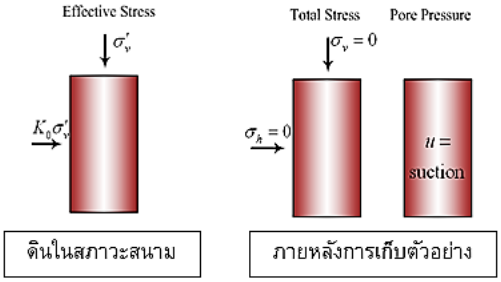
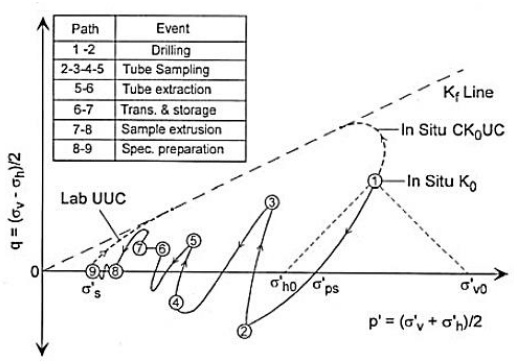
ด้านลบ การตรวจวัดของก้อนดินภายหลังการเก็บตัวอย่างจะทำให้ทราบสภาวะของหน่วยแรงประสิทธิผล (Residual หรือ Mean Effective Stress) ในดินทำให้เกิดความเข้าใจและการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 พฤติกรรมของดินในสภาวะก่อนและหลังจากเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน (วศัน และ อภินิติ, 2551)

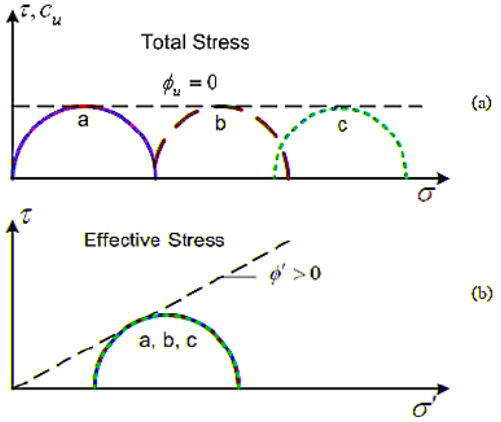


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงวิถีความเค้นในกระบวนการเก็บตัวอย่างดิน (Ladd et al., 1987)

2. วิธีการวิจัย

2.1 *ทฤษฎี*

กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, s_u) เป็นคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงที่สำคัญของดินเหนียวในการวิเคราะห์การวิบัติในมวลดินแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์หน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) จะพิจารณาเฉพาะหน่วยแรงรวม ซึ่งรวมผลจากแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในขณะที่มีหน่วยแรงภายนอกเข้ามากระทำกับมวลดินจะทำให้ดินไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทันจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในแนวโน้มที่เพิ่มหรือลดลงดังแสดง**รูปที่ 3a** และการวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis) จะสามารถวิเคราะห์ได้เมื่อทราบค่าแรงดันน้ำในดิน (Pore Pressure, u) โดยพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบหน่วยแรงประสิทธิผล ความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (c) และมุมแรงเฉือนประสิทธิผล ( ) จะถูกตั้งสมมุติฐานว่าเป็นคุณสมบัติประจำตัวของดินและจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นดังแสดง**รูปที่ 3b**



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

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

การรบกวนตัวอย่างดินมีสาเหตุหลักมาจากการนำตัวอย่างดินขึ้นมาจากระดับความลึกเดิมทำให้ดินอยู่ในสภาวะ Undrained Unloading ซึ่งมีสมมุติฐานว่าตัวอย่างดินไม่เกิดการบวมตัว (Swelling) แรงดันน้ำด้านลบจึงเกิดขึ้น ซึ่งแรงดันน้ำในโพรงดินที่มีค่าติดลบเป็นค่าที่แสดงถึงแรงตึงผิวของน้ำในมวลดินในสภาวะที่ไม่มีการระเหยของน้ำ เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์คาพิลลารี (Capillary) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงตึงผิวของน้ำทำให้เกิดการโค้งเว้าเข้าหากัน ณ จุดเชื่อมต่อเม็ดดินระหว่างสองอนุภาคและเกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเม็ดดินขึ้น ซึ่งแรงดันน้ำแบบเมทริกซ์ (Matric Suction, s) (สมการที่ 1) เกิดจากความแตกต่างระหว่างแรงดันอากาศ (u_a) กับความดันของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (u_w)

$$s \quad u_a \quad u_w \qquad (1)$$

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

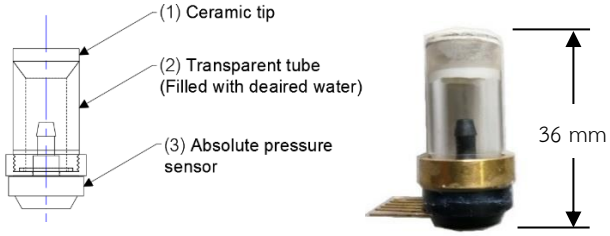
นอกจากนี้การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น วิธีการเก็บตัวอย่าง, การขนส่ง, การเก็บรักษาตัวอย่าง และการตัดแต่งตัวอย่าง กระบวนการเหล่านี้ยังเป็นสาเหตุให้หน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่างดินลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสนาม และส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ s_u ด้วยเช่นกัน (Tanaka and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

2.2 *Tensiometer*

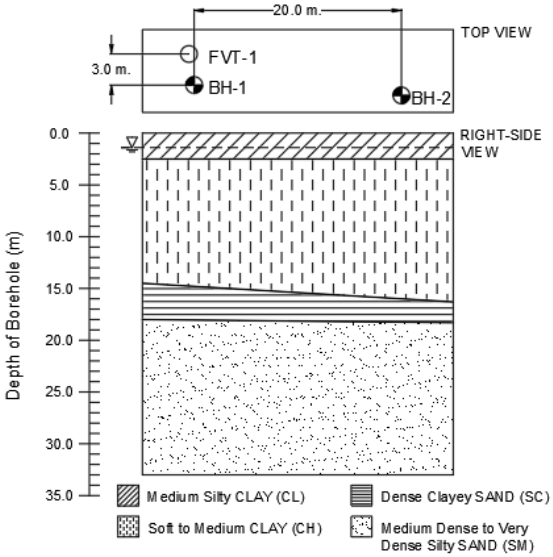
เทนซิโอมิเตอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดึงดูดน้ำแบบเมทริกซ์ ในประเทศไทยได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย อภินิติ และ วิษณุพงศ์ (2551) ด้วยการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดันเทคโนโลยีระดับจุลภาค (Micro-Electro-Mechanical Systems Technology, MEMS) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ชนิด Single Silicon Piezoresistive ที่ให้ผลมีความไวสูง ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ให้ชื่อว่า KU – Tensiometer ชนิดแรงดูดต่ำ (Low Suction) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการทดลองที่หลากหลายเนื่องจากเซ็นเซอร์มีขนาดเล็กโดยมีช่วงวัดแรงดึงดูดที่สามารถใช้งานได้ดีอยู่ในช่วง 0 – 90 กิโลปาสคาล หรือ 0.0 – 0.9 บาร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของเซ็นเซอร์และค่า Air Entry Value ของถ้วยหินพรุนที่ใช้ โดยมีองค์ประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วนคือ 1. ถ้วยหินพรุนเซรามิค 2. หลอดพลาสติก 3. อุปกรณ์วัดแรงดัน แสดงใน**รูปที่ 4** โดยขณะที่ทำการทดสอบภายในอุปกรณ์ทุกส่วนต้องมีน้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างปราศจากฟองอากาศ ซึ่งหากภายในอุปกรณ์มีฟองอากาศเกิดขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งถ่ายแรงดึงลดลง โดยถ้วยหินพรุนเซรามิคจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางส่งถ่ายแรงดึงระหว่างน้ำในมวลดินและน้ำภายในอุปกรณ์วัดแรงดัน เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแรงดันน้ำภายในอุปกรณ์วัดแรงดันจะมีค่าแรงดันน้ำด้านลบเช่นเดียวกับแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดิน

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 ดินเหนียวปนตะกอน (CL) แข็งปานกลาง (SPT ≈ 6 – 9) หนาประมาณ 2.5 – 3 เมตร ชั้นดินที่ 2 ชั้นดินเหนียว (CH) อ่อนถึงแข็งปานกลาง หนาประมาณ 12 – 13.5 เมตร ชั้นดินที่ 3 เป็นชั้นดินทรายปนดินเหนียว (SC) แน่นปานกลางถึงแน่น (SPT ≈ 9 – 37) หนาประมาณ 1.5 – 2 เมตร ชั้นดินที่ 4 วางตัวอยู่ระดับความลึกประมาณ 18 เมตรลงไป เป็นชั้นทรายปนดินตะกอน (SM) แน่นปานกลางถึงแน่นมาก (SPT ≈ 22 – 80) ดังแสดงรายละเอียด**รูปที่ 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 ตัวอย่างดินจะถูกหุ้มด้วยพาราฟินภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดินที่หัวและท้ายของกระบอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น จากนั้นตัวอย่างดินจะเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดแรงดูดในแต่ละขั้นตอนตามลำดับโดยใช้ Tensiometer และ Data Logger ในการเก็บข้อมูล

2.4.1 ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดิน (Sampling Tube on Site)

ตัวอย่างดินถูกตรวจวัดที่ด้านปลายคมตัดของกระบอกเก็บตัวอย่าง โดยใช้ระยะเวลาในการตรวจวัด 15 – 30 นาที หรือจนกว่าค่าจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดง**รูปที่ 6a**

2.4.2 การขนส่งและเก็บรักษา (Transportation & Storage)

ตัวอย่างดินจะถูกขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปฐพี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตัวอย่างดินจะถูกตรวจวัดที่ด้านปลายคมตัดของกระบอก โดยใช้ระยะเวลา 14 วัน ค่าที่ทำการตรวจวัดจึงเข้าสู่สมดุล ดังแสดง**รูปที่ 6b**

2.4.3 การอัดขึ้นรูป (Extrusion)

กระบอกเปลือกบางที่ภายในบรรจุตัวอย่างดินจะถูกนำมาดันตัวอย่างดินออก โดยแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jack) และตัดแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นก้อน ความสูงตัวอย่างละ 10 เซนติเมตร ด้วยเลื่อยเส้นลวด (Wire Saw) ก่อนจะหุ้มตัวอย่างดินด้วย Plastic Wrap 4 ชั้น และ Aluminum Wrap 4 ชั้น ตามลำดับ ค่าแรงดูดของตัวอย่างจะถูกตรวจวัดโดยใช้ระยะเวลา 7 วัน ดังแสดง**รูปที่ 6c**

2.4.4 การตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming)

ตัวอย่างดินที่ถูกตัดแต่งด้วยโครงตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming Frame) เสร็จสิ้นแล้วจะถูกนำมาตรวจวัดแรงดูดก่อนจะทำการทดสอบ S–UC (Suction - Monitored Unconfined Compression Test) โดยใช้ระยะเวลาตรวจวัด 15 – 30 นาที ดังแสดง**รูปที่ 7**

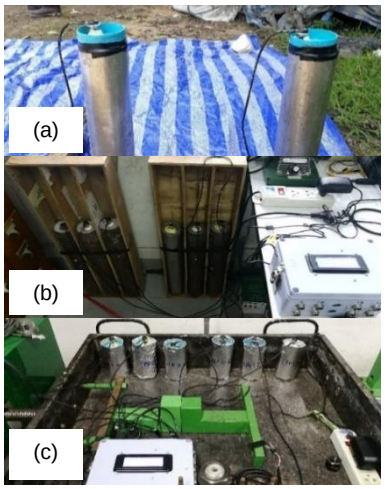
2.5 *Suction - Monitored Unconfined Compression Test (S-UC)*

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

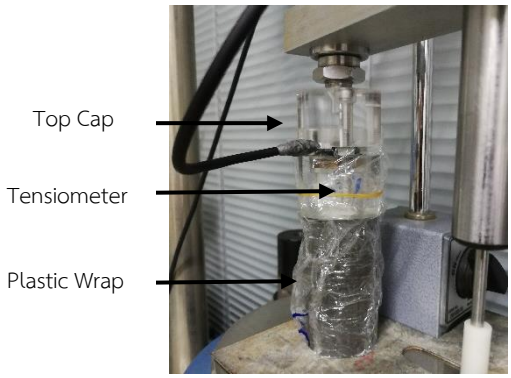
$$p \quad \frac{1 \quad 3}{2} \tag{2}$$

$$q \quad \frac{1 \quad 3}{2} \tag{3}$$

เมื่อ p' *คือ* Mean Stress, q *คือ* Deviatoric Stress, $_1$ *คือ* Major Principal Stress *และ* $_3$ *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

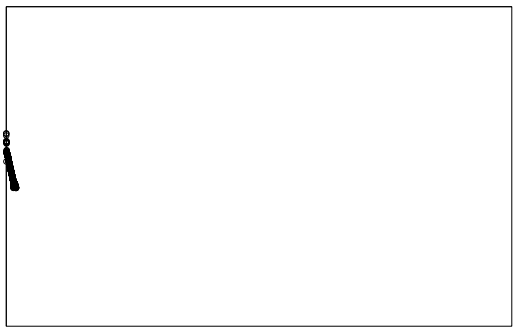
2.5.1 Natural Suction Test

เป็นการทดสอบที่ความชื้นสนามโดยนำ Tensiometer ติดตั้งลงใน Top cap ซึ่งภายในมีสปริงทำหน้าที่ปรับสมดุลระหว่างผิวของหินพรุนกับผิวของดินให้สัมผัสกันพอดีโดยไม่เกิดแรงกดที่จะทำลายตัวอย่างดิน วาง Top Cap ไว้บนตัวอย่างดิน จากนั้นรอให้ค่า Suction เข้าสู่สมดุล

2.5.2 Varying Suction Test

เป็นการทดสอบด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดูดของดินโดยการทำให้ตัวอย่างดินเปียก (ลด Suction) ทำให้แห้ง (เพิ่ม Suction แสดงดัง**รูปที่ 8**) จากนั้นนำตัวอย่างดินไปบ่มไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่า Suction ปรับเข้าสู่สมดุล

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



รูปที่ 8 การทดสอบ S-UC โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูด

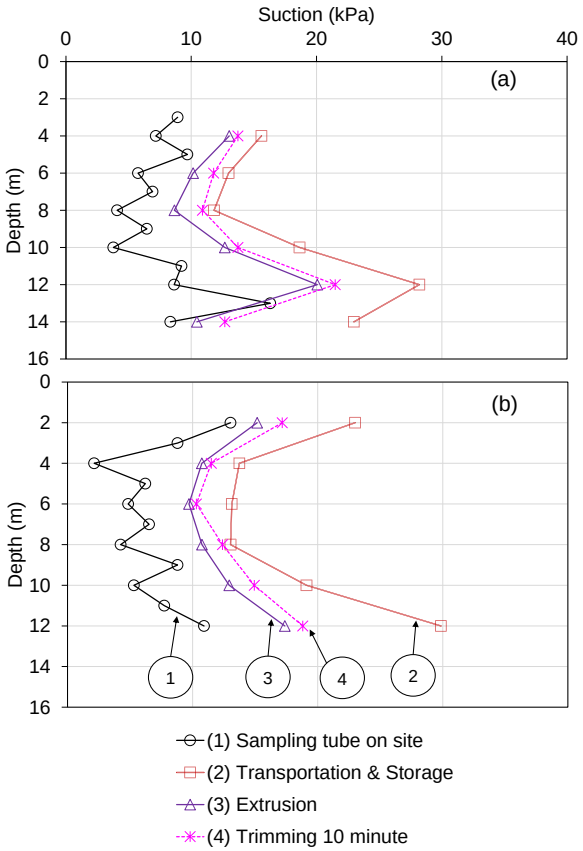
3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการตรวจวัด Suction ในแต่ละขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินของหลุมเจาะที่ 1 ดังแสดง**รูปที่ 9a** และหลุมเจาะที่ 2 ดังแสดง**รูปที่ 9b** พบว่าภายหลังจาก (1) การเก็บตัวอย่างดิน Suction ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำอันเนื่องมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างทำให้ดินเกิดการรับแรงแบบ Compression, Extension และ Shear Strain ที่บริเวณผิวและปลายคมตัดจากกรณีการบิดตัวอย่างดินให้แยกออกจากดินเดิม อัตราการเฉือนที่ไม่คงที่ที่เกิดจากการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้โครงสร้างสามขาที่ไม่มีระบบไฮโดรลิคใช้ในการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนจึงทำให้ต้องใช้น้ำหนักจากคนหรือตุ้มตอกช่วยส่งกระบอกลงสู่ชั้นดินนำไปสู่การเสียรูปของตัวอย่างดินในที่สุด

จากผลดังกล่าวยังส่งผลต่อแรงดันน้ำในตัวอย่างดินให้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Suction ที่ตรวจวัดได้มีค่าลดต่ำลง

(2) การขนส่งและเก็บรักษา ตัวอย่างดินจะถูกเก็บในห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 14 วัน พบว่า Suction มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของความชื้น, การเข้าสู่สมดุลของ Suction และผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่อุณหภูมิลดต่ำลงและสูงขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิต่ำดังแสดง**รูปที่ 10**

(3) อัดขึ้นรูป ตัวอย่างดินถูกตรวจวัด Suction ที่จุดเดิมของตัวอย่างแต่ละความลึก เป็นระยะเวลา 7 วัน ในห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดย Suction ที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มที่ลดลงเป็นผลมาจากดินเกิดการรับแรงแบบ Compression และ Shear Strain ที่รอบข้างของตัวอย่างจากทิศทางในการดันดินออกจากกระบอก ตัวอย่างถูกดันออกในทิศทางเดียวกับการเก็บตัวอย่าง (ปลายคมตัด) ส่งผลให้ดินเกิดแรงเฉือนขึ้นระหว่างผิวของตัวอย่างกับผิวที่ปลายของกระบอก โดยที่ด้านบนของกระบอกจะเกิดการเฉือนที่รุนแรงเนื่องจากระยะทางของการเก็บตัวอย่างดินและการดันดินออกซึ่งเป็นสาเหตุให้ Suction มีค่าลดลง

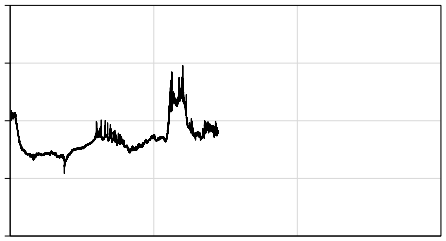


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลง Suction ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างดิน (a) หลุมเจาะที่ 1 (b) หลุมเจาะที่ 2

(4) การตัดแต่งตัวอย่างดิน ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 10 นาที โดยเฉลี่ย ในระหว่างนี้ตัวอย่างดินจะมีการสูญเสียความชื้นทำให้ Suction มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลการทดสอบพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ Suction – Monitored Unconfined Compression Test ($S_{u,(SUC)}$) ใน**ตารางที่ 1** แสดงให้เห็นว่าที่ Suction แตกต่างกันจะส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อ Suction มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยในระหว่างการเฉือนแรงดันน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะเริ่มคงที่เมื่อถึงจุด Critical State แสดงใน**รูปที่ 11**

การทดสอบอิทธิพลจากการรบกวนตัวอย่างต่อพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ $S_{u,(SUC)}$ โดยเปรียบเทียบกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยใช้ใบพัด (Field Vane Shear Test, $S_{u,(FVT)}$) จะเห็นได้ว่าผลกระทบจากการรบกวนระหว่างการเก็บตัวอย่างเปลือกบางส่งผลให้พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่าประมาณ 50 % (Undisturbed), 40 % (Correct) และมีค่าสูงกว่าแบบ Remoulded ประมาณ 63 % แสดงใน**รูปที่ 12** โดยดินที่มีค่า

ความไว (Sensitivity) สูงจะมีแนวโน้มที่ค่ากำลังแรงเฉือนจะลดต่ำลงดังแสดงใน**รูปที่ 13**



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลง Suction เนื่องจากอุณหภูมิ

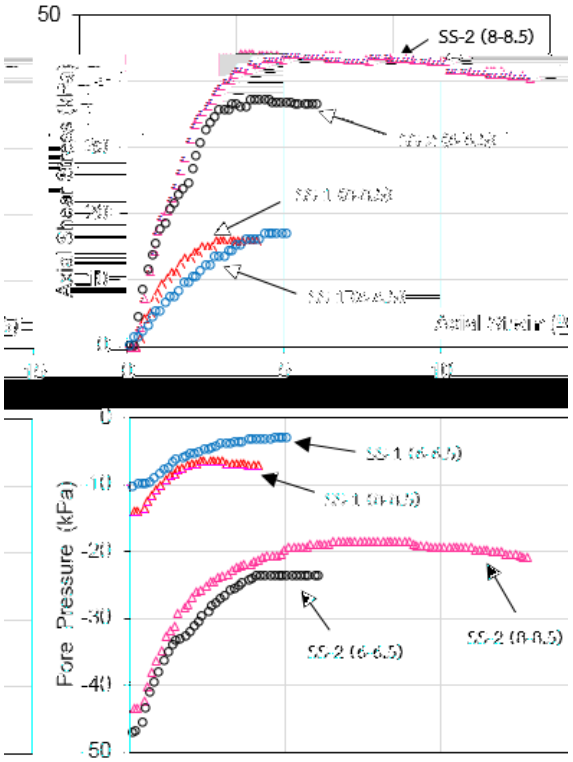
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ **Suction – Monitored Unconfined Compression Test**

Soil Sample	Depth (m)	s_i (kPa)	w_i (%)	w_f (%)	Sr (%)
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

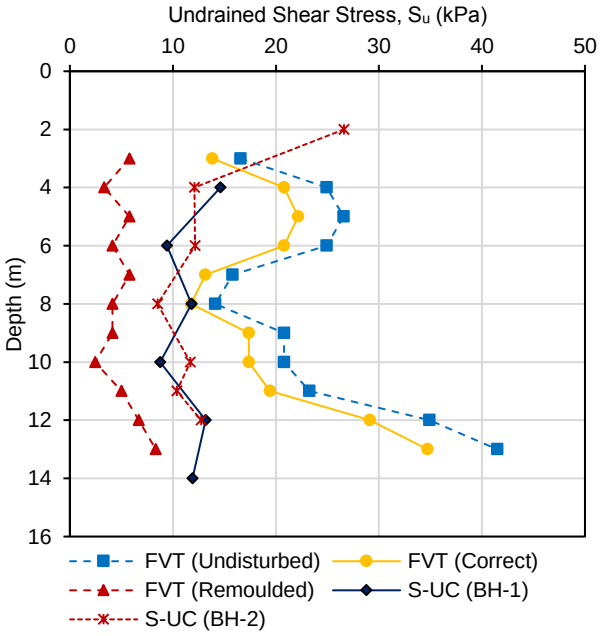
เมื่อ s_i คือ Initial Suction, w_i คือ Initial Water Content, w_f คือ Final Water Content และ Sr คือ Degree of Saturation

4. สรุป

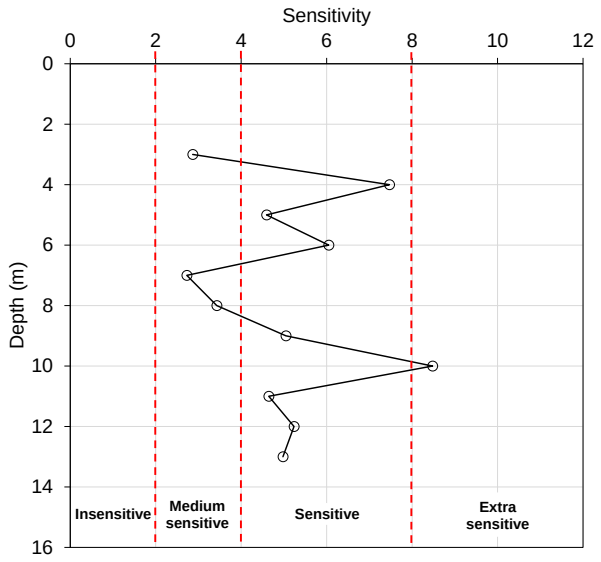
งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ Tensiometer กับการทดสอบ Suction – Monitored Unconfined Compression Test ในการประเมินคุณภาพของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน โดยการตรวจวัดแรงดันน้ำด้านลบของก้อนดินภายหลังจากการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพบว่าค่า $S_{u,(FVT)}$ แบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed) 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 % แสดงให้เห็นว่าหน่วยแรงประสิทธิผลคงค้างหรือแรงดูดของก้อนตัวอย่างดินมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงประสิทธิของมวลดินในสนามเนื่องจากการรบกวนตัวอย่างดิน โดยดินที่มีค่าความไวสูงจะมีแนวโน้มที่ค่ากำลังแรงเฉือนจะลดต่ำลงมากกว่าดินที่มีค่าความไวต่ำ



รูปที่ 11 กราฟผลการทดสอบ S-UC แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเบี่ยงเบนและแรงดันน้ำกับความเครียด



รูปที่ 12 พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำระหว่างการทดสอบ S-UC กับ FVT



รูปที่ 13 ความไวของดินจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยใช้ใบพัด

เอกสารอ้างอิง

[1] วศัน สุทธินุ่น 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 พ่อลิละ (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 Tube Sampling. *Soil and foundations Japanese geotechnical society 46*, No. 2, pp.209-219.