บทที่ 3

วิธีการและขั้นตอนในการทดสอบ

3.1 สถานที่และการเก็บตัวอย่างดิน

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกเก็บมาจาก 2 บริเวณเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน บริเวณแรกคือ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนอีกบริเวณหนึ่งคือ บริเวณทางเข้าสนามบินสุวรรณภูมิ สาเหตุที่เลือกเก็บตัวอย่างดินจาก 2 บริเวณนี้ เนื่องจากดินทั้ง 2 บริเวณมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากในส่วนของคุณสมบัติพื้นฐาน ทำให้เสมือนว่าเป็นการทดสอบดินเหนียวอ่อน 2 ชนิด ถึงแม้ว่าจะถูกเรียกว่าเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เหมือนกันก็ตาม อีกทั้ง 2 บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดินอยู่ห่างกันค่อนข้างมากโดยบริเวณแรกอยู่ในใจกลางกรุงเทพฯ ในขณะที่อีกบริเวณอยู่ชานเมือง จึงทำให้ถือได้ว่าครอบคลุมดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่มีอยู่เกือบทั้งหมด และยิ่งไปกว่านั้นดินเหนียวอ่อนในบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ ถือว่าเป็นบริเวณที่มีปัญหาในการก่อสร้างมากที่สุด อันเนื่องจากดินบริเวณนี้เป็นดินเหนียวอ่อนมากมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ค่าการยุบตัวสูง และมีความหนาของชั้นดินอ่อนถึงประมาณ 20 ม.

ก. บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการเก็บตัวอย่างคงสภาพ(Undisturbed Sample) บริเวณสนามหญ้าข้างหอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการเก็บตัวอย่างเฉพาะในช่วงดินเหนียวอ่อนเท่านั้น

ข. บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณทางเข้าสนามบินสุวรรณภูมิ

3.1.2 วิธีเก็บตัวอย่างดิน

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างดินนี้นำมาเพื่อใช้ในงานวิจัย ดังนั้นเพื่อให้ได้ตัวอย่างดินคงสภาพ(Undisturbed Sample) ที่มีคุณภาพดี จึงเลือกเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Wash Boring โดยใช้กระบอกบาง(Shelby Tube)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว และยาวประมาณ 1 ม. ในการเก็บตัว

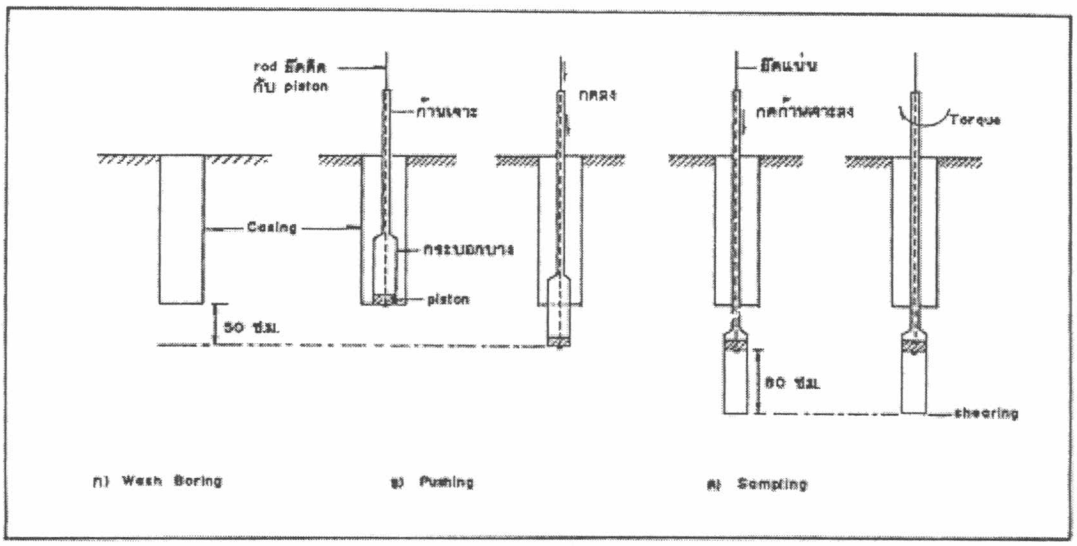
อย่างจากทั้ง 2 บริเวณ อีกทั้งบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ นี้เป็นบริเวณที่ดินอ่อนมาก ดินมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ปริมาณความชื้นในธรรมชาติสูง(110-150%) และมีค่าความไวสูง(ประมาณ 6)

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างดินมีดังนี้ (ดูรูปที่ 3.1)

1. ใช้ Hand Auger เจาะนำเพื่อให้ได้แนวหลุมเจาะเบื้องต้น
2. เจาะดินโดยการใช้การฉีดล้าง(Wash Boring) จนถึงระดับก่อนเก็บตัวอย่างประมาณ 0.50 ม.(รูปที่ 3.1ก)
3. ใช้กระบอกบางทำด้วย Stainless Steel เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาวประมาณ 1.0 ม. ดันใส่ดินอ่อนลงไปอีก 0.50 ม. โดยใช้ Hydraulic Jack ของเครื่องเจาะดิน(รูปที่ 3.1ข)
4. เริ่มทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้ Hydraulic Jack ของเครื่องเจาะดินดันกระบอกบางโดยส่งถ่ายแรงทางก้านเจาะลงไปในดินอ่อนประมาณ 0.80 ม.(รูปที่ 3.1ค)
5. หมุนก้านเจาะเพื่อเฉือนดินที่ปลายกระบอกบางให้ขาดออกจากกัน จากนั้นนำกระบอกบางขึ้นมาเคลือบพาราฟินที่หัวและท้ายกระบอกเก็บตัวอย่างดิน พร้อมทั้งเขียนคำอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวอย่างดินที่เก็บ และปิดไว้กับตัวกระบอกบาง

เนื่องจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินเป็นดินเหนียวอ่อน ฉะนั้นจึงต้องป้องกันหลุมเจาะพังทลายด้วยการปัก Casing ตลอดช่วงที่เป็นดินเหนียวอ่อนและเติมน้ำให้เต็มหลุมตลอดเวลา

หลังจากเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาดันออกด้วย Hydraulic Jack ที่ห้องปฏิบัติการ โดยตัดตัวอย่างออกเป็นก้อนๆ ขนาดความยาวประมาณ 10 ซม. แล้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟลอยด์เคลือบทับด้วยพาราฟินจนแน่ใจว่าสามารถรักษาความชื้นไว้ได้ พร้อมปิดฉลากระบุหมายเลขตำแหน่งของตัวอย่างในกระบอกโดยเรียงลำดับจากบนลงล่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง หมายเลขหลุมเจาะ และวันที่เก็บ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้นเพื่อรอการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Fixed Piston Sampling

3.2 การทดสอบและโปรแกรมการทดสอบ

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1.1 ในการทดสอบนี้จะใช้เครื่องมือทอสอบแบบแรงอัดสามแกน Conventional Triaxial ของบริษัท ELE Co.,Ltd. จากประเทศอังกฤษ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ

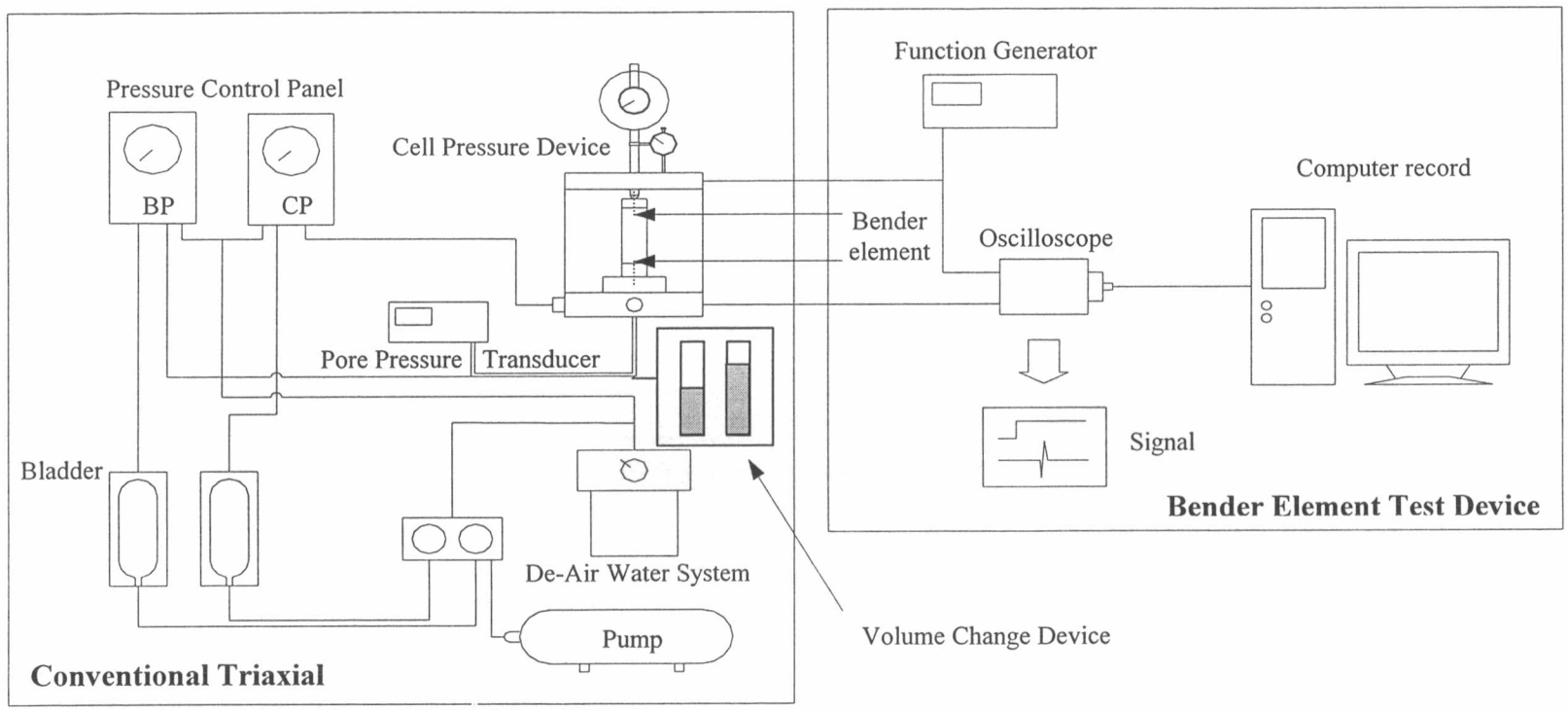
1. De-air Water System เป็นเครื่องมือสำหรับไล่อากาศในน้ำให้ออกไป เพื่อให้ความดันภายในเซลล์และในตัวอย่างมีความสม่ำเสมอ และป้องกันความเสียหายของระบบ Transducer
2. Air Filter สำหรับกรองน้ำในอากาศที่ผ่านเข้ามาใน Regulator เพื่อป้องกันความเสียหายของ Regulator
3. Air Compressor เป็นเครื่องมือสำหรับกำเนิดและรักษาความดันภายในเซลล์(Cell Pressure) และความดันภายในตัวอย่าง(Back Pressure) ให้คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลาในระหว่างการทดสอบ
4. Bladder เป็นเครื่องมือสำหรับเปลี่ยนแรงดันจากอากาศเป็นแรงดันจากน้ำเข้าสู่ภายในเซลล์(Cell Pressure) และภายในตัวอย่าง(Back Pressure)

5. Volume Change Device เป็นเครื่องมือวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดินในระหว่างการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สำหรับการทดสอบแบบแรงอัดสามแกน Triaxial Test
6. Pressure Control Panel เป็นเครื่องมือสำหรับแปรค่าจาก Pressure Transducer เพื่อให้เราสามารถควบคุมความดันภายในเซลล์(Cell Pressure) และความดันภายในตัวอย่าง(Back Pressure) ให้มีความดันสม่ำเสมอ
7. Triaxial Cell จะประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้
    7.1 Proving Ring เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดแรงในแนวแกน(Axial Load) ในระหว่างการทดสอบ
    7.2 Dial Gauge เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดการเคลื่อนที่ในแนวแกน(Vertical Displacement) ในระหว่างการทดสอบ
    7.3 Pore Pressure Transducer เป็นอุปกรณ์ที่วัดความดันที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่าง(Back Pressure) และความดันน้ำส่วนเกิน(Excess Pore Pressure) สำหรับการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained Test)
8. Pore Pressure Readout เป็นอุปกรณ์สำหรับอ่านค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่าง(Back Pressure) และความดันน้ำส่วนเกิน(Excess Pore Pressure)

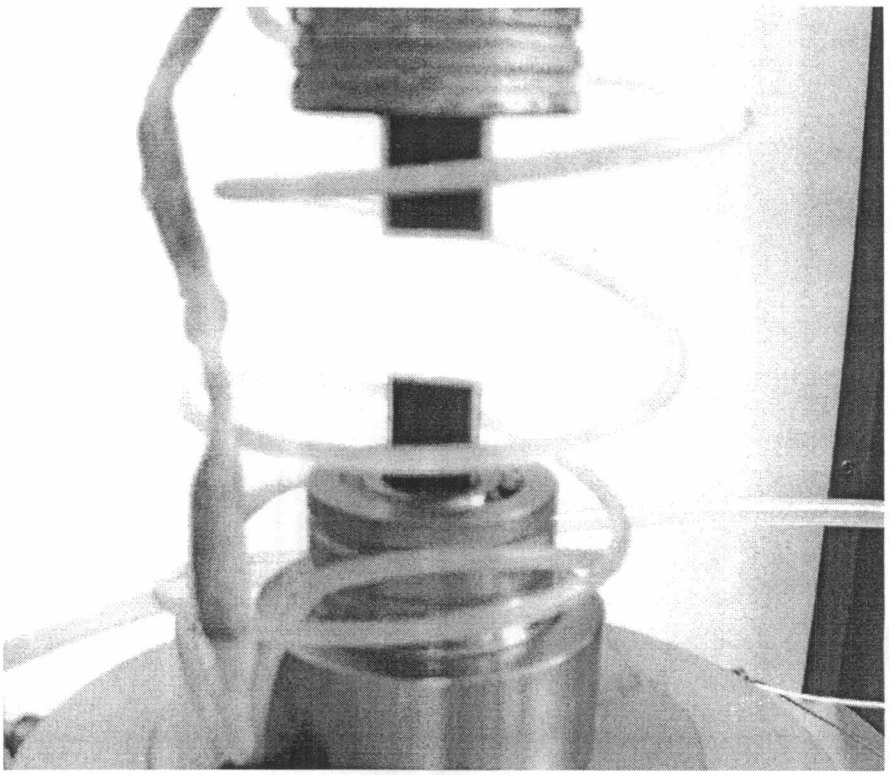
3.2.1.2 Bender Element Test Device เป็นเครื่องมือสำหรับหาค่า Shear Modulus ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังต่อไปนี้

1. Bender Element เป็นอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ(Actuator & Sensor) คลื่นความเค้นในตัวอย่าง
2. Function Generator เป็นเครื่องให้กำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าส่งไปยัง Bender Element
3. Oscilloscope เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้บันทึกสัญญาณทางไฟฟ้า โดยจะนำมาใช้วัดสัญญาณที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ
4. Personal Computer เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้แสดงผลการทดสอบและควบคุมการทำงานของ Oscilloscope

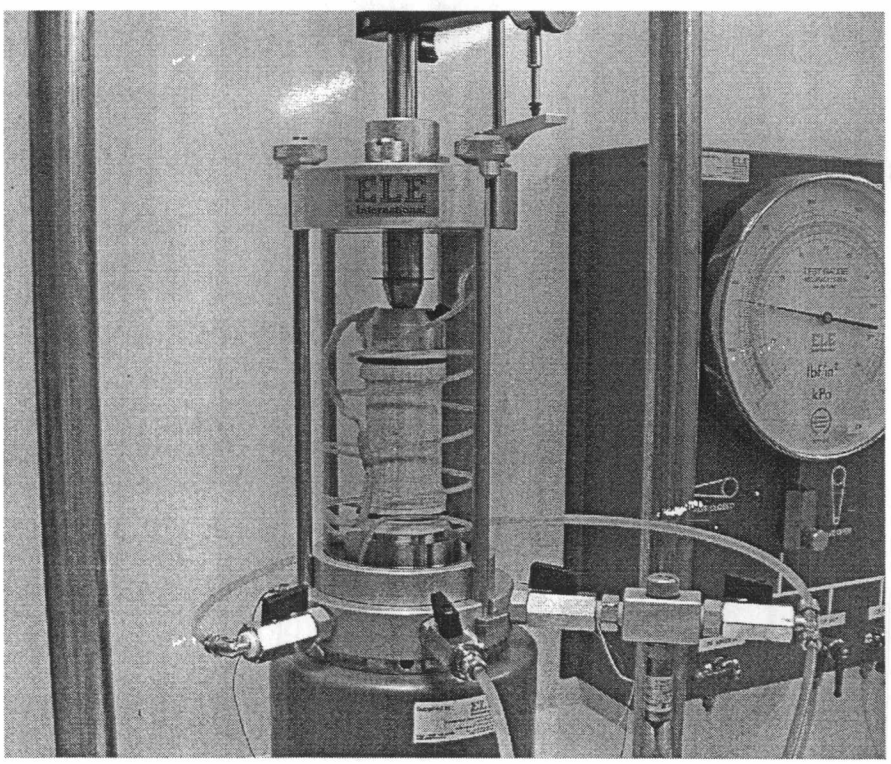
โดยอุปกรณ์และเครื่องมือสำคัญที่ใช้สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 , 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบหาความเร็วของคลื่นความเค้นด้วยวิธี Bender Element ในเครื่องทดสอบ Triaxial Test



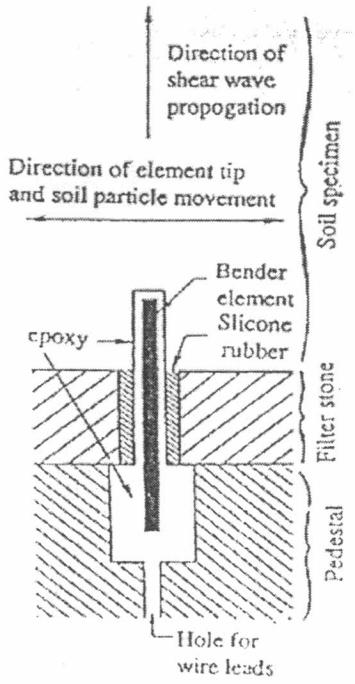
รูปที่ 3.3 ลักษณะของ Bender Element ที่ติดตั้งใน Top-Base Cap ของเครื่อง Triaxial



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะเมื่อตัวอย่างดินถูกติดตั้งในเครื่องทดสอบ Triaxial เรียบร้อยแล้ว

3.2.2 การติดตั้งแผ่น Bender Element ลงไปใน Top Cap และ Base ของเครื่องทดสอบ Triaxial

1. ทำการต่อเชื่อมสายไฟกับแผ่น Bender Element โดยที่ตัวส่งสัญญาณ(Actuator) และตัวรับสัญญาณ(Sensor) จะต่อวงจรแตกต่างกันดังรูปที่ 2.26,2.27 การต่อวงจรที่แตกต่างกันของ Actuator และ Sensor เพื่อให้ Bender Element มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำหน้าที่ที่แตกต่างกันของการส่งและรับสัญญาณคลื่นความเค้น
2. เคลือบแผ่น Bender Element ด้วยกาวEpoxy ให้มีความหนาประมาณดังรูปที่ 2.28 เพื่อป้องกันการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าในแผ่น Bender Element
3. เจาะ Top Cap และ Base ของเครื่อง Triaxial ดังเพื่อสามารถใส่แผ่น Bender Element ลงไปใน Top Cap และ Base ได้
4. เทกาว Epoxy ลงไปใน Top Cap และ Base เพื่อยึดแผ่น Bender Element กับ Top Cap และ Base ให้ติดกันดังรูปที่ 3.5 จากนั้นเท Silicone ลงไปใน Top Cap และ Base เพื่อให้แผ่น Bender Element สามารถเคลื่อนไหวได้
5. เจาะแผ่นหินพรุน(Porous Stone) ให้รูมีขนาดที่แผ่น Bender Element สามารถทะลุผ่านไปได้



รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้งแผ่น Bender Element กับ Top-Base Cap

3.2.3 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน (Basic Properties Test)

ส่วนนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน เพื่อจำแนกชนิดของดินและช่วยในการตัดสินใจในการเลือกตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบ โดยทำการทดสอบดังนี้

ก. ปริมาณความชื้น(Natural Water Content)

ข. พิกัดแอตเตอร์เบอร์ก(Atterberg's Limit)

ค. ความหนาแน่นเปียก(Wet Density)

โดยทุกการทดสอบทำตามมาตรฐานของ ASTM โดยพยายามเลือกตัวอย่างดินก้อนที่คิดว่าเป็นตัวแทนของตัวอย่างดินก้อนที่ดีที่สุด

3.2.4 ขั้นตอนในการทดสอบ

3.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่ต้องการทดสอบมาทำการเอาพาราฟินและอลูมิเนียมฟลอยด์ที่หุ้มอยู่ออก แล้วนำมาตัดแต่งขอบ(Trim) ด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก(Steel Wire Saw) ใน Trimming Frame จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 38 มม. แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาทำการตัดหัวและท้ายโดยใช้ Meter Box ให้เหลือความยาวประมาณ 76 มม. เพื่อให้ได้สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1 (H:D = 2:1) ตามขนาดมาตรฐาน จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ถูกตัดแต่งแล้วมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น(Total Density,γ_t) ส่วนปริมาณความชื้น(Water Content,W_n) ในตัวอย่างดินหาได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างปริมาณความชื้นของดินส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่างของตัวอย่าง

3.2.4.2 การเตรียมเครื่องมือทดสอบและจัดตัวอย่างในเครื่องมือทดสอบ

1. ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า(Load Frame,Function Generator,Osciloscope) ว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างเรียบร้อย
2. ทำการตรวจสอบข้อต่อจุดต่างๆ ว่ามีการรั่วซึมหรือไม่
3. ตรวจสอบน้ำใน Bladder ว่าเต็มหรือไม่ ก่อนการทดสอบ

4. ทำการไล่ฟองอากาศออกจากระบบด้วย De-air Water (จากเครื่อง De-air Water Apparatus โดยทำการ De-air น้ำที่จะใช้ในการทดสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีก่อนนำมาใช้) ทั้งในสายของ Cell Pressure และ Back Pressure และที่สำคัญคือ หลังจากไล่ฟองอากาศออกจากระบบแล้ว ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรงดันตกค้างอยู่ในระบบ โดยการเปิดระบบ(ประตูน้ำหรือ Valve)ออกสู่บรรยากาศ
5. นำหินพรุน(Porous Stone) ที่ผ่านการต้มไล่ฟองอากาศในน้ำเดือดอย่างน้อย 10 นาที วางบนฐานของ Triaxial แล้ววางทับด้วยกระดาษกรอง(Filter Paper) ก่อนที่จะนำตัวอย่างที่ผ่านการตัดแต่ง(Trimmed) มาวาง โดยจะต้องเสียบแผ่น Bender Element ลงไปในดินไม่ให้ตัวอย่างเกิดรอยแตกขึ้นได้ จากนั้นตามด้วยกระดาษกรอง,หินพรุนและ Top Cap ที่มีแผ่น Bender Element เสียบติดอยู่ ถ้าตัวอย่างมีลักษณะที่ค่อนข้างแข็ง จะต้องมีการเซาะเป็นร่องเพื่อที่จะสามารถเสียบแผ่น Bender Element ลงไปได้
6. ทำการติด Side Drained ซึ่งมีจำนวน 10 แถบ ขนาดตามมาตรฐานของ Bishop and Henkel (1962) เพื่อช่วยเร่งอัตราการระบายของแรงดันน้ำ(Pore Pressure Dissipation) ระหว่างการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) และช่วยในการกระจายของแรงดันน้ำในระหว่างเฉือนตัวอย่าง โดยปลายทั้งสองของ Side Drained จะต้องสัมผัสกับหินพรุนทั้งด้านบนและด้านล่าง
7. หุ้มตัวอย่างด้วย Rubber Membrane เพื่อไม่ให้น้ำสัมผัสกับตัวอย่างดินโดยตรง
8. รัด O-Ring ที่ฐานและที่ Cap เพื่อป้องกันน้ำภายในเซลล์ไหลซึมผ่านเข้าสู่ตัวอย่างดิน
9. นำ Triaxial Cell ครอบลงบนฐานของ Triaxial แล้วทำการยึดด้วยสกรู และควรระวัง Piston กระแทกหรือกดตัวอย่างก่อนเริ่มการทดสอบซึ่งอาจทำให้ตัวอย่างวิบัติได้ จึงควรมีการล็อคหรือค้ำ Piston ไว้ก่อนกระทำขั้นตอนนี้
10. เติมน้ำเข้าใน Triaxial Cell ผ่านทางสายของ Cell Pressure โดยเปิด Air Valve ด้านบนของ Triaxial Cell ไว้ แล้วรอจนกระทั่งน้ำเต็มและล้นออกทาง Air Valve จากนั้นทำการปิด Air Valve
11. ทำการตั้งค่าต่างๆ ให้เป็นศูนย์(Zero Transducer) เพื่อเริ่มการทดสอบในขั้นต่อไป ในที่นี้จะมีอยู่ด้วยกัน 6 ค่า คือ Cell Pressure, Back Pressure, Pore Pressure, Axial Force, Vertical Displacement และ Volume Change

3.2.4.3 ขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัว(Saturation Stage)

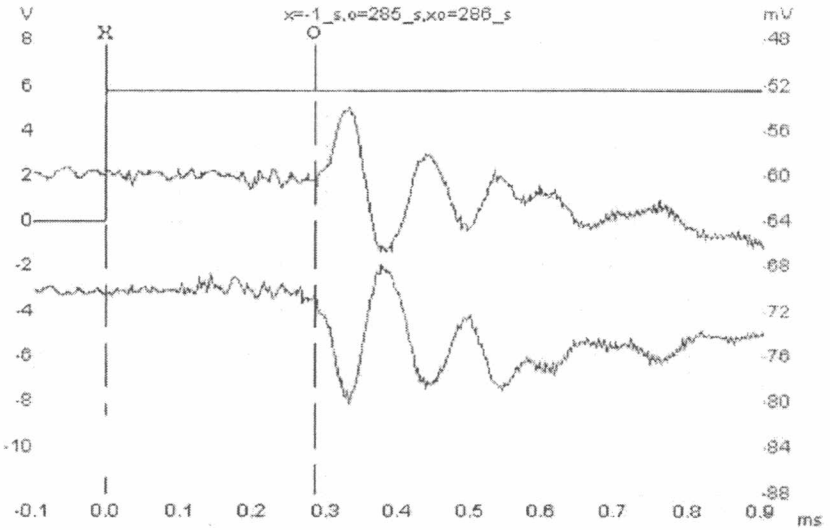
ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้มั่นใจว่าตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ และขจัดปัญหาของ Negative Pore Pressure ซึ่งเราไม่รู้ค่า โดยทำการใส่ Back Pressure ในงานวิจัยนี้จะใช้ Back Pressure(U_b) ประมาณเท่ากับ 200 kPa และใช้ Cell Pressure(σ_c) ประมาณเท่ากับ 210 kPa เพื่อสร้างค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเบื้องต้นซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่ทำให้ตัวอย่างเกิดการบวม(Swell) และเป็นการป้องกันไม่ให้ Rubber Membrane เกิดการบวม เข้าไปที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างแล้วทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. หลังจากนั้นทำการตรวจสอบค่า B Parameter ซึ่งตัวอย่างที่เหมาะสมควรให้ค่า B Parameter มีมากกว่า 95% จึงจะนำมาทำการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) ต่อไป

3.2.4.4 วิธีการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Shear Wave Measurement)

ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดหาค่าความเร็วของคลื่นความเค้นในระหว่างการทดสอบ 2 ขั้นตอน คือ ทำการวัดในช่วงการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) และทำการวัดในช่วงการทดสอบแรงเฉือน(Shearing) โดยวิธีการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้นมีขั้นตอนดังนี้

ทำการต่อวงจรทางไฟฟ้าดังรูปที่ 2.29 การทดสอบจะเริ่มโดย Function Generator เป็นตัวให้กำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าส่งไปยัง Bender Element ตัวที่เป็นตัวส่งสัญญาณ พร้อมกันนั้นก็จะมี Oscilloscope เป็นตัวรับสัญญาณทางไฟฟ้าดังกล่าวด้วย โดย Bender Element เมื่อรับสัญญาณทางไฟฟ้าจะแปลงสัญญาณเป็นพลังงานกลทำให้เกิดการสั่นไหวในตัว Bender Element เกิดเป็นคลื่น S-wave แพร่กระจายผ่านไปในตัวอย่างดินจนไปถึง Bender Element ตัวที่เป็นตัวรับสัญญาณ โดย Bender Element เมื่อรับสัญญาณทางกลแล้วก็จะแปลงสัญญาณทางกลจากคลื่นกลับไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งก็จะมี Oscilloscope เป็นตัวรับสัญญาณทางไฟฟ้าด้วย โดย Oscilloscope จะแสดงผลต่างของเวลาที่ตัวส่งสัญญาณมาถึงกับตัวรับสัญญาณมาถึงจะเป็นเวลาที่คลื่นความเค้น (Time Arrival) มาถึง ซึ่งตัวอย่างของ Time Arrival แสดงดังรูปที่ 3.6

ในการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Shear Wave Velocity) จำเป็นจะต้องส่งสัญญาณความเค้นในทิศทางตรงกันข้ามกันด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าสัญญาณที่ได้นั้นเป็นคลื่นความเค้นจริงหรือไม่ ซึ่งสัญญาณของคลื่นความเค้นที่ได้จะมีลักษณะทิศทางตรงกันข้ามกัน(Polarize) ดังรูปที่ 3.6 ในการส่งสัญญาณความเค้นในทิศทางตรงกันข้ามสามารถกระทำได้ด้วยการสลับขั้วสัญญาณของ Bender Element ตัวส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.6 แสดงผลต่างของเวลาที่ตัวส่งสัญญาณมาถึงกับตัวรับสัญญาณมาถึงจะเป็นเวลาที่คลื่นความเค้น (Time Arrival) และลักษณะทิศทางตรงกันข้ามกัน(Polarize)

การอ่านสัญญาณที่เกิดจาก Bender Element ตัวรับสัญญาณ อาจกระทำได้ยากเนื่องจากสัญญาณที่ได้มีค่าน้อยมาก โดยอยู่ในระดับหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งที่ระดับนั้นจะมีปัญหากับสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า แต่สามารถแก้ไขได้โดยการต่อสายดิน(Ground) หรือใช้โปรแกรมกรองสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่แท้จริง

3.3 ขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำและการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Consolidation & Shear Wave Measurement)

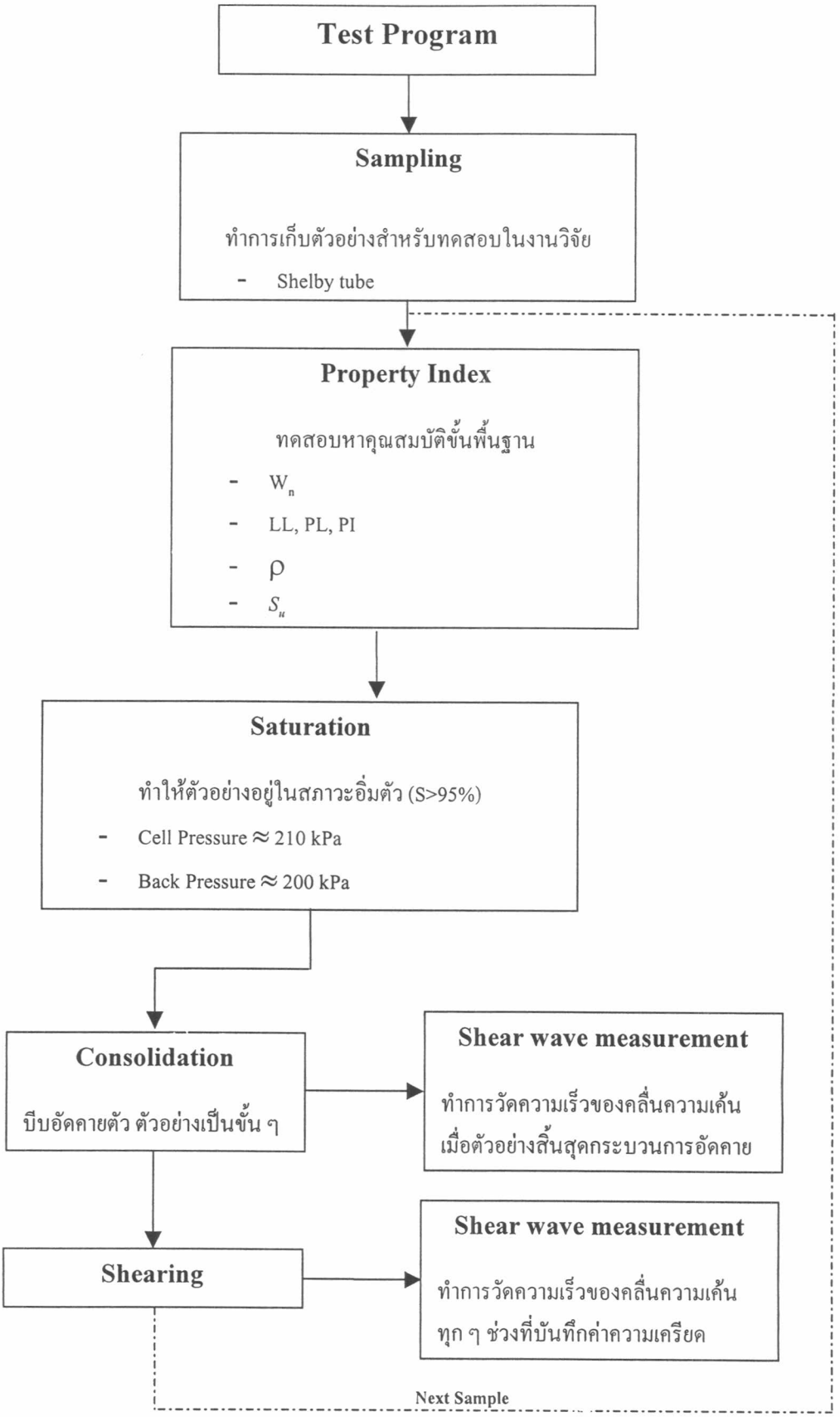
ในการทดสอบหาค่าความเร็วของคลื่นความเค้น จะกระทำเมื่อทำการอัดตัวคายน้ำที่ระดับหนึ่งๆ สิ้นสุดแล้ว ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Isotropic Consolidation โดยกำหนดค่า Effective Confining Stress ของแต่ละตัวอย่างและมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้นก่อนทำการอัดตัวคายน้ำ
2. ปิดวาล์วระบายน้ำและเพิ่มความดันภายในเซลล์จนกระทั่งได้ค่าความดันที่ต้องการตามที่กำหนดไว้
3. เปิดวาล์วระบายน้ำ โดยทำการวัดและบันทึกผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร(Volume Change) ของตัวอย่างดินและการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน(Axial Deformation) กับเวลา ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างการเปลี่ยนแปลงในแนวแกนกับเวลาและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับเวลา

4. เมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) ทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้นอีกครั้งก่อนทำการอัดตัวคายน้ำที่ระดับความดันต่อไป

3.4 การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของดินและการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Shearing & Shear Wave Measurement)

1. กำหนดอัตราความเร็วของการเคลื่อนที่ของ Load Frame ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการควบคุมแบบ Strain Control โดยควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ไว้ที่ 2% Strain/hr. หรือ 0.02333 mm/min. โดยประมาณ(ความเร็วของการเคลื่อนที่ของ Load Frame ขึ้นอยู่กับความสูงของตัวอย่างเมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ)
2. ปิดวาล์วระบายน้ำ
3. เดินเครื่อง Load Frame พร้อมทั้งบันทึกค่าจาก Proving Ring, Pore Pressure Transducer, Vertical Dial Gauge และทำการทดสอบวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้นไปพร้อมๆ กัน
4. ทำการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ(ในการทดสอบนี้ทำการทดสอบไปจนค่า Strain $\approx$ 20%)



รูปที่ 3.7 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดสอบโดยสังเขป