บทที่ 3

วิธีการทดสอบและวิจัย

3.1 ตัวอย่างดินเหนียว 3 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

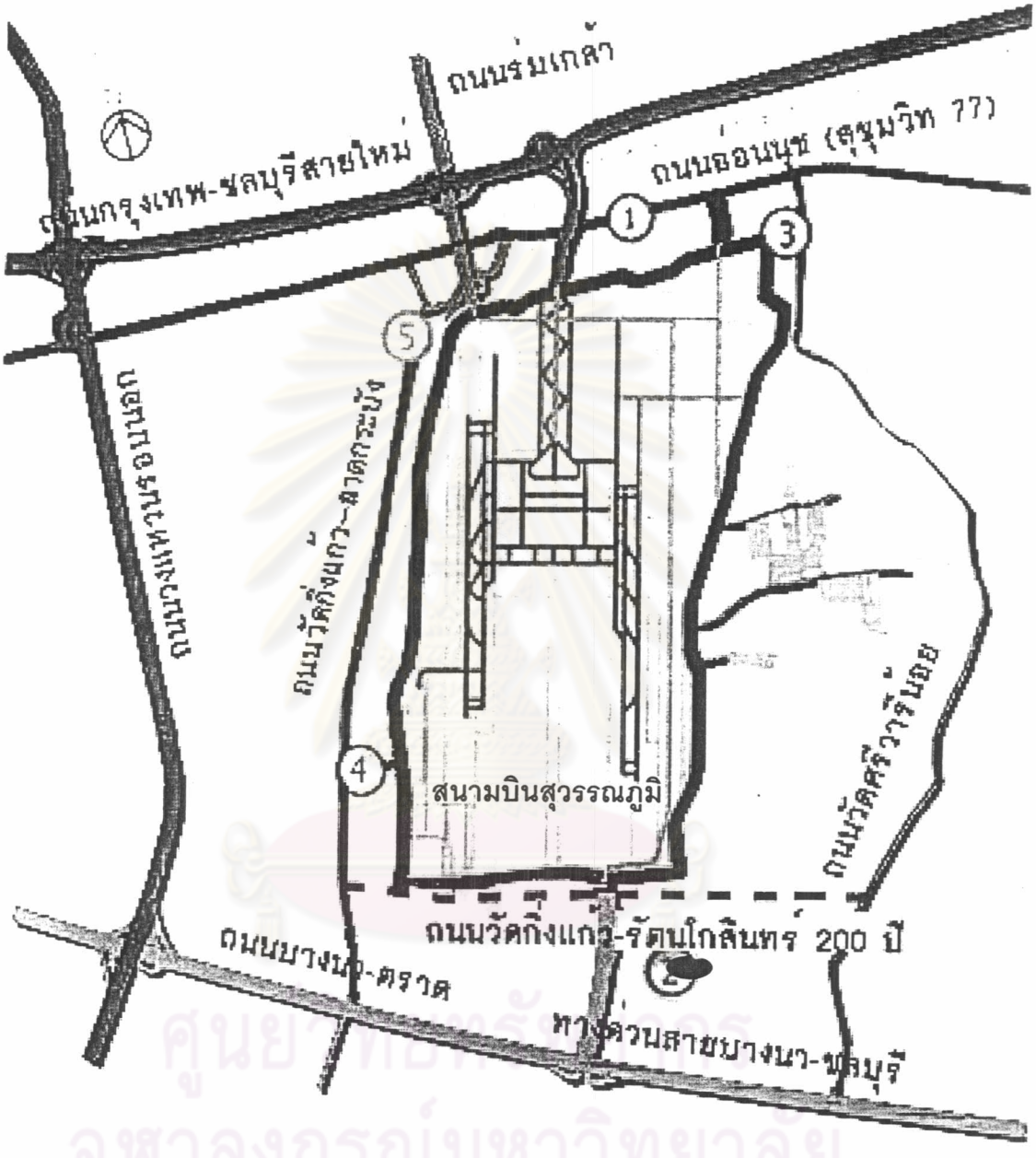
ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ จะเก็บจากบริเวณทางเข้าออกด้านใต้ของโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ (ถนนกิ่งแก้ว – รัตนโกสินทร์ 200 ปี กม.16) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เนื่องจากดินบริเวณดังกล่าวเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก (Soft to Very Soft Clay) ที่มีค่าการยุบอัดตัวสูง (High Compressibility) และมีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำ (Low Shear Strength) ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย การเก็บตัวอย่างจะใช้กระบอกบาง (Shelby Tube) เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว และยาวประมาณ 1 ม. เก็บตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ (Undisturbed Sample) แบบต่อเนื่องที่ระดับความลึกประมาณ 5-8 เมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกโดยเฉลี่ยของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จำนวน 5 หลุม (BH-1 ถึง BH-5) ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะประมาณ 2-3 เมตร สำหรับตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ จะถูกดันออกจากกระบอกและเก็บไว้ในถุงสีดำ 2 ชั้น ที่ดูดอากาศออกให้เป็นสุญญากาศ และเก็บไว้ในห้องมืด ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นในมวลดิน และไม่ให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ซึ่งจะมีผลต่อค่าดัชนีพลาสติกของดิน

3.1.2 ตัวอย่างดินเหนียวนนทบุรี

ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ จะเก็บจากดินบริเวณนนทบุรี บริเวณกระทรวงสาธารณะสุข ที่ความลึกประมาณ 3 เมตรจากผิวดิน เก็บตัวอย่างดินเหนียวในลักษณะดินเหนียวแปรสภาพ (Disturbed Sample) โดยใช้รถขุดดินไปที่ระดับความลึก 3 เมตร จากนั้นเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาใส่กระบะ ลักษณะดินเหนียวจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ และแห้งกรัง เป็นก้อนจับตัวแน่น มี Water Content น้อยมาก

3.1.3 ตัวอย่างดินเหนียว Kaoline

ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ จะเก็บจากบริเวณเหมือง Kaoline จังหวัดลำปาง เก็บตัวอย่างแบบดินเหนียวแปรสภาพที่ระดับความลึกประมาณ 0-3 เมตร ดินที่เก็บได้มีลักษณะสีขาวขุ่นเป็นผง มีทรายปนอยู่เยอะมาก



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ตัวอย่างดินเหนียวทั้ง 3 แหล่ง จะนำมาศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางเคมี ตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้

คุณสมบัติพื้นฐาน

- การทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight)
- การทดลองหาค่าความชื้นธรรมชาติในมวลดิน (Natural Moisture Content
- การทดลองหาพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
- การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid)
- การทดลองหาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

คุณสมบัติทางเคมี

- การทดสอบหาปริมาณเกลือในดิน (Salt Content)
- การทดสอบ Organic Content
- การทดสอบ pH

3.3 โปรแกรมการทดสอบ

โปรแกรมการทดสอบได้ออกแบบมาเพื่อให้การทดสอบบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังแสดงไว้ในตารางที่3.1 โดยมีรายละเอียดของการทดสอบที่สำคัญดังนี้

3.3.1 ทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนด้วยเครื่องมือกรวยตก (Fall Cone Test)

เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธีการแบบใหม่ โดยใช้เครื่องมือมาตรฐาน BS1377 โดยวิธีการแบบพิเศษ เพิ่มขึ้นจากมาตรฐาน และศึกษาผลกระทบต่างๆ ที่จะทำให้มีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ เช่น เวลาที่ใช้ในการทดสอบ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยใส่ดิน, ความสูงของถ้วยใส่ดิน, ขนาดมุมหัวกรวยตก, น้ำหนักของหัวกรวยตก, ความขรุขระของผิวหัวกรวยตก และ ชนิดวัสดุของหัวกรวยตกที่ใช้ในการทดสอบ ว่ามีผลมากน้อยอย่างไร และทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้คลาดเคลื่อนมากน้อยอย่างไร รวมทั้งเพิ่มอุปกรณ์เสริมเพื่อวัดค่าระยะการตกของ

กรวยให้ได้ค่าที่ระเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ด้วยการเพิ่มเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งแบบตกอิสระ (LVDT, Linear Vertical Displacement Transformer type Free Fall) ซึ่งมีความละเอียดในการวัดสูงและสามารถเก็บข้อมูลได้ในทุกๆ 1 วินาทีตั้งแต่เริ่มทำการปล่อยหัวกรวย และประยุกต์ใช้หัวกรวยแบบเบาพิเศษ เพื่อให้สามารถวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่มีค่าน้อยมากๆได้

3.3.2 ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธี การทดสอบแรงเฉือนด้วยใบพัดในห้องทดสอบ (Laboratory Vane Shear Test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนที่จากการทดสอบแบบกรวยตก เพื่อเปรียบเทียบกันว่ามีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้ว่ามีความถูกต้องมาก-น้อยเพียงใด และนำค่ากำลังรับแรงที่ได้จากการทดสอบแบบกรวยตกมาหาค่า K มาตรฐานสำหรับดินแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งทดสอบผลกระทบเนื่องจากค่า Salt Content เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมาก-น้อยเพียงใด

3.3.3 ทดสอบหาค่าความหนืดของดินเหนียว (Viscosity Test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืดของดิน ซึ่งจะมีวิธีการทดสอบ 2 วิธีคือการทดสอบด้วย Marsh Funnel Viscometer กับเครื่องมือ Baroid Rheometer เป็นเครื่องวัดค่าความหนืดของดิน ซึ่งเครื่องมือ Baroid Rheometer สามารถวัดค่าความหนืดสูงได้และสามารถวัดได้ละเอียดมากกว่าเครื่องมือ Marsh Funnel Viscometer แต่เครื่องมือ Marsh Funnel Viscometer จะสะดวกและง่ายต่อการวัดค่ามากกว่าเครื่องมือ Baroid Rheometer ซึ่งการวัดค่าความหนืดจะต้องคำนึงถึงค่าของ อุณหภูมิ และหาค่า Salt Content ของดินด้วยว่ามีผลทำให้ค่าความหนืดของดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

จากการสอบทั้งสามการทดสอบ เราจะใช้ดินในการทดสอบ 3 ชนิดด้วยกันดังที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นทำการทดสอบในแต่ละเครื่อง โดยการเปลี่ยนแปลง ค่าความชื้นของดิน ละเมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกันก้อจะใช้ที่ค่าความชื้นเดียวกันเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบ เช่น ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากเครื่องมือกรวยตก

เปรียบเทียบกับ ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากเครื่องมือ Laboratory Vane Shear ก็จะเปรียบเทียบกันที่ค่าปริมาณความชื้นเดียวกัน เป็นต้น

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมการทดสอบ

การทดสอบ	ตัวอย่างที่ใช้	พารามิเตอร์ที่ได้
1.Fall Cone Test	NGH Clay NT Clay Kao Clay	1. K, c_u, LL, PL, PI, α 2. Compare type of Fall Cone
2.Laboratory Vane Shear Test	NGH Clay NT Clay Kao Clay	1. K, c_u 2. Compare with Fall Cone Test
3.Viscosity Test	NGH Clay NT Clay Kao Clay	1. η , Yield Point 2. Compare with Fall Cone Test

1. NGH Clay = ดินเหนียวหนองงูเห่า
2. NT Clay = ดินเหนียวนนทบุรี
3. Kao Clay = ดินเหนียว Kaoline

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การหากำลังรับแรงเฉือนด้วยเครื่องมือกรวยตก (Fall Cone Test)

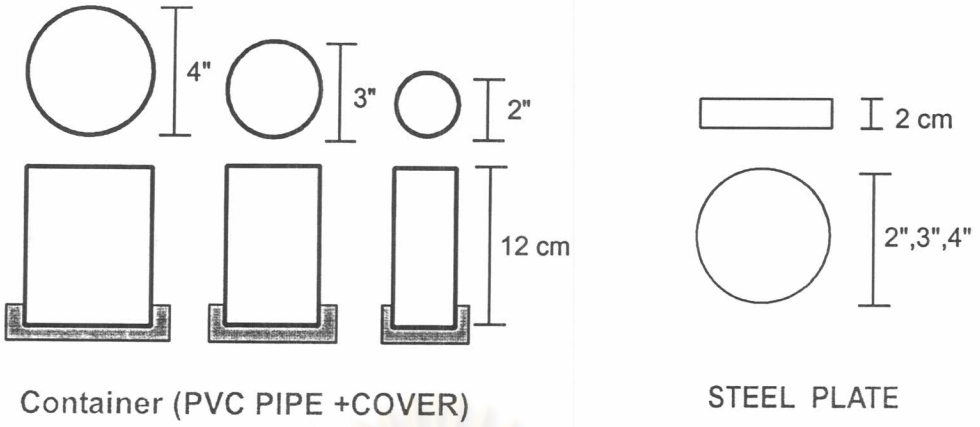
3.4.1 เครื่องมือทดสอบ

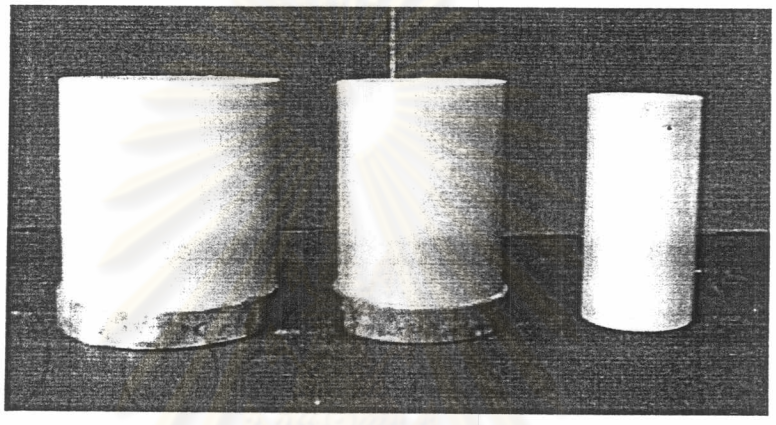
3.4.1.1 ถ้วยใส่ดิน (Container)

ได้ทำการปรับปรุงถ้วยใส่ดินให้สามารถเปลี่ยนแปลงให้ได้หลากหลายขนาดโดยเพิ่มขนาดจากถ้วยใส่ดินมาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 5.5 เซนติเมตรและสูงเพียง 4 เซนติเมตร โดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 4 นิ้ว (10.16 เซนติเมตร), 3 นิ้ว (7.62 เซนติเมตร) วัสดุที่ใช้เป็นท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนด ความสูงของท่อ PVC คือ 12 เซนติเมตรมีแผ่นเหล็กปิดในส่วนท้ายของท่อ PVC จากนั้นจึงตัดแผ่นเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดของท่อ PVC และมีความสูงเท่ากับ 2 เซนติเมตร เพื่อเป็นตัวปรับความสูงของถ้วยใส่ดินโดย เมื่อต้องการทำการทดสอบก็ใส่ตัวอย่างดินลงในท่อ PVC จากนั้นจึงกดท่อ PVC ผ่านแผ่นเหล็กให้ตัวอย่างดินทะลุขึ้นมาแล้วจึงปาดดินออกก็จะสามารถปรับขนาดความสูงของถ้วยใส่ดินได้ตามรูปที่ 3.1 ซึ่งความสูงที่เราต้องการคือ 10 เซนติเมตร, 8 เซนติเมตร, 6 เซนติเมตร, 4 เซนติเมตร จากนั้นนำท่อ PVC ขนาด 6 นิ้วมาตัดเพื่อทำเป็นตัวภาชนะครอบสำหรับดูดอากาศ (Vacuum) แล้วเจาะรูสำหรับต่อท่อสายยางด้านบน ตามรูปที่ 3.2และ รูปที่ 3.3 การดูดอากาศก็เพื่อควบคุมให้ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีคุณภาพเหมือนกันในทุกๆตัวอย่าง

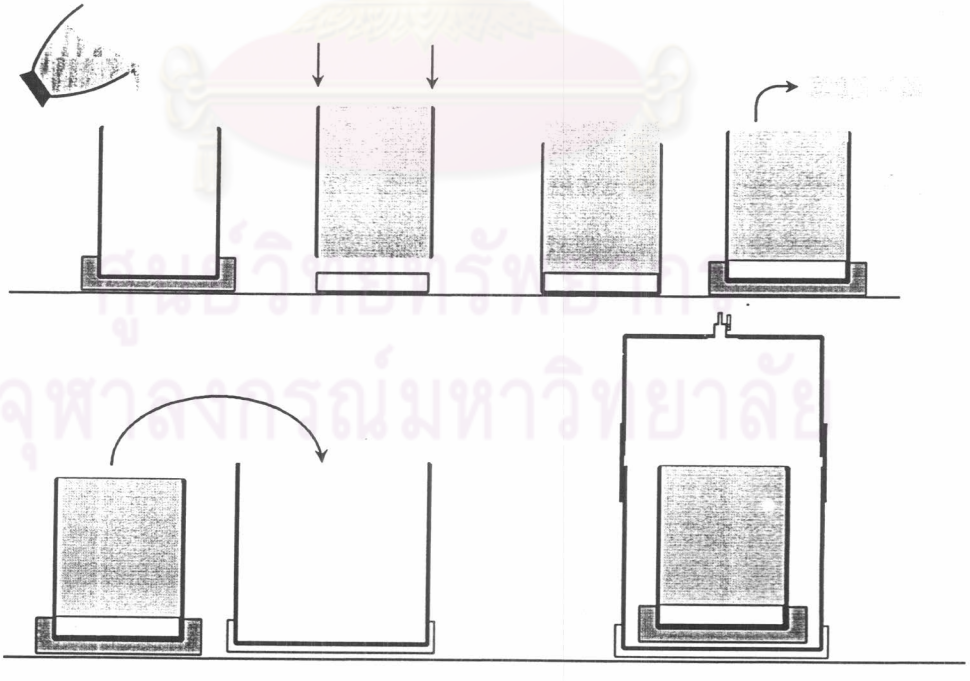
3.4.1.2 เครื่องมือทดสอบกรวยตก (Fall Cone Apparatus)

เป็นเครื่องมือทดสอบที่ปรับปรุงเพิ่มเติมจากเครื่องมือทดสอบตามมาตรฐาน BS1377 ดังรูปที่ 3.4 โดยการดัดแปลงวิธีการวัดระยะการตกของหัวกรวย (Displacement) แบบปกติที่เป็นการวัดด้วย Dial Gage ที่สามารถวัดระยะการตกของหัวกรวยได้เมื่อสิ้นสุดการตกไปแล้วเท่านั้น แต่ในเครื่องมือทดสอบกรวยตกแบบปรับปรุงใหม่จะเพิ่มเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งแบบตกอิสระ (LVDT, Linear Vertical Displacement Transformer type Free Fall) ซึ่งมีขนาดเล็กอยู่ในตำแหน่งด้านบนกรวยตก ในตำแหน่งที่ (1) จากนั้นเชื่อมต่อกับ Data Logger และ Computer เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลการวัดค่าระยะจม (Displacements) ของหัวกรวยตกในทุก 1 วินาทีซึ่งเราจะสามารถบันทึกข้อมูลได้ในช่วงระหว่างการตกเริ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการตกของหัวกรวย และในตำแหน่งที่ใช้ในการจับก้านตกของหัวกรวยจะเป็นระบบจับแล้วปล่อยอิสระเพื่อให้การตกของหัวเกิดขึ้นโดยไม่เกิดผลกระเนื่องจากแรงเสียดทานของก้านจับหัวกรวย ดังแสดงในตำแหน่งที่ (2)



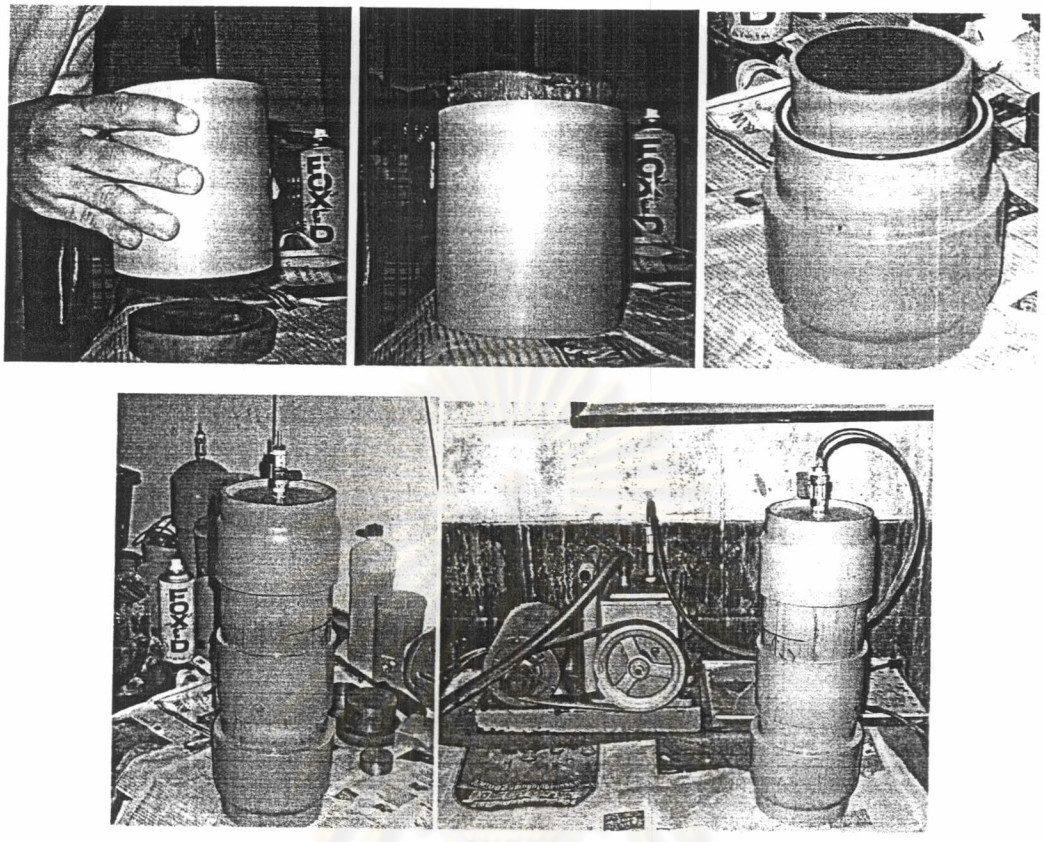


รูปที่ 3.2 ถ้วยใส่ดิน (Container)+ฝาปิด ที่ทำมาจาก PVC

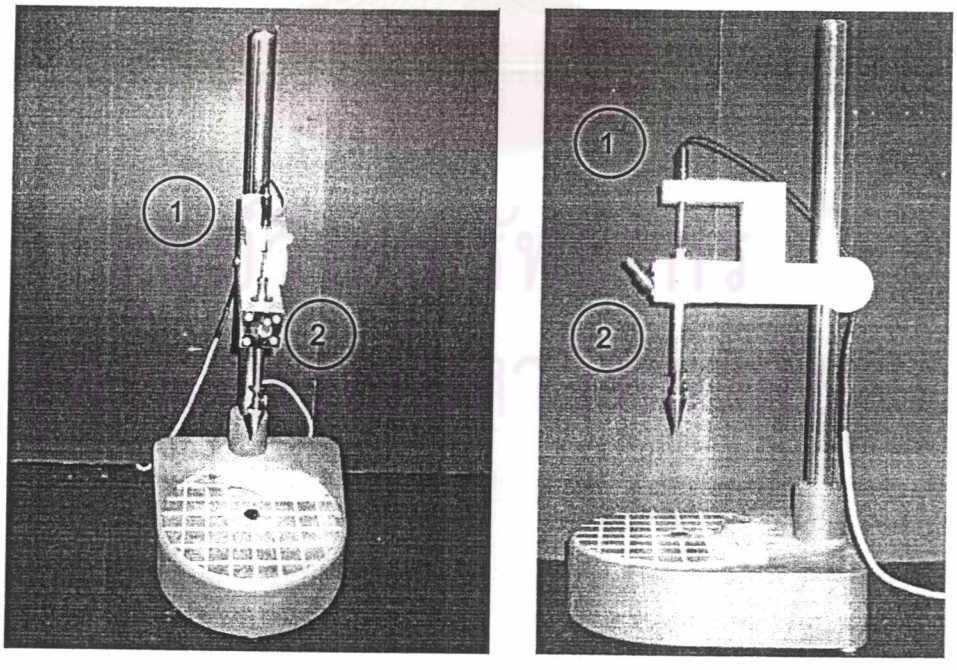


รูปที่ 3.2 ถ้วยใส่ดิน (Container)+ฝาปิด ที่ทำมาจาก PVC (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



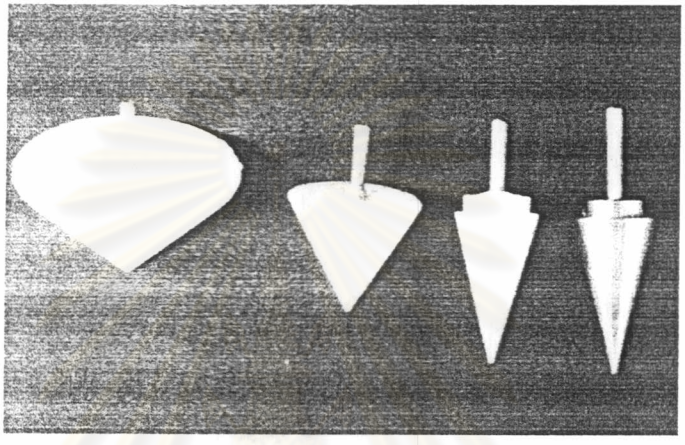
รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างดิน และการดูดอากาศเพื่อควบคุมคุณภาพของตัวอย่าง



รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบแบบกรวยตก ปรับปรุงใหม่(Fall Cone Apparatus)

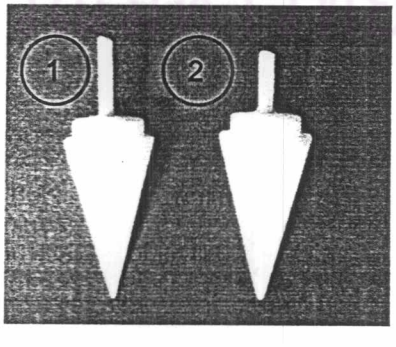
3.4.1.3 หัวกรวยตก (Cone Head)

เนื่องจากต้องการศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบกรวยตก จึงได้ออกแบบกรวยให้มีหลายขนาดคือ ขนาด 30°, 60°, 90° ดังในรูปที่ 3.5 และใช้วัสดุที่ทำเป็นหัวกรวยหลายชนิดด้วยกันคือ Stainless, Aluminum, Plastic ดังรูปที่ 3.6เพื่อลดน้ำหนักของหัวกรวยให้ได้เบาที่สุด และวัสดุที่ใช้จะทำการเคลือบสารหล่อลื่น กับไม่เคลือบสารหล่อลื่นดังรูปที่ 3.7 เพื่อเปรียบเทียบกันว่ามีผลกระทบของพื้นผิวหัวกรวยที่แตกต่างกันอย่างไร



รูปที่ 3.5 หัวกรวยมุม 90°, 60°, 30° ตามลำดับด้วยวัสดุ Plastic และอันสุดท้ายคือ หัวกรวยแบบมาตรฐานขนาด 30° ด้วยวัสดุ Stainless

รูปที่ 3.6 หัวกรวย 30° ที่ทำจากวัสดุ Stainless, Aluminum, Plastic ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 หัวกรวย Plastic 30° (1) ไม่ได้เคลือบสารหล่อลื่น (2) เคลือบสารหล่อลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบที่สำคัญแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ การทดสอบด้วยเครื่องมือกรวยตก, การทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยใบพัดในห้องทดสอบ, การทดสอบด้วยเครื่องมือวัดความหนืด Marsh Funnel Viscometer ,Baroid Rheometer

3.4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องมือกรวยตก (Fall Cone Test)

ก. การเตรียมตัวอย่าง

- นำดินตัวอย่างประมาณ 1-2 Kg มาผสมน้ำโดยใส่ปริมาณน้ำตามที่ต้องการ จากนั้นนำตัวอย่างไปผสมโดยเครื่อง Mixer แบบใบพัดประมาณ 15 นาทีเพื่อให้น้ำผสมกับดินให้เข้ากันให้ทั่ว แล้วนำดินที่ได้เก็บไว้ในพาชนะที่ปิดมิดชิดทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturate)
- นำตัวอย่างดินที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วมาผสมด้วยเครื่อง Mixer อีกครั้งประมาณ 5 นาที แล้วนำไปใส่ในถ้วยใส่ดิน(Container) ตามขนาดที่ต้องการ โดยก่อนใส่ตัวอย่างดินเราจะต้องใส่แผ่นพลาสติกรองพื้นที่บริเวณฝาปิดก่อน จากนั้นจึงใส่ตัวอย่างดินลงไปโดยใส่ลงไปเพียง1 ใน 3 ของถ้วยใส่ดิน แล้วจึงนำแท่งเหล็กมาบดอัดให้ดินมีความแน่นเท่ากันให้ทั่ว แล้วใส่ตัวอย่างดินต่ออีกให้ได้ 2 ใน 3 จากนั้นจึงทำการบดอัดอีกครั้ง และครั้งสุดท้ายนำตัวอย่างดินใส่จนล้นถ้วยใส่ดินซักเล็กน้อย จากนั้นจึงทำการบดอัดให้แน่นซึ่งจะเหลือดินเล็กน้อยที่ล้นออกมา จากนั้นจึงใช้เหล็กปาด ปาดผิวดินให้เรียบ
- นำตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนักเพื่อจดบันทึกค่าเริ่มต้น แล้วจึงนำตัวอย่างดินไปทำการดูดอากาศออก (Vacuum) ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที จากนั้นจึงทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินอีกครั้ง (หลังจากการทำการดูดอากาศออกจะพบว่าผิวหน้าของดินในถ้วยใส่ดิน (Container) จะไม่เรียบ) จากนั้นนำแผ่นเหล็กหนา 2 เซนติเมตรที่เตรียมไว้ สอดเข้าไปด้านล่างของถ้วยใส่ดินเพื่อปรับความสูงของขนาดถ้วยใส่ดินให้ได้ตามที่เราต้องการ จากนั้นจึงปาดดินออก ตามรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3
- นำตัวอย่างดินที่เสร็จสมบูรณ์แล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เมื่อต้องการเตรียมตัวอย่างดินครั้งใหม่ให้ทำตามขั้นตอนเดิมอีกครั้ง แล้วทำการเปรียบเทียบด้วยน้ำหนักที่ได้จะต้องใกล้เคียงกันโดยต่างกันไม่เกิน 1-2% สำหรับดินชนิดเดียวกันและที่ปริมาณ Water Content เดียวกัน เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ มีปริมาณดินที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ ตัวอย่าง

ข. วิธีการทดสอบ

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากเวลา (Time)

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยขนาด 4 นิ้วลึก 10 เซนติเมตร ผ่านวิธีการเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยมาตรฐานขนาด 30° หนัก 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมของกรวยโดยให้บันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที บันทึกผลการทดสอบ เวลากับระยะที่จม โดยบันทึกเวลาที่จมทั้งหมดสูงสุดที่ 600 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลิเมตร จึงใช้ได้ เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วเก็บตัวอย่างดินเหนียวเพื่อหาปริมาณ Water Content จากนั้นลองเปลี่ยนปริมาณ Water Content โดยทดสอบที่ Water Content ต่างๆกันซัก 4-5 ตัวอย่าง

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากขนาด (Size) ถ้วยใส่ดิน (Container)

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยดินเปรียบเทียบกัน 3 ขนาดคือ 4 นิ้ว, 3 นิ้ว, 2นิ้ว ลึกเท่ากันคือ 10 เซนติเมตร ผ่านวิธีการเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยมาตรฐานขนาด 30° หนัก 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมที่เวลา 5 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลิเมตร จึงใช้ได้ เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วเก็บตัวอย่างดินเหนียวเพื่อหาปริมาณ Water Content จากนั้นลองเปลี่ยนปริมาณ Water Content โดยทดสอบที่ Water Content ต่างๆกันซัก 6-7 ตัวอย่าง บันทึกค่า ระยะจม(Displacement)กับปริมาณความชื้น(Water Content)

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากความลึก (Depth) ของถ้วยใส่ดิน (Container)

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยดินเปรียบเทียบกัน 4 ความลึกคือ 10 เซนติเมตร, 8 เซนติเมตร, 6 เซนติเมตร, 4 เซนติเมตร ใช้ถ้วยใส่ดินขนาด 4 นิ้ว ผ่านวิธีการเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยมาตรฐานขนาด 30° หนัก 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมที่เวลา 5 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลิเมตร จึงใช้ได้ เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วเก็บตัวอย่างดินเหนียวเพื่อหาปริมาณ Water Content จากนั้นลองเปลี่ยนปริมาณ Water Content โดย

ทดสอบที่ Water Content ต่างๆกันซัก 6-7 ตัวอย่าง บันทึกค่า ระยะจม(Displacement) กับปริมาณความชื้น(Water Content)

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุม(angle) ของหัวกรวย

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยดินขนาด 4 นิ้วลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยขนาดมุมต่างกัน 3 ขนาดคือ 30° , 60°, 90° ปรับน้ำหนักของหัวกรวย(ใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนัก)ขนาดต่างๆให้เท่ากันที่ 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมของกรวยโดยให้บันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที บันทึกผลการทดสอบ เวลากับระยะที่จม โดยบันทึกเวลาที่จมทั้งหมดสูงสุดที่ 600 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลิเมตร จึงใช้ได้

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุม(angle) ของหัวกรวย

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยดินขนาด 4 นิ้วลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยขนาดมุมต่างกัน 3 ขนาดคือ 30° , 60°, 90° ปรับน้ำหนักของหัวกรวย(ใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนัก)ขนาดต่างๆให้เท่ากันที่ 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมของกรวยโดยให้บันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที บันทึกผลการทดสอบ เวลากับระยะที่จม โดยบันทึกเวลาที่จมทั้งหมดสูงสุดที่ 600 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลิเมตร จึงใช้ได้

ทดสอบผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความขรุขระของผิวของหัวกรวย

- นำตัวอย่างดินใส่ถ้วยดินขนาด 4 นิ้วลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องมือกรวยตก(Fall Cone) ใช้หัวกรวยขนาดมุม ขนาดคือ 30° โดย 1 อันไม่เคลือบสารหล่อลื่น อีก 1 อันเคลือบสารหล่อลื่นปรับน้ำหนักของหัวกรวย(ใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนัก)ขนาดต่างๆให้เท่ากันที่ 80 กรัม วางตัวอย่างดินบนแท่นวางตัวอย่าง ปรับระดับหัวกรวยมาตรงบริเวนกึ่งกลางของถ้วยใส่ดินและพยายามให้อยู่บนผิวดินพอดี ปล่อยให้หัวกรวยตกจมลงจากผิวดินโดยอิสระ ตั้งค่าวัดระยะจมของกรวยโดยให้บันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที บันทึกผลการทดสอบ เวลากับระยะที่จม โดยบันทึกเวลาที่จมทั้งหมดสูงสุดที่ 600 วินาที แล้วทำการทดสอบซ้ำค่าระยะที่จมจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จึงใช้ได้

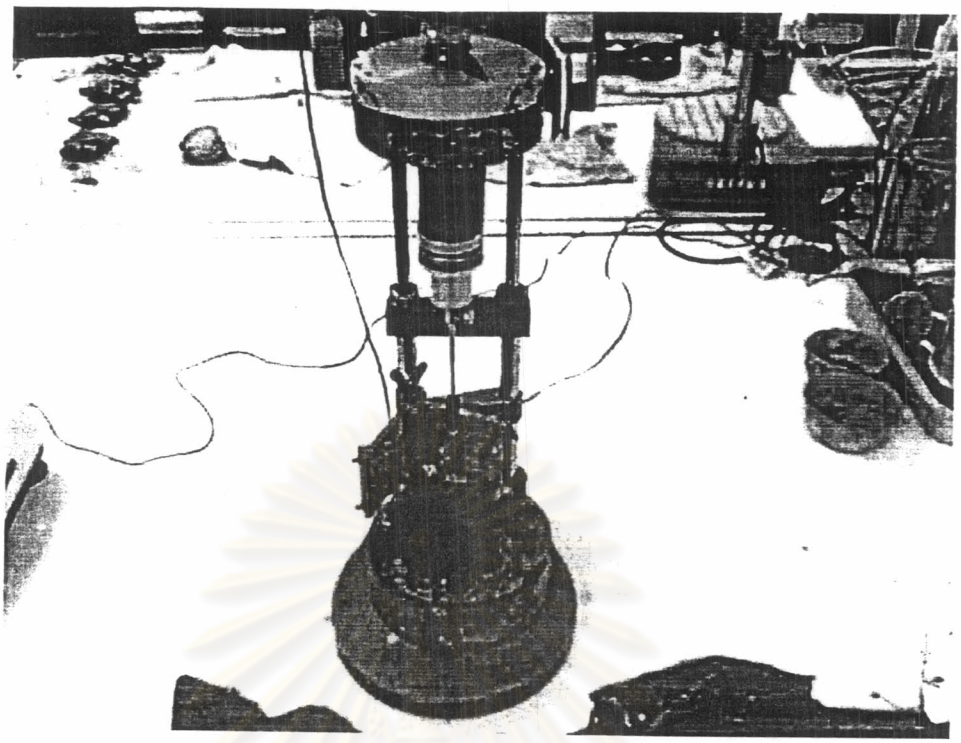
3.4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยใบพัดในห้องทดสอบ (Laboratory Vane Shear Test)

ก. การเตรียมตัวอย่าง

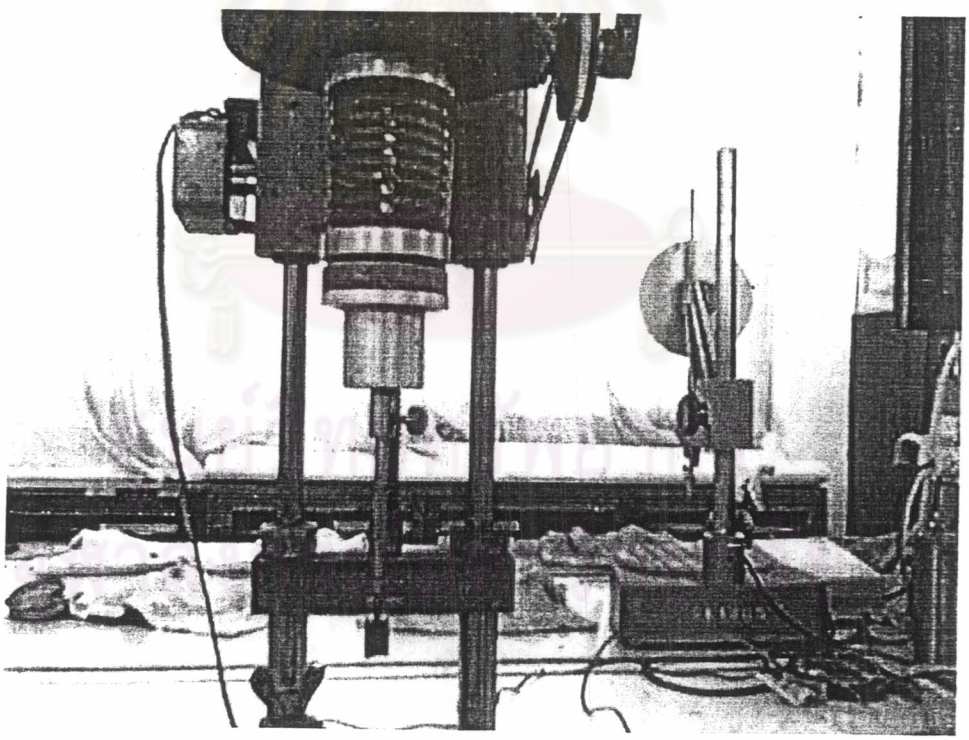
- นำดินตัวอย่างประมาณ 1-2 Kg มาผสมน้ำโดยใส่ปริมาณน้ำตามที่ต้องการ จากนั้นนำตัวอย่างไปผสมโดยเครื่อง Mixer แบบใบพัดประมาณ 15 นาทีเพื่อให้น้ำผสมกับดินให้เข้ากันให้ทั่ว แล้วนำดินที่ได้เก็บไว้ในพาชนะที่ปิดมิดชิดทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturate)
- นำตัวอย่างดินที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วมาผสมด้วยเครื่อง Mixer อีกครั้งประมาณ 5 นาที แล้วนำไปใส่ในถ้วยใส่ดิน(Container) ขนาด 4 นิ้วลึก 10 เซนติเมตร

ข. วิธีการทดสอบ

- นำตัวอย่างดินเหนียวใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง
- ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4648-94 ติดตั้งใบพัด (Miniature Vane Blade)ขนาด 1.25x1.25 เซนติเมตร (อัตราส่วน 1:1) พร้อมสปริงเบอร์ 4 เข้ากับเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยใบพัดในห้องทดสอบ ตามรูปที่ 3.8 และผลการ Calibration Spring อยู่ที่ตารางที่ 3.2
- เลื่อนกดใบมีดจนจมมิดใบมีด (ประมาณ 2 เซนติเมตร) อ่านค่าที่ตำแหน่งนี้เป็น 0° จากนั้นหมุนใบพัดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วประมาณ 60°/ นาที อ่านค่าการเคลื่อนตัวของสปริง(Spring Deflection) เมื่อใบพัดเคลื่อนตัวไป 0.5°, 1°, 1.5°, 2°, 3°, 4°, 5°,6°,8°,10°, 12°, 14°,16°,... โดยอ่านไปค่าไปเรื่อยจนกว่าจะได้ค่าการเคลื่อนตัวของสปริงจะคงที่
- ทำการทดสอบซ้ำ โดยทำการทดสอบตามเดิมเพื่อเปรียบเทียบผล โดยค่าการเคลื่อนตัวของสปริงเมื่อคงที่จะต้องมีค่าเท่ากัน หรือต่างกันไม่เกิน 1 Div. จึงจะใช้ได้ถ้าไม่ได้ตามที่กำหนดจะต้องทำการทดสอบใหม่ตั้งแต่ต้น
- ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่า Water Content ไปเรื่อยๆโดยการเติมน้ำครั้งละ 50 มิลลิลิตร(ml) และเปลี่ยนเปลี่ยนชนิดของดินที่ใช้ทดสอบ และเปลี่ยนแปลงค่า salt Content ของดินที่ใช้ทดสอบโดยเปลี่ยนเป็น 10 g/L, 20 g/L และ 40 g/L เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบกรวยตก(Fall Cone Test) และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าความหนืด(Viscosity)ได้ด้วย



เครื่องมือ Laboratory Vane Shear Test



การติดตั้งใบพัดและสปริงที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.8 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบใบพัดในห้องทดสอบ (Laboratory Vane Shear Test)

ตารางที่ 3.2 การสอบเทียบค่าสปริงที่ใช้ทดสอบ

Torque Kg-cm	Apparatus Reading; Degree			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
0.25	26	14	10	5
0.50	52	28	20	10
0.75	78	42	29	15
1.00	104	56	38	20
1.25	130	70	47	26
1.50	156	84	56	32
1.75	182	99	65	38
2.00	-	114	74	43
2.25	-	128	83	48
2.50	-	142	92	53
2.75	-	156	101	58
3.00	-	170	110	63
3.25	-	184	119	68
3.50	-	-	128	73
3.75	-	-	137	78
4.00	-	-	146	83
4.25	-	-	155	88
4.50	-	-	164	94
4.75	-	-	173	100
5.00	-	-	182	106
5.25	-	-	-	111
5.50	-	-	-	116
5.75	-	-	-	121
6.00	-	-	-	126
6.25	-	-	-	131
6.50	-	-	-	136
6.75	-	-	-	141
7.00	-	-	-	146
7.25	-	-	-	152
7.50	-	-	-	158
7.75	-	-	-	164
8.00	-	-	-	169
8.25	-	-	-	174
8.50	-	-	-	180
Torque Scale Kg-cm/ degree	0.00961	0.0176	0.0276	0.0471

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2.3 **ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความหนืด**
(Viscosity Test)

ก. การเตรียมตัวอย่าง

- นำดินตัวอย่างประมาณ 1-2 Kg มาผสมน้ำ(เริ่มแรกเติมน้ำที่Water Content มากกว่า 150%) โดยใส่ปริมาณน้ำตามที่ต้องการ จากนั้นนำตัวอย่างไปผสมโดยเครื่อง Mixer แบบใบพัดประมาณ 15 นาทีเพื่อให้น้ำผสมกับดินให้เข้ากันให้ทั่ว แล้วนำดินที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturate)
- นำตัวอย่างดินที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วมาผสมด้วยเครื่อง Mixer อีกครั้งประมาณ 5 นาที

ข. วิธีการทดสอบ

การทดสอบด้วยวิธี Marsh Funnel Viscometer

- ทำการทดสอบหาค่าความหนืดด้วยวิธี Marsh Funnel Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B Section 2 โดยการนำตัวอย่างดินเหนียวที่เตรียมไว้ตามวิธีการเตรียมตัวอย่างนำใส่ลงในกรวยตามรูปที่ 3.9 จนถึงขีดที่กำหนดไว้ซึ่งมีขนาด 980 มิลลิลิตร (ml) อุดรูด้านล่างไม่ให้ไหลด้วยนิ้ว
- ยกกรวยที่ใช้ทดสอบอยู่เหนือถ้วยตวง ปล่อยนิ้วที่อุดรูออกเพื่อให้ดินเหนียวเหลวไหลออกมาโดยอิสระ ทำการจับเวลาระหว่างปล่อยดินเหนียวที่มาตกลงมาจนกระทั่งถึงขีดล่างที่กำหนดไว้ บันทึกเวลาที่ได้ให้เป็นค่าความหนืดในหน่วย วินาที(Second) ตรวจสอบอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการทดสอบค่าความหนืดให้มีค่าแตกต่างกันในช่วงระหว่าง $\pm 1^{\circ}$
- ทำการทดสอบซ้ำโดยการเปรียบเทียบค่าเวลาที่ได้ ซึ่งจะต้องแตกต่างกันไม่เกิน 1 วินาที (sec.) ถ้าแตกต่างกันมาจะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด
- ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่า Water Content ไปเรื่อยๆโดยการเติมน้ำครั้งละ 50 มิลลิลิตร(ml) และเปลี่ยนเปลี่ยนชนิดของดินที่ใช้ทดสอบ และเปลี่ยนแปลงค่า salt Content ของดินที่ใช้ทดสอบโดยเปลี่ยนเป็น 10 g/L, 20 g/L และ 40 g/L เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบกรวยตก (Fall Cone Test)

การทดสอบด้วยวิธี Baroid Rheometer หรือ Hand-Crank Viscometer

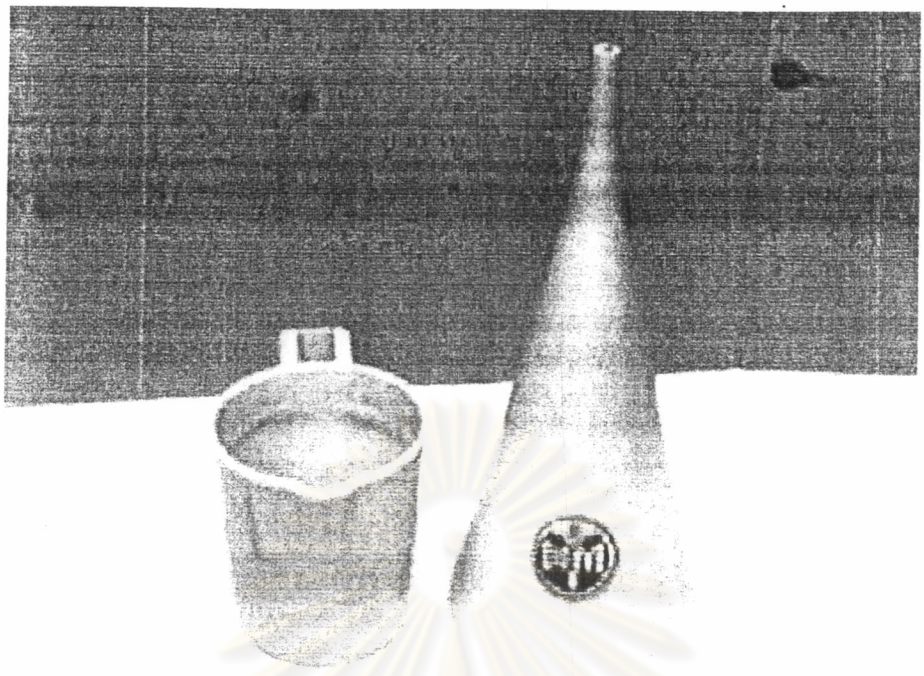
- ทำการทดสอบหาค่าความหนืดด้วยวิธี Baroid Rheometer หรือ Hand-Crank Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B , I , Section 2 เครื่องมือดังแสดงในรูป 3.10ทำการทดสอบโดยการนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ถ้วยเตรียมตัวอย่าง แล้วนำมาประกอบกับเครื่องมือ Baroid Rheometer
- ทำการหมุนแกนของเครื่องมือด้วยอัตราเร็ว 600 และ 300 รอบ/วินาที ที่อุณหภูมิ 24 ± 3 $^{\circ}C$ อ่านค่าความหนืดที่ 600 และ 300 รอบ/วินาที จากนั้นคำนวณหาค่าความหนืดตามสมการ

$$\text{ความหนืดพลาสติก (เซนติพอยส์)} = \left(\begin{array}{c}\text{ค่าที่อ่านที่อัตราเร็ว} \\ \text{600 รอบ/นาที}\end{array}\right) - \left(\begin{array}{c}\text{ค่าที่อ่านที่อัตราเร็ว} \\ \text{300 รอบ/นาที}\end{array}\right) \quad (3.1)$$

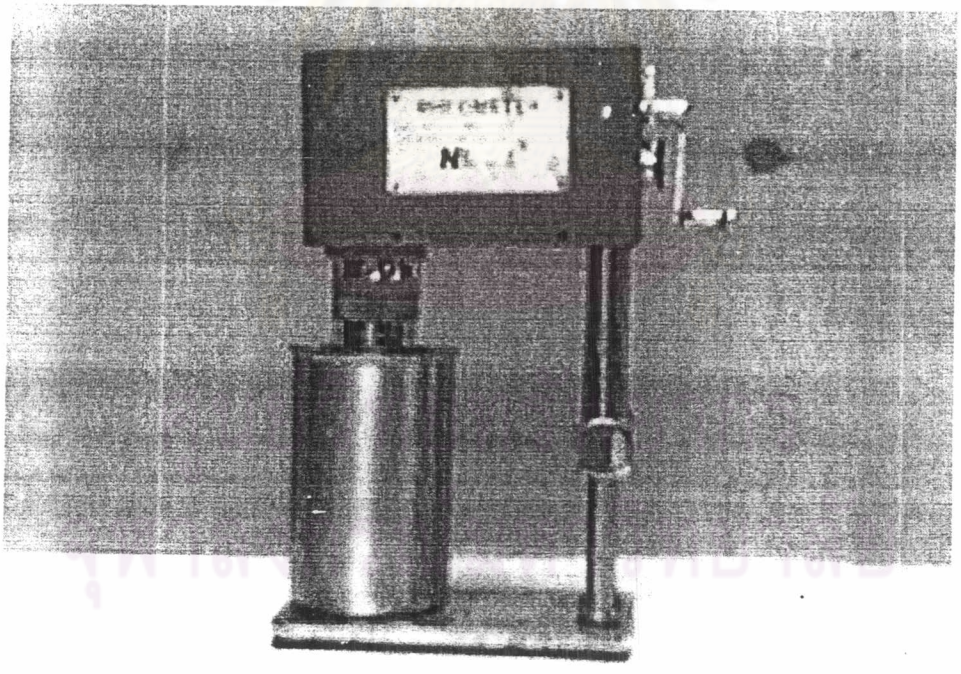
$$\text{Yield Point (Pa)} = 1.44 \times \left(\left(\begin{array}{c}\text{ค่าที่อ่านที่อัตราเร็ว} \\ \text{300 รอบ/นาที}\end{array}\right) - \text{ความหนืดพลาสติก}\right) \quad (3.2)$$

- ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่า Water Content ไปเรื่อยๆโดยการเติมน้ำครั้งละ 50 มิลลิลิตร(ml) และเปลี่ยนเปลี่ยนชนิดของดินที่ใช้ทดสอบ และเปลี่ยนแปลงค่า salt Content ของดินที่ใช้ทดสอบโดยเปลี่ยนเป็น 10 g/L, 20 g/L และ 40 g/L เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบกรวยตก (Fall Cone Test)

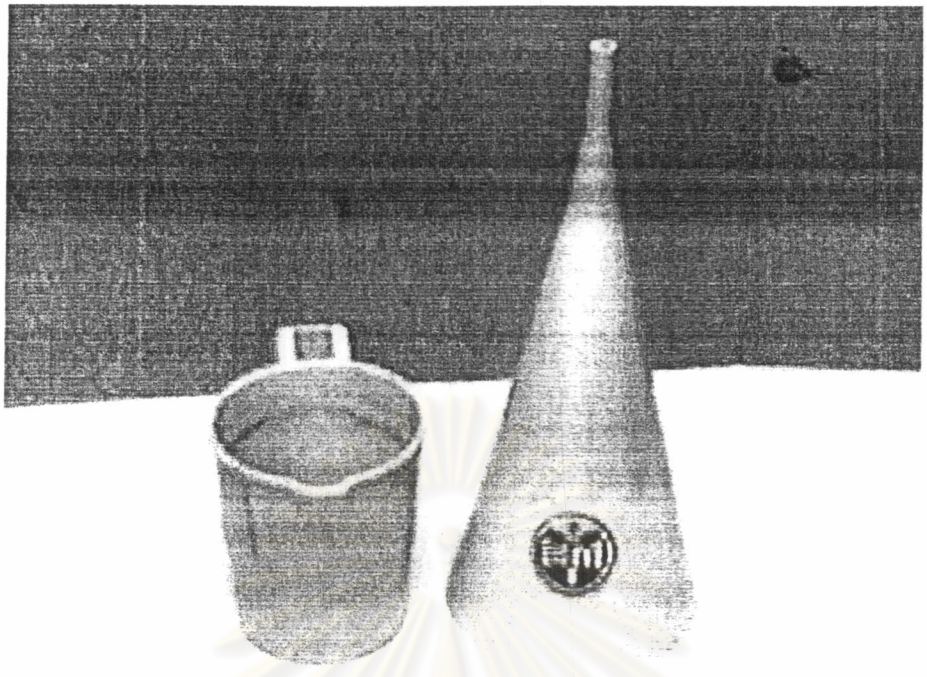
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



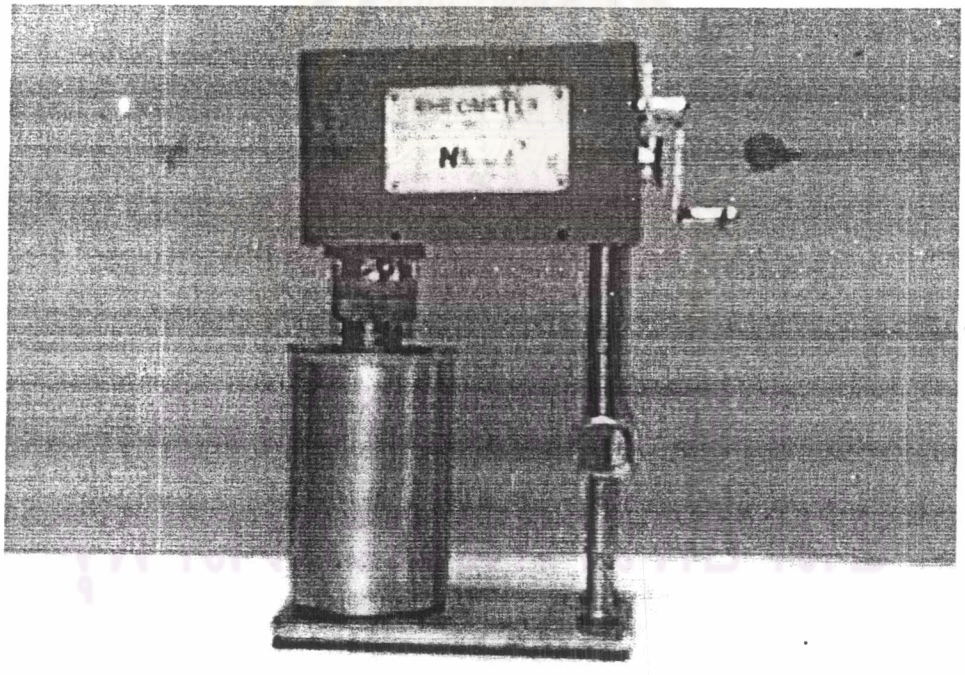
รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบ Marsh Funnel Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B Section 2



รูปที่ 3.10 เครื่องมือ Baroid Rheometer หรือ Hand-Crank Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B ,I Section 2



รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบ Marsh Funnel Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B Section 2



รูปที่ 3.10 เครื่องมือ Baroid Rheometer หรือ Hand-Crank Viscometer ตามมาตรฐาน API RP 13 B ,I Section 2