

ผลกระทบจากการรบกวนตัวอย่างดินต่อพารามิเตอร์หน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ Effects of Sampling Disturbance on Effective Strength Parameters of Soft Bangkok Clay

ณัฐสิทธิ์ ทองเลิศ¹, อภินิติ โชติสังกาศ²

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ nuttasit.t@ku.th

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fengatj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการศึกษาผลกระทบจากการรบกวนการเก็บตัวอย่างดินต่อพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในสถานะไม่ระบายน้ำ (S_u) และหน่วยแรงประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยศึกษารูปแบบการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนโดยใช้กระบอกเปลือกบางและพิจารณาวิธีการเก็บตัวอย่าง การขนส่ง และจัดเก็บรักษาตัวอย่าง ซึ่งมีอิทธิพลต่อหน่วยแรงประสิทธิผลของก้อนตัวอย่างดินและอาจทำให้มีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลแตกต่างจากสถานะในสนาม โดยใช้วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไร้ขอบเขตชนิดวัดแรงดูด (SUC) หรือแรงดันน้ำในโพรงดินที่มีค่าติดลบด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือเทนซิโอมิเตอร์ตรวจวัดแรงดูดก่อนดินภายหลังการเก็บตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ทราบสถานะของหน่วยแรงประสิทธิผลที่คงค้างในดินและทำการเปรียบเทียบกับค่าทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยใช้ใบพัด (FVT) ซึ่งพบว่าค่า $S_{u,(FVT)}$ แบบไม่ถูกรบกวน ซึ่งปรับแก้ด้วยดัชนีพลาสติก (I_p) และไม่ปรับแก้ ให้ค่าสูงกว่า $S_{u,(SUC)}$ จากการทดสอบกำลังแรงอัดแบบไร้ขอบเขตประมาณ 40 % และ 50 % ตามลำดับ และ $S_{u,(SUC)}$ มีค่ามากกว่า $S'_{u,(FVT)}$ แบบ Remoulded ประมาณ 63 % แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงประสิทธิผลคงค้างหรือแรงดูดของก้อนตัวอย่างดินมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลของมวลดินในที่เนื่องจากการรบกวนตัวอย่างดิน

Abstract

This paper presents the effects of sampling procedure on undrained shear strength (S_u) and the effective stress parameter of soft Bangkok clay collected using Shelby tube in Bangkok, Thailand. The influential factors on the effective stress parameters of undisturbed samples, considered in this study, are the method of sampling, transportation and storage. These factors can cause a difference in effective stress parameters from in-situ conditions to laboratory condition. In order to obtain the effective stress associated with undrained shear strength ($S_{u,(SUC)}$) in laboratory condition, undrained compression test was conducted and during testing tensiometers were used to measure soil suction or negative pore water pressure. Field vane

shear test was used to measure the undrained shear strength ($S_{u,(FVT)}$) in in-situ state. According to the results it reveals that, when the S_u value is modified using plastic index, undisturbed sample $S_{u,(FVT)}$ is larger than $S_{u,(SUC)}$ by 40 % and 50 % respectively. However, $S_{u,(SUC)}$ is larger than remoulded $S'_{u,(FVT)}$ by 63%. These variances occurred due to the disturbance while sampling, storage and transportation.

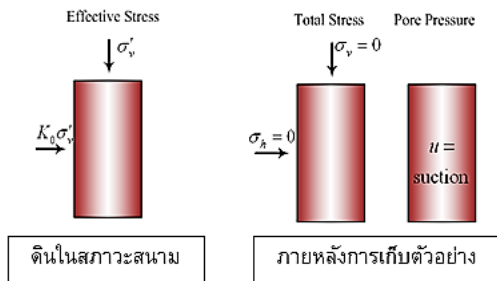
Keywords: sampling disturbance, soft clay, mean effective stress, negative pore water pressure, tensiometers

1. บทนำ

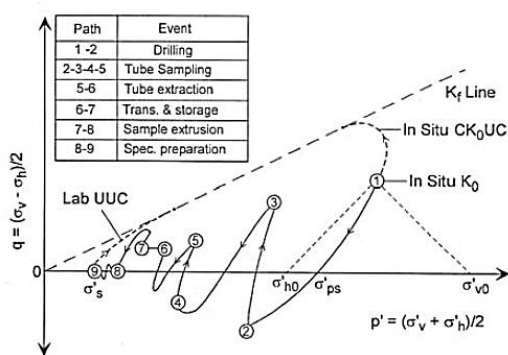
การทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิศวกรรมปฐพีเพื่อหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u) ของดินเหนียวจะได้มาจากการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง โดยใช้กระบอกลูมิเนียมไร้รอยต่อเปลือกบาง (Thin-Wall หรือ Shelby Tube) ลักษณะของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน (Perfect Undisturbed Sampling) ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อตัวอย่างดินถูกเก็บขึ้นมาดินจะอยู่ในสถานะ Undrained Unloading และ In - Situ Confining Effective Stress ส่วนหนึ่งจะมีค่าคงค้างอยู่ภายในตัวอย่างดินในรูปของแรงดันน้ำในโพรงดินที่มีค่าติดลบ (Negative Pore Water Pressure (-u) หรือ Suction) ซึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ย (Mean Effective Stress) แต่อย่างไรก็ตามการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรดินและบริเวณพื้นที่ที่ถูกเชื่อมเป็นไปได้อย่างยากในทางปฏิบัติ ส่งผลให้หน่วยแรงประสิทธิผลในดินเหนียวอ่อนมีค่าลดลงเนื่องจากการรบกวนดินจากการรบกวนการจัดการ เช่น วิธีการเก็บตัวอย่างดิน การขนส่งและการเก็บรักษาตัวอย่าง การดันตัวอย่างดินและการขึ้นรูปตัวอย่างดินทดสอบดังแสดงรูปที่ 2 ซึ่งส่งผลให้พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าลดลงกว่าสถานะในสนาม

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการเก็บตัวอย่างดินของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Tensiometer สำหรับวัดแรงดันน้ำ

ด้านลบ การตรวจวัดของก้อนดินภายหลังการเก็บตัวอย่างจะทำให้ทราบสถานะของหน่วยแรงประสิทธิผล (Residual หรือ Mean Effective Stress) ในดินทำให้เกิดความเข้าใจและการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 พฤติกรรมของดินในสภาวะก่อนและหลังจากเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน (วคัน และ อภินิติ, 2551)



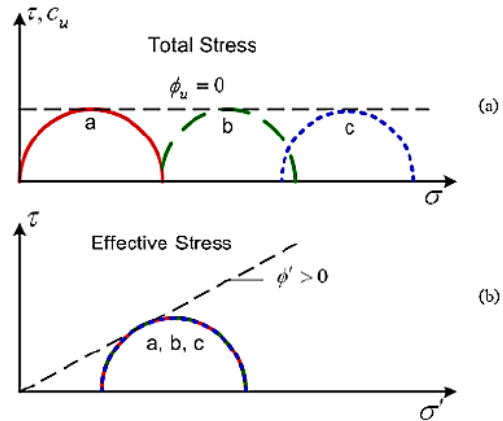
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงวิถีความเค้นในกระบวนการเก็บตัวอย่างดิน (Ladd et al., 1987)

2. วิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎี

กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u) เป็นคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงที่สำคัญของดินเหนียวในการวิเคราะห์การวิบัติในมวลดินแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์หน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) จะพิจารณาเฉพาะหน่วยแรงรวม ซึ่งรวมผลจากแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในขณะที่มีหน่วยแรงภายนอกเข้ามากระทำกับมวลดินจะทำให้ดินไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทันจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในแนวนอนที่เพิ่มหรือลดลงดังแสดงรูปที่ 3a และการวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis) จะสามารถวิเคราะห์ได้เมื่อทราบค่าแรงดันน้ำในดิน (Pore Pressure, u) โดยพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล ความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (c') และมุมแรงเฉือนประสิทธิผล (ϕ') จะถูกตั้ง

สมมุติฐานว่าเป็นคุณสมบัติประจำตัวของดินและจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นดังแสดงรูปที่ 3b



รูปที่ 3 เส้นขอบเขตวิบัติของดินเหนียว (a) ในรูปหน่วยแรงรวมและ (b) หน่วยแรงประสิทธิผล (วคัน และ อภินิติ, 2551)

แต่อย่างไรก็ตามค่า s_u ก็ไม่ถือว่าเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของดิน อันเนื่องจากผลกระทบหลายปัจจัย เช่น การรบกวนตัวอย่างดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของดิน (Soil Structure) หากโครงสร้างของดินถูกทำลายระหว่างกระบวนการเก็บตัวอย่างดินหรือการเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการก็จะไปไม่ได้ที่ตัวอย่างดินนี้จะเป็นตัวแทนของดินในสนาม

การรบกวนตัวอย่างดินมีสาเหตุหลักมาจากการนำตัวอย่างดินขึ้นมาจากระดับความลึกเดิมทำให้ดินอยู่ในสภาวะ Undrained Unloading ซึ่งมีสมมุติฐานว่าตัวอย่างดินไม่เกิดการบวมตัว (Swelling) แรงดันน้ำด้านลบจึงเกิดขึ้น ซึ่งแรงดันน้ำในโพรงดินที่มีค่าติดลบเป็นค่าที่แสดงถึงแรงดึงผิวของน้ำในมวลดินในสภาวะที่ไม่มีภาระของน้ำ เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์คาพิลลารี (Capillary) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดึงผิวของน้ำทำให้เกิดการโค้งเข้าหากัน ณ จุดเชื่อมต่อเม็ดดินระหว่างสองอนุภาคและเกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเม็ดดินขึ้น ซึ่งแรงดันน้ำแบบเมทริกซ์ (Matrix Suction, s) (สมการที่ 1) เกิดจากความแตกต่างระหว่างแรงดันอากาศ (u_a) กับความดันของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (u_w)

$$s = u_a - u_w \quad (1)$$

สยาม (2557) ได้อธิบายถึงสาเหตุในแต่ละกระบวนการของการเก็บตัวอย่างยังส่งผลกระทบต่อตัวอย่างดินในแบบต่างๆดังนี้

2.1.1 Sampling Disturbance

เกิดขึ้นที่สภาพความชื้นคงที่โดยมีสาเหตุ 2 ประการ คือ การลดลงของ Total in-situ stress และการเสียรูปทางกล (Soil Structure Disturbance) เนื่องมาจากกระบวนการเก็บตัวอย่างดิน (McManis, 1975) ได้อธิบายกระบวนการดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยปกติการรบกวนตัวอย่างจะถูกจำกัดอยู่ที่ด้านบนสุดของตัวอย่างดินแต่เมื่อ

ตัวอย่างถูกแยกออกจากใต้ผิวดิน ดินที่อยู่ส่วนล่างจะถูกรบกวน Clayton et al. (1998) ได้พิจารณาอัตราส่วนของพื้นที่ของกระบอกเก็บตัวอย่างและองศาขอบตัดของกระบอกมีอิทธิพลอย่างมากต่อกลไกการเสียรูปที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บตัวอย่าง

2.1.2 Sampler Disturbance

เกิดจากการแตกของการเชื่อมติดกันระหว่างอนุภาคของดิน (สยาม, 2557; Pineda, 2016) ได้อธิบายการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Tube Sampling ทำให้ดินเกิดการรับแรงแบบ Compression, Extension และ Compression รอบที่สองในกรณีการอัดขึ้นรูป (Extrusion) อีกทั้งยังเกิด Shear Strain ที่บริเวณผิวของตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการดันตัวอย่างดิน

นอกจากนี้การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น วิธีการเก็บตัวอย่าง, การขนส่ง, การเก็บรักษาตัวอย่าง และการตัดแต่งตัวอย่าง กระบวนการเหล่านี้ยังเป็นสาเหตุให้หน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่างดินลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสนาม และส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ s_u ด้วยเช่นกัน (Tanaka and Tanaka, 2006)

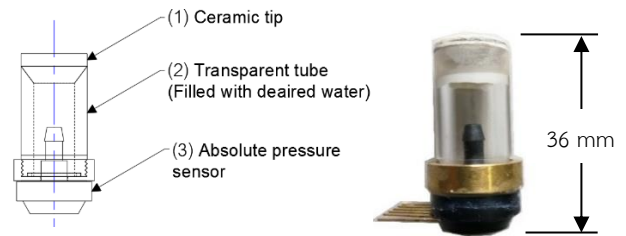
2.2 Tensiometer

เทนซิโอมิเตอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดึงดูดน้ำแบบเมทริกซ์ ในประเทศไทยได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย อภินิติ และ วิชญพงศ์ (2551) ด้วยการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดันเทคโนโลยีระดับจุลภาค (Micro-Electro-Mechanical Systems Technology, MEMS) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ชนิด Single Silicon Piezoresistive ที่ให้ผลมีความไวสูง ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ให้ชื่อว่า KU – Tensiometer ชนิดแรงดูดต่ำ (Low Suction) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการทดลองที่หลากหลายเนื่องจากเซ็นเซอร์มีขนาดเล็กโดยมีช่วงวัดแรงดึงดูดที่สามารถใช้งานได้คืออยู่ในช่วง 0 – 90 กิโลปาสกาล หรือ 0.0 – 0.9 บาร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของเซ็นเซอร์และค่า Air Entry Value ของถ้วยหินพรุนที่ใช้ โดยมีองค์ประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วนคือ 1. ถ้วยหินพรุนเซรามิก 2. หลอดพลาสติก 3. อุปกรณ์วัดแรงดัน แสดงในรูปที่ 4 โดยขณะที่ทำการทดสอบภายในอุปกรณ์ทุกส่วนต้องมีย้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างปราศจากฟองอากาศ ซึ่งหากภายในอุปกรณ์มีฟองอากาศเกิดขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งถ่ายแรงดึงลดลง โดยถ้วยหินพรุนเซรามิกจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางส่งถ่ายแรงดึงระหว่างน้ำในมวลดินและน้ำภายในอุปกรณ์วัดแรงดัน เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลแรงดันน้ำภายในอุปกรณ์วัดแรงดันจะมีค่าแรงดันน้ำด้านลบเช่นเดียวกับแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดิน

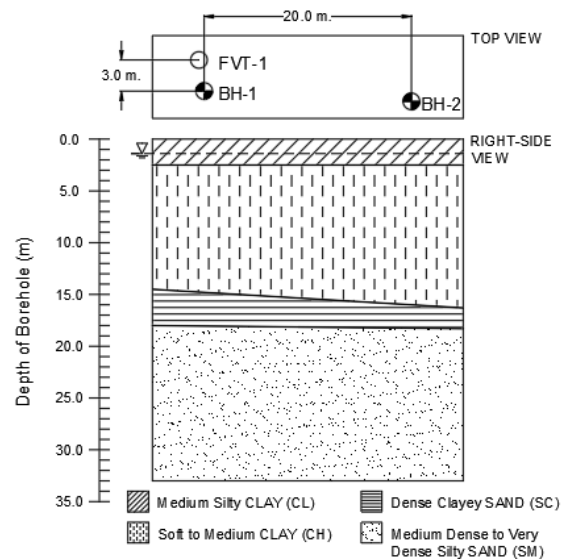
2.3 สภาพชั้นดิน (Soil Profile)

ในการศึกษานี้ได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินเพื่อใช้ในการออกแบบฐานรากสำหรับการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ในพื้นที่ เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ ด้วยวิธี Standard Penetration Test (SPT) จำนวน 2 หลุม มีระดับน้ำใต้ดินที่ความลึก 1.7 เมตร โดยใช้เกณฑ์การจำแนกดินด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) พื้นที่ทั้งหมดมีหน้าดินเป็นชั้นดินที่ 1 ดิน

เหนียวปนตะกอน (CL) แข็งปานกลาง (SPT \approx 6 – 9) หนาประมาณ 2.5 – 3 เมตร ชั้นดินที่ 2 ชั้นดินเหนียว (CH) อ่อนถึงแข็งปานกลาง หนาประมาณ 12 – 13.5 เมตร ชั้นดินที่ 3 เป็นชั้นดินทรายปนดินเหนียว (SC) แน่นปานกลางถึงแน่น (SPT \approx 9 – 37) หนาประมาณ 1.5 – 2 เมตร ชั้นดินที่ 4 วางตัวอยู่ระดับความลึกประมาณ 18 เมตรลงไป เป็นชั้นทรายปนดินตะกอน (SM) แน่นปานกลางถึงแน่นมาก (SPT \approx 22 – 80) ดังแสดงรายละเอียดรูปที่ 5



รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดค่าแรงดึงดูดเมทริกซ์ (KU – Tensiometer)



รูปที่ 5 สภาพชั้นดินโดยรวมบริเวณพื้นที่ศึกษา เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ

2.4 การเก็บตัวอย่างดิน (Sampling Method)

ตัวอย่างดินเหนียวกรุงเทพฯถูกนำมาทดสอบ โดยการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนด้วยโครงสามขา (Portable Tripod) การขุดเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ใช้กระบอกอลูมิเนียมเปลือกบางไร้รอยต่อ (Shelby Tube) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร ความลึก 2 – 12 เมตร ตัวอย่างดินจะถูกหุ้มด้วยพาราฟินหลังจากการเก็บตัวอย่างดินที่หัวและท้ายของกระบอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น จากนั้นตัวอย่างดินจะเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดแรงดูดในแต่ละชั้นตอนตามลำดับโดยใช้ Tensiometer และ Data Logger ในการเก็บข้อมูล

2.4.1 ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดิน (Sampling Tube on Site)

ตัวอย่างดินถูกตรวจวัดที่ด้านปลายคมตัดของกระบอกเก็บตัวอย่าง โดยใช้ระยะเวลาในการตรวจวัด 15 – 30 นาที หรือจนกว่าค่าจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงรูปที่ 6a

2.4.2 การขนส่งและเก็บรักษา (Transportation & Storage)

ตัวอย่างดินจะถูกขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปฐพี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตัวอย่างดินจะถูกตรวจวัดที่ด้านปลายคมตัดของกระบอก โดยใช้ระยะเวลา 14 วัน ค่าที่ทำการตรวจวัดจึงเข้าสู่สมดุลงแสดงรูปที่ 6b

2.4.3 การอัดขึ้นรูป (Extrusion)

กระบอกเปลือกบางที่ภายในบรรจุตัวอย่างดินจะถูกนำมาดันตัวอย่างดินออก โดยแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack) และตัดแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นก้อน ความสูงตัวอย่างละ 10 เซนติเมตร ด้วยเลื่อยเส้นลวด (Wire Saw) ก่อนหุ้มตัวอย่างดินด้วย Plastic Wrap 4 ชั้น และ Aluminum Wrap 4 ชั้น ตามลำดับ ค่าแรงกดของตัวอย่างจะถูกตรวจวัดโดยใช้ระยะเวลา 7 วัน ดังแสดงรูปที่ 6c

2.4.4 การตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming)

ตัวอย่างดินที่ถูกตัดแต่งด้วยโครงตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming Frame) เสริมเส้นแล้วจะถูกนำมาตรวจวัดแรงกดก่อนจะทำการทดสอบ S-UC (Suction - Monitored Unconfined Compression Test) โดยใช้ระยะเวลาตรวจวัด 15 - 30 นาที ดังแสดงรูปที่ 7

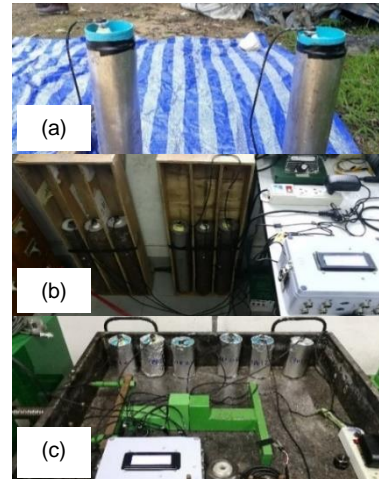
2.5 Suction - Monitored Unconfined Compression Test (S-UC)

วสัน และ อภินิติ (2551) ได้นำเสนอการทดสอบหาพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูป Effective Stress โดยใช้การทดสอบแบบ Unconfined Compression Test ซึ่งมีการวัดแรงดันน้ำภายในช่องว่างดินที่เป็นลบ ซึ่งสมมติฐานในการวิเคราะห์หาค่า Effective Stress ของดินเหนียวอ่อนที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลของดินในสนาม พารามิเตอร์ในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล ได้แก่ c' และ ϕ' จะได้จากจากความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงประสิทธิผลซึ่งแยกแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ทำให้สามารถพิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินที่สถานะแรงดันน้ำแตกต่างกันได้ โดยการเปลี่ยนแปลง Effective Stress ของตัวอย่างดินด้วยการเพิ่ม Suction (ทำให้ดินแห้ง) หรือลด Suction (ทำให้ดินเปียก) ในช่วงการทดสอบแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างของดินจะมีค่าเป็นลบ เมื่อพิจารณาจากรูปแบบทางเดินของเส้นหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path) ในระหว่างการทดสอบในรูปแบบ MIT Stress Path สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

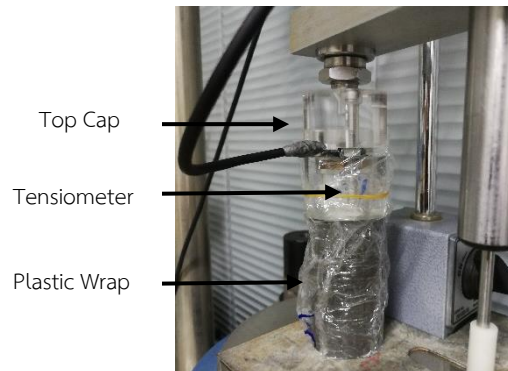
$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (2)$$

$$q = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (3)$$

เมื่อ p' คือ Mean Stress, q คือ Deviatoric Stress, σ'_1 คือ Major Principal Stress และ σ'_3 คือ Minor Principal Stress



รูปที่ 6 การตรวจวัด Suction (a) ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดิน (b) การขนส่งและการเก็บรักษา (c) การอัดขึ้นรูป



รูปที่ 7 การตรวจวัด Suction หลังจากตัดแต่งตัวอย่างดิน

สำหรับขั้นตอนการทดสอบ S-UC แบ่งได้ 2 กรณีตามลำดับดังนี้

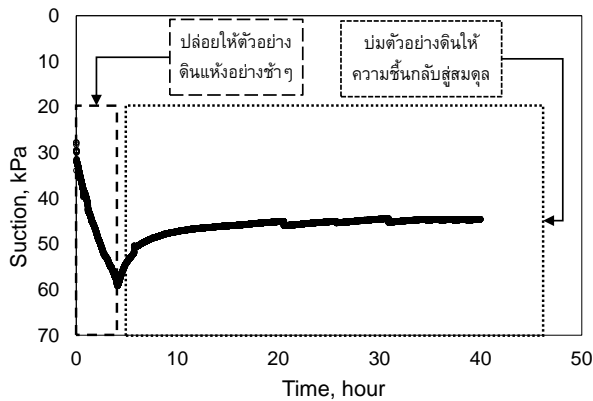
2.5.1 Natural Suction Test

เป็นการทดสอบที่ความชื้นสนามโดยนำ Tensiometer ติดตั้งลงใน Top cap ซึ่งภายในมีสปริงทำหน้าที่ปรับสมดุลระหว่างผิวของหินพรุนกับผิวของดินให้สัมผัสกันพอดีโดยไม่เกิดแรงกดที่จะทำให้ลายตัวอย่างดิน วาง Top Cap ไว้บนตัวอย่างดิน จากนั้นรอให้ค่า Suction เข้าสู่สมดุลง

2.5.2 Varying Suction Test

เป็นการทดสอบด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงกดของดินโดยการทำให้ตัวอย่างดินเปียก (ลด Suction) ทำให้แห้ง (เพิ่ม Suction แสดงดังรูปที่ 8) จากนั้นนำตัวอย่างดินไปปั๊มไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่า Suction ปรับเข้าสู่สมดุลง

Shearing Stage เป็นขั้นตอนเนื่องจากการทดสอบทั้ง 2 กรณี ด้วยการนำดินมาเฉือน ใช้อัตราการเฉือนที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที (วศิน และ อภินิติ, 2551) ซึ่งพบว่าเป็นอัตราที่แรงดันน้ำกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งตัวอย่าง โดยในระหว่างการเฉือนจะมีการบันทึกค่า Suction ตลอดจนสิ้นสุดการทดสอบและเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการทดสอบจะใช้ Plastic Wrap หุ้มรอบตัวอย่าง



รูปที่ 8 การทดสอบ S-UC โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูด

3. ผลการทดสอบ

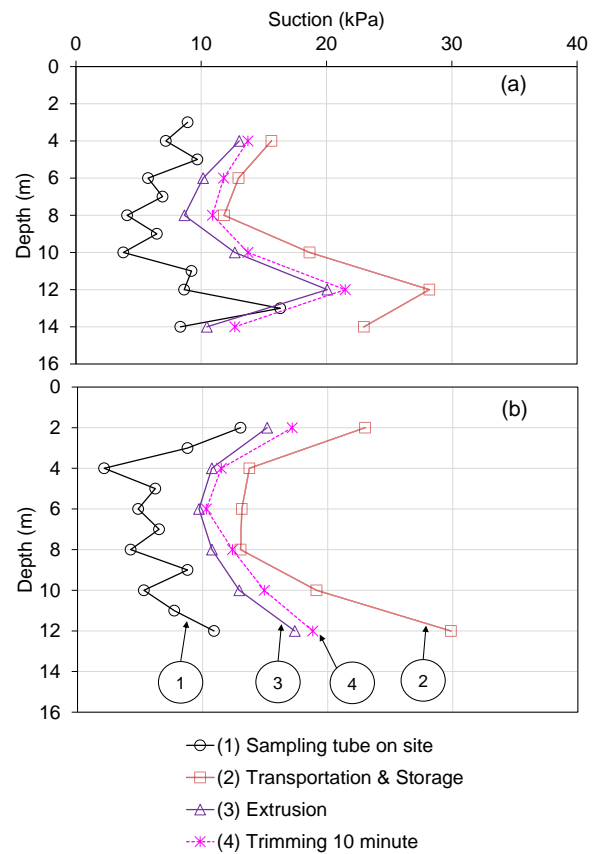
ผลการทดสอบการตรวจวัด Suction ในแต่ละขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินของหลุมเจาะที่ 1 ดังแสดงรูปที่ 9a และหลุมเจาะที่ 2 ดังแสดงรูปที่ 9b พบว่าภายหลังจาก (1) การเก็บตัวอย่างดิน Suction ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำอันเนื่องมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างทำให้เกิดการรับแรงแบบ Compression, Extension และ Shear Strain ที่บริเวณผิวและปลายคมตัดจากการบีบตัวอย่างดินให้แยกออกจากดินเดิม อัตราการเฉือนที่ไม่คงที่ที่เกิดจากการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้โครงสร้างสามขาที่ไม่มีระบบไฮดรอลิกใช้ในการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนจึงทำให้ต้องใช้น้ำหนักจากคนหรือตุ้มตอกช่วยส่งกระบอกลงสู่ชั้นดินนำไปสู่การเสียรูปของตัวอย่างดินในที่สุด

จากผลดังกล่าวยังส่งผลต่อแรงดันน้ำในตัวอย่างดินให้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Suction ที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลง

(2) การขนส่งและเก็บรักษา ตัวอย่างดินจะถูกเก็บในหีบที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 14 วัน พบว่า Suction มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของความชื้น, การเข้าสู่สมดุลของ Suction และผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่อุณหภูมิลดต่ำลงและสูงขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิต่ำดังแสดงรูปที่ 10

(3) อัตราขึ้นรูป ตัวอย่างดินถูกตรวจวัด Suction ที่จุดเดิมของตัวอย่างแต่ละความลึก เป็นระยะเวลา 7 วัน ในหีบที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดย Suction ที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มที่ลดลงเป็นผลมาจากดินเกิดการรับแรงแบบ Compression และ Shear Strain ที่รอบข้างของตัวอย่างจากทิศทางในการดันดินออกจากกระบอก ตัวอย่างถูกดันออกในทิศทางเดียวกับการเก็บตัวอย่าง (ปลายคมตัด) ส่งผลให้ดินเกิดแรงเฉือนขึ้นระหว่างผิวของตัวอย่างกับผิวที่ปลายของกระบอก โดยที่ด้านบนของกระบอกจะเกิดการ

เฉือนที่รุนแรงเนื่องจากระยะทางของการเก็บตัวอย่างดินและการดันดินออกซึ่งเป็นสาเหตุให้ Suction มีค่าลดลง

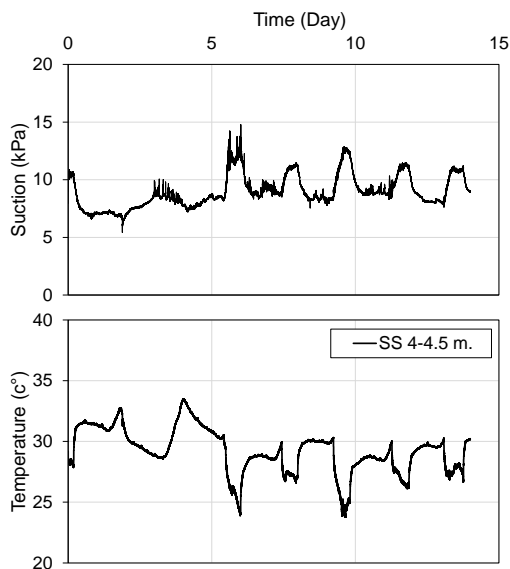


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลง Suction ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดิน (a) หลุมเจาะที่ 1 (b) หลุมเจาะที่ 2

(4) การตัดแต่งตัวอย่างดิน ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 10 นาที โดยเฉลี่ย ในระหว่างนี้ตัวอย่างดินจะมีการสูญเสียความชื้นทำให้ Suction มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลการทดสอบพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ Suction - Monitored Unconfined Compression Test ($S_{u.(SUC)}$) ในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าที่ Suction แตกต่างกันจะส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อ Suction มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยในระหว่างการเฉือนแรงดันน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะเริ่มคงที่เมื่อถึงจุด Critical State แสดงในรูปที่ 11

การทดสอบอทิพลจากการรบกวนตัวอย่างต่อพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ $S_{u.(SUC)}$ โดยเปรียบเทียบกับทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยใช้ใบพัด (Field Vane Shear Test, $S_{u.(FVT)}$) จะเห็นว่าผลกระทบจากการรบกวนระหว่างการเก็บตัวอย่างเลือกบางส่งผลให้พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่าประมาณ 50 % (Undisturbed), 40 % (Correct) และมีค่าสูงกว่าแบบ Remoulded ประมาณ 63 % แสดงในรูปที่ 12 โดยดินที่มีค่า

ความไว (Sensitivity) สูงจะมีแนวโน้มที่ค่ากำลังแรงเฉือนจะลดต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลง Suction เนื่องจากอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ Suction – Monitored Unconfined Compression Test

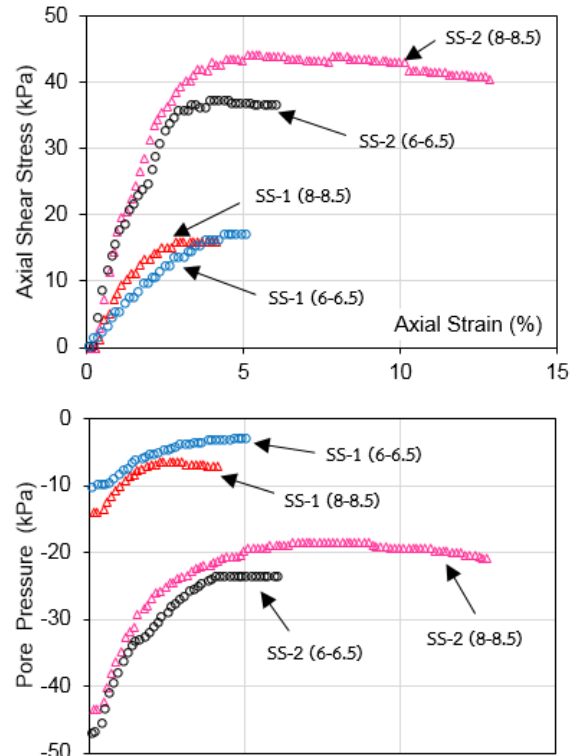
| Soil Sample | Depth (m) | s_i (kPa) | w_i (%) | w_f (%) | S_r (%) |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| SS-1 | 6-6.5 | 10.45 | 82.27 | 79.22 | 99.68 |
| SS-2 | 6-6.5 | 47.31 | 78.79 | 77.27 | 97.46 |
| SS-1 | 8-8.5 | 14.24 | 72.23 | 70.02 | 98.80 |
| SS-2 | 8-8.5 | 43.58 | 69.79 | 67.82 | 98.82 |

เมื่อ s_i คือ Initial Suction, w_i คือ Initial Water Content, w_f คือ Final Water Content และ S_r คือ Degree of Saturation

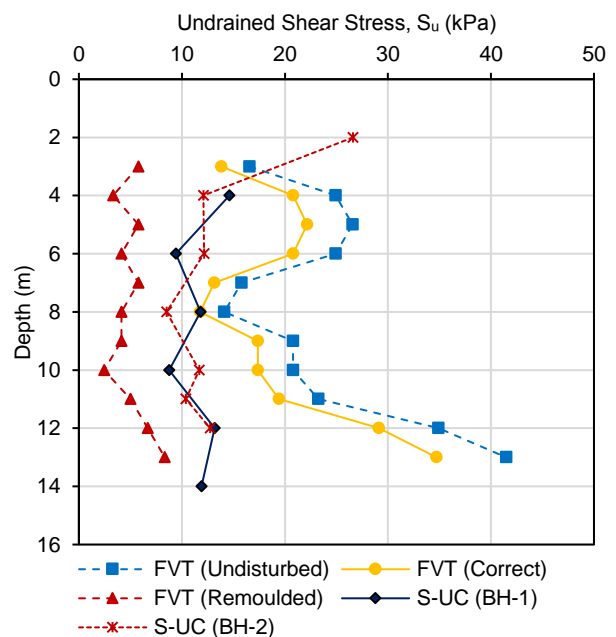
4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ Tensiometer กับการทดสอบ Suction – Monitored Unconfined Compression Test ในการประเมินคุณภาพของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน โดยการตรวจวัดแรงดันน้ำด้านลบของก้อนดินหลังจากการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพบว่า $S_{u,(FVT)}$ แบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed) ให้ค่าสูงกว่า $S_{u,(SUC)}$ จากการทดสอบกำลังแรงอัดแบบไร้ขอบเขตประมาณ 50 % และเมื่อปรับแก้ $S_{u,(FVT)}$ ด้วยค่า Plasticity Index (I_p) ของดิน (Correct) จะมีค่า 40 % นอกจากนั้นยังพบว่า $S_{u,(SUC)}$ มีค่ามากกว่า $S_{u,(FVT)}$ แบบ Remoulded ($S'_{u,(FVT)}$) ประมาณ 63 % แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรง

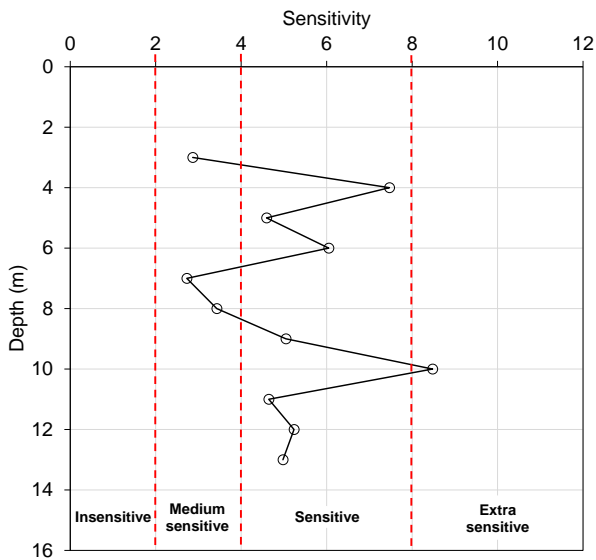
ประสิทธิผลคงค้างหรือแรงดูดของก้อนตัวอย่างดินมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลของมวลดินในสนามเนื่องจากการรบกวนตัวอย่างดิน โดยดินที่มีความไวสูงจะมีแนวโน้มที่ค่ากำลังแรงเฉือนจะลดต่ำลงมากกว่าดินที่มีความไวต่ำ



รูปที่ 11 กราฟผลการทดสอบ S-UC แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียด



รูปที่ 12 พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำระหว่างการทดสอบ S-UC กับ FVT



Tube Sampling. *Soil and foundations Japanese geotechnical society* 46, No. 2, pp.209-219.

รูปที่ 13 ความไวของดินจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยใช้ใบพัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] วศิน สุทธิบุญ และ อภินิติ โชติสังกาศ (2551). การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการทดสอบ Unconfined Compression Test ชนิดวัดแรงดูด Suction. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13*, พัทยา, 14-16 พฤษภาคม 2551, หน้า 233-238.
- [2] อภินิติ โชติสังกาศ และ วิษณุพงศ์ พอลิละ (2551). การพัฒนาเครื่องมือวัดศักย์แรงดูดน้ำในดิน. *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46*, กรุงเทพฯ, 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2551, หน้า 48-55.
- [3] สยาม ยิ้มศิริ (2557). *การศึกษากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ถูกทำให้เข้าสู่ภาวะปกติของดินเหนียวกรุงเทพฯภายใต้สภาวะอัดตัวคายน้ำแบบปกติ*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- [4] Clayton, C. R. I., Siddique, A. and Hopper R. J. (1998). Effects of Sampler Design on Tube Sampling Disturbance — Numerical and Analytical Investigations. *Géotechnique* 48, No. 6, pp.847-867.
- [5] McManis, L.K. (1975). *The Effects of Conventional Soil Sampling Methods on the Engineering Properties of Cohesive Soils in Louisiana*. Ph. D. Dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- [6] Pineda, J., X. Liu and S. Sloan (2016). Effects of Tube Sampling In Soft Clay: A Microstructural Insight. *Géotechnique* 66, No. 12, pp.969-983.
- [7] Tanaka, H. and M. Tanaka. (2006). Main Factors Governing Residual Effective Stress for Cohesive Soils Sampled by