29	0.97	0.87	0.32	0.371
14.024	232.9	125.0	40.5	192.4	84.5	2.28	160.96	120.50	107.89	1.29	0.96	0.86	0.32	0.375
14.341	233.1	125.0	41.0	192.0	84.0	2.29	161.03	119.98	108.08	1.29	0.96	0.86	0.33	0.380
14.632	233.2	125.0	41.5	191.6	83.5	2.30	161.05	119.51	108.16	1.29	0.96	0.87	0.33	0.384
14.963	234.6	125.0	42.0	192.7	83.0	2.32	161.55	119.59	109.64	1.29	0.96	0.88	0.34	0.383
15.284	235.7	125.0	42.4	193.4	82.6	2.34	161.92	119.54	110.75	1.30	0.96	0.89	0.34	0.383
15.601	235.9	125.0	42.5	193.4	82.5	2.35	161.98	119.45	110.95	1.30	0.96	0.89	0.34	0.383
15.901	234.0	125.0	43.3	190.7	81.7	2.33	161.33	118.06	108.99	1.29	0.94	0.87	0.35	0.397
16.274	232.5	125.0	43.6	188.9	81.4	2.32	160.82	117.24	107.47	1.29	0.94	0.86	0.35	0.406
16.598	234.8	125.0	44.1	190.7	80.9	2.36	161.60	117.54	109.80	1.29	0.94	0.88	0.35	0.401
16.952	232.4	125.0	44.4	188.0	80.6	2.33	160.79	116.38	107.38	1.29	0.93	0.86	0.36	0.414
17.278	231.6	125.0	44.8	186.9	80.2	2.33	160.55	115.79	106.64	1.28	0.93	0.85	0.36	0.420
17.583	231.9	125.0	45.2	186.7	79.8	2.34	160.62	115.47	106.86	1.28	0.92	0.85	0.36	0.423
17.911	231.5	125.0	45.6	185.9	79.4	2.34	160.50	114.93	106.50	1.28	0.92	0.85	0.36	0.428
18.275	231.3	125.0	45.6	185.6	79.4	2.34	160.42	114.78	106.27	1.28	0.92	0.85	0.37	0.429
18.627	231.6	125.0	46.0	185.6	79.0	2.35	160.52	114.57	106.57	1.28	0.92	0.85	0.37	0.431
18.962	230.5	125.0	46.3	184.2	78.7	2.34	160.17	113.87	105.50	1.28	0.91	0.84	0.37	0.439
19.265	230.0	125.0	46.7	183.3	78.3	2.34	160.00	113.33	105.00	1.28	0.91	0.84	0.37	0.444
19.591	228.8	125.0	47.0	181.8	78.0	2.33	159.59	112.64	103.78	1.28	0.90	0.83	0.38	0.452
19.903	228.3	125.0	46.8	181.5	78.2	2.32	159.42	112.63	103.27	1.28	0.90	0.83	0.37	0.453
20.219	224.1	125.0	47.2	177.0	77.8	2.27	158.05	110.86	99.15	1.26	0.89	0.79	0.38	0.476

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>																		
1/2																		
Triaxial Shearing																		
Loc. No.	1		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองจ.ปทุมธานี			Sample No	8 0			$\Delta v_c =$	51.4	mm^3	$\epsilon_v =$	25.36	%			
Test type	CU	without side	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially			125	kN/m^2	$L_c =$	95.90	mm	$(1/3)\epsilon_v =$	8.45	%		
Rate of	6	% per min	Operation A.F.W.			Cell Pressure			325	kN/m^2	$A_c =$	1607.68	mm^2	$(2/3)\epsilon_v =$	16.91	%		
Strain	360.0	% per hour	Consolidated Length			95.90	mm	Back Pressure			200	kN/m^2	$V_c =$	151.28	mm^3	shear temp	45	$^{\circ}C$
Membranes	1 x 0.2	mm	Consolidated Area			1607.68	mm^2	Consolidated Volume			151.283	cm^3	Undrained excess pwp due to change temp. (Δt) 201.5696 kPa					
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A				
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-				
-0.002	127.3	125.0	0.0	127.3	125.0	1.02	125.77	125.72	2.31	1.01	1.01	0.02	0.00	0.020				
0.002	126.0	125.0	0.0	126.1	125.0	1.01	125.35	125.36	1.05	1.00	1.00	0.01	0.00	-0.015				
0.007	129.2	125.0	0.1	129.1	124.9	1.03	126.40	126.32	4.19	1.01	1.01	0.03	0.00	0.019				
0.002	132.3	125.0	0.1	132.3	124.9	1.06	127.45	127.38	7.34	1.02	1.02	0.06	0.00	0.009				
-0.002	136.7	125.0	0.0	136.7	125.0	1.09	128.92	128.88	11.75	1.03	1.03	0.09	0.00	0.003				
0.002	139.7	125.0	0.1	139.6	124.9	1.12	129.89	129.83	14.68	1.04	1.04	0.12	0.00	0.004				
0.014	149.5	125.0	0.2	149.4	124.8	1.20	133.18	133.00	24.53	1.07	1.06	0.20	0.00	0.007				
0.026	150.5	125.0	0.2	150.4	124.8	1.20	133.51	133.35	25.52	1.07	1.07	0.20	0.00	0.006				
0.030	160.2	125.0	0.2	160.0	124.8	1.28	136.72	136.53	35.16	1.09	1.09	0.28	0.00	0.005				
0.042	158.9	125.0	0.1	158.8	124.9	1.27	136.30	136.17	33.90	1.09	1.09	0.27	0.00	0.004				
0.042	161.2	125.0	0.1	161.1	124.9	1.29	137.07	136.94	36.20	1.10	1.10	0.29	0.00	0.003				
0.051	166.7	125.0	0.2	166.4	124.8	1.33	138.88	138.65	41.65	1.11	1.11	0.33	0.00	0.006				
0.061	168.7	125.0	0.3	168.5	124.7	1.35	139.58	139.33	43.74	1.12	1.11	0.35	0.00	0.006				
0.082	173.5	125.0	0.2	173.3	124.8	1.39	141.18	140.94	48.53	1.13	1.13	0.39	0.00	0.005				
0.079	175.0	125.0	0.2	174.8	124.8	1.40	141.67	141.44	50.02	1.13	1.13	0.40	0.00	0.005				
0.112	182.1	125.0	0.4	181.7	124.6	1.46	144.03	143.64	57.10	1.15	1.15	0.46	0.00	0.007				
0.135	184.4	125.0	0.5	183.9	124.5	1.48	144.80	144.33	59.39	1.16	1.15	0.48	0.00	0.008				
0.156	191.7	125.0	0.6	191.1	124.4	1.54	147.23	146.64	66.70	1.18	1.17	0.53	0.00	0.009				
0.168	190.4	125.0	0.5	189.9	124.5	1.53	146.81	146.26	65.43	1.17	1.17	0.52	0.00	0.008				
0.219	194.8	125.0	0.7	194.1	124.3	1.56	148.26	147.54	69.78	1.19	1.18	0.56	0.01	0.010				
0.249	202.3	125.0	0.8	201.5	124.2	1.62	150.76	149.96	77.28	1.21	1.20	0.62	0.01	0.010				
0.305	204.5	125.0	1.0	203.6	124.0	1.64	151.51	150.55	79.52	1.21	1.20	0.64	0.01	0.012				
0.391	214.3	125.0	1.2	213.1	123.8	1.72	154.75	153.56	89.25	1.24	1.23	0.71	0.01	0.013				
0.457	215.8	125.0	1.4	214.4	123.6	1.74	155.28	153.86	90.85	1.24	1.23	0.73	0.01	0.016				
0.566	223.6	125.0	1.7	222.0	123.3	1.80	157.88	156.19	98.64	1.26	1.25	0.79	0.01	0.017				
0.678	225.6	125.0	2.0	223.6	123.0	1.82	158.53	156.57	100.59	1.27	1.25	0.80	0.02	0.019				
0.783	227.3	125.0	2.1	225.2	122.9	1.83	159.11	157.02	102.33	1.27	1.26	0.82	0.02	0.020				
0.918	225.5	125.0	2.4	223.1	122.6	1.82	158.50	156.11	100.49	1.27	1.25	0.80	0.02	0.024				
1.067	225.1	125.0	2.5	222.6	122.5	1.82	158.36	155.85	100.09	1.27	1.25	0.80	0.02	0.025				
1.225	227.8	125.0	2.8	225.0	122.2	1.84	159.26	156.46	102.79	1.27	1.25	0.82	0.02	0.027				
1.375	229.9	125.0	3.1	226.8	121.9	1.86	159.96	156.85	104.87	1.28	1.25	0.84	0.02	0.030				
1.484	231.0	125.0	3.3	227.7	121.7	1.87	160.32	157.03	105.96	1.28	1.26	0.85	0.03	0.031				
1.591	231.9	125.0	3.4	228.4	121.6	1.88	160.62	157.17	106.85	1.28	1.26	0.85	0.03	0.032				
1.710	234.6	125.0	3.6	231.0	121.4	1.90	161.53	157.92	109.58	1.29	1.26	0.88	0.03	0.033				
1.866	236.6	125.0	3.9	232.7	121.1	1.92	162.21	158.32	111.63	1.30	1.27	0.89	0.03	0.035				
2.022	238.9	125.0	4.1	234.7	120.9	1.94	162.96	158.82	113.87	1.30	1.27	0.91	0.03	0.036				
2.178	236.0	125.0	4.3	231.7	120.7	1.92	161.99	157.71	110.98	1.30	1.26	0.89	0.03	0.039				
2.365	238.0	125.0	4.6	233.4	120.4	1.94	162.66	158.08	112.97	1.30	1.26	0.90	0.04	0.041				
2.530	235.9	125.0	4.8	231.1	120.2	1.92	161.97	157.18	110.90	1.30	1.26	0.89	0.04	0.043				
2.733	237.9	125.0	5.0	232.8	120.0	1.94	162.62	157.57	112.86	1.30	1.26	0.90	0.04	0.045				
2.894	238.4	125.0	5.3	233.1	119.7	1.95	162.81	157.51	113.44	1.30	1.26	0.91	0.04	0.047				
3.054	236.8	125.0	5.5	231.3	119.5	1.94	162.26	156.81	111.79	1.30	1.25	0.89	0.04	0.049				
3.197	238.8	125.0	5.6	233.2	119.4	1.95	162.94	157.33	113.82	1.30	1.26	0.91	0.04	0.049				
3.397	240.1	125.0	5.9	234.2	119.1	1.97	163.38	157.47	115.15	1.31	1.26	0.92	0.05	0.051				
3.555	244.2	125.0	6.1	238.1	118.9	2.00	164.72	158.61	119.16	1.32	1.27	0.95	0.05	0.051				
3.707	243.1	125.0	6.3	236.9	118.7	1.99	164.38	158.10	118.13	1.32	1.26	0.95	0.05	0.053				


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
3.921	240.0	125.0	6.5	233.5	118.5	1.97	163.33	156.82	114.99	1.31	1.25	0.92	0.05	0.057
4.128	247.9	125.0	6.8	241.2	118.2	2.04	165.98	159.20	122.93	1.33	1.27	0.98	0.05	0.055
4.382	247.3	125.0	7.2	240.2	117.8	2.04	165.78	158.61	122.33	1.33	1.27	0.98	0.06	0.059
4.587	243.0	125.0	7.2	235.8	117.8	2.00	164.34	157.09	118.01	1.31	1.26	0.94	0.06	0.061
4.799	245.5	125.0	7.6	237.9	117.4	2.03	165.16	157.54	120.48	1.32	1.26	0.96	0.06	0.063
5.005	247.4	125.0	7.8	239.5	117.2	2.04	165.79	157.95	122.36	1.33	1.26	0.98	0.06	0.064
5.221	244.4	125.0	8.0	236.4	117.0	2.02	164.81	156.82	119.44	1.32	1.25	0.96	0.06	0.067
5.422	245.3	125.0	8.3	237.0	116.7	2.03	165.11	156.83	120.32	1.32	1.25	0.96	0.07	0.069
5.636	246.4	125.0	8.5	237.9	116.5	2.04	165.46	156.96	121.37	1.32	1.26	0.97	0.07	0.070
5.843	247.4	125.0	8.8	238.6	116.2	2.05	165.81	157.03	122.43	1.33	1.26	0.98	0.07	0.072
6.109	249.0	125.0	9.0	239.9	116.0	2.07	166.33	157.28	123.98	1.33	1.26	0.99	0.07	0.073
6.363	246.4	125.0	9.3	237.1	115.7	2.05	165.47	156.20	121.41	1.32	1.25	0.97	0.07	0.076
6.626	245.0	125.0	9.5	235.5	115.5	2.04	165.01	155.46	120.02	1.32	1.24	0.96	0.08	0.080
6.887	243.8	125.0	9.8	234.0	115.2	2.03	164.61	154.81	118.83	1.32	1.24	0.95	0.08	0.082
7.257	246.9	125.0	10.3	236.6	114.7	2.06	165.65	155.30	121.95	1.33	1.24	0.98	0.08	0.085
7.518	244.8	125.0	10.5	234.2	114.5	2.05	164.93	154.39	119.78	1.32	1.24	0.96	0.08	0.088
7.793	248.8	125.0	10.9	237.9	114.1	2.09	166.27	155.35	123.80	1.33	1.24	0.99	0.09	0.088
8.033	248.0	125.0	11.1	236.9	113.9	2.08	166.01	154.86	123.02	1.33	1.24	0.98	0.09	0.091
8.315	247.8	125.0	11.5	236.3	113.5	2.08	165.92	154.43	122.76	1.33	1.24	0.98	0.09	0.094
8.574	247.5	125.0	11.8	235.7	113.2	2.08	165.84	154.04	122.53	1.33	1.23	0.98	0.09	0.096
8.835	248.1	125.0	12.1	235.9	112.9	2.09	166.02	153.90	123.06	1.33	1.23	0.98	0.10	0.098
9.203	247.6	125.0	12.5	235.1	112.5	2.09	165.88	153.36	122.65	1.33	1.23	0.98	0.10	0.102
9.515	247.9	125.0	12.8	235.1	112.2	2.10	165.96	153.12	122.89	1.33	1.22	0.98	0.10	0.104
9.832	246.8	125.0	13.2	233.6	111.8	2.09	165.60	152.40	121.80	1.32	1.22	0.97	0.11	0.108
10.184	244.7	125.0	13.5	231.2	111.5	2.07	164.91	151.39	119.72	1.32	1.21	0.96	0.11	0.113
10.512	243.2	125.0	13.8	229.4	111.2	2.06	164.42	150.59	118.25	1.32	1.20	0.95	0.11	0.117
10.822	244.2	125.0	14.2	230.1	110.8	2.08	164.75	150.59	119.24	1.32	1.20	0.95	0.11	0.119
11.137	242.8	125.0	14.5	228.3	110.5	2.07	164.27	149.79	117.80	1.31	1.20	0.94	0.12	0.123
11.433	242.5	125.0	14.7	227.8	110.3	2.07	164.17	149.45	117.50	1.31	1.20	0.94	0.12	0.125
11.761	241.6	125.0	15.1	226.5	109.9	2.06	163.87	148.78	116.60	1.31	1.19	0.93	0.12	0.129
12.027	241.5	125.0	15.4	226.2	109.6	2.06	163.85	148.47	116.54	1.31	1.19	0.93	0.12	0.132
12.381	242.1	125.0	15.7	226.4	109.3	2.07	164.02	148.33	117.06	1.31	1.19	0.94	0.13	0.134
12.761	241.3	125.0	16.2	225.1	108.8	2.07	163.75	147.59	116.26	1.31	1.18	0.93	0.13	0.139
13.063	241.1	125.0	16.5	224.7	108.5	2.07	163.71	147.25	116.13	1.31	1.18	0.93	0.13	0.142
13.380	241.2	125.0	16.9	224.3	108.1	2.07	163.72	146.87	116.16	1.31	1.17	0.93	0.13	0.145
13.793	241.4	125.0	17.3	224.1	107.7	2.08	163.79	146.50	116.38	1.31	1.17	0.93	0.14	0.149
14.137	242.1	125.0	17.6	224.5	107.4	2.09	164.02	146.43	117.07	1.31	1.17	0.94	0.14	0.150
14.522	241.4	125.0	18.0	223.4	107.0	2.09	163.81	145.81	116.43	1.31	1.17	0.93	0.14	0.155
14.883	236.4	125.0	18.3	218.1	106.7	2.04	162.12	143.86	111.36	1.30	1.15	0.89	0.15	0.164
15.246	236.1	125.0	18.7	217.5	106.3	2.05	162.04	143.39	111.13	1.30	1.15	0.89	0.15	0.168
15.615	234.5	125.0	18.9	215.5	106.1	2.03	161.49	142.55	109.47	1.29	1.14	0.88	0.15	0.173
15.985	237.6	125.0	19.4	218.2	105.6	2.07	162.53	143.16	112.58	1.30	1.15	0.90	0.15	0.172
16.337	232.8	125.0	19.6	213.2	105.4	2.02	160.93	141.38	107.78	1.29	1.13	0.86	0.16	0.181
16.700	234.3	125.0	19.9	214.4	105.1	2.04	161.43	141.49	109.30	1.29	1.13	0.87	0.16	0.182
17.078	231.6	125.0	20.2	211.4	104.8	2.02	160.53	140.31	106.60	1.28	1.12	0.85	0.16	0.190
17.446	235.5	125.0	20.6	214.9	104.4	2.06	161.84	141.22	110.51	1.29	1.13	0.88	0.16	0.187
17.800	229.9	125.0	20.8	209.1	104.2	2.01	159.97	139.14	104.92	1.28	1.11	0.84	0.17	0.199
18.168	228.5	125.0	21.1	207.4	103.9	2.00	159.49	138.41	103.48	1.28	1.11	0.83	0.17	0.204
18.511	228.1	125.0	21.4	206.7	103.6	2.00	159.37	137.94	103.10	1.27	1.10	0.82	0.17	0.208
18.900	228.7	125.0	21.8	206.9	103.2	2.00	159.56	137.74	103.68	1.28	1.10	0.83	0.17	0.210
19.268	225.4	125.0	22.0	203.4	103.0	1.97	158.46	136.48	100.38	1.27	1.09	0.80	0.18	0.219
19.624	222.6	125.0	22.2	200.4	102.8	1.95	157.54	135.33	97.63	1.26	1.08	0.78	0.18	0.228
19.997	221.7	125.0	22.4	199.3	102.6	1.94	157.24	134.82	96.72	1.26	1.08	0.77	0.18	0.232
20.363	222.3	125.0	22.7	199.6	102.3	1.95	157.44	134.69	97.32	1.26	1.08	0.78	0.18	0.234

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)															1/2	
Triaxial Shearing		Location		Sample No.		$\Delta v_e =$		$\epsilon_v =$								
Loc. No.	1	อ. นนทบุรี อ. ปทุมธานี อ. นครศรีธรรมราช		21 0		44.3 mm ³		21.70 %								
Test type	CU	without side		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure initially		125 kN/m ²		Lc = 96.15 mm		(1/3) $\epsilon_v =$ 7.23 %				
Rate of	0.02 % per min	Operation A.F.W.				Cell Pressure		325 kN/m ²		Ac = 1684.44 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 14.47 %				
Strain	1.2 % per hour	Consolidated Length		96.15 mm		Back Pressure		200 kN/m ²		Vc = 159.82 mm ³		shear temp		60 °C		
Membranes 1 x 0.2 mm	Consolidated Area		1684.44 mm ²		Consolidated Volume		159.825 cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)		199.6099 kPa					
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A		
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-		
0.003	128.5	125.0	-0.1	128.6	125.1	1.03	126.16	126.23	3.49	1.01	1.01	0.03	0.00	-0.018		
-0.001	133.9	125.0	0.0	133.9	125.0	1.07	127.97	127.96	8.92	1.02	1.02	0.07	0.00	0.002		
0.005	140.6	125.0	0.2	140.4	124.8	1.13	130.21	130.01	15.63	1.04	1.04	0.13	0.00	0.013		
0.000	146.4	125.0	0.5	145.9	124.5	1.17	132.15	131.61	21.44	1.06	1.05	0.17	0.00	0.025		
-0.002	151.2	125.0	0.5	150.8	124.5	1.21	133.75	133.28	26.25	1.07	1.07	0.21	0.00	0.018		
-0.002	151.2	125.0	0.5	150.8	124.5	1.21	133.75	133.28	26.25	1.07	1.07	0.21	0.00	0.018		
0.009	152.6	125.0	0.6	152.0	124.4	1.22	134.21	133.58	27.64	1.07	1.07	0.22	0.01	0.023		
0.023	155.8	125.0	1.2	154.6	123.8	1.25	135.26	134.08	30.78	1.08	1.07	0.25	0.01	0.038		
0.033	154.0	125.0	1.7	152.3	123.3	1.23	134.66	132.98	28.97	1.08	1.06	0.23	0.01	0.058		
0.030	155.0	125.0	1.5	153.4	123.5	1.24	134.99	133.45	29.97	1.08	1.07	0.24	0.01	0.051		
0.049	152.4	125.0	1.8	150.6	123.2	1.22	134.12	132.33	27.37	1.07	1.06	0.22	0.01	0.065		
0.056	159.4	125.0	2.2	157.1	122.8	1.28	136.46	134.21	34.37	1.09	1.07	0.27	0.02	0.065		
0.058	157.0	125.0	2.8	154.1	122.2	1.26	135.66	132.83	31.97	1.09	1.06	0.26	0.02	0.088		
0.077	162.2	125.0	3.4	158.8	121.6	1.31	137.39	134.00	37.16	1.10	1.07	0.30	0.03	0.091		
0.098	161.9	125.0	4.4	157.5	120.6	1.31	137.31	132.90	36.93	1.10	1.06	0.30	0.04	0.119		
0.119	160.3	125.0	5.1	155.3	119.9	1.29	136.77	131.71	35.32	1.09	1.05	0.28	0.04	0.143		
0.142	165.3	125.0	6.3	159.0	118.7	1.34	138.43	132.11	40.30	1.11	1.06	0.32	0.05	0.157		
0.174	166.3	125.0	7.8	158.5	117.2	1.35	138.76	130.98	41.28	1.11	1.05	0.33	0.06	0.188		
0.202	169.7	125.0	9.0	160.7	116.0	1.38	139.88	130.89	44.65	1.12	1.05	0.36	0.07	0.202		
0.237	171.6	125.0	10.2	161.4	114.8	1.41	140.54	130.35	46.63	1.12	1.04	0.37	0.08	0.219		
0.284	172.4	125.0	11.7	160.7	113.3	1.42	140.80	129.13	47.39	1.13	1.03	0.38	0.09	0.246		
0.335	176.5	125.0	12.9	163.6	112.1	1.46	142.18	129.28	51.54	1.14	1.03	0.41	0.10	0.250		
0.393	177.1	125.0	14.7	162.4	110.3	1.47	142.37	127.68	52.10	1.14	1.02	0.42	0.12	0.282		
0.462	182.4	125.0	16.1	166.3	108.9	1.53	144.14	128.02	57.42	1.15	1.02	0.46	0.13	0.281		
0.565	186.7	125.0	18.5	168.2	106.5	1.58	145.57	127.03	61.72	1.16	1.02	0.49	0.15	0.301		
0.669	193.0	125.0	20.5	172.5	104.5	1.65	147.66	127.17	67.99	1.18	1.02	0.54	0.16	0.301		
0.776	197.9	125.0	22.7	175.1	102.3	1.71	149.28	126.55	72.85	1.19	1.01	0.58	0.18	0.312		
0.985	200.2	125.0	25.8	174.4	99.2	1.76	150.07	124.28	75.22	1.20	0.99	0.60	0.21	0.343		
1.183	204.8	125.0	28.4	176.4	96.6	1.83	151.59	123.18	79.77	1.21	0.99	0.64	0.23	0.356		
1.394	210.5	125.0	30.1	180.3	94.9	1.90	153.49	123.34	85.47	1.23	0.99	0.68	0.24	0.353		
1.608	213.0	125.0	32.2	180.8	92.8	1.95	154.33	122.16	87.98	1.23	0.98	0.70	0.26	0.366		
1.815	215.3	125.0	33.6	181.7	91.4	1.99	155.10	121.52	90.30	1.24	0.97	0.72	0.27	0.372		
2.024	212.1	125.0	34.4	177.7	90.6	1.96	154.04	119.59	87.11	1.23	0.96	0.70	0.28	0.395		
2.233	216.6	125.0	36.4	180.2	88.6	2.03	155.52	119.12	91.57	1.24	0.95	0.73	0.29	0.398		
2.435	218.1	125.0	37.6	180.5	87.4	2.06	156.03	118.43	93.08	1.25	0.95	0.74	0.30	0.404		
2.647	213.0	125.0	39.2	173.8	85.8	2.03	154.32	115.12	87.95	1.23	0.92	0.70	0.31	0.446		
2.849	218.4	125.0	40.2	178.1	84.8	2.10	156.12	115.87	93.36	1.25	0.93	0.75	0.32	0.431		
3.063	218.5	125.0	42.1	176.3	82.9	2.13	156.16	114.02	93.48	1.25	0.91	0.75	0.34	0.451		
3.270	220.6	125.0	43.3	177.2	81.7	2.17	156.85	113.50	95.55	1.25	0.91	0.76	0.35	0.454		
3.467	216.8	125.0	44.7	172.1	80.3	2.14	155.61	110.88	91.83	1.24	0.89	0.73	0.36	0.487		
3.676	220.4	125.0	45.2	175.3	79.8	2.20	156.81	111.64	95.43	1.25	0.89	0.76	0.36	0.473		
3.895	215.2	125.0	46.0	169.1	79.0	2.14	155.05	109.01	90.15	1.24	0.87	0.72	0.37	0.511		
4.102	218.9	125.0	46.8	172.2	78.2	2.20	156.31	109.55	93.94	1.25	0.88	0.75	0.37	0.498		
4.311	214.8	125.0	47.9	167.0	77.1	2.16	154.95	107.07	89.84	1.24	0.86	0.72	0.38	0.533		
4.506	218.8	125.0	48.4	170.4	76.6	2.23	156.27	107.83	93.81	1.25	0.86	0.75	0.39	0.516		
4.715	220.5	125.0	49.7	170.8	75.3	2.27	156.82	107.15	95.46	1.25	0.86	0.76	0.40	0.520		


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
4.926	219.8	125.0	50.8	169.0	74.2	2.28	156.60	105.81	94.81	1.25	0.85	0.76	0.41	0.536
5.145	218.2	125.0	52.1	166.1	72.9	2.28	156.07	103.96	93.20	1.25	0.83	0.75	0.42	0.559
5.340	223.5	125.0	52.6	170.9	72.4	2.36	157.82	105.24	98.46	1.26	0.84	0.79	0.42	0.534
5.561	220.5	125.0	52.9	167.6	72.1	2.32	156.84	103.96	95.52	1.25	0.83	0.76	0.42	0.554
5.758	223.5	125.0	53.2	170.2	71.8	2.37	157.82	104.58	98.47	1.26	0.84	0.79	0.43	0.541
5.977	219.0	125.0	54.2	164.8	70.8	2.33	156.35	102.13	94.04	1.25	0.82	0.75	0.43	0.576
6.177	221.6	125.0	54.7	166.9	70.3	2.37	157.20	102.50	96.61	1.26	0.82	0.77	0.44	0.566
6.390	221.5	125.0	55.2	166.3	69.8	2.38	157.17	101.94	96.52	1.26	0.82	0.77	0.44	0.572
6.597	218.8	125.0	56.0	162.8	69.0	2.36	156.27	100.24	93.82	1.25	0.80	0.75	0.45	0.597
6.802	220.6	125.0	56.7	163.9	68.3	2.40	156.87	100.19	95.61	1.25	0.80	0.76	0.45	0.593
7.016	221.3	125.0	57.1	164.1	67.9	2.42	157.09	99.97	96.26	1.26	0.80	0.77	0.46	0.593
7.222	218.9	125.0	58.0	160.9	67.0	2.40	156.31	98.28	93.94	1.25	0.79	0.75	0.46	0.618
7.432	220.9	125.0	58.7	162.2	66.3	2.45	156.97	98.25	95.90	1.26	0.79	0.77	0.47	0.612
7.636	218.2	125.0	59.0	159.2	66.0	2.41	156.08	97.08	93.23	1.25	0.78	0.75	0.47	0.633
7.847	221.8	125.0	59.2	162.6	65.8	2.47	157.28	98.05	96.83	1.26	0.78	0.77	0.47	0.612
8.057	223.2	125.0	60.0	163.2	65.0	2.51	157.74	97.74	98.21	1.26	0.78	0.79	0.48	0.611
8.250	220.9	125.0	60.3	160.6	64.7	2.48	156.98	96.63	95.93	1.26	0.77	0.77	0.48	0.629
8.470	221.7	125.0	60.6	161.1	64.4	2.50	157.24	96.62	96.73	1.26	0.77	0.77	0.49	0.627
8.677	218.5	125.0	61.5	157.1	63.5	2.47	156.18	94.72	93.53	1.25	0.76	0.75	0.49	0.657
8.889	218.6	125.0	61.9	156.7	63.1	2.48	156.21	94.26	93.62	1.25	0.75	0.75	0.50	0.662
9.093	223.3	125.0	62.0	161.2	63.0	2.56	157.76	95.73	98.27	1.26	0.77	0.79	0.50	0.631
9.298	222.4	125.0	62.5	159.9	62.5	2.56	157.48	94.97	97.44	1.26	0.76	0.78	0.50	0.641
9.507	221.3	125.0	63.1	158.2	61.9	2.55	157.08	94.00	96.25	1.26	0.75	0.77	0.50	0.655
9.720	222.2	125.0	63.5	158.8	61.5	2.58	157.41	93.93	97.23	1.26	0.75	0.78	0.51	0.653
9.927	221.4	125.0	63.7	157.7	61.3	2.57	157.14	93.41	96.41	1.26	0.75	0.77	0.51	0.661
10.136	222.7	125.0	64.2	158.6	60.8	2.61	157.58	93.41	97.74	1.26	0.75	0.78	0.51	0.657
10.346	219.0	125.0	64.9	154.1	60.1	2.57	156.35	91.43	94.05	1.25	0.73	0.75	0.52	0.690
10.552	220.6	125.0	65.6	154.9	59.4	2.61	156.85	91.23	95.56	1.25	0.73	0.76	0.53	0.687
10.757	218.0	125.0	66.4	151.6	58.6	2.59	155.99	89.62	92.96	1.25	0.72	0.74	0.53	0.714
10.959	218.4	125.0	66.6	151.8	58.4	2.60	156.14	89.50	93.41	1.25	0.72	0.75	0.53	0.713
11.178	218.6	125.0	66.9	151.8	58.1	2.61	156.22	89.32	93.65	1.25	0.71	0.75	0.54	0.714
11.380	223.2	125.0	67.0	156.1	58.0	2.69	157.72	90.68	98.17	1.26	0.73	0.79	0.54	0.683
11.593	221.8	125.0	67.7	157.1	60.3	2.61	157.27	92.53	96.81	1.26	0.74	0.77	0.52	0.669
11.793	218.0	125.0	64.5	153.5	60.5	2.54	156.00	91.55	93.00	1.25	0.73	0.74	0.52	0.693
12.009	218.8	125.0	64.6	154.1	60.4	2.55	156.25	91.63	93.76	1.25	0.73	0.75	0.52	0.689
12.216	220.8	125.0	64.9	155.8	60.1	2.59	156.92	92.00	95.77	1.26	0.74	0.77	0.52	0.678
12.423	219.8	125.0	65.0	154.8	60.0	2.58	156.59	91.59	94.78	1.25	0.73	0.76	0.52	0.686
12.616	222.1	125.0	65.2	157.0	59.8	2.62	157.38	92.19	97.14	1.26	0.74	0.78	0.52	0.671
12.834	222.4	125.0	65.4	157.0	59.6	2.63	157.45	92.08	97.35	1.26	0.74	0.78	0.52	0.672
13.046	221.2	125.0	65.6	155.6	59.4	2.62	157.06	91.47	96.19	1.26	0.73	0.77	0.52	0.682
13.253	219.2	125.0	66.0	153.2	59.0	2.60	156.39	90.38	94.16	1.25	0.72	0.75	0.53	0.701
13.464	222.0	125.0	66.0	156.0	59.0	2.64	157.33	91.34	96.99	1.26	0.73	0.78	0.53	0.680
13.985	217.3	125.0	66.2	151.1	58.8	2.57	155.76	89.59	92.29	1.25	0.72	0.74	0.53	0.717
14.505	221.0	125.0	66.5	154.5	58.5	2.64	157.01	90.49	96.02	1.26	0.72	0.77	0.53	0.693
15.026	216.9	125.0	66.9	150.0	58.1	2.58	155.63	88.73	91.88	1.25	0.71	0.74	0.54	0.728
15.542	216.8	125.0	67.4	149.4	57.6	2.60	155.61	88.18	91.84	1.24	0.71	0.73	0.54	0.734
16.062	217.3	125.0	68.1	149.2	56.9	2.62	155.77	87.65	92.30	1.25	0.70	0.74	0.54	0.738
16.578	213.6	125.0	68.6	145.0	56.4	2.57	154.52	85.95	88.56	1.24	0.69	0.71	0.55	0.774
17.103	214.5	125.0	68.7	145.8	56.3	2.59	154.84	86.10	89.51	1.24	0.69	0.72	0.55	0.768
17.626	216.7	125.0	69.1	147.7	55.9	2.64	155.58	86.52	91.75	1.24	0.69	0.73	0.55	0.753
18.144	211.7	125.0	69.4	142.3	55.6	2.56	153.92	84.48	86.75	1.23	0.68	0.69	0.56	0.800
18.660	214.8	125.0	69.3	145.5	55.7	2.61	154.93	85.65	89.79	1.24	0.69	0.72	0.55	0.772
19.185	210.8	125.0	70.1	140.7	54.9	2.56	153.60	83.49	85.80	1.23	0.67	0.69	0.56	0.817
19.704	209.0	125.0	70.5	138.5	54.5	2.54	152.99	82.52	83.96	1.22	0.66	0.67	0.56	0.839
19.738	211.8	125.0	70.3	141.5	54.7	2.59	153.94	83.61	86.81	1.23	0.67	0.69	0.56	0.810

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ป.ท.บึงจ.บ.นครศรีธรรมราช			Sample No 22 0			$\Delta v_c =$ 54.5 mm ³		$\epsilon_v =$ 27.19 %					
Loc. No.	1	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 125 kN/m ²			Lc = 95.12 mm		(1/3) $\epsilon_v =$ 9.06 %					
Test type	CU	Operation A.F.W.			Cell Pressure 325 kN/m ²			Ac = 1568.13 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 18.13 %					
Rate of	0.075 % per min	Consolidated Length 95.12 mm			Back Pressure 200 kN/m ²			Vc = 145.87 mm ³		shear temp 60 C°					
Strain	4.5 % per hour	Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Volume 145.867 cm ³			Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 201.5382 kPa							
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.002	130.9	125.0	0.0	131.0	125.0	1.05	126.98	127.03	5.94	1.02	1.02	0.05	0.00	-0.008	
0.002	134.9	125.0	0.0	134.8	125.0	1.08	128.30	128.25	9.89	1.03	1.03	0.08	0.00	0.005	
0.002	134.9	125.0	0.0	134.8	125.0	1.08	128.30	128.25	9.89	1.03	1.03	0.08	0.00	0.005	
0.019	139.6	125.0	0.1	139.5	124.9	1.12	129.87	129.76	14.61	1.04	1.04	0.12	0.00	0.008	
0.031	139.5	125.0	0.2	139.3	124.8	1.12	129.84	129.65	14.51	1.04	1.04	0.12	0.00	0.013	
0.038	143.2	125.0	0.3	143.0	124.7	1.15	131.08	130.80	18.24	1.05	1.05	0.15	0.00	0.015	
0.063	151.1	125.0	0.6	150.5	124.4	1.21	133.72	133.09	26.15	1.07	1.06	0.21	0.01	0.024	
0.078	151.2	125.0	0.8	150.4	124.2	1.21	133.74	132.96	26.23	1.07	1.06	0.21	0.01	0.030	
0.099	156.4	125.0	1.2	155.2	123.8	1.25	135.45	134.29	31.36	1.08	1.07	0.25	0.01	0.037	
0.134	155.3	125.0	1.4	153.9	123.6	1.25	135.10	133.66	30.30	1.08	1.07	0.24	0.01	0.048	
0.160	159.8	125.0	1.9	157.9	123.1	1.28	136.59	134.70	34.76	1.09	1.08	0.28	0.02	0.054	
0.174	163.1	125.0	2.1	160.9	122.9	1.31	137.68	135.57	38.05	1.10	1.08	0.30	0.02	0.056	
0.319	161.5	125.0	3.6	158.0	121.4	1.30	137.18	133.59	36.54	1.10	1.07	0.29	0.03	0.098	
0.350	165.6	125.0	4.0	161.6	121.0	1.34	138.52	134.55	40.55	1.11	1.08	0.32	0.03	0.098	
0.432	167.0	125.0	4.9	162.2	120.1	1.35	139.01	134.14	42.04	1.11	1.07	0.34	0.04	0.116	
0.446	167.0	125.0	5.0	161.9	120.0	1.35	139.00	133.95	41.99	1.11	1.07	0.34	0.04	0.120	
0.475	171.8	125.0	5.7	166.2	119.3	1.39	140.62	134.92	46.85	1.12	1.08	0.37	0.05	0.121	
0.500	172.7	125.0	6.0	166.8	119.0	1.40	140.91	134.94	47.73	1.13	1.08	0.38	0.05	0.125	
0.669	169.4	125.0	7.1	162.3	117.9	1.38	139.80	132.74	44.40	1.12	1.06	0.36	0.06	0.159	
0.709	173.6	125.0	7.6	166.0	117.4	1.41	141.18	133.63	48.55	1.13	1.07	0.39	0.06	0.156	
0.740	175.2	125.0	8.0	167.2	117.0	1.43	141.73	133.74	50.19	1.13	1.07	0.40	0.06	0.159	
0.773	178.2	125.0	8.6	169.6	116.4	1.46	142.73	134.14	53.20	1.14	1.07	0.43	0.07	0.161	
0.806	180.5	125.0	9.2	171.2	115.8	1.48	143.49	134.26	55.48	1.15	1.07	0.44	0.07	0.166	
0.848	185.5	125.0	10.4	175.0	114.6	1.53	145.16	134.72	60.47	1.16	1.08	0.48	0.08	0.173	
0.909	187.9	125.0	11.5	176.4	113.5	1.55	145.98	134.49	62.93	1.17	1.08	0.50	0.09	0.183	
0.980	190.9	125.0	12.9	178.1	112.1	1.59	146.98	134.12	65.94	1.18	1.07	0.53	0.10	0.195	
1.088	194.5	125.0	14.7	179.8	110.3	1.63	148.16	133.43	69.49	1.19	1.07	0.56	0.12	0.212	
1.191	197.8	125.0	16.4	181.4	108.6	1.67	149.26	132.90	72.79	1.19	1.06	0.58	0.13	0.225	
1.290	199.9	125.0	18.0	181.9	107.0	1.70	149.95	131.99	74.86	1.20	1.06	0.60	0.14	0.240	
1.400	202.6	125.0	19.3	183.2	105.7	1.73	150.86	131.52	77.59	1.21	1.05	0.62	0.15	0.249	
1.510	204.2	125.0	20.7	183.5	104.3	1.76	151.42	130.67	79.25	1.21	1.05	0.63	0.17	0.262	
1.602	206.6	125.0	21.9	184.8	103.1	1.79	152.22	130.35	81.65	1.22	1.04	0.65	0.17	0.268	
1.759	209.1	125.0	23.6	185.5	101.4	1.83	153.03	129.44	84.09	1.22	1.04	0.67	0.19	0.281	
1.929	210.6	125.0	25.3	185.3	99.7	1.86	153.53	128.26	85.59	1.23	1.03	0.68	0.20	0.295	
2.086	212.5	125.0	26.7	185.8	98.3	1.89	154.17	127.46	87.52	1.23	1.02	0.70	0.21	0.305	
2.246	214.6	125.0	28.0	186.6	97.0	1.92	154.85	126.88	89.56	1.24	1.02	0.72	0.22	0.312	
2.398	216.2	125.0	29.2	187.0	95.8	1.95	155.41	126.20	91.22	1.24	1.01	0.73	0.23	0.320	
2.549	217.6	125.0	30.3	187.2	94.7	1.98	155.85	125.51	92.55	1.25	1.00	0.74	0.24	0.328	
2.718	218.9	125.0	31.4	187.4	93.6	2.00	156.28	124.83	93.85	1.25	1.00	0.75	0.25	0.335	
2.868	220.2	125.0	32.4	187.8	92.6	2.03	156.74	124.33	95.21	1.25	0.99	0.76	0.26	0.340	
3.035	220.6	125.0	33.4	187.3	91.6	2.04	156.88	123.51	95.63	1.26	0.99	0.77	0.27	0.349	
3.185	221.5	125.0	34.1	187.4	90.9	2.06	157.17	123.03	96.52	1.26	0.98	0.77	0.27	0.354	
3.350	222.9	125.0	35.1	187.9	89.9	2.09	157.64	122.57	97.93	1.26	0.98	0.78	0.28	0.358	
3.507	224.0	125.0	35.8	188.2	89.2	2.11	158.00	122.21	99.01	1.26	0.98	0.79	0.29	0.361	
3.714	225.2	125.0	36.7	188.6	88.3	2.14	158.41	121.73	100.24	1.27	0.97	0.80	0.29	0.366	
3.923	226.7	125.0	37.7	189.1	87.3	2.17	158.91	121.24	101.74	1.27	0.97	0.81	0.30	0.370	

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
4.137	227.6	125.0	38.5	189.1	86.5	2.19	159.19	120.73	102.57	1.27	0.97	0.82	0.31	0.375
4.339	227.8	125.0	39.2	188.6	85.8	2.20	159.28	120.08	102.83	1.27	0.96	0.82	0.31	0.381
4.555	228.9	125.0	39.9	189.0	85.1	2.22	159.64	119.74	103.93	1.28	0.96	0.83	0.32	0.384
4.766	229.5	125.0	40.8	188.7	84.2	2.24	159.83	118.99	104.50	1.28	0.95	0.84	0.33	0.391
4.978	230.6	125.0	41.6	189.0	83.4	2.27	160.21	118.62	105.64	1.28	0.95	0.85	0.33	0.394
5.187	231.5	125.0	42.3	189.3	82.7	2.29	160.51	118.24	106.53	1.28	0.95	0.85	0.34	0.397
5.398	233.1	125.0	43.0	190.1	82.0	2.32	161.02	118.07	108.07	1.29	0.94	0.86	0.34	0.398
5.610	233.9	125.0	43.6	190.4	81.4	2.34	161.31	117.75	108.94	1.29	0.94	0.87	0.35	0.400
5.866	234.8	125.0	44.4	190.4	80.6	2.36	161.61	117.23	109.83	1.29	0.94	0.88	0.36	0.404
6.131	235.6	125.0	45.1	190.5	79.9	2.38	161.86	116.78	110.58	1.29	0.93	0.88	0.36	0.408
6.396	236.0	125.0	45.8	190.2	79.2	2.40	161.98	116.19	110.95	1.30	0.93	0.89	0.37	0.413
6.648	236.1	125.0	46.3	189.8	78.7	2.41	162.05	115.74	111.15	1.30	0.93	0.89	0.37	0.417
6.923	236.5	125.0	47.0	189.5	78.0	2.43	162.18	115.16	111.54	1.30	0.92	0.89	0.38	0.422
7.186	236.2	125.0	47.7	188.5	77.3	2.44	162.08	114.35	111.23	1.30	0.91	0.89	0.38	0.429
7.449	236.6	125.0	48.4	188.2	76.6	2.46	162.20	113.85	111.60	1.30	0.91	0.89	0.39	0.433
7.712	235.5	125.0	48.9	186.6	76.1	2.45	161.83	112.93	110.49	1.29	0.90	0.88	0.39	0.443
7.973	235.3	125.0	49.4	185.9	75.6	2.46	161.78	112.38	110.34	1.29	0.90	0.88	0.40	0.448
8.236	234.7	125.0	50.0	184.7	75.0	2.46	161.57	111.60	109.71	1.29	0.89	0.88	0.40	0.455
8.492	235.0	125.0	50.5	184.5	74.5	2.47	161.65	111.20	109.96	1.29	0.89	0.88	0.40	0.459
8.809	235.4	125.0	51.0	184.3	74.0	2.49	161.80	110.75	110.39	1.29	0.89	0.88	0.41	0.462
9.131	235.0	125.0	51.7	183.3	73.3	2.50	161.67	109.94	110.02	1.29	0.88	0.88	0.41	0.470
9.443	236.0	125.0	52.2	183.8	72.8	2.53	162.01	109.77	111.02	1.30	0.88	0.89	0.42	0.471
9.763	236.2	125.0	52.8	183.4	72.2	2.54	162.06	109.26	111.18	1.30	0.87	0.89	0.42	0.475
10.075	237.3	125.0	53.3	183.9	71.7	2.57	162.43	109.09	112.28	1.30	0.87	0.90	0.43	0.475
10.390	237.4	125.0	53.8	183.6	71.2	2.58	162.48	108.65	112.43	1.30	0.87	0.90	0.43	0.479
10.698	237.0	125.0	54.3	182.7	70.7	2.58	162.33	108.03	112.00	1.30	0.86	0.90	0.43	0.485
11.017	237.6	125.0	54.9	182.7	70.1	2.61	162.55	107.63	112.65	1.30	0.86	0.90	0.44	0.488
11.334	237.2	125.0	55.3	181.9	69.7	2.61	162.41	107.07	112.23	1.30	0.86	0.90	0.44	0.493
11.651	237.1	125.0	55.7	181.4	69.3	2.62	162.36	106.69	112.09	1.30	0.85	0.90	0.45	0.497
11.968	234.4	125.0	56.1	178.3	68.9	2.59	161.48	105.34	109.44	1.29	0.84	0.88	0.45	0.513
12.283	232.8	125.0	56.9	175.8	68.1	2.58	160.92	103.99	107.76	1.29	0.83	0.86	0.46	0.528
12.596	232.6	125.0	57.4	175.1	67.6	2.59	160.86	103.42	107.58	1.29	0.83	0.86	0.46	0.534
12.964	230.3	125.0	58.0	172.3	67.0	2.57	160.09	102.13	105.26	1.28	0.82	0.84	0.46	0.551
13.326	230.6	125.0	58.4	172.3	66.6	2.59	160.22	101.83	105.65	1.28	0.81	0.85	0.47	0.553
13.702	230.3	125.0	58.8	171.5	66.2	2.59	160.10	101.34	105.30	1.28	0.81	0.84	0.47	0.558
14.071	228.6	125.0	59.2	169.4	65.8	2.58	159.54	100.31	103.63	1.28	0.80	0.83	0.47	0.572
14.442	228.5	125.0	59.6	168.9	65.4	2.58	159.52	99.91	103.55	1.28	0.80	0.83	0.48	0.576
14.808	229.5	125.0	60.0	169.5	65.0	2.61	159.83	99.85	104.49	1.28	0.80	0.84	0.48	0.574
15.170	229.6	125.0	60.2	169.4	64.8	2.61	159.86	99.65	104.59	1.28	0.80	0.84	0.48	0.576
15.595	229.2	125.0	60.7	168.5	64.3	2.62	159.74	99.05	104.23	1.28	0.79	0.83	0.49	0.582
16.009	229.3	125.0	61.0	168.4	64.0	2.63	159.78	98.79	104.34	1.28	0.79	0.83	0.49	0.584
16.436	229.3	125.0	61.3	168.0	63.7	2.64	159.75	98.50	104.25	1.28	0.79	0.83	0.49	0.588
16.857	229.5	125.0	61.5	168.0	63.5	2.64	159.82	98.33	104.45	1.28	0.79	0.84	0.49	0.589
17.277	226.8	125.0	61.8	165.0	63.2	2.61	158.94	97.14	101.83	1.27	0.78	0.81	0.49	0.607
17.698	228.6	125.0	62.1	166.5	62.9	2.65	159.52	97.42	103.55	1.28	0.78	0.83	0.50	0.600
18.111	227.6	125.0	62.3	165.3	62.7	2.64	159.19	96.92	102.58	1.27	0.78	0.82	0.50	0.607
18.588	228.7	125.0	62.4	166.2	62.6	2.66	159.56	97.12	103.68	1.28	0.78	0.83	0.50	0.602
19.065	228.6	125.0	62.8	165.8	62.2	2.67	159.54	96.72	103.62	1.28	0.77	0.83	0.50	0.606
19.532	228.4	125.0	63.1	165.3	61.9	2.67	159.46	96.37	103.38	1.28	0.77	0.83	0.50	0.610
20.007	228.6	125.0	63.3	165.4	61.7	2.68	159.55	96.29	103.65	1.28	0.77	0.83	0.51	0.610


 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY </p> <p style="text-align: center;">TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>														
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองสุพรรณบุรี		Sample No 23 0		$\Delta v_c = 50.3 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 24.02 \%$						
Loc.No. 1	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 125 kN/m^2		$L_c = 97.22 \text{ mm}$		$(1/3)\epsilon_v = 8.01 \%$						
Test type CU	Operation A.F.W.			Cell Pressure 325 kN/m^2		$A_c = 1663.00 \text{ mm}^2$		$(2/3)\epsilon_v = 16.02 \%$						
Rate of 1 % per min	Consolidated Length 97.22 mm			Back Pressure 200 kN/m^2		$V_c = 158.99 \text{ mm}^3$		shear temp 60 $^{\circ}\text{C}$						
Strain 60.0 % per hour	Consolidated Area 1663.00 mm^2			Consolidated Volume 158.993 cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 200.5505 kPa								
Membranes 1 x 0.2 mm														
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
0.000	131.2	125.0	0.2	131.1	124.8	1.05	127.08	126.91	6.23	1.02	1.02	0.05	0.00	0.028
0.011	131.3	125.0	0.2	131.2	124.8	1.05	127.11	126.93	6.34	1.02	1.02	0.05	0.00	0.030
0.016	131.5	125.0	0.2	131.2	124.8	1.05	127.15	126.92	6.46	1.02	1.02	0.05	0.00	0.036
0.011	138.1	125.0	0.2	137.9	124.8	1.10	129.35	129.15	13.06	1.03	1.03	0.10	0.00	0.016
0.023	139.6	125.0	0.3	139.2	124.7	1.12	129.85	129.54	14.56	1.04	1.04	0.12	0.00	0.022
0.057	145.4	125.0	0.5	144.9	124.5	1.16	131.80	131.30	20.41	1.05	1.05	0.16	0.00	0.025
0.074	152.9	125.0	0.7	152.2	124.3	1.22	134.29	133.61	27.86	1.07	1.07	0.22	0.01	0.024
0.087	155.2	125.0	0.8	154.3	124.2	1.24	135.05	134.24	30.16	1.08	1.07	0.24	0.01	0.027
0.085	159.7	125.0	0.8	158.9	124.2	1.28	136.57	135.74	34.70	1.09	1.09	0.28	0.01	0.024
0.103	160.6	125.0	0.8	159.7	124.2	1.29	136.86	136.02	35.59	1.09	1.09	0.28	0.01	0.024
0.117	169.1	125.0	0.7	168.4	124.3	1.35	139.70	139.00	44.11	1.12	1.11	0.35	0.01	0.016
0.133	168.7	125.0	1.1	167.5	123.9	1.35	139.55	138.41	43.66	1.12	1.11	0.35	0.01	0.026
0.149	174.1	125.0	0.9	173.2	124.1	1.40	141.36	140.45	49.08	1.13	1.12	0.39	0.01	0.019
0.161	177.2	125.0	1.3	175.8	123.7	1.42	142.38	141.05	52.15	1.14	1.13	0.42	0.01	0.026
0.175	180.1	125.0	1.4	178.7	123.6	1.45	143.36	141.95	55.08	1.15	1.14	0.44	0.01	0.026
0.207	187.3	125.0	1.6	185.7	123.4	1.50	145.76	144.15	62.29	1.17	1.15	0.50	0.01	0.026
0.216	190.6	125.0	1.7	188.9	123.3	1.53	146.86	145.16	65.59	1.17	1.16	0.52	0.01	0.026
0.257	198.8	125.0	1.7	197.1	123.3	1.60	149.61	147.90	73.83	1.20	1.18	0.59	0.01	0.023
0.269	203.6	125.0	2.1	201.5	122.9	1.64	151.20	149.06	78.59	1.21	1.19	0.63	0.02	0.027
0.303	209.1	125.0	2.4	206.7	122.6	1.69	153.03	150.68	84.09	1.22	1.21	0.67	0.02	0.028
0.349	218.1	125.0	2.3	215.8	122.7	1.76	156.04	153.70	93.12	1.25	1.23	0.74	0.02	0.025
0.416	223.2	125.0	3.1	220.2	121.9	1.81	157.75	154.66	98.24	1.26	1.24	0.79	0.02	0.031
0.515	228.2	125.0	3.4	224.7	121.6	1.85	159.39	155.95	103.16	1.28	1.25	0.83	0.03	0.033
0.627	229.2	125.0	4.6	224.6	120.4	1.87	159.74	155.16	104.23	1.28	1.24	0.83	0.04	0.044
0.726	230.7	125.0	5.2	225.5	119.8	1.88	160.24	155.03	105.71	1.28	1.24	0.85	0.04	0.049
0.832	235.4	125.0	5.6	229.8	119.4	1.92	161.80	156.22	110.39	1.29	1.25	0.88	0.04	0.051
0.981	235.6	125.0	6.4	229.1	118.6	1.93	161.86	155.42	110.59	1.29	1.24	0.88	0.05	0.058
1.142	236.0	125.0	7.5	228.5	117.5	1.94	161.99	154.50	110.97	1.30	1.24	0.89	0.06	0.068
1.296	240.6	125.0	8.3	232.3	116.7	1.99	163.52	155.21	115.56	1.31	1.24	0.92	0.07	0.072
1.439	239.0	125.0	9.1	229.9	115.9	1.98	162.99	153.92	113.96	1.30	1.23	0.91	0.07	0.080
1.602	242.9	125.0	9.6	233.3	115.4	2.02	164.31	154.66	117.92	1.31	1.24	0.94	0.08	0.082
1.756	241.7	125.0	10.2	231.5	114.8	2.02	163.90	153.66	116.69	1.31	1.23	0.93	0.08	0.088
1.905	241.7	125.0	10.9	230.8	114.1	2.02	163.89	153.03	116.68	1.31	1.22	0.93	0.09	0.093
2.066	241.8	125.0	11.6	230.2	113.4	2.03	163.95	152.35	116.84	1.31	1.22	0.93	0.09	0.099
2.216	246.4	125.0	12.1	234.3	112.9	2.08	165.46	153.37	121.38	1.32	1.23	0.97	0.10	0.100
2.395	245.3	125.0	12.7	232.6	112.3	2.07	165.11	152.42	120.32	1.32	1.22	0.96	0.10	0.105
2.588	245.0	125.0	13.2	231.8	111.8	2.07	165.01	151.83	120.03	1.32	1.21	0.96	0.11	0.110
2.795	243.3	125.0	14.1	229.2	110.9	2.07	164.45	150.34	118.34	1.32	1.20	0.95	0.11	0.119
2.997	243.2	125.0	14.6	228.6	110.4	2.07	164.41	149.77	118.24	1.32	1.20	0.95	0.12	0.124
3.206	245.3	125.0	15.4	229.9	109.6	2.10	165.09	149.71	120.28	1.32	1.20	0.96	0.12	0.128
3.411	243.2	125.0	16.0	227.2	109.0	2.08	164.40	148.43	118.21	1.32	1.19	0.95	0.13	0.135
3.617	246.2	125.0	16.5	229.7	108.5	2.12	165.41	148.93	121.23	1.32	1.19	0.97	0.13	0.136
3.827	242.4	125.0	17.1	225.3	107.9	2.09	164.13	147.03	117.40	1.31	1.18	0.94	0.14	0.146
4.029	243.8	125.0	17.7	226.2	107.3	2.11	164.62	146.96	118.85	1.32	1.18	0.95	0.14	0.149
4.231	243.3	125.0	18.2	225.2	106.8	2.11	164.45	146.29	118.35	1.32	1.17	0.95	0.15	0.153
4.433	247.7	125.0	18.6	229.1	106.4	2.15	165.90	147.29	122.69	1.33	1.18	0.98	0.15	0.152

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
4.638	242.7	125.0	19.2	223.5	105.8	2.11	164.24	145.04	117.73	1.31	1.16	0.94	0.15	0.163
4.849	245.5	125.0	19.6	225.9	105.4	2.14	165.17	145.52	120.50	1.32	1.16	0.96	0.16	0.163
5.058	242.9	125.0	20.3	222.6	104.7	2.13	164.29	143.99	117.87	1.31	1.15	0.94	0.16	0.172
5.256	242.6	125.0	20.9	221.7	104.1	2.13	164.19	143.32	117.57	1.31	1.15	0.94	0.17	0.177
5.472	241.9	125.0	21.4	220.5	103.6	2.13	163.95	142.60	116.86	1.31	1.14	0.93	0.17	0.183
5.665	243.1	125.0	21.9	221.2	103.1	2.15	164.37	142.43	118.10	1.31	1.14	0.94	0.18	0.186
5.877	242.2	125.0	22.5	219.8	102.5	2.14	164.07	141.62	117.21	1.31	1.13	0.94	0.18	0.192
6.084	241.5	125.0	23.0	218.5	102.0	2.14	163.84	140.84	116.51	1.31	1.13	0.93	0.18	0.197
6.336	242.6	125.0	23.5	219.1	101.5	2.16	164.22	140.67	117.65	1.31	1.13	0.94	0.19	0.200
6.601	245.7	125.0	24.1	221.5	100.9	2.20	165.22	141.09	120.65	1.32	1.13	0.97	0.19	0.200
6.860	243.4	125.0	24.6	218.7	100.4	2.18	164.45	139.82	118.35	1.32	1.12	0.95	0.20	0.208
7.113	245.6	125.0	25.1	220.5	99.9	2.21	165.20	140.05	120.60	1.32	1.12	0.96	0.20	0.209
7.375	246.7	125.0	25.8	220.9	99.2	2.23	165.56	139.80	121.69	1.32	1.12	0.97	0.21	0.212
7.630	245.0	125.0	26.3	218.7	98.7	2.22	164.99	138.71	119.97	1.32	1.11	0.96	0.21	0.219
7.885	242.1	125.0	26.9	215.3	98.1	2.19	164.05	137.16	117.14	1.31	1.10	0.94	0.22	0.230
8.140	243.6	125.0	27.3	216.3	97.7	2.21	164.54	137.26	118.61	1.32	1.10	0.95	0.22	0.230
8.400	243.0	125.0	28.1	215.0	96.9	2.22	164.34	136.27	118.01	1.31	1.09	0.94	0.22	0.238
8.660	242.6	125.0	28.5	214.1	96.5	2.22	164.20	135.70	117.61	1.31	1.09	0.94	0.23	0.242
8.910	242.0	125.0	29.0	213.0	96.0	2.22	164.01	135.02	117.03	1.31	1.08	0.94	0.23	0.248
9.211	243.8	125.0	29.3	214.4	95.7	2.24	164.59	135.26	118.77	1.32	1.08	0.95	0.23	0.247
9.533	242.5	125.0	29.9	212.6	95.1	2.24	164.17	134.24	117.52	1.31	1.07	0.94	0.24	0.255
9.837	241.9	125.0	30.5	211.3	94.5	2.24	163.95	133.43	116.86	1.31	1.07	0.93	0.24	0.261
10.151	245.0	125.0	31.1	213.9	93.9	2.28	165.00	133.93	120.00	1.32	1.07	0.96	0.25	0.259
10.459	245.6	125.0	31.4	214.1	93.6	2.29	165.20	133.75	120.59	1.32	1.07	0.96	0.25	0.261
10.758	241.5	125.0	32.1	209.4	92.9	2.25	163.83	131.74	116.48	1.31	1.05	0.93	0.26	0.276
11.073	239.4	125.0	32.7	206.6	92.3	2.24	163.12	130.40	114.36	1.30	1.04	0.91	0.26	0.286
11.376	239.2	125.0	33.2	206.0	91.8	2.24	163.08	129.84	114.24	1.30	1.04	0.91	0.27	0.291
11.691	241.6	125.0	33.8	207.8	91.2	2.28	163.87	130.10	116.61	1.31	1.04	0.93	0.27	0.290
12.002	239.9	125.0	34.3	205.6	90.7	2.27	163.29	129.01	114.86	1.31	1.03	0.92	0.27	0.298
12.310	237.9	125.0	34.6	203.4	90.4	2.25	162.65	128.08	112.94	1.30	1.02	0.90	0.28	0.306
12.611	239.6	125.0	35.0	204.6	90.0	2.27	163.20	128.24	114.59	1.31	1.03	0.92	0.28	0.305
12.928	237.5	125.0	35.5	202.0	89.5	2.26	162.50	127.00	112.49	1.30	1.02	0.90	0.28	0.316
13.284	236.9	125.0	36.2	200.7	88.8	2.26	162.31	126.11	111.93	1.30	1.01	0.90	0.29	0.323
13.636	238.1	125.0	36.7	201.4	88.3	2.28	162.71	125.99	113.12	1.30	1.01	0.90	0.29	0.325
13.999	236.7	125.0	37.1	199.5	87.9	2.27	162.22	125.08	111.66	1.30	1.00	0.89	0.30	0.333
14.362	237.5	125.0	37.6	199.8	87.4	2.29	162.49	124.85	112.47	1.30	1.00	0.90	0.30	0.335
14.720	237.9	125.0	38.2	199.7	86.8	2.30	162.64	124.45	112.93	1.30	1.00	0.90	0.31	0.338
15.086	238.2	125.0	38.7	199.5	86.3	2.31	162.73	124.02	113.20	1.30	0.99	0.91	0.31	0.342
15.442	238.8	125.0	38.9	199.9	86.1	2.32	162.94	123.99	113.82	1.30	0.99	0.91	0.31	0.342
15.805	238.9	125.0	39.6	199.2	85.4	2.33	162.97	123.32	113.90	1.30	0.99	0.91	0.32	0.348
16.164	234.4	125.0	40.3	194.1	84.7	2.29	161.46	121.17	109.39	1.29	0.97	0.88	0.32	0.368
16.513	234.0	125.0	40.6	193.4	84.4	2.29	161.33	120.71	109.00	1.29	0.97	0.87	0.32	0.373
16.890	238.3	125.0	41.0	197.2	84.0	2.35	162.76	121.71	113.28	1.30	0.97	0.91	0.33	0.362
17.246	234.7	125.0	41.6	193.1	83.4	2.32	161.55	119.94	109.66	1.29	0.96	0.88	0.33	0.379
17.600	236.1	125.0	41.9	194.2	83.1	2.34	162.03	120.14	111.09	1.30	0.96	0.89	0.34	0.377
17.959	233.3	125.0	42.2	191.1	82.8	2.31	161.11	118.87	108.33	1.29	0.95	0.87	0.34	0.390
18.322	232.1	125.0	42.7	189.4	82.3	2.30	160.69	118.03	107.07	1.29	0.94	0.86	0.34	0.398
18.687	230.8	125.0	42.9	187.9	82.1	2.29	160.27	117.33	105.82	1.28	0.94	0.85	0.34	0.406
19.023	231.1	125.0	43.0	188.1	82.0	2.29	160.37	117.36	106.10	1.28	0.94	0.85	0.34	0.405
19.407	230.5	125.0	43.4	187.1	81.6	2.29	160.16	116.79	105.47	1.28	0.93	0.84	0.35	0.411
19.770	231.0	125.0	43.4	187.6	81.6	2.30	160.34	116.90	106.02	1.28	0.94	0.85	0.35	0.410
20.128	227.5	125.0	43.5	184.0	81.5	2.26	159.17	115.65	102.51	1.27	0.93	0.82	0.35	0.425


 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY </p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>														
Loc. No.		Location				Sample No.		$\Delta v_c =$		$\epsilon_v =$				
1		อ.เมืองจันท อ.ปทุมธานี อ.นครชัยศรี อ.รัตนบุรี				24 0		45.6 mm ³		22.00 %				
Test type		CU		without side		Proving Ring No.		Effective Cell Pressure		initially		125 kN/m ²		Lc = 95.96 mm
Rate of		6 % per min		Operation A.F.W.		(Load cell) No. 11073		Cell Pressure		325 kN/m ²		(1/3) $\epsilon_v =$ 7.33 %		
Strain		360.0 % per hour		Consolidated Length		95.96 mm		Back Pressure		200 kN/m ²		Ac = 1709.24 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 14.66 %
Membranes 1 x 0.2 mm				Consolidated Area		1709.24 mm ²		Consolidated Volume		161.784 cm ³		Vc = 161.78 mm ³		shear temp 60 C°
Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 201.0366 kPa														
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
0	125.0	125.0	0.0	125.0	125.0	1.00	125.00	125.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
0.014	132.1	125.0	0.1	132.1	124.9	1.06	127.37	127.31	7.12	1.02	1.02	0.06	0.00	0.009
0.021	134.4	125.0	0.1	134.3	124.9	1.08	128.13	128.00	9.38	1.03	1.02	0.08	0.00	0.013
0.030	138.3	125.0	0.1	138.3	124.9	1.11	129.44	129.38	13.33	1.04	1.04	0.11	0.00	0.005
0.037	141.2	125.0	0.2	141.0	124.8	1.13	130.39	130.19	16.18	1.04	1.04	0.13	0.00	0.013
0.049	148.6	125.0	0.2	148.4	124.8	1.19	132.87	132.71	23.61	1.06	1.06	0.19	0.00	0.007
0.063	151.2	125.0	0.2	151.1	124.8	1.21	133.75	133.58	26.24	1.07	1.07	0.21	0.00	0.007
0.068	156.0	125.0	0.2	155.8	124.8	1.25	135.33	135.14	30.99	1.08	1.08	0.25	0.00	0.006
0.081	159.4	125.0	0.3	159.1	124.7	1.28	136.47	136.20	34.40	1.09	1.09	0.28	0.00	0.008
0.091	158.9	125.0	0.3	158.6	124.7	1.27	136.30	135.98	33.89	1.09	1.09	0.27	0.00	0.009
0.109	163.9	125.0	0.4	163.5	124.6	1.31	137.97	137.59	38.91	1.10	1.10	0.31	0.00	0.010
0.119	166.2	125.0	0.5	165.7	124.5	1.33	138.73	138.21	41.19	1.11	1.11	0.33	0.00	0.013
0.121	168.3	125.0	0.4	167.9	124.6	1.35	139.44	139.01	43.33	1.12	1.11	0.35	0.00	0.010
0.126	172.2	125.0	0.5	171.7	124.5	1.38	140.73	140.23	47.20	1.13	1.12	0.38	0.00	0.011
0.156	175.0	125.0	0.6	174.4	124.4	1.40	141.67	141.09	50.02	1.13	1.13	0.40	0.00	0.012
0.170	179.7	125.0	0.6	179.1	124.4	1.44	143.24	142.63	54.72	1.15	1.14	0.44	0.00	0.011
0.203	182.1	125.0	0.7	181.4	124.3	1.46	144.05	143.31	57.15	1.15	1.15	0.46	0.01	0.013
0.224	189.8	125.0	0.8	189.0	124.2	1.52	146.60	145.77	64.80	1.17	1.17	0.52	0.01	0.013
0.258	192.1	125.0	1.0	191.2	124.0	1.54	147.38	146.41	67.14	1.18	1.17	0.54	0.01	0.014
0.284	197.8	125.0	1.1	196.8	123.9	1.59	149.28	148.19	72.85	1.19	1.19	0.58	0.01	0.015
0.359	202.1	125.0	1.3	200.9	123.7	1.62	150.71	149.44	77.14	1.21	1.20	0.62	0.01	0.016
0.431	213.5	125.0	1.5	212.0	123.5	1.72	154.49	152.98	88.46	1.24	1.22	0.71	0.01	0.017
0.503	216.1	125.0	1.7	214.4	123.3	1.74	155.37	153.66	91.10	1.24	1.23	0.73	0.01	0.019
0.591	222.6	125.0	1.9	220.7	123.1	1.79	157.53	155.61	97.60	1.26	1.24	0.78	0.02	0.020
0.706	231.1	125.0	2.3	228.8	122.7	1.86	160.37	158.11	106.10	1.28	1.26	0.85	0.02	0.021
0.808	237.5	125.0	2.5	235.0	122.5	1.92	162.51	160.00	112.52	1.30	1.28	0.90	0.02	0.022
0.917	233.7	125.0	2.7	230.9	122.3	1.89	161.22	158.49	108.66	1.29	1.27	0.87	0.02	0.025
1.022	236.8	125.0	2.9	233.9	122.1	1.92	162.28	159.35	111.84	1.30	1.27	0.89	0.02	0.026
1.115	239.0	125.0	3.1	235.9	121.9	1.94	163.02	159.88	114.05	1.30	1.28	0.91	0.03	0.027
1.229	239.9	125.0	3.4	236.5	121.6	1.94	163.29	159.93	114.86	1.31	1.28	0.92	0.03	0.029
1.332	241.3	125.0	3.6	237.7	121.4	1.96	163.76	160.17	116.27	1.31	1.28	0.93	0.03	0.031
1.439	242.3	125.0	3.8	238.5	121.2	1.97	164.10	160.27	117.29	1.31	1.28	0.94	0.03	0.033
1.539	242.5	125.0	4.0	238.6	121.0	1.97	164.18	160.21	117.53	1.31	1.28	0.94	0.03	0.034
1.688	244.3	125.0	4.2	240.0	120.8	1.99	164.75	160.52	119.25	1.32	1.28	0.95	0.03	0.035
1.844	243.6	125.0	4.5	239.1	120.5	1.98	164.55	160.03	118.64	1.32	1.28	0.95	0.04	0.038
2.005	244.4	125.0	4.8	239.5	120.2	1.99	164.79	159.96	119.37	1.32	1.28	0.95	0.04	0.040
2.154	245.1	125.0	5.0	240.1	120.0	2.00	165.04	159.99	120.11	1.32	1.28	0.96	0.04	0.042
2.315	244.9	125.0	5.3	239.6	119.7	2.00	164.96	159.66	119.87	1.32	1.28	0.96	0.04	0.044
2.478	248.5	125.0	5.6	242.9	119.4	2.03	166.16	160.56	123.48	1.33	1.28	0.99	0.04	0.045
2.629	243.6	125.0	5.8	237.8	119.2	2.00	164.55	158.74	118.64	1.32	1.27	0.95	0.05	0.049
2.792	248.4	125.0	6.1	242.2	118.9	2.04	166.13	159.98	123.38	1.33	1.28	0.99	0.05	0.050
2.941	244.1	125.0	6.3	237.8	118.7	2.00	164.71	158.42	119.13	1.32	1.27	0.95	0.05	0.053
3.106	247.5	125.0	6.6	240.9	118.4	2.03	165.84	159.24	122.52	1.33	1.27	0.98	0.05	0.054
3.262	248.4	125.0	6.9	241.6	118.1	2.04	166.14	159.29	123.42	1.33	1.27	0.99	0.05	0.056
3.407	246.3	125.0	7.1	239.2	117.9	2.03	165.43	158.30	121.30	1.32	1.27	0.97	0.06	0.059
3.625	250.5	125.0	7.4	243.1	117.6	2.07	166.84	159.41	125.53	1.33	1.28	1.00	0.06	0.059
3.819	247.4	125.0	7.6	239.8	117.4	2.04	165.79	158.17	122.38	1.33	1.27	0.98	0.06	0.062

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
4.026	246.5	125.0	8.1	238.4	116.9	2.04	165.50	157.44	121.49	1.32	1.26	0.97	0.06	0.066
4.243	250.5	125.0	8.4	242.1	116.6	2.08	166.84	158.45	125.51	1.33	1.27	1.00	0.07	0.067
4.459	250.0	125.0	8.7	241.3	116.3	2.07	166.66	157.94	124.98	1.33	1.26	1.00	0.07	0.070
4.664	246.1	125.0	9.0	237.1	116.0	2.04	165.36	156.41	121.08	1.32	1.25	0.97	0.07	0.074
4.876	244.4	125.0	9.3	235.1	115.7	2.03	164.81	155.52	119.44	1.32	1.24	0.96	0.07	0.078
5.067	247.9	125.0	9.6	238.3	115.4	2.06	165.97	156.40	122.90	1.33	1.25	0.98	0.08	0.078
5.290	251.7	125.0	9.9	241.7	115.1	2.10	167.22	157.31	126.66	1.34	1.26	1.01	0.08	0.078
5.502	252.2	125.0	10.3	242.0	114.7	2.11	167.42	157.15	127.25	1.34	1.26	1.02	0.08	0.081
5.763	249.4	125.0	10.5	238.9	114.5	2.09	166.47	155.93	124.41	1.33	1.25	1.00	0.08	0.085
6.015	248.6	125.0	10.9	237.7	114.1	2.08	166.21	155.32	123.64	1.33	1.24	0.99	0.09	0.088
6.282	249.9	125.0	11.3	238.5	113.7	2.10	166.63	155.29	124.88	1.33	1.24	1.00	0.09	0.091
6.538	248.7	125.0	11.7	237.0	113.3	2.09	166.24	154.52	123.73	1.33	1.24	0.99	0.09	0.095
6.799	247.6	125.0	12.0	235.6	113.0	2.08	165.86	153.87	122.58	1.33	1.23	0.98	0.10	0.098
7.065	246.6	125.0	12.4	234.3	112.6	2.08	165.54	153.18	121.61	1.32	1.23	0.97	0.10	0.102
7.325	250.8	125.0	12.9	237.9	112.1	2.12	166.92	154.03	125.77	1.34	1.23	1.01	0.10	0.102
7.575	245.4	125.0	13.1	232.3	111.9	2.08	165.15	152.04	120.44	1.32	1.22	0.96	0.10	0.109
7.838	246.3	125.0	13.5	232.8	111.5	2.09	165.43	151.95	121.29	1.32	1.22	0.97	0.11	0.111
8.108	245.1	125.0	13.9	231.2	111.1	2.08	165.05	151.14	120.14	1.32	1.21	0.96	0.11	0.116
8.359	244.2	125.0	14.3	229.9	110.7	2.08	164.73	150.48	119.20	1.32	1.20	0.95	0.11	0.120
8.669	247.5	125.0	14.8	232.7	110.2	2.11	165.83	151.06	122.49	1.33	1.21	0.98	0.12	0.121
8.990	247.2	125.0	15.2	232.0	109.8	2.11	165.72	150.56	122.15	1.33	1.20	0.98	0.12	0.124
9.288	247.6	125.0	15.5	232.0	109.5	2.12	165.85	150.33	122.56	1.33	1.20	0.98	0.12	0.127
9.619	246.8	125.0	16.0	230.8	109.0	2.12	165.61	149.58	121.84	1.32	1.20	0.97	0.13	0.132
9.912	249.0	125.0	16.5	232.5	108.5	2.14	166.34	149.85	124.03	1.33	1.20	0.99	0.13	0.133
10.236	247.3	125.0	16.8	230.4	108.2	2.13	165.75	148.95	122.26	1.33	1.19	0.98	0.13	0.137
10.539	246.8	125.0	17.2	229.5	107.8	2.13	165.59	148.37	121.76	1.32	1.19	0.97	0.14	0.141
10.867	249.0	125.0	17.7	231.3	107.3	2.16	166.34	148.60	124.03	1.33	1.19	0.99	0.14	0.143
11.179	247.6	125.0	18.1	229.5	106.9	2.15	165.88	147.77	122.63	1.33	1.18	0.98	0.14	0.148
11.484	248.7	125.0	18.5	230.2	106.5	2.16	166.23	147.70	123.69	1.33	1.18	0.99	0.15	0.150
11.801	245.6	125.0	18.8	226.7	106.2	2.14	165.18	146.37	120.55	1.32	1.17	0.96	0.15	0.156
12.111	243.1	125.0	19.1	224.1	105.9	2.12	164.38	145.31	118.13	1.32	1.16	0.95	0.15	0.161
12.425	242.3	125.0	19.5	222.8	105.5	2.11	164.09	144.63	117.27	1.31	1.16	0.94	0.16	0.166
12.793	241.3	125.0	19.9	221.4	105.1	2.11	163.78	143.88	116.33	1.31	1.15	0.93	0.16	0.171
13.158	240.6	125.0	20.2	220.4	104.8	2.10	163.52	143.31	115.56	1.31	1.15	0.92	0.16	0.175
13.524	242.2	125.0	20.8	221.4	104.2	2.12	164.06	143.27	117.19	1.31	1.15	0.94	0.17	0.177
13.890	241.4	125.0	21.2	220.2	103.8	2.12	163.80	142.64	116.41	1.31	1.14	0.93	0.17	0.182
14.236	235.9	125.0	21.4	214.6	103.6	2.07	161.98	140.63	110.94	1.30	1.13	0.89	0.17	0.192
14.621	237.5	125.0	21.9	215.7	103.1	2.09	162.50	140.65	112.51	1.30	1.13	0.90	0.17	0.194
14.982	233.4	125.0	22.1	211.3	102.9	2.05	161.14	139.03	108.41	1.29	1.11	0.87	0.18	0.204
15.343	233.3	125.0	22.5	210.9	102.5	2.06	161.11	138.63	108.34	1.29	1.11	0.87	0.18	0.208
15.715	233.9	125.0	22.9	211.0	102.1	2.07	161.31	138.42	108.92	1.29	1.11	0.87	0.18	0.210
16.081	229.5	125.0	23.2	206.4	101.8	2.03	159.84	136.67	104.53	1.28	1.09	0.84	0.19	0.222
16.442	227.0	125.0	23.4	203.6	101.6	2.00	159.00	135.59	101.99	1.27	1.08	0.82	0.19	0.230
16.805	230.5	125.0	23.8	206.7	101.2	2.04	160.18	136.38	105.54	1.28	1.09	0.84	0.19	0.226
17.170	226.4	125.0	24.0	202.4	101.0	2.00	158.79	134.79	101.37	1.27	1.08	0.81	0.19	0.237
17.531	225.0	125.0	24.3	200.7	100.7	1.99	158.33	134.02	100.00	1.27	1.07	0.80	0.19	0.243
17.904	224.3	125.0	24.5	199.8	100.5	1.99	158.09	133.57	99.27	1.26	1.07	0.79	0.20	0.247
18.253	223.6	125.0	24.8	198.8	100.2	1.98	157.86	133.07	98.58	1.26	1.06	0.79	0.20	0.251
18.616	223.2	125.0	24.9	198.3	100.1	1.98	157.73	132.83	98.19	1.26	1.06	0.79	0.20	0.254
18.989	221.2	125.0	25.3	195.9	99.7	1.96	157.06	131.74	96.18	1.26	1.05	0.77	0.20	0.263
19.357	224.3	125.0	25.6	198.7	99.4	2.00	158.10	132.50	99.29	1.26	1.06	0.79	0.20	0.258
19.718	220.6	125.0	25.7	194.9	99.3	1.96	156.86	131.18	95.57	1.25	1.05	0.76	0.21	0.269
20.139	222.8	125.0	26.0	196.7	99.0	1.99	157.59	131.56	97.77	1.26	1.05	0.78	0.21	0.266


3.) สภาวะการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 4 (OCR=4)

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)																			
1/2																			
Triaxial Shearing																			
Loc. No.	1		Location ต.บางซอก อ.ป่าตอง จ.นครศรีธรรมราช			Sample No.	9 0			$\Delta v_e =$	41.5	mm^3	$\epsilon_v =$	20.63	%				
Test type	CU		without side			Proving Ring No.	(Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure	initially	63	kN/m^2	$L_c =$	98.40	mm	$(1/3)\epsilon_v =$	6.88	%
Rate of Strain	0.02	% per min	Operation A.F.W.			Cell Pressure	262.5			kN/m^2	$A_c =$	1643.58	mm^2	$(2/3)\epsilon_v =$	13.75	%			
Strain	1.2	% per hour	Consolidated Length	98.40	mm	Back Pressure	200			kN/m^2	$V_c =$	159.82	mm^3	shear temp	45	$^{\circ}C$			
Membranes	1 x 0.2	mm	Consolidated Area	1643.58	mm^2	Consolidated Volume	159.825			cm^3	Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT)				201.0052	kPa			
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A					
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-					
0.014	66.6	62.5	0.4	66.2	62.1	1.07	63.88	63.49	4.13	1.02	1.02	0.07	0.01	0.095					
0.009	67.0	62.5	0.4	66.6	62.1	1.07	64.00	63.63	4.51	1.02	1.02	0.07	0.01	0.083					
0.023	67.5	62.5	0.8	66.7	61.7	1.08	64.16	63.34	4.98	1.03	1.01	0.08	0.01	0.164					
0.050	70.1	62.5	1.5	68.6	61.0	1.12	65.02	63.56	7.56	1.04	1.02	0.12	0.02	0.193					
0.054	74.7	62.5	1.6	73.1	60.9	1.20	66.57	64.95	12.20	1.07	1.04	0.20	0.03	0.132					
0.068	75.5	62.5	2.1	73.4	60.4	1.22	66.84	64.75	13.01	1.07	1.04	0.21	0.03	0.160					
0.114	78.5	62.5	3.2	75.3	59.3	1.27	67.82	64.61	15.97	1.09	1.03	0.26	0.05	0.201					
0.166	80.0	62.5	4.5	75.5	58.0	1.30	68.34	63.87	17.51	1.09	1.02	0.28	0.07	0.255					
0.250	77.8	62.5	6.2	71.6	56.3	1.27	67.59	61.41	15.26	1.08	0.98	0.24	0.10	0.405					
0.377	84.6	62.5	7.7	76.9	54.8	1.40	69.87	62.13	22.12	1.12	0.99	0.35	0.12	0.350					
0.470	82.1	62.5	8.4	73.7	54.1	1.36	69.04	60.62	19.62	1.10	0.97	0.31	0.13	0.429					
0.581	86.4	62.5	9.2	77.1	53.3	1.45	70.45	61.25	23.85	1.13	0.98	0.38	0.15	0.386					
0.668	88.8	62.5	9.8	79.1	52.7	1.50	71.28	61.50	26.34	1.14	0.98	0.42	0.16	0.371					
0.772	90.4	62.5	10.7	79.7	51.8	1.54	71.79	61.08	27.87	1.15	0.98	0.45	0.17	0.384					
0.967	92.2	62.5	11.8	80.4	50.7	1.59	72.40	60.58	29.71	1.16	0.97	0.48	0.19	0.398					
1.076	95.0	62.5	12.4	82.6	50.1	1.65	73.32	60.95	32.45	1.17	0.98	0.52	0.20	0.381					
1.278	98.6	62.5	12.9	85.7	49.6	1.73	74.53	61.68	36.10	1.19	0.99	0.58	0.21	0.356					
1.347	100.5	62.5	13.1	87.4	49.4	1.77	75.17	62.11	38.00	1.20	0.99	0.61	0.21	0.344					
1.560	102.3	62.5	13.5	88.8	49.0	1.81	75.75	62.27	39.76	1.21	1.00	0.64	0.22	0.339					
1.764	102.6	62.5	13.6	88.9	48.9	1.82	75.86	62.23	40.07	1.21	1.00	0.64	0.22	0.340					
2.053	102.6	62.5	13.8	88.8	48.7	1.82	75.86	62.06	40.08	1.21	0.99	0.64	0.22	0.344					
2.243	104.2	62.5	14.0	90.2	48.5	1.86	76.40	62.40	41.71	1.22	1.00	0.67	0.22	0.336					
2.334	104.3	62.5	13.9	90.4	48.6	1.86	76.44	62.53	41.81	1.22	1.00	0.67	0.22	0.333					
2.493	106.4	62.5	13.9	92.5	48.6	1.90	77.13	63.27	43.90	1.23	1.01	0.70	0.22	0.316					
2.652	108.0	62.5	14.1	93.9	48.4	1.94	77.67	63.59	45.50	1.24	1.02	0.73	0.23	0.309					
2.900	111.6	62.5	14.1	97.5	48.4	2.01	78.86	64.75	49.07	1.26	1.04	0.79	0.23	0.288					
3.211	113.3	62.5	14.3	99.1	48.2	2.05	79.44	65.19	50.81	1.27	1.04	0.81	0.23	0.280					
3.513	114.5	62.5	14.3	100.2	48.2	2.08	79.82	65.52	51.96	1.28	1.05	0.83	0.23	0.275					
3.769	113.9	62.5	14.3	99.6	48.2	2.07	79.65	65.30	51.44	1.27	1.04	0.82	0.23	0.279					
4.062	114.1	62.5	14.5	99.6	48.0	2.08	79.71	65.22	51.63	1.28	1.04	0.83	0.23	0.281					
4.323	117.1	62.5	14.8	102.3	47.7	2.14	80.69	65.92	54.56	1.29	1.05	0.87	0.24	0.271					
4.675	116.2	62.5	14.9	101.3	47.6	2.13	80.39	65.53	53.68	1.29	1.05	0.86	0.24	0.277					
5.039	117.9	62.5	15.2	102.7	47.3	2.17	80.98	65.77	55.44	1.30	1.05	0.89	0.24	0.274					
5.341	118.1	62.5	15.5	102.7	47.0	2.18	81.05	65.58	55.65	1.30	1.05	0.89	0.25	0.278					
5.699	119.2	62.5	15.7	103.5	46.8	2.21	81.40	65.69	56.69	1.30	1.05	0.91	0.25	0.277					
5.999	118.7	62.5	15.9	102.8	46.6	2.21	81.25	65.35	56.24	1.30	1.05	0.90	0.25	0.283					
6.258	119.2	62.5	16.1	103.1	46.4	2.22	81.41	65.28	56.74	1.30	1.04	0.91	0.26	0.284					
6.506	119.3	62.5	15.8	103.5	46.7	2.21	81.42	65.65	56.75	1.30	1.05	0.91	0.25	0.278					
6.773	119.5	62.5	15.8	103.7	46.7	2.22	81.49	65.74	56.98	1.30	1.05	0.91	0.25	0.277					
6.976	120.1	62.5	15.8	104.3	46.7	2.23	81.70	65.86	57.60	1.31	1.05	0.92	0.25	0.275					
7.184	119.9	62.5	16.1	103.8	46.4	2.24	81.62	65.51	57.37	1.31	1.05	0.92	0.26	0.281					
7.439	119.9	62.5	16.2	103.7	46.3	2.24	81.65	65.42	57.45	1.31	1.05	0.92	0.26	0.282					
7.709	118.6	62.5	16.4	102.2	46.1	2.22	81.19	64.79	56.07	1.30	1.04	0.90	0.26	0.292					
7.966	118.6	62.5	16.7	101.9	45.8	2.22	81.20	64.54	56.10	1.30	1.03	0.90	0.27	0.297					
8.218	119.8	62.5	16.9	102.9	45.6	2.26	81.62	64.70	57.35	1.31	1.04	0.92	0.27	0.295					
8.474	116.8	62.5	17.1	99.7	45.4	2.20	80.60	63.46	54.30	1.29	1.02	0.87	0.27	0.316					


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
8.715	117.8	62.5	17.2	100.6	45.3	2.22	80.93	63.73	55.29	1.29	1.02	0.88	0.28	0.311
8.972	115.0	62.5	17.4	97.6	45.1	2.16	79.99	62.62	52.48	1.28	1.00	0.84	0.28	0.331
9.237	114.8	62.5	17.7	97.0	44.8	2.17	79.93	62.18	52.29	1.28	0.99	0.84	0.28	0.339
9.489	114.0	62.5	17.9	96.2	44.6	2.15	79.67	61.81	51.51	1.27	0.99	0.82	0.29	0.347
9.744	114.3	62.5	18.1	96.2	44.4	2.17	79.76	61.65	51.78	1.28	0.99	0.83	0.29	0.350
9.975	113.7	62.5	18.3	95.4	44.2	2.16	79.56	61.26	51.17	1.27	0.98	0.82	0.29	0.358
10.191	113.6	62.5	18.5	95.0	44.0	2.16	79.52	60.99	51.06	1.27	0.98	0.82	0.30	0.363
10.384	115.6	62.5	18.7	96.8	43.8	2.21	80.19	61.47	53.06	1.28	0.98	0.85	0.30	0.353
10.543	115.1	62.5	18.8	96.3	43.7	2.20	80.03	61.20	52.59	1.28	0.98	0.84	0.30	0.358
10.802	116.4	62.5	18.8	97.6	43.7	2.23	80.46	61.69	53.87	1.29	0.99	0.86	0.30	0.348
11.015	113.9	62.5	18.7	95.2	43.8	2.17	79.64	60.90	51.41	1.27	0.97	0.82	0.30	0.364
11.274	114.2	62.5	18.8	95.4	43.7	2.18	79.72	60.94	51.66	1.28	0.98	0.83	0.30	0.364
11.524	116.0	62.5	19.1	96.9	43.4	2.23	80.34	61.23	53.51	1.29	0.98	0.86	0.31	0.357
11.787	114.5	62.5	19.3	95.2	43.2	2.20	79.82	60.57	51.97	1.28	0.97	0.83	0.31	0.370
12.010	115.6	62.5	19.5	96.1	43.0	2.23	80.19	60.70	53.07	1.28	0.97	0.85	0.31	0.367
12.262	115.2	62.5	19.6	95.5	42.9	2.23	80.06	60.41	52.67	1.28	0.97	0.84	0.31	0.373
12.509	114.0	62.5	19.8	94.2	42.7	2.20	79.66	59.90	51.48	1.27	0.96	0.82	0.32	0.384
12.764	114.9	62.5	20.0	94.9	42.5	2.23	79.95	60.00	52.36	1.28	0.96	0.84	0.32	0.381
13.004	116.1	62.5	20.2	95.9	42.3	2.27	80.36	60.15	53.57	1.29	0.96	0.86	0.32	0.377
13.247	114.0	62.5	20.2	93.7	42.3	2.22	79.65	59.43	51.46	1.27	0.95	0.82	0.32	0.393
13.556	113.8	62.5	20.5	93.3	42.0	2.22	79.59	59.13	51.26	1.27	0.95	0.82	0.33	0.399
13.863	114.0	62.5	20.7	93.3	41.8	2.23	79.67	58.98	51.52	1.27	0.94	0.82	0.33	0.402
14.171	112.7	62.5	20.9	91.8	41.6	2.21	79.24	58.31	50.22	1.27	0.93	0.80	0.33	0.417
14.458	112.7	62.5	21.1	91.6	41.4	2.21	79.25	58.13	50.24	1.27	0.93	0.80	0.34	0.420
14.744	112.4	62.5	21.5	90.9	41.0	2.22	79.13	57.66	49.88	1.27	0.92	0.80	0.34	0.430
15.048	112.6	62.5	21.3	91.3	41.2	2.21	79.19	57.91	50.07	1.27	0.93	0.80	0.34	0.425
15.284	111.2	62.5	21.4	89.9	41.1	2.19	78.75	57.36	48.74	1.26	0.92	0.78	0.34	0.439
15.518	112.2	62.5	21.4	90.8	41.1	2.21	79.07	57.67	49.71	1.27	0.92	0.80	0.34	0.430
15.831	111.0	62.5	21.6	89.3	40.9	2.19	78.66	57.04	48.47	1.26	0.91	0.78	0.35	0.446
16.140	110.9	62.5	21.8	89.1	40.7	2.19	78.64	56.81	48.43	1.26	0.91	0.77	0.35	0.451
16.442	111.4	62.5	22.0	89.4	40.5	2.21	78.81	56.78	48.92	1.26	0.91	0.78	0.35	0.450
16.728	110.3	62.5	22.2	88.1	40.3	2.19	78.44	56.22	47.81	1.25	0.90	0.76	0.36	0.465
17.039	110.5	62.5	22.5	88.0	40.0	2.20	78.49	56.03	47.98	1.26	0.90	0.77	0.36	0.468
17.325	111.4	62.5	22.6	88.8	39.9	2.23	78.80	56.16	48.91	1.26	0.90	0.78	0.36	0.463
17.623	110.8	62.5	22.9	87.8	39.6	2.22	78.59	55.65	48.27	1.26	0.89	0.77	0.37	0.475
17.916	109.1	62.5	23.0	86.0	39.5	2.18	78.02	54.97	46.56	1.25	0.88	0.74	0.37	0.495
18.213	108.5	62.5	23.2	85.3	39.3	2.17	77.84	54.62	46.02	1.25	0.87	0.74	0.37	0.504
18.518	108.1	62.5	23.4	84.7	39.1	2.17	77.70	54.29	45.59	1.24	0.87	0.73	0.37	0.513
18.785	108.1	62.5	23.7	84.4	38.8	2.18	77.71	53.99	45.62	1.24	0.86	0.73	0.38	0.520
19.074	108.2	62.5	23.9	84.3	38.6	2.18	77.73	53.82	45.70	1.24	0.86	0.73	0.38	0.523
19.351	107.7	62.5	24.1	83.6	38.4	2.18	77.57	53.46	45.22	1.24	0.86	0.72	0.39	0.533
19.623	108.2	62.5	24.3	83.9	38.2	2.20	77.74	53.40	45.71	1.24	0.85	0.73	0.39	0.532
19.941	109.7	62.5	24.5	85.2	38.0	2.24	78.22	53.76	47.16	1.25	0.86	0.75	0.39	0.519
20.205	110.3	62.5	24.6	85.7	37.9	2.26	78.44	53.79	47.81	1.25	0.86	0.76	0.39	0.516

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2	
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจันทบุรี จ.จันทบุรี			Sample No 10 0			$\Delta v_c = 46.3 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 22.51 \%$					
Loc. No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially			63 kN/m^2		$L_c = 98.03 \text{ mm}$		$(1/3)\epsilon_v = 7.50 \%$			
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure			262.5 kN/m^2		$A_c = 1648.29 \text{ mm}^2$		$(2/3)\epsilon_v = 15.01 \%$			
Rate of	0.075 % per min		Consolidated Length			Back Pressure			200 kN/m^2		$V_c = 159.27 \text{ mm}^3$		shear temp		$45 \text{ }^\circ\text{C}$	
Strain	4.5 % per hour		98.03 mm			Consolidated Volume			159.267 cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT : 201.3815 kPa)					
Membranes	1 x 0.2 mm		Consolidated Area			Consolidated Volume			1648.29 mm^2							
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A		
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-		
0.005	66.1	62.5	0.1	66.0	62.4	1.06	63.70	63.59	3.60	1.02	1.02	0.06	0.00	0.030		
0.005	67.7	62.5	0.0	67.6	62.5	1.08	64.22	64.20	5.15	1.03	1.03	0.08	0.00	0.003		
0.007	70.8	62.5	0.0	70.8	62.5	1.13	65.25	65.25	8.26	1.04	1.04	0.13	0.00	0.000		
0.000	71.0	62.5	0.0	71.0	62.5	1.14	65.32	65.35	8.47	1.05	1.05	0.14	0.00	-0.004		
0.011	72.4	62.5	0.1	72.3	62.4	1.16	65.81	65.70	9.93	1.05	1.05	0.16	0.00	0.011		
0.007	74.1	62.5	0.1	74.0	62.4	1.19	66.37	66.28	11.61	1.06	1.06	0.19	0.00	0.008		
0.007	77.0	62.5	0.1	77.0	62.4	1.23	67.34	67.28	14.52	1.08	1.08	0.23	0.00	0.004		
0.005	79.4	62.5	0.0	79.4	62.5	1.27	68.12	68.13	16.85	1.09	1.09	0.27	0.00	-0.001		
0.023	81.6	62.5	0.1	81.5	62.4	1.31	68.86	68.77	19.08	1.10	1.10	0.31	0.00	0.005		
0.016	86.6	62.5	0.2	86.5	62.3	1.39	70.54	70.37	24.13	1.13	1.13	0.39	0.00	0.007		
0.021	86.7	62.5	0.2	86.5	62.3	1.39	70.56	70.39	24.19	1.13	1.13	0.39	0.00	0.007		
0.043	88.4	62.5	0.4	88.0	62.1	1.42	71.13	70.76	25.90	1.14	1.13	0.41	0.01	0.015		
0.050	89.8	62.5	0.5	89.3	62.0	1.44	71.61	71.11	27.33	1.15	1.14	0.44	0.01	0.018		
0.059	92.1	62.5	0.6	91.6	61.9	1.48	72.37	71.81	29.62	1.16	1.15	0.47	0.01	0.019		
0.084	89.7	62.5	0.7	89.0	61.8	1.44	71.57	70.84	27.22	1.15	1.13	0.44	0.01	0.027		
0.089	90.4	62.5	0.8	89.6	61.7	1.45	71.80	70.99	27.91	1.15	1.14	0.45	0.01	0.029		
0.105	92.0	62.5	1.0	91.0	61.5	1.48	72.32	71.32	29.46	1.16	1.14	0.47	0.02	0.034		
0.203	94.9	62.5	2.0	92.9	60.5	1.54	73.30	71.29	32.39	1.17	1.14	0.52	0.03	0.062		
0.310	97.1	62.5	2.9	94.2	59.6	1.58	74.02	71.11	34.57	1.18	1.14	0.55	0.05	0.084		
0.442	98.5	62.5	3.9	94.5	58.6	1.61	74.48	70.55	35.95	1.19	1.13	0.58	0.06	0.109		
0.549	101.2	62.5	4.9	96.3	57.6	1.67	75.38	70.51	38.65	1.21	1.13	0.62	0.08	0.126		
0.709	101.5	62.5	6.0	95.5	56.5	1.69	75.49	69.53	38.96	1.21	1.11	0.62	0.10	0.153		
0.889	102.8	62.5	7.1	95.6	55.4	1.73	75.93	68.78	40.30	1.21	1.10	0.64	0.11	0.177		
1.092	105.0	62.5	8.3	96.7	54.2	1.79	76.68	68.36	42.55	1.23	1.09	0.68	0.13	0.196		
1.313	107.5	62.5	9.4	98.1	53.1	1.85	77.51	68.07	45.02	1.24	1.09	0.72	0.15	0.210		
1.500	109.0	62.5	10.4	98.6	52.1	1.89	78.00	67.64	46.50	1.25	1.08	0.74	0.17	0.223		
1.723	110.5	62.5	11.2	99.3	51.3	1.94	78.49	67.30	47.98	1.26	1.08	0.77	0.18	0.233		
1.921	112.8	62.5	11.9	100.9	50.6	1.99	79.26	67.39	50.28	1.27	1.08	0.80	0.19	0.236		
2.158	113.2	62.5	12.5	100.6	50.0	2.01	79.39	66.88	50.66	1.27	1.07	0.81	0.20	0.247		
2.421	115.5	62.5	13.2	102.2	49.3	2.08	80.16	66.92	52.97	1.28	1.07	0.85	0.21	0.250		
2.678	118.0	62.5	13.7	104.3	48.8	2.14	80.99	67.30	55.47	1.30	1.08	0.89	0.22	0.247		
2.952	119.4	62.5	14.2	105.2	48.3	2.18	81.47	67.30	56.91	1.30	1.08	0.91	0.23	0.249		
3.207	118.9	62.5	14.5	104.4	48.0	2.17	81.29	66.79	56.37	1.30	1.07	0.90	0.23	0.257		
3.483	119.2	62.5	14.8	104.4	47.7	2.19	81.40	66.57	56.69	1.30	1.07	0.91	0.24	0.262		
3.763	119.9	62.5	15.1	104.8	47.4	2.21	81.65	66.53	57.44	1.31	1.06	0.92	0.24	0.263		
4.018	120.7	62.5	15.1	105.7	47.4	2.23	81.91	66.83	58.24	1.31	1.07	0.93	0.24	0.259		
4.269	123.1	62.5	15.3	107.8	47.2	2.28	82.69	67.40	60.56	1.32	1.08	0.97	0.24	0.252		
4.497	120.4	62.5	15.4	104.9	47.1	2.23	81.78	66.37	57.85	1.31	1.06	0.93	0.25	0.266		
4.734	120.9	62.5	15.5	105.4	47.0	2.24	81.96	66.46	58.39	1.31	1.06	0.93	0.25	0.266		
4.987	120.7	62.5	15.7	105.0	46.8	2.24	81.90	66.21	58.20	1.31	1.06	0.93	0.25	0.270		
5.242	120.9	62.5	15.7	105.2	46.8	2.25	81.97	66.26	58.40	1.31	1.06	0.93	0.25	0.269		
5.495	122.1	62.5	15.8	106.3	46.7	2.28	82.36	66.55	59.57	1.32	1.06	0.95	0.25	0.265		
5.746	121.7	62.5	15.9	105.8	46.6	2.27	82.23	66.38	59.19	1.32	1.06	0.95	0.25	0.268		
6.026	122.2	62.5	15.9	106.3	46.6	2.28	82.39	66.51	59.67	1.32	1.06	0.95	0.25	0.266		
6.320	122.2	62.5	15.9	106.3	46.6	2.28	82.39	66.49	59.67	1.32	1.06	0.95	0.25	0.266		
6.583	121.5	62.5	15.8	105.7	46.7	2.26	82.18	66.36	59.04	1.31	1.06	0.94	0.25	0.268		


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.810	123.9	62.5	16.0	107.9	46.5	2.32	82.96	66.96	61.39	1.33	1.07	0.98	0.26	0.261
7.063	123.6	62.5	16.2	107.4	46.3	2.32	82.86	66.65	61.08	1.33	1.07	0.98	0.26	0.265
7.323	124.4	62.5	16.4	108.0	46.1	2.34	83.12	66.74	61.86	1.33	1.07	0.99	0.26	0.265
7.579	125.3	62.5	16.5	108.8	46.0	2.36	83.42	66.96	62.75	1.33	1.07	1.00	0.26	0.262
7.834	126.3	62.5	16.6	109.8	45.9	2.39	83.78	67.22	63.83	1.34	1.08	1.02	0.26	0.259
8.069	125.6	62.5	16.7	109.0	45.8	2.38	83.55	66.88	63.15	1.34	1.07	1.01	0.27	0.264
8.354	128.1	62.5	16.8	111.3	45.7	2.44	84.38	67.58	65.65	1.35	1.08	1.05	0.27	0.256
8.602	126.8	62.5	16.9	109.9	45.6	2.41	83.93	67.06	64.28	1.34	1.07	1.03	0.27	0.262
8.850	126.6	62.5	16.9	109.7	45.6	2.40	83.86	66.97	64.07	1.34	1.07	1.03	0.27	0.264
9.108	126.7	62.5	16.9	109.8	45.6	2.41	83.91	66.98	64.22	1.34	1.07	1.03	0.27	0.264
9.397	127.5	62.5	17.0	110.5	45.5	2.43	84.17	67.13	65.01	1.35	1.07	1.04	0.27	0.262
9.646	127.8	62.5	17.1	110.7	45.4	2.44	84.26	67.19	65.28	1.35	1.07	1.04	0.27	0.262
9.903	126.9	62.5	17.1	109.8	45.4	2.42	83.96	66.86	64.39	1.34	1.07	1.03	0.27	0.266
10.138	127.1	62.5	17.1	110.0	45.4	2.42	84.02	66.92	64.56	1.34	1.07	1.03	0.27	0.265
10.382	126.9	62.5	17.2	109.8	45.3	2.42	83.97	66.81	64.42	1.34	1.07	1.03	0.27	0.266
10.642	126.8	62.5	17.3	109.5	45.2	2.42	83.92	66.66	64.27	1.34	1.07	1.03	0.28	0.269
10.904	127.3	62.5	17.4	109.9	45.1	2.44	84.09	66.69	64.77	1.35	1.07	1.04	0.28	0.269
11.111	127.2	62.5	17.2	109.9	45.3	2.43	84.06	66.83	64.67	1.34	1.07	1.03	0.28	0.266
11.403	129.1	62.5	17.2	111.9	45.3	2.47	84.70	67.50	66.59	1.36	1.08	1.07	0.28	0.258
11.665	126.6	62.5	17.1	109.5	45.4	2.41	83.88	66.78	64.14	1.34	1.07	1.03	0.27	0.267
11.957	126.8	62.5	17.2	109.7	45.3	2.42	83.94	66.79	64.31	1.34	1.07	1.03	0.27	0.267
12.190	126.6	62.5	17.2	109.4	45.3	2.41	83.86	66.66	64.08	1.34	1.07	1.03	0.28	0.268
12.445	128.7	62.5	17.2	111.4	45.3	2.46	84.56	67.33	66.18	1.35	1.08	1.06	0.28	0.260
12.691	130.2	62.5	17.3	112.9	45.2	2.50	85.06	67.75	67.67	1.36	1.08	1.08	0.28	0.256
12.958	129.5	62.5	17.3	112.2	45.2	2.48	84.84	67.50	67.03	1.36	1.08	1.07	0.28	0.259
13.197	129.4	62.5	17.5	112.0	45.0	2.49	84.82	67.32	66.95	1.36	1.08	1.07	0.28	0.261
13.434	130.4	62.5	17.6	112.8	44.9	2.51	85.13	67.54	67.90	1.36	1.08	1.09	0.28	0.259
13.660	129.0	62.5	17.6	111.4	44.9	2.48	84.66	67.09	66.49	1.35	1.07	1.06	0.28	0.264
13.901	129.0	62.5	17.6	111.4	44.9	2.48	84.66	67.08	66.48	1.35	1.07	1.06	0.28	0.264
14.138	128.8	62.5	17.7	111.1	44.8	2.48	84.60	66.93	66.29	1.35	1.07	1.06	0.28	0.267
14.441	127.8	62.5	17.7	110.1	44.8	2.46	84.28	66.55	65.34	1.35	1.06	1.05	0.28	0.271
14.770	129.8	62.5	17.9	111.9	44.6	2.51	84.92	67.03	67.25	1.36	1.07	1.08	0.29	0.266
15.073	126.1	62.5	17.9	108.1	44.6	2.43	83.68	65.75	63.55	1.34	1.05	1.02	0.29	0.282
15.383	126.2	62.5	18.1	108.1	44.4	2.43	83.74	65.66	63.71	1.34	1.05	1.02	0.29	0.284
15.709	125.3	62.5	18.1	107.2	44.4	2.42	83.45	65.31	62.85	1.34	1.04	1.01	0.29	0.289
16.016	125.0	62.5	18.2	106.7	44.3	2.41	83.32	65.08	62.45	1.33	1.04	1.00	0.29	0.292
16.320	125.3	62.5	18.4	106.9	44.1	2.42	83.43	65.01	62.79	1.33	1.04	1.00	0.29	0.293
16.632	127.3	62.5	18.5	108.8	44.0	2.47	84.09	65.61	64.77	1.35	1.05	1.04	0.30	0.285
16.965	124.9	62.5	18.5	106.4	44.0	2.42	83.30	64.77	62.41	1.33	1.04	1.00	0.30	0.297
17.311	124.7	62.5	18.7	106.0	43.8	2.42	83.22	64.52	62.17	1.33	1.03	0.99	0.30	0.301
17.662	125.4	62.5	18.8	106.5	43.7	2.44	83.46	64.63	62.88	1.34	1.03	1.01	0.30	0.299
18.015	125.8	62.5	18.8	107.0	43.7	2.45	83.61	64.80	63.34	1.34	1.04	1.01	0.30	0.297
18.376	123.7	62.5	18.9	104.7	43.6	2.40	82.89	63.95	61.17	1.33	1.02	0.98	0.30	0.310
18.672	123.0	62.5	19.0	104.0	43.5	2.39	82.67	63.63	60.52	1.32	1.02	0.97	0.30	0.315
19.041	123.9	62.5	19.3	104.7	43.2	2.42	82.97	63.72	61.42	1.33	1.02	0.98	0.31	0.313
19.387	124.6	62.5	19.4	105.1	43.1	2.44	83.19	63.77	62.07	1.33	1.02	0.99	0.31	0.313
19.615	124.0	62.5	19.5	104.5	43.0	2.43	83.00	63.53	61.49	1.33	1.02	0.98	0.31	0.317
19.663	122.1	62.5	19.5	102.6	43.0	2.39	82.38	62.88	59.63	1.32	1.01	0.95	0.31	0.327

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจันทบุรี จ.จันทบุรี		Sample No 11 0		$\Delta v_c = 45.5 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 22.04 \%$							
Loc. No.	1	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure initially 63 kN/m^2		Lc = 98.15 mm		(1/3) $\epsilon_v = 7.35 \%$							
Test type	CU	Operation A.F.W.		Cell Pressure 262.5 kN/m^2		Ac = 1663.83 mm^2		(2/3) $\epsilon_v = 14.69 \%$							
Rate of	1 % per min	Consolidated Length 98.15 mm		Back Pressure 200 kN/m^2		Vc = 161.07 mm^3		shear temp 45 $^\circ\text{C}$							
Strain	60.0 % per hour	Membranes 1 x 0.2 mm		Consolidated Area 1663.83 mm^2		Consolidated Volume 161.075 cm^3		Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 200.2997 kPa							
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.005	63.5	62.5	0.1	63.4	62.4	1.02	62.84	62.77	1.01	1.01	1.00	0.02	0.00	0.062	
0.000	68.4	62.5	0.1	68.3	62.4	1.09	64.46	64.33	5.88	1.03	1.03	0.09	0.00	0.021	
0.014	75.9	62.5	0.2	75.7	62.3	1.21	66.95	66.77	13.36	1.07	1.07	0.21	0.00	0.014	
0.020	79.0	62.5	0.0	79.0	62.5	1.26	68.02	67.97	16.55	1.09	1.09	0.26	0.00	0.003	
0.034	85.9	62.5	0.0	86.0	62.5	1.37	70.31	70.33	23.44	1.12	1.13	0.37	0.00	-0.001	
0.055	88.8	62.5	0.1	88.7	62.4	1.42	71.26	71.18	26.27	1.14	1.14	0.42	0.00	0.003	
0.084	93.4	62.5	0.0	93.4	62.5	1.49	72.80	72.83	30.90	1.16	1.17	0.49	0.00	-0.001	
0.116	96.4	62.5	0.1	96.3	62.4	1.54	73.80	73.71	33.91	1.18	1.18	0.54	0.00	0.003	
0.173	98.4	62.5	0.1	98.3	62.4	1.58	74.47	74.34	35.90	1.19	1.19	0.57	0.00	0.003	
0.230	104.2	62.5	0.4	103.8	62.1	1.67	76.41	75.99	41.73	1.22	1.22	0.67	0.01	0.010	
0.289	105.6	62.5	0.7	104.9	61.8	1.70	76.87	76.16	43.11	1.23	1.22	0.69	0.01	0.016	
0.385	108.8	62.5	1.1	107.7	61.4	1.75	77.92	76.83	46.27	1.25	1.23	0.74	0.02	0.024	
0.476	112.9	62.5	1.5	111.4	61.0	1.83	79.31	77.79	50.44	1.27	1.24	0.81	0.02	0.030	
0.578	117.1	62.5	2.0	115.1	60.5	1.90	80.70	78.68	54.59	1.29	1.26	0.87	0.03	0.037	
0.681	119.4	62.5	2.5	117.0	60.0	1.95	81.48	79.00	56.93	1.30	1.26	0.91	0.04	0.044	
0.788	119.5	62.5	2.9	116.6	59.6	1.96	81.51	78.58	57.04	1.30	1.26	0.91	0.05	0.051	
0.890	119.9	62.5	3.4	116.5	59.1	1.97	81.62	78.26	57.36	1.31	1.25	0.92	0.05	0.058	
0.990	123.8	62.5	3.7	120.0	58.8	2.04	82.93	79.18	61.28	1.33	1.27	0.98	0.06	0.061	
1.086	127.9	62.5	4.2	123.8	58.3	2.12	84.30	80.15	65.41	1.35	1.28	1.05	0.07	0.064	
1.184	124.2	62.5	4.5	119.7	58.0	2.06	83.07	78.60	61.72	1.33	1.26	0.99	0.07	0.072	
1.298	126.1	62.5	4.8	121.3	57.7	2.10	83.70	78.86	63.61	1.34	1.26	1.02	0.08	0.076	
1.389	129.8	62.5	5.2	124.6	57.3	2.17	84.94	79.75	67.33	1.36	1.28	1.08	0.08	0.077	
1.553	132.5	62.5	5.7	126.8	56.8	2.23	85.82	80.12	69.97	1.37	1.28	1.12	0.09	0.082	
1.698	130.9	62.5	6.1	124.9	56.4	2.21	85.31	79.24	68.43	1.36	1.27	1.09	0.10	0.089	
1.853	132.0	62.5	6.5	125.5	56.0	2.24	85.66	79.17	69.48	1.37	1.27	1.11	0.10	0.093	
2.003	137.0	62.5	6.8	130.2	55.7	2.34	87.33	80.50	74.50	1.40	1.29	1.19	0.11	0.092	
2.163	134.7	62.5	7.2	127.4	55.3	2.31	86.55	79.31	72.15	1.38	1.27	1.15	0.12	0.100	
2.315	136.1	62.5	7.5	128.6	55.0	2.34	87.03	79.55	73.58	1.39	1.27	1.18	0.12	0.102	
2.468	140.7	62.5	7.8	132.8	54.7	2.43	88.56	80.73	78.17	1.42	1.29	1.25	0.13	0.100	
2.623	137.0	62.5	8.0	129.0	54.5	2.37	87.32	79.34	74.45	1.40	1.27	1.19	0.13	0.107	
2.770	142.3	62.5	8.2	134.1	54.3	2.47	89.11	80.88	79.82	1.43	1.29	1.28	0.13	0.103	
2.916	140.4	62.5	8.4	132.0	54.1	2.44	88.46	80.09	77.89	1.42	1.28	1.25	0.13	0.107	
3.076	141.6	62.5	8.6	133.0	53.9	2.47	88.86	80.29	79.09	1.42	1.28	1.27	0.14	0.108	
3.230	141.4	62.5	8.8	132.7	53.7	2.47	88.81	80.05	78.93	1.42	1.28	1.26	0.14	0.111	
3.383	140.7	62.5	8.9	131.8	53.6	2.46	88.56	79.67	78.17	1.42	1.27	1.25	0.14	0.114	
3.526	142.3	62.5	9.0	133.2	53.5	2.49	89.09	80.06	79.78	1.43	1.28	1.28	0.14	0.113	
3.686	142.1	62.5	9.2	132.9	53.3	2.49	89.04	79.83	79.61	1.42	1.28	1.27	0.15	0.116	
3.891	141.7	62.5	9.3	132.4	53.2	2.49	88.90	79.58	79.19	1.42	1.27	1.27	0.15	0.118	
4.089	140.5	62.5	9.4	131.1	53.1	2.47	88.50	79.11	78.00	1.42	1.27	1.25	0.15	0.120	
4.303	140.7	62.5	9.6	131.1	52.9	2.48	88.55	78.96	78.15	1.42	1.26	1.25	0.15	0.123	
4.503	141.6	62.5	9.7	131.9	52.8	2.50	88.87	79.16	79.10	1.42	1.27	1.27	0.16	0.123	
4.703	141.8	62.5	9.8	132.0	52.7	2.50	88.92	79.15	79.26	1.42	1.27	1.27	0.16	0.123	
4.906	142.5	62.5	10.0	132.5	52.5	2.52	89.17	79.18	80.00	1.43	1.27	1.28	0.16	0.125	
5.099	141.3	62.5	10.0	131.3	52.5	2.50	88.78	78.73	78.83	1.42	1.26	1.26	0.16	0.127	
5.302	140.7	62.5	10.2	130.5	52.3	2.50	88.57	78.37	78.22	1.42	1.25	1.25	0.16	0.130	
5.489	142.6	62.5	10.2	132.4	52.3	2.53	89.21	79.02	80.12	1.43	1.26	1.28	0.16	0.127	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
5.703	145.8	62.5	10.4	135.4	52.1	2.60	90.27	79.90	83.32	1.44	1.28	1.33	0.17	0.125
5.955	146.5	62.5	10.5	136.0	52.0	2.62	90.49	79.97	83.98	1.45	1.28	1.34	0.17	0.125
6.215	145.0	62.5	10.6	134.5	51.9	2.59	90.01	79.43	82.54	1.44	1.27	1.32	0.17	0.128
6.477	146.4	62.5	10.7	135.7	51.8	2.62	90.48	79.74	83.94	1.45	1.28	1.34	0.17	0.128
6.734	146.1	62.5	10.8	135.3	51.7	2.62	90.38	79.55	83.64	1.45	1.27	1.34	0.17	0.130
6.987	147.0	62.5	11.0	136.0	51.5	2.64	90.66	79.67	84.48	1.45	1.27	1.35	0.18	0.130
7.244	147.0	62.5	11.1	135.9	51.4	2.65	90.68	79.55	84.55	1.45	1.27	1.35	0.18	0.132
7.458	143.6	62.5	11.1	132.5	51.4	2.58	89.53	78.45	81.10	1.43	1.26	1.30	0.18	0.137
7.722	144.4	62.5	11.2	133.2	51.3	2.60	89.81	78.57	81.92	1.44	1.26	1.31	0.18	0.137
7.977	144.7	62.5	11.4	133.2	51.1	2.61	89.89	78.45	82.18	1.44	1.26	1.31	0.18	0.139
8.229	145.1	62.5	11.5	133.7	51.0	2.62	90.04	78.57	82.63	1.44	1.26	1.32	0.18	0.139
8.480	145.9	62.5	11.6	134.3	50.9	2.64	90.32	78.70	83.45	1.45	1.26	1.34	0.19	0.139
8.737	143.0	62.5	11.7	131.4	50.8	2.59	89.35	77.67	80.55	1.43	1.24	1.29	0.19	0.145
8.983	146.1	62.5	11.7	134.4	50.8	2.65	90.36	78.67	83.58	1.45	1.26	1.34	0.19	0.140
9.195	145.5	62.5	11.8	133.6	50.7	2.64	90.15	78.33	82.96	1.44	1.25	1.33	0.19	0.142
9.452	146.8	62.5	11.9	134.9	50.6	2.67	90.60	78.73	84.30	1.45	1.26	1.35	0.19	0.141
9.730	144.6	62.5	11.9	132.8	50.6	2.62	89.88	78.01	82.14	1.44	1.25	1.31	0.19	0.144
9.994	144.0	62.5	12.0	131.9	50.5	2.61	89.65	77.64	81.46	1.43	1.24	1.30	0.19	0.147
10.249	144.4	62.5	12.0	132.4	50.5	2.62	89.79	77.77	81.88	1.44	1.24	1.31	0.19	0.147
10.492	144.3	62.5	12.2	132.1	50.3	2.62	89.76	77.61	81.77	1.44	1.24	1.31	0.19	0.149
10.756	144.5	62.5	12.3	132.2	50.2	2.63	89.83	77.56	81.99	1.44	1.24	1.31	0.20	0.150
11.007	142.6	62.5	12.3	130.2	50.2	2.60	89.19	76.85	80.07	1.43	1.23	1.28	0.20	0.154
11.287	143.1	62.5	12.4	130.7	50.1	2.61	89.38	76.93	80.63	1.43	1.23	1.29	0.20	0.154
11.530	141.9	62.5	12.5	129.4	50.0	2.59	88.98	76.47	79.45	1.42	1.22	1.27	0.20	0.157
11.838	143.7	62.5	12.6	131.1	49.9	2.63	89.57	76.99	81.22	1.43	1.23	1.30	0.20	0.155
12.134	142.8	62.5	12.6	130.2	49.9	2.61	89.28	76.64	80.33	1.43	1.23	1.29	0.20	0.157
12.450	143.0	62.5	12.7	130.3	49.8	2.62	89.33	76.60	80.48	1.43	1.23	1.29	0.20	0.158
12.751	143.0	62.5	12.8	130.2	49.7	2.62	89.32	76.51	80.47	1.43	1.22	1.29	0.20	0.159
13.058	144.4	62.5	12.8	131.5	49.7	2.65	89.79	76.96	81.86	1.44	1.23	1.31	0.21	0.157
13.363	145.6	62.5	13.0	132.5	49.5	2.68	90.19	77.17	83.06	1.44	1.23	1.33	0.21	0.157
13.663	145.7	62.5	13.0	132.7	49.5	2.68	90.24	77.21	83.21	1.44	1.24	1.33	0.21	0.157
13.975	142.5	62.5	13.2	129.4	49.3	2.62	89.17	76.02	80.02	1.43	1.22	1.28	0.21	0.164
14.274	145.3	62.5	13.2	132.1	49.3	2.68	90.09	76.86	82.78	1.44	1.23	1.32	0.21	0.160
14.588	144.4	62.5	13.3	131.1	49.2	2.66	89.79	76.51	81.87	1.44	1.22	1.31	0.21	0.162
14.893	145.2	62.5	13.4	131.8	49.1	2.68	90.06	76.64	82.69	1.44	1.23	1.32	0.21	0.162
15.189	142.9	62.5	13.4	129.5	49.1	2.64	89.31	75.87	80.42	1.43	1.21	1.29	0.21	0.167
15.494	141.9	62.5	13.5	128.3	49.0	2.62	88.95	75.42	79.35	1.42	1.21	1.27	0.22	0.171
15.806	142.3	62.5	13.6	128.8	48.9	2.63	89.11	75.55	79.82	1.43	1.21	1.28	0.22	0.170
16.117	141.2	62.5	13.6	127.6	48.9	2.61	88.75	75.11	78.75	1.42	1.20	1.26	0.22	0.173
16.418	141.6	62.5	13.7	127.9	48.8	2.62	88.85	75.16	79.05	1.42	1.20	1.26	0.22	0.173
16.723	143.7	62.5	13.9	129.8	48.6	2.67	89.57	75.69	81.20	1.43	1.21	1.30	0.22	0.171
17.035	141.1	62.5	13.9	127.3	48.6	2.62	88.70	74.85	78.61	1.42	1.20	1.26	0.22	0.176
17.333	142.1	62.5	13.9	128.2	48.6	2.64	89.03	75.17	79.58	1.42	1.20	1.27	0.22	0.174
17.645	141.5	62.5	14.0	127.5	48.5	2.63	88.84	74.81	79.01	1.42	1.20	1.26	0.22	0.178
17.946	143.1	62.5	14.1	129.0	48.4	2.67	89.38	75.25	80.63	1.43	1.20	1.29	0.23	0.175
18.255	141.2	62.5	14.1	127.2	48.4	2.63	88.74	74.67	78.73	1.42	1.19	1.26	0.23	0.179
18.558	141.5	62.5	14.2	127.3	48.3	2.64	88.84	74.63	79.01	1.42	1.19	1.26	0.23	0.180
18.861	141.4	62.5	14.3	127.1	48.2	2.64	88.82	74.50	78.95	1.42	1.19	1.26	0.23	0.181
19.168	139.7	62.5	14.2	125.6	48.3	2.60	88.25	74.06	77.24	1.41	1.18	1.24	0.23	0.184
19.466	139.5	62.5	14.3	125.2	48.2	2.60	88.17	73.83	77.02	1.41	1.18	1.23	0.23	0.186
19.785	139.4	62.5	14.4	125.0	48.1	2.60	88.15	73.72	76.94	1.41	1.18	1.23	0.23	0.187
20.085	138.2	62.5	14.4	123.8	48.1	2.58	87.75	73.34	75.75	1.40	1.17	1.21	0.23	0.190

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>															
Loc. No.		Location			Sample No.			$\Delta v_c =$		$\epsilon_v =$					
1		อ.เมือง อ.ปรางค์กู่ อ.บันนังสตา จ.นราธิวาส			12 0			68.9 mm ³		32.72 %					
Test type		Proving Ring No.			Effective Cell Pressure			Lc =		(1/3) $\epsilon_v =$					
CU		11073 (Load cell) No. 11073			initially 63 kN/m ²			93.96 mm		10.91 %					
Rate of		Operation A.F.W.			Cell Pressure			Ac =		(2/3) $\epsilon_v =$					
6 % per min					262.5 kN/m ²			1561.87 mm ²		21.82 %					
Strain		Consolidated Length			Back Pressure			Vc =		shear temp					
360.0 % per hour		93.96 mm			200 kN/m ²			141.74 mm ³		45 °C					
Membranes 1 x 0.2 mm		Consolidated Area			Consolidated Volume			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)							
		1561.87 mm ²			141.744 cm ³			200.4878 kPa							
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.010	69.0	62.5	-0.1	69.1	62.6	1.10	64.68	64.78	6.55	1.03	1.04	0.10	0.00	-0.014	
0.005	70.9	62.5	0.0	70.8	62.5	1.13	65.28	65.27	8.35	1.04	1.04	0.13	0.00	0.002	
0.007	78.0	62.5	0.0	77.9	62.5	1.25	67.66	67.63	15.48	1.08	1.08	0.25	0.00	0.002	
0.002	82.8	62.5	0.0	82.8	62.5	1.33	69.27	69.27	20.31	1.11	1.11	0.33	0.00	0.000	
0.017	84.6	62.5	0.1	84.5	62.4	1.35	69.86	69.78	22.08	1.12	1.12	0.35	0.00	0.004	
0.029	87.9	62.5	0.0	87.9	62.5	1.41	70.97	70.93	25.42	1.14	1.13	0.41	0.00	0.002	
0.038	88.7	62.5	0.1	88.5	62.4	1.42	71.22	71.09	26.15	1.14	1.14	0.42	0.00	0.005	
0.048	95.1	62.5	0.1	95.0	62.4	1.52	73.37	73.29	32.61	1.17	1.17	0.52	0.00	0.002	
0.059	101.8	62.5	0.0	101.8	62.5	1.63	75.62	75.57	39.35	1.21	1.21	0.63	0.00	0.001	
0.090	103.9	62.5	0.2	103.7	62.3	1.66	76.29	76.10	41.36	1.22	1.22	0.66	0.00	0.005	
0.133	111.3	62.5	0.2	111.0	62.3	1.78	78.75	78.52	48.75	1.26	1.26	0.78	0.00	0.005	
0.166	114.0	62.5	0.3	113.7	62.2	1.83	79.68	79.38	51.53	1.27	1.27	0.82	0.00	0.006	
0.264	119.6	62.5	0.3	119.2	62.2	1.92	81.52	81.19	57.05	1.30	1.30	0.91	0.01	0.006	
0.376	121.8	62.5	0.6	121.3	61.9	1.96	82.27	81.71	59.32	1.32	1.31	0.95	0.01	0.010	
0.509	125.8	62.5	0.8	125.0	61.7	2.03	83.60	82.81	63.29	1.34	1.33	1.01	0.01	0.012	
0.652	128.2	62.5	1.1	127.2	61.4	2.07	84.41	83.33	65.74	1.35	1.33	1.05	0.02	0.016	
0.799	131.1	62.5	1.2	129.9	61.3	2.12	85.37	84.14	68.60	1.37	1.35	1.10	0.02	0.018	
0.961	129.7	62.5	1.4	128.3	61.1	2.10	84.89	83.49	67.16	1.36	1.34	1.07	0.02	0.021	
1.127	130.8	62.5	1.6	129.2	60.9	2.12	85.26	83.69	68.28	1.36	1.34	1.09	0.03	0.023	
1.291	135.7	62.5	1.9	133.9	60.6	2.21	86.91	85.05	73.24	1.39	1.36	1.17	0.03	0.025	
1.481	134.7	62.5	2.0	132.7	60.5	2.19	86.57	84.56	72.20	1.39	1.35	1.16	0.03	0.028	
1.574	135.9	62.5	2.1	133.8	60.4	2.21	86.96	84.91	73.38	1.39	1.36	1.17	0.03	0.028	
1.750	136.5	62.5	2.3	134.2	60.2	2.23	87.18	84.86	74.05	1.39	1.36	1.18	0.04	0.031	
1.907	138.7	62.5	2.3	136.4	60.2	2.27	87.91	85.57	76.22	1.41	1.37	1.22	0.04	0.031	
2.066	140.0	62.5	2.6	137.4	59.9	2.29	88.34	85.72	77.53	1.41	1.37	1.24	0.04	0.034	
2.238	143.4	62.5	2.8	140.6	59.7	2.36	89.48	86.64	80.94	1.43	1.39	1.29	0.05	0.035	
2.399	142.2	62.5	2.8	139.4	59.7	2.34	89.07	86.26	79.70	1.43	1.38	1.28	0.04	0.035	
2.556	143.1	62.5	3.0	140.0	59.5	2.36	89.36	86.32	80.58	1.43	1.38	1.29	0.05	0.038	
2.718	141.0	62.5	3.2	137.8	59.3	2.32	88.67	85.50	78.52	1.42	1.37	1.26	0.05	0.040	
2.873	146.3	62.5	3.3	143.0	59.2	2.42	90.43	87.16	83.80	1.45	1.39	1.34	0.05	0.039	
3.032	146.1	62.5	3.3	142.8	59.2	2.41	90.37	87.07	83.62	1.45	1.39	1.34	0.05	0.040	
3.196	145.9	62.5	3.5	142.5	59.0	2.41	90.31	86.85	83.43	1.44	1.39	1.33	0.06	0.042	
3.351	145.8	62.5	3.4	142.3	59.1	2.41	90.25	86.80	83.26	1.44	1.39	1.33	0.06	0.041	
3.505	147.9	62.5	3.5	144.3	59.0	2.45	90.96	87.41	85.37	1.46	1.40	1.37	0.06	0.042	
3.669	146.2	62.5	3.6	142.6	58.9	2.42	90.41	86.79	83.73	1.45	1.39	1.34	0.06	0.043	
3.819	145.8	62.5	3.7	142.1	58.8	2.42	90.28	86.55	83.35	1.44	1.38	1.33	0.06	0.045	
3.997	149.2	62.5	3.9	145.3	58.6	2.48	91.39	87.53	86.67	1.46	1.40	1.39	0.06	0.045	
4.207	147.7	62.5	4.0	143.7	58.5	2.46	90.89	86.93	85.18	1.45	1.39	1.36	0.06	0.047	
4.428	148.5	62.5	4.0	144.4	58.5	2.47	91.15	87.14	85.95	1.46	1.39	1.38	0.06	0.047	
4.654	147.8	62.5	4.1	143.7	58.4	2.46	90.92	86.82	85.27	1.45	1.39	1.36	0.07	0.048	
4.868	148.8	62.5	4.3	144.5	58.2	2.48	91.25	86.99	86.26	1.46	1.39	1.38	0.07	0.049	
5.124	149.7	62.5	4.4	145.3	58.1	2.50	91.56	87.15	87.18	1.46	1.39	1.39	0.07	0.051	
5.322	148.8	62.5	4.5	144.4	58.0	2.49	91.28	86.82	86.33	1.46	1.39	1.38	0.07	0.052	
5.543	150.0	62.5	4.7	145.3	57.8	2.51	91.66	86.98	87.49	1.47	1.39	1.40	0.08	0.054	
5.759	149.1	62.5	4.7	144.4	57.8	2.50	91.37	86.65	86.62	1.46	1.39	1.39	0.08	0.054	
5.959	147.9	62.5	4.9	143.0	57.6	2.48	90.96	86.08	85.37	1.46	1.38	1.37	0.08	0.057	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.187	149.4	62.5	4.9	144.5	57.6	2.51	91.47	86.58	86.92	1.46	1.39	1.39	0.08	0.056
6.444	150.1	62.5	5.1	145.0	57.4	2.53	91.71	86.58	87.62	1.47	1.39	1.40	0.08	0.059
6.711	150.0	62.5	5.3	144.7	57.2	2.53	91.66	86.36	87.49	1.47	1.38	1.40	0.08	0.061
6.967	150.5	62.5	5.4	145.0	57.1	2.54	91.83	86.39	87.98	1.47	1.38	1.41	0.09	0.062
7.236	153.4	62.5	5.6	147.8	56.9	2.60	92.78	87.22	90.85	1.48	1.40	1.45	0.09	0.061
7.507	151.2	62.5	5.7	145.5	56.8	2.56	92.07	86.33	88.71	1.47	1.38	1.42	0.09	0.065
7.769	152.7	62.5	5.9	146.8	56.6	2.59	92.56	86.66	90.18	1.48	1.39	1.44	0.09	0.065
8.037	151.5	62.5	6.0	145.5	56.5	2.58	92.18	86.18	89.04	1.47	1.38	1.42	0.10	0.067
8.306	151.6	62.5	6.2	145.4	56.3	2.58	92.20	86.02	89.10	1.48	1.38	1.43	0.10	0.069
8.572	152.8	62.5	6.3	146.6	56.2	2.61	92.61	86.34	90.34	1.48	1.38	1.45	0.10	0.069
8.846	154.1	62.5	6.6	147.5	55.9	2.64	93.02	86.45	91.57	1.49	1.38	1.47	0.11	0.072
9.108	154.5	62.5	6.6	147.9	55.9	2.65	93.17	86.57	92.01	1.49	1.39	1.47	0.11	0.072
9.381	157.1	62.5	6.7	150.4	55.8	2.70	94.03	87.29	94.59	1.50	1.40	1.51	0.11	0.071
9.640	151.7	62.5	6.9	144.8	55.6	2.60	92.22	85.33	89.17	1.48	1.37	1.43	0.11	0.077
9.859	155.1	62.5	6.9	148.2	55.6	2.67	93.36	86.45	92.59	1.49	1.38	1.48	0.11	0.075
10.128	154.0	62.5	7.0	146.9	55.5	2.65	92.99	85.95	91.46	1.49	1.38	1.46	0.11	0.077
10.403	154.9	62.5	7.2	147.7	55.3	2.67	93.32	86.10	92.45	1.49	1.38	1.48	0.12	0.078
10.677	153.8	62.5	7.2	146.6	55.3	2.65	92.94	85.70	91.31	1.49	1.37	1.46	0.12	0.079
10.950	153.3	62.5	7.4	145.9	55.1	2.65	92.75	85.37	90.76	1.48	1.37	1.45	0.12	0.081
11.217	152.3	62.5	7.5	144.8	55.0	2.63	92.44	84.94	89.83	1.48	1.36	1.44	0.12	0.084
11.476	154.1	62.5	7.6	146.5	54.9	2.67	93.03	85.40	91.60	1.49	1.37	1.47	0.12	0.083
11.752	152.0	62.5	7.8	144.2	54.7	2.64	92.34	84.51	89.51	1.48	1.35	1.43	0.13	0.087
12.020	151.5	62.5	7.9	143.5	54.6	2.63	92.16	84.21	88.97	1.47	1.35	1.42	0.13	0.089
12.294	152.1	62.5	8.0	144.0	54.5	2.64	92.35	84.31	89.56	1.48	1.35	1.43	0.13	0.090
12.558	151.1	62.5	8.1	143.0	54.4	2.63	92.05	83.93	88.64	1.47	1.34	1.42	0.13	0.092
12.855	151.5	62.5	8.2	143.3	54.3	2.64	92.17	84.00	89.00	1.47	1.34	1.42	0.13	0.092
13.174	150.3	62.5	8.4	141.9	54.1	2.62	91.78	83.39	87.83	1.47	1.33	1.41	0.13	0.096
13.492	151.4	62.5	8.5	142.9	54.0	2.65	92.13	83.64	88.90	1.47	1.34	1.42	0.14	0.096
13.828	150.0	62.5	8.6	141.4	53.9	2.62	91.67	83.07	87.52	1.47	1.33	1.40	0.14	0.098
14.146	149.0	62.5	8.7	140.3	53.8	2.61	91.35	82.60	86.55	1.46	1.32	1.38	0.14	0.101
14.465	151.9	62.5	9.0	143.0	53.5	2.67	92.32	83.36	89.45	1.48	1.33	1.43	0.14	0.100
14.786	148.0	62.5	8.9	139.1	53.6	2.60	91.01	82.07	85.52	1.46	1.31	1.37	0.14	0.104
15.105	146.1	62.5	9.0	137.1	53.5	2.56	90.38	81.35	83.63	1.45	1.30	1.34	0.14	0.108
15.416	146.6	62.5	9.2	137.4	53.3	2.58	90.55	81.34	84.14	1.45	1.30	1.35	0.15	0.109
15.742	144.9	62.5	9.2	135.7	53.3	2.55	89.98	80.73	82.44	1.44	1.29	1.32	0.15	0.112
16.065	142.9	62.5	9.3	133.5	53.2	2.51	89.30	79.95	80.39	1.43	1.28	1.29	0.15	0.116
16.377	142.1	62.5	9.3	132.8	53.2	2.50	89.04	79.70	79.63	1.42	1.28	1.27	0.15	0.117
16.700	140.6	62.5	9.5	131.1	53.0	2.47	88.55	79.03	78.14	1.42	1.26	1.25	0.15	0.122
17.014	143.3	62.5	9.6	133.7	52.9	2.53	89.43	79.82	80.79	1.43	1.28	1.29	0.15	0.119
17.345	144.1	62.5	9.7	134.4	52.8	2.55	89.70	79.97	81.61	1.44	1.28	1.31	0.16	0.119
17.668	138.5	62.5	9.8	128.7	52.7	2.44	87.84	78.01	76.03	1.41	1.25	1.22	0.16	0.129
17.991	140.4	62.5	9.9	130.5	52.6	2.48	88.48	78.58	77.93	1.42	1.26	1.25	0.16	0.127
18.308	139.9	62.5	9.9	129.9	52.6	2.47	88.28	78.34	77.35	1.41	1.25	1.24	0.16	0.128
18.624	141.7	62.5	10.1	131.7	52.4	2.51	88.91	78.85	79.23	1.42	1.26	1.27	0.16	0.127
18.955	138.3	62.5	10.1	128.2	52.4	2.45	87.78	77.65	75.83	1.40	1.24	1.21	0.16	0.134
19.223	138.3	62.5	10.2	128.2	52.3	2.45	87.78	77.60	75.84	1.40	1.24	1.21	0.16	0.134
19.525	138.6	62.5	10.2	128.4	52.3	2.46	87.88	77.68	76.15	1.41	1.24	1.22	0.16	0.134
19.858	137.4	62.5	10.4	126.9	52.1	2.44	87.45	77.01	74.86	1.40	1.23	1.20	0.17	0.139
20.184	137.6	62.5	10.5	127.1	52.0	2.44	87.55	77.06	75.14	1.40	1.23	1.20	0.17	0.140
20.503	137.1	62.5	10.5	126.5	52.0	2.43	87.35	76.82	74.56	1.40	1.23	1.19	0.17	0.141

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ป.ท.บึงจ.บ.นครศรีธรรมราช		Sample No 25 0		$\Delta v_c = 49.3 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 24.15 \%$							
Loc.No.	1	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure initially 63 kN/m^2		Lc = 97.19 mm		$(1/3)\epsilon_v = 8.05 \%$							
Test type	CU	without side		Operation A.F.W.		Cell Pressure 262.5 kN/m^2		Ac = 1618.96 mm^2				$(2/3)\epsilon_v = 16.10 \%$			
Rate of	0.02 % per min			Consolidated Length 97.19 mm		Back Pressure 200 kN/m^2		Vc = 154.71 mm^3				shear temp 60 $^\circ\text{C}$			
Strain	1.2 % per hour			Membranes 1 x 0.2 mm		Consolidated Area 1618.96 mm^2		Consolidated Volume 154.706 cm^3				Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 200.8014 kPa			
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.007	67.7	62.5	0.0	67.7	62.5	1.08	64.22	64.26	5.17	1.03	1.03	0.08	0.00	-0.006	
0.002	75.2	62.5	0.3	74.8	62.2	1.20	66.72	66.41	12.66	1.07	1.06	0.20	0.01	0.025	
0.018	78.3	62.5	0.4	77.9	62.1	1.25	67.77	67.39	15.81	1.08	1.08	0.25	0.01	0.024	
0.025	77.8	62.5	0.8	77.0	61.7	1.25	67.59	66.82	15.26	1.08	1.07	0.24	0.01	0.050	
0.034	82.3	62.5	0.9	81.4	61.6	1.32	69.10	68.19	19.80	1.11	1.09	0.32	0.01	0.046	
0.041	86.6	62.5	1.2	85.4	61.3	1.39	70.54	69.30	24.13	1.13	1.11	0.39	0.02	0.051	
0.046	87.4	62.5	1.4	86.0	61.1	1.41	70.81	69.43	24.92	1.13	1.11	0.40	0.02	0.055	
0.057	93.5	62.5	1.8	91.7	60.7	1.51	72.83	71.06	30.99	1.17	1.14	0.50	0.03	0.057	
0.080	92.9	62.5	2.3	90.6	60.2	1.51	72.63	70.33	30.40	1.16	1.13	0.49	0.04	0.076	
0.087	95.2	62.5	2.9	92.3	59.6	1.55	73.40	70.53	32.71	1.17	1.13	0.52	0.05	0.088	
0.191	100.6	62.5	2.9	97.7	59.6	1.64	75.20	72.28	38.09	1.20	1.16	0.61	0.05	0.077	
0.297	103.5	62.5	5.1	98.4	57.4	1.71	76.17	71.10	41.02	1.22	1.14	0.66	0.08	0.124	
0.428	108.0	62.5	6.8	101.2	55.7	1.82	77.66	70.83	45.49	1.24	1.13	0.73	0.11	0.150	
0.531	112.6	62.5	7.8	104.9	54.7	1.92	79.21	71.46	50.14	1.27	1.14	0.80	0.12	0.155	
0.699	114.8	62.5	8.6	106.2	53.9	1.97	79.94	71.29	52.33	1.28	1.14	0.84	0.14	0.165	
0.883	117.1	62.5	9.4	107.7	53.1	2.03	80.69	71.29	54.58	1.29	1.14	0.87	0.15	0.172	
1.087	118.6	62.5	10.0	108.6	52.5	2.07	81.21	71.17	56.14	1.30	1.14	0.90	0.16	0.179	
1.324	119.8	62.5	10.5	109.4	52.0	2.10	81.61	71.15	57.34	1.31	1.14	0.92	0.17	0.183	
1.510	119.5	62.5	10.9	108.6	51.6	2.10	81.49	70.59	56.98	1.30	1.13	0.91	0.17	0.191	
1.713	121.1	62.5	11.0	110.0	51.5	2.14	82.02	70.98	58.57	1.31	1.14	0.94	0.18	0.189	
1.920	121.8	62.5	11.3	110.5	51.2	2.16	82.28	70.93	59.33	1.32	1.13	0.95	0.18	0.191	
2.150	122.8	62.5	11.5	111.3	51.0	2.18	82.59	71.10	60.27	1.32	1.14	0.96	0.18	0.191	
2.416	123.8	62.5	11.6	112.2	50.9	2.20	82.93	71.35	61.30	1.33	1.14	0.98	0.19	0.189	
2.674	126.0	62.5	12.1	113.9	50.4	2.26	83.67	71.55	63.50	1.34	1.14	1.02	0.19	0.191	
2.927	126.9	62.5	12.5	114.4	50.0	2.29	83.95	71.49	64.36	1.34	1.14	1.03	0.20	0.194	
3.184	130.8	62.5	12.8	118.0	49.7	2.37	85.27	72.45	68.31	1.36	1.16	1.09	0.21	0.188	
3.442	130.0	62.5	13.1	116.9	49.4	2.37	85.01	71.91	67.54	1.36	1.15	1.08	0.21	0.194	
3.701	129.9	62.5	13.4	116.5	49.1	2.37	84.95	71.57	67.36	1.36	1.15	1.08	0.21	0.199	
3.952	130.7	62.5	13.7	116.9	48.8	2.40	85.22	71.51	68.16	1.36	1.14	1.09	0.22	0.201	
4.207	131.5	62.5	13.9	117.5	48.6	2.42	85.50	71.55	68.99	1.37	1.14	1.10	0.22	0.202	
4.432	130.3	62.5	14.2	116.1	48.3	2.40	85.09	70.89	67.77	1.36	1.13	1.08	0.23	0.210	
4.701	131.3	62.5	14.6	116.8	47.9	2.44	85.44	70.88	68.81	1.37	1.13	1.10	0.23	0.212	
4.927	131.6	62.5	14.6	117.1	47.9	2.44	85.55	70.97	69.14	1.37	1.14	1.11	0.23	0.211	
5.209	132.3	62.5	14.3	118.1	48.2	2.45	85.78	71.52	69.85	1.37	1.14	1.12	0.23	0.204	
5.469	131.5	62.5	14.6	116.9	47.9	2.44	85.50	70.94	68.99	1.37	1.14	1.10	0.23	0.211	
5.717	131.0	62.5	15.0	116.0	47.5	2.44	85.32	70.37	68.47	1.37	1.13	1.10	0.24	0.218	
5.984	132.3	62.5	16.8	115.4	45.7	2.53	85.76	68.92	69.77	1.37	1.10	1.12	0.27	0.241	
6.221	132.5	62.5	17.7	114.8	44.8	2.56	85.83	68.14	70.00	1.37	1.09	1.12	0.28	0.253	
6.483	133.2	62.5	17.9	115.2	44.6	2.58	86.05	68.14	70.66	1.38	1.09	1.13	0.29	0.254	
6.738	134.7	62.5	18.2	116.5	44.3	2.63	86.56	68.38	72.18	1.38	1.09	1.15	0.29	0.252	
7.003	135.1	62.5	18.3	116.8	44.2	2.64	86.69	68.38	72.56	1.39	1.09	1.16	0.29	0.252	
7.246	136.7	62.5	18.3	118.3	44.2	2.68	87.22	68.90	74.16	1.40	1.10	1.19	0.29	0.247	
7.504	135.5	62.5	18.6	116.9	43.9	2.66	86.84	68.24	73.03	1.39	1.09	1.17	0.30	0.255	
7.777	135.3	62.5	18.9	116.5	43.6	2.67	86.77	67.92	72.82	1.39	1.09	1.17	0.30	0.259	
8.012	134.2	62.5	19.0	115.2	43.5	2.65	86.39	67.40	71.68	1.38	1.08	1.15	0.30	0.265	
8.290	134.7	62.5	19.1	115.6	43.4	2.66	86.56	67.43	72.19	1.39	1.08	1.16	0.31	0.265	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
8.550	134.3	62.5	19.5	114.8	43.0	2.67	86.43	66.98	71.80	1.38	1.07	1.15	0.31	0.271
8.796	135.8	62.5	19.5	116.3	43.0	2.71	86.94	67.40	73.32	1.39	1.08	1.17	0.31	0.267
9.062	136.1	62.5	19.8	116.3	42.7	2.73	87.03	67.19	73.60	1.39	1.08	1.18	0.32	0.270
9.350	136.7	62.5	20.1	116.7	42.4	2.75	87.24	67.18	74.23	1.40	1.07	1.19	0.32	0.270
9.607	136.3	62.5	20.3	115.9	42.2	2.75	87.08	66.76	73.75	1.39	1.07	1.18	0.33	0.276
9.862	137.5	62.5	20.6	116.8	41.9	2.79	87.49	66.85	74.97	1.40	1.07	1.20	0.33	0.275
10.088	137.4	62.5	20.8	116.6	41.7	2.80	87.47	66.67	74.91	1.40	1.07	1.20	0.33	0.278
10.345	135.7	62.5	20.9	114.8	41.6	2.76	86.89	65.98	73.16	1.39	1.06	1.17	0.33	0.286
10.598	135.0	62.5	21.0	114.0	41.5	2.75	86.66	65.69	72.47	1.39	1.05	1.16	0.34	0.289
10.839	134.7	62.5	21.3	113.4	41.2	2.75	86.57	65.30	72.20	1.39	1.04	1.16	0.34	0.295
11.060	134.2	62.5	21.5	112.7	41.0	2.75	86.40	64.90	71.70	1.38	1.04	1.15	0.34	0.300
11.341	134.9	62.5	21.6	113.3	40.9	2.77	86.64	65.01	72.43	1.39	1.04	1.16	0.35	0.299
11.605	133.9	62.5	21.9	112.0	40.6	2.76	86.30	64.37	71.40	1.38	1.03	1.14	0.35	0.307
11.876	134.1	62.5	22.1	112.0	40.4	2.77	86.37	64.30	71.61	1.38	1.03	1.15	0.35	0.308
12.106	134.7	62.5	22.2	112.5	40.3	2.79	86.57	64.34	72.20	1.39	1.03	1.16	0.36	0.308
12.387	133.5	62.5	22.3	111.2	40.2	2.77	86.16	63.84	70.97	1.38	1.02	1.14	0.36	0.314
12.640	132.6	62.5	22.5	110.2	40.0	2.75	85.88	63.41	70.14	1.37	1.01	1.12	0.36	0.320
12.904	134.7	62.5	22.5	112.1	40.0	2.81	86.56	64.02	72.18	1.38	1.02	1.15	0.36	0.312
13.145	134.4	62.5	22.8	111.6	39.7	2.81	86.47	63.68	71.90	1.38	1.02	1.15	0.36	0.317
13.403	131.7	62.5	22.9	108.8	39.6	2.75	85.55	62.68	69.16	1.37	1.00	1.11	0.37	0.331
13.709	131.2	62.5	23.0	108.2	39.5	2.74	85.39	62.37	68.68	1.37	1.00	1.10	0.37	0.335
13.991	129.7	62.5	23.1	106.6	39.4	2.71	84.89	61.78	67.18	1.36	0.99	1.07	0.37	0.344
14.290	129.1	62.5	23.3	105.8	39.2	2.70	84.70	61.43	66.61	1.36	0.98	1.07	0.37	0.349
14.607	128.6	62.5	23.4	105.2	39.1	2.69	84.54	61.11	66.12	1.35	0.98	1.06	0.37	0.354
14.932	127.9	62.5	23.5	104.4	39.0	2.67	84.29	60.83	65.38	1.35	0.97	1.05	0.38	0.359
15.230	126.5	62.5	23.4	103.1	39.1	2.64	83.83	60.39	64.00	1.34	0.97	1.02	0.38	0.366
15.543	129.4	62.5	23.7	105.7	38.8	2.73	84.81	61.10	66.94	1.36	0.98	1.07	0.38	0.354
15.858	126.9	62.5	23.7	103.2	38.8	2.66	83.96	60.26	64.39	1.34	0.96	1.03	0.38	0.368
16.189	125.8	62.5	23.8	102.0	38.7	2.64	83.60	59.77	63.30	1.34	0.96	1.01	0.38	0.376
16.499	123.9	62.5	23.9	100.0	38.6	2.59	82.98	59.06	61.44	1.33	0.94	0.98	0.38	0.389
16.812	123.9	62.5	24.0	100.0	38.5	2.59	82.97	59.01	61.42	1.33	0.94	0.98	0.38	0.390
17.141	125.0	62.5	24.1	100.8	38.4	2.63	83.32	59.18	62.45	1.33	0.95	1.00	0.39	0.386
17.493	121.5	62.5	24.1	97.4	38.4	2.54	82.16	58.07	58.98	1.31	0.93	0.94	0.39	0.408
17.851	120.1	62.5	24.1	96.0	38.4	2.50	81.71	57.63	57.62	1.31	0.92	0.92	0.39	0.418
18.203	120.5	62.5	24.1	96.4	38.4	2.51	81.83	57.72	57.98	1.31	0.92	0.93	0.39	0.416
18.573	116.5	62.5	24.1	92.4	38.4	2.40	80.50	56.44	54.00	1.29	0.90	0.86	0.38	0.446
18.923	118.8	62.5	24.1	94.7	38.4	2.47	81.26	57.16	56.29	1.30	0.91	0.90	0.39	0.428
19.290	114.4	62.5	24.3	90.1	38.2	2.36	79.79	55.53	51.88	1.28	0.89	0.83	0.39	0.468
19.651	113.8	62.5	23.2	90.5	39.3	2.31	79.59	56.36	51.27	1.27	0.90	0.82	0.37	0.453

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>																			
Triaxial Shearing																			
Loc. No.	1		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองสุพรรณบุรี			Sample No.	26 0		$\Delta v_c =$		47.1	mm^3	$\epsilon_v =$	23.22	%				
Test type	CU	without side	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially		63	kN/m^2	$L_c =$		96.23	mm	$(1/3)\epsilon_v =$		7.74	%		
Rate of	0.075	% per min	Operation A.F.W.			Cell Pressure		262.5	kN/m^2	$A_c =$		1642.38	mm^2	$(2/3)\epsilon_v =$		15.48	%		
Strain	4.5	% per hour	Consolidated Length			96.23	mm	Back Pressure		200	kN/m^2	$V_c =$		155.61	mm^3	shear temp		60	$^{\circ}C$
Membranes	1 x 0.2	mm	Consolidated Area			1642.38	mm^2	Consolidated Volume		155.610	cm^3	Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)					200.9738	kPa	
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A					
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-					
0.002	65.3	62.5	0.0	65.3	62.5	1.05	63.45	63.42	2.85	1.02	1.01	0.05	0.00	0.011					
0.009	66.7	62.5	0.1	66.6	62.4	1.07	63.89	63.83	4.17	1.02	1.02	0.07	0.00	0.015					
0.005	71.1	62.5	0.1	71.0	62.4	1.14	65.37	65.26	8.62	1.05	1.04	0.14	0.00	0.013					
0.014	76.5	62.5	0.2	76.3	62.3	1.22	67.17	66.98	14.00	1.07	1.07	0.22	0.00	0.013					
0.019	84.5	62.5	0.4	84.1	62.1	1.35	69.83	69.41	22.00	1.12	1.11	0.35	0.01	0.019					
0.033	85.9	62.5	0.6	85.3	61.9	1.38	70.30	69.69	23.41	1.12	1.12	0.37	0.01	0.026					
0.074	90.8	62.5	1.6	89.2	60.9	1.46	71.93	70.31	28.29	1.15	1.13	0.45	0.03	0.057					
0.116	93.0	62.5	3.0	90.0	59.5	1.51	72.67	69.63	30.50	1.16	1.11	0.49	0.05	0.100					
0.165	96.6	62.5	4.5	92.1	58.0	1.59	73.86	69.33	34.08	1.18	1.11	0.55	0.07	0.133					
0.218	102.4	62.5	6.1	96.3	56.4	1.71	75.79	69.72	39.87	1.21	1.12	0.64	0.10	0.152					
0.304	101.4	62.5	7.7	93.7	54.8	1.71	75.46	67.81	38.87	1.21	1.08	0.62	0.12	0.197					
0.376	101.9	62.5	8.9	93.0	53.6	1.74	75.63	66.71	39.40	1.21	1.07	0.63	0.14	0.226					
0.471	106.6	62.5	10.5	96.1	52.0	1.85	77.21	66.67	44.12	1.24	1.07	0.71	0.17	0.239					
0.581	109.7	62.5	11.9	97.8	50.6	1.93	78.23	66.34	47.18	1.25	1.06	0.75	0.19	0.252					
0.687	107.0	62.5	13.0	94.0	49.5	1.90	77.33	64.32	44.49	1.24	1.03	0.71	0.21	0.292					
0.787	113.2	62.5	14.0	99.3	48.5	2.05	79.41	65.43	50.74	1.27	1.05	0.81	0.22	0.276					
0.875	110.7	62.5	14.5	96.2	48.0	2.00	78.56	64.06	48.19	1.26	1.02	0.77	0.23	0.301					
0.987	111.8	62.5	15.3	96.5	47.2	2.04	78.93	63.66	49.28	1.26	1.02	0.79	0.24	0.310					
1.098	113.5	62.5	15.8	97.7	46.7	2.09	79.51	63.69	51.02	1.27	1.02	0.82	0.25	0.310					
1.198	114.9	62.5	16.3	98.6	46.2	2.14	79.98	63.66	52.45	1.28	1.02	0.84	0.26	0.311					
1.305	114.7	62.5	16.7	98.0	45.8	2.14	79.90	63.23	52.20	1.28	1.01	0.84	0.27	0.319					
1.416	117.2	62.5	17.0	100.2	45.5	2.20	80.73	63.77	54.70	1.29	1.02	0.88	0.27	0.310					
1.565	117.5	62.5	17.2	100.3	45.3	2.21	80.83	63.63	54.99	1.29	1.02	0.88	0.28	0.313					
1.723	120.6	62.5	17.6	103.0	44.9	2.29	81.86	64.30	58.08	1.31	1.03	0.93	0.28	0.302					
1.883	119.3	62.5	17.8	101.5	44.7	2.27	81.44	63.63	56.82	1.30	1.02	0.91	0.28	0.313					
2.027	123.3	62.5	18.1	105.2	44.4	2.37	82.78	64.64	60.84	1.32	1.03	0.97	0.29	0.298					
2.183	124.2	62.5	18.4	105.7	44.1	2.40	83.06	64.63	61.67	1.33	1.03	0.99	0.29	0.299					
2.348	123.7	62.5	18.5	105.2	44.0	2.39	82.91	64.37	61.24	1.33	1.03	0.98	0.30	0.303					
2.496	124.2	62.5	18.7	105.5	43.8	2.41	83.06	64.37	61.67	1.33	1.03	0.99	0.30	0.303					
2.663	126.1	62.5	18.8	107.3	43.7	2.46	83.71	64.87	63.64	1.34	1.04	1.02	0.30	0.296					
2.805	126.2	62.5	18.9	107.3	43.6	2.46	83.73	64.83	63.70	1.34	1.04	1.02	0.30	0.297					
2.975	128.7	62.5	19.2	109.5	43.3	2.53	84.56	65.40	66.18	1.35	1.05	1.06	0.31	0.289					
3.130	130.0	62.5	19.2	110.8	43.3	2.56	85.01	65.79	67.54	1.36	1.05	1.08	0.31	0.285					
3.286	129.2	62.5	19.3	109.8	43.2	2.54	84.73	65.39	66.68	1.36	1.05	1.07	0.31	0.290					
3.439	127.0	62.5	19.2	107.8	43.3	2.49	84.00	64.84	64.51	1.34	1.04	1.03	0.31	0.297					
3.583	129.4	62.5	19.2	110.2	43.3	2.54	84.79	65.58	66.87	1.36	1.05	1.07	0.31	0.287					
3.743	130.0	62.5	19.4	110.6	43.1	2.57	85.00	65.56	67.50	1.36	1.05	1.08	0.31	0.288					
3.954	128.9	62.5	19.7	109.3	42.8	2.55	84.64	64.97	66.43	1.35	1.04	1.06	0.31	0.296					
4.166	129.6	62.5	19.8	109.8	42.7	2.57	84.86	65.06	67.09	1.36	1.04	1.07	0.32	0.295					
4.368	131.2	62.5	19.8	111.4	42.7	2.61	85.41	65.57	68.74	1.37	1.05	1.10	0.32	0.289					
4.586	133.7	62.5	20.1	113.6	42.4	2.68	86.23	66.18	71.19	1.38	1.06	1.14	0.32	0.282					
4.783	135.6	62.5	20.2	115.5	42.3	2.73	86.88	66.72	73.14	1.39	1.07	1.17	0.32	0.276					
4.995	131.8	62.5	19.8	112.0	42.7	2.62	85.61	65.79	69.33	1.37	1.05	1.11	0.32	0.286					
5.208	136.5	62.5	19.5	116.9	43.0	2.72	87.16	67.63	73.98	1.39	1.08	1.18	0.31	0.264					
5.415	133.5	62.5	19.4	114.1	43.1	2.65	86.17	66.74	71.01	1.38	1.07	1.14	0.31	0.274					
5.622	133.6	62.5	19.4	114.2	43.1	2.65	86.19	66.78	71.07	1.38	1.07	1.14	0.31	0.273					

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
5.828	137.2	62.5	19.6	117.6	42.9	2.74	87.41	67.83	74.72	1.40	1.09	1.20	0.31	0.262
6.074	134.0	62.5	19.5	114.5	43.0	2.66	86.34	66.81	71.53	1.38	1.07	1.14	0.31	0.273
6.351	137.9	62.5	19.7	118.1	42.8	2.76	87.62	67.90	75.35	1.40	1.09	1.21	0.32	0.262
6.601	136.0	62.5	19.9	116.2	42.6	2.73	87.02	67.15	73.55	1.39	1.07	1.18	0.32	0.270
6.864	136.8	62.5	19.9	116.9	42.6	2.75	87.28	67.35	74.34	1.40	1.08	1.19	0.32	0.268
7.131	138.7	62.5	19.9	118.8	42.6	2.79	87.90	68.00	76.19	1.41	1.09	1.22	0.32	0.261
7.389	138.0	62.5	20.1	117.9	42.4	2.78	87.67	67.58	75.52	1.40	1.08	1.21	0.32	0.266
7.649	138.1	62.5	20.1	118.0	42.4	2.79	87.71	67.56	75.62	1.40	1.08	1.21	0.32	0.266
7.911	136.8	62.5	20.4	116.4	42.1	2.77	87.27	66.86	74.31	1.40	1.07	1.19	0.33	0.275
8.171	137.2	62.5	20.5	116.7	42.0	2.78	87.39	66.91	74.67	1.40	1.07	1.19	0.33	0.274
8.422	137.4	62.5	20.6	116.8	41.9	2.79	87.47	66.84	74.92	1.40	1.07	1.20	0.33	0.275
8.673	138.0	62.5	20.8	117.2	41.7	2.81	87.66	66.88	75.47	1.40	1.07	1.21	0.33	0.275
8.944	137.3	62.5	20.7	116.6	41.8	2.79	87.44	66.75	74.83	1.40	1.07	1.20	0.33	0.277
9.204	137.5	62.5	20.8	116.7	41.7	2.80	87.51	66.67	75.02	1.40	1.07	1.20	0.33	0.278
9.418	137.2	62.5	20.9	116.3	41.6	2.80	87.40	66.46	74.71	1.40	1.06	1.20	0.34	0.280
9.674	137.6	62.5	21.0	116.7	41.5	2.81	87.54	66.57	75.13	1.40	1.07	1.20	0.34	0.279
9.950	137.9	62.5	21.1	116.8	41.4	2.82	87.64	66.50	75.42	1.40	1.06	1.21	0.34	0.280
10.219	137.5	62.5	21.3	116.2	41.2	2.82	87.51	66.22	75.04	1.40	1.06	1.20	0.34	0.284
10.489	137.9	62.5	21.4	116.4	41.1	2.84	87.62	66.17	75.36	1.40	1.06	1.21	0.34	0.285
10.746	137.1	62.5	21.5	115.6	41.0	2.82	87.38	65.83	74.63	1.40	1.05	1.19	0.34	0.289
11.006	137.3	62.5	21.8	115.6	40.7	2.84	87.45	65.69	74.85	1.40	1.05	1.20	0.35	0.291
11.259	140.0	62.5	21.8	118.3	40.7	2.90	88.35	66.59	77.55	1.41	1.07	1.24	0.35	0.281
11.526	138.0	62.5	21.9	116.1	40.6	2.86	87.66	65.78	75.49	1.40	1.05	1.21	0.35	0.290
11.787	139.1	62.5	22.0	117.1	40.5	2.89	88.05	66.05	76.64	1.41	1.06	1.23	0.35	0.287
12.047	138.8	62.5	22.1	116.8	40.4	2.89	87.95	65.89	76.34	1.41	1.05	1.22	0.35	0.289
12.351	140.9	62.5	22.2	118.8	40.3	2.95	88.64	66.46	78.43	1.42	1.06	1.25	0.35	0.283
12.671	139.8	62.5	22.2	117.5	40.3	2.92	88.25	66.02	77.26	1.41	1.06	1.24	0.36	0.288
12.978	139.9	62.5	22.3	117.5	40.2	2.93	88.29	65.96	77.37	1.41	1.06	1.24	0.36	0.289
13.294	141.1	62.5	22.5	118.6	40.0	2.96	88.70	66.25	78.59	1.42	1.06	1.26	0.36	0.286
13.595	140.1	62.5	22.6	117.5	39.9	2.94	88.36	65.79	77.59	1.41	1.05	1.24	0.36	0.291
13.918	139.5	62.5	22.8	116.7	39.7	2.94	88.15	65.39	76.96	1.41	1.05	1.23	0.36	0.296
14.227	137.0	62.5	22.9	114.1	39.6	2.88	87.34	64.46	74.51	1.40	1.03	1.19	0.37	0.307
14.538	137.9	62.5	23.0	114.9	39.5	2.91	87.62	64.62	75.37	1.40	1.03	1.21	0.37	0.305
14.840	136.7	62.5	23.1	113.7	39.4	2.88	87.25	64.17	74.24	1.40	1.03	1.19	0.37	0.311
15.156	136.1	62.5	23.2	112.8	39.3	2.87	87.02	63.79	73.56	1.39	1.02	1.18	0.37	0.316
15.474	139.7	62.5	23.4	116.3	39.1	2.97	88.23	64.83	77.18	1.41	1.04	1.23	0.37	0.303
15.778	136.4	62.5	23.3	113.1	39.2	2.89	87.13	63.82	73.90	1.39	1.02	1.18	0.37	0.315
16.089	136.1	62.5	23.5	112.7	39.0	2.89	87.05	63.58	73.64	1.39	1.02	1.18	0.38	0.319
16.407	136.2	62.5	23.5	112.7	39.0	2.89	87.07	63.55	73.70	1.39	1.02	1.18	0.38	0.319
16.721	135.7	62.5	23.7	112.0	38.8	2.89	86.90	63.19	73.19	1.39	1.01	1.17	0.38	0.324
17.027	138.0	62.5	23.8	114.2	38.7	2.95	87.66	63.85	75.49	1.40	1.02	1.21	0.38	0.315
17.343	136.2	62.5	23.8	112.4	38.7	2.90	87.06	63.29	73.67	1.39	1.01	1.18	0.38	0.323
17.652	136.6	62.5	23.9	112.7	38.6	2.92	87.19	63.32	74.08	1.40	1.01	1.19	0.38	0.322
17.970	138.0	62.5	24.0	114.0	38.5	2.96	87.67	63.67	75.51	1.40	1.02	1.21	0.38	0.318
18.277	133.8	62.5	24.0	109.8	38.5	2.85	86.27	62.25	71.31	1.38	1.00	1.14	0.38	0.337
18.592	135.8	62.5	24.1	111.6	38.4	2.91	86.92	62.78	73.27	1.39	1.00	1.17	0.39	0.330
18.901	133.9	62.5	24.2	109.7	38.3	2.86	86.30	62.09	71.40	1.38	0.99	1.14	0.39	0.339
19.212	133.9	62.5	24.2	109.6	38.3	2.86	86.28	62.06	71.35	1.38	0.99	1.14	0.39	0.339
19.526	133.6	62.5	24.4	109.2	38.1	2.87	86.19	61.78	71.08	1.38	0.99	1.14	0.39	0.343
19.753	133.0	62.5	24.5	108.5	38.0	2.86	85.99	61.47	70.47	1.38	0.98	1.13	0.39	0.348


 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY </p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>																
1/2																
Triaxial Shearing		Location		Sample No.		$\Delta v_c =$		$\epsilon_v =$								
Loc. No.	1	อ.เมืองจันทบุรี จ.ปทุมธานี อ.เมืองศรีนครินทร์		27 0		45.2 mm ³		22.19 %								
Test type	CU	without side		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure initially		63 kN/m ²		Lc = 97.28 mm		(1/3) $\epsilon_v =$		7.40 %		
Rate of	1 % per min	Operation A.F.W.		Cell Pressure		262.5 kN/m ²		Ac = 1650.83 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$		14.79 %				
Strain	60.0 % per hour	Consolidated Length		97.28 mm		Back Pressure		200 kN/m ²		Vc = 158.37 mm ³		shear temp		60 C°		
Membranes 1 x 0.2 mm	Consolidated Area		1650.83 mm ²		Consolidated Volume		158.368 cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)		200.19 kPa					
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A		
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-		
0.007	71.9	62.5	0.0	71.8	62.5	1.15	65.62	65.61	9.36	1.05	1.05	0.15	0.00	0.002		
0.016	77.9	62.5	0.0	77.9	62.5	1.25	67.64	67.63	15.43	1.08	1.08	0.25	0.00	0.001		
0.021	78.6	62.5	0.0	78.5	62.5	1.26	67.85	67.82	16.06	1.09	1.09	0.26	0.00	0.002		
0.025	79.3	62.5	0.1	79.1	62.4	1.27	68.09	67.96	16.76	1.09	1.09	0.27	0.00	0.007		
0.034	81.5	62.5	0.1	81.4	62.4	1.30	68.83	68.74	19.00	1.10	1.10	0.30	0.00	0.005		
0.046	88.0	62.5	0.3	87.7	62.2	1.41	71.01	70.68	25.54	1.14	1.13	0.41	0.01	0.013		
0.051	90.1	62.5	0.4	89.7	62.1	1.44	71.70	71.31	27.59	1.15	1.14	0.44	0.01	0.014		
0.067	88.7	62.5	0.3	88.4	62.2	1.42	71.23	70.90	26.18	1.14	1.13	0.42	0.01	0.013		
0.083	92.8	62.5	0.5	92.3	62.0	1.49	72.59	72.12	30.28	1.16	1.15	0.48	0.01	0.016		
0.103	97.3	62.5	0.6	96.7	61.9	1.56	74.09	73.53	34.78	1.19	1.18	0.56	0.01	0.016		
0.117	98.1	62.5	0.7	97.5	61.8	1.58	74.38	73.72	35.64	1.19	1.18	0.57	0.01	0.018		
0.149	103.7	62.5	0.9	102.9	61.6	1.67	76.25	75.36	41.25	1.22	1.21	0.66	0.01	0.022		
0.193	107.7	62.5	1.1	106.6	61.4	1.74	77.57	76.44	45.20	1.24	1.22	0.72	0.02	0.025		
0.262	113.9	62.5	1.5	112.5	61.0	1.84	79.65	78.19	51.45	1.27	1.25	0.82	0.02	0.028		
0.324	119.2	62.5	1.8	117.3	60.7	1.93	81.38	79.53	56.65	1.30	1.27	0.91	0.03	0.033		
0.413	119.6	62.5	2.3	117.3	60.2	1.95	81.52	79.23	57.07	1.30	1.27	0.91	0.04	0.040		
0.524	124.8	62.5	2.9	121.9	59.6	2.05	83.27	80.37	62.30	1.33	1.29	1.00	0.05	0.047		
0.616	124.1	62.5	3.2	120.9	59.3	2.04	83.05	79.80	61.65	1.33	1.28	0.99	0.05	0.053		
0.735	124.8	62.5	3.7	121.0	58.8	2.06	83.26	79.53	62.27	1.33	1.27	1.00	0.06	0.060		
0.834	128.7	62.5	4.2	124.5	58.3	2.14	84.58	80.36	66.24	1.35	1.29	1.06	0.07	0.064		
0.937	128.3	62.5	4.6	123.7	57.9	2.14	84.43	79.85	65.78	1.35	1.28	1.05	0.07	0.070		
1.068	129.4	62.5	5.1	124.3	57.4	2.17	84.80	79.69	66.91	1.36	1.28	1.07	0.08	0.076		
1.213	131.8	62.5	5.6	126.2	56.9	2.22	85.60	79.98	69.31	1.37	1.28	1.11	0.09	0.081		
1.362	134.6	62.5	6.2	128.5	56.3	2.28	86.54	80.38	72.11	1.38	1.29	1.15	0.10	0.085		
1.530	135.7	62.5	6.7	129.0	55.8	2.31	86.90	80.16	73.19	1.39	1.28	1.17	0.11	0.092		
1.707	138.4	62.5	7.3	131.1	55.2	2.38	87.80	80.50	75.91	1.40	1.29	1.21	0.12	0.096		
1.890	138.1	62.5	7.8	130.3	54.7	2.38	87.70	79.94	75.60	1.40	1.28	1.21	0.12	0.103		
2.090	139.5	62.5	8.3	131.2	54.2	2.42	88.18	79.88	77.03	1.41	1.28	1.23	0.13	0.108		
2.281	138.7	62.5	8.7	129.9	53.8	2.42	87.90	79.15	76.19	1.41	1.27	1.22	0.14	0.115		
2.487	139.0	62.5	9.2	129.8	53.3	2.43	87.98	78.81	76.45	1.41	1.26	1.22	0.15	0.120		
2.701	140.1	62.5	9.7	130.4	52.8	2.47	88.37	78.70	77.62	1.41	1.26	1.24	0.15	0.125		
2.912	140.8	62.5	10.1	130.7	52.4	2.50	88.62	78.47	78.35	1.42	1.26	1.25	0.16	0.129		
3.112	142.0	62.5	10.5	131.5	52.0	2.53	89.01	78.50	79.52	1.42	1.26	1.27	0.17	0.132		
3.303	142.6	62.5	10.8	131.7	51.7	2.55	89.19	78.37	80.06	1.43	1.25	1.28	0.17	0.135		
3.521	145.2	62.5	11.2	134.0	51.3	2.61	90.07	78.83	82.70	1.44	1.26	1.32	0.18	0.136		
3.739	147.0	62.5	11.6	135.4	50.9	2.66	90.68	79.06	84.54	1.45	1.26	1.35	0.19	0.137		
3.953	148.0	62.5	12.0	136.0	50.5	2.69	91.00	78.99	85.51	1.46	1.26	1.37	0.19	0.140		
4.166	145.4	62.5	12.2	133.2	50.3	2.65	90.14	77.94	82.91	1.44	1.25	1.33	0.20	0.147		
4.362	148.3	62.5	12.6	135.7	49.9	2.72	91.11	78.53	85.82	1.46	1.26	1.37	0.20	0.147		
4.568	149.5	62.5	12.8	136.6	49.7	2.75	91.49	78.65	86.98	1.46	1.26	1.39	0.21	0.148		
4.773	149.9	62.5	13.1	136.8	49.4	2.77	91.62	78.51	87.36	1.47	1.26	1.40	0.21	0.150		
4.991	150.0	62.5	13.5	136.5	49.0	2.79	91.68	78.15	87.53	1.47	1.25	1.40	0.22	0.155		
5.228	145.8	62.5	13.6	132.2	48.9	2.70	90.28	76.65	83.33	1.44	1.23	1.33	0.22	0.163		
5.427	147.3	62.5	13.8	133.5	48.7	2.74	90.78	76.94	84.84	1.45	1.23	1.36	0.22	0.163		
5.634	148.3	62.5	14.1	134.2	48.4	2.77	91.10	77.02	85.79	1.46	1.23	1.37	0.23	0.164		
5.839	150.7	62.5	14.4	136.3	48.1	2.83	91.90	77.53	88.21	1.47	1.24	1.41	0.23	0.163		

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.043	147.9	62.5	14.5	133.4	48.0	2.78	90.97	76.49	85.42	1.46	1.22	1.37	0.23	0.170
6.298	148.6	62.5	14.7	133.9	47.8	2.80	91.21	76.47	86.12	1.46	1.22	1.38	0.24	0.171
6.564	147.8	62.5	15.0	132.8	47.5	2.79	90.93	75.96	85.30	1.45	1.22	1.36	0.24	0.176
6.847	148.5	62.5	15.3	133.2	47.2	2.82	91.15	75.90	85.96	1.46	1.21	1.38	0.24	0.177
7.104	148.8	62.5	15.5	133.3	47.0	2.84	91.26	75.77	86.29	1.46	1.21	1.38	0.25	0.180
7.359	149.0	62.5	15.6	133.4	46.9	2.84	91.33	75.73	86.48	1.46	1.21	1.38	0.25	0.180
7.621	148.7	62.5	15.7	132.9	46.8	2.84	91.22	75.48	86.16	1.46	1.21	1.38	0.25	0.183
7.876	148.9	62.5	16.0	132.9	46.5	2.86	91.30	75.33	86.41	1.46	1.21	1.38	0.26	0.185
8.133	147.2	62.5	16.0	131.2	46.5	2.82	90.75	74.74	84.75	1.45	1.20	1.36	0.26	0.189
8.381	148.2	62.5	16.1	132.0	46.4	2.85	91.06	74.91	85.69	1.46	1.20	1.37	0.26	0.188
8.645	146.4	62.5	16.3	130.1	46.2	2.82	90.46	74.14	83.87	1.45	1.19	1.34	0.26	0.195
8.903	148.4	62.5	16.4	132.0	46.1	2.86	91.12	74.71	85.87	1.46	1.20	1.37	0.26	0.191
9.155	143.9	62.5	16.4	127.5	46.1	2.77	89.63	73.24	81.40	1.43	1.17	1.30	0.26	0.201
9.419	143.4	62.5	16.5	126.9	46.0	2.76	89.48	72.96	80.94	1.43	1.17	1.30	0.26	0.204
9.670	143.7	62.5	16.6	127.1	45.9	2.77	89.57	72.92	81.20	1.43	1.17	1.30	0.27	0.205
9.941	144.5	62.5	16.8	127.8	45.7	2.79	89.84	73.08	82.02	1.44	1.17	1.31	0.27	0.204
10.212	142.1	62.5	16.8	125.3	45.7	2.74	89.02	72.23	79.57	1.42	1.16	1.27	0.27	0.211
10.480	141.8	62.5	16.8	124.9	45.7	2.74	88.92	72.09	79.25	1.42	1.15	1.27	0.27	0.212
10.728	142.3	62.5	17.0	125.3	45.5	2.75	89.10	72.07	79.80	1.43	1.15	1.28	0.27	0.213
10.993	144.8	62.5	17.2	127.6	45.3	2.82	89.94	72.76	82.32	1.44	1.16	1.32	0.27	0.209
11.250	141.7	62.5	17.2	124.5	45.3	2.75	88.89	71.70	79.18	1.42	1.15	1.27	0.28	0.217
11.503	140.4	62.5	17.2	123.2	45.3	2.72	88.48	71.28	77.94	1.42	1.14	1.25	0.28	0.221
11.757	142.1	62.5	17.3	124.8	45.2	2.76	89.03	71.72	79.59	1.42	1.15	1.27	0.28	0.217
12.022	141.8	62.5	17.3	124.4	45.2	2.75	88.92	71.60	79.27	1.42	1.15	1.27	0.28	0.219
12.272	142.5	62.5	17.4	125.1	45.1	2.77	89.17	71.80	80.01	1.43	1.15	1.28	0.28	0.217
12.587	141.5	62.5	17.4	124.1	45.1	2.75	88.84	71.41	79.03	1.42	1.14	1.26	0.28	0.221
12.890	141.3	62.5	17.4	123.9	45.1	2.75	88.77	71.40	78.80	1.42	1.14	1.26	0.28	0.220
13.202	140.2	62.5	17.4	122.8	45.1	2.72	88.39	71.02	77.68	1.41	1.14	1.24	0.28	0.224
13.505	140.1	62.5	17.4	122.7	45.1	2.72	88.36	71.00	77.57	1.41	1.14	1.24	0.28	0.224
13.820	138.9	62.5	17.3	121.7	45.2	2.69	87.97	70.71	76.42	1.41	1.13	1.22	0.28	0.226
14.128	137.1	62.5	17.3	119.8	45.2	2.65	87.36	70.04	74.58	1.40	1.12	1.19	0.28	0.232
14.438	136.5	62.5	17.2	119.3	45.3	2.63	87.16	69.94	73.97	1.39	1.12	1.18	0.28	0.233
14.739	136.4	62.5	17.1	119.3	45.4	2.63	87.14	70.04	73.93	1.39	1.12	1.18	0.27	0.231
15.072	135.5	62.5	17.2	118.3	45.3	2.61	86.82	69.62	72.95	1.39	1.11	1.17	0.28	0.236
15.380	135.8	62.5	17.1	118.6	45.4	2.61	86.92	69.78	73.25	1.39	1.12	1.17	0.27	0.234
15.690	136.0	62.5	17.1	119.0	45.4	2.62	87.01	69.94	73.54	1.39	1.12	1.18	0.27	0.232
15.988	134.7	62.5	17.0	117.7	45.5	2.59	86.57	69.60	72.20	1.39	1.11	1.16	0.27	0.235
16.319	134.9	62.5	17.0	117.8	45.5	2.59	86.62	69.61	72.36	1.39	1.11	1.16	0.27	0.235
16.615	134.0	62.5	17.0	117.0	45.5	2.57	86.33	69.34	71.50	1.38	1.11	1.14	0.27	0.238
16.925	133.9	62.5	16.8	117.1	45.7	2.56	86.30	69.46	71.41	1.38	1.11	1.14	0.27	0.236
17.242	136.0	62.5	16.9	119.1	45.6	2.61	87.00	70.05	73.50	1.39	1.12	1.18	0.27	0.231
17.550	136.7	62.5	17.0	119.8	45.5	2.63	87.25	70.25	74.25	1.40	1.12	1.19	0.27	0.229
17.853	135.1	62.5	16.8	118.3	45.7	2.59	86.71	69.89	72.64	1.39	1.12	1.16	0.27	0.232
18.163	136.0	62.5	16.8	119.2	45.7	2.61	87.00	70.19	73.50	1.39	1.12	1.18	0.27	0.229
18.473	135.1	62.5	16.7	118.3	45.8	2.59	86.69	69.94	72.56	1.39	1.12	1.16	0.27	0.231
18.786	131.7	62.5	16.6	115.1	45.9	2.51	85.56	68.98	69.19	1.37	1.10	1.11	0.27	0.240
19.091	134.1	62.5	16.6	117.5	45.9	2.56	86.38	69.75	71.65	1.38	1.12	1.15	0.27	0.232
19.401	130.4	62.5	16.4	114.0	46.1	2.47	85.15	68.72	67.95	1.36	1.10	1.09	0.26	0.242
19.702	132.2	62.5	16.4	115.9	46.1	2.51	85.74	69.38	69.73	1.37	1.11	1.12	0.26	0.235
20.017	133.0	62.5	16.5	116.5	46.0	2.53	85.99	69.50	70.47	1.38	1.11	1.13	0.26	0.234
20.322	133.0	62.5	16.4	116.6	46.1	2.53	85.98	69.62	70.45	1.38	1.11	1.13	0.26	0.232
20.635	130.3	62.5	16.3	114.0	46.2	2.47	85.11	68.81	67.84	1.36	1.10	1.09	0.26	0.240
21.044	128.6	62.5	16.2	112.3	46.3	2.43	84.52	68.30	66.07	1.35	1.09	1.06	0.26	0.246


 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>														
1/2														
Triaxial Shearing		Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองจ.ปทุมธานี		Sample No 28 0		$\Delta v_c = 46.8$ mm ³		$\epsilon_v = 23.26$ %						
Loc. No.	1	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure initially 63 kN/m ²		Lc = 96.04 mm		(1/3) $\epsilon_v = 7.75$ %						
Test type	CU	Operation A.F.W.		Cell Pressure 262.5 kN/m ²		Ac = 1633.65 mm ²		(2/3) $\epsilon_v = 15.51$ %						
Rate of	6 % per min	Consolidated Length 96.04 mm		Back Pressure 200 kN/m ²		Vc = 154.48 mm ³		shear temp 60 C°						
Strain	360.0 % per hour	Membranes 1 x 0.2 mm		Consolidated Area 1633.65 mm ²		Consolidated Volume 154.480 cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 199.0925 kPa						
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
0	62.5	62.5	0.0	62.5	62.5	1.00	62.50	62.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-
-0.002	65.2	62.5	0.0	65.2	62.5	1.04	63.40	63.42	2.71	1.01	1.01	0.04	0.00	-0.006
0.005	64.8	62.5	0.0	64.7	62.5	1.04	63.25	63.24	2.26	1.01	1.01	0.04	0.00	0.007
0.014	74.8	62.5	0.0	74.8	62.5	1.20	66.61	66.58	12.32	1.07	1.07	0.20	0.00	0.003
0.014	74.8	62.5	0.0	74.8	62.5	1.20	66.61	66.58	12.32	1.07	1.07	0.20	0.00	0.003
0.021	80.0	62.5	0.1	79.9	62.4	1.28	68.32	68.23	17.46	1.09	1.09	0.28	0.00	0.005
0.047	86.0	62.5	0.2	85.8	62.3	1.38	70.34	70.14	23.53	1.13	1.12	0.38	0.00	0.009
0.063	90.6	62.5	0.3	90.3	62.2	1.45	71.85	71.57	28.06	1.15	1.15	0.45	0.00	0.010
0.095	97.9	62.5	0.4	97.5	62.1	1.57	74.29	73.88	35.38	1.19	1.18	0.57	0.01	0.012
0.123	104.1	62.5	0.5	103.5	62.0	1.67	76.35	75.84	41.56	1.22	1.21	0.66	0.01	0.012
0.156	109.6	62.5	0.6	109.0	61.9	1.76	78.21	77.57	47.14	1.25	1.24	0.75	0.01	0.014
0.186	114.0	62.5	0.7	113.3	61.8	1.83	79.68	78.99	51.54	1.27	1.26	0.82	0.01	0.013
0.221	117.4	62.5	0.8	116.5	61.7	1.89	80.79	79.94	54.86	1.29	1.28	0.88	0.01	0.015
0.249	122.6	62.5	0.9	121.7	61.6	1.98	82.52	81.61	60.06	1.32	1.31	0.96	0.01	0.015
0.286	125.6	62.5	1.0	124.6	61.5	2.03	83.53	82.51	63.09	1.34	1.32	1.01	0.02	0.016
0.312	129.4	62.5	1.1	128.3	61.4	2.09	84.80	83.70	66.89	1.36	1.34	1.07	0.02	0.016
0.368	137.5	62.5	1.2	136.2	61.3	2.22	87.49	86.25	74.97	1.40	1.38	1.20	0.02	0.017
0.442	139.8	62.5	1.5	138.3	61.0	2.27	88.27	86.79	77.31	1.41	1.39	1.24	0.02	0.019
0.523	142.0	62.5	1.7	140.3	60.8	2.31	89.01	87.33	79.52	1.42	1.40	1.27	0.03	0.021
0.612	144.1	62.5	1.9	142.1	60.6	2.35	89.69	87.77	81.56	1.43	1.40	1.30	0.03	0.023
0.724	146.8	62.5	2.2	144.6	60.3	2.40	90.59	88.41	84.27	1.45	1.41	1.35	0.03	0.026
0.844	148.6	62.5	2.5	146.0	60.0	2.43	91.19	88.68	86.06	1.46	1.42	1.38	0.04	0.029
0.984	150.0	62.5	2.9	147.2	59.6	2.47	91.68	88.82	87.53	1.47	1.42	1.40	0.05	0.033
1.147	151.9	62.5	3.2	148.7	59.3	2.51	92.30	89.10	89.39	1.48	1.43	1.43	0.05	0.036
1.319	153.2	62.5	3.5	149.7	59.0	2.54	92.73	89.20	90.69	1.48	1.43	1.45	0.06	0.039
1.494	154.4	62.5	3.9	150.5	58.6	2.57	93.14	89.25	91.91	1.49	1.43	1.47	0.06	0.042
1.654	155.4	62.5	4.2	151.2	58.3	2.59	93.48	89.28	92.94	1.50	1.43	1.49	0.07	0.045
1.845	156.3	62.5	4.5	151.8	58.0	2.62	93.77	89.28	93.80	1.50	1.43	1.50	0.07	0.048
2.033	157.4	62.5	4.8	152.6	57.7	2.64	94.14	89.35	94.91	1.51	1.43	1.52	0.08	0.050
2.215	157.3	62.5	5.0	152.4	57.5	2.65	94.11	89.13	94.84	1.51	1.43	1.52	0.08	0.053
2.403	157.7	62.5	5.2	152.5	57.3	2.66	94.22	89.02	95.17	1.51	1.42	1.52	0.08	0.055
2.613	158.1	62.5	5.5	152.6	57.0	2.68	94.37	88.85	95.60	1.51	1.42	1.53	0.09	0.058
2.817	158.4	62.5	5.7	152.7	56.8	2.69	94.48	88.74	95.94	1.51	1.42	1.54	0.09	0.060
3.015	158.0	62.5	5.9	152.1	56.6	2.69	94.34	88.40	95.53	1.51	1.41	1.53	0.10	0.062
3.238	158.4	62.5	6.2	152.2	56.3	2.70	94.48	88.29	95.93	1.51	1.41	1.53	0.10	0.065
3.443	158.9	62.5	6.4	152.5	56.1	2.72	94.62	88.22	96.35	1.51	1.41	1.54	0.10	0.066
3.652	158.5	62.5	6.6	151.9	55.9	2.72	94.49	87.94	95.97	1.51	1.41	1.54	0.10	0.068
3.853	158.7	62.5	6.7	152.0	55.8	2.72	94.56	87.85	96.19	1.51	1.41	1.54	0.11	0.070
4.076	159.5	62.5	6.9	152.6	55.6	2.74	94.83	87.94	96.98	1.52	1.41	1.55	0.11	0.071
4.278	159.2	62.5	7.1	152.1	55.4	2.75	94.73	87.62	96.68	1.52	1.40	1.55	0.11	0.073
4.488	160.0	62.5	7.3	152.7	55.2	2.77	95.00	87.71	97.51	1.52	1.40	1.56	0.12	0.075
4.699	160.0	62.5	7.4	152.6	55.1	2.77	94.99	87.58	97.48	1.52	1.40	1.56	0.12	0.076
4.904	159.7	62.5	7.7	151.9	54.8	2.77	94.89	87.15	97.17	1.52	1.39	1.55	0.12	0.080
5.113	160.4	62.5	7.8	152.6	54.7	2.79	95.13	87.35	97.88	1.52	1.40	1.57	0.12	0.079
5.316	160.0	62.5	7.9	152.0	54.6	2.79	94.99	87.04	97.46	1.52	1.39	1.56	0.13	0.082
5.530	160.0	62.5	8.1	151.8	54.4	2.79	94.98	86.85	97.45	1.52	1.39	1.56	0.13	0.083
5.742	159.7	62.5	8.3	151.4	54.2	2.79	94.90	86.61	97.21	1.52	1.39	1.56	0.13	0.085

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
5.946	159.5	62.5	8.5	151.1	54.0	2.80	94.84	86.38	97.02	1.52	1.38	1.55	0.14	0.087
6.200	159.3	62.5	8.6	150.7	53.9	2.80	94.77	86.13	96.81	1.52	1.38	1.55	0.14	0.089
6.467	157.8	62.5	8.8	149.0	53.7	2.78	94.28	85.47	95.34	1.51	1.37	1.53	0.14	0.092
6.728	156.5	62.5	8.9	147.6	53.6	2.75	93.85	84.94	94.04	1.50	1.36	1.50	0.14	0.095
6.989	155.4	62.5	9.1	146.3	53.4	2.74	93.46	84.36	92.89	1.50	1.35	1.49	0.15	0.098
7.242	154.6	62.5	9.2	145.4	53.3	2.73	93.19	84.00	92.07	1.49	1.34	1.47	0.15	0.100
7.500	152.5	62.5	9.3	143.2	53.2	2.69	92.50	83.17	89.99	1.48	1.33	1.44	0.15	0.104
7.770	151.2	62.5	9.4	141.7	53.1	2.67	92.05	82.61	88.66	1.47	1.32	1.42	0.15	0.106
8.031	148.6	62.5	9.5	139.1	53.0	2.62	91.19	81.68	86.06	1.46	1.31	1.38	0.15	0.110
8.289	148.1	62.5	9.6	138.5	52.9	2.62	91.04	81.46	85.63	1.46	1.30	1.37	0.15	0.112
8.545	146.6	62.5	9.7	136.9	52.8	2.59	90.55	80.83	84.15	1.45	1.29	1.35	0.16	0.116
8.806	146.7	62.5	9.7	137.0	52.8	2.60	90.58	80.85	84.25	1.45	1.29	1.35	0.16	0.116
9.071	146.7	62.5	9.8	136.9	52.7	2.60	90.56	80.73	84.19	1.45	1.29	1.35	0.16	0.117
9.334	146.6	62.5	10.0	136.7	52.5	2.60	90.54	80.57	84.13	1.45	1.29	1.35	0.16	0.119
9.538	146.9	62.5	10.0	137.0	52.5	2.61	90.65	80.68	84.44	1.45	1.29	1.35	0.16	0.118
9.813	146.5	62.5	10.0	136.5	52.5	2.60	90.51	80.49	84.03	1.45	1.29	1.34	0.16	0.119
10.080	147.1	62.5	10.1	136.9	52.4	2.61	90.69	80.56	84.56	1.45	1.29	1.35	0.16	0.120
10.350	147.9	62.5	10.2	137.7	52.3	2.63	90.97	80.75	85.41	1.46	1.29	1.37	0.16	0.120
10.608	148.8	62.5	10.3	138.5	52.2	2.65	91.26	80.97	86.27	1.46	1.30	1.38	0.16	0.119
10.874	149.5	62.5	10.4	139.1	52.1	2.67	91.49	81.13	86.97	1.46	1.30	1.39	0.17	0.119
11.132	150.8	62.5	10.5	140.3	52.0	2.70	91.92	81.41	88.26	1.47	1.30	1.41	0.17	0.119
11.393	150.7	62.5	10.6	140.1	51.9	2.70	91.92	81.30	88.25	1.47	1.30	1.41	0.17	0.120
11.644	151.5	62.5	10.7	140.8	51.8	2.72	92.17	81.45	89.02	1.47	1.30	1.42	0.17	0.120
11.916	151.2	62.5	10.8	140.4	51.7	2.71	92.06	81.27	88.67	1.47	1.30	1.42	0.17	0.122
12.177	151.7	62.5	10.8	140.8	51.7	2.73	92.22	81.40	89.16	1.48	1.30	1.43	0.17	0.121
12.488	151.8	62.5	10.9	140.9	51.6	2.73	92.28	81.36	89.33	1.48	1.30	1.43	0.17	0.122
12.800	152.4	62.5	11.0	141.4	51.5	2.75	92.46	81.43	89.89	1.48	1.30	1.44	0.18	0.123
13.098	152.9	62.5	11.1	141.9	51.4	2.76	92.64	81.59	90.43	1.48	1.31	1.45	0.18	0.122
13.414	152.4	62.5	11.1	141.2	51.4	2.75	92.47	81.32	89.90	1.48	1.30	1.44	0.18	0.124
13.738	153.4	62.5	11.3	142.1	51.2	2.78	92.80	81.46	90.89	1.48	1.30	1.45	0.18	0.125
14.045	154.7	62.5	11.4	143.4	51.1	2.80	93.24	81.89	92.21	1.49	1.31	1.48	0.18	0.123
14.359	154.9	62.5	11.5	143.4	51.0	2.81	93.30	81.80	92.41	1.49	1.31	1.48	0.18	0.125
14.675	155.8	62.5	11.6	144.3	50.9	2.83	93.62	82.05	93.35	1.50	1.31	1.49	0.19	0.124
14.982	155.9	62.5	11.6	144.3	50.9	2.83	93.63	82.02	93.38	1.50	1.31	1.49	0.19	0.124
15.294	156.2	62.5	11.8	144.4	50.7	2.85	93.74	81.98	93.71	1.50	1.31	1.50	0.19	0.125
15.613	155.6	62.5	11.8	143.8	50.7	2.84	93.53	81.72	93.08	1.50	1.31	1.49	0.19	0.127
15.922	155.0	62.5	11.9	143.1	50.6	2.83	93.34	81.39	92.51	1.49	1.30	1.48	0.19	0.129
16.231	154.5	62.5	12.0	142.4	50.5	2.82	93.16	81.11	91.97	1.49	1.30	1.47	0.19	0.131
16.543	153.5	62.5	12.2	141.4	50.3	2.81	92.84	80.69	91.01	1.49	1.29	1.46	0.19	0.134
16.862	153.3	62.5	12.3	141.1	50.2	2.81	92.78	80.50	90.84	1.48	1.29	1.45	0.20	0.135
17.160	152.5	62.5	12.3	140.2	50.2	2.79	92.49	80.23	89.97	1.48	1.28	1.44	0.20	0.136
17.478	152.0	62.5	12.4	139.6	50.1	2.79	92.33	79.96	89.49	1.48	1.28	1.43	0.20	0.138
17.793	150.9	62.5	12.5	138.4	50.0	2.77	91.98	79.47	88.44	1.47	1.27	1.42	0.20	0.141
18.107	149.7	62.5	12.6	137.2	49.9	2.75	91.58	79.02	87.23	1.47	1.26	1.40	0.20	0.144
18.423	148.6	62.5	12.8	135.8	49.7	2.73	91.21	78.43	86.12	1.46	1.25	1.38	0.20	0.148
18.735	148.1	62.5	12.8	135.3	49.7	2.72	91.04	78.20	85.62	1.46	1.25	1.37	0.21	0.150
19.046	147.5	62.5	12.9	134.6	49.6	2.71	90.84	77.95	85.03	1.45	1.25	1.36	0.21	0.152
19.354	147.2	62.5	13.0	134.2	49.5	2.71	90.72	77.73	84.67	1.45	1.24	1.35	0.21	0.153
19.665	147.9	62.5	13.1	134.8	49.4	2.73	90.98	77.86	85.44	1.46	1.25	1.37	0.21	0.154
19.975	148.1	62.5	13.2	134.9	49.3	2.74	91.04	77.86	85.63	1.46	1.25	1.37	0.21	0.154
20.296	148.7	62.5	13.3	135.5	49.2	2.75	91.25	77.97	86.24	1.46	1.25	1.38	0.21	0.154
20.610	148.6	62.5	13.4	135.3	49.1	2.75	91.21	77.85	86.13	1.46	1.25	1.38	0.21	0.155
21.022	149.6	62.5	13.5	136.1	49.0	2.78	91.55	78.00	87.14	1.46	1.25	1.39	0.22	0.155


4.) สภาวะอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 8 (OCR=8)

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>															
1/2															
Triaxial Shearing															
Loc. No.		1		Location		ต. บางจาก อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช		Sample No		13		1		$\Delta v_c = 54.1 \text{ mm}^3$ $\epsilon_v = 26.32 \%$ $L_c = 95.83 \text{ mm}$ $(1/3)\epsilon_v = 8.77 \%$ $A_c = 1612.55 \text{ mm}^2$ $(2/3)\epsilon_v = 17.54 \%$ $V_c = 151.38 \text{ mm}^3$ $\text{shear temp} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$	
Test type		CU		without side		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073		Effective Cell Pressure		initially		32 kN/m^2			
Rate of Strain		0.02 % per min		Operation A.F.W.		Cell Pressure		231.5 kN/m^2		Back Pressure		200 kN/m^2		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) 201.7577 kPa	
Strain		1.2 % per hour		Consolidated Length		95.83 mm		Consolidated Volume		151.376 cm^3		Membranes 1 x 0.2 mm			
Consolidated Area		1612.55 mm^2													
Axial Strain ϵ_s (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1 / σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p / σ'_3	Normalised Mean Eff. Stress, p' / σ'_3	Normalised Deviator Stress, q / σ'_3	Normalised Access PWP, $\Delta u / \sigma'_3$	Skemton's PWP Parameter A	
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.002	42.0	31.5	0.2	41.8	31.3	1.34	35.02	34.81	10.55	1.11	1.11	0.33	0.01	0.019	
0.009	44.3	31.5	0.3	43.9	31.2	1.41	35.75	35.41	12.76	1.13	1.12	0.40	0.01	0.027	
0.021	45.5	31.5	0.6	44.9	30.9	1.45	36.16	35.54	13.99	1.15	1.13	0.44	0.02	0.045	
0.033	45.9	31.5	0.8	45.2	30.7	1.47	36.32	35.56	14.45	1.15	1.13	0.46	0.02	0.052	
0.033	48.2	31.5	1.0	47.3	30.5	1.55	37.07	36.11	16.71	1.18	1.15	0.53	0.03	0.057	
0.035	49.5	31.5	1.1	48.5	30.4	1.59	37.51	36.46	18.04	1.19	1.16	0.57	0.03	0.058	
0.040	50.2	31.5	1.1	49.1	30.4	1.62	37.74	36.61	18.71	1.20	1.16	0.59	0.04	0.060	
0.061	53.2	31.5	1.5	51.6	30.0	1.72	38.73	37.19	21.68	1.23	1.18	0.69	0.05	0.071	
0.068	55.0	31.5	1.8	53.2	29.7	1.79	39.32	37.55	23.47	1.25	1.19	0.75	0.06	0.075	
0.082	56.8	31.5	2.1	54.6	29.4	1.86	39.93	37.78	25.29	1.27	1.20	0.80	0.07	0.085	
0.093	56.6	31.5	2.3	54.3	29.2	1.86	39.86	37.54	25.07	1.27	1.19	0.80	0.07	0.093	
0.098	56.7	31.5	2.4	54.3	29.1	1.87	39.91	37.51	25.24	1.27	1.19	0.80	0.08	0.095	
0.114	57.1	31.5	2.5	54.6	29.0	1.89	40.05	37.51	25.65	1.27	1.19	0.81	0.08	0.099	
0.124	57.2	31.5	2.7	54.6	28.8	1.89	40.07	37.41	25.72	1.27	1.19	0.82	0.08	0.104	
0.224	59.0	31.5	4.3	54.6	27.2	2.01	40.66	36.31	27.47	1.29	1.15	0.87	0.14	0.158	
0.324	60.8	31.5	5.2	55.6	26.3	2.12	41.28	36.07	29.33	1.31	1.15	0.93	0.17	0.177	
0.427	61.7	31.5	5.9	55.8	25.6	2.18	41.58	35.63	30.23	1.32	1.13	0.96	0.19	0.197	
0.541	62.4	31.5	6.6	55.8	24.9	2.24	41.79	35.24	30.87	1.33	1.12	0.98	0.21	0.212	
0.643	63.4	31.5	6.6	56.9	24.9	2.28	42.15	35.56	31.94	1.34	1.13	1.01	0.21	0.206	
0.746	64.7	31.5	6.7	58.0	24.8	2.34	42.55	35.88	33.16	1.35	1.14	1.05	0.21	0.201	
0.900	66.0	31.5	7.0	59.0	24.5	2.41	42.99	36.00	34.48	1.36	1.14	1.09	0.22	0.203	
1.056	66.7	31.5	7.4	59.3	24.1	2.46	43.24	35.81	35.21	1.37	1.14	1.12	0.24	0.211	
1.254	68.1	31.5	7.4	60.7	24.1	2.52	43.69	36.29	36.58	1.39	1.15	1.16	0.23	0.202	
1.478	69.4	31.5	7.5	61.9	24.0	2.58	44.13	36.66	37.88	1.40	1.16	1.20	0.24	0.197	
1.688	69.8	31.5	7.6	62.2	23.9	2.60	44.26	36.67	38.27	1.41	1.16	1.22	0.24	0.198	
1.884	70.4	31.5	7.3	63.1	24.2	2.61	44.47	37.14	38.92	1.41	1.18	1.24	0.23	0.189	
2.108	70.8	31.5	7.3	63.5	24.2	2.62	44.59	37.31	39.27	1.42	1.18	1.25	0.23	0.185	
2.306	72.1	31.5	7.3	64.9	24.2	2.68	45.05	37.77	40.65	1.43	1.20	1.29	0.23	0.179	
2.520	72.2	31.5	7.6	64.7	23.9	2.70	45.08	37.49	40.74	1.43	1.19	1.29	0.24	0.186	
2.728	72.8	31.5	7.8	65.0	23.7	2.74	45.25	37.49	41.25	1.44	1.19	1.31	0.25	0.188	
2.942	73.0	31.5	7.4	65.6	24.1	2.72	45.34	37.97	41.51	1.44	1.21	1.32	0.23	0.178	
3.145	72.9	31.5	7.6	65.2	23.9	2.73	45.29	37.65	41.37	1.44	1.20	1.31	0.24	0.185	
3.360	73.0	31.5	7.9	65.1	23.6	2.76	45.32	37.44	41.46	1.44	1.19	1.32	0.25	0.190	
3.565	73.9	31.5	8.0	65.9	23.5	2.80	45.64	37.66	42.41	1.45	1.20	1.35	0.25	0.188	
3.775	74.3	31.5	8.2	66.1	23.3	2.84	45.77	37.60	42.82	1.45	1.19	1.36	0.26	0.191	
3.978	74.6	31.5	7.8	66.7	23.7	2.82	45.86	38.02	43.08	1.46	1.21	1.37	0.25	0.182	
4.190	74.4	31.5	8.3	66.1	23.2	2.85	45.81	37.53	42.92	1.45	1.19	1.36	0.26	0.193	
4.402	74.8	31.5	7.7	67.1	23.8	2.82	45.93	38.23	43.29	1.46	1.21	1.37	0.24	0.178	
4.612	75.0	31.5	8.1	66.9	23.4	2.86	46.00	37.91	43.50	1.46	1.20	1.38	0.26	0.186	
4.812	75.4	31.5	7.8	67.5	23.7	2.85	46.12	38.29	43.87	1.46	1.22	1.39	0.25	0.179	
5.020	75.2	31.5	7.9	67.2	23.6	2.85	46.06	38.12	43.67	1.46	1.21	1.39	0.25	0.182	
5.234	75.2	31.5	7.9	67.3	23.6	2.85	46.07	38.15	43.71	1.46	1.21	1.39	0.25	0.181	
5.446	75.5	31.5	7.7	67.8	23.8	2.85	46.16	38.45	43.99	1.47	1.22	1.40	0.24	0.175	
5.647	75.9	31.5	7.9	67.9	23.6	2.88	46.29	38.37	44.36	1.47	1.22	1.41	0.25	0.178	
5.861	76.0	31.5	7.7	68.2	23.8	2.87	46.32	38.57	44.47	1.47	1.22	1.41	0.25	0.174	
6.069	75.8	31.5	7.4	68.4	24.1	2.84	46.26	38.83	44.28	1.47	1.23	1.41	0.24	0.168	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A
6.281	75.9	31.5	8.0	68.0	23.5	2.89	46.31	38.33	44.43	1.47	1.22	1.41	0.25	0.180
6.533	76.2	31.5	7.9	68.3	23.6	2.89	46.40	38.50	44.71	1.47	1.22	1.42	0.25	0.177
6.789	76.5	31.5	7.4	69.1	24.1	2.87	46.49	39.09	44.98	1.48	1.24	1.43	0.23	0.165
7.057	76.9	31.5	7.5	69.4	24.0	2.90	46.65	39.11	45.44	1.48	1.24	1.44	0.24	0.166
7.321	76.9	31.5	7.1	69.8	24.4	2.86	46.63	39.54	45.39	1.48	1.26	1.44	0.22	0.156
7.570	77.0	31.5	7.1	69.9	24.4	2.87	46.67	39.52	45.51	1.48	1.25	1.44	0.23	0.157
7.841	77.0	31.5	7.2	69.8	24.3	2.87	46.68	39.48	45.53	1.48	1.25	1.45	0.23	0.158
8.090	77.5	31.5	7.3	70.2	24.2	2.90	46.84	39.50	46.03	1.49	1.25	1.46	0.23	0.159
8.363	77.6	31.5	7.3	70.2	24.2	2.91	46.86	39.52	46.08	1.49	1.25	1.46	0.23	0.159
8.629	77.1	31.5	7.3	69.8	24.2	2.88	46.70	39.41	45.60	1.48	1.25	1.45	0.23	0.160
8.878	76.9	31.5	7.2	69.7	24.3	2.87	46.62	39.41	45.37	1.48	1.25	1.44	0.23	0.159
9.146	76.8	31.5	7.2	69.6	24.3	2.87	46.62	39.40	45.35	1.48	1.25	1.44	0.23	0.159
9.401	77.1	31.5	7.3	69.8	24.2	2.88	46.69	39.43	45.56	1.48	1.25	1.45	0.23	0.159
9.669	76.7	31.5	7.5	69.2	24.0	2.88	46.57	39.07	45.20	1.48	1.24	1.43	0.24	0.166
9.878	75.9	31.5	7.1	68.8	24.4	2.82	46.30	39.20	44.39	1.47	1.24	1.41	0.23	0.160
10.151	75.9	31.5	7.2	68.7	24.3	2.83	46.30	39.12	44.41	1.47	1.24	1.41	0.23	0.162
10.424	75.4	31.5	7.5	67.9	24.0	2.83	46.14	38.62	43.93	1.46	1.23	1.39	0.24	0.171
10.695	75.7	31.5	7.4	68.3	24.1	2.83	46.23	38.87	44.20	1.47	1.23	1.40	0.23	0.167
10.951	75.7	31.5	7.5	68.2	24.0	2.84	46.24	38.72	44.22	1.47	1.23	1.40	0.24	0.170
11.200	75.5	31.5	7.6	67.9	23.9	2.84	46.15	38.58	43.95	1.47	1.22	1.40	0.24	0.172
11.464	75.2	31.5	7.3	67.9	24.2	2.80	46.06	38.77	43.67	1.46	1.23	1.39	0.23	0.167
11.737	75.5	31.5	7.6	67.9	23.9	2.84	46.17	38.53	44.01	1.47	1.22	1.40	0.24	0.173
11.988	75.4	31.5	7.6	67.8	23.9	2.84	46.14	38.57	43.92	1.46	1.22	1.39	0.24	0.172
12.252	75.3	31.5	7.4	67.9	24.1	2.82	46.11	38.72	43.82	1.46	1.23	1.39	0.23	0.169
12.518	75.5	31.5	7.4	68.0	24.1	2.83	46.16	38.71	43.97	1.47	1.23	1.40	0.24	0.169
12.828	75.6	31.5	7.0	68.6	24.5	2.80	46.20	39.19	44.09	1.47	1.24	1.40	0.22	0.159
13.145	75.0	31.5	7.3	67.7	24.2	2.80	46.01	38.69	43.54	1.46	1.23	1.38	0.23	0.168
13.453	75.0	31.5	7.5	67.6	24.0	2.81	46.02	38.54	43.55	1.46	1.22	1.38	0.24	0.172
13.765	74.6	31.5	7.6	67.0	23.9	2.80	45.86	38.26	43.08	1.46	1.21	1.37	0.24	0.177
14.082	73.9	31.5	7.6	66.3	23.9	2.77	45.62	38.05	42.36	1.45	1.21	1.34	0.24	0.179
14.395	73.5	31.5	7.6	65.9	23.9	2.75	45.50	37.94	42.00	1.44	1.20	1.33	0.24	0.180
14.709	73.3	31.5	7.7	65.6	23.8	2.76	45.44	37.71	41.82	1.44	1.20	1.33	0.25	0.185
15.022	73.5	31.5	7.8	65.7	23.7	2.77	45.50	37.72	42.00	1.44	1.20	1.33	0.25	0.185
15.339	73.1	31.5	7.8	65.3	23.7	2.76	45.37	37.53	41.60	1.44	1.19	1.32	0.25	0.188
15.649	73.0	31.5	7.6	65.4	23.9	2.73	45.32	37.72	41.46	1.44	1.20	1.32	0.24	0.183
15.959	72.8	31.5	7.7	65.1	23.8	2.74	45.26	37.53	41.28	1.44	1.19	1.31	0.25	0.187
16.262	72.5	31.5	7.8	64.8	23.7	2.73	45.18	37.40	41.04	1.43	1.19	1.30	0.25	0.189
16.575	73.2	31.5	7.5	65.7	24.0	2.73	45.39	37.91	41.66	1.44	1.20	1.32	0.24	0.180
16.899	72.5	31.5	8.0	64.5	23.5	2.75	45.18	37.17	41.05	1.43	1.18	1.30	0.25	0.195
17.216	72.2	31.5	7.4	64.8	24.1	2.68	45.05	37.70	40.65	1.43	1.20	1.29	0.23	0.181
17.523	72.2	31.5	7.3	64.9	24.2	2.68	45.06	37.77	40.68	1.43	1.20	1.29	0.23	0.179
17.841	72.1	31.5	7.7	64.4	23.8	2.70	45.03	37.35	40.59	1.43	1.19	1.29	0.24	0.189
18.155	72.0	31.5	8.0	64.0	23.5	2.72	44.99	37.00	40.47	1.43	1.17	1.28	0.25	0.198
18.465	71.4	31.5	8.4	63.0	23.1	2.73	44.79	36.39	39.88	1.42	1.16	1.27	0.27	0.211
18.775	71.2	31.5	8.0	63.2	23.5	2.69	44.74	36.72	39.73	1.42	1.17	1.26	0.25	0.202
19.093	71.6	31.5	8.1	63.4	23.4	2.72	44.86	36.72	40.08	1.42	1.17	1.27	0.26	0.203
19.407	71.3	31.5	8.2	63.1	23.3	2.71	44.76	36.55	39.79	1.42	1.16	1.26	0.26	0.206
19.717	71.4	31.5	8.5	62.9	23.0	2.74	44.81	36.32	39.94	1.42	1.15	1.27	0.27	0.213

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>																
1/2																
Triaxial Shearing																
Loc.No.	1				Location	อ.เมืองจ.ป.ท.บึงจ.นครศรีธรรมราช				Sample No.	14 0		$\Delta v_c =$	54.1 mm ³	$\epsilon_v =$	26.30 %
Test type	CU		without side		Proving Ring No.	(Load cell) No. 11073				Effective Cell Pressure	initially 32 kN/m ²		$L_c =$	96.40 mm	$(1/3)\epsilon_v =$	8.77 %
Rate of	0.075 % per min				Operation A.F.W.					Cell Pressure	231.5 kN/m ²		$A_c =$	1605.79 mm ²	$(2/3)\epsilon_v =$	17.53 %
Strain	4.5 % per hour				Consolidated Length	96.40 mm				Back Pressure	200 kN/m ²		$V_c =$	151.64 mm ³	shear temp	45 C°
Membranes 1 x 0.2	mm				Consolidated Area	1605.79 mm ²				Consolidated Volume	151.643 cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT) 201.9929 kPa			
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A		
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-		
0.002	37.0	31.5	0.0	37.0	31.5	1.18	33.35	33.32	5.54	1.06	1.06	0.18	0.00	0.006		
0.009	40.8	31.5	0.1	40.7	31.4	1.30	34.59	34.50	9.27	1.10	1.10	0.29	0.00	0.010		
0.019	44.4	31.5	0.3	44.2	31.2	1.41	35.81	35.56	12.92	1.14	1.13	0.41	0.01	0.019		
0.025	44.0	31.5	0.3	43.7	31.2	1.40	35.66	35.33	12.49	1.13	1.12	0.40	0.01	0.026		
0.037	44.6	31.5	0.4	44.2	31.1	1.42	35.87	35.47	13.12	1.14	1.13	0.42	0.01	0.031		
0.058	45.6	31.5	0.5	45.1	31.0	1.45	36.20	35.70	14.09	1.15	1.13	0.45	0.02	0.036		
0.097	48.2	31.5	0.8	47.4	30.7	1.54	37.07	36.22	16.71	1.18	1.15	0.53	0.03	0.051		
0.167	49.5	31.5	1.5	48.0	30.0	1.60	37.51	36.00	18.02	1.19	1.14	0.57	0.05	0.084		
0.241	51.7	31.5	2.3	49.4	29.2	1.69	38.23	35.96	20.20	1.21	1.14	0.64	0.07	0.113		
0.320	53.4	31.5	2.5	50.9	29.0	1.76	38.80	36.27	21.90	1.23	1.15	0.70	0.08	0.115		
0.408	53.8	31.5	2.9	51.0	28.6	1.78	38.95	36.08	22.34	1.24	1.15	0.71	0.09	0.128		
0.498	56.9	31.5	3.5	53.4	28.0	1.91	39.98	36.43	25.43	1.27	1.16	0.81	0.11	0.139		
0.582	58.4	31.5	4.2	54.3	27.3	1.99	40.48	36.31	26.93	1.28	1.15	0.85	0.13	0.155		
0.672	59.3	31.5	4.6	54.7	26.9	2.04	40.78	36.17	27.84	1.29	1.15	0.88	0.15	0.166		
0.797	60.4	31.5	5.2	55.2	26.3	2.10	41.13	35.91	28.90	1.31	1.14	0.92	0.17	0.181		
0.911	62.0	31.5	5.7	56.4	25.8	2.18	41.68	36.02	30.54	1.32	1.14	0.97	0.18	0.185		
1.050	62.7	31.5	6.1	56.6	25.4	2.23	41.89	35.81	31.17	1.33	1.14	0.99	0.19	0.195		
1.191	64.0	31.5	6.5	57.5	25.0	2.30	42.35	35.82	32.54	1.34	1.14	1.03	0.21	0.200		
1.351	64.9	31.5	6.9	57.9	24.6	2.36	42.62	35.67	33.36	1.35	1.13	1.06	0.22	0.208		
1.523	65.7	31.5	7.3	58.4	24.2	2.41	42.90	35.61	34.20	1.36	1.13	1.09	0.23	0.213		
1.701	67.1	31.5	7.2	59.9	24.3	2.47	43.36	36.13	35.58	1.38	1.15	1.13	0.23	0.203		
1.882	67.5	31.5	7.3	60.1	24.2	2.49	43.49	36.17	35.96	1.38	1.15	1.14	0.23	0.204		
2.081	68.2	31.5	7.4	60.8	24.1	2.53	43.75	36.33	36.74	1.39	1.15	1.17	0.24	0.202		
2.290	69.6	31.5	7.6	62.0	23.9	2.59	44.19	36.59	38.08	1.40	1.16	1.21	0.24	0.200		
2.508	70.5	31.5	7.7	62.8	23.8	2.64	44.51	36.79	39.04	1.41	1.17	1.24	0.25	0.198		
2.735	71.3	31.5	7.7	63.6	23.8	2.68	44.78	37.05	39.83	1.42	1.18	1.26	0.25	0.194		
2.967	72.3	31.5	7.8	64.5	23.7	2.72	45.09	37.28	40.77	1.43	1.18	1.29	0.25	0.191		
3.208	73.4	31.5	7.8	65.6	23.7	2.77	45.47	37.65	41.91	1.44	1.20	1.33	0.25	0.187		
3.449	74.2	31.5	7.8	66.4	23.7	2.80	45.74	37.93	42.71	1.45	1.20	1.36	0.25	0.183		
3.687	75.0	31.5	7.8	67.2	23.7	2.83	45.99	38.23	43.47	1.46	1.21	1.38	0.25	0.179		
3.929	74.9	31.5	7.7	67.2	23.8	2.82	45.97	38.28	43.42	1.46	1.22	1.38	0.24	0.177		
4.167	76.2	31.5	7.5	68.7	24.0	2.86	46.38	38.91	44.65	1.47	1.24	1.42	0.24	0.167		
4.394	76.5	31.5	7.3	69.2	24.2	2.86	46.49	39.20	44.97	1.48	1.24	1.43	0.23	0.162		
4.642	77.0	31.5	7.3	69.7	24.2	2.88	46.65	39.36	45.46	1.48	1.25	1.44	0.23	0.160		
4.886	76.9	31.5	7.2	69.8	24.3	2.87	46.65	39.47	45.44	1.48	1.25	1.44	0.23	0.158		
5.115	77.1	31.5	7.2	69.8	24.3	2.88	46.70	39.45	45.59	1.48	1.25	1.45	0.23	0.159		
5.361	77.0	31.5	7.3	69.6	24.2	2.88	46.66	39.32	45.48	1.48	1.25	1.44	0.23	0.161		
5.590	77.7	31.5	7.1	70.6	24.4	2.89	46.91	39.84	46.22	1.49	1.26	1.47	0.22	0.153		
5.834	78.2	31.5	6.9	71.4	24.6	2.90	47.08	40.21	46.74	1.49	1.28	1.48	0.22	0.147		
6.077	78.7	31.5	6.7	72.0	24.8	2.90	47.24	40.53	47.22	1.50	1.29	1.50	0.21	0.142		
6.313	79.2	31.5	6.3	72.9	25.2	2.89	47.40	41.13	47.71	1.50	1.31	1.51	0.20	0.131		
6.552	79.5	31.5	6.2	73.3	25.3	2.90	47.50	41.29	47.99	1.51	1.31	1.52	0.20	0.129		
6.786	79.5	31.5	6.2	73.3	25.3	2.90	47.50	41.32	48.00	1.51	1.31	1.52	0.20	0.129		
7.030	80.2	31.5	6.0	74.1	25.5	2.91	47.72	41.70	48.66	1.51	1.32	1.54	0.19	0.124		
7.261	80.6	31.5	5.9	74.7	25.6	2.91	47.85	41.99	49.06	1.52	1.33	1.56	0.19	0.120		
7.507	80.8	31.5	5.8	75.0	25.7	2.92	47.93	42.10	49.29	1.52	1.34	1.56	0.19	0.118		


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
7.748	81.0	31.5	5.7	75.3	25.8	2.92	48.01	42.27	49.52	1.52	1.34	1.57	0.18	0.116
7.987	81.3	31.5	5.6	75.7	25.9	2.92	48.10	42.51	49.79	1.53	1.35	1.58	0.18	0.112
8.226	81.7	31.5	5.5	76.2	26.0	2.94	48.25	42.70	50.24	1.53	1.36	1.60	0.18	0.110
8.457	82.1	31.5	5.4	76.7	26.1	2.94	48.38	42.95	50.63	1.54	1.36	1.61	0.17	0.107
8.701	82.5	31.5	5.4	77.1	26.1	2.95	48.49	43.11	50.96	1.54	1.37	1.62	0.17	0.106
8.942	82.8	31.5	5.3	77.5	26.2	2.96	48.61	43.33	51.33	1.54	1.38	1.63	0.17	0.103
9.178	82.6	31.5	5.2	77.4	26.3	2.94	48.53	43.37	51.09	1.54	1.38	1.62	0.16	0.101
9.419	82.8	31.5	5.2	77.7	26.3	2.95	48.61	43.46	51.34	1.54	1.38	1.63	0.16	0.100
9.653	82.9	31.5	5.0	77.9	26.5	2.94	48.65	43.63	51.44	1.54	1.39	1.63	0.16	0.098
9.892	83.0	31.5	4.9	78.1	26.6	2.93	48.66	43.80	51.47	1.54	1.39	1.63	0.15	0.094
10.124	83.0	31.5	4.8	78.1	26.7	2.93	48.65	43.82	51.45	1.54	1.39	1.63	0.15	0.094
10.369	83.1	31.5	4.8	78.3	26.7	2.93	48.69	43.93	51.58	1.55	1.39	1.64	0.15	0.092
10.611	83.1	31.5	4.7	78.3	26.8	2.93	48.69	43.95	51.56	1.55	1.40	1.64	0.15	0.092
10.849	82.7	31.5	4.6	78.1	26.9	2.91	48.58	43.95	51.24	1.54	1.40	1.63	0.15	0.090
11.076	82.9	31.5	4.6	78.4	26.9	2.91	48.64	44.08	51.41	1.54	1.40	1.63	0.14	0.089
11.310	82.4	31.5	4.6	77.9	26.9	2.89	48.48	43.89	50.95	1.54	1.39	1.62	0.15	0.090
11.563	82.1	31.5	4.5	77.6	27.0	2.87	48.37	43.90	50.62	1.54	1.39	1.61	0.14	0.088
11.804	82.4	31.5	4.4	78.0	27.1	2.88	48.48	44.09	50.93	1.54	1.40	1.62	0.14	0.086
12.038	82.0	31.5	4.3	77.7	27.2	2.86	48.35	44.05	50.54	1.53	1.40	1.60	0.14	0.085
12.270	82.1	31.5	4.3	77.8	27.2	2.86	48.36	44.07	50.59	1.54	1.40	1.61	0.14	0.085
12.516	82.4	31.5	4.1	78.3	27.4	2.86	48.46	44.36	50.89	1.54	1.41	1.62	0.13	0.081
12.754	81.9	31.5	4.2	77.7	27.3	2.85	48.30	44.06	50.39	1.53	1.40	1.60	0.13	0.084
12.993	81.7	31.5	4.2	77.5	27.3	2.84	48.24	44.02	50.21	1.53	1.40	1.59	0.13	0.084
13.237	82.3	31.5	4.1	78.2	27.4	2.85	48.42	44.35	50.77	1.54	1.41	1.61	0.13	0.080
13.468	81.8	31.5	4.1	77.7	27.4	2.83	48.26	44.20	50.27	1.53	1.40	1.60	0.13	0.081
13.714	82.4	31.5	4.0	78.4	27.5	2.85	48.46	44.50	50.89	1.54	1.41	1.62	0.13	0.078
13.946	82.0	31.5	4.0	77.9	27.5	2.84	48.32	44.29	50.46	1.53	1.41	1.60	0.13	0.080
14.182	81.6	31.5	4.0	77.6	27.5	2.82	48.20	44.24	50.11	1.53	1.40	1.59	0.13	0.079
14.428	81.8	31.5	3.9	77.9	27.6	2.82	48.27	44.35	50.32	1.53	1.41	1.60	0.12	0.078
14.653	82.0	31.5	3.9	78.1	27.6	2.83	48.34	44.45	50.51	1.53	1.41	1.60	0.12	0.077
14.901	82.1	31.5	3.9	78.3	27.6	2.83	48.37	44.51	50.61	1.54	1.41	1.61	0.12	0.076
15.132	81.8	31.5	3.8	78.0	27.7	2.82	48.26	44.45	50.29	1.53	1.41	1.60	0.12	0.076
15.383	81.6	31.5	3.8	77.7	27.7	2.81	48.19	44.35	50.07	1.53	1.41	1.59	0.12	0.077
15.621	81.8	31.5	3.8	78.0	27.7	2.82	48.27	44.46	50.31	1.53	1.41	1.60	0.12	0.076
15.858	82.0	31.5	3.8	78.2	27.7	2.82	48.34	44.55	50.52	1.53	1.41	1.60	0.12	0.075
16.094	82.2	31.5	3.7	78.5	27.8	2.82	48.41	44.73	50.73	1.54	1.42	1.61	0.12	0.073
16.338	82.1	31.5	3.7	78.4	27.8	2.82	48.36	44.71	50.58	1.54	1.42	1.61	0.12	0.072
16.574	81.8	31.5	3.8	78.0	27.7	2.81	48.25	44.47	50.25	1.53	1.41	1.60	0.12	0.075
16.813	81.8	31.5	3.7	78.1	27.8	2.81	48.27	44.59	50.31	1.53	1.42	1.60	0.12	0.073
17.045	81.7	31.5	3.7	78.1	27.8	2.80	48.25	44.59	50.24	1.53	1.42	1.59	0.12	0.073
17.281	81.5	31.5	3.7	77.8	27.8	2.80	48.17	44.49	50.02	1.53	1.41	1.59	0.12	0.074
17.529	81.1	31.5	3.7	77.4	27.8	2.78	48.02	44.35	49.55	1.52	1.41	1.57	0.12	0.074
17.756	80.4	31.5	3.6	76.8	27.9	2.76	47.81	44.19	48.93	1.52	1.40	1.55	0.11	0.074
18.006	80.2	31.5	3.6	76.5	27.9	2.75	47.72	44.08	48.66	1.51	1.40	1.54	0.12	0.075
18.238	79.8	31.5	3.7	76.2	27.8	2.74	47.62	43.93	48.35	1.51	1.39	1.53	0.12	0.076
18.472	80.0	31.5	3.7	76.3	27.8	2.74	47.66	44.01	48.48	1.51	1.40	1.54	0.12	0.075
18.723	79.8	31.5	3.6	76.2	27.9	2.73	47.61	43.98	48.32	1.51	1.40	1.53	0.11	0.075
18.961	79.6	31.5	3.8	75.9	27.7	2.74	47.54	43.78	48.13	1.51	1.39	1.53	0.12	0.078
19.198	79.3	31.5	3.7	75.6	27.8	2.72	47.45	43.75	47.85	1.51	1.39	1.52	0.12	0.077
19.434	79.2	31.5	3.6	75.6	27.9	2.71	47.41	43.82	47.73	1.51	1.39	1.52	0.11	0.075
19.661	79.4	31.5	3.6	75.8	27.9	2.72	47.46	43.86	47.89	1.51	1.39	1.52	0.11	0.075
19.868	78.8	31.5	3.7	75.1	27.8	2.70	47.28	43.55	47.33	1.50	1.38	1.50	0.12	0.079

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองสุพรรณบุรี			Sample No 15 0			$\Delta v_c =$ 49.7 mm ³		$\epsilon_v =$ 24.26 %				
Loc.No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 32 kN/m ²			Lc = 97.63 mm		(1/3) $\epsilon_v =$ 8.09 %				
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure 231.5 kN/m ²			Ac = 1618.04 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 16.17 %				
Rate of	1 % per min		Consolidated Length 97.63 mm			Back Pressure 200 kN/m ²			Vc = 155.28 mm ³		shear temp 45 C°				
Strain	60.0 % per hour		Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Volume 155.282 cm ³			Undrained excess pwp due to change temp. (Δt) 199.5785 kPa						
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A	
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
0.002	37.1	31.5	0.0	37.1	31.5	1.18	33.37	33.32	5.61	1.06	1.06	0.18	0.00	0.008	
0.000	43.3	31.5	0.1	43.3	31.4	1.38	35.44	35.38	11.82	1.13	1.12	0.38	0.00	0.005	
0.005	45.0	31.5	0.1	44.9	31.4	1.43	36.01	35.93	13.53	1.14	1.14	0.43	0.00	0.006	
0.005	45.0	31.5	0.1	44.9	31.4	1.43	36.01	35.93	13.53	1.14	1.14	0.43	0.00	0.006	
0.021	46.2	31.5	0.1	46.1	31.4	1.47	36.39	36.28	14.67	1.16	1.15	0.47	0.00	0.007	
0.027	51.5	31.5	0.2	51.3	31.3	1.64	38.15	38.00	19.96	1.21	1.21	0.63	0.00	0.008	
0.062	49.2	31.5	0.2	49.0	31.3	1.57	37.40	37.20	17.70	1.19	1.18	0.56	0.01	0.012	
0.080	49.0	31.5	0.3	48.6	31.2	1.56	37.32	36.97	17.45	1.18	1.17	0.55	0.01	0.020	
0.114	51.1	31.5	0.4	50.7	31.1	1.63	38.04	37.63	19.62	1.21	1.19	0.62	0.01	0.021	
0.149	52.1	31.5	0.5	51.6	31.0	1.67	38.38	37.85	20.65	1.22	1.20	0.66	0.02	0.026	
0.183	53.4	31.5	0.6	52.9	30.9	1.71	38.81	38.24	21.92	1.23	1.21	0.70	0.02	0.026	
0.233	54.3	31.5	0.7	53.5	30.8	1.74	39.09	38.35	22.77	1.24	1.22	0.72	0.02	0.032	
0.256	54.8	31.5	0.7	54.1	30.8	1.76	39.27	38.55	23.30	1.25	1.22	0.74	0.02	0.031	
0.298	56.2	31.5	0.9	55.3	30.6	1.81	39.74	38.83	24.73	1.26	1.23	0.79	0.03	0.037	
0.378	57.5	31.5	1.2	56.4	30.3	1.86	40.17	39.01	26.02	1.28	1.24	0.83	0.04	0.045	
0.462	58.8	31.5	1.4	57.4	30.1	1.91	40.60	39.22	27.30	1.29	1.25	0.87	0.04	0.051	
0.563	60.4	31.5	1.6	58.8	29.9	1.97	41.14	39.52	28.91	1.31	1.25	0.92	0.05	0.056	
0.705	62.1	31.5	2.0	60.1	29.5	2.04	41.70	39.70	30.61	1.32	1.26	0.97	0.06	0.066	
0.847	63.0	31.5	2.2	60.8	29.3	2.08	42.01	39.78	31.52	1.33	1.26	1.00	0.07	0.071	
0.993	64.0	31.5	2.6	61.4	28.9	2.13	42.35	39.72	32.55	1.34	1.26	1.03	0.08	0.081	
1.085	65.2	31.5	2.7	62.5	28.8	2.17	42.73	40.05	33.69	1.36	1.27	1.07	0.09	0.080	
1.192	66.3	31.5	2.9	63.3	28.6	2.22	43.09	40.16	34.78	1.37	1.27	1.10	0.09	0.084	
1.337	66.8	31.5	3.2	63.6	28.3	2.25	43.27	40.09	35.31	1.37	1.27	1.12	0.10	0.090	
1.504	67.5	31.5	3.4	64.1	28.1	2.28	43.51	40.07	36.02	1.38	1.27	1.14	0.11	0.095	
1.684	68.6	31.5	3.6	65.1	27.9	2.33	43.88	40.30	37.14	1.39	1.28	1.18	0.11	0.096	
1.890	69.9	31.5	3.9	66.0	27.6	2.39	44.30	40.38	38.40	1.41	1.28	1.22	0.12	0.102	
2.115	72.3	31.5	4.1	68.2	27.4	2.49	45.09	41.00	40.78	1.43	1.30	1.29	0.13	0.100	
2.357	74.1	31.5	4.3	69.8	27.2	2.56	45.69	41.39	42.57	1.45	1.31	1.35	0.14	0.101	
2.589	75.9	31.5	4.4	71.5	27.1	2.64	46.30	41.86	44.39	1.47	1.33	1.41	0.14	0.100	
2.824	77.6	31.5	4.6	73.0	26.9	2.71	46.87	42.28	46.12	1.49	1.34	1.46	0.15	0.100	
3.062	78.7	31.5	4.8	73.9	26.7	2.77	47.23	42.44	47.20	1.50	1.35	1.50	0.15	0.102	
3.293	80.2	31.5	4.9	75.3	26.6	2.83	47.73	42.83	48.68	1.52	1.36	1.55	0.16	0.100	
3.534	81.6	31.5	5.0	76.6	26.5	2.89	48.20	43.17	50.10	1.53	1.37	1.59	0.16	0.100	
3.758	82.4	31.5	5.1	77.3	26.4	2.93	48.46	43.35	50.89	1.54	1.38	1.62	0.16	0.100	
4.001	83.1	31.5	5.2	77.9	26.3	2.96	48.69	43.50	51.57	1.55	1.38	1.64	0.16	0.101	
4.241	84.4	31.5	5.2	79.1	26.3	3.01	49.12	43.90	52.85	1.56	1.39	1.68	0.17	0.099	
4.468	85.0	31.5	5.2	79.8	26.3	3.04	49.35	44.14	53.54	1.57	1.40	1.70	0.17	0.097	
4.710	85.6	31.5	5.4	80.2	26.1	3.07	49.53	44.17	54.09	1.57	1.40	1.72	0.17	0.099	
4.948	86.6	31.5	5.3	81.4	26.2	3.10	49.87	44.61	55.12	1.58	1.42	1.75	0.17	0.096	
5.179	87.2	31.5	5.3	81.9	26.2	3.12	50.07	44.80	55.72	1.59	1.42	1.77	0.17	0.095	
5.417	87.3	31.5	5.3	82.0	26.2	3.13	50.11	44.81	55.83	1.59	1.42	1.77	0.17	0.095	
5.646	88.3	31.5	5.3	83.0	26.2	3.17	50.44	45.15	56.81	1.60	1.43	1.80	0.17	0.093	
5.889	89.2	31.5	5.2	84.0	26.3	3.20	50.73	45.49	57.69	1.61	1.44	1.83	0.17	0.091	
6.129	89.2	31.5	5.2	84.0	26.3	3.20	50.74	45.50	57.71	1.61	1.44	1.83	0.17	0.091	
6.379	90.0	31.5	5.3	84.8	26.2	3.23	51.00	45.75	58.50	1.62	1.45	1.86	0.17	0.090	
6.619	90.3	31.5	5.2	85.2	26.3	3.23	51.11	45.94	58.83	1.62	1.46	1.87	0.16	0.088	


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.866	91.0	31.5	5.2	85.8	26.3	3.26	51.32	46.13	59.46	1.63	1.46	1.89	0.16	0.087
7.111	91.7	31.5	5.1	86.6	26.4	3.28	51.55	46.46	60.16	1.64	1.47	1.91	0.16	0.085
7.363	91.1	31.5	5.0	86.0	26.5	3.25	51.36	46.31	59.58	1.63	1.47	1.89	0.16	0.085
7.612	91.2	31.5	5.1	86.1	26.4	3.26	51.39	46.29	59.66	1.63	1.47	1.89	0.16	0.085
7.853	91.5	31.5	5.0	86.5	26.5	3.26	51.49	46.47	59.97	1.63	1.48	1.90	0.16	0.084
8.102	91.0	31.5	5.0	86.0	26.5	3.25	51.35	46.33	59.55	1.63	1.47	1.89	0.16	0.084
8.347	91.1	31.5	5.0	86.1	26.5	3.25	51.38	46.39	59.63	1.63	1.47	1.89	0.16	0.084
8.592	92.0	31.5	4.8	87.2	26.7	3.26	51.65	46.87	60.46	1.64	1.49	1.92	0.15	0.079
8.841	91.7	31.5	4.7	86.9	26.8	3.25	51.55	46.83	60.15	1.64	1.49	1.91	0.15	0.078
9.082	93.0	31.5	4.6	88.3	26.9	3.29	51.99	47.35	61.48	1.65	1.50	1.95	0.15	0.075
9.324	92.4	31.5	4.6	87.9	26.9	3.26	51.81	47.25	60.94	1.64	1.50	1.93	0.14	0.075
9.571	92.5	31.5	4.5	88.0	27.0	3.26	51.84	47.36	61.02	1.65	1.50	1.94	0.14	0.073
9.823	92.4	31.5	4.4	88.1	27.1	3.25	51.81	47.44	60.94	1.64	1.51	1.93	0.14	0.072
10.063	92.3	31.5	4.3	88.0	27.2	3.24	51.77	47.43	60.81	1.64	1.51	1.93	0.14	0.071
10.304	92.3	31.5	4.3	88.1	27.2	3.23	51.78	47.51	60.83	1.64	1.51	1.93	0.14	0.070
10.571	91.9	31.5	4.3	87.6	27.2	3.22	51.63	47.36	60.39	1.64	1.50	1.92	0.14	0.071
10.819	91.3	31.5	4.1	87.2	27.4	3.18	51.43	47.31	59.79	1.63	1.50	1.90	0.13	0.069
11.084	91.0	31.5	4.1	86.9	27.4	3.17	51.32	47.26	59.46	1.63	1.50	1.89	0.13	0.068
11.338	90.7	31.5	4.0	86.6	27.5	3.15	51.22	47.19	59.17	1.63	1.50	1.88	0.13	0.068
11.595	90.3	31.5	3.9	86.4	27.6	3.13	51.11	47.17	58.83	1.62	1.50	1.87	0.12	0.067
11.851	89.9	31.5	3.8	86.1	27.7	3.11	50.98	47.17	58.44	1.62	1.50	1.86	0.12	0.065
12.100	90.1	31.5	3.7	86.4	27.8	3.11	51.02	47.34	58.57	1.62	1.50	1.86	0.12	0.063
12.357	89.7	31.5	3.5	86.1	28.0	3.08	50.89	47.35	58.17	1.62	1.50	1.85	0.11	0.061
12.618	89.5	31.5	3.4	86.1	28.1	3.07	50.84	47.39	58.03	1.61	1.50	1.84	0.11	0.059
12.897	90.1	31.5	3.4	86.7	28.1	3.09	51.03	47.61	58.60	1.62	1.51	1.86	0.11	0.058
13.153	89.8	31.5	3.3	86.6	28.2	3.07	50.95	47.66	58.35	1.62	1.51	1.85	0.10	0.056
13.425	89.4	31.5	3.2	86.2	28.3	3.05	50.81	47.58	57.94	1.61	1.51	1.84	0.10	0.056
13.696	89.5	31.5	3.2	86.3	28.3	3.05	50.82	47.65	57.95	1.61	1.51	1.84	0.10	0.055
13.956	89.2	31.5	3.1	86.1	28.4	3.03	50.73	47.68	57.70	1.61	1.51	1.83	0.10	0.053
14.227	89.5	31.5	3.0	86.5	28.5	3.04	50.83	47.80	57.99	1.61	1.52	1.84	0.10	0.052
14.490	89.1	31.5	2.9	86.2	28.6	3.02	50.71	47.77	57.64	1.61	1.52	1.83	0.09	0.051
14.762	89.2	31.5	2.9	86.3	28.6	3.02	50.75	47.82	57.74	1.61	1.52	1.83	0.09	0.051
15.028	89.1	31.5	2.7	86.4	28.8	3.00	50.69	48.01	57.57	1.61	1.52	1.83	0.09	0.047
15.291	87.9	31.5	2.7	85.2	28.8	2.96	50.30	47.60	56.39	1.60	1.51	1.79	0.09	0.048
15.561	87.3	31.5	2.6	84.7	28.9	2.93	50.09	47.50	55.77	1.59	1.51	1.77	0.08	0.046
15.819	86.5	31.5	2.6	83.9	28.9	2.90	49.83	47.28	54.99	1.58	1.50	1.75	0.08	0.046
16.076	86.8	31.5	2.4	84.4	29.1	2.90	49.92	47.54	55.26	1.58	1.51	1.75	0.08	0.043
16.360	86.7	31.5	2.4	84.3	29.1	2.89	49.89	47.53	55.16	1.58	1.51	1.75	0.07	0.043
16.621	87.1	31.5	2.2	84.8	29.3	2.90	50.02	47.80	55.57	1.59	1.52	1.76	0.07	0.040
16.897	86.2	31.5	2.3	83.9	29.2	2.87	49.74	47.46	54.71	1.58	1.51	1.74	0.07	0.042
17.177	86.4	31.5	2.2	84.2	29.3	2.87	49.79	47.63	54.88	1.58	1.51	1.74	0.07	0.039
17.456	86.3	31.5	2.1	84.2	29.4	2.86	49.76	47.71	54.78	1.58	1.51	1.74	0.07	0.037
17.731	86.1	31.5	2.0	84.2	29.5	2.85	49.72	47.73	54.65	1.58	1.52	1.73	0.06	0.036
18.005	86.1	31.5	1.9	84.2	29.6	2.84	49.69	47.83	54.58	1.58	1.52	1.73	0.06	0.034
18.284	85.4	31.5	1.9	83.5	29.6	2.82	49.47	47.60	53.90	1.57	1.51	1.71	0.06	0.035
18.561	85.2	31.5	1.9	83.3	29.6	2.81	49.41	47.53	53.73	1.57	1.51	1.71	0.06	0.035
18.838	84.4	31.5	1.8	82.7	29.7	2.78	49.14	47.38	52.92	1.56	1.50	1.68	0.06	0.033
19.111	84.1	31.5	1.6	82.5	29.9	2.76	49.03	47.42	52.60	1.56	1.51	1.67	0.05	0.031
19.378	83.8	31.5	1.6	82.3	29.9	2.75	48.95	47.36	52.34	1.55	1.50	1.66	0.05	0.030
19.646	83.0	31.5	1.5	81.5	30.0	2.71	48.65	47.18	51.45	1.54	1.50	1.63	0.05	0.029
19.939	82.8	31.5	1.4	81.4	30.1	2.70	48.59	47.18	51.26	1.54	1.50	1.63	0.04	0.028

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11) </p>																		
1/2																		
Triaxial Shearing																		
Loc. No.	1					Location	อ. หนองจอก อ. ปัตตานี จ. นนทบุรี กรุงเทพมหานคร					Sample No.	16 0		$\Delta v_c =$	46.7 mm ³	$\epsilon_v =$	21.75 %
Test type	CU		without side			Proving Ring No.	(Load cell) No. 11073					Effective Cell Pressure	initially 32 kN/m ²		Lc =	100.25 mm	(1/3) $\epsilon_v =$	7.25 %
Rate of	6 % per min		Operation A.F.W.			Cell Pressure	231.5 kN/m ²					Ac =	1697.35 mm ²	(2/3) $\epsilon_v =$	14.50 %			
Strain	360.0 % per hour		Consolidated Length			100.25 mm		Back Pressure	200 kN/m ²			Vc =	167.90 mm ³	shear temp	45 C°			
Membranes 1 x 0.2	mm		Consolidated Area			1697.35 mm ²		Consolidated Volume	167.902 cm ³			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) -0.05808 kPa						
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A				
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-				
0.000	31.8	31.5	0.0	31.7	31.5	1.01	31.59	31.54	0.26	1.00	1.00	0.01	0.00	0.182				
0.001	35.0	31.5	0.1	34.9	31.4	1.11	32.67	32.55	3.52	1.04	1.03	0.11	0.00	0.036				
0.007	42.1	31.5	0.0	42.1	31.5	1.34	35.05	35.05	10.65	1.11	1.11	0.34	0.00	0.000				
0.016	49.1	31.5	0.1	49.0	31.4	1.56	37.36	37.30	17.59	1.19	1.18	0.56	0.00	0.004				
0.028	56.1	31.5	0.1	55.9	31.4	1.78	39.68	39.54	24.55	1.26	1.26	0.78	0.00	0.006				
0.048	56.9	31.5	0.2	56.7	31.3	1.81	39.96	39.74	25.37	1.27	1.26	0.81	0.01	0.009				
0.054	57.8	31.5	0.1	57.7	31.4	1.84	40.28	40.16	26.35	1.28	1.28	0.84	0.00	0.004				
0.083	60.5	31.5	0.1	60.3	31.4	1.92	41.16	41.02	28.98	1.31	1.30	0.92	0.00	0.005				
0.114	64.6	31.5	-0.1	64.7	31.6	2.05	42.54	42.61	33.11	1.35	1.35	1.05	0.00	-0.002				
0.156	65.2	31.5	0.1	65.0	31.4	2.07	42.72	42.60	33.65	1.36	1.35	1.07	0.00	0.003				
0.194	65.8	31.5	0.2	65.6	31.3	2.09	42.92	42.75	34.26	1.36	1.36	1.09	0.01	0.005				
0.225	68.0	31.5	0.1	67.9	31.4	2.16	43.67	43.53	36.51	1.39	1.38	1.16	0.00	0.004				
0.250	71.1	31.5	0.1	70.9	31.4	2.26	44.70	44.56	39.59	1.42	1.41	1.26	0.00	0.004				
0.293	72.2	31.5	0.2	72.0	31.3	2.30	45.06	44.89	40.68	1.43	1.43	1.29	0.01	0.004				
0.377	74.4	31.5	0.1	74.3	31.4	2.37	45.81	45.68	42.92	1.45	1.45	1.36	0.00	0.003				
0.448	77.0	31.5	0.3	76.7	31.2	2.46	46.66	46.38	45.49	1.48	1.47	1.44	0.01	0.006				
0.557	76.2	31.5	0.4	75.8	31.1	2.44	46.40	46.02	44.69	1.47	1.46	1.42	0.01	0.008				
0.696	79.6	31.5	0.4	79.3	31.1	2.55	47.54	47.17	48.13	1.51	1.50	1.53	0.01	0.008				
0.835	82.0	31.5	0.3	81.6	31.2	2.62	48.32	48.01	50.45	1.53	1.52	1.60	0.01	0.006				
1.004	82.4	31.5	0.5	81.8	31.0	2.64	48.45	47.92	50.86	1.54	1.52	1.61	0.02	0.010				
1.175	83.7	31.5	0.4	83.2	31.1	2.68	48.88	48.44	52.15	1.55	1.54	1.66	0.01	0.008				
1.355	84.8	31.5	0.6	84.3	30.9	2.72	49.28	48.73	53.34	1.56	1.55	1.69	0.02	0.010				
1.541	86.8	31.5	0.6	86.2	30.9	2.79	49.92	49.32	55.26	1.58	1.57	1.75	0.02	0.011				
1.739	89.5	31.5	0.7	88.8	30.8	2.88	50.82	50.16	57.96	1.61	1.59	1.84	0.02	0.011				
1.946	89.8	31.5	0.7	89.1	30.8	2.89	50.92	50.22	58.27	1.62	1.59	1.85	0.02	0.012				
2.171	91.2	31.5	0.8	90.3	30.7	2.94	51.38	50.56	59.65	1.63	1.60	1.89	0.03	0.014				
2.401	92.7	31.5	0.9	91.8	30.6	3.00	51.89	51.00	61.16	1.65	1.62	1.94	0.03	0.015				
2.625	93.3	31.5	0.8	92.4	30.7	3.01	52.09	51.26	61.77	1.65	1.63	1.96	0.03	0.013				
2.858	92.9	31.5	0.9	92.0	30.6	3.01	51.97	51.09	61.42	1.65	1.62	1.95	0.03	0.014				
3.087	93.7	31.5	1.0	92.7	30.5	3.03	52.22	51.27	62.16	1.66	1.63	1.97	0.03	0.015				
3.320	94.2	31.5	1.2	93.0	30.3	3.07	52.40	51.24	62.70	1.66	1.63	1.99	0.04	0.018				
3.550	96.2	31.5	1.2	95.0	30.3	3.14	53.07	51.89	64.72	1.68	1.65	2.05	0.04	0.018				
3.772	95.0	31.5	1.1	93.9	30.4	3.09	52.66	51.55	63.49	1.67	1.64	2.02	0.04	0.018				
4.003	95.2	31.5	1.2	94.0	30.3	3.10	52.73	51.54	63.70	1.67	1.64	2.02	0.04	0.019				
4.238	95.5	31.5	1.3	94.2	30.2	3.12	52.82	51.52	63.95	1.68	1.64	2.03	0.04	0.020				
4.454	93.4	31.5	1.4	92.1	30.1	3.06	52.15	50.77	61.94	1.66	1.61	1.97	0.04	0.022				
4.697	96.1	31.5	1.3	94.7	30.2	3.14	53.03	51.69	64.59	1.68	1.64	2.05	0.04	0.021				
4.923	95.5	31.5	1.4	94.1	30.1	3.13	52.85	51.43	64.04	1.68	1.63	2.03	0.05	0.022				
5.155	96.8	31.5	1.4	95.4	30.1	3.17	53.27	51.88	65.31	1.69	1.65	2.07	0.04	0.021				
5.379	96.0	31.5	1.6	94.4	29.9	3.16	53.00	51.40	64.50	1.68	1.63	2.05	0.05	0.025				
5.606	97.2	31.5	1.6	95.6	29.9	3.20	53.39	51.78	65.67	1.69	1.64	2.08	0.05	0.024				
5.841	97.4	31.5	1.6	95.8	29.9	3.20	53.47	51.89	65.92	1.70	1.65	2.09	0.05	0.024				
6.070	96.6	31.5	1.4	95.2	30.1	3.17	53.20	51.76	65.10	1.69	1.64	2.07	0.05	0.022				
6.294	98.0	31.5	1.6	96.4	29.9	3.22	53.65	52.09	66.46	1.70	1.65	2.11	0.05	0.023				
6.528	96.7	31.5	1.7	95.0	29.8	3.19	53.23	51.55	65.19	1.69	1.64	2.07	0.05	0.026				
6.756	97.1	31.5	1.6	95.5	29.9	3.20	53.37	51.76	65.62	1.69	1.64	2.08	0.05	0.025				


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.987	96.7	31.5	1.7	95.0	29.8	3.19	53.24	51.55	65.22	1.69	1.64	2.07	0.05	0.026
7.218	98.3	31.5	1.8	96.5	29.7	3.25	53.77	51.93	66.82	1.71	1.65	2.12	0.06	0.028
7.448	96.8	31.5	1.9	94.9	29.6	3.20	53.25	51.39	65.26	1.69	1.63	2.07	0.06	0.029
7.675	98.3	31.5	1.7	96.6	29.8	3.24	53.76	52.07	66.77	1.71	1.65	2.12	0.05	0.025
7.904	98.4	31.5	1.7	96.7	29.8	3.24	53.79	52.12	66.88	1.71	1.65	2.12	0.05	0.025
8.138	98.1	31.5	2.0	96.1	29.5	3.26	53.69	51.71	66.58	1.70	1.64	2.11	0.06	0.030
8.362	99.3	31.5	1.7	97.6	29.8	3.28	54.10	52.37	67.79	1.72	1.66	2.15	0.05	0.026
8.596	99.5	31.5	1.9	97.6	29.6	3.30	54.16	52.27	67.97	1.72	1.66	2.16	0.06	0.028
8.826	98.6	31.5	1.9	96.7	29.6	3.26	53.87	52.00	67.10	1.71	1.65	2.13	0.06	0.028
9.055	98.8	31.5	1.9	96.9	29.6	3.27	53.93	52.06	67.30	1.71	1.65	2.14	0.06	0.028
9.282	98.7	31.5	1.9	96.8	29.6	3.27	53.90	52.04	67.19	1.71	1.65	2.13	0.06	0.028
9.514	98.9	31.5	1.9	97.0	29.6	3.27	53.96	52.11	67.39	1.71	1.65	2.14	0.06	0.027
9.748	97.5	31.5	1.9	95.7	29.6	3.23	53.50	51.65	66.00	1.70	1.64	2.10	0.06	0.028
9.992	100.0	31.5	1.8	98.2	29.7	3.31	54.34	52.56	68.51	1.72	1.67	2.17	0.06	0.026
10.231	98.6	31.5	2.0	96.6	29.5	3.27	53.85	51.86	67.06	1.71	1.65	2.13	0.06	0.030
10.463	98.7	31.5	2.0	96.7	29.5	3.28	53.90	51.92	67.19	1.71	1.65	2.13	0.06	0.029
10.706	99.5	31.5	1.9	97.6	29.6	3.30	54.17	52.28	68.01	1.72	1.66	2.16	0.06	0.028
10.938	98.5	31.5	2.0	96.4	29.5	3.27	53.82	51.79	66.96	1.71	1.64	2.13	0.06	0.030
11.189	98.1	31.5	2.1	96.1	29.4	3.26	53.71	51.66	66.64	1.71	1.64	2.12	0.07	0.031
11.419	98.9	31.5	2.0	97.0	29.5	3.28	53.98	52.02	67.45	1.71	1.65	2.14	0.06	0.029
11.666	97.9	31.5	2.1	95.8	29.4	3.26	53.64	51.51	66.42	1.70	1.64	2.11	0.07	0.032
11.919	98.6	31.5	2.0	96.6	29.5	3.27	53.85	51.86	67.06	1.71	1.65	2.13	0.06	0.030
12.165	99.5	31.5	2.0	97.5	29.5	3.31	54.18	52.13	68.03	1.72	1.65	2.16	0.07	0.030
12.415	97.2	31.5	2.0	95.1	29.5	3.23	53.39	51.35	65.67	1.69	1.63	2.08	0.06	0.031
12.667	96.5	31.5	2.0	94.5	29.5	3.20	53.16	51.18	64.97	1.69	1.62	2.06	0.06	0.030
12.914	96.3	31.5	2.0	94.3	29.5	3.20	53.11	51.11	64.84	1.69	1.62	2.06	0.06	0.031
13.165	98.3	31.5	2.1	96.1	29.4	3.27	53.75	51.62	66.76	1.71	1.64	2.12	0.07	0.032
13.415	97.2	31.5	2.1	95.1	29.4	3.23	53.40	51.30	65.70	1.70	1.63	2.09	0.07	0.032
13.655	96.6	31.5	2.0	94.7	29.5	3.21	53.21	51.23	65.13	1.69	1.63	2.07	0.06	0.030
13.908	96.5	31.5	1.9	94.6	29.6	3.19	53.17	51.30	65.01	1.69	1.63	2.06	0.06	0.029
14.162	96.3	31.5	2.1	94.1	29.4	3.21	53.09	50.96	64.77	1.69	1.62	2.06	0.07	0.033
14.413	95.7	31.5	2.1	93.6	29.4	3.18	52.90	50.80	64.21	1.68	1.61	2.04	0.07	0.033
14.672	95.6	31.5	2.2	93.4	29.3	3.19	52.86	50.65	64.08	1.68	1.61	2.03	0.07	0.034
14.930	97.3	31.5	2.1	95.2	29.4	3.24	53.44	51.37	65.81	1.70	1.63	2.09	0.07	0.031
15.188	96.2	31.5	2.2	94.0	29.3	3.21	53.08	50.86	64.74	1.69	1.61	2.06	0.07	0.034
15.449	94.4	31.5	2.3	92.1	29.2	3.15	52.46	50.17	62.89	1.67	1.59	2.00	0.07	0.036
15.705	95.8	31.5	2.2	93.5	29.3	3.20	52.92	50.70	64.26	1.68	1.61	2.04	0.07	0.035
15.969	95.4	31.5	2.2	93.2	29.3	3.18	52.81	50.57	63.92	1.68	1.61	2.03	0.07	0.035
16.218	95.4	31.5	2.5	92.9	29.0	3.20	52.79	50.32	63.86	1.68	1.60	2.03	0.08	0.039
16.492	94.3	31.5	2.6	91.8	28.9	3.17	52.44	49.88	62.81	1.66	1.58	1.99	0.08	0.041
16.764	94.5	31.5	2.3	92.1	29.2	3.16	52.49	50.15	62.97	1.67	1.59	2.00	0.07	0.037
17.031	94.6	31.5	2.4	92.2	29.1	3.17	52.55	50.13	63.14	1.67	1.59	2.00	0.08	0.038
17.301	94.5	31.5	2.4	92.1	29.1	3.16	52.49	50.09	62.97	1.67	1.59	2.00	0.08	0.038
17.562	93.3	31.5	2.5	90.8	29.0	3.13	52.08	49.61	61.75	1.65	1.57	1.96	0.08	0.040
17.839	94.8	31.5	2.6	92.2	28.9	3.19	52.61	50.03	63.32	1.67	1.59	2.01	0.08	0.041
18.109	93.0	31.5	2.6	90.4	28.9	3.13	51.99	49.37	61.47	1.65	1.57	1.95	0.08	0.043
18.376	93.5	31.5	2.4	91.0	29.1	3.13	52.16	49.71	61.97	1.66	1.58	1.97	0.08	0.039
18.649	92.9	31.5	2.6	90.3	28.9	3.13	51.96	49.34	61.39	1.65	1.57	1.95	0.08	0.043
18.907	92.7	31.5	2.5	90.1	29.0	3.11	51.89	49.35	61.18	1.65	1.57	1.94	0.08	0.042
19.190	93.3	31.5	2.6	90.8	28.9	3.14	52.10	49.54	61.81	1.65	1.57	1.96	0.08	0.041
19.453	91.8	31.5	2.7	89.1	28.8	3.09	51.61	48.92	60.32	1.64	1.55	1.91	0.09	0.044
19.726	92.5	31.5	2.6	89.9	28.9	3.11	51.83	49.19	60.99	1.65	1.56	1.94	0.08	0.043
19.956	92.0	31.5	2.6	89.4	28.9	3.10	51.67	49.06	60.52	1.64	1.56	1.92	0.08	0.043

GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)																
																
1/2																
Triaxial Shearing																
Loc. No.	1		Location อ.เมือง อ.ป่าพญา อ.เมือง อ.เมือง			Sample No.	29 0		$\Delta v_c =$		47.5	mm ³	$\epsilon_v =$		23.08	%
Test type	CU	without side	Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially		32		kN/m ²		Lc =		97.34		mm
Rate of	0.02 % per min		Operation A.F.W.			Cell Pressure		231.5		kN/m ²		Ac =		1649.71		mm ²
Strain	1.2 % per hour		Consolidated Length			Back Pressure		200		kN/m ²		Vc =		158.14		mm ³
Membranes 1 x 0.2	mm		Consolidated Area			Consolidated Volume		158.141		cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (ΔT)				
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A		
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-		
0.007	32.1	31.5	0.0	32.1	31.5	1.02	31.70	31.67	0.61	1.01	1.01	0.02	0.00	0.052		
0.007	33.0	31.5	0.1	32.9	31.4	1.05	31.99	31.93	1.47	1.02	1.01	0.05	0.00	0.043		
0.009	35.2	31.5	0.0	35.2	31.5	1.12	32.72	32.71	3.67	1.04	1.04	0.12	0.00	0.004		
0.018	39.1	31.5	0.1	39.0	31.4	1.24	34.03	33.97	7.59	1.08	1.08	0.24	0.00	0.008		
0.016	41.3	31.5	0.2	41.2	31.3	1.31	34.78	34.61	9.84	1.10	1.10	0.31	0.01	0.018		
0.009	43.6	31.5	0.1	43.5	31.4	1.39	35.54	35.42	12.13	1.13	1.12	0.39	0.00	0.010		
0.016	44.8	31.5	0.1	44.7	31.4	1.42	35.94	35.83	13.31	1.14	1.14	0.42	0.00	0.008		
0.034	45.5	31.5	0.3	45.2	31.2	1.45	36.16	35.88	13.99	1.15	1.14	0.44	0.01	0.020		
0.025	48.5	31.5	0.4	48.1	31.1	1.55	37.16	36.75	16.98	1.18	1.17	0.54	0.01	0.024		
0.032	50.3	31.5	0.5	49.8	31.0	1.61	37.77	37.24	18.81	1.20	1.18	0.60	0.02	0.028		
0.044	52.7	31.5	0.8	51.9	30.7	1.69	38.57	37.77	21.22	1.22	1.20	0.67	0.03	0.038		
0.053	55.9	31.5	1.1	54.9	30.4	1.80	39.65	38.58	24.45	1.26	1.22	0.78	0.03	0.044		
0.060	59.1	31.5	1.4	57.7	30.1	1.92	40.70	39.30	27.59	1.29	1.25	0.88	0.04	0.051		
0.085	63.3	31.5	2.0	61.3	29.5	2.08	42.09	40.10	31.77	1.34	1.27	1.01	0.06	0.063		
0.126	62.4	31.5	3.2	59.3	28.3	2.09	41.81	38.64	30.93	1.33	1.23	0.98	0.10	0.102		
0.177	64.0	31.5	4.2	59.8	27.3	2.19	42.33	38.18	32.49	1.34	1.21	1.03	0.13	0.128		
0.266	65.4	31.5	5.2	60.2	26.3	2.29	42.80	37.61	33.91	1.36	1.19	1.08	0.16	0.153		
0.356	66.7	31.5	5.9	60.8	25.6	2.37	43.23	37.37	35.20	1.37	1.19	1.12	0.19	0.167		
0.475	68.1	31.5	6.4	61.7	25.1	2.46	43.71	37.31	36.63	1.39	1.18	1.16	0.20	0.175		
0.576	68.8	31.5	6.8	62.0	24.7	2.51	43.93	37.10	37.30	1.39	1.18	1.18	0.22	0.183		
0.700	70.0	31.5	7.2	62.8	24.3	2.58	44.33	37.16	38.48	1.41	1.18	1.22	0.23	0.186		
0.845	71.5	31.5	7.4	64.1	24.1	2.66	44.84	37.40	40.01	1.42	1.19	1.27	0.24	0.186		
1.005	71.9	31.5	7.3	64.6	24.2	2.67	44.96	37.70	40.39	1.43	1.20	1.28	0.23	0.180		
1.191	73.5	31.5	7.4	66.1	24.1	2.74	45.50	38.10	42.00	1.44	1.21	1.33	0.23	0.176		
1.373	74.8	31.5	7.6	67.2	23.9	2.81	45.93	38.34	43.29	1.46	1.22	1.37	0.24	0.175		
1.582	76.2	31.5	7.7	68.5	23.8	2.88	46.40	38.67	44.71	1.47	1.23	1.42	0.25	0.173		
1.786	77.1	31.5	7.9	69.3	23.6	2.93	46.72	38.85	45.65	1.48	1.23	1.45	0.25	0.172		
1.990	78.2	31.5	8.0	70.2	23.5	2.99	47.08	39.08	46.74	1.49	1.24	1.48	0.25	0.171		
2.199	78.6	31.5	7.7	70.9	23.8	2.98	47.21	39.52	47.14	1.50	1.25	1.50	0.24	0.163		
2.390	79.9	31.5	7.7	72.2	23.8	3.03	47.62	39.97	48.36	1.51	1.27	1.54	0.24	0.158		
2.608	80.8	31.5	7.8	73.1	23.7	3.08	47.95	40.17	49.35	1.52	1.28	1.57	0.25	0.158		
2.817	81.5	31.5	7.8	73.7	23.7	3.11	48.17	40.35	50.02	1.53	1.28	1.59	0.25	0.156		
3.039	81.9	31.5	8.0	73.9	23.5	3.14	48.29	40.32	50.36	1.53	1.28	1.60	0.25	0.158		
3.262	82.8	31.5	7.4	75.4	24.1	3.13	48.61	41.23	51.33	1.54	1.31	1.63	0.23	0.144		
3.496	83.0	31.5	7.4	75.5	24.1	3.14	48.65	41.22	51.46	1.54	1.31	1.63	0.24	0.144		
3.735	83.0	31.5	7.4	75.6	24.1	3.14	48.67	41.22	51.51	1.55	1.31	1.64	0.24	0.145		
3.980	83.3	31.5	7.4	75.9	24.1	3.15	48.77	41.37	51.82	1.55	1.31	1.65	0.23	0.143		
4.235	83.5	31.5	7.4	76.1	24.1	3.16	48.83	41.40	52.00	1.55	1.31	1.65	0.24	0.143		
4.476	84.3	31.5	6.9	77.5	24.6	3.14	49.11	42.26	52.82	1.56	1.34	1.68	0.22	0.130		
4.724	83.9	31.5	6.6	77.3	24.9	3.11	48.97	42.33	52.42	1.55	1.34	1.66	0.21	0.127		
4.974	83.3	31.5	6.5	76.8	25.0	3.07	48.78	42.29	51.83	1.55	1.34	1.65	0.21	0.125		
5.211	83.3	31.5	6.5	76.8	25.0	3.08	48.78	42.24	51.83	1.55	1.34	1.65	0.21	0.126		
5.461	83.1	31.5	6.6	76.5	24.9	3.07	48.70	42.13	51.59	1.55	1.34	1.64	0.21	0.127		
5.711	83.0	31.5	6.5	76.6	25.0	3.06	48.68	42.20	51.54	1.55	1.34	1.64	0.21	0.126		
5.961	83.8	31.5	6.6	77.2	24.9	3.10	48.93	42.35	52.29	1.55	1.34	1.66	0.21	0.126		
6.189	83.5	31.5	6.5	77.0	25.0	3.08	48.84	42.34	52.03	1.55	1.34	1.65	0.21	0.125		


Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.450	83.6	31.5	6.6	77.0	24.9	3.09	48.86	42.24	52.08	1.55	1.34	1.65	0.21	0.127
6.719	84.0	31.5	6.5	77.6	25.0	3.10	49.01	42.54	52.54	1.56	1.35	1.67	0.21	0.123
6.983	84.0	31.5	6.6	77.4	24.9	3.11	48.99	42.40	52.47	1.56	1.35	1.67	0.21	0.125
7.252	84.3	31.5	6.6	77.7	24.9	3.12	49.12	42.50	52.85	1.56	1.35	1.68	0.21	0.125
7.520	84.1	31.5	6.7	77.4	24.8	3.12	49.04	42.36	52.62	1.56	1.34	1.67	0.21	0.127
7.789	84.4	31.5	6.7	77.7	24.8	3.13	49.14	42.43	52.92	1.56	1.35	1.68	0.21	0.127
8.055	83.8	31.5	6.0	77.8	25.5	3.05	48.93	42.94	52.28	1.55	1.36	1.66	0.19	0.115
8.319	83.0	31.5	6.0	77.0	25.5	3.02	48.65	42.68	51.45	1.54	1.35	1.63	0.19	0.116
8.572	83.3	31.5	5.9	77.4	25.6	3.03	48.78	42.85	51.84	1.55	1.36	1.65	0.19	0.114
8.854	82.9	31.5	5.9	77.0	25.6	3.01	48.63	42.75	51.38	1.54	1.36	1.63	0.19	0.114
9.120	82.4	31.5	6.0	76.5	25.5	3.00	48.48	42.50	50.93	1.54	1.35	1.62	0.19	0.117
9.380	82.0	31.5	5.9	76.1	25.6	2.97	48.33	42.40	50.49	1.53	1.35	1.60	0.19	0.117
9.637	81.5	31.5	6.0	75.5	25.5	2.96	48.16	42.15	49.97	1.53	1.34	1.59	0.19	0.120
9.919	81.6	31.5	6.0	75.5	25.5	2.97	48.19	42.15	50.07	1.53	1.34	1.59	0.19	0.121
10.194	81.5	31.5	5.5	76.0	26.0	2.92	48.17	42.67	50.02	1.53	1.35	1.59	0.17	0.110
10.461	81.1	31.5	5.4	75.7	26.1	2.90	48.02	42.66	49.57	1.52	1.35	1.57	0.17	0.108
10.741	81.0	31.5	5.4	75.6	26.1	2.89	47.99	42.63	49.48	1.52	1.35	1.57	0.17	0.108
11.030	81.4	31.5	5.4	75.9	26.1	2.91	48.12	42.71	49.86	1.53	1.36	1.58	0.17	0.108
11.322	82.0	31.5	5.5	76.5	26.0	2.94	48.33	42.85	50.48	1.53	1.36	1.60	0.17	0.108
11.602	81.2	31.5	5.5	75.7	26.0	2.91	48.07	42.53	49.70	1.53	1.35	1.58	0.18	0.111
11.898	81.3	31.5	5.6	75.7	25.9	2.92	48.10	42.47	49.80	1.53	1.35	1.58	0.18	0.113
12.171	80.7	31.5	5.7	74.9	25.8	2.91	47.89	42.15	49.17	1.52	1.34	1.56	0.18	0.117
12.465	80.8	31.5	5.8	75.0	25.7	2.92	47.93	42.16	49.28	1.52	1.34	1.56	0.18	0.117
12.749	79.9	31.5	5.9	74.0	25.6	2.89	47.63	41.72	48.39	1.51	1.32	1.54	0.19	0.122
13.032	80.1	31.5	5.1	75.0	26.4	2.84	47.69	42.61	48.58	1.51	1.35	1.54	0.16	0.105
13.309	79.5	31.5	5.0	74.6	26.5	2.81	47.51	42.55	48.02	1.51	1.35	1.52	0.16	0.103
13.613	79.5	31.5	5.0	74.6	26.5	2.81	47.52	42.55	48.05	1.51	1.35	1.53	0.16	0.103
13.893	79.0	31.5	5.0	73.9	26.5	2.79	47.32	42.30	47.45	1.50	1.34	1.51	0.16	0.106
14.186	78.9	31.5	5.1	73.8	26.4	2.79	47.29	42.21	47.38	1.50	1.34	1.50	0.16	0.107
14.473	78.5	31.5	5.2	73.3	26.3	2.79	47.18	41.97	47.03	1.50	1.33	1.49	0.17	0.111
14.756	78.8	31.5	5.3	73.5	26.2	2.80	47.26	42.01	47.28	1.50	1.33	1.50	0.17	0.111
15.045	78.4	31.5	5.3	73.1	26.2	2.79	47.14	41.81	46.92	1.50	1.33	1.49	0.17	0.114
15.330	78.4	31.5	5.5	72.9	26.0	2.80	47.13	41.67	46.89	1.50	1.32	1.49	0.17	0.116
15.623	78.0	31.5	5.6	72.3	25.9	2.80	46.99	41.36	46.46	1.49	1.31	1.47	0.18	0.121
15.913	78.0	31.5	5.7	72.3	25.8	2.80	47.01	41.33	46.52	1.49	1.31	1.48	0.18	0.122
16.204	78.2	31.5	5.8	72.4	25.7	2.82	47.06	41.23	46.68	1.49	1.31	1.48	0.19	0.125
16.489	77.4	31.5	5.8	71.5	25.7	2.79	46.79	40.95	45.86	1.49	1.30	1.46	0.19	0.127
16.776	77.0	31.5	5.9	71.1	25.6	2.78	46.67	40.73	45.51	1.48	1.29	1.44	0.19	0.131
17.067	77.4	31.5	6.1	71.4	25.4	2.81	46.81	40.74	45.93	1.49	1.29	1.46	0.19	0.132
17.352	77.2	31.5	5.6	71.5	25.9	2.76	46.72	41.09	45.65	1.48	1.30	1.45	0.18	0.123
17.641	77.1	31.5	5.6	71.5	25.9	2.76	46.71	41.12	45.64	1.48	1.31	1.45	0.18	0.123
17.928	76.4	31.5	5.6	70.8	25.9	2.74	46.47	40.86	44.92	1.48	1.30	1.43	0.18	0.125
18.208	76.4	31.5	5.1	71.3	26.4	2.70	46.47	41.34	44.91	1.48	1.31	1.43	0.16	0.114
18.504	76.5	31.5	5.3	71.2	26.2	2.71	46.49	41.23	44.96	1.48	1.31	1.43	0.17	0.117
18.789	76.8	31.5	5.2	71.7	26.3	2.72	46.61	41.44	45.34	1.48	1.32	1.44	0.16	0.114
19.078	76.9	31.5	5.3	71.6	26.2	2.73	46.62	41.35	45.35	1.48	1.31	1.44	0.17	0.116
19.361	77.0	31.5	5.3	71.7	26.2	2.73	46.65	41.37	45.46	1.48	1.31	1.44	0.17	0.116
19.657	77.2	31.5	5.3	71.9	26.2	2.75	46.74	41.43	45.73	1.48	1.32	1.45	0.17	0.116
19.941	76.8	31.5	5.3	71.5	26.2	2.73	46.61	41.27	45.34	1.48	1.31	1.44	0.17	0.118

 GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมือง จ.สงขลา อ.ปรางค์กู่ อ.นบพิตำ อ.นาทวี อ.นบพิตำ อ.นบพิตำ อ.นบพิตำ			Sample No 30 /1			$\Delta v_c =$ 51.1 mm ³			$\epsilon_v =$ 24.08 %			
Loc. No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 32 kN/m ²			Lc = 98.66 mm			(1/3) $\epsilon_v =$ 8.03 %			
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure 231.5 kN/m ²			Ac = 1662.67 mm ²			(2/3) $\epsilon_v =$ 16.05 %			
Rate of	0.075 % per min		Consolidated Length 98.66 mm			Back Pressure 200 kN/m ²			Vc = 161.30 mm ³			shear temp 60 C°			
Strain	4.5 % per hour		Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Area 1662.67 mm ²			Consolidated Volume 161.30 cm ³			Undrained excess pwp due to change temp. (Δt) 0.719817 kPa			
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.002	37.0	31.5	0.0	37.0	31.5	1.18	33.34	33.34	5.51	1.06	1.06	0.18	0.00	0.000	
0.002	38.7	31.5	0.1	38.6	31.4	1.23	33.90	33.76	7.20	1.08	1.07	0.23	0.00	0.019	
0.010	35.7	31.5	0.2	35.5	31.3	1.13	32.90	32.69	4.20	1.04	1.04	0.13	0.01	0.051	
0.015	36.8	31.5	0.3	36.5	31.2	1.17	33.27	33.00	5.32	1.06	1.05	0.17	0.01	0.052	
0.021	37.7	31.5	0.5	37.1	31.0	1.20	33.56	33.02	6.17	1.07	1.05	0.20	0.02	0.087	
0.038	39.6	31.5	0.4	39.3	31.1	1.26	34.21	33.85	8.13	1.09	1.07	0.26	0.01	0.044	
0.060	40.0	31.5	1.0	39.0	30.5	1.28	34.32	33.33	8.46	1.09	1.06	0.27	0.03	0.118	
0.081	41.9	31.5	1.4	40.5	30.1	1.35	34.97	33.57	10.40	1.11	1.07	0.33	0.04	0.135	
0.114	43.5	31.5	1.8	41.7	29.7	1.40	35.50	33.68	12.00	1.13	1.07	0.38	0.06	0.151	
0.154	45.2	31.5	2.4	42.8	29.1	1.47	36.07	33.70	13.70	1.14	1.07	0.43	0.08	0.173	
0.191	47.1	31.5	2.6	44.5	28.9	1.54	36.70	34.05	15.60	1.17	1.08	0.50	0.08	0.170	
0.233	47.6	31.5	2.7	44.9	28.8	1.56	36.86	34.19	16.09	1.17	1.09	0.51	0.08	0.166	
0.254	48.5	31.5	3.0	45.5	28.5	1.60	37.18	34.14	17.05	1.18	1.08	0.54	0.10	0.178	
0.299	48.8	31.5	3.5	45.3	28.0	1.62	37.28	33.74	17.34	1.18	1.07	0.55	0.11	0.204	
0.374	50.5	31.5	4.3	46.1	27.2	1.70	37.82	33.48	18.96	1.20	1.06	0.60	0.14	0.229	
0.453	52.1	31.5	5.0	47.1	26.5	1.78	38.37	33.35	20.61	1.22	1.06	0.65	0.16	0.244	
0.554	52.9	31.5	5.2	47.8	26.3	1.81	38.65	33.46	21.44	1.23	1.06	0.68	0.16	0.242	
0.701	54.2	31.5	5.7	48.5	25.8	1.88	39.06	33.40	22.68	1.24	1.06	0.72	0.18	0.250	
0.849	55.9	31.5	6.4	49.5	25.1	1.97	39.62	33.24	24.36	1.26	1.06	0.77	0.20	0.262	
1.013	56.4	31.5	7.0	49.4	24.5	2.02	39.80	32.79	24.89	1.26	1.04	0.79	0.22	0.282	
1.187	57.6	31.5	7.2	50.4	24.3	2.08	40.20	32.96	26.09	1.28	1.05	0.83	0.23	0.277	
1.370	58.9	31.5	7.4	51.5	24.1	2.14	40.62	33.22	27.35	1.29	1.05	0.87	0.23	0.271	
1.563	61.4	31.5	8.0	53.5	23.5	2.27	41.48	33.50	29.94	1.32	1.06	0.95	0.25	0.266	
1.764	61.2	31.5	8.0	53.2	23.5	2.27	41.41	33.38	29.73	1.31	1.06	0.94	0.25	0.270	
1.978	64.6	31.5	8.2	56.4	23.3	2.42	42.52	34.36	33.06	1.35	1.09	1.05	0.26	0.247	
2.200	65.9	31.5	8.3	57.6	23.2	2.48	42.96	34.70	34.38	1.36	1.10	1.09	0.26	0.240	
2.434	64.9	31.5	8.2	56.7	23.3	2.44	42.64	34.42	33.42	1.35	1.09	1.06	0.26	0.246	
2.667	66.6	31.5	8.3	58.4	23.2	2.51	43.21	34.94	35.12	1.37	1.11	1.12	0.26	0.235	
2.899	67.3	31.5	8.2	59.1	23.3	2.54	43.44	35.19	35.83	1.38	1.12	1.14	0.26	0.230	
3.133	70.0	31.5	8.3	61.8	23.2	2.66	44.34	36.08	38.52	1.41	1.15	1.22	0.26	0.214	
3.367	68.7	31.5	8.2	60.5	23.3	2.60	43.91	35.67	37.23	1.39	1.13	1.18	0.26	0.221	
3.598	70.1	31.5	8.1	62.0	23.4	2.65	44.37	36.25	38.60	1.41	1.15	1.23	0.26	0.210	
3.833	72.1	31.5	8.2	63.9	23.3	2.75	45.03	36.80	40.60	1.43	1.17	1.29	0.26	0.203	
4.060	72.3	31.5	8.0	64.3	23.5	2.74	45.12	37.11	40.85	1.43	1.18	1.30	0.25	0.196	
4.296	73.3	31.5	8.0	65.3	23.5	2.78	45.44	37.43	41.81	1.44	1.19	1.33	0.25	0.191	
4.529	74.0	31.5	7.9	66.1	23.6	2.80	45.66	37.75	42.48	1.45	1.20	1.35	0.25	0.186	
4.762	74.6	31.5	7.9	66.7	23.6	2.82	45.86	38.00	43.09	1.46	1.21	1.37	0.25	0.182	
4.998	74.9	31.5	7.8	67.2	23.7	2.83	45.98	38.20	43.44	1.46	1.21	1.38	0.25	0.179	
5.227	76.1	31.5	7.7	68.4	23.8	2.88	46.36	38.63	44.59	1.47	1.23	1.42	0.25	0.173	
5.464	76.3	31.5	7.6	68.7	23.9	2.87	46.43	38.84	44.79	1.47	1.23	1.42	0.24	0.169	
5.698	77.4	31.5	7.6	69.9	23.9	2.92	46.81	39.24	45.93	1.49	1.25	1.46	0.24	0.165	
5.928	77.8	31.5	7.4	70.4	24.1	2.92	46.94	39.52	46.33	1.49	1.25	1.47	0.24	0.160	
6.163	79.3	31.5	7.3	72.0	24.2	2.97	47.42	40.12	47.75	1.51	1.27	1.52	0.23	0.153	
6.396	79.4	31.5	7.2	72.2	24.3	2.97	47.45	40.29	47.86	1.51	1.28	1.52	0.23	0.150	
6.630	79.7	31.5	7.1	72.6	24.4	2.97	47.57	40.48	48.21	1.51	1.29	1.53	0.22	0.147	
6.863	80.9	31.5	6.8	74.1	24.7	3.00	47.96	41.19	49.38	1.52	1.31	1.57	0.21	0.137	

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
7.094	81.0	31.5	6.7	74.3	24.8	3.00	48.00	41.29	49.50	1.52	1.31	1.57	0.21	0.136
7.326	84.0	31.5	6.6	77.3	24.9	3.11	48.99	42.35	52.46	1.56	1.34	1.67	0.21	0.126
7.559	81.6	31.5	6.5	75.1	25.0	3.00	48.20	41.72	50.09	1.53	1.32	1.59	0.21	0.129
7.796	83.5	31.5	6.6	76.9	24.9	3.09	48.84	42.20	52.03	1.55	1.34	1.65	0.21	0.128
8.029	83.7	31.5	6.4	77.3	25.1	3.08	48.89	42.53	52.17	1.55	1.35	1.66	0.20	0.122
8.262	84.0	31.5	6.2	77.8	25.3	3.08	49.01	42.80	52.52	1.56	1.36	1.67	0.20	0.118
8.492	85.2	31.5	6.1	79.1	25.4	3.12	49.40	43.26	53.71	1.57	1.37	1.70	0.20	0.114
8.729	85.7	31.5	6.0	79.7	25.5	3.13	49.57	43.57	54.20	1.57	1.38	1.72	0.19	0.111
8.961	85.4	31.5	6.1	79.4	25.4	3.12	49.48	43.41	53.94	1.57	1.38	1.71	0.19	0.113
9.195	86.0	31.5	5.9	80.1	25.6	3.13	49.67	43.75	54.50	1.58	1.39	1.73	0.19	0.109
9.428	86.5	31.5	5.8	80.7	25.7	3.14	49.84	44.03	55.03	1.58	1.40	1.75	0.18	0.106
9.661	86.4	31.5	6.1	80.3	25.4	3.17	49.81	43.67	54.93	1.58	1.39	1.74	0.19	0.112
9.904	86.3	31.5	5.8	80.5	25.7	3.13	49.78	43.98	54.84	1.58	1.40	1.74	0.18	0.106
10.147	88.0	31.5	6.1	81.9	25.4	3.22	50.32	44.23	56.46	1.60	1.40	1.79	0.19	0.108
10.388	87.9	31.5	6.0	81.9	25.5	3.21	50.31	44.30	56.42	1.60	1.41	1.79	0.19	0.107
10.632	88.9	31.5	6.0	82.9	25.5	3.25	50.62	44.63	57.37	1.61	1.42	1.82	0.19	0.104
10.876	88.5	31.5	5.9	82.6	25.6	3.22	50.50	44.64	57.00	1.60	1.42	1.81	0.19	0.103
11.119	89.0	31.5	5.6	83.3	25.9	3.22	50.66	45.02	57.47	1.61	1.43	1.82	0.18	0.098
11.360	88.2	31.5	5.6	82.6	25.9	3.19	50.40	44.82	56.71	1.60	1.42	1.80	0.18	0.099
11.607	89.3	31.5	5.5	83.8	26.0	3.22	50.76	45.27	57.79	1.61	1.44	1.83	0.17	0.095
11.848	91.0	31.5	5.3	85.7	26.2	3.28	51.34	45.99	59.52	1.63	1.46	1.89	0.17	0.090
12.101	90.0	31.5	5.5	84.5	26.0	3.25	51.00	45.55	58.50	1.62	1.45	1.86	0.17	0.093
12.357	89.7	31.5	5.5	84.2	26.0	3.23	50.89	45.43	58.16	1.62	1.44	1.85	0.17	0.094
12.610	89.8	31.5	5.4	84.4	26.1	3.23	50.94	45.53	58.31	1.62	1.45	1.85	0.17	0.093
12.863	90.7	31.5	5.5	85.2	26.0	3.27	51.22	45.77	59.16	1.63	1.45	1.88	0.17	0.092
13.115	90.3	31.5	5.6	84.7	25.9	3.27	51.09	45.48	58.78	1.62	1.44	1.87	0.18	0.095
13.370	91.2	31.5	5.5	85.6	26.0	3.30	51.39	45.86	59.66	1.63	1.46	1.89	0.18	0.093
13.621	91.7	31.5	5.4	86.3	26.1	3.31	51.58	46.16	60.23	1.64	1.47	1.91	0.17	0.090
13.877	91.9	31.5	5.2	86.7	26.3	3.29	51.62	46.44	60.36	1.64	1.47	1.92	0.16	0.086
14.129	91.5	31.5	5.4	86.0	26.1	3.30	51.48	46.05	59.95	1.63	1.46	1.90	0.17	0.091
14.384	91.6	31.5	5.6	86.0	25.9	3.32	51.55	45.92	60.14	1.64	1.46	1.91	0.18	0.094
14.634	92.1	31.5	5.3	86.8	26.2	3.31	51.69	46.37	60.58	1.64	1.47	1.92	0.17	0.088
14.900	92.8	31.5	5.7	87.1	25.8	3.38	51.93	46.23	61.30	1.65	1.47	1.95	0.18	0.093
15.165	91.3	31.5	5.2	86.1	26.3	3.28	51.44	46.20	59.83	1.63	1.47	1.90	0.17	0.088
15.428	91.8	31.5	5.2	86.7	26.3	3.29	51.60	46.45	60.31	1.64	1.47	1.91	0.16	0.085
15.692	91.0	31.5	5.1	85.9	26.4	3.25	51.33	46.26	59.48	1.63	1.47	1.89	0.16	0.085
15.952	91.5	31.5	5.1	86.4	26.4	3.27	51.50	46.42	59.99	1.63	1.47	1.90	0.16	0.085
16.218	90.5	31.5	5.0	85.5	26.5	3.23	51.17	46.17	59.02	1.62	1.47	1.87	0.16	0.085
16.479	90.8	31.5	5.3	85.4	26.2	3.27	51.26	45.91	59.28	1.63	1.46	1.88	0.17	0.090
16.754	90.1	31.5	5.3	84.9	26.2	3.24	51.05	45.78	58.64	1.62	1.45	1.86	0.17	0.090
17.023	90.2	31.5	5.0	85.1	26.5	3.22	51.05	46.02	58.66	1.62	1.46	1.86	0.16	0.086
17.303	89.0	31.5	5.0	84.0	26.5	3.17	50.66	45.66	57.48	1.61	1.45	1.82	0.16	0.087
17.573	89.0	31.5	4.9	84.1	26.6	3.16	50.67	45.78	57.50	1.61	1.45	1.83	0.16	0.085
17.847	88.9	31.5	4.5	84.4	27.0	3.13	50.64	46.13	57.41	1.61	1.46	1.82	0.14	0.079
18.120	88.6	31.5	4.6	84.1	26.9	3.12	50.55	45.98	57.15	1.60	1.46	1.81	0.14	0.080
18.398	88.6	31.5	4.9	83.7	26.6	3.15	50.53	45.59	57.09	1.60	1.45	1.81	0.16	0.086
18.669	87.6	31.5	4.7	82.8	26.8	3.09	50.19	45.46	56.06	1.59	1.44	1.78	0.15	0.084
18.945	88.5	31.5	4.7	83.8	26.8	3.13	50.49	45.80	56.98	1.60	1.45	1.81	0.15	0.082
19.219	89.0	31.5	4.6	84.4	26.9	3.14	50.67	46.02	57.50	1.61	1.46	1.83	0.15	0.081
19.491	87.9	31.5	4.6	83.3	26.9	3.10	50.31	45.70	56.43	1.60	1.45	1.79	0.15	0.082
19.765	88.5	31.5	4.6	83.9	26.9	3.12	50.50	45.90	56.99	1.60	1.46	1.81	0.15	0.081

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</p> <p style="text-align: center;">TRIAXIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจ.ปทุมธานี อ.เมืองจ.นครศรีธรรมราช			Sample No 31 0			$\Delta v_c =$ 45.1 mm ³		$\epsilon_v =$ 21.57 %				
Loc.No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially			32 kN/m ²		Lc = 97.99 mm		(1/3) $\epsilon_v =$ 7.19 %		
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure			231.5 kN/m ²		Ac = 1694.07 mm ²		(2/3) $\epsilon_v =$ 14.38 %		
Rate of	1 % per min		Consolidated Length 97.99 mm			Back Pressure			200 kN/m ²		Vc = 163.85 mm ³		shear temp 60 C°		
Strain	60.0 % per hour		Membranes 1 x 0.2 mm			Consolidated Volume			163.845 cm ³		Undrained excess pwp due to change temp. (Δu)		-0.56 kPa		
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p'/ σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/ σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/ σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A	
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.011	32.8	31.5	0.0	32.8	31.5	1.04	31.93	31.93	1.30	1.01	1.01	0.04	0.00	0.000	
-0.005	35.0	31.5	0.5	34.5	31.0	1.11	32.68	32.15	3.54	1.04	1.02	0.11	0.02	0.150	
0.007	39.5	31.5	0.6	38.9	30.9	1.26	34.15	33.55	7.96	1.08	1.07	0.25	0.02	0.075	
0.007	40.1	31.5	1.1	39.0	30.4	1.28	34.37	33.25	8.60	1.09	1.06	0.27	0.04	0.130	
0.020	44.4	31.5	1.5	42.9	30.1	1.43	35.80	34.35	12.89	1.14	1.09	0.41	0.05	0.112	
0.041	49.9	31.5	1.5	48.4	30.0	1.61	37.64	36.17	18.41	1.19	1.15	0.58	0.05	0.080	
0.062	50.4	31.5	1.9	48.5	29.6	1.64	37.80	35.94	18.89	1.20	1.14	0.60	0.06	0.098	
0.080	52.6	31.5	2.2	50.4	29.3	1.72	38.54	36.29	21.11	1.22	1.15	0.67	0.07	0.106	
0.111	53.0	31.5	2.5	50.5	29.0	1.74	38.67	36.15	21.52	1.23	1.15	0.68	0.08	0.117	
0.150	56.9	31.5	3.3	53.6	28.2	1.90	39.96	36.66	25.37	1.27	1.16	0.81	0.10	0.130	
0.189	56.9	31.5	2.7	54.2	28.8	1.88	39.96	37.24	25.37	1.27	1.18	0.81	0.09	0.107	
0.232	60.2	31.5	2.6	57.6	28.9	1.99	41.06	38.44	28.69	1.30	1.22	0.91	0.08	0.092	
0.251	62.4	31.5	3.4	59.0	28.1	2.10	41.80	38.40	30.89	1.33	1.22	0.98	0.11	0.110	
0.306	65.4	31.5	3.5	61.9	28.0	2.21	42.80	39.27	33.90	1.36	1.25	1.08	0.11	0.104	
0.379	67.2	31.5	3.5	63.7	28.0	2.28	43.41	39.86	35.73	1.38	1.27	1.13	0.11	0.099	
0.459	66.4	31.5	4.1	62.3	27.4	2.27	43.12	39.04	34.86	1.37	1.24	1.11	0.13	0.117	
0.556	71.9	31.5	4.5	67.4	27.0	2.49	44.95	40.47	40.36	1.43	1.28	1.28	0.14	0.111	
0.702	73.8	31.5	5.2	68.6	26.3	2.61	45.60	40.36	42.31	1.45	1.28	1.34	0.17	0.124	
0.855	75.4	31.5	6.0	69.4	25.5	2.72	46.14	40.11	43.92	1.46	1.27	1.39	0.19	0.137	
1.015	75.3	31.5	6.6	68.7	24.9	2.75	46.09	39.54	43.77	1.46	1.26	1.39	0.21	0.150	
1.192	78.2	31.5	6.9	71.3	24.6	2.89	47.06	40.20	46.68	1.49	1.28	1.48	0.22	0.147	
1.376	79.0	31.5	7.2	71.8	24.3	2.95	47.34	40.17	47.51	1.50	1.28	1.51	0.23	0.151	
1.572	83.8	31.5	7.3	76.5	24.2	3.16	48.94	41.63	52.32	1.55	1.32	1.66	0.23	0.140	
1.774	82.5	31.5	7.5	75.1	24.0	3.12	48.51	41.05	51.02	1.54	1.30	1.62	0.24	0.146	
1.989	83.3	31.5	7.6	75.7	23.9	3.16	48.77	41.21	51.80	1.55	1.31	1.64	0.24	0.146	
2.215	85.7	31.5	7.5	78.2	24.0	3.26	49.57	42.09	54.22	1.57	1.34	1.72	0.24	0.138	
2.448	87.8	31.5	7.5	80.2	24.0	3.35	50.25	42.73	56.26	1.60	1.36	1.79	0.24	0.134	
2.680	88.9	31.5	7.4	81.5	24.1	3.38	50.62	43.26	57.35	1.61	1.37	1.82	0.23	0.128	
2.919	90.0	31.5	7.3	82.7	24.2	3.42	50.99	43.67	58.47	1.62	1.39	1.86	0.23	0.125	
3.153	87.3	31.5	7.2	80.0	24.3	3.30	50.10	42.85	55.79	1.59	1.36	1.77	0.23	0.130	
3.389	91.6	31.5	7.2	84.4	24.3	3.48	51.55	44.34	60.14	1.64	1.41	1.91	0.23	0.120	
3.623	91.4	31.5	7.2	84.2	24.3	3.46	51.45	44.29	59.86	1.63	1.41	1.90	0.23	0.120	
3.859	92.4	31.5	7.2	85.2	24.3	3.51	51.81	44.62	60.94	1.64	1.42	1.93	0.23	0.118	
4.086	92.5	31.5	6.9	85.6	24.6	3.48	51.84	44.91	61.03	1.65	1.43	1.94	0.22	0.114	
4.327	94.0	31.5	6.8	87.2	24.7	3.53	52.33	45.50	62.49	1.66	1.44	1.98	0.22	0.109	
4.560	95.2	31.5	6.8	88.4	24.7	3.58	52.73	45.94	63.69	1.67	1.46	2.02	0.22	0.107	
4.797	95.1	31.5	6.8	88.4	24.7	3.57	52.71	45.95	63.62	1.67	1.46	2.02	0.21	0.106	
5.031	94.2	31.5	6.7	87.5	24.8	3.53	52.40	45.67	62.69	1.66	1.45	1.99	0.21	0.107	
5.268	96.1	31.5	6.9	89.1	24.6	3.63	53.02	46.10	64.57	1.68	1.46	2.05	0.22	0.107	
5.494	94.2	31.5	6.6	87.5	24.9	3.52	52.38	45.75	62.65	1.66	1.45	1.99	0.21	0.106	
5.736	96.9	31.5	6.8	90.1	24.7	3.65	53.29	46.50	65.38	1.69	1.48	2.08	0.22	0.104	
5.970	95.7	31.5	6.8	89.0	24.7	3.60	52.91	46.13	64.24	1.68	1.46	2.04	0.22	0.106	
6.201	95.8	31.5	6.8	89.0	24.7	3.61	52.95	46.13	64.34	1.68	1.46	2.04	0.22	0.106	
6.434	97.1	31.5	6.9	90.2	24.6	3.66	53.36	46.47	65.57	1.69	1.48	2.08	0.22	0.105	
6.660	97.6	31.5	6.8	90.8	24.7	3.67	53.53	46.76	66.08	1.70	1.48	2.10	0.21	0.102	
6.907	96.0	31.5	6.8	89.2	24.7	3.61	53.01	46.20	64.53	1.68	1.47	2.05	0.22	0.106	

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, q ; $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
7.138	96.0	31.5	6.7	89.2	24.8	3.60	52.98	46.27	64.45	1.68	1.47	2.05	0.21	0.104
7.377	97.9	31.5	6.6	91.3	24.9	3.66	53.62	47.04	66.36	1.70	1.49	2.11	0.21	0.099
7.611	95.8	31.5	6.4	89.4	25.1	3.56	52.93	46.50	64.28	1.68	1.48	2.04	0.20	0.100
7.848	97.9	31.5	6.4	91.5	25.1	3.64	53.63	47.23	66.38	1.70	1.50	2.11	0.20	0.096
8.079	99.0	31.5	6.3	92.7	25.2	3.68	54.00	47.69	67.51	1.71	1.51	2.14	0.20	0.093
8.318	97.7	31.5	6.2	91.5	25.3	3.62	53.57	47.36	66.20	1.70	1.50	2.10	0.20	0.094
8.550	99.3	31.5	6.0	93.3	25.5	3.66	54.10	48.12	67.81	1.72	1.53	2.15	0.19	0.088
8.785	98.6	31.5	5.5	93.1	26.0	3.59	53.88	48.34	67.14	1.71	1.53	2.13	0.18	0.082
9.022	98.3	31.5	5.5	92.8	26.0	3.56	53.76	48.31	66.77	1.71	1.53	2.12	0.17	0.082
9.254	97.2	31.5	5.3	91.9	26.2	3.50	53.38	48.10	65.65	1.69	1.53	2.08	0.17	0.081
9.486	100.2	31.5	5.5	94.6	26.0	3.65	54.40	48.85	68.69	1.73	1.55	2.18	0.18	0.081
9.716	98.1	31.5	5.3	92.8	26.2	3.55	53.70	48.36	66.60	1.70	1.54	2.11	0.17	0.080
9.967	98.8	31.5	5.1	93.7	26.4	3.55	53.95	48.82	67.34	1.71	1.55	2.14	0.16	0.076
10.211	97.3	31.5	5.1	92.1	26.4	3.49	53.42	48.31	65.76	1.70	1.53	2.09	0.16	0.078
10.460	97.4	31.5	5.1	92.3	26.4	3.50	53.48	48.38	65.93	1.70	1.54	2.09	0.16	0.077
10.703	99.0	31.5	4.9	94.1	26.6	3.54	54.00	49.06	67.49	1.71	1.56	2.14	0.16	0.073
10.945	97.4	31.5	5.3	92.1	26.2	3.51	53.45	48.18	65.85	1.70	1.53	2.09	0.17	0.080
11.190	99.0	31.5	5.2	93.8	26.3	3.57	54.01	48.80	67.54	1.71	1.55	2.14	0.17	0.077
11.436	97.6	31.5	5.2	92.4	26.3	3.51	53.54	48.36	66.12	1.70	1.54	2.10	0.16	0.078
11.687	97.4	31.5	5.1	92.2	26.4	3.50	53.45	48.35	65.86	1.70	1.53	2.09	0.16	0.078
11.923	96.2	31.5	5.1	91.1	26.4	3.45	53.08	47.96	64.73	1.68	1.52	2.05	0.16	0.079
12.177	99.1	31.5	5.2	93.8	26.3	3.57	54.02	48.80	67.56	1.71	1.55	2.14	0.17	0.077
12.436	99.0	31.5	5.2	93.9	26.3	3.56	54.00	48.85	67.51	1.71	1.55	2.14	0.16	0.076
12.696	97.1	31.5	5.0	92.1	26.5	3.48	53.37	48.33	65.62	1.69	1.53	2.08	0.16	0.077
12.949	96.9	31.5	4.9	92.0	26.6	3.46	53.29	48.40	65.36	1.69	1.54	2.07	0.16	0.075
13.206	97.3	31.5	4.9	92.4	26.6	3.47	53.42	48.52	65.77	1.70	1.54	2.09	0.16	0.075
13.462	95.5	31.5	4.8	90.7	26.7	3.39	52.82	48.06	63.97	1.68	1.53	2.03	0.15	0.074
13.709	96.8	31.5	4.8	92.0	26.7	3.45	53.26	48.44	65.28	1.69	1.54	2.07	0.15	0.074
13.970	97.0	31.5	4.8	92.3	26.7	3.45	53.34	48.58	65.52	1.69	1.54	2.08	0.15	0.073
14.227	96.2	31.5	4.7	91.5	26.8	3.42	53.07	48.33	64.72	1.68	1.53	2.05	0.15	0.073
14.483	95.6	31.5	4.7	90.9	26.8	3.39	52.86	48.20	64.08	1.68	1.53	2.03	0.15	0.073
14.737	95.5	31.5	4.6	90.8	26.9	3.38	52.82	48.19	63.97	1.68	1.53	2.03	0.15	0.072
15.003	94.6	31.5	4.6	90.1	26.9	3.34	52.54	47.97	63.13	1.67	1.52	2.00	0.15	0.072
15.267	95.8	31.5	4.0	91.8	27.5	3.34	52.93	48.89	64.30	1.68	1.55	2.04	0.13	0.063
15.533	94.5	31.5	4.2	90.3	27.3	3.31	52.50	48.26	63.00	1.67	1.53	2.00	0.13	0.067
15.786	96.4	31.5	3.9	92.5	27.6	3.35	53.14	49.22	64.91	1.69	1.56	2.06	0.12	0.060
16.057	95.7	31.5	3.7	92.0	27.8	3.31	52.91	49.19	64.23	1.68	1.56	2.04	0.12	0.058
16.325	94.2	31.5	4.1	90.1	27.4	3.29	52.39	48.32	62.68	1.66	1.53	1.99	0.13	0.065
16.589	95.0	31.5	3.9	91.2	27.6	3.30	52.68	48.81	63.54	1.67	1.55	2.02	0.12	0.061
16.870	95.6	31.5	4.0	91.6	27.5	3.33	52.87	48.85	64.11	1.68	1.55	2.04	0.13	0.063
17.142	93.3	31.5	3.6	89.7	27.9	3.22	52.10	48.45	61.80	1.65	1.54	1.96	0.12	0.059
17.420	94.6	31.5	3.7	90.8	27.8	3.27	52.52	48.78	63.06	1.67	1.55	2.00	0.12	0.059
17.697	92.9	31.5	3.8	89.1	27.7	3.22	51.97	48.13	61.40	1.65	1.53	1.95	0.12	0.062
17.975	93.4	31.5	3.8	89.5	27.7	3.24	52.12	48.30	61.87	1.65	1.53	1.96	0.12	0.062
18.250	92.0	31.5	3.7	88.4	27.8	3.17	51.67	48.02	60.52	1.64	1.52	1.92	0.12	0.060
18.521	92.6	31.5	4.0	88.6	27.5	3.22	51.87	47.84	61.11	1.65	1.52	1.94	0.13	0.066
18.795	93.1	31.5	4.3	88.8	27.2	3.27	52.04	47.70	61.61	1.65	1.51	1.96	0.14	0.070
19.074	93.8	31.5	3.9	89.9	27.6	3.26	52.27	48.37	62.31	1.66	1.54	1.98	0.12	0.063
19.351	91.6	31.5	3.6	88.0	27.9	3.15	51.52	47.93	60.06	1.64	1.52	1.91	0.11	0.060
19.620	91.8	31.5	3.6	88.2	27.9	3.16	51.61	47.99	60.32	1.64	1.52	1.91	0.11	0.060
19.895	91.3	31.5	4.2	87.2	27.3	3.19	51.45	47.26	59.84	1.63	1.50	1.90	0.13	0.070

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY </p> <p style="text-align: center;">TRIAxIAL TEST (UU/CU/CD) (ASTM D2850-15/D4767-11/D7181-11)</p>															1/2
Triaxial Shearing			Location อ.เมืองจันทบุรี จ.จันทบุรี			Sample No 32 0			$\Delta v_c = 44.4 \text{ mm}^3$		$\epsilon_v = 20.94 \%$				
Loc.No.	1		Proving Ring No. (Load cell) No. 11073			Effective Cell Pressure initially 32 kN/m^2			$L_c = 99.41 \text{ mm}$		$(1/3)\epsilon_v = 6.98 \%$				
Test type	CU without side		Operation A.F.W.			Cell Pressure 231.5 kN/m^2			$A_c = 1705.15 \text{ mm}^2$		$(2/3)\epsilon_v = 13.96 \%$				
Rate of	6 % per min		Consolidated Length 99.41 mm			Back Pressure 200 kN/m^2			$V_c = 167.44 \text{ mm}^3$		shear temp 60 $^\circ\text{C}$				
Strain	360.0 % per hour		Consolidated Area 1705.15 mm^2			Consolidated Volume 167.438 cm^3			Undrained excess pwp due to change temp. (Δu) -0.10488 kPa						
Membranes 1 x 0.2 mm															
Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa)	Excess PWP, Δu (kPa)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa)	Mean Eff. Stress, p' (kPa)	Deviator Stress, q, $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skempton's PWP Parameter A	
0	31.5	31.5	0.0	31.5	31.5	1.00	31.50	31.50	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-	
-0.012	33.6	31.5	0.2	33.3	31.3	1.07	32.18	31.95	2.05	1.02	1.01	0.07	0.01	0.112	
0.007	41.7	31.5	0.2	41.5	31.3	1.32	34.89	34.71	10.16	1.11	1.10	0.32	0.01	0.018	
0.012	49.3	31.5	0.3	49.1	31.2	1.57	37.44	37.17	17.83	1.19	1.18	0.57	0.01	0.015	
0.019	51.0	31.5	0.4	50.6	31.1	1.63	37.99	37.64	19.48	1.21	1.19	0.62	0.01	0.018	
0.027	49.8	31.5	0.3	49.5	31.2	1.59	37.60	37.33	18.29	1.19	1.19	0.58	0.01	0.014	
0.032	53.1	31.5	0.5	52.6	31.0	1.70	38.70	38.23	21.61	1.23	1.21	0.69	0.02	0.022	
0.053	58.0	31.5	0.3	57.7	31.2	1.85	40.35	40.00	26.54	1.28	1.27	0.84	0.01	0.013	
0.077	57.6	31.5	0.5	57.1	31.0	1.84	40.20	39.66	26.09	1.28	1.26	0.83	0.02	0.021	
0.096	63.0	31.5	0.6	62.4	30.9	2.02	41.99	41.44	31.47	1.33	1.32	1.00	0.02	0.018	
0.142	66.5	31.5	0.6	65.8	30.9	2.13	43.15	42.54	34.96	1.37	1.35	1.11	0.02	0.017	
0.188	67.7	31.5	0.8	66.9	30.7	2.18	43.57	42.73	36.21	1.38	1.36	1.15	0.03	0.023	
0.223	67.9	31.5	1.0	66.9	30.5	2.19	43.63	42.63	36.40	1.39	1.35	1.16	0.03	0.028	
0.251	69.6	31.5	0.7	68.9	30.8	2.23	44.18	43.53	38.05	1.40	1.38	1.21	0.02	0.017	
0.291	73.0	31.5	1.0	72.0	30.5	2.36	45.34	44.34	41.53	1.44	1.41	1.32	0.03	0.024	
0.360	74.8	31.5	1.1	73.7	30.4	2.43	45.95	44.82	43.35	1.46	1.42	1.38	0.04	0.026	
0.451	76.0	31.5	1.3	74.7	30.2	2.47	46.33	45.05	44.48	1.47	1.43	1.41	0.04	0.029	
0.549	81.0	31.5	1.5	79.5	30.0	2.65	48.00	46.50	49.51	1.52	1.48	1.57	0.05	0.030	
0.692	83.3	31.5	1.6	81.7	29.9	2.73	48.76	47.21	51.78	1.55	1.50	1.64	0.05	0.030	
0.840	83.4	31.5	1.9	81.5	29.6	2.75	48.79	46.92	51.87	1.55	1.49	1.65	0.06	0.036	
1.000	87.8	31.5	2.1	85.7	29.4	2.91	50.27	48.19	56.31	1.60	1.53	1.79	0.07	0.037	
1.174	88.0	31.5	2.2	85.7	29.3	2.93	50.32	48.08	56.45	1.60	1.53	1.79	0.07	0.040	
1.350	90.4	31.5	2.5	87.9	29.0	3.03	51.14	48.65	58.91	1.62	1.54	1.87	0.08	0.042	
1.535	93.8	31.5	2.5	91.3	29.0	3.15	52.27	49.73	62.30	1.66	1.58	1.98	0.08	0.041	
1.746	94.3	31.5	2.8	91.5	28.7	3.19	52.44	49.63	62.81	1.66	1.58	1.99	0.09	0.045	
1.958	96.0	31.5	2.9	93.1	28.6	3.26	53.01	50.10	64.53	1.68	1.59	2.05	0.09	0.045	
2.179	99.2	31.5	3.3	95.9	28.2	3.40	54.07	50.81	67.71	1.72	1.61	2.15	0.10	0.048	
2.409	99.4	31.5	3.3	96.1	28.2	3.41	54.15	50.81	67.95	1.72	1.61	2.16	0.11	0.049	
2.640	99.9	31.5	3.7	96.2	27.8	3.46	54.32	50.60	68.45	1.72	1.61	2.17	0.12	0.054	
2.877	101.3	31.5	3.7	97.6	27.8	3.51	54.78	51.10	69.83	1.74	1.62	2.22	0.12	0.053	
3.107	103.3	31.5	3.8	99.5	27.7	3.60	55.43	51.60	71.80	1.76	1.64	2.28	0.12	0.053	
3.338	104.5	31.5	3.9	100.5	27.6	3.65	55.82	51.89	72.97	1.77	1.65	2.32	0.12	0.054	
3.568	106.1	31.5	4.2	101.9	27.3	3.73	56.35	52.15	74.56	1.79	1.66	2.37	0.13	0.056	
3.795	104.5	31.5	4.5	100.0	27.0	3.70	55.83	51.34	72.99	1.77	1.63	2.32	0.14	0.062	
4.024	107.0	31.5	4.4	102.6	27.1	3.79	56.67	52.28	75.52	1.80	1.66	2.40	0.14	0.058	
4.259	106.1	31.5	4.6	101.5	26.9	3.78	56.37	51.76	74.62	1.79	1.64	2.37	0.15	0.062	
4.491	106.3	31.5	4.7	101.6	26.8	3.79	56.44	51.75	74.83	1.79	1.64	2.38	0.15	0.063	
4.718	107.4	31.5	4.9	102.5	26.6	3.85	56.79	51.89	75.86	1.80	1.65	2.41	0.16	0.064	
4.956	107.4	31.5	5.0	102.4	26.5	3.86	56.80	51.81	75.90	1.80	1.64	2.41	0.16	0.066	
5.178	105.5	31.5	5.2	100.3	26.3	3.81	56.15	50.98	73.96	1.78	1.62	2.35	0.16	0.070	
5.421	107.6	31.5	5.2	102.4	26.3	3.90	56.86	51.63	76.09	1.81	1.64	2.42	0.17	0.069	
5.640	108.8	31.5	5.3	103.5	26.2	3.95	57.28	51.96	77.34	1.82	1.65	2.46	0.17	0.069	
5.882	108.8	31.5	5.7	103.1	25.8	4.00	57.26	51.54	77.29	1.82	1.64	2.45	0.18	0.074	
6.110	108.0	31.5	5.3	102.7	26.2	3.92	57.01	51.69	76.54	1.81	1.64	2.43	0.17	0.069	
6.344	106.1	31.5	5.6	100.5	25.9	3.88	56.38	50.78	74.64	1.79	1.61	2.37	0.18	0.075	
6.573	106.2	31.5	5.6	100.6	25.9	3.88	56.39	50.83	74.68	1.79	1.61	2.37	0.18	0.075	
6.810	106.5	31.5	5.7	100.8	25.8	3.90	56.49	50.82	74.96	1.79	1.61	2.38	0.18	0.076	

Axial Strain ϵ_a (%)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Excess PWP, Δu (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	σ'_1/σ'_3	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Deviator Stress, $q, \sigma_1 - \sigma_3$ (kPa.)	Normalised Mean Stress, p/σ'_c	Normalised Mean Eff. Stress, p'/σ'_c	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
7.030	108.3	31.5	6.0	102.3	25.5	4.01	57.10	51.13	76.79	1.81	1.62	2.44	0.19	0.078
7.271	107.5	31.5	6.0	101.5	25.5	3.98	56.84	50.85	76.01	1.80	1.61	2.41	0.19	0.079
7.495	103.6	31.5	5.8	97.8	25.7	3.81	55.54	49.70	72.13	1.76	1.58	2.29	0.19	0.081
7.735	108.5	31.5	6.1	102.4	25.4	4.03	57.17	51.04	77.00	1.81	1.62	2.44	0.19	0.080
7.964	109.7	31.5	6.1	103.6	25.4	4.09	57.58	51.44	78.25	1.83	1.63	2.48	0.20	0.078
8.198	107.2	31.5	6.4	100.8	25.1	4.01	56.73	50.37	75.68	1.80	1.60	2.40	0.20	0.084
8.426	106.8	31.5	6.3	100.5	25.2	3.99	56.60	50.32	75.31	1.80	1.60	2.39	0.20	0.083
8.658	107.6	31.5	6.1	101.5	25.4	4.00	56.87	50.73	76.10	1.81	1.61	2.42	0.19	0.081
8.889	107.5	31.5	6.4	101.2	25.1	4.03	56.85	50.47	76.05	1.80	1.60	2.41	0.20	0.084
9.121	106.1	31.5	6.5	99.6	25.0	3.99	56.38	49.84	74.64	1.79	1.58	2.37	0.21	0.088
9.348	108.1	31.5	6.5	101.7	25.0	4.06	57.05	50.60	76.65	1.81	1.61	2.43	0.20	0.084
9.584	107.3	31.5	6.7	100.6	24.8	4.06	56.78	50.05	75.85	1.80	1.59	2.41	0.21	0.089
9.824	108.2	31.5	6.7	101.5	24.8	4.09	57.06	50.39	76.67	1.81	1.60	2.43	0.21	0.087
10.061	108.9	31.5	6.6	102.3	24.9	4.11	57.30	50.65	77.40	1.82	1.61	2.46	0.21	0.086
10.301	109.4	31.5	6.7	102.7	24.8	4.14	57.46	50.77	77.89	1.82	1.61	2.47	0.21	0.086
10.550	106.1	31.5	6.9	99.2	24.6	4.03	56.36	49.50	74.59	1.79	1.57	2.37	0.22	0.092
10.789	106.9	31.5	6.9	100.0	24.6	4.07	56.64	49.72	75.43	1.80	1.58	2.39	0.22	0.092
11.029	104.6	31.5	6.9	97.7	24.6	3.97	55.86	48.99	73.07	1.77	1.56	2.32	0.22	0.094
11.271	106.4	31.5	7.0	99.5	24.5	4.05	56.48	49.51	74.93	1.79	1.57	2.38	0.22	0.093
11.514	107.0	31.5	7.1	99.9	24.4	4.09	56.67	49.60	75.50	1.80	1.57	2.40	0.22	0.094
11.759	105.4	31.5	7.1	98.3	24.4	4.02	56.13	49.07	73.89	1.78	1.56	2.35	0.22	0.096
11.999	107.2	31.5	7.0	100.2	24.5	4.09	56.72	49.71	75.66	1.80	1.58	2.40	0.22	0.093
12.262	105.7	31.5	7.3	98.4	24.2	4.06	56.23	48.97	74.19	1.79	1.55	2.36	0.23	0.098
12.505	106.1	31.5	7.2	98.9	24.3	4.08	56.37	49.13	74.61	1.79	1.56	2.37	0.23	0.097
12.758	104.7	31.5	7.2	97.5	24.3	4.01	55.90	48.71	73.21	1.77	1.55	2.32	0.23	0.098
13.015	105.5	31.5	7.2	98.3	24.3	4.05	56.18	48.95	74.05	1.78	1.55	2.35	0.23	0.098
13.257	105.5	31.5	7.2	98.3	24.3	4.04	56.17	49.01	74.00	1.78	1.56	2.35	0.23	0.097
13.518	104.3	31.5	7.1	97.2	24.4	3.99	55.77	48.66	72.82	1.77	1.54	2.31	0.23	0.098
13.770	104.3	31.5	7.2	97.2	24.3	3.99	55.77	48.62	72.81	1.77	1.54	2.31	0.23	0.098
14.020	102.3	31.5	7.2	95.1	24.3	3.92	55.10	47.88	70.81	1.75	1.52	2.25	0.23	0.102
14.274	102.0	31.5	7.3	94.7	24.2	3.91	55.00	47.72	70.51	1.75	1.51	2.24	0.23	0.103
14.523	103.6	31.5	7.2	96.4	24.3	3.97	55.53	48.34	72.10	1.76	1.53	2.29	0.23	0.100
14.785	102.7	31.5	7.5	95.2	24.0	3.97	55.22	47.73	71.17	1.75	1.52	2.26	0.24	0.105
15.044	100.9	31.5	7.3	93.5	24.2	3.87	54.62	47.29	69.35	1.73	1.50	2.20	0.23	0.106
15.310	103.3	31.5	7.4	95.9	24.1	3.98	55.44	48.07	71.82	1.76	1.53	2.28	0.23	0.103
15.572	103.3	31.5	7.4	95.9	24.1	3.99	55.45	48.00	71.84	1.76	1.52	2.28	0.24	0.104
15.829	101.9	31.5	7.4	94.4	24.1	3.92	54.95	47.51	70.35	1.74	1.51	2.23	0.24	0.106
16.080	103.4	31.5	7.3	96.1	24.2	3.97	55.46	48.14	71.88	1.76	1.53	2.28	0.23	0.102
16.357	103.0	31.5	7.2	95.8	24.3	3.94	55.33	48.14	71.50	1.76	1.53	2.27	0.23	0.101
16.622	101.1	31.5	7.4	93.8	24.1	3.89	54.71	47.34	69.63	1.74	1.50	2.21	0.23	0.106
16.898	101.2	31.5	7.5	93.7	24.0	3.90	54.74	47.24	69.71	1.74	1.50	2.21	0.24	0.108
17.169	100.6	31.5	7.6	93.0	23.9	3.89	54.54	46.92	69.11	1.73	1.49	2.19	0.24	0.110
17.441	98.6	31.5	7.3	91.3	24.2	3.77	53.87	46.57	67.11	1.71	1.48	2.13	0.23	0.109
17.709	102.4	31.5	7.3	95.1	24.2	3.94	55.15	47.82	70.95	1.75	1.52	2.25	0.23	0.103
17.981	99.5	31.5	7.5	92.0	24.0	3.83	54.16	46.70	67.98	1.72	1.48	2.16	0.24	0.110
18.256	96.8	31.5	7.2	89.6	24.3	3.69	53.27	46.05	65.32	1.69	1.46	2.07	0.23	0.111
18.529	97.4	31.5	7.3	90.1	24.2	3.72	53.46	46.15	65.89	1.70	1.47	2.09	0.23	0.111
18.792	96.5	31.5	7.1	89.4	24.4	3.67	53.18	46.06	65.03	1.69	1.46	2.06	0.23	0.109
19.072	94.5	31.5	7.2	87.3	24.3	3.59	52.48	45.30	62.95	1.67	1.44	2.00	0.23	0.114
19.336	95.2	31.5	7.2	88.0	24.3	3.62	52.72	45.51	63.67	1.67	1.44	2.02	0.23	0.113
19.616	94.9	31.5	7.1	87.8	24.4	3.59	52.63	45.57	63.39	1.67	1.45	2.01	0.22	0.111
19.887	92.9	31.5	7.2	85.7	24.3	3.53	51.98	44.77	61.45	1.65	1.42	1.95	0.23	0.117
20.117	93.3	31.5	7.0	86.2	24.5	3.53	52.09	45.05	61.77	1.65	1.43	1.96	0.22	0.114

ภาคผนวก ง
การเผยแพร่วิทยานิพนธ์



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18
วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

แนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิ An Approach to Develop of Triaxial Apparatus for Temperature Control

วัชระ ศรีสะกุล¹ จันทน์ ชูอุปการ² และ จนกร ชมภูรัตน์³

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา 56000

E-mail: ¹ watcharas1987@gmail.com, ² tanan2284@yahoo.com, ³ cthanakorn@gmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน มีการนำเทคโนโลยีทางการส่งผ่านความร้อนใต้พื้นดินมาใช้ประโยชน์มากขึ้น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้อาจทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบริเวณรอบๆ เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากความร้อนที่แผ่กระจายออกมา อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินนิยมทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนทางตรง ค่ากำลังรับแรงเฉือนและค่าความแข็งของดินที่ได้จากการทดสอบอาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่เป็นจริง เพราะเครื่องมือทดสอบดังกล่าวกำหนดให้ระนาบการวิบัติเกิดขึ้นในแนวนอน การทดสอบที่เหมาะสมที่สุดคือการทำทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถบอกถึงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดก่อนการวิบัติได้ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนให้สามารถประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนและความแข็งของดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ โดยจะทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทำความร้อนและควบคุมอุณหภูมิเข้ากับเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนดั้งเดิม

คำสำคัญ: การพัฒนาเครื่องมือ, เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน, อุณหภูมิ

Abstract

Underground heat transfer technology nowadays is continuously increasing applied. Changing of temperature that utilize of the technology affects to engineering properties of surrounding soil due to heat radiation. Most of researches of temperature effect on the strength properties of soil are tested by direct shear test. However, result of shear strength and stiffness of soil may be in error from exact solution because failure plane on horizontal direction is restrained which direct shear apparatus. Most appropriate test is triaxial test can present pre-failure stress-strain behavior. Therefore, the objective of this research is to develop the conventional triaxial apparatus can evaluate the shear strength and the stiffness of the soil under changing of temperature. The installation of heating equipment and temperature control will be installed into the conventional triaxial apparatus.

Keywords: Apparatus development, Triaxial apparatus, Temperature

1. บทนำ

ปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยยังอยู่ในอัตราสูงและการก่อสร้างก็มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเห็นได้จากอาคาร โรงงาน และระบบสาธารณูปโภคขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อรองรับการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศ การก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์จากความร้อน เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพ การนำความร้อนมาใช้ในการอบแห้งยางพาราดิบ หรือเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ปัญหาที่อาจจะตามมาได้คือ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเนื่องด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ปกติองค์ประกอบของดินจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง (solid phase) ส่วนที่เป็นน้ำ (water phase) และส่วนที่เป็นอากาศ (air phase) โดยทั่วไปเมื่อสสารได้รับความร้อนจะทำให้อุณหภูมิของสสารเพิ่มขึ้นและมีการขยายตัว ทำให้ปริมาตรเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นดินภายใต้หรือรอบๆ โครงสร้างอาคารที่ใช้ประโยชน์จากความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการขยายตัวของโมเลกุลของแร่ที่เป็นส่วนประกอบของดิน และส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้ปริมาตรเพิ่ม ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของดินได้ โดยหากเป็นดินเหนียวความร้อนจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้น (Abuel-Naga et al., 2006) (Trani et al., 2008) แต่หากเป็นดินเหนียวปนทรายหรือดินผสมจะมีแนวโน้มที่กำลังรับน้ำหนักของดินจะลดลง (Moritz, 1995) และคำถามที่ตามมา คือ ฐานรากของสิ่งก่อสร้างที่วางอยู่บนดินที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะสามารถรับน้ำหนักได้และมีโอกาสที่จะเกิดการทรุดตัวได้หรือไม่

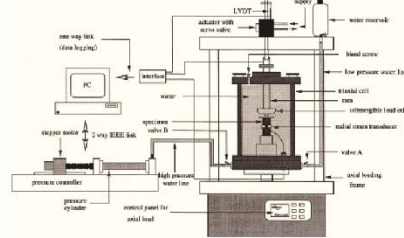
การศึกษาผลของอุณหภูมิด้วยเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการของดินโดยส่วนมากจะทำการศึกษาโดยการทดสอบการอัดตัวด้วยน้ำด้วยเครื่องมือหนึ่งมิติ (oedometer test) หรือการทดสอบการเฉือนโดยตรง (direct shear test) เพราะเป็นการทดสอบที่สามารถควบคุมได้ง่าย ทำโดยการนำเครื่องมือทดสอบที่บรรจุตัวอย่างดินที่มีขนาดเล็กเข้าไว้ในอ่างน้ำร้อน สำหรับผลที่ได้จากการทดสอบการเฉือนโดยตรง ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ แต่ไม่สามารถทำการจัดเก็บข้อมูลความเครียดที่เกิดขึ้นได้ การทดสอบที่เหมาะสมที่สุดคือการทำทดสอบแรงอัดสามแกน เป็นวิธีทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่นิยมมากในห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถควบคุมค่าแรงดันด้านข้าง (confining stress) แรงดันน้ำ และหน่วยแรงประสิทธิผลได้ และยังจำลองสภาพของดินให้ใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติ เหมาะสำหรับการทดสอบดินเหนียว การทดสอบสามารถทำได้ 2 กรณี คือ การทดสอบแรงอัดสามแกน (triaxial compression test) การทดสอบแรงดึงสามแกน (triaxial extension test) ซึ่งสามารถควบคุมการไหลของน้ำและวัดแรงดันน้ำ (pore pressure) ได้

การทดสอบแรงอัดสามแกนนี้สามารถนำไปหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนที่อยู่ในหน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress) รวมถึงสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร จึงทำให้สามารถคำนวณและบอกถึงพฤติกรรมความเค้นและความเครียดก่อนการวิบัติได้

เครื่องมือการทดสอบแรงอัดสามแกนที่ใช้ทดสอบในปัจจุบันประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือส่วนของเซลล์สามแกน ส่วนอุปกรณ์สร้างแรงดัน และเครื่องกดตัวอย่าง ซึ่งไม่สามารถทำการศึกษาผลของอุณหภูมิได้เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดนั้นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างได้เลย ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบจะมีอุณหภูมิโดยประมาณเท่ากับอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการ และมีค่าแตกต่างกันตามแต่ละสภาพภูมิอากาศ หากต้องการศึกษาผลของอุณหภูมิด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน ต้องมีการพัฒนาเครื่องมือตั้งเดิมเสียก่อน โดยการเพิ่มส่วนของอุปกรณ์ทำความร้อนและควบคุมอุณหภูมิเข้าไป งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะเสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิความต้องการ เพื่อสามารถใช้ในการทดสอบหาผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินต่อไป โดยทำหยาที่สุดจะได้นำเสนอแบบแปลนของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิตามแนวทางให้เป็นไปตามมาตรฐานและมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้ทดแทนเครื่องมือราคาแพงได้

2. การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบดั้งเดิม

การทดสอบแรงอัดสามแกน เป็นวิธีทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่นิยมมากในห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถปรับสภาพของดินให้ใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติ เหมาะสำหรับการทดสอบดินเหนียว ทำโดยการกลึงดินให้เป็นรูปทรงกระบอกให้มีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เท่า แล้วหุ้มด้วยยาหุ้มรัดเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นและกันน้ำในกล่องทรงกระบอกซีมเข้าไปในตัวอย่าง ที่ปลายทั้ง 2 ข้างจะมีหินพรุน (porous stone) เพื่อให้ให้น้ำในมวลดินมีโอกาสรบายออก และเพื่อให้สามารถวัดความดันของน้ำได้ด้วย จากนั้นนำไปวางลงในเซลล์สามแกนเติมน้ำพร้อมความดันเข้าไป เพื่อให้ดินตัวอย่างที่จะทดสอบอยู่ในสภาวะที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด



รูปที่ 1 เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน (Deshpande and Cebon 1998)

ดังรูปที่ 1 แสดงเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน ซึ่งสามารถทำการทดสอบได้ 2 กรณี คือกรณีที่มีแรงเฉือนมากกว่าแรงโอบรัดจะเป็นการทดสอบแรงอัดสามแกน (triaxial compression test)

แต่ในทางตรงข้าม ถ้ากรณีที่มีแรงโอบรัดมากกว่าแรงเฉือน จะเป็น การทดสอบแรงดึงสามแกน (triaxial extension test)

มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) D 4767 - 04 วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำและไม่ระบายน้ำสำหรับดินเหนียว (standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils) การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวไม่ระบายน้ำ เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนจะต้องมีอุปกรณ์ที่จำเป็นประกอบไปด้วย

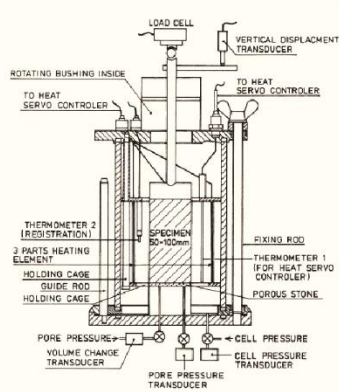
1. อุปกรณ์ให้แรงแนวแกน (axial loading device) หรือ เครื่องกดตัวอย่าง (compression machine) มีฟังก์ชันการควบคุม อัตราการกดที่จะทดสอบ การสั่นสะเทือนของเครื่องจะต้องน้อยและไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง หรือก่อให้เกิดแรงดันน้ำในขณะบีบตัวอย่างน้ำ
2. อุปกรณ์วัดแรงแนวแกน (axial load-measuring devices) สามารถเลือกเป็นวงแหวนวัดแรง (proving ring) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดแรง (load cell) ที่มีขนาดที่พอดีกับค่ากำลังของตัวอย่างที่จะทดสอบ และจะต้องไม่มีผลจากแรงด้านข้างหรือแรงดันในกล่อง
3. เครื่องชี้บอกการเสียรูป (deformation Indicator) การวัดการเสียรูปส่วนมากจะเป็นการวัดการเคลื่อนตัวของลูกสูบให้แรงแนวแกนที่กระทำกับด้านบนของตัวอย่าง จะใช้เป็นมาตรหน้าปิด (dial Gauge) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดค่าเปลี่ยนรูป (LVDT) ความถูกต้องจะต้องไม่น้อยกว่า 0.25% ของความสูงตัวอย่างตอนเริ่มต้น และต้องมีความสามารถในการวัดอย่างน้อย 15% ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น
4. กล่องรับแรงอัดสามแกน (triaxial compression chamber) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เซลล์สามแกน (triaxial cell) ต้องประกอบด้วยห้องทรงกระบอกโลหะหรือหากต้องการให้สามารถทนต่อแรงดันที่สูงมากเป็นพิเศษสามารถใช้ท่อโลหะแทนได้ แต่ต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมของตัวอย่าง มีแผ่นประกบบนที่มีวาล์วตัวออกของอากาศเมื่อภายในเซลล์มีของเหลวเพิ่ม ลูกสูบให้แรงแนวแกน (axial load piston) ที่ทะลุผ่านด้านบนของกล่องโดยไม่มีกรรวยรั่วซึมของของเหลวภายใน และไม่เกิดแรงเสียดทาน แผ่นประกบล่างต้องมีทางเข้าของของเหลวมีแรงดันให้กับกล่อง เป็นบนและฐานตัวอย่าง (specimen cap and base) จะต้องออกแบบให้มีช่องระบายน้ำทั้งด้านบนและฐานของตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำหรือใช้ระบายน้ำออกตามต้องการ หน้าที่ต้องเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับตัวอย่าง และต้องอยู่แนวเดียวกันแกนกด วาล์ว (valves) ทั้งหมดต้องทนต่อความดันได้และไม่มีการรั่วซึม
5. อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (pressure and vacuum-control devices) ส่วนมากจะใช้แผงควบคุมความดัน (pressure control panel) ที่สามารถควบคุมแรงดันกล่องและแรงดันหลัง (แรงดันภายในตัวอย่าง) ได้อยู่ในภายใน ± 2 กิโลปาสกาล สำหรับแรงดันอัดตัวคายน้ำ ประสิทธิภาพที่น้อยกว่า 200 กิโลปาสกาล และภายใน ± 1 กิโลปาสกาล สำหรับแรงดันอัดตัวคายน้ำประสิทธิภาพที่มากกว่า 200 กิโลปาสกาล และเนื่องจากการทดลองนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองหลายวัน อุปกรณ์ควบคุมแรงดันที่ใช้ต้องมีสามารถประยุกต์ใช้และควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาที่ทดสอบ
6. อุปกรณ์เตรียมตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินต้องทำการตัดแต่งให้เป็นรูปโดยใช้เลื่อยเส้นลวด และเครื่องตัดแต่งตัวอย่างดิน ใช้กระบอกล

แบบผ้า (miter box) ในการที่จะตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ แล้วทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) จากนั้นวางตัวอย่างดินลงบนฐานของเซลล์สามแกน โดยมีแผ่นหินพรุน (porous discs) อยู่ทั้งบนและล่างตัวอย่าง เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก ใส่กระดาษกรอง (filter paper) เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการระบายน้ำลง และเพิ่มการระบายน้ำทางด้านข้างด้วย มีสองแบบ คือ แบบแผ่นจะวางไว้ระหว่างแผ่นหินพรุนและตัวอย่างเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นหินพรุน และกระดาษกรองแบบแถบวางอยู่รอบตัวอย่าง จากนั้นใส่ยางหุ้มรัด (rubber membrane) ครอบตัวอย่างดิน รวมถึงแป้นบนและฐานตัวอย่างบางส่วน แล้วรัดด้วยยางรัด (O-ring) ให้ยางหุ้มรัดติดแน่นกับฐาน เพื่อให้ของเหลวภายนอกสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้

7. อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด เช่น เครื่องชั่ง (balance) ต้องสามารถอ่านค่าได้ถึง 0.1% ของมวลทดสอบหรือดีกว่า เครื่องจับเวลา (timer) มีความละเอียดสามารถบอกหน่วยเป็นวินาที เครื่องไล่อากาศออกจากน้ำ (water deaeration devices) ถ้าใช้น้ำธรรมดาในการทำตัวอย่าง อิมพัลส์น้ำจะไม่ใช่ผล ต้องไล่อากาศออกจากรูน้ำก่อน เป็นต้น

3. การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิได้ในอดีต

การศึกษามักของอุณหภูมิของดินโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนมีการศึกษาไม่มากนัก ส่วนมากจะเป็นการศึกษาในต่างประเทศ สำหรับภายในประเทศไทยยังไม่เป็นที่นิยม อาจเป็นเพราะขาดเครื่องมือที่มีคุณภาพ โดยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ใช้ในการทดสอบดังกล่าวนี้ โดยส่วนมากจะมีการพัฒนาขึ้นมาเองโดยผู้วิจัยเพื่อทำการทดสอบหาผลของงานวิจัยนั้นๆ แต่จะไม่มีกล่าวถึงหรือแสดงรายละเอียดแบบแปลนของเครื่องมือไว้ ซึ่งมีตัวอย่างของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิที่ได้มีการพัฒนาในรูปแบบต่างๆ ที่พอจะนำมาเป็นตัวอย่างได้ดังนี้

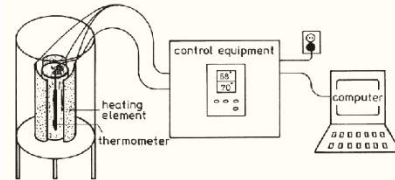


รูปที่ 2 เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)

ในปี 1995 Lovisa Moritz ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ การทดสอบสามแกนที่อุณหภูมิสูง เพื่อใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง โดยมีการแก้ไขเซลล์สามแกนเพื่อให้เพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่างได้ถึง 70 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2 แสดงเครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz ของเหลวในเซลล์ประกอบด้วย น้ำกับชั้นน้ำมันหนา 20 มิลลิเมตรอยู่ชั้นบน เซลล์สามแกนจะมีความสูงมากกว่าปกติเพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนและวัดอุณหภูมิ และเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสตัวอย่างโดยตรง การระบายน้ำของตัวอย่างจะเกิดขึ้นที่ช่องด้านล่าง

อุปกรณ์ทำความร้อนได้รับการติดตั้งภายในเซลล์สามแกน เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวนสองชิ้นถูกสร้างขึ้นภายในเซลล์ ชิ้นแรกใช้สำหรับเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ทำความร้อนและอีกชิ้นใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิของของเหลวในเซลล์สามแกน แผ่นประปาจะเสริมด้วยเสา 3 แท่ง เพื่อให้เซลล์สามารถติดตั้งโดยไม่ต้องสัมผัสตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร

การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจะใช้แผ่นทำความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น แผ่นทำความร้อนจะถูกติดตั้งอยู่บนที่วางเพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับตัวอย่างและผนังของเซลล์โดยตรง แผ่นทำความร้อนจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อไปยังตัววัดอุณหภูมิด้วย โดยเครื่องวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่างแผ่นทำความร้อนและตัวอย่าง แลหลังจ่ายไฟสำหรับแผ่นทำความร้อนจะถูกควบคุมเพื่อให้น้ำในเซลล์มีอุณหภูมิตามที่ต้องการและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 องศาเซลเซียส ระบบการควบคุมอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 3

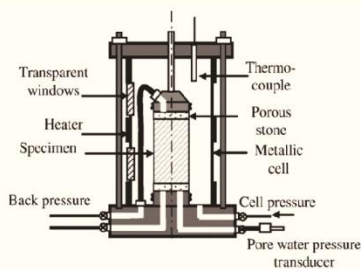


รูปที่ 3 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Lovisa Moritz (1995)

ในปี 2006 Abuel-Naga et al. ได้พัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนขึ้นใหม่ เพื่อศึกษาความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินภายใต้เงื่อนไขที่ความร้อนไม่ระบายน้ำของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่ปรับปรุงขึ้นใหม่โดย Abuel-Naga et al. แสดงในรูปที่ 4 ประกอบด้วยเซลล์สามแกนโลหะที่มีช่องหน้าต่างโปร่งใส 2 ช่อง ใช้สำหรับดูพฤติกรรมของตัวอย่าง สามารถรองรับตัวอย่างดินได้ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความสูง 100 มิลลิเมตร ใช้ตัวทำความร้อนแบบวงวนติดตั้งอยู่ด้านบนของผนังเซลล์สามแกนโลหะ อุณหภูมิจะถูกควบคุมโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งวางอยู่ในเซลล์สามแกน ความแม่นยำของระบบควบคุมความร้อนคือ ± 0.1 องศาเซลเซียส การวัดแรงดันน้ำด้วยตัวแปลงสัญญาณแรงดันที่สามารถทนกับอุณหภูมิสูงถึง 100 องศา



เซลเซียส การทดสอบเทียบเพื่อประเมินผลกระทบของน้ำที่มีอยู่ในต่อระหว่างฐานล่างของตัวอย่างและตัวแปลงสัญญาณแรงดันน้ำโดยใช้ตัวอย่างสแตนเลส ผลปรากฏว่าแรงดันส่วนเกินที่เกิดจากความร้อนในกรณีนี้มีค่าประมาณ 0.03 กิโลปาสกาลต้องอาศัยเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่น้อยจนสามารถละเลยได้



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบสามแกนที่ปรับปรุงโดย Abuel-Naga et al. (2006)

4. เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิแบบสำเร็จ

นอกจากการศึกษามลของอุณหภูมิของดินที่มีต่อพฤติกรรมมารับแรงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนมีการศึกษาและพัฒนาขึ้นมาเองแล้ว ยังมีผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบทางวิศวกรรมได้ทำการผลิตเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบควบคุมอุณหภูมิขึ้นมาเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้ผลิตเพื่อจำหน่ายจึงไม่มีการแสดงรายละเอียดแบบแปลนของเครื่องทดสอบไว้ จะอธิบายเพียงความสามารถของตัวเครื่องเท่านั้น



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบสามแกนสำหรับอุณหภูมิต่ำของบริษัท มารูอิ จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 5 เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิต่ำ (low temperature triaxial testing apparatus) เป็นเครื่องมือทดสอบที่ใช้หลักการทำให้ดินชุ่มก๊าซมีเทนที่มีอุณหภูมิและความดันที่ต้องการ สามารถทดสอบด้วยแรงแนวแกนสูงสุด 200 กิโลนิวตัน แรงดันด้านข้าง 20 เมกะปาสกาล การควบคุมอุณหภูมิใช้วิธีการไหลเวียนของน้ำเค็ม ช่วงของอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง - 10 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 20 องศา

เซลเซียส สามารถควบคุมอัตราการเลื่อนแบบคงที่ได้ 0.001 ถึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที อุปกรณ์นี้มีความสามารถในการวัดความดันแนวแกน การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเคลื่อนที่ด้านข้าง ความดันด้านข้าง ความดันภายในตัวอย่าง อุณหภูมิภายในเซลล์ และอุณหภูมิของตัวอย่าง ผลิตและจำหน่ายโดยบริษัท มารูอิ จำกัด (MARUI&CO.,LTD) ประเทศญี่ปุ่น บริษัท ไชเคน จำกัด (SEIKEN,INC.) ประเทศญี่ปุ่น ได้ผลิตเครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิสูง-ต่ำ และความดันสูง (high-low temperature & high pressure triaxial apparatus) หมายเลขรุ่น DTC-495 ดังแสดงในรูปที่ 6 มีการนำเสนอว่าออกแบบมาเพื่อความกะทัดรัดและสามารถทำการทดสอบในสภาวะความดันสูง ค่าแรงแนวแกนสูง และมีความแม่นยำที่ดีมาก มีการให้ความสำคัญกับความปลอดภัย การใช้งานง่าย เครื่องมือชุดนี้ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก คืออุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดได้ถึง -35 องศาเซลเซียส ความดันสูงสุด 10 ถึง 80 เมกะปาสกาล แรงตามแนวแกนแนวตั้งมากที่สุด 100 ถึง 500 กิโลนิวตัน สามารถรองรับตัวอย่างขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 30 มิลลิเมตร ไปจนถึง 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 เครื่องทดสอบสามแกนอุณหภูมิสูง-ต่ำและความดันสูงของบริษัท ไชเคน จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

อุปกรณ์ชุดนี้สามารถใช้ทดสอบได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การทดสอบแบบไม่อัดตัวคายนํ้าและไม่ระบายนํ้า (unconsolidated undrained test, UU) การทดสอบแบบอัดตัวคายนํ้าและระบายนํ้า (consolidated drained test, CD) การทดสอบแบบอัดตัวคายนํ้าและไม่ระบายนํ้า (consolidated undrained test, CU) การทดสอบแบบอัดตัวคายนํ้าและไม่ระบายนํ้าและวัดค่าแรงดันนํ้าไปพร้อมกัน รวมถึงการทดสอบคืบ (creep test) นอกจากนี้ยังสามารถส่งผลหรือเพิ่มเติมความสามารถของอุปกรณ์ได้ตามความต้องการของลูกค้า เช่น ต้องการเพิ่มช่วงของอุณหภูมิให้กว้างกว่านี้ ความดันที่สูงพิเศษ ขนาดตัวอย่าง ฯลฯ

จากตัวอย่างของเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่มีการผลิตเพื่อการจำหน่ายของทั้งสองบริษัทที่กล่าวมาข้างต้น การออกแบบจะเน้นเพื่อความสะดวก ใช้งานง่าย และสามารถนำไปทดสอบได้หลายรูปแบบ แต่เครื่องทดสอบที่ผลิตออกมามีขนาดที่ใหญ่ เพราะต้องติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ไว้มากมาย และจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18
วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

พิเศษต่างๆ ของเครื่องทดสอบจะผลิตมาโดยเฉพาะรุ่นและจำหน่ายพร้อมกันทั้งชุด ความยุ่งยากต่อมา คือ การขนย้าย การติดตั้งเข้ากับที่ รวมถึงเมื่อมีการจัดซื้อของอุปกรณ์ต้องมีช่างผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไขซ่อมแซม

5. ระบบของเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิใหม่

การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อต้องการความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของดินที่อุณหภูมิต่างกัน จะต้องมีการพัฒนาเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ขึ้นมาก่อน ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เซลล์สามแกน ระบบการทำความร้อน และระบบการให้แรงรวมทั้งเก็บข้อมูล

การออกแบบของเซลล์สามแกนอยู่ในพื้นฐานของเซลล์สามแกนแบบดั้งเดิม แต่ได้เพิ่มระบบการจัดการอุณหภูมิเข้าไป นอกจากนี้มีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบบางอย่างเพื่อลดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์

ดังตารางที่ 1 ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิใหม่กับอุปกรณ์ดั้งเดิมและอุปกรณ์ที่เคยได้รับพัฒนามาก่อนหน้า

โดยรูปที่ 7 แสดงแบบแปลนเซลล์สามแกนใหม่โดยมีหลักการการออกแบบเครื่องต้นแบบการทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิดังนี้

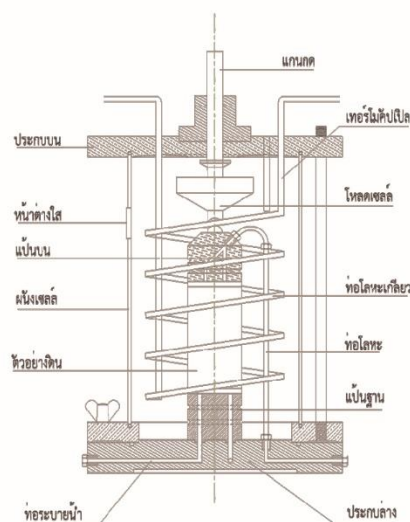
- มีขนาดกะทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่อื่นได้ง่าย และมีความปลอดภัยในขณะที่ใช้งาน
- ต้องใช้ทดสอบได้ตามข้อกำหนดของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องทดสอบแบบเดิมที่มีอยู่ได้
- ระบบความร้อนจะทำงานอิสระจากส่วนอื่น ๆ ของเซลล์สามแกน (ระบบให้แรง การวัด และการเก็บข้อมูล) ให้ความร้อนกับตัวอย่างด้วยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำรอบก้อนตัวอย่าง และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ของเครื่องมือใหม่กับ ASTM และเครื่องมือที่มีการพัฒนาในอดีต

เครื่องมือ/อุปกรณ์	ASTM	Lovisa Moritz	Abuel-Naga et al.	ออกแบบ	หมายเหตุ
1. อุปกรณ์ให้แรงแม่แกน	พิถีพิถันการควบคุมอุณหภูมิอัดการทดสอบ	เครื่องกดตัวอย่าง	เครื่องกดตัวอย่าง	ใช้เครื่องกดตัวอย่างที่มีอยู่	อัตราเค้นคงที่ไม่เกิดผลจากการสั่นของเครื่อง
2. อุปกรณ์วัดแรงแนวแกน	มีพิถีพิถันกับค่ากำลังของตัวอย่าง	โพลีเซลล์	โพลีเซลล์	โพลีเซลล์	วัดแรงกระทำแนวแกน (σ_1)
3. เครื่องขึ้นรูปการเสียรูป	มีช่วงวินัยสูงสุด 15 % ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น	Displacement Transducer	Displacement Transducer	Displacement Transducer	วัดการเคลื่อนที่ของลูกสูบ
4. ก่อรับแรงอัดสามแกน	สามารถมองเห็นตัวอย่างรับแรงดันได้	อะคริลิกใส	โลหะติดช่องหน้าต่างกระจกใส	ผนังโลหะหนา 5 มิลลิเมตร ติดช่องหน้าต่างใส	ไม่รั่วซึม
5. ขนาดตัวอย่าง	ความสูงเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง	50×100 มิลลิเมตร	50×100 มิลลิเมตร	50×100 มิลลิเมตร	H/D=2-2.5
6. อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน					
- ให้แรงดัน	แรงดันกึ่งและแรงดันหลัง	ชุดสร้างแรงดันคงที่	ชุดสร้างแรงดันคงที่	ชุดสร้างแรงดันคงที่แบบใช้ปั๊มลม (ของเดิม)	สร้างแรงดันคงที่ตลอดการทดสอบที่ใช้เวลาหลายวัน
- วัดแรงดัน	วัดความดันกึ่งและ ความดันน้ำ	pressure transducer	pressure transducer	pressure transducer	
7. ระบบควบคุมอุณหภูมิ					
- ทำความร้อน	ไม่มี	แผ่นทำความร้อน	วงแหวนทำความร้อนติดผนังเซลล์	ท่อของเหลวร้อนผ่านท่อโลหะ	ระหว่างทดสอบความผันผวนอุณหภูมิที่ยอมรับให้ ± 4 องศาเซลเซียส
- วัดอุณหภูมิ	ไม่มี	เทอร์โมคัปเปิลชนิดทนความร้อน	เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K	เทอร์โมคัปเปิล	
- อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิห้อง	70 องศาเซลเซียส	100 องศาเซลเซียส	90 องศาเซลเซียส	



- การอ่านค่าทดสอบจะอ่านค่าความดันน้ำ ควบคู่กับการอ่านค่าทรุดตัว มีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำรอบก้อนตัวอย่าง
- เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิตัวอย่างให้ได้ตามที่ต้องการควรมีน้อยที่สุด เครื่องทำความร้อนควรอยู่ใกล้ตัวอย่าง (ภายในเซลล์) เพื่อการควบคุมอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ



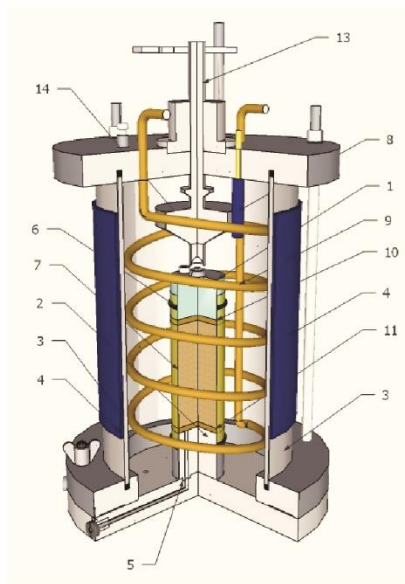
รูปที่ 7 รูปแบบแปลนเซลล์สามแกนที่ปรับปรุงใหม่

5.1 กล้องควบคุมความดันหรือเซลล์สามแกน

เซลล์สามแกนที่มีความสามารถควบคุมอุณหภูมิแบบใหม่นี้ออกแบบอยู่บนพื้นฐานของเซลล์สามแกนแบบดั้งเดิม โดยเพิ่มขนาดให้ใหญ่กว่าปกติ เพื่อต้องการติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยไม่สัมผัสกับตัวอย่างและเซลล์โดยตรง จากรูปที่ 8 และ 9 เป็นบน (1) และแผ่นฐาน (2) ตัวอย่างถูกออกแบบให้รองรับตัวอย่างที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และความสูง 100 มิลลิเมตร เลือกใช้ผนังเซลล์โลหะ (3) หนา 5 มิลลิเมตร เพื่อต้องการให้เซลล์สามแกนรับแรงดันสูงได้ ด้านนอกของผนังเซลล์หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน (4) เพื่อป้องกันอันตรายจากการใช้งานและรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ลดการแกว่งของอุณหภูมิ

เป็นตัวอย่างใหม่ถูกออกแบบเป็นพิเศษสำหรับเชื่อมต่อกับท่อระบายน้ำโดยไม่มีกรวยซึม โดยออกแบบให้ส่วนต่อระบายน้ำมีลักษณะเป็นสลัก (5) ยื่นออกมา ยาวรัศมีสองคู่ (6) อยู่รอบแผ่นบนและแผ่นฐานเพื่อปิดผนึกอย่างเที่ยงชนิดทนความร้อน (7) ไม่ให้ของเหลวในเซลล์สามแกนเข้าไปในตัวอย่างได้ เครื่องวัดอุณหภูมิ (8) ถูกติดตั้งกับประยกบนอยู่ภายในเซลล์สามแกน ระหว่างตัวอย่างกับท่อโลหะ (9) สำหรับหล่อของเหลวร้อน อุณหภูมิสูงสุดของการทดลองจำกัดไว้เพียง 90 องศาเซลเซียสเพื่อความปลอดภัย ใช้เครื่องมือสร้างแรงดันคงที่

สำหรับการควบคุมที่แม่นยำและการวัดแรงดันของเหลวและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำ ทางระบายน้ำมีสองทาง เช่นแผ่นหินพรุนบนและล่าง (10,11) ถ้าต้องการระบายน้ำ ซึ่งปกติจะระบายผ่านกระดาษกรองด้านข้าง ออกทางแผ่นหินพรุนล่างด้านเดียว



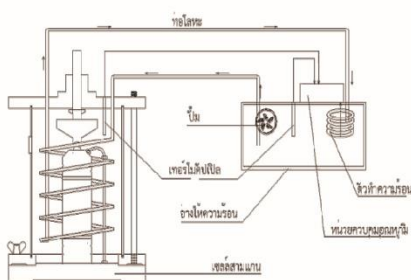
รูปที่ 8 รูปตัดเซลล์สามแกนใหม่

แกนกด (13) ติดตั้งที่ด้านบนของเซลล์ สามารถเคลื่อนขึ้นและลงในแนวตั้งได้ ปลายของแกนกดส่วนที่สัมผัสตัวอย่างจะติดตั้งหลอดเซลล์ (14) ไว้สำหรับวัดค่าแรงแนวแกน แกนกดและส่วนของปลอกแกน จะออกแบบพิเศษให้มีแรงเสียดทานน้อยที่สุด แต่ต้องสามารถกันความดันไม่ให้รั่วออกมาได้ อุปกรณ์สำหรับการวัดเพิ่มเติมจะประกอบด้วย หลอดเซลล์เพื่อวัดความแรงตามแนวแกน ตัวแปลงสัญญาณสำหรับวัดการเคลื่อนที่ เครื่องแปลงสัญญาณแรงดันเพื่อวัดแรงดันน้ำในเซลล์และในตัวอย่าง ทุกจุดที่มีโอกาสรั่วซึมจะต้องเสริมตัวอย่างกันซึมทุกจุด

หน่วยทั้งหมดของอุปกรณ์จะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์และข้อมูลระหว่างการเดินที่ได้จากการทดสอบอย่างต่อเนื่องถูกเก็บโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการแปลงแรงดันขาออกของตัวแปลงสัญญาณที่แตกต่างกันใช้สำหรับการตีความด้วยการเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน เช่น $\log t - \epsilon_v, q - \epsilon_a, p' - q, \epsilon'_v - \epsilon'_a$ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทการทดสอบ โดยที่ t คือเวลา ϵ_v คือความเครียดเชิงปริมาตร q คือความเค้นเบี่ยงเบน p' คือความเค้นเฉลี่ย และ ϵ'_a คือความเครียดแนวแกน

5.2 ระบบทำความร้อน

ระบบทำความร้อนประกอบด้วยตัวทำความร้อน (heater) ที่วางอยู่ในอ่างให้ความร้อน (heating bath) ปั๊มหรือเครื่องสูบลม (pump) ผนวกรวมความร้อน และหน่วยควบคุมอุณหภูมิ น้ำจะทำหน้าที่เป็นของเหลวที่ไหลเวียน ความร้อนของตัวอย่างได้รับทางอ้อมโดยการไหลเวียนของเหลวร้อนภายในท่อโลหะเคลือบด้วยวัสดุอย่างดังรูปที่ 9 ของเหลวร้อนมาจากอ่างความร้อน (ตั้งอยู่บนเซลล์สามแกน) ไหลผ่านท่อโลหะเคลือบภายในเซลล์สามแกนรอบตัวอย่าง และสุดท้ายวนกลับไปอ่างให้ความร้อน ใช้มีที่กักตุนตัวอย่างน้ำร้อนสำหรับการหมุนเวียนน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเวียนควบคุมโดยใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า งามอยู่ใต้น้ำในอ่างให้ความร้อน อุณหภูมิจะคงในระดับต้องการโดยการปรับสมดุลพลังงานเข้า



รูปที่ 9 ชุดอุปกรณ์ทำความร้อนในเซลล์สามแกนใหม่

การวัดอุณหภูมิจะทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลสองตัว ตัวแรกวางในเซลล์สามแกน ส่วนอีกตัววางอยู่ในอ่างให้ความร้อน สำหรับให้สัญญาณป้อนกลับควบคุมการทำความร้อนและใช้เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ตัวทำความร้อนจะถูกเชื่อมต่อกับตัวควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) เป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในบริเวณใดบริเวณหนึ่งให้มีระดับตามที่ต้องการ ตัวควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ หน่วยสัมผัสอุณหภูมิกับหน่วยที่ใช้บังคับหรือควบคุมอุณหภูมิ หน่วยสัมผัสอุณหภูมิ มีหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับอุณหภูมิที่ต้องการ เมื่อตรวจวัดได้ก็รายงานไปยังส่วนที่ใช้บังคับให้ควบคุมอุณหภูมิไว้ก่อน

การวัดอุณหภูมิจะทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลวางอยู่ระหว่างท่อโลหะเคลือบหล่อร้อนและตัวอย่าง ใช้สัญญาณป้อนกลับสำหรับสั่งการทำงานของตัวทำความร้อนและใช้สำหรับการเก็บข้อมูล เนื่องจากการวัดอุณหภูมิใช้วัดอุณหภูมิของเหลวใกล้ตัวอย่าง และไม่ได้รับโดยตรงภายในตัวอย่างเพื่อหลีกเลี่ยงเสียงการรบกวน ควรมีการทดสอบเทียบเบื้องต้น ดำเนินการเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิจริงภายในตัวอย่าง ทำโดยการใส่เทอร์โมคัปเปิลเข้าไปในใจกลางของตัวอย่างและเพิ่มอุณหภูมิเป็นขั้นตอน ๆ ละ 10 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิภายในตัวอย่างและอุณหภูมิของน้ำในเซลล์สามแกน Lovisa Moritz (1995) เสนอว่าการให้ความร้อนที่เหมาะสมเพื่อการใส่ระดับอุณหภูมิในตัวอย่าง คือ ประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อ 30 นาที เนื่องจากศูนย์กลางของ

ตัวอย่างเป็นที่ห่างไกลที่สุดจากแหล่งให้ความร้อน 30 นาทีถือว่าเป็นเวลาที่ให้เหมาะสมในการกระจายอุณหภูมิภายในตัวอย่างคงที่

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหภูมิ โดยปกติจะมีความผันผวนของอุณหภูมิอย่างมากในสภาวะปกติ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยของสิ่งแวดล้อมนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุณหภูมิ และเนื่องจากอุณหภูมิสูงอาจก่อให้เกิดผลที่ไม่พึงประสงค์ในระบบการวัด ควรให้การดูแลเป็นพิเศษในระหว่างทำการทดลองโดยไม่ควรให้เครื่องทดสอบนี้อยู่ใกล้แหล่งให้ความร้อนอื่นๆ หรือโดนแสงแดดโดยตรง เพราะจะทำให้การทดลองมีความผิดพลาดได้

5.3 ระบบความดันจากชุดสร้างแรงดันคงที่

ชุดสร้างแรงดันคงที่เป็นอุปกรณ์ที่แทบจะไม่ต้องปรับปรุง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงดันเพียงอย่างเดียว โดยทั่วไปมักจะใช้ชนิดบีบลมที่สามารถปรับความดันคงที่ได้ระหว่างการทดสอบ ความดันที่ใช้ในการทดสอบจะมี 2 ส่วน คือ

1. ความดันภายนอกตัวอย่างหรือความดันเซลล์ (cell pressure) กระทำความดันสัมผัสสูงที่รัด ที่ห้องตัวอย่างดิน ความดันได้จากสายความดันเซลล์ ซึ่งจะทำให้เกิดความดันภายในห้อง (chamber) รอบๆ ตัวอย่าง

2. ความดันภายในตัวอย่าง (back pressure) ในกรณีของการอัดความดันน้ำ (saturate) ตัวอย่างดิน และเป็นทางระบาย (drain) เมื่อมีค่าความดันที่ยกตัวอย่างน้ำด้านนอกตัวอย่างสูงกว่า ความดันได้จากการต่อสายความดันภายใน (back pressure line) เข้าเซลล์ ผ่านหินพรุนล่าง และจะต่อออกทะลุอีกสายหนึ่งไปยังที่วัดความดันน้ำ ซึ่งจะใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณวัดความดันไฟฟ้าเป็นตัววัด

เห็นได้ว่าเครื่องทดสอบสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมินี้ไม่แตกต่างไปจากอุปกรณ์ดั้งเดิมมากนัก อุปกรณ์ชิ้นหลักที่ต้องปรับปรุงใหม่มีเพียงเซลล์สามแกนเท่านั้น และสามารถผลิตขึ้นเองได้ อุปกรณ์หรือเครื่องมือชิ้นอื่นๆ ยังสามารถใช้ของดั้งเดิม เช่น ชุดสร้างแรงดันคงที่ เครื่องกวดตัวอย่าง และอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มเติมขึ้นมาส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาด และแยกออกจากอุปกรณ์อื่นๆ หากเกิดการเสียหาย ก็สามารถซ่อมแซมหรือเปลี่ยนได้ด้วยตัวเอง ความสามารถของเครื่องทดสอบที่ได้ก็มีความใกล้เคียงกับกับเครื่องมือที่เคยมีการพัฒนา

6. สรุป

แนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนให้สามารถใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนและความแข็งของดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เครื่องต้นแบบสำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่นำเสนอในบทความนี้ ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ดั้งเดิมประกอบด้วยเซลล์สามแกนที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิไว้ ซึ่งสามารถใช้ในการทดสอบแรงอัดสามแกนในรูปแบบต่างๆ ได้เหมือนเครื่องทดสอบแบบดั้งเดิมเพียงเพิ่มความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิเข้ามา อุณหภูมิที่เพิ่มได้ถึง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอต่อการทดลองหาคุณสมบัติของดินแล้ว สามารถนำมาทดแทนเครื่องทดสอบสำเร็จรูปที่มีราคาแพง เซลล์ต้นแบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพิ่มความสามารถด้านอื่นๆ ได้อีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM D4767-04 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. In *Annual Book of ASTM Standards*.
- [2] Abuel-Naga, H., Bergado, D., & Chaiprakaikeow, S. (2006). Innovative thermal technique for enhancing the performance of prefabricated vertical drain during the preloading process. In *Geotextiles and Geomembranes 24* (pp. 359-370).
- [3] Moritz, L. (1995). *Geotechnical Properties of Clay at Elevated Temperatures*. Sweden: Roland Offset.
- [4] Trani, L. D., Bergado, D. T., & Abuel-Naga, H. M. (2008). Thermal Effects on Undrained Shear Strength of Normally Consolidated Soft Bangkok Clay. In *Geotechnical special publication* (179 ed., pp. 1069-1705). New Orleans, Louisiana.
- [5] V.S. Deshpande, D. C. (1999). Steady-state constitutive relationship for idealised asphalt mixes. In *Mechanics of Materials 31* (pp. 271-287).





ผลกระทบของอัตราความเครียดและอุณหภูมิต่อพฤติกรรมเชิงกล
ของดินเหนียวปากพนัง

Combined Effect of Strain Rate and Temperature on Mechanical Behavior
of Pakphanang Clay

วิระ ศรีสกุล¹ รณภา พงษ์ธนกร ชมภูรัตน์² และ ธนัท ขุขุภากร³

^{1,4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล จ.ประจวบคีรีขันธ์

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันว่าดินเหนียวอ้อมตัวด้วยน้ำจะแสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับพลังงานกล เมื่อดินได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังของดินเหนียวอ่อนจะขึ้นกับฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอพฤติกรรมความเค้น ความเครียด และกำลังของดินเหนียวอ่อนปากพนัง ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราเฉือน โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนดัดแปลง [1] การศึกษาจะทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอ้อมตัวด้วยน้ำ และเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และอัตราการเฉือนที่แตกต่างกัน 0.075% และ 1% ต่อวินาทีตามลำดับในคอนแทกของงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนปากพนัง ณ อุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิห้อง

คำสำคัญ: การทดสอบแรงอัดสามแกน, อุณหภูมิ, ดินเหนียวปากพนัง

Abstract

It is understood that saturated clays behave in terms of the relationship between heat and mechanical energy when affected by the temperature change i.e. the relationship among stress, strain and the strength of soft clays is based on the function of temperature change. Therefore, this research is aimed at presenting the behaviors of the

stress, strain and strength of Pakphanang clay under the changes of temperature and shear rate using modified triaxial apparatus [1]. In this study, the compression triaxial tests were performed as consolidated and undrained shear at 45 C and 60 C with the different shear rates of 0.075% and 1% per minute, respectively. In the later part of the research presents the comparison between the stress-strain relationship and the shear strength of Pakphanang clay at high temperature and the room temperature.

Keywords: compression triaxial test, temperature, Pakphanang clay

1. คำนำ

อุณหภูมิของดินมีความสำคัญในการกำหนดอัตราและทิศทางของการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ ทางเคมี และชีวภาพในดิน ซึ่งสำคัญของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินคือ แหล่งที่มาของพลังงานความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อน และความชื้นของดิน แม้ว่าพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและพลังงานกลของดินเหนียว จะมีความสำคัญในหลายการใช้งาน เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้ถูกพบข้อผิดพลาดบ่อยๆ หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินบริเวณโดยรอบ อย่างไรก็ตามผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของดินยังไม่มีความเข้าใจที่ดี เพราะการทดสอบที่เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิตัวมากจะทำได้ด้วยการทดลองอย่างง่าย เช่น การทดสอบการอ้อมตัวด้วยน้ำด้วยเครื่องมือหนึ่งชนิด (oedometer test) หรือการทดสอบการเฉือนโดยตรง (direct shear test) นั้น

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: watchara.s1987@gmail.com

มีความซับซ้อนน้อย แต่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและพลังงานกลของดินได้ เนื่องจากมีตัวแปรเพิ่มเติม คืออุณหภูมิที่ต้องควบคุม ดินเหนียวปากพนังเป็นดินเม็ดละเอียด พฏิกิริยารวมของดินประเภทนี้ขึ้นอยู่กับของเหลวที่อยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน และพื้นผิวของอนุภาคเม็ดดินเหนียว เมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น ของเหลวและอนุภาคของเม็ดดินจะมีการขยายตัว เมื่อมีแรงกระทำจะส่งผลต่อพฤติกรรมของดินที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไป การนำดินเหนียวปากพนังไปใช้ประโยชน์ต้องเข้าใจถึงอิทธิพลต่างๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของดินเหนียว เพื่อให้สามารถออกแบบได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

เป็นที่ทราบกันดีว่าดินเหนียวอิมคัวคัวนั้นจะแสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับพลังงานกล เมื่อดินได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังของดินเหนียวอ่อนจะขึ้นกับฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การทดสอบที่เกี่ยวข้องกับความร้อนอย่างง่าย เช่น ทดสอบการอัดคัวคัวน้ำ ซึ่งสามารถทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 50 องศาเซลเซียส [2-4] หรือใช้การทดสอบการเฉือนแบบวงจร [5] ซึ่งไม่สามารถบอกถึงพฤติกรรมก่อนการวิบัติของดินได้เท่าที่ควร

ดังนั้นบทความนี้จะเน้นการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังของดินเหนียวปากพนัง โดยใช้การทดสอบแรงอัดสามแกน

2. การศึกษาที่ผ่านมา

2.1 ผลของอุณหภูมิของดิน

ดินมีส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นตัวให้กำเนิดพลังงาน โดยความร้อนคือพลังงานอีกอย่างหนึ่งที่ได้จากดิน ดินมีอุณหภูมิโดยประมาณ 27-29 องศาเซลเซียส [6] อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ทำให้เกิดความร้อนและสามารถทำให้อุณหภูมิของดินเปลี่ยนไปได้

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติพื้นฐานของดินมีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาไว้ เช่น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติกลดลง [7] อุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างและความหนืดของดิน [8] อุณหภูมิส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ [8-9] และ อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร [9]

นอกจากนี้ Laguous [10] กล่าวว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้มีระเหยออกจากตัวอย่างดิน ส่งผลให้ความอิ่มตัวของมวลดิน (degree of saturation) ลดลง และเพิ่มแรงดูด (suction) ในตัวอย่าง เป็นผลให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว (unconfined compressive strength) เพิ่มขึ้น (และ shear and Burros [11] ได้กล่าวเพิ่มเติมว่าอุณหภูมิดินที่เปลี่ยนแปลงเป็นสาเหตุให้แรงดันน้ำในดินเปลี่ยนแปลง และเป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินด้วย

สำหรับงานวิจัยในประเทศไทย เพิ่มพรและพิสิทธิ์ [5] ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร

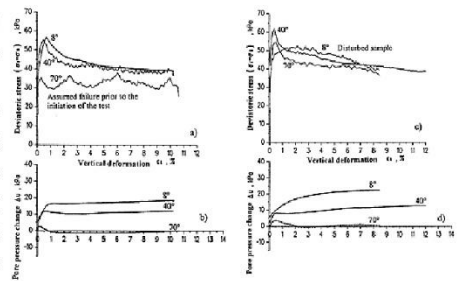
ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ ในการศึกษาจะทำที่อุณหภูมิ 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบคง ตัวอย่างจะถูกอัดคัวคัวคายน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนดและทำการเฉือนที่อุณหภูมิเดียวกันภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การอัดคัวคายน้ำที่ความดันค่ากำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อความดันในการอัดคัวคายน้ำสูงขึ้นกำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นจะค่อยๆลดลงและที่ความดันที่ใช้ในการอัดคัวคายน้ำ 16 คันท่อวางแรง ผลกระทบของอุณหภูมิจะไม่มีผลกับกำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรง

2.2 ผลการศึกษาแรงอัดสามแกน

อิทธิพลของอุณหภูมิจากที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของความเค้นความเครียดของดินได้มีผู้ให้ความสนใจและศึกษาด้านนี้ไม่มากนัก โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

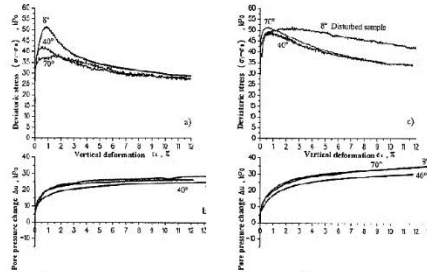
Moritz [12] ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง โดยนำตัวอย่างมาทดสอบที่ใกล้กับความร้อน การทดสอบออกแบบให้มีการจำลองสถานการณ์การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างและหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength) ที่อุณหภูมิต่างๆ 3 อุณหภูมิ คือ 8 40 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการอัดคัวคายน้ำ (consolidation) ที่ความเค้นในที่ (in situ stress) แล้วทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่ระบายน้ำที่อัตราความเร็วรูปแตกต่างกัน 2 ค่า ตัวอย่างที่ได้รับความร้อนภายใต้เงื่อนไขไม่ระบายน้ำจะถูกเฉือนเร็วแบบไม่ระบายน้ำด้วยอัตราการเฉือนรูป 1.0% ต่อ นาที ส่วนตัวอย่างที่ได้รับความร้อนภายใต้เงื่อนไขไม่ระบายน้ำจะถูกเฉือนช้าแบบไม่ระบายน้ำด้วยอัตราการเฉือนรูป 0.006% ต่อ นาที

การทดสอบแรงอัดสามแกนด้วยการเฉือนเร็ว (รับความร้อนแบบไม่ระบายน้ำ) ได้ดำเนินการเร็วเกินไปสำหรับการประเมินค่ากำลังรับแรงเฉือน นอกจากนี้มีตัวอย่างหลายตัวอย่างใช้ไม่ได้ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนในเรื่องการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากทดสอบเหล่านี้ถูกให้ความร้อนแบบไม่ระบายน้ำ สภาพความเครียดเปลี่ยนแปลงไปโดยสิ้นเชิงตั้งแต่เริ่มทดสอบ



รูปที่ 1 ผลการทดสอบด้วยการเฉือนเร็ว ของตัวอย่างที่มีความลึก 6 เมตร (a และ b) และ 9 เมตร (c และ d) [12]

ผลที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนด้วยการเฉือนซ้ำ (ได้รับความร้อนแบบระบายน้ำ) แสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นสำหรับตัวอย่างที่มีความลึก 6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 แต่แนวโน้มของผลที่ได้จากตัวอย่างที่มีความลึก 9 เมตร ยังมีข้อสงสัยอยู่มาก



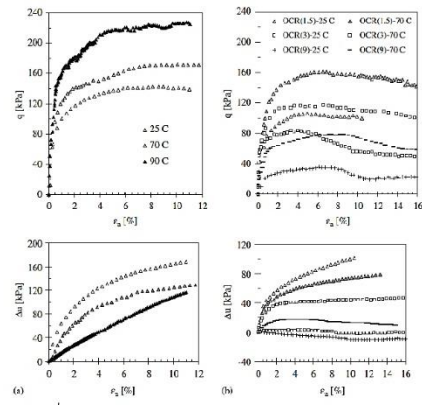
รูปที่ 2 ผลการทดสอบตัวอย่างการเฉือนซ้ำ ของตัวอย่างที่มีความลึก 6 เมตร (a และ b) และ 9 เมตร (c และ d) [12]

Abuel-Naga Bergado and Chaiprakaikeow [9] ได้ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่างกันและความเครียดที่แตกต่างกัน ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่อุณหภูมิสูงสุด 90 องศาเซลเซียส โดยการทำให้ตัวอย่างดินมีอุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการแล้วปล่อยให้เย็นตัวก่อนการเฉือน ให้ความร้อนแบบระบายน้ำ การเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีอัตราความเครียด 2% ต่อชั่วโมง ผลของการทดสอบแรงอัดสามแกนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของดินทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย ภายใต้เงื่อนไขความชื้นแบบระบายน้ำ รูปที่ 3a แสดงผลการทดสอบของตัวอย่างสภาพอัดแน่นตัวปกติ สำหรับผลการทดสอบของตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัว OCR เท่ากับ 1.5 3.0 และ 9.0 แสดงในรูปที่ 3b ผลปรากฏว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้นในทุกๆ OCR นอกจากนี้ สำหรับตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัวเล็กน้อย แรงดันน้ำส่วนเกินลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม แต่สำหรับสำหรับตัวอย่างสภาพอัดแน่นเกินตัวสูงแรงดันน้ำส่วนเกินที่สร้างขึ้นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม

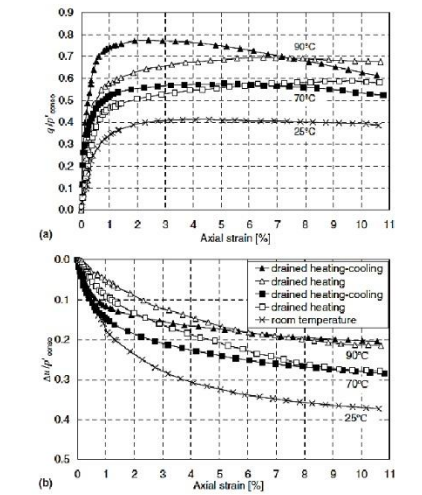
Trani Bergado and Abuel-Naga [13] ได้ทดสอบหาผลของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินอ่อนกรุงเทพฯ ในสภาพอัดแน่นปกติ (NC) ภายใต้เงื่อนไขให้ความร้อนพร้อมระบายน้ำ ใช้ 2 กระบวนการในการทดสอบ คือ การทดสอบโดยให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 70 หรือ 90 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะความชื้นคงที่ และการทดสอบโดยให้ความร้อนเป็นวัฏจักรความร้อน ทั้ง 2 กระบวนการจะทดสอบแบบอัดคายน้ำและไม่ระบายน้ำ เฉือนด้วยอัตราความเครียดคงที่ 2% ต่อชั่วโมง ผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4a แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดเพิ่ม แต่แรงดันน้ำส่วนเกินจะลดลง ดังรูปที่ 4b และยังแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบวัฏจักรความร้อน จะถึงความแข็งแรงสูงสุดที่ระดับความเครียดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนคงที่

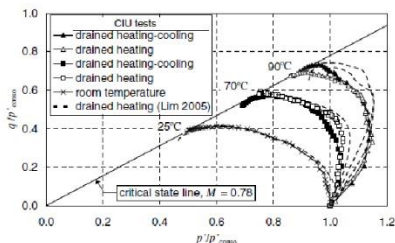
ผลของอุณหภูมิต่อเส้นสภาวะวิกฤต (critical state line) แสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่าความชัน (M) ของกราฟที่ความสัมพันธ์ระหว่าง q_p เป็นอิสระกับอุณหภูมิ โดยมีค่าเท่ากับ 0.78 นอกจากนี้เส้นทางความเครียด (stress paths) ของตัวอย่างที่มีความร้อนจะมีแนวโน้มที่จะย้ายไปทางขวาของตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ แสดงให้เห็นว่าที่จุดวิกฤตดินอาจเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่ต่ำกว่า สรุปได้ว่าอุณหภูมิจะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้กำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ผลการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวอ่อน (a) สภาพอัดแน่นปกติ และ (b) สภาพอัดแน่นเกินตัว [9]

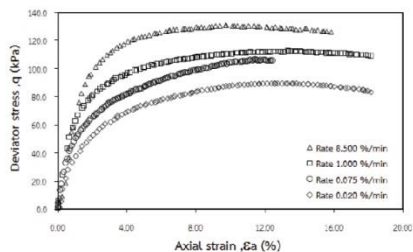


รูปที่ 4 ผลการทดสอบของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ [13]

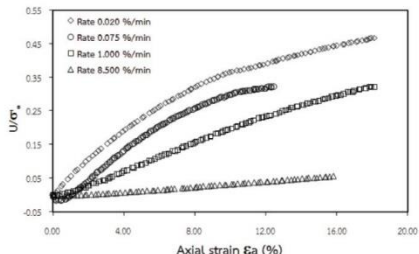


รูปที่ 5 เส้นทางการหดรัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ [13]

ในปี 2556 ศิริพร และ คณะ [14] ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราความเครียดที่มีต่อพฤติกรรมความแข็งและความเครียดของดินเหนียวปากพ่อง โดยทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำของตัวอย่างดินเหนียวที่ค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 1 เดือนด้วยอัตราความเครียด 4 อัตรา คือ 0.020% 0.075% 1.0% และ 8.5% ต่อวันที่ ผลการทดสอบปรากฏว่าอัตราความเครียดมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวปากพ่อง ในทุกๆ ค่าของอัตราการอัดแน่นเกินตัวดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพ่อง [14]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียดของดินเหนียวปากพ่อง [14]

นอกจากนี้อัตราความเครียดยังมีผลต่อการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่ค้างกันในดินขณะทำการเฉือน (รูปที่ 7) โดยแรงดันน้ำส่วนเกินที่อัตราการเฉือนต่ำจะมีค่าสูงกว่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่อัตราการเฉือนสูง และเส้นทางการของความเค้นประสิทธิผลด้วย สังเกตได้ว่ากราฟทดสอบนี้ทำเพียงที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น

3. เครื่องมือและแผนการทดสอบ

3.1 เครื่องมือการทดสอบ

ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และกำลังของดินเหนียว เนื่องจากมีตัวแปรเพิ่มเติม คือ อุณหภูมิที่ห้องควบคุม จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องทดสอบสามแกนชนิดพิเศษที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดสอบได้

วิษระ และ คณะ [1] ได้เสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งถูกพัฒนาจากเครื่องทดสอบสามแกนแบบดั้งเดิม ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมี ความคล้ายคลึงกับแบบดั้งเดิมมาก เพียงเพียงชุดควบคุมอุณหภูมิเท่านั้นดังรูปที่ 8 โดยมีลักษณะหลักดังต่อไปนี้



รูปที่ 8 เครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ [1]

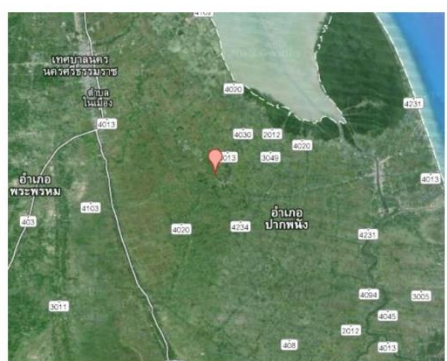
1. ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร
2. ตัวเซลล์ปรับปรุงจากเซลล์ของบริษัท Wykehem Fanance
3. ระบบความร้อนจะทำงานอิสระจากส่วนอื่น ๆ ของเซลล์สามแกน (ระบบให้แรง การวัด และการจัดเก็บข้อมูล) ให้ความร้อนกับตัวอย่างด้วย

การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำรอบก้อนตัวอย่าง และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

4. สามารถอ่านค่าความดันน้ำควบคู่กับการอ่านค่าพืดตัว มีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำรอบก้อนตัวอย่าง ระหว่างการทดสอบ

3.2 ตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวอย่างดินคงสภาพจากบริเวณตำบลบางจาก อำเภอปากพนัง ดังแสดงในรูปที่ 9 จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นดินที่ประกอบด้วยประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวชายทะเล (mangrove deposits) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมด้วยน้ำทะเล เรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang clay) ตัวอย่างจะถูกเจาะโดยใช้การฉีดล้าง (wash boring) และการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเปลือกบาง (thin walled tube) ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 3.0 – 12.0 เมตร



รูปที่ 9 บริเวณตำบลบางจาก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ดินเหนียวปากพนังมีลักษณะสีเทาถึงดำ เป็นดินจำพวกดินทรายแป้ง (MH) ที่มีสภาพพลาสติกสูงมาก (vary high plasticity) มีความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากสภาพเหลวและความชื้นในธรรมชาติค่อนข้างสูง โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 1

3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุล

เพื่อเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ โครงสร้าง โมเลกุลของดินเหนียว จึงต้องทำการศึกษาระดับความเป็นผลึกของสารถึงผลึก โดยการใช้ Wide angle X-ray scattering (WAXS) ซึ่งสามารถศึกษาโครงสร้างผลึกได้ โดยการยิงรังสีเอกซ์ไปยังตัวอย่างดินเหนียวปากพนังที่อุณหภูมิต่างๆ และวัดความเข้มรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาที่มุมต่างๆ คล้ายกับการวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray diffraction (XRD) ผลการวัด WAXS ที่ได้จะแสดงจุดได้รับพลังงานสูงสุด (brag peak) ของโครงสร้างผลึก ซึ่งสามารถใช้ระบุ โครงสร้างผลึก ได้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทั่วไปของดินเหนียวปากพนัง [14]

รายละเอียดคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม		ช่วงของค่า
ค่าความชื้นในธรรมชาติ (W_u)	(%)	81.78
ค่าพืดเหลว (LL)	(%)	73.10
ค่าพืดพลาสติก (PL)	(%)	44.40
ค่าดัชนีพลาสติก (PI)	(%)	28.70
ค่าหน่วยน้ำหนัก (unit weight)	γ_m	1.52
ค่าความถ่วงจำเพาะ (G_s)	-	2.67
ทราย (sand) (0.06 – 2 mm.)	(%)	0.75
ดินตะกอน (silt) (0.002 – 0.06 mm.)	(%)	52.67
ดินเหนียว (clay) (< 0.002 mm.)	(%)	43.69
ค่าดัชนีการยุบตัว (C_c)	-	0.668
ค่าดัชนีการยุบตัวจำกัด (C_u)	-	0.140
อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio)	-	2.253

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

- นำตัวอย่างดินคงสภาพมาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยที่ความสูงของตัวอย่างจะต้องมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งนี้เพื่อให้อรรถเจี้ยน (failure plane) ไม่อยู่ในส่วนของผิวบนหรือผิวล่างของตัวอย่าง การตัดแต่งจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ใช้กระบอบแบบ (miter box) แบบผ่ามุมตัวอย่างในการที่จะตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ
- ทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนีย วางตัวอย่างดินลงบนฐานเซลดัดสามแกน โดยมีพื้นพรุนอยู่ระหว่างตัวอย่างและฐานเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก ใส่ยางนูนรัด (rubber membrane) แล้วรัดด้วยยางรัด (O-ring) ให้ดูยางรัดแน่นกับฐาน โดยของเหลวภายนอกจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้ วางพื้นพรุน (top porous stone) และเป็นบน (top cap) ลงบนตัวอย่าง
- ประกอบตัวเครื่องทดสอบสามแกนครบถ้วนลงบนตัวอย่างดิน ต้องระวังให้แกนนก (piston) อยู่บนกึ่งกลางของเป็นบนพอดี ยึดกับฐานให้แน่น

3.5 วิธีการทดสอบ

หลังจากที่ตัวอย่างได้รับการตัดแต่งและเตรียมใส่ในเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแล้ว ในขั้นตอนการอัดตัวคาน้ำ จะทำการอัดตัวคาน้ำ โดยให้ระบายน้ำทางด้านล่างของตัวอย่าง โดยรอบตัวอย่างทำการเพิ่มแรงดันเซลล์ (cell pressure) ให้มีค่าเท่ากับ 450 kPa และความดันภายใน (back pressure) เท่ากับ 200 kPa การเลือกตัวอย่างจะเลือกภายใต้เงื่อนไขมีระบายน้ำที่อัตราความเครียดคงที่ 0.075 และ 1.0 % ต่อวินาที กำหนดทำการทดสอบที่ อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และทำการอัดแน่นเกินตัว (over consolidation ratio, OCR) ก่อนการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจำกัดไว้ให้เท่ากับ 1 หลังจากทำการอัดตัวคาน้ำเสร็จ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิ

ให้แก่วัตถุแล้ว จึงนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับกราฟทดสอบที่อุณหภูมิห้องของศิริพร และคณะ [14] สำหรับตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมด แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างที่ทำการทดสอบและข้อมูลเปรียบเทียบ

Temp. (°C) \ Rate (%/min)	0.075	1.0
Room temp. (~30)	S	S
45	X	X
60	X	X

หมายเหตุ (X) คือ ตัวอย่างที่ทำการทดสอบ (S) คือ ข้อมูลจาก ศิริพรและคณะ[14]

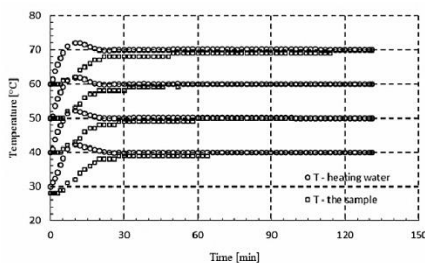
การเก็บข้อมูลระหว่างการเจือจางทั้งหมดถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบอย่างค่อนเนื่องถูกเก็บโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ข้อมูลที่ได้ใช้สำหรับการตีความด้วยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

3.6 การสอบเทียบระบบการให้ความร้อน

เนื่องจากวัสดุอุณหภูมิจะทำได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิของเหลวระหว่างจุดวัดที่ความร้อนและตัวอย่าง ไม่ได้วัดโดยตรงภายในตัวอย่างเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวน ได้มีการทดสอบเทียบเบื้องต้น คำนึงการเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิจริงภายในตัวอย่าง ทำโดยการใส่เทอร์โมคัปเปิลเข้าไปในใจกลางของตัวอย่างและเพิ่มอุณหภูมิเป็นขั้นตอน ๆ ละ 10 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิภายในตัวอย่างและอุณหภูมิของน้ำในเซลล์สามแกน

จากผลการทดสอบได้ผลตาม

รูปที่ 10 เวลาที่เหมาะสมในการให้เพิ่มอุณหภูมิแก่วัตถุ คือ 10 องศาเซลเซียสต่อ 30 นาที ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Moritz [12] ที่ว่าการให้ความร้อนที่เหมาะสมเพื่อการได้ระดับอุณหภูมิในตัวอย่าง คือประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อ 30 นาที เนื่องจากศูนย์กลางของตัวอย่างเป็นที่ที่ห่างไกลที่สุดจากแหล่งให้ความร้อน 30 นาทีถือว่าเป็นเวลาที่ให้เหมาะสมในการกระจายอุณหภูมิภายในตัวอย่างดังนี้

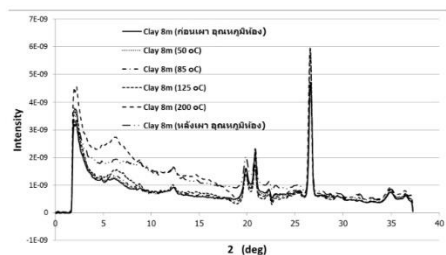


รูปที่ 10 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิภายในตัวอย่างขณะให้ความร้อน

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุล

ผลการศึกษาคุณสมบัติความเป็นผลึก โดยการวัด WAXS เพื่อจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของดิน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่า ทุกๆ อุณหภูมิกราฟมีเลียมสูงค่ากันเล็กน้อย และแนวโน้มลักษณะกราฟที่มีความใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 11 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ามีจุดยอดของกราฟอยู่ในจุดเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิต่างๆ ไม่มีผลต่อโครงสร้างโมเลกุลของดินเหนียว เพราะฉะนั้นปัจจัยที่ทำให้พฤติกรรมทางด้านกำลังของดินเหนียวเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่างๆ จึงเป็นเพียงอิทธิพลของแรงดันน้ำส่วนเกินเท่านั้น ไม่มีผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของดิน



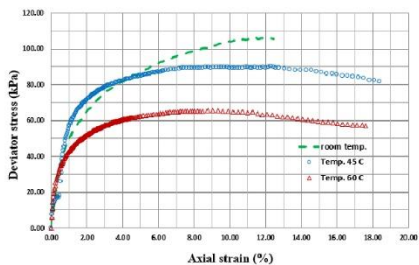
รูปที่ 11 ผลการศึกษาคุณสมบัติความเป็นผลึกของดินเหนียวที่ความลึก 8 เมตร

4.2 ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ

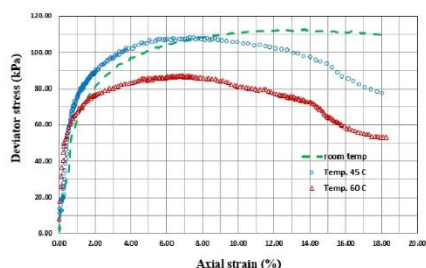
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 45 และ 60 องศาเซลเซียส ของดินเหนียวปกติหนึ่ง ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนแบบไม่ระบายน้ำ เลื่อนด้วยอัตราความเครียด 0.075% ต่อหน้าที่ พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวสามารถรับแรงได้น้อยลงดังแสดงในรูปที่ 12 คือ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเพียง 90.1 kPa และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเพียง 65.4 kPa เช่นเดียวกับการเลื่อนด้วยอัตราความเครียด 1.0% ต่อหน้าที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวสามารถรับแรงได้น้อยลงเช่นกัน มีค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดเท่ากับ 108.1 และ 87.2 kPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 13

เมื่อนำกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดที่ได้ของแต่ละอุณหภูมิ และทั้ง 2 อัตราการเลื่อน มาเทียบกับผลการทดสอบแรงอัดสามแกนของดินเหนียวปกติหนึ่งที่อุณหภูมิห้องซึ่งทดสอบโดย ศิริพร และคณะ [14] อุณหภูมิของดินที่ทดสอบที่อุณหภูมิห้องจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของน้ำ โดยรอบตัวอย่าง ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ได้ดัง

ตารางที่ 3 จากผลทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อนำกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ มาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดที่อุณหภูมิห้องแล้ว พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินเหนียวสามารถรับแรงได้น้อยลงในทุกๆ อุณหภูมิและอัตราการเลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 14



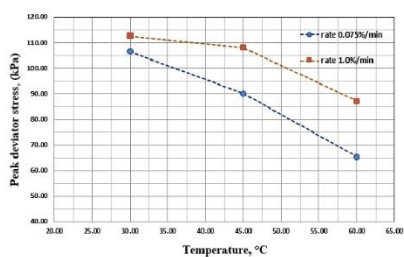
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน การเฉือนที่อัตราความเครียด 0.075% ต่อวินาที



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนกับอัตราความเครียดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน การเฉือนที่อัตราความเครียด 1.0% ต่อวินาที

ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด

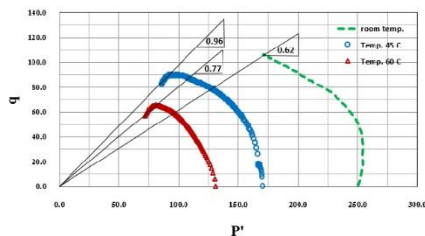
Temperature, °C	Peak deviator stress, kPa	
	Rate 0.075%/min	Rate 1.0%/min
Room temp. (-30)	106.5	112.6
45	90.1	108.1
60	65.4	87.2



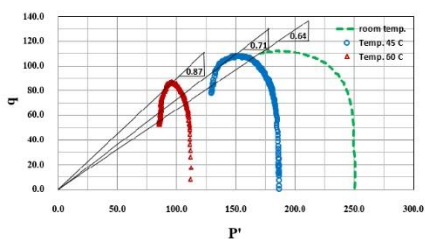
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุดกับอุณหภูมิแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเส้นทางหน่วยแรง (stress paths) เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันของตัวอย่างดินเหนียวปกติที่อัตราการเฉือน 0.075% ต่อวินาที พบว่า เส้นทางหน่วยแรงมีลักษณะของกราฟที่ใกล้เคียงกัน แต่ไม่ซ้อนทับกันในแต่ละอุณหภูมิ นอกจากนี้เส้นทางหน่วยแรงของตัวอย่างที่มีอุณหภูมิมักจะมีแนวโน้มที่จะย้ายไปทางซ้าย และเป็นเส้นเดียวกันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้นทางหน่วยแรงของตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบที่รูปที่ 15 แสดงเส้นทางหน่วยแรงของตัวอย่าง ที่อัตราการเฉือน 0.075% ต่อวินาที ให้เห็นก่อนการเฉือนตัวอย่าง ได้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินขึ้นภายในตัวอย่าง และที่อุณหภูมิสูงแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นด้วย เป็นเช่นเดียวกันในผลการทดลองด้วยอัตราการเฉือน 1.0% ต่อวินาที ดังรูปที่ 16 ซึ่งสอดคล้องกับ

รูปที่ 17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตราความเครียด ที่เห็นได้ชัด อุณหภูมิที่สูงจุดเริ่มต้นของกราฟจะสูงกว่าที่เฉือนที่อุณหภูมิต่ำ สรุปได้ว่าอุณหภูมิมักจะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินสะสมในตัวอย่างก่อนการเฉือน และเป็นสาเหตุให้กำลังรับแรงเฉือนและความแข็งแรงของดินลดลง



รูปที่ 15 เส้นทางหน่วยแรงของตัวอย่าง ที่อัตราการเฉือน 0.075% ต่อวินาที



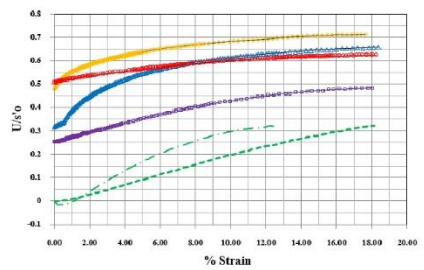
รูปที่ 16 เส้นทางหน่วยแรงของตัวอย่าง ที่อัตราการเฉือน 1.0% ต่อวินาที

ความชันของเส้นสภาวะวิกฤต ยังมีแนวโน้มไม่ชัดเจนในการทดสอบโดยการเฉือนที่อัตราการเฉือน 0.075% ต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 15 แต่สำหรับในการทดสอบโดยการเฉือนที่อัตราการเฉือน 1.00% ต่อวินาที มีแนวโน้มที่ความชันของเส้นสภาวะวิกฤตจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิ

สูงขึ้น ดังรูปที่ 16 ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อข้อสรุปที่แน่ชัด เมื่อนำค่า M ที่ได้ไปคำนวณค่าแอมพลิจูดตามภายใน จากสมการที่ 1

$$M = \frac{6 \sin \phi}{3 - \sin \phi} \quad (1)$$

โดยค่าแอมพลิจูดตามภายในที่ได้จากการทดสอบอัตราการเลื่อน 0.075% ต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง 45 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 16.32 24.44 และ 19.95 องศา ตามลำดับ ซึ่งจะมีแนวโน้มไม่ชัดเจนเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิ สำหรับการทดสอบอัตราการเลื่อน 1.00% ต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง 45 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 16.81 18.51 และ 22.31 องศา ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าแอมพลิจูดตามภายในมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้ควรต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจน



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับอัตรา ความเครียด

5. บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลกระทบของอุณหภูมิต่อดินเหนียวปากพนัง โดยแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วน คือการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปกับ โครงสร้าง โมเลกุลของดินเหนียวปากพนัง และทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ ที่ค่าอัตราการอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส และเลื่อนด้วยอัตราความเครียด 2 อัตรา คือ 0.075 และ 1.0 %ต่อนาที จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับกรทดสอบที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง โมเลกุลของดินเหนียวปากพนัง ดังนั้น ปัจจัยที่ทำให้พฤติกรรมทางด้านกำลังของดินเหนียวเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่างๆ จึงเป็นเพียงอิทธิพลของแรงดันน้ำเท่านั้น
2. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวปากพนังจะลดลงภายใต้เงื่อนไขการเพิ่มความร้อนแบบไม่ระบายน้ำในทุกๆ อัตราความเครียด

3. สาเหตุของการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำคือ การเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินสะสมในตัวอย่างดินเหนียวปากพนังก่อนการเลื่อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบลุ่ม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนันท์ ชูบุปผาร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกร ชุมภูรัตน์ สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ในการเขียนบทความครั้งนี้ รวมถึงขอขอบลุ่ม พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมธรณีเทคนิคทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ ค่าแนะนำ และกำลังใจที่มีให้กันตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิษระ ศรีสะกุล, ชนันท์ ชูบุปผาร, และ ชนกร ชุมภูรัตน์. (2556). แนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิ. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*. เชียงใหม่.
- [2] Finn, F. (1951). The effects of temperature on the consolidation. *Special Technical publication*(126).
- [3] Paaswell, & R.E. (1967). Temperature effects on clay soil consolidation, 93(SM3). *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 9-22.
- [4] Plum, L., & Esrig. (1969). Some temperature effects on soil compressibility and pore water pressure. *Highway Research Board*. Washington.
- [5] เต็มพร บัวทอง, และ พิสิทธิ์ ชัคคีวัฒนะกุล. (2548). ผลของอุณหภูมิต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพ. *วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10* (หน้า GTE 160-GTE 165). ชลบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [6] จกจ คำรงค์เกียรติ. (2552). ประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดิน กรณีศึกษา : หอสมุดสยามบรมราชกุมารี วัดจันทนเสน จังหวัดนครสวรรค์. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- [7] Youssef, M.S, Sabry, A., & El Ramli. (1961). Temperature Changes and Their Effects on Some Physical Properties of Soils. *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, (pp. 419-421). Paris.
- [8] Towhata, I., Kuntiwattanakul , P., Seko, I., & et al. (1993). Volume change of clays induced by heating as observed in consolidation tests. *Soils and Foundation*, pp. 170 - 183.
- [9] Abuel-Naga, H., Bergado, D., & Chairprakaikew, S. (2006). Innovative thermal technique for enhancing the performance of prefabricated vertical drain during the preloading process. In *Geotextiles and Geomembranes 24* (pp. 359-370).

- [10] Lagurus, J. (1969). Effects of Temperature on Some Engineering Properties of Clay Soils. an International Conference on Effects of Temperature and Heat on Engineering Behavior of Soils.
- [11] Sherif, M., & C.M. , B. (1969). Temperature Effects on The Confined Shear Strength of Saturated. *Cohesive Soil. Proceedings of an International Conference on Effects of Temperature and Heat on engineering Behavior of Soils* (pp. 267-272). Highway Research Board.
- [12] Moritz, L. (1995). Geotechnical Properties of Clay at Elevated Temperatures. Sweden: Roland Offset.
- [13] Trani, L. D., Bergado, D., T, & Abuel-Naga, H. M. (2008). Thermal Effects on Undrained Shear Strength of Normally Consolidated Soft Bangkok Clay. *Geotechnical special publication*, (pp. 1069-1705). Louisiana.
- [14] ศิริพร ชีวะกุล, สมันต์ ชูบุปผาร, และ ธนกร ชมภูรัตน์ . (2556). ผลกระทบของอัตราความเครียดต่อพฤติกรรมความชื้นและความเครียดของดินเหนียวอ่อนป่ากพนัง. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*. เชียงใหม่.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวัชระ ศรีสะเกษ
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510120088
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วัชระ ศรีสะเกษ, ธนันท์ ชูอุปการ และ ธนกร ชมภูรัตน์. 2556. แนวทางการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนสำหรับควบคุมอุณหภูมิ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*, 8 - 10 พฤษภาคม 2556. โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

วัชระ ศรีสะเกษ, รณนภา พจนา, ธนกร ชมภูรัตน์ และ ธนันท์ ชูอุปการ. 2557. ผลกระทบของอัตราความเครียดและอุณหภูมิต่อพฤติกรรมเชิงกลของดินเหนียวปากพั้ง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19*, 14 - 16 พฤษภาคม 2557. โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชาออคิด จังหวัดขอนแก่น