

บทที่ 2

คุณสมบัติเบื้องต้นของดินทรายปนทรายแป้ง

การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินลมหอบ (Loess Soil) กรรมวิธีในการเตรียมวัสดุ การคิดส่วนผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน อธิบายการทดสอบหาค่าความแข็งแรงในการรับกำลังของ ดินลมหอบ และดินที่ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำอย่างพาราสด ตลอดจนทำการ ทดสอบเพื่อหาค่าการรับกำลังของดินตามมาตรฐาน ASTM

ขั้นตอนการเตรียมงานนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาทำการทดสอบเป็นดินที่มี ลักษณะแบบทรายปนทรายแป้ง (Silty Sand) ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาทำการทดสอบนั้นได้นำมาจาก จังหวัดขอนแก่น

จากนั้นนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพตามอัตราส่วนน้ำอย่างพาราสดต่อน้ำหนักน้ำที่แตกต่าง กัน ตลอดจนทำการทดสอบการรับกำลังของดินโดยวิธี การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- 2.1.1 ดินทรายปนทรายแป้ง จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- 2.1.2 น้ำอย่างพาราสดรักษาสภาพแบบแอมโมเนีย 10% ต่อน้ำหนักน้ำอย่างพาราสด
- 2.1.3 น้ำสะอาด

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 2.2.1 อุปกรณ์ทดสอบหาค่า Atterberg Limit และ Water Content
- 2.2.2 เครื่องมือทดสอบค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis) และ Hydrometer
- 2.2.3 เครื่องมือการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Machine)
- 2.2.4 เครื่องมือการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด(Unconfined Compression Machine)
- 2.2.5 เครื่องมือการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Machine)

2.3 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

งานวิจัยคุณสมบัติของดินโดยการผสมน้ำอย่างพาราสดรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูง สำหรับดินทรายปนทรายแป้ง โดยขั้นตอนเริ่มต้นทำการหาคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของ ดินทรายปนทรายแป้ง และการทดสอบการรับกำลังของดิน โดยวิธีที่ใช้ในการทดสอบ คือ

- 1) การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis And Hydrometer Analysis Test)
- 3) การทดสอบหาค่าพลาสติกของดิน และ ความชันเหลวของดิน (Atterberg Limit Test)

- 4) การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test)
- 5) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)
- 6) การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

ซึ่งการทดสอบการรับกำลังของดินนี้จะทำการทดสอบทั้งตัวอย่างดินธรรมชาติ โดยการค่าที่นำมาทำการปรับปรุงคุณภาพของดินนั้นได้มาจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test) จากนั้นนำค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) และ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) นำมาค่ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ตัวอย่างดินที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราสดตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราค่อน้ำหนักน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราสดค่อน้ำหนักน้ำ

ร้อยละ	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางพาราสด (กรัม)	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อตารางเมตร)
0	480	0	1.320
10	480	48	1.320
15	480	72	1.320
20	480	96	1.320
25	480	120	1.320
30	480	144	1.320
35	480	168	1.320
40	480	192	1.320

2.4 รายการออกแบบอัตราส่วนผสม

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบอัตราส่วนได้จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยค่าความชื้นที่เหมาะสมร้อยละเท่ากับ 9.767 ให้ค่าน้ำหนักน้ำเท่ากับ 480 กรัม ค่าการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานที่ ภาคผนวก ก.

2.4.1 อัตราส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมในดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยปริมาณน้ำที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้นในดินธรรมชาติ (Water Content) ร้อยละ เท่ากับ 0.86

ความชื้นของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินร้อยละ เท่ากับ 9.767

เพราะฉะนั้นความชื้นที่ต้องการร้อยละ เท่ากับ 9.767-0.86 เท่ากับ 8.91

- 2) ปริมาณน้ำที่ต้องการ เท่ากับ ความชื้นที่ต้องการ x ปริมาตรของดินที่มีความหนาแน่น

แห้งสูงสุด เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่ใช้การผสมในการปรับปรุงคุณภาพ เท่ากับ 402.30 กรัม

2.4.2 การคำนวณหาปริมาณเนื้อยางพาราธรรมชาติ โดยน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 100 จะมีเนื้อยาง เท่ากับ ร้อยละ 33 เพราะฉะนั้นปริมาณเนื้อยางพาราสามารถคำนวณได้ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 0 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0 = 0$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(33 \times 0)/100$ เท่ากับ 0 กรัม
- 2) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 10 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.10 = 48$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(48 \times 33)/100$ เท่ากับ 15.84 กรัม
- 3) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 15 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.15 = 72$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(72 \times 33)/100$ เท่ากับ 23.76 กรัม
- 4) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 20 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.20 = 96$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(96 \times 33)/100$ เท่ากับ 31.68 กรัม
- 5) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 25 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.25 = 120$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(120 \times 33)/100$ เท่ากับ 39.60 กรัม
- 6) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 30 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.30 = 144$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(144 \times 33)/100$ เท่ากับ 47.52 กรัม
- 7) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 35 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.35 = 168$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(168 \times 33)/100$ เท่ากับ 55.44 กรัม
- 8) ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 40 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.40 = 192$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(192 \times 33)/100$ เท่ากับ 63.36 กรัม

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณน้ำสะอาดที่ใช้ในการทดสอบ

%น้ำยาง/น้ำหนักน้ำ	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
น้ำหนักน้ำยางพารา (กรัม)	48	72	96	120	144	168	192
น้ำหนักเนื้อยางพารา (กรัม)	15.84	23.76	31.68	39.6	47.52	55.44	63.36
น้ำหนักน้ำในเนื้อยางพารา(กรัม)	32.16	48.24	64.32	80.40	96.48	112.56	128.64
น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515
น้ำหนักน้ำในดิน (กรัม)	404	404	404	404	404	404	404
น้ำหนักน้ำที่ใช้จริง (กรัม)	324	284	243	204	164	123	83

2.5 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน

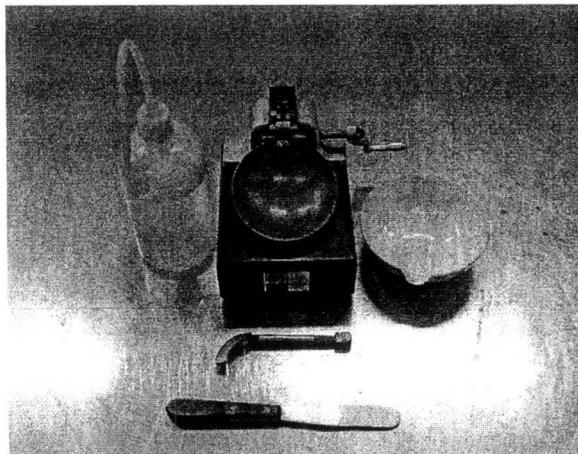
2.5.1 การทดสอบหาค่าพลาสติกของดิน และ ความชื้นเหลวของดิน (Atterberg Limit Test)

2.5.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องเคาะดิน (Liquid Limit Device) ประกอบด้วยกระทะทองเหลือง ฐานยางแบบแข็ง พร้อมด้วยลูกเบียร์และมือหมุนเคาะกระทะ
- 2) มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool) แบบแคสซาแกรนด์ (Casagrande) แบบโค้งมีแท่งวัด (Gauge) ระยะ 10 มิลลิเมตรที่ปลายด้าม
- 3) ถ้วยกระเบื้องเคลือบใช้ผสมดิน
- 4) มีดปาดดิน (Spatula) ขนาด 10 เซนติเมตร
- 5) ขวดบีบน้ำ (Water Bottle) ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 6) น้ำกลั่น

2.5.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

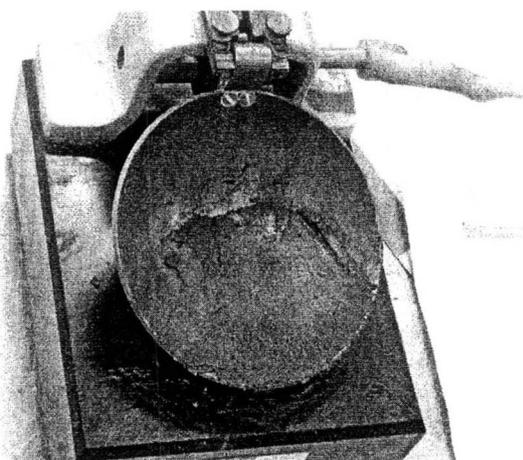
- 1) ผสมน้ำในดินที่เตรียมไว้ในถ้วยกระเบื้องเคลือบคลุกดินให้เข้ากันจนดีด้วยมีดคลุกดิน จากนั้นแยกดินส่วนหนึ่งไว้ทดสอบหาค่าพลาสติก (Plastic Limit) ประมาณ 20 – 30 กรัม
- 2) ใช้มีดคลุกดินปาดดินในกระทะกดอัดด้วยมีดให้ดินติดกันกระทะโดยไม่ให้มีฟองอากาศ จากนั้นใช้มีดปาดดินให้ได้ความลึกประมาณเท่ากับความลึกของบามีดปาดร่องดินประมาณ 10 มิลลิเมตร ปาดดินในกระทะให้เป็นร่องตรงกลางโดยให้มีดอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับผิวกระทะ
- 3) เคาะกระทะด้วยอัตราความเร็ว 120 ครั้ง ต่อนาที จนกระทั่งร่องดินที่ปาดไว้ไหลมาชนกัน โดยมีความยาวประมาณ 13 มิลลิเมตร
- 4) เมื่อได้จำนวนครั้งที่เหมาะสม ใช้มีดคลุกดิน (Spatula) เก็บตัวอย่างดินบริเวณดินที่ไหลมาชนกันประมาณ 15 กรัม เก็บตัวอย่างดินเข้าเตาอบเพื่อหาค่าความชื้นของดิน
- 5) ทำการทดลองเพิ่มอีกครั้งโดยการเพิ่มปริมาณน้ำเล็กน้อยคลุกเคล้าดินให้เข้ากัน จากนั้นทำการทดลองอีกประมาณ 4- 5 ครั้งจึงหยุดทำการทดสอบ



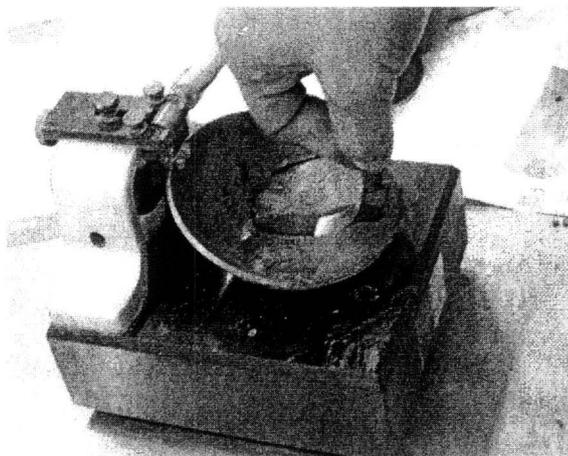
รูปที่ 2.1 เครื่องมือการทดสอบขีดการไหลตัวและการอ่อนตัวของดิน



รูปที่ 2.2 แสดงการผสมดินเพื่อทำการทดสอบ Atterberg Limit



รูปที่ 2.3 แสดงการทดสอบหาค่าขีดการไหลตัวและการอ่อนตัวของดิน



รูปที่ 2.4 แสดงการทดสอบหาค่าขีดการไหลตัวและการอ่อนตัวของดิน

2.5.2 การทดสอบหาค่าพลาสติก (Plastic Limit Test)

2.5.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) แผ่นกระจกขนาด 30 x 30 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร
- 2) ขวดบีบน้ำ (Water Bottle) 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3) กระจกตวงขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 4) น้ำกลั่น

2.5.2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

- 1) นำดินที่คลุกแยกไว้แล้วมาปั้นบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือค่อยๆ ปั้นให้เป็นเส้น และให้มีขนาดเท่ากันตลอดความยาว
- 2) ปั้นดินจนได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.2 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการปั้นดินไม่เกิน 2 นาที ปั้นดินจนกระทั่งดินเริ่มรอยแตก
- 3) เก็บเศษดินที่ปั้นไว้ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างเข้าเตาอบเพื่อหาค่าความชื้น

2.5.3 การทดสอบการกระจายของเม็ดดิน (Grain Size Analysis) ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)

2.5.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เลือกใช้ขนาดตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด เบอร์ 4 , 10 , 20 , 60 , 100 , 140 , 200 , และถัดรับตามลำดับ
- 2) ทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบด้วยแปรงลวดและขนาดละเอียดด้วยแปรงขนอ่อน และนำตะแกรงแต่ละอันชั่งน้ำหนัก
- 3) เตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดสอบ โดยตัวอย่างดินต้องแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบจะไม่เปลี่ยนน้ำหนัก เนื่องจากการระเหยของน้ำและเม็ดดินไม่จับตัวกันแต่ไม่จำเป็นต้องอบแห้ง

- 4) เรียงตะแกรงบนเครื่องเขย่าโดยการวางตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่ด้านบนและถาดรับดินอยู่ด้านล่าง ปิดฝาสั่งตะแกรงประมาณ 5 - 10 นาที หลังจากนั้นนำดินที่ค้างบนตะแกรงซึ่งน้ำหนักพร้อมตะแกรงร้อน
- 5) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์การกระจายตัวของดิน



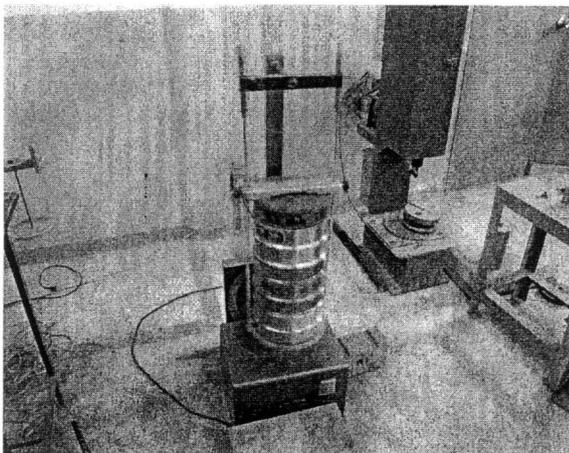
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดิน



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของดินที่นำมาทำการทดสอบ



รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการชั่งตะแกรงร่อน (Sieve)



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการร่อนดินโดยใช้เครื่องเขย่า

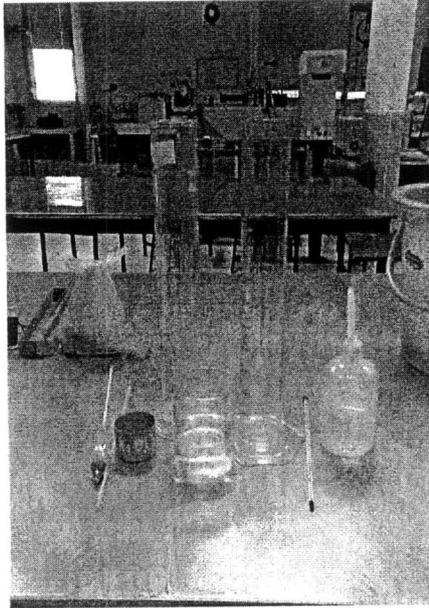
2.5.4 การหาขนาดของเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

2.5.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

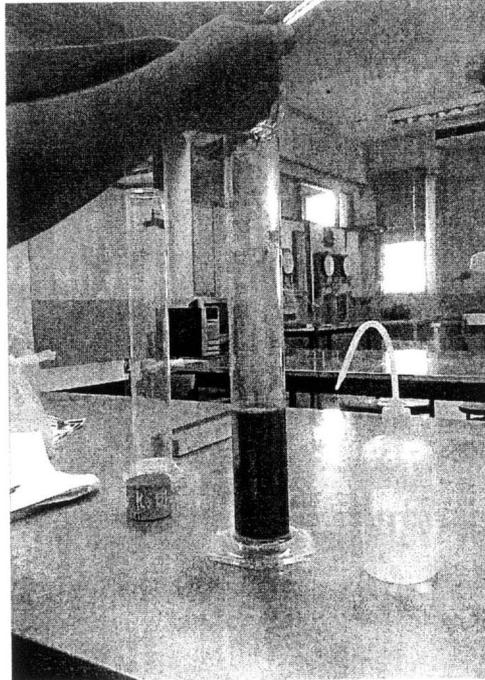
- 1) ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ 0.995 ถึง 1.030
- 2) ผงเคมี (Dispersing Agent) ใช้สาร Sodium Hexa – Metaphosphate
- 3) กระจกไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Jar) และกระจกตวง (Measuring Cylinder) 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างละ 1 ใบ
- 4) เทอร์โมมิเตอร์ 0 – 100 องศาเซลเซียส อ่านละเอียด 0.1 – 0.5 องศาเซลเซียสเซียส
- 5) นาฬิกาจับเวลา
- 6) เครื่องชั่งอ่านละเอียด 0.10 กรัม
- 7) แท่งแก้วผสมดิน
- 8) ตู้อบดิน
- 9) น้ำกลั่น

2.5.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมน้ำสะอาดประมาณ 2,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไว้ในห้องทำการทดสอบเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำคงที่
- 2) เตรียมน้ำยา (Dispersing Agent) ใช้ผง Sodium Hexa – Metaphoshat ร้อยละ 4 ละลายในน้ำสะอาดผสมให้เข้ากันเตรียมไว้ 1 วัน
- 3) ฝีกจุ่มไฮโดรมิเตอร์และอ่านค่าสเกลไฮโดรมิเตอร์ให้ชำนาญ เวลาที่ใช้จุ่มก่อนอ่านไม่ควรเกิน 15 วินาที
- 4) เตรียมน้ำสะอาดในกระบอกแก้ว 1 ใบ จุ่มไฮโดรมิเตอร์แล้วอ่านค่าไว้
- 5) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกไฮโดรมิเตอร์ และวัดปริมาตรกระเปาะไฮโดรมิเตอร์โดยใช้วิธีการแทนที่ของน้ำ ปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปอ่านค่าจากกระบอกแก้วเมื่อจุ่มไฮโดรมิเตอร์ ค่าที่ได้จะเป็นค่าของปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์
- 6) นำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาทำการผสมกับน้ำยาประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรผสมให้เข้ากันโดนผสมในกระบอกตวงและใช้แท่งแก้วชนให้เข้ากัน
- 7) เทดินที่ผสมกับน้ำยาที่ผสมเข้ากันดีแล้วลงในกระบอกไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Jar) แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรน้ำในกระบอกไฮโดรมิเตอร์ เท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้จุกยางปิดปากกระบอกไฮโดรมิเตอร์เพื่อป้องกันการสูญเสียปริมาตรของดิน
- 8) เมื่อตั้งกระบอกลงให้จุ่มไฮโดรมิเตอร์ทันทีแล้วอ่านค่าหลังจากวางกระบอกที่เวลา 15 , 30 , 60 , และ 120 วินาที หลังจากนั้นนำกระบอกมาทำการเขย่าให้น้ำโคลนเข้ากันและอ่านค่าอีกครั้งที่เวลา 15 , 30 , 60 , และ 120 วินาที การอ่านควรอ่านขอบบนโค้งน้ำที่ก้านไฮโดรมิเตอร์ เมื่อทำการอ่านเสร็จ (หลังจาก 2 นาที) ยกไฮโดรมิเตอร์ออกมาจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้เพื่อทำการอ่านอุณหภูมิเพื่อใช้ในการปรับแก้
- 9) ทำการอ่านค่าไปจนกระทั่งการตกตะกอนของดินคงที่จึงหยุดทำการทดสอบ การทดสอบอาจใช้เวลาหลายสัปดาห์ และหลังจากการอ่านค่าการทดสอบเสร็จควรทำการปิดกระบอกไฮโดรมิเตอร์เพื่อป้องกันฝุ่นตกลงไปซึ่งจะทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้
- 10) เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบเขย่ากระบอกเทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ การเทน้ำโคลนออกจากกระบอกต้องล้างเศษดินออกให้หมด จากนั้นทำการอบแห้งเพื่อหาปริมาณของเนื้อดิน



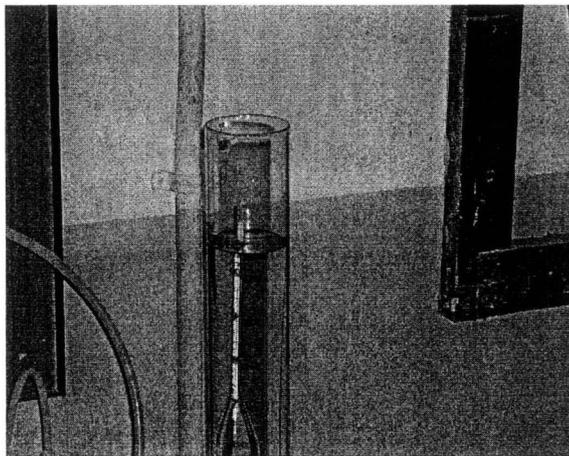
รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการเหน็บน้ำโคลนลงในกระบอกไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการจุ่มไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการอ่านค่าน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการปรับแก้



รูปที่ 2.13 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดินจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์เพื่อหาปริมาณน้ำดิน

2.6 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบหาค่าการรับกำลังของดิน

2.6.1 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)

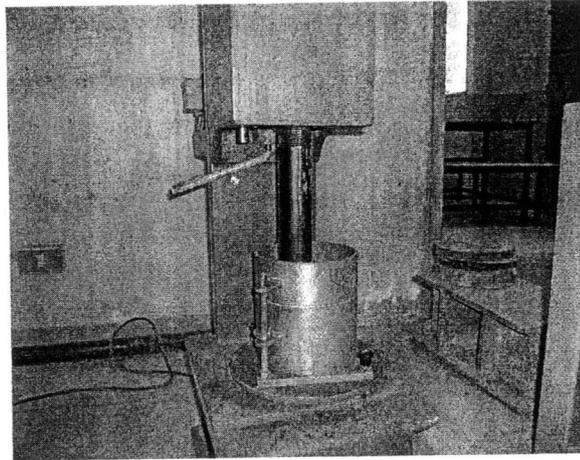
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) แบบหล่อดิน (Compaction Mould) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4.586 นิ้ว พร้อมด้วยปลอก(Collar) ขนาดเดียวกัน และแผ่นฐาน (Base Plate) มีเสายึด แบบหล่อดินและปลอกคูรูปที่ 2.14
- 2) ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) ขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 นิ้ว คูรูปที่ 2.14
- 3) มีดปาดสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 เซนติเมตร
- 4) ถาดผสมดิน (Mixing Pan) ขนาด 60 x 60 เซนติเมตร สูงประมาณ 7 – 8 เซนติเมตร
- 5) ขวบป้อนน้ำ (Wash Bottle) ขนาดความจุ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 6) กระจกตวง (Graduate Cylinder) ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 7) ตาชั่งขนาด 50 กก. อ่านละเอียด 0.1 กรัม
- 8) ตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 4

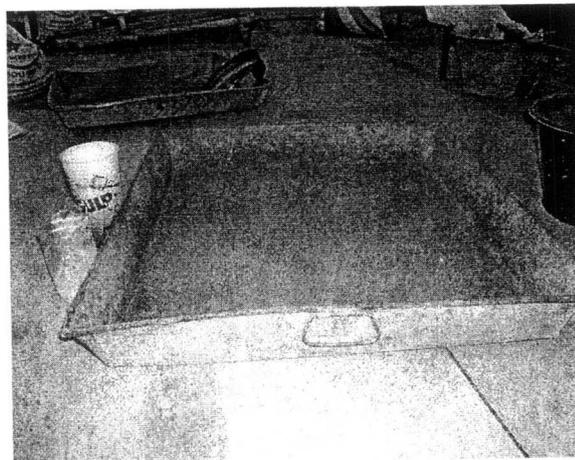
ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

- 1) นำดินที่เก็บจากแหล่งวัสดุมาเกลี่ยในถาดผสมดินผึ่งไว้จนดินหมา ใช้คอนยงทุบดินที่เกาะกันให้แยกกันออกจากกันเพื่อให้สะดวกในการผสมดิน
- 2) นำดินที่ทำการทุบแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อแยกเศษวัชพืช และเศษอื่นๆที่ติดมากับดิน
- 3) ชั่งแบบหล่อดินเฉพาะฐานกับแบบหล่อไม่ต้องชั่งปลอก นำตัวอย่างดินที่ทำการคลุกน้ำไว้มาแผ่ในถาดดินผสม แบ่งออกมาเป็นกองๆโดยประมาณเท่ากับจำนวนชั้นที่จะบดอัด
- 4) ทำการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยน้ำหนักค้อนเท่ากับ 10 ปอนด์ ระยะตกเท่ากับ 18 นิ้ว ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น และทำการบดอัดอีกชั้นละ 56 ครั้ง
- 5) เมื่อทำการบดอัดจนครบจำนวนชั้นแล้วถอดปลอกออกและใช้มีดสันตรงปาดดินที่ล้นแบบจนเรียบ ถ้ามีเม็ดดินหลุดกระเด็นออกทำให้ผิวเป็นหลุม ให้ใช้ดินละเอียดที่ปาดออกมาแปะลงไปและใช้มีดปรับให้เรียบ
- 6) ปิดเศษดินออกจากฐานแบบหล่อดินให้หมด นำแบบหล่อดินพร้อมทั้งฐานขึ้นซึ่งจดบันทึกค่าน้ำหนัก
- 7) ดันตัวอย่างดินออกจากแบบหล่อดินโดยใช้ปลอกต่อเข้ากับแบบหล่อดินแล้วคว่ำลง ใช้ค้อนบดอัดกระทุ้งดินลงข้างล่างแล้วค่อยแกะตัวอย่างดินออก
- 8) จากตัวอย่างดินที่ดันออกจากแบบหล่อดิน เก็บตัวอย่างสำหรับความชื้นในดินส่วนบน กลาง และส่วนล่างของตัวอย่างดินใส่ในกระป๋อง นำขึ้นชั่งและนำเข้าตู้อบ

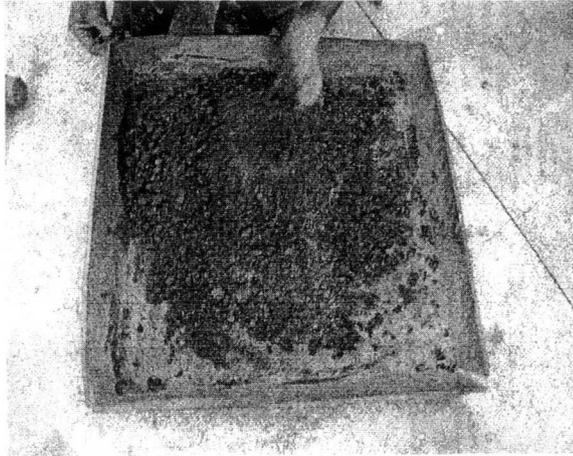
- 9) ทำการทดสอบตามตัวอย่างข้างต้น จนกระทั่งน้ำหนักแบบหล่อดินพร้อมกับฐานมีน้ำหนักลดลง การทดสอบไม่ควรเกิน 5 - 6 ครั้ง
- 10) นำผลการทดสอบที่ได้นำไปพล็อตกราฟเพื่อทำการหาค่าความหนาแน่นสูงสุด และหาค่าความชื้นสูงสุด



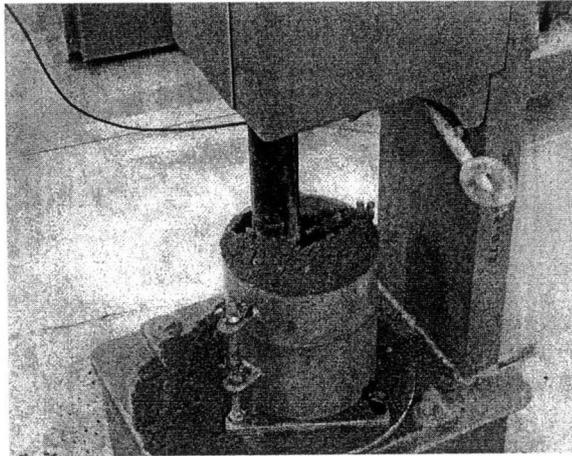
รูปที่ 2.14 เครื่องมือการทดสอบการบดอัด



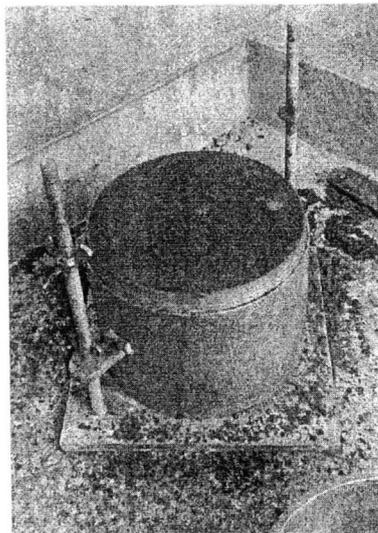
รูปที่ 2.15 การเตรียมดินเพื่อทำการบดอัด



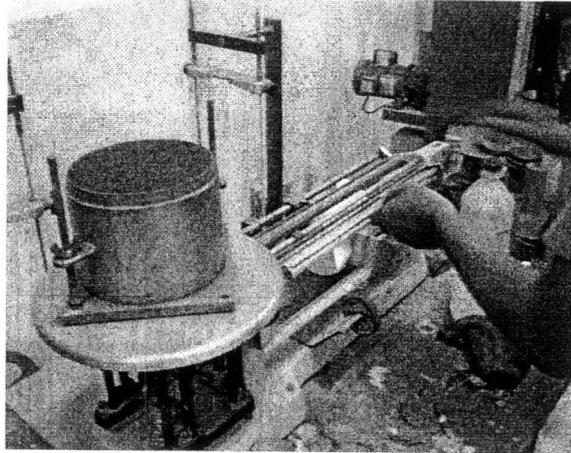
รูปที่ 2.16 แสดงผสมดินกับน้ำเพื่อทำการทดสอบการบดอัด



รูปที่ 2.17 แสดงการทดสอบการบดอัดดิน



รูปที่ 2.18 แสดงการแต่งดินก่อนทำการชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 2.19 แสดงการชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังจากการทำการบดอัด

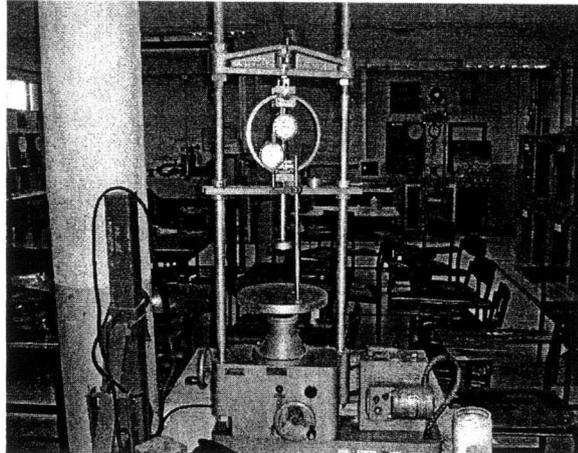
2.6.2 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

2.6.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

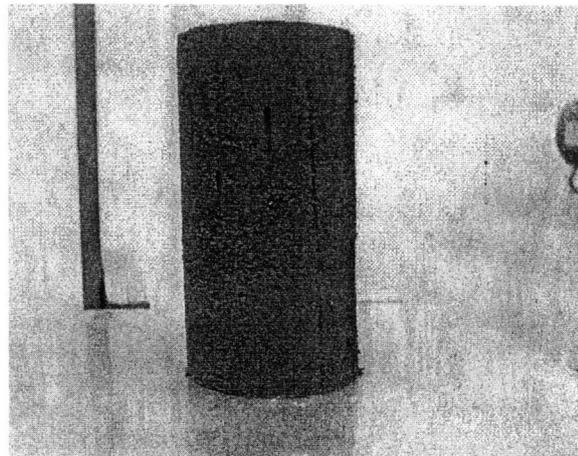
- 1) เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
- 2) วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
- 3) มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) อ่านละเอียด 0.001 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

2.6.2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

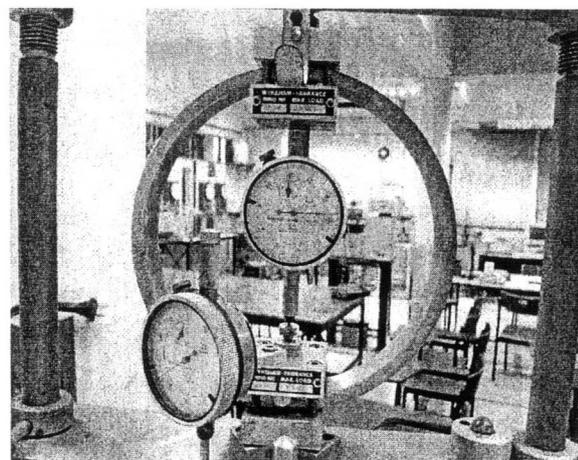
- 1) นำตัวอย่างดินที่ทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างบนแผ่นฐานเครื่องกด โดยการทาวาสลินที่ฐานและห้วกดเพื่อลดค่าความเค้นเนื่องจากแรงกด
- 2) ปรับแผ่นฐานขึ้นให้ตัวอย่างแตะห้วกดด้านบน ด้วยการสังเกตเมื่อเข็มวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) เริ่มจะกระดิก
- 3) ปรับศูนย์หน้าปัด (Dial Gauge) ของวงแหวนวัดแรง และตั้งมาตรหน้าปัด (Dial Gauge) วัดการยุบตัวของดิน
- 4) เมื่อตรวจสอบความเรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการทดสอบการกดตัวอย่างดิน โดยการใช้อัตราการกดตัวอย่างดินเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ต่อ 1 นาที และค่าในการอ่านในแนวเคลื่อนตัวในแนวตั้งคือ 0.010 , 0.025 , 0.050 , 0.075 , 0.100 , 0.150 , 0.200 , 0.300 มิลลิเมตร จนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ (Fail)
- 5) ถ่ายรูปตัวอย่างวิบัติ (Failure Mode) นำตัวอย่างขึ้นชั่ง และเข้าเตาอบเพื่อหาความชื้น หลังทำการทดสอบ



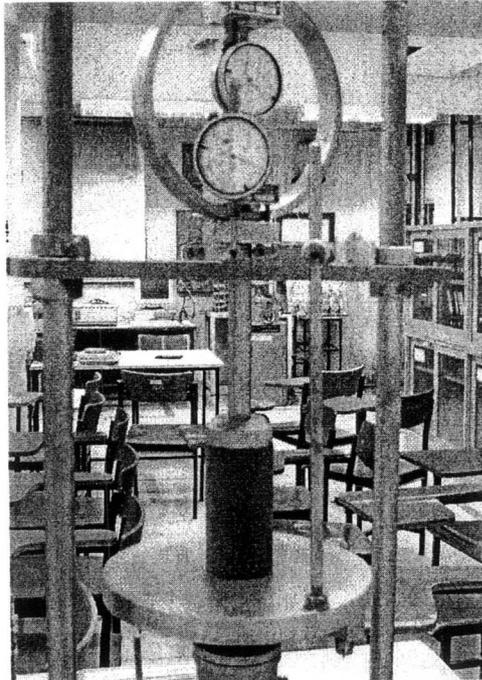
รูปที่ 2.20 เครื่องมือทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด



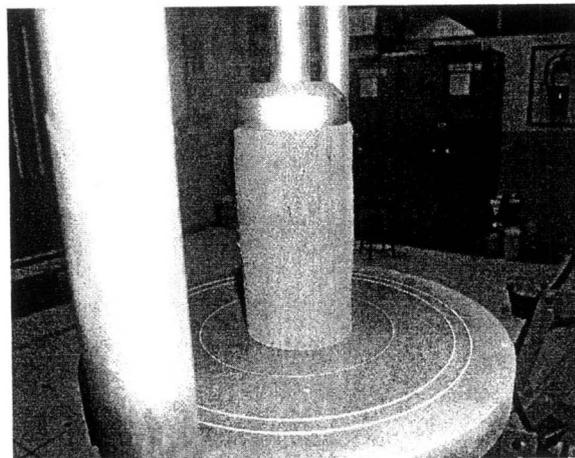
รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด



รูปที่ 2.22 เครื่องมือมาตรวัดใช้ในการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด



รูปที่ 2.23 แสดงการทดสอบการแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด



รูปที่ 2.24 แสดงการวิบัติของการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด

2.6.3 การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test)

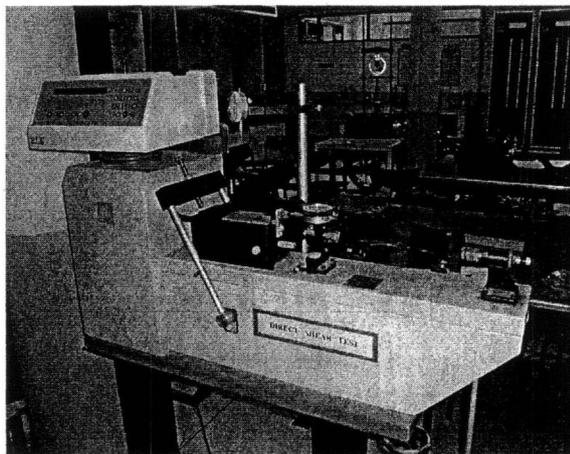
2.6.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine) มีแรงดันมากพอสำหรับตัวอย่างที่จะทดสอบ มีอัตราการกระทำแรงเฉือน 1 มิลลิเมตร ต่อ 1 นาที ดูรูปที่ 2.25
- 2) กล่องตัวอย่าง (Shear Box) ขนาด 6 x 6 เซนติเมตร และอุปกรณ์
- 3) วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
- 4) มาตรฐานิปัด (Dial Gauge) วัดการเคลื่อนตัวแนวตั้ง และวัดการเคลื่อนตัวในแนวนอน

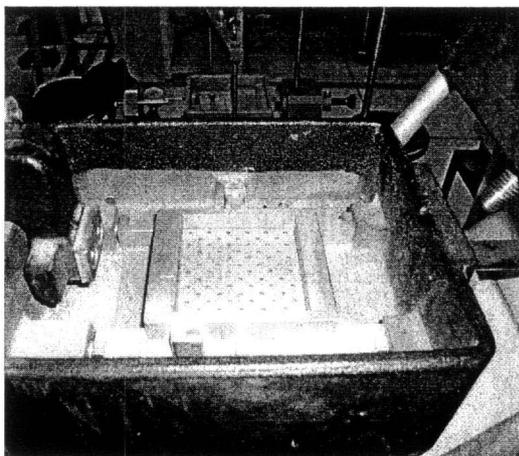
- 5) แผ่นน้ำหนัก
- 6) เวอร์เนีย
- 7) เครื่องชั่ง

2.6.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

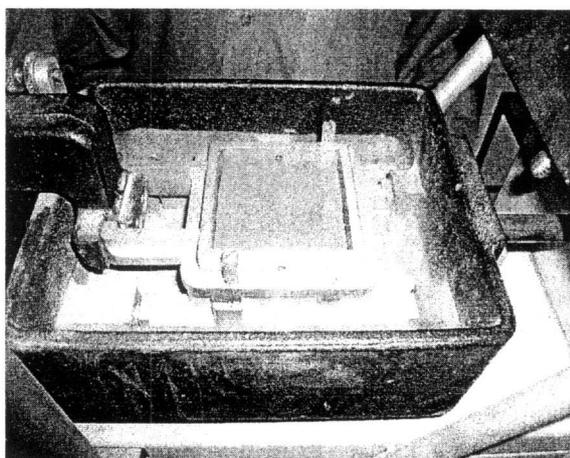
- 1) ประกอบกล่องตัวอย่างเข้าด้วยกันให้ถูกต้องตามรหัส ที่ตอกไว้ข้างกล่อง
- 2) ชั้นสกรูยึดกล่องบน - ล่างเข้าด้วยกัน
- 3) วางแผ่นฐานเข้าร่องแนวกำหนด
- 4) วางแผ่นเหล็กเซาะร่องด้านล่าง (ไม่ต้องใช้หินปูน) ให้แนวเซาะร่องขนานทิศทางเฉือนตัวอย่าง
- 5) นำตัวอย่างดินที่ทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และเก็บตัวอย่างโดยใช้ Shear Box นำมาชั่งน้ำหนักบันทึกผล
- 6) นำตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบวางในกล่องตัวอย่าง วางแผ่นเหล็กเซาะร่องบน ให้ร่องคว่ำลงและขนานทิศทางที่เฉือนตัวอย่าง วางแผ่นฉากตัวอย่าง
- 7) ทำการวางน้ำหนักกดเพื่อแทนค่าน้ำหนักกดในดินธรรมชาติ ในการทดสอบนี้ใช้น้ำหนักกดตัวอย่างทดสอบที่ 1 ตัวอย่างทดสอบที่ 2 และ ตัวอย่างทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 20 กิโลกรัม , 30 กิโลกรัม , และ 40 กิโลกรัม ตามลำดับ
- 7) ทำการปรับตั้งมาตรหน้าปัดวัดการเคลื่อนตัวในแนวนอน วัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง และวงแหวนวัดแรง ปรับค่าที่ศูนย์ก่อนทำการเดินเครื่อง
- 8) ถอดสกรูที่ยึดกล่องตัวอย่างออกทั้ง 2 ตัว และดำเนินการเดินเครื่องมือทดสอบโดยใช้รอบในการเคลื่อนตัวแรงเฉือน เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ต่อ 1 นาที และอ่านค่าในการเคลื่อนที่ในแนวนอนทุกๆ 20 ซีก ทำการทดสอบจนกระทั่งดินตัวอย่างเกิดการวิบัติ (Fail) หรือมาตรวัดวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) มีค่าลดลง
- 9) ถ่ายรูปตัวอย่างวิบัติ (Failure Mode) นำตัวอย่างขึ้นชั่งและเข้าเตาอบเพื่อหาความชื้นหลังทำการทดสอบ



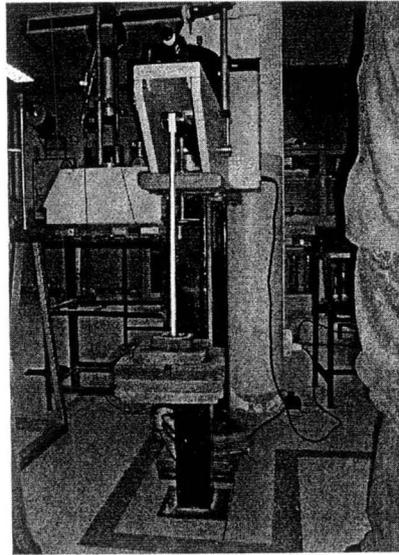
รูปที่ 2.25 แสดงเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนโดยตรง



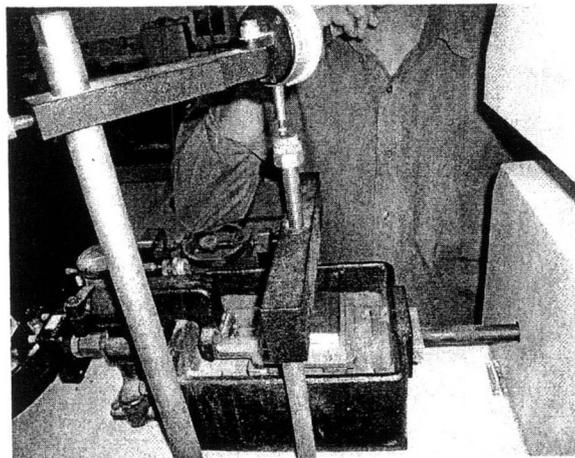
รูปที่ 2.26 แสดงวิธีการวางแผ่นรองตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง



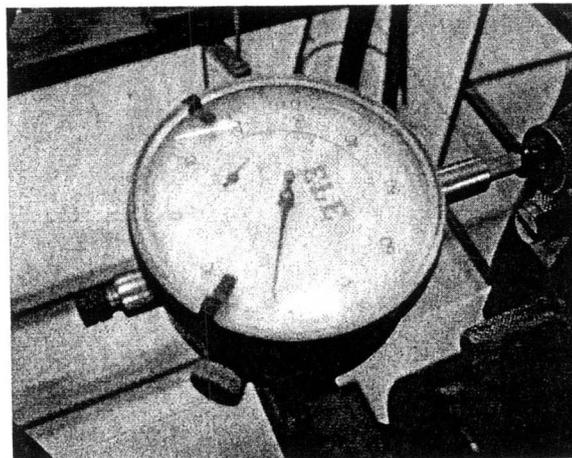
รูปที่ 2.27 แสดงวิธีการวางตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง



รูปที่ 2.28 แสดงวิธีการวางแผ่นเหล็กเพื่อจำลองน้ำหนักกดทับบนดิน



รูปที่ 2.29 แสดงวิธีการปรับตั้งอุปกรณ์การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง



รูปที่ 2.30 แสดงการวัดการเคลื่อนตัวในแนวนอน

2.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพบว่าลักษณะของดินเป็นดินที่มีลักษณะดินทรายละเอียด เมื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน(Sieve Analysis) จำนวนดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับร้อยละ 16.88 และผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 4 เท่ากับร้อยละ 99.98 เพราะฉะนั้นดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 12 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินชนิดนี้อยู่ในกลุ่มดิน SM , SC

ผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินเมื่อนำไปทำการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ (ดูผลการทดสอบที่ภาคผนวก ก.) มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากดินมีลักษณะคล้ายฝุ่น เมื่อทำการทดสอบจึงทำให้ดินจำนวนหนึ่งหายไป และผลจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์พบว่าขนาดของเม็ดดินมีขนาดเล็กที่สุดมีค่า เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร

2.8 ผลการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)

ผลการทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) เมื่อทำการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ρ_{dmax}) มีค่าเท่ากับ 1.320 ตันต่อตารางเมตร ที่ความชื้น (w) เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของดินเมื่อนำมาทำการปรับปรุงพลังงานแล้วมีลักษณะการจับตัวได้ดีและมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากลักษณะของดินเป็นเม็ดละเอียดและมีความสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพลังงาน แต่เมื่อน้ำในดินระเหยออกจนหมดดินจะมีลักษณะแข็งแต่เมื่อมีแรงมากระทำก็จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

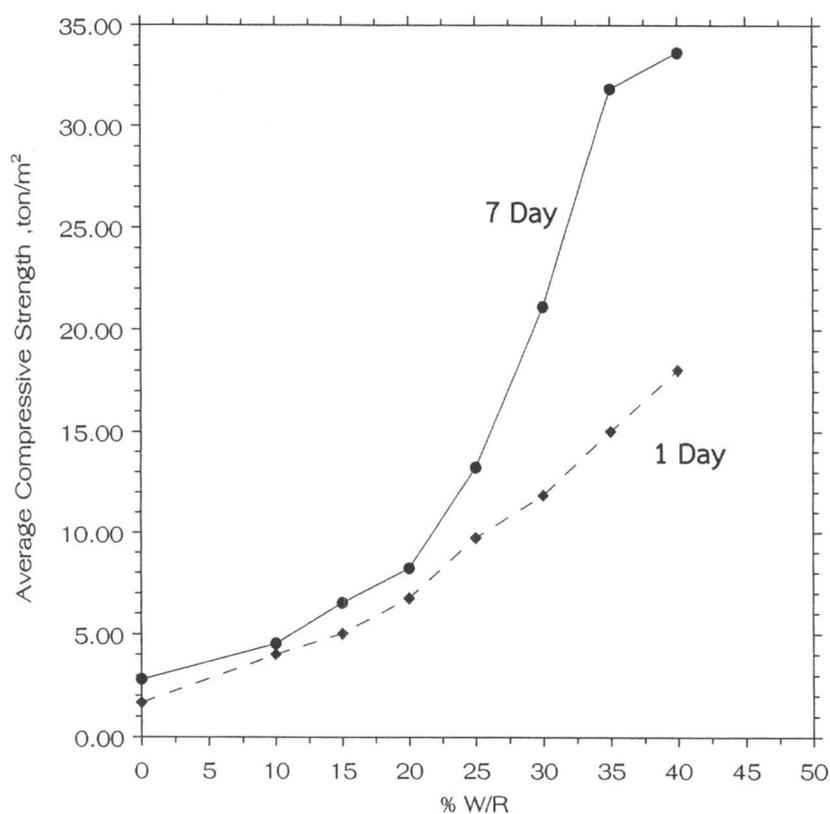
2.9 ผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

จากการทดสอบหาค่ารับกำลังของดินเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยการผสมน้ำยางธรรมชาติ และผลจากการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) นั้น โดยดินธรรมชาติโดยดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ และดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำยางนั้นผลการทดสอบแสดงที่ตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินตัวอย่าง

น้ำยางต่อน้ำหนัก น้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำสะอาด กรัม	ปริมาณน้ำยางสด กรัม	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (ตันต่อตารางเมตร)	
			บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน
๕	480	0	1.665	2.797
10	480	48	4.010	4.542
15	480	72	5.030	6.529
20	480	96	6.745	8.220
25	480	120	9.739	13.228
30	480	144	11.840	21.130
35	480	168	15.009	31.839
40	480	192	18.040	33.636



รูปที่ 2.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ

จากตารางที่ 2.2 และ รูปที่ 2.31 จะเห็นได้ว่าเมื่อดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าการรับกำลังแปรผันตามอายุการบ่มตัวอย่างดิน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ การรับกำลังอัดที่เพิ่มมากขึ้นของตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำยางพาราธรรมชาติ

เนื่องด้วยลักษณะของเม็ดดินเป็นเม็ดละเอียดเมื่อผสมกับยางพาราธรรมชาติที่มีความสามารถเด่นคือมีความยืดหยุ่นและมีความเชื่อมแน่นดี เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย cis-1,4 polyisoprene เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบจึงทำให้ยางมีสมบัติเด่นด้านทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด การตัดและการสึกหรือได้ดี [12] และทำการปรับปรุงพลังงานจึงทำให้ดินรับกำลังได้ดี

2.10 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยการทดสอบนี้ใช้ค่า $\sigma_v = 0.556$ กก/ตร.ซม. , 0.833 กก/ตร.ซม. , และ 1.111 กก/ตร.ซม. ตามลำดับ ทำการหาน้ำหนักแรงกดทับนั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

2.10.1 น้ำหนักที่ใช้ถ่วงในการทดสอบ

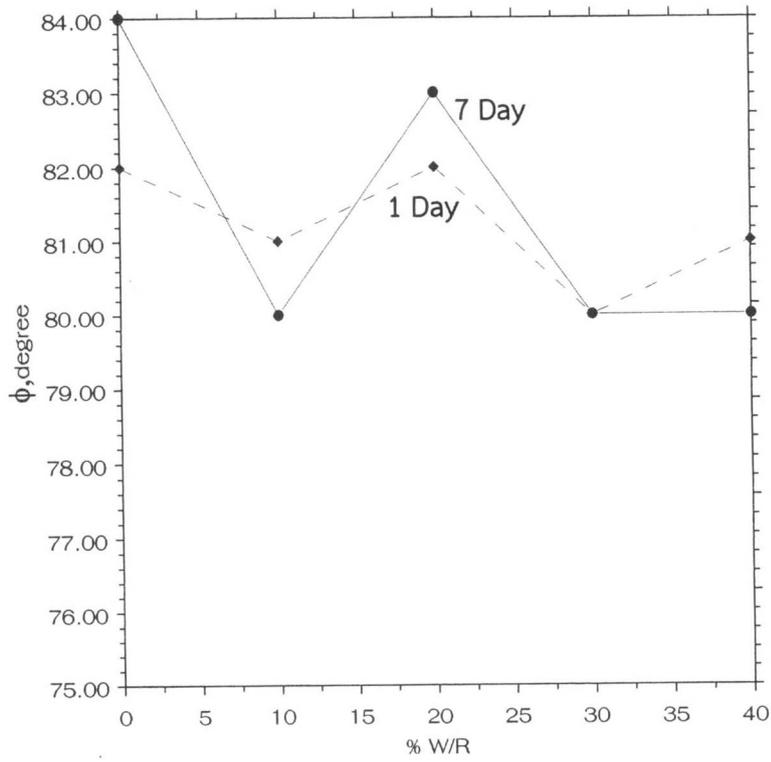
เมื่อขนาดของพื้นที่ Shear Box เท่ากับ ; $6 \times 6 = 36$ ตร.ซม.

จาก $\sigma_v = P/A$; $\sigma_v = 0.556$ กก/ตร.ซม., 0.833 กก/ตร.ซม., และ 1.111 กก/ตร.ซม. ตามลำดับ เพราะฉะนั้น $P = \sigma_v \times A$ จะได้น้ำหนักเท่ากับ 20 กก. , 30 กก., และ 40 กก. ตามลำดับ

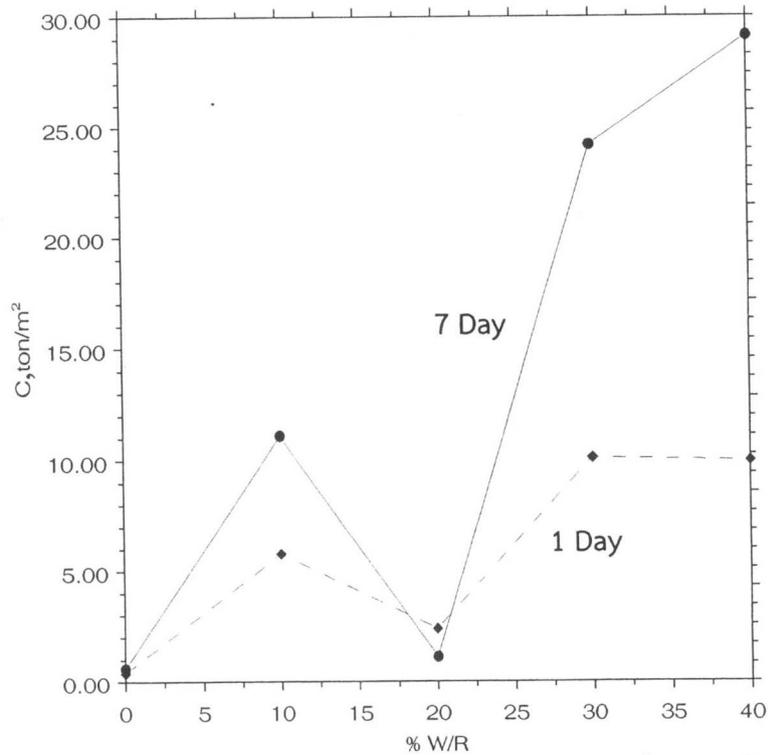
จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบการหาค่าการรับกำลัง ค่า (C, ϕ) แสดงดังตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.32-2.33

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

น้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำสะอาด (กรัม)	ปริมาณน้ำยางพารา (กรัม)	ค่า ϕ (องศา)		ค่า c (ตันต่อตารางเมตร)	
			บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน	บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน
0	480	0	82	84	0.396	0.6
10	480	48	81	80	5.78	11.11
20	480	96	82	83	2.38	1.11
30	480	144	80	80	10.12	24.2
40	480	192	81	80	9.98	29.11



รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ค่า(ϕ)และน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ



รูปที่ 2.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า(C)และค่าน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่า ϕ และค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ นั้น มีกำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก

จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดยวิธีอัดสูงกว่ามาตรฐาน และส่วนหนึ่งมาจากน้ำ ยางพาราธรรมชาติที่ทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40 และอาจจะรับได้ถึงค่า ϕ เท่ากับ 90 องศา เมื่ออัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติดีอัตราส่วนร้อยละ 100 ของน้ำหนักน้ำสะอาดที่ใช้ผสม

เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความเชื่อมั่น (C) มากสุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ดันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแป้งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด เมื่อนำมาทำการผสมน้ำยางพาราจึงทำให้น้ำยางสามารถแทรกซึมและผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี และความสามารถเด่นของยางพาราธรรมชาติคือมีความยืดหยุ่นและมีความเชื่อมแน่นดี เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย cis-1,4 polyisoprene เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบจึงทำให้ยางมีสมบัติเด่นด้านทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด การตัดและการ สึกหรือได้ดี และคุณสมบัติของดินทรายปนทรายแป้ง คือ เมื่อทำการบดอัดปรับปรุงพลังงานจะเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้สูงขึ้น และเมื่อนำมารวมกันจึงทำให้ดินมีการรับกำลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถเด่นของดินทรายปนทรายแป้ง และน้ำยางพาราสด