บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีทำการทดลองหาค่าต่างๆ ในการวิจัยนี้ ได้อ้างอิงการทดลองของกรมทางหลวง ที่ ทล. -ท.108/2517 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน และ การทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517 การทดลองเพื่อหาค่า CBR เป็นมาตรฐานในการทำการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

3.1.1 ขอบข่าย

การเก็บตัวอย่างดินได้รับความร่วมมือจากฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์วัสดุทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงที่ 4 จังหวัดพิษณุโลก โดยแหล่งวัสดุ คือบริเวณ กิโลเมตรที่ 15+000 ถนนสายวัดโบสถ์- บ้านนาขาม อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก

ภาพประกอบที่ 1: สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

ภาพประกอบ 2: ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน

3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกบริเวณของแหล่งวัสดุที่จะนำไปเป็นตัวอย่างโดยการเก็บวัสดุจะ เก็บตัวอย่างเป็นจุดๆ เพื่อที่จะสามารถเก็บตัวอย่างที่ทั่วถึงและเป็นตัวอย่างที่ดี

2. เมื่อได้ตัวอย่างมาแล้วทำการหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ได้เก็บมาทำการหาคุณสมบัติต่างๆของตัวอย่าง โดยในขั้นตอนได้รับความร่วมจากฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์วัสดุทางวิสวกรรม สำนักทางหลวงที่ 4 จังหวัดพิษณุโลก ทำการหาคุณสมบัติของตัวอย่างที่นำมาวิจัยในครั้งนี้

3. จากนั้นทำการนำตัวอย่างไปตากให้แห้งเพื่อเตรียมตัวอย่างในการทดลองต่อไป

3.2 การทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

3.2.1 ขอบข่าย

การทดลอง Compaction Test เป็นการทดลองตามการทดลองของ กรมทางหลวงที่ ทล. -ท.108/2517 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยวิธี Dynamics compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ วัตถุ

ประสงค์เพื่อหาค่า %Optimum Water Content ไปใช้ในการพิจารณาค่าความชื้นในการทดลองหาค่า CBR ต่อไป

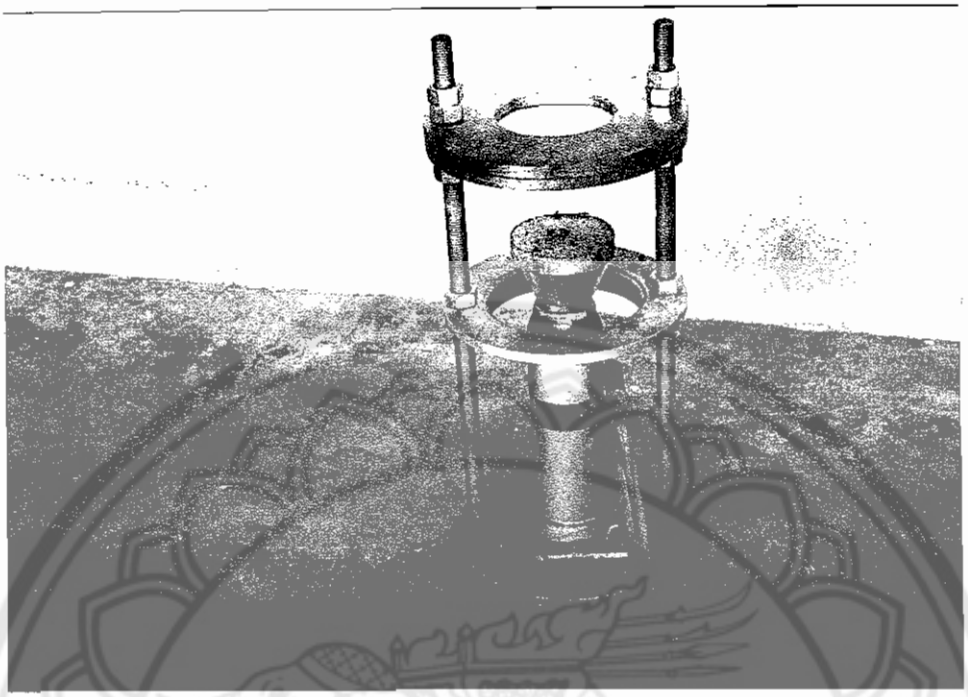
3.2.2 วิธีทำการทดลอง

1. <u>เครื่องมือ</u> ทดลองประกอบด้วย

แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 ม.ม.(4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกัน สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบตามรูป

ภาพประกอบ 3: Mold CBR. & Mold Compaction

เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ



ภาพประกอบ 4 : เครื่องดันตัวอย่างดิน

ตาชั่งแบบ Digital หรือ BALANCE มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

ภาพประกอบ 5 : ตาชั่งแบบ Digital ละเอียด 0.001 กิโลกรัม

ตาชั่งแบบ Digital หรือ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

ภาพประกอบที่ 6 : ตาชั่งแบบ Digital ละเอียด 0.001 กรัม

เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

เครื่องผสมดิน เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร(18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

ภาพประกอบที่ 7 : เตาอบ

เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

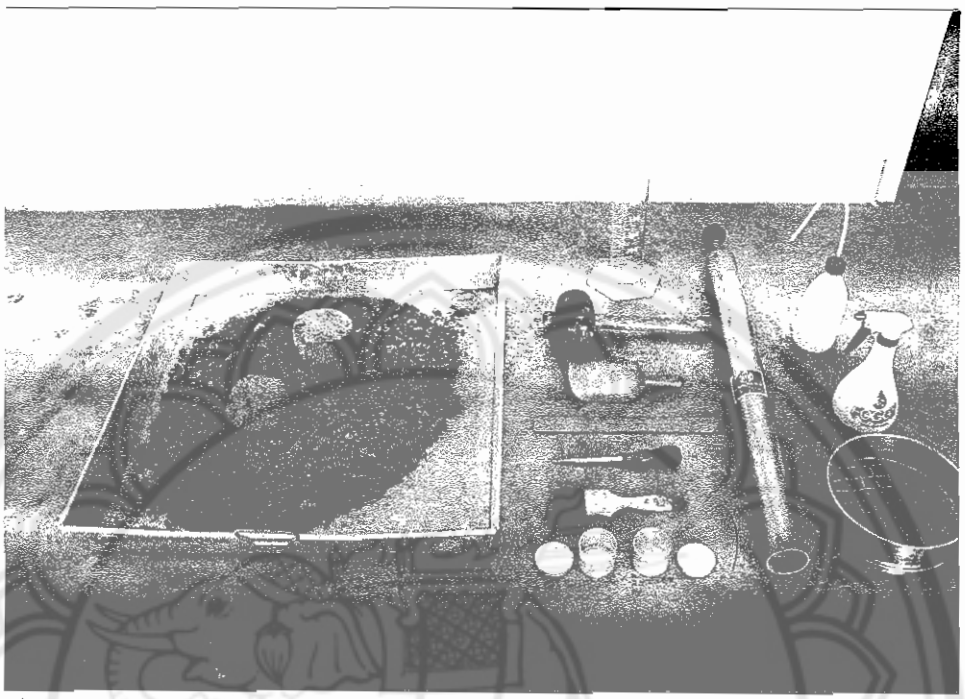
ตะแกรงร่อนดิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง น้ำสะอาด



ภาพประกอบที่ 8 : อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

2. <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

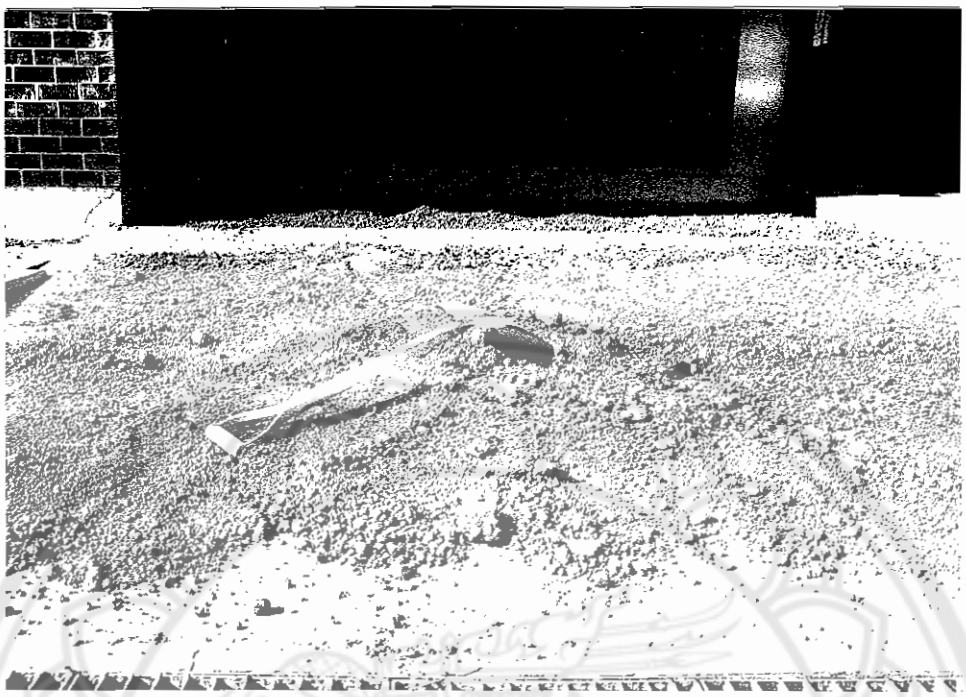
ดินตัวอย่าง ได้แก่ ดินลูกรังจัดเป็น Soil-Aggregate ซึ่งมีขนาดตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดเล็กกว่า 19.0 ม.ม.(3/4 นิ้ว) ได้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.1 นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%) และทำ Quartering และใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.2 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ได้มวลประมาณดังต่อไปนี้

ก. ถ้าใช้แบบขนาดเล็กขนาด 4" ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

ข. ปริมาณตัวอย่างให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง



ภาพประกอบที่ 9 : การตากตัวอย่างดิน

ภาพประกอบที่ 10 : การเตรียมตัวอย่างดินโดยใช้ Sample Splitter จาก การทำ Quartering

ภาพประกอบที่ 11 : ถาดตัวอย่างดิน

3. การทดลอง Compaction Test

3.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

3.2 เติมน้ำจำนวนหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

1.3 คลุกเค้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วด้วยมือ หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

1.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1/3 ของ 127 ม.ม. (5 นิ้ว)

1.5 ทำการบดทับ จำนวน 55 ครั้ง ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 ม.ม. (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 ม.ม.)

1.6 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 ม.ม.) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างและใช้ค้อนทุบให้แน่นพอควรแล้วนำไปชั่ง จะได้มวลของดินตัวอย่าง และมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)

ภาพประกอบที่ 12 : การผสมน้ำกับตัวอย่างดิน

1.7 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดิน ให้ใช้ดังนี้

ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 ม.ม. ใช้ประมาณ 300 กรัม

ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 ม.ม. ใช้ประมาณ 100 กรัม

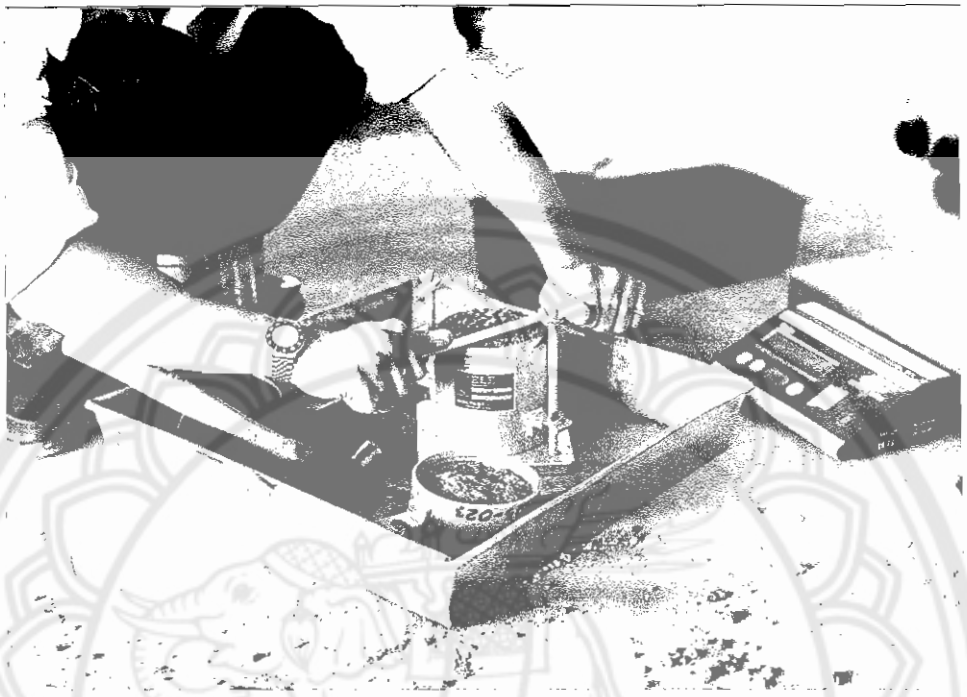
แล้วทำการนำดินตัวอย่างออกจากแบบด้วยเครื่องดันดินตัวอย่าง

1.8 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก , ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง,ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content)

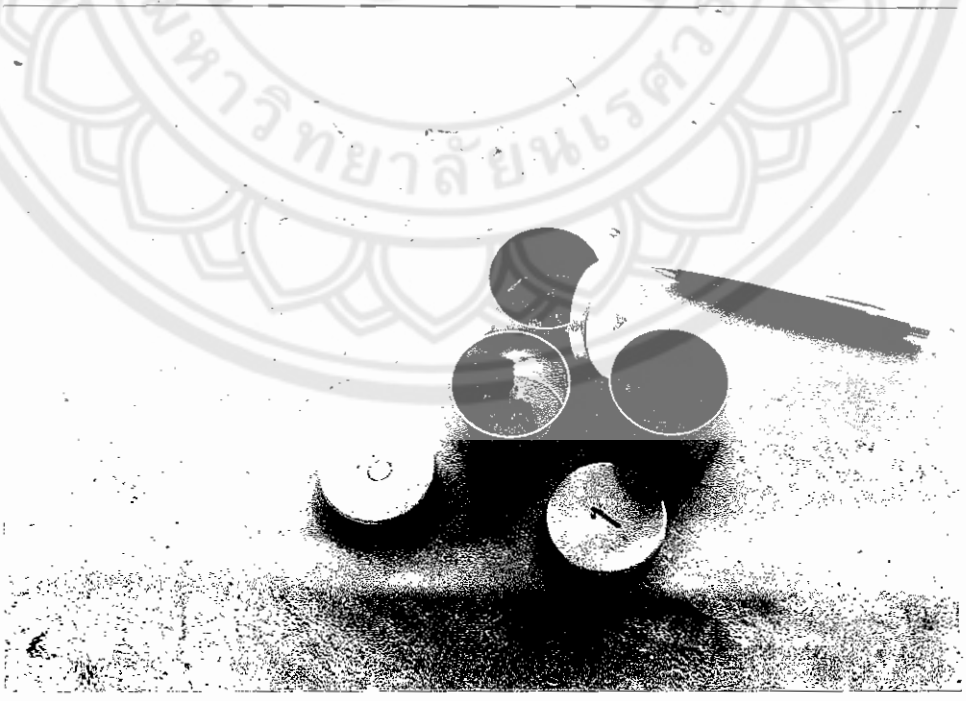
1.9 ดำเนินการซ้ำตามวิธีการข้างต้น โดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่า **จะได้ความแน่นลดลง จึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความหนาแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้**

ภาพประกอบที่ 13 : การบดทับดินตัวอย่างลงใน Mold Compaction

1.10 เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง (ρ_d) และประมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ (W) ก็จะทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุด Max. ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด, OMC. (Optimum Moisture Content)

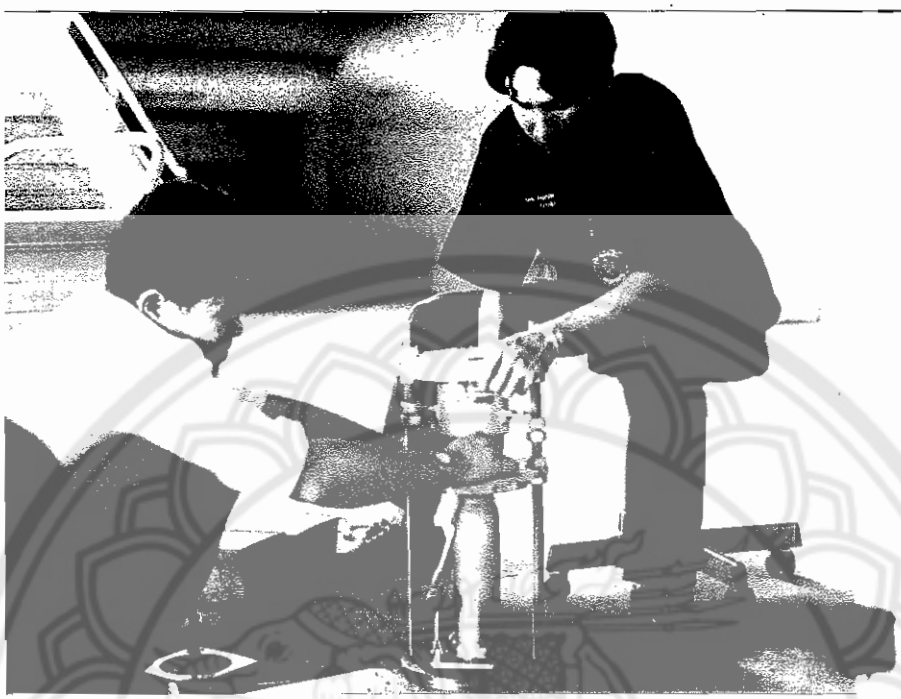


ภาพประกอบที่ 14 : การปรับแต่งผิวหน้าดินตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 15 : การเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่า Moisture Content

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์



4310189
TA
710.5
ร522
2540 ค.2

ภาพประกอบที่ 16 : การนำดินตัวอย่างออกจากแบบ

4. การคำนวณ

4.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{(M_1 - M_2)\,100}{M_2}$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

4.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

4.3 คำนวณค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

3.3 การทดลองเพื่อหาค่า CBR

3.3.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตราฐาน เมื่อทำการบดทับวัสดุตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ ในการวิจัยนี้ทำการทดลองที่ปริมาณความชื้นที่ 7%,9%,11%,13%และ 14% โดยการทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

3.3.2 วิธีทำการทดลอง

1. เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

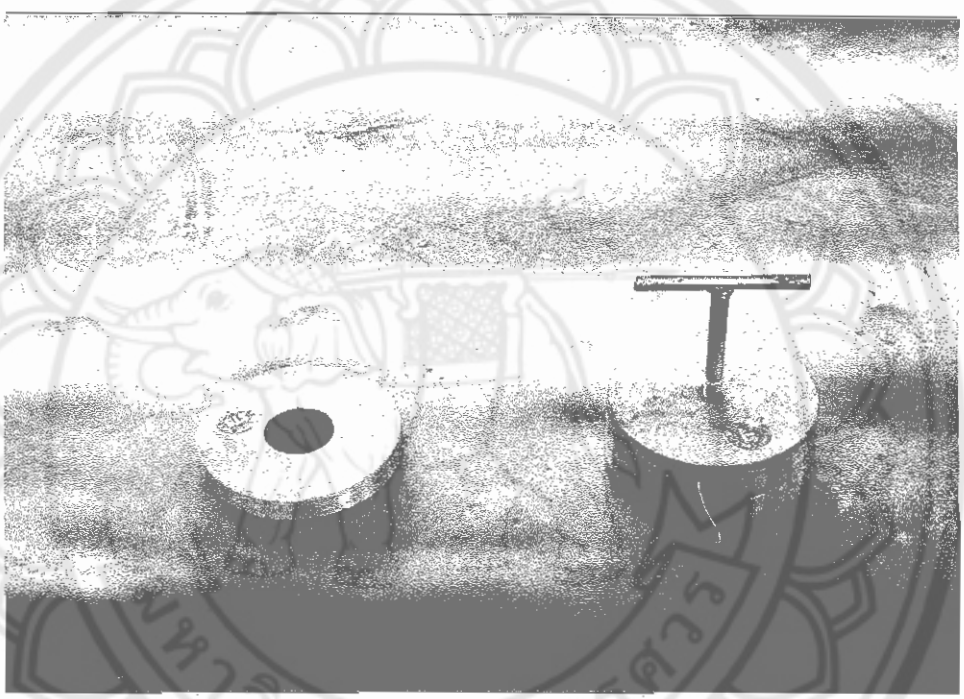
เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่า CBRมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5 000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์, 50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้เป็นเครื่องแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดที่ทำให้ฐานหรือท่อนกด (Piston) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.04 นิ้ว)ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง โดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือลงด้วย Dial Gauge มีอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว)ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้ท่อนกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะมี Proving Ring อ่านกดแรง ได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม (2. นิวตัน)

ภาพประกอบที่ 17 : เครื่องกด

แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.3 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูงเท่าใดก็ได้ เมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้ว ได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ภาพประกอบที่ 3

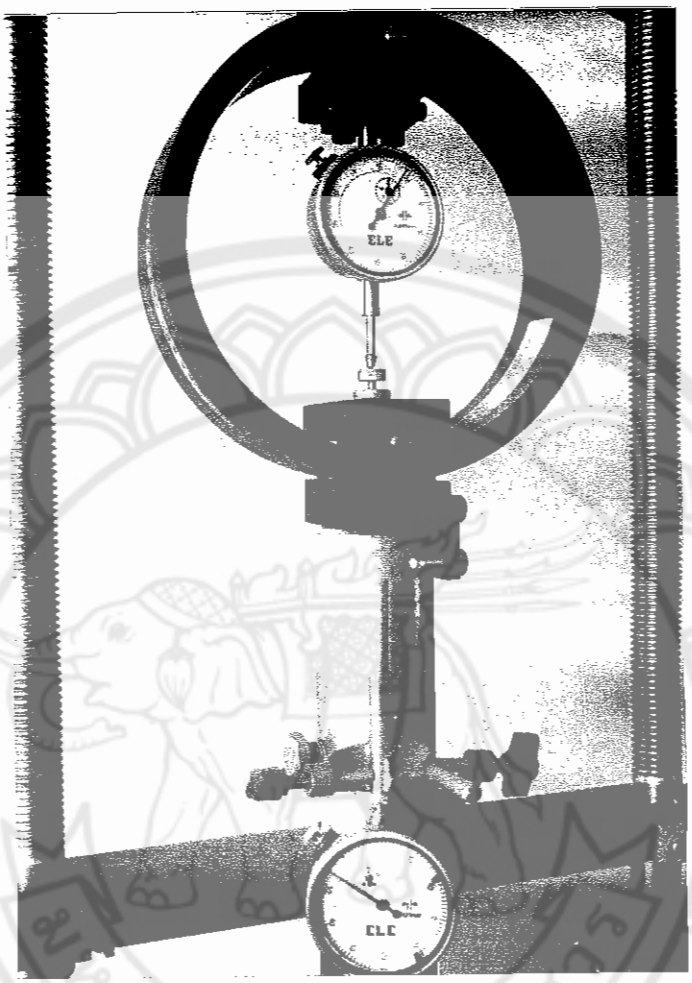
แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) เป็นโลหะรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5 15/16 นิ้ว) มีความสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.2 แล้วจะเหลือตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584นิ้ว) ดังรูป

แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 ม.ม. (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 54.0 ม.ม. (2 1/8 นิ้ว) เพื่อให้ท่อนกดสอดผ่านไปได้ โดยมีมวลเท่ากับ 2 268 กรัม (5 ปอนด์) ดังรูป แผ่นถ่วงน้ำหนักนี้อาจเป็นแบบผ่าครึ่งเป็นสองซีก หรือผ่าเป็นร่องก็ได้



ภาพประกอบที่ 18 : แท่งโลหะรอง และแผ่นถ่วงน้ำหนัก

ท่อนกด (Penetration Piston) ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 ม.ม. (1.95 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)



ภาพประกอบที่ 19 : แท่งกด

เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่ก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ ภาพประกอบที่ 4

ตาชั่งแบบ Digital มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง ภาพประกอบที่ 5

ตาชั่งแบบ Digitalมีขีดความสามารถชั่งได้ 1000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน ภาพประกอบที่ 6

เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง ภาพประกอบที่ 7

เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 ม.ม. (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 4,537 กรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 6 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "สูงกว่ามาตราฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท.108/2517

เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 ม.ม. แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ 3.0 ม.ม.

ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

กระป๋องอบดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

นาฬิกาจับเวลา

เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่างๆที่ใช้ผสมตัวอย่างกันน้ำ ได้แก่ ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้ ภาพประกอบที่ 8

วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

- กระดาษกรองอย่างหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร
- น้ำสะอาด

2. การเตรียมตัวอย่าง

ดินตัวอย่าง ได้แก่ ดินลูกรังขัดเป็น Soil-Aggregate ซึ่งมีขนาดตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดเล็กกว่า 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว) ได้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.1 นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%) และทำ Quartering และใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.2 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ให้ได้มวลประมาณดังต่อไปนี้

- ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

- ปริมาณตัวอย่างให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2. จากวิธีการทดลอง Compaction test ตามการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะทราบปริมาณน้ำในดินที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ซึ่งสามารถนำค่าปริมาณน้ำ (Optimum Moisture Content) มาพิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองคือ 7%,9%,11%,13% และ14%

3.2 การทดลองการบดอัด

1. เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 3.1(2) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำหรือ นำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2. นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้วและใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

3. แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127.0 ม.ม. (5 นิ้ว)

4. ทำการบดทับโดยใช้ค้อนขนาด 4,537 กรัม (10 ปอนด์) จำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ

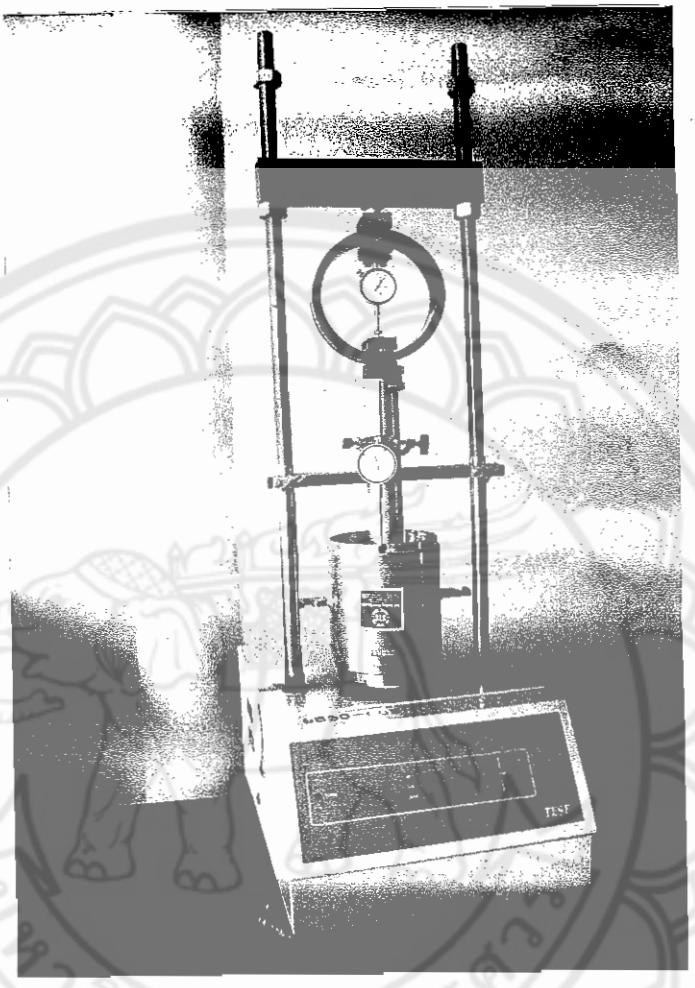
5. ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 5ชั้น มีความสูงประมาณ 127.0 ม.ม.(5 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 ม.ม.

6. ถอดปลอก (Collar) ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของต้นแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 ม.ม.) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับ แล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ

7. คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแบบยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับแล้วออก นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่นฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐานขันสกรูและใส่ปลอกเข้าที่ ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR ต่อไป

ภาพประกอบที่ 20 : การบดทับดินตัวอย่างลงใน Mold CBR.

ภาพประกอบที่ 21 : การปรับแต่งผิวหน้าดินตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 22 : การทำ Penetration Test

8. ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้งและ 55 ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นในข้อ 3.2 ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าการบดทับเท่ากับ 12 ครั้ง , 25 ครั้งและ 55 ครั้งต่อชั้น

3.3 การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

1. นำตัวอย่างพร้อมแบบที่เตรียมไว้จากข้อ 3.2 ไปชั่งจะได้มวลของตัวอย่างและของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก (A)

2. ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ 3.2 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 ม.ม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 ม.ม. ใช้ประมาณ 100 กรัม

3. คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน , w (Moisture Content)

3.4 การทดลอง Penetration Test เพื่อหาค่า CBR

1. การทดลองโดย วิธีไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ไม่ต้องดำเนินการหาค่าการขยายตัว (Swell) ให้นำตัวอย่างภายหลังจากการชั่งหามวลตามข้อ3.3 มาทดลอง Penetration Test

2. นำตัวอย่างมาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน

3. นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

4. เดินเครื่องกดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วยการที่ให้แรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress vs. Penetration

5. เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้น ๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 ม.ม. (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

6. ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

- 0.63 ม.ม.	(0.025 นิ้ว)	- 5.08 ม.ม.	(0.200 นิ้ว)
- 1.27 ม.ม.	(0.050 นิ้ว)	- 6.35 ม.ม.	(0.250 นิ้ว)
- 1.90 ม.ม.	(0.075 นิ้ว)	- 7.62 ม.ม.	(0.300 นิ้ว)
- 2.54 ม.ม.	(0.100 นิ้ว)	- 8.89 ม.ม.	(0.350 นิ้ว)
- 3.17 ม.ม.	(0.125 นิ้ว)	- 10.16 ม.ม.	(0.400 นิ้ว)
- 3.81 ม.ม.	(0.150 นิ้ว)	- 11.43 ม.ม.	(0.450 นิ้ว)
- 4.44 ม.ม.	(0.175 นิ้ว)	- 12.70 ม.ม.	(0.500 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

7. นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกด ๆ ลงไปเป็นรูไปหาปริมาณน้ำในดิน

8. ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

9. เขียน Curve ระหว่างแรงกด และระยะที่ท่อนกดจมลงในตัวอย่าง (Stress vs. Penetration) เพื่อหาค่า CBR ต่อไป

10. เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับค่าความแน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซ็นต์ของการบดทับที่ต้องการต่อไป

<u>หมายเหตุ</u>

ในการเขียน Curve ของ Stress vs. Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

<u>4. การคำนวณ</u>

4.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{(M_1 - M_2)\,100}{M_2}$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

4.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

4.3 คำนวณค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิตร

W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4.4 คำนวณหาค่า CBR.

ในการคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) ดังนี้

Penetration (mm)	Standard Load (kg)	Standard Unit Load (Y) (kg / cm)
2.54 (0.1")	1360.8 (3000 lb.)	70.3 (1000 lb. / in)
5.08 (0.2")	2041.2 (4500 lb.)	105.46 (1500 lb. / in)
7.62 (0.3")	2585.5 (5700 lb.)	133.59 (1900 lb. / in)
10.16 (0.4")	3129.8 (6900 lb.)	161.71 (2300 lb. / in)
12.70 (0.5")	3538.0 (7800 lb.)	182.81 (2600 lb. / in)

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อกด = 1935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว)

คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจาก

สูตร

$$CBR = \frac{X \times 100}{Y}$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 2.54 มิลลิเมตร)

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร (จากตารางข้างบนนี้)

5. วิธีการนำเสนอข้อมูล

เมื่อทำการหาค่า CBR ที่ความชื้นและจำนวนการบดทับต่าง ๆ แล้ว จากนั้นให้นำค่า ความแน่น (Dry Density) กับปริมาณความชื้น (% Water Content) ที่ได้จากการบดทับในการทำการทดลองหา CBR มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่น (Dry Density) กับปริมาณความชื้น (% Water Content) ซึ่งจะได้กราฟแต่ละจำนวน Blow คือ ที่ 12, 25 และ 55 Blow / Layer โดยแต่ละจุดของกราฟจะแสดงค่าของ %CBR ที่ได้จากการทดลอง จากนั้นให้เขียนเส้นระดับของค่า %CBR หรือเส้น Iso – CBR. ที่ได้แต่ละค่าตามความเหมาะสม ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่น (Dry Density) กับปริมาณความชื้น (% Water Content) โดยมีเส้นระดับ %CBR หรือ Iso – CBR. แสดงบนเส้นกราฟด้วย