กรมทางหลวง
สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR
(เทียบเท่า AASHTO T 193)

* * * * * *

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้ เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้ "วิธี ก."

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่า CBR ต้องมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์, 50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้อาจจะเป็นเครื่องแบบใช้มือหมุน (กรณีใช้เฟือง) หรือใช้ปั๊ม (กรณีใช้ Hydraulic) หรือแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ในกรณีฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกด (Piston) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง โดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือลงด้วย Dial Gauge มีอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้ท่อนกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านแรงกด (กรณีใช้เฟืองเป็นตัวดันขึ้นหรือดันลง) หรือหน้าปัดอ่านแรงกด (กรณีใช้ Hydraulic เป็นตัวดันขึ้นหรือดันลง) ได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม (20 นิวตัน) หรือน้อยกว่านั้น (ดังรูป)

2.1.2 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 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) ดังรูป

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

2.1.4 ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะมี 2 แบบ ดังนี้

(1) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 4,537 กรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "สูงกว่ามาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517

(2) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "มาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517

2.1.5 เครื่องวัดการขยายตัว (Expansion Measuring Apparatus) ประกอบด้วย

(1) แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) ทำด้วยโลหะมีก้านที่สามารถจะจัดให้สูงหรือต่ำได้ และมีรูพรุน (ดังรูป)

(2) สามขา (Tripod) สำหรับวัดการขยายตัว มีลักษณะเป็นรูปสามขา ติดด้วย Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร วัดได้ 25 มิลลิเมตร (หรือจะใช้ Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว วัดได้ 1 นิ้ว แทนก็ได้) เพื่อวัดการขยายตัว (ดังรูป)

2.1.6 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มิลลิเมตร (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 54.0 มิลลิเมตร (2 1/8 นิ้ว) เพื่อให้ท่อนกดสอดผ่านไปได้ โดยมีมวลเท่ากับ 2 ,268 กรัม (5 ปอนด์) ดังรูป

แผ่นถ่วงน้ำหนักนี้อาจเป็นแบบผ่าครึ่งเป็นสองซีก หรือผ่าเป็นร่องก็ได้

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

2.1.8 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.9 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.10 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.11 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110± 5° ซ. สำหรับอบดินตัวอย่าง

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

2.1.13 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

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

(1) ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

2.1.15 เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.16 กระป๋องอบดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.17 นาฬิกาจับเวลา

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.2.2 น้ำสะอาด

2.2 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์ม ที่ ว. 2-11 สำหรับการทดลองหาค่า CBR

ที่ ว.2-15 สำหรับ Plot Curve CBR

ที่ ว.2-15 ก. สำหรับการ Plot Curve หาค่า CBR

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

2.4.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3%) นำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

(2) ทำการชั่งหามวลของแต่ละขนาด ที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร ให้ทิ้งไป

(4) แทนที่ตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่าง เช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริงดังนี้

สมมุติ ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,650 กรัม

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 4,850 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,650+4,850 = 7,500 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

(5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 (4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3%) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งแล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ2.4.3 แล้วแต่กรณีให้มีมวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ตัวอย่าง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมไว้ 3 ตัวอย่าง ในการทดลองแต่ละครั้ง

2.5 การทดลอง

2.5.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

(1) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2.4 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

(2) โดยวิธีการทดลอง Compaction Test ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517 หรือ ทล.-ท. 108/2517 จะทราบปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ให้ใช้ปริมาณน้ำในดินดังนี้

- ดูแบบฟอร์มที่ ว. 2-05 ในการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517 หรือ ทล.-ท. 108/2517 เปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างกับปริมาณน้ำในดินที่คำนวณได้จากการอบตัวอย่าง จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองดังกล่าว เป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

- กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยการอบหรือคั่วให้แห้ง ก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง ให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

(3) เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 2.5.1 (2)

(4) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

(5) นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้วและใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

(6) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

(7) ทำการบดทับโดยใช้ค้อน ตามข้อ 2.1.4 (1) หรือ 2.1.4 (2) แล้วแต่กรณี จำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ

(8) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 มิลลิเมตร

(9) ถอดปลอก (Collar) ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับแล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ

(10) คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแบบ ยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับแล้วออก นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่นฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐานขันสกรูและใส่ปลอกเข้าที่ ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR ต่อไป (กรณีต้องการทดลองตาม "วิธี ข." ดังกล่าวในขอบข่าย ไม่ต้องใส่กระดาษกรองรองใต้แบบ)

(11) ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้งและ 56 ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นในข้อ 2.5.1 ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าการบดทับเท่ากับ 12 ครั้ง, 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง ต่อชั้น

2.5.2 การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

(1) นำตัวอย่างพร้อมแบบที่เตรียมไว้จากข้อ 2.5.1 (11) ไปชั่งจะได้มวลของตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก (A)

(2) ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ 2.5.1 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม

(3) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρt (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง ρd (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content) โดยใช้สูตรตามข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3

2.5.3 การหาค่าการขยายตัว (Swell)

(1) นำแผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Materials) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade วางลงบนตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ 2.5.1 (10) ให้แนบสนิทกับตัวอย่างโดยขยับไปมา แล้วนำลงแช่ในน้ำให้ท่วมตัวอย่างให้หมด วางก้านสามขา (Tripod) ลงบนปลอกของแบบจัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge แช่น้ำทิ้งไว้ บันทึกวันและเวลาที่อ่าน Reading บน Dial Gauge และอ่าน Reading บน Dial Gauge ทุก ๆ วัน เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (Swell) ในการอ่าน Reading บน Dial Gauge แต่ละครั้ง ถ้าจำเป็นต้องตั้งสามขาใหม่ ให้พยายามตั้งให้ขาของสามขาและแกนของ Dial Gauge อยู่ที่เดิมเช่นเดียวกับการอ่าน Initial Reading โดยทำเครื่องหมายไว้บนปลอก

(2) เมื่อครบกำหนด 4 วัน ถึงแม้ว่าการขยายตัวยังเพิ่มอยู่เรื่อยๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเร็วกว่า 4 วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออกตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย โดยเฉพาะวัสดุจำพวก Granular Material เสร็จแล้วทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังแช่น้ำแล้ว นำตัวอย่างเตรียมไว้เพื่อทดลอง Penetration Test ต่อไปโดยทันที

2.5.4 การทดลอง Penetration Test เพื่อหาค่า CBR

(1) ถ้าต้องการทดลองโดย "วิธี ข." วิธีไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ไม่ต้องดำเนินการหาค่าการขยายตัว (Swell) ตามข้อ 2.5.3 ให้นำตัวอย่างภายหลังจากการชั่งหามวลตามข้อ 2.5.2 มาทดลอง Penetration Test ได้ทันที

(2) นำตัวอย่างตามข้อ 2.5.3 (2) หรือ 2.5.4 (1) แล้วแต่กรณีมาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade ลงบนตัวอย่าง

(3) นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

(4) หมุนเครื่องหรือเดินเครื่องหรือปั๊ม แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย การที่ให้มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress vs. Penetration

(5) เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้นๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

(6) ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

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

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

(7) นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกด ๆ ลงไปเป็นรูไปหาปริมาณน้ำในดิน ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามข้อ 2.5.2 (2)

(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

หมายเหตุ

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

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ ρt = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ หรือปริมาตรของแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho d = \frac{\rho t}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρd = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρt = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

w = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.4 คำนวณหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$\text{Swell} = \frac{S}{H} \times 100$$

เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.5 คำนวณหาค่า CBR

ในการคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) ดังนี้

Penetration (mm.)	Standard Load (kg.)	Standard Unit Load (Y) ($kg./cm^2$)
2.54 (0.1″)	1 360.8 (3 000 lb)	70.3 (1 000 lb/in^2)
5.08 (0.2″)	2 041.2 (4 500 lb)	105.46 (1 500 lb/in^2)
7.62 (0.3″)	2 585.5 (5 700 lb)	133.59 (1 900 lb/in^2)
10.16 (0.4″)	3 129.8 (6 900 lb)	161.71 (2 300 lb/in^2)
12.70 (0.5″)	3 538.0 (7 800 lb)	182.81 (2 600 lb/in^2)

หมายเหตุ 1. ถ้าต้องการแปลงหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก

2. พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

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

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

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จากตารางข้างบนนี้)

4. การรายงาน

ในการทำการทดลอง CBR ให้รายงานดังนี้

4.1 ค่า CBR ที่ความแน่น X% ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.2 ค่าความแน่นแห้งที่ให้ค่า CBR ตามข้อ 4.1 ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4.3 ค่าการขยายตัว (Swell) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.4 และค่าอื่นๆ ตามแบบฟอร์มที่ ว.2-15 ก.

5. ข้อควรระวัง

5.1 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดเท่าที่มากได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่นพื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้น ขณะทำการบดทับ

5.3 ปริมาตรของแบบ (V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ หรือจากที่แสดงไว้ในข้อ 2.1.2

5.4 ปริมาณของน้ำที่ใช้ผสม เพื่อเตรียมตัวอย่างทำ CBR ถ้าต้องการใช้ค่าต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในวิธีการทดลอง วิธีนี้ย่อมทำได้สำหรับงานวิจัยหรืองานอื่นใด แต่ถ้าไม่แสดงไว้ว่าต้องการใช้ปริมาณน้ำเท่าใดแล้ว ให้ใช้ปริมาณน้ำตามข้อ 2.5.1 (2) เสมอไป

5.5 ในการทดลอง Penetration Test โดยใช้ Proving Ring เป็นตัวอ่านแรงและใช้ Penetration Dial Gauge ติดที่ Frame ของเครื่องกดต้องทำการแก้ค่า Penetration เนื่องจากการหดตัวของ Proving Ring โดยหักค่าการหดตัวของ Proving Ring ออกจากค่า Penetration ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในแบบฟอร์มที่ ว.2-11 กรณีที่ติด Penetration Dial Gauge ที่ท่อนกด ไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

5.6 เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Unit Load และค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับ Curve ที่หงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่าง เนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือ เส้นที่ลากผ่าน Unit Load เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetration ไปที่จุดตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไปเรียกว่า Corrected CBR Value

5.7 ค่า CBR ที่ได้จาก Corrected Load Value หรือจาก True Load Value (Curve ถูกต้องไม่ต้องแก้ Curve) คำนวณจาก Penetration 2.54 มิลลิเมตร (0.1 นิ้ว) และที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร (0.2 นิ้ว) เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มิลลิเมตร จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร ถ้าหากไม่เป็นดังนั้นคือค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร สูงกว่าที่ 2.54 มิลลิเมตร ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถ้ายังสูงกว่าอยู่อีกให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร

5.8 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่าหรือน้อยกว่า ที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve ตามข้อ 2.5.4 (10) ก็ได้ (ในแบบฟอร์มที่ ว.2-15 ก. ก็ได้เตรียมช่องเพื่อลงรายการไว้ด้วยแล้ว)

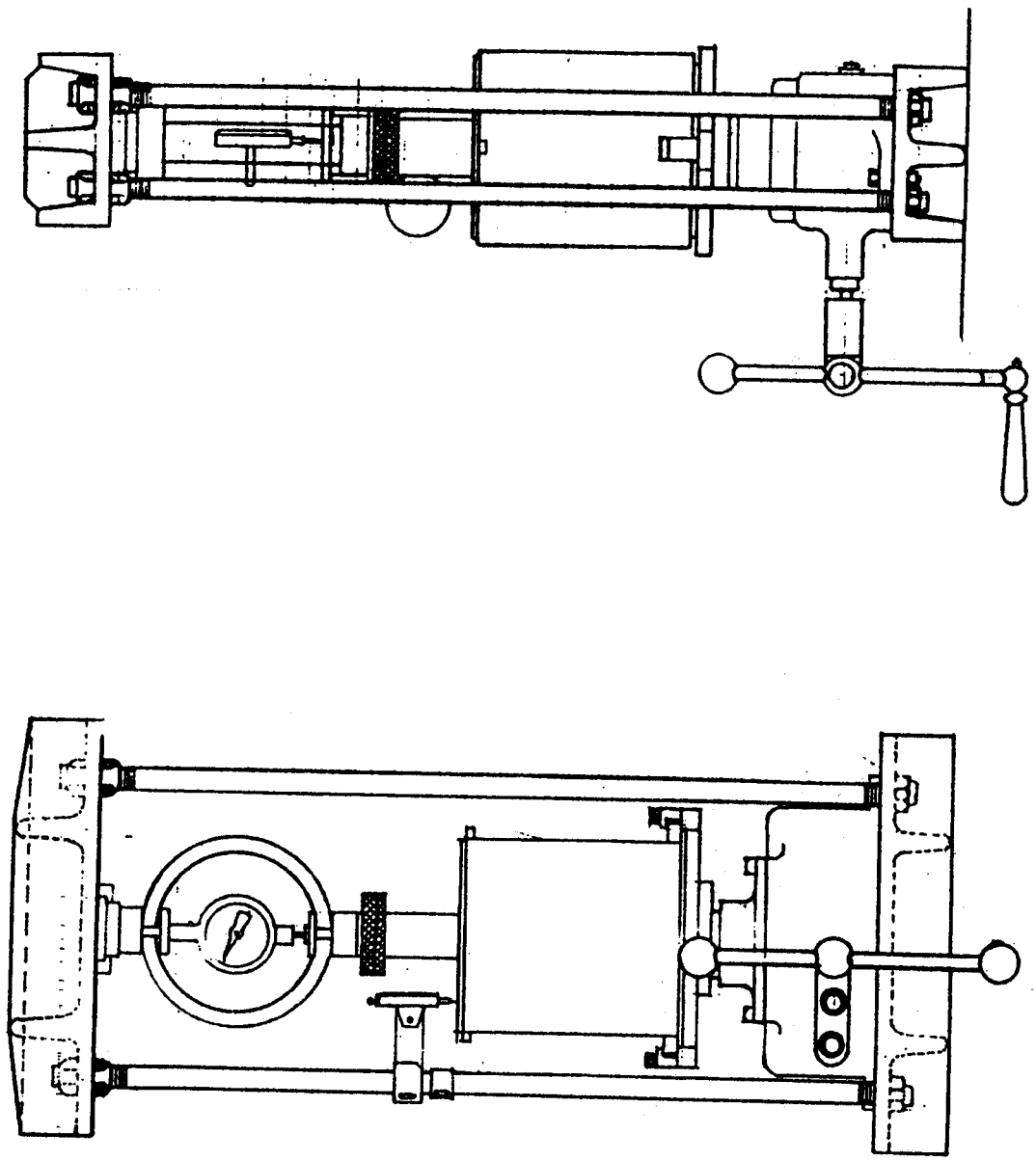
5.9* ค้อนที่ใช้ทำการบดทับเพื่อเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่า CBR มี 2 ขนาด คือ ตามข้อ 2.1.4 (1) และข้อ 2.1.4 (2) ในการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล.-ท. 107/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดเล็ก (ข้อ 2.1.4 (1)) ส่วนการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล.-ท. 108/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดใหญ่ (ข้อ 2.1.4 (2))

6. หนังสืออ้างอิง

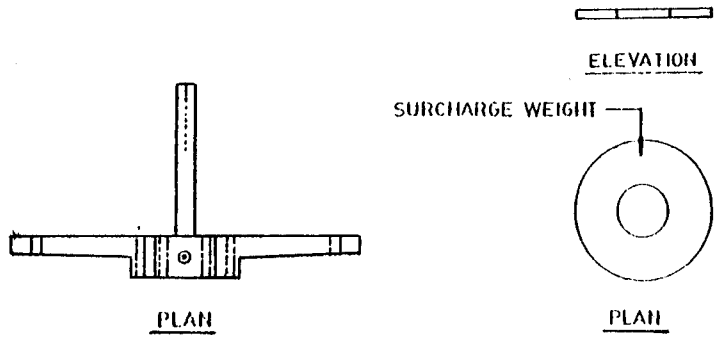
6.1 The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO Designation : T 193

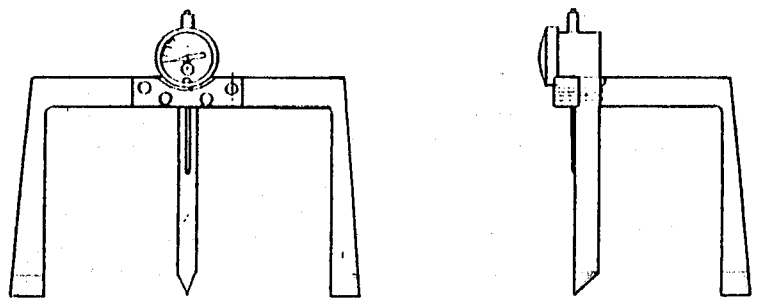
6.2 The Asphalt Institute. Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures, Manual Series No. 10, (MS-10)

* ข้อ 5.9 ได้เพิ่มเติมในการพิมพ์ครั้งที่ 2 เพราะหน่วยงานต่าง ๆ มักจะปฏิบัติผิดโดยใช้ค้อนขนาดใหญ่ทั้ง 2 วิธีการ

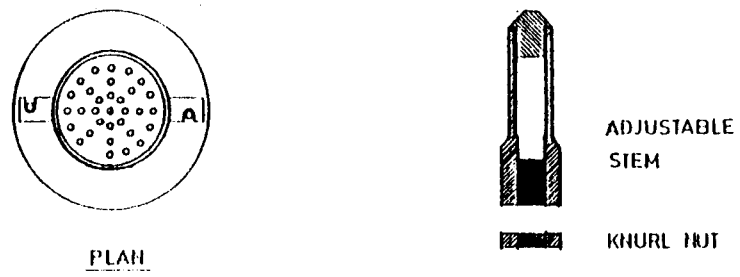


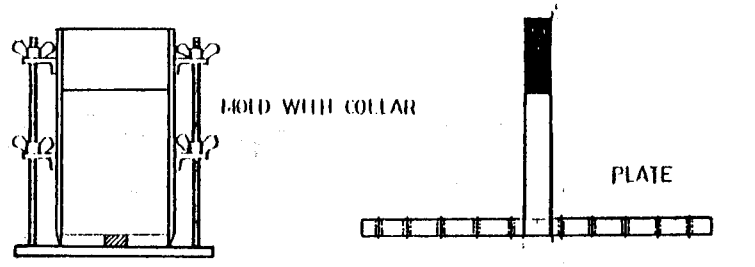
LABORATORY LOADING MACHINE

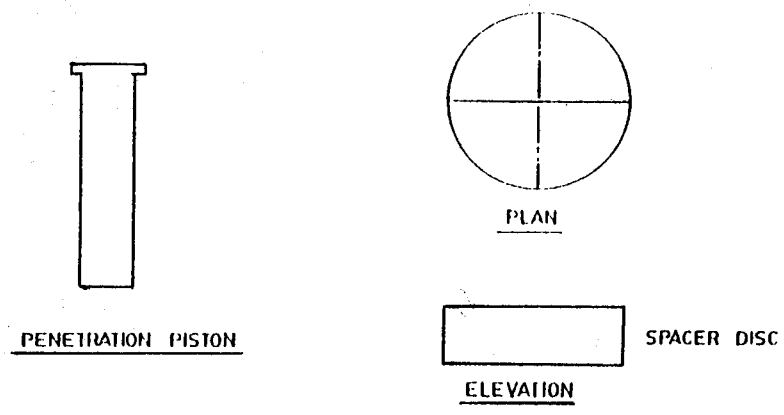




EXPANSION MEASURING APPARATUS (TRIPOD)







สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

อันดับทดลองที่ C-443

เจ้าของตัวอย่าง

หนังสือที่ วันที่รับหนังสือ

ทางสาย พระประแดง-บางขุนเทียน ตอน 3

เจ้าหน้าที่ทดลอง ชัยฤทธิ์ วันที่รับตัวอย่าง วันที่ทดลอง 28/4/43

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Sample Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. Rt.

Mold No. 4 Weight 9.200 Kg. Volume 2127 cc. Factor 8.3195 lb/Div-23 lb

DENSITY

No. blows 12

No. Layers 5

Wt. Hammer 4.537 Kg.

Drop 45.72 cm.

		before Soaking	After Soaking
Wt. Mold+Soil	Kg.	13.258	13.415
Wt. Mold	Kg.	9.200	9.200
Wt. Soil	Kg.	4.058	4.215
Wet. Density	gm./cc.	1.908	1.982
Dry Density	gm./cc.	1.780	1.797

WATER CONTENT

Can No.		25	46	33	9
Wt. Can+Wet Soil	gm.	300.5	312.0	312.0	315.0
Wt. Can+Dry Soil	gm.	282.7	294.3	293.7	289.5
Wt. Water	gm.	17.8	17.7	18.3	25.5
Wt. Can	gm.	41.6	42.1	42.0	41.7
Wt. Dry Soil	gm.	241.1	252.2	251.7	247.8
Water content	%	7.4	7.0	7.3	10.3
Average Water content	%	-	7.2	-	-

PENETRATION TEST : Surcharge 2 pcs. = 4.536 Kg. Proving Ring No. 200382

Piston area = 19.355 cm.^{2} (3 in.^{2}) at 1.27 mm./min (0.05 in/min)

Date	Time	Reading mm.	Swell mm.	Swell %	Days	Pene (mm.) (1)	Dial Reading (mm.) (2)	Cor. Prne. (mm.) (3)=(1)-(2)	load (Kg.) rdg. from (2)	Bearing Value Kg./cm.^{2}	Bearing Ratio (From Curve)
28/4/43	10.30	1.00	-	-	0	0.63 (0.025")	7				
29	"	1.17	0.17	0.14	1	1.27 (0.050")	16				
30	"	1.19	0.19	0.16	2	1.90 (0.075")	25				
1/5/43	"	1.20	0.20	0.17	3	2.54 (0.100")	36				
2	"	1.20	0.20	0.17	4	3.17 (0.125")	45				
(1) Optimum Moist.				7.5	%	3.81 (0.150")	55				
(2) Original Moist.				0.7	%	4.44 (0.175")	62			Dial ติดกับ Pistion	
(3) Water to be added (1)-(2)				6.9	%	5.08 (0.200")	70				
(4) Use soil passing # 4				2460	gm.	6.35 (0.250")					
(5) Use soil retained # 4				3540	gm.	7.62 (0.300")					
(6) Total dry soil (4)+(5)				6000	gm.	8.89 (0.350")					
(7) Total dry soil (6)÷ $\frac{100+(2)}{100}$				5961	gm.	10.16 (0.400")					
(8) Total water to be added $\frac{408}{(7)X(3)}$					gm.	11.43 (0.450")					
						12.70 (0.500")					

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

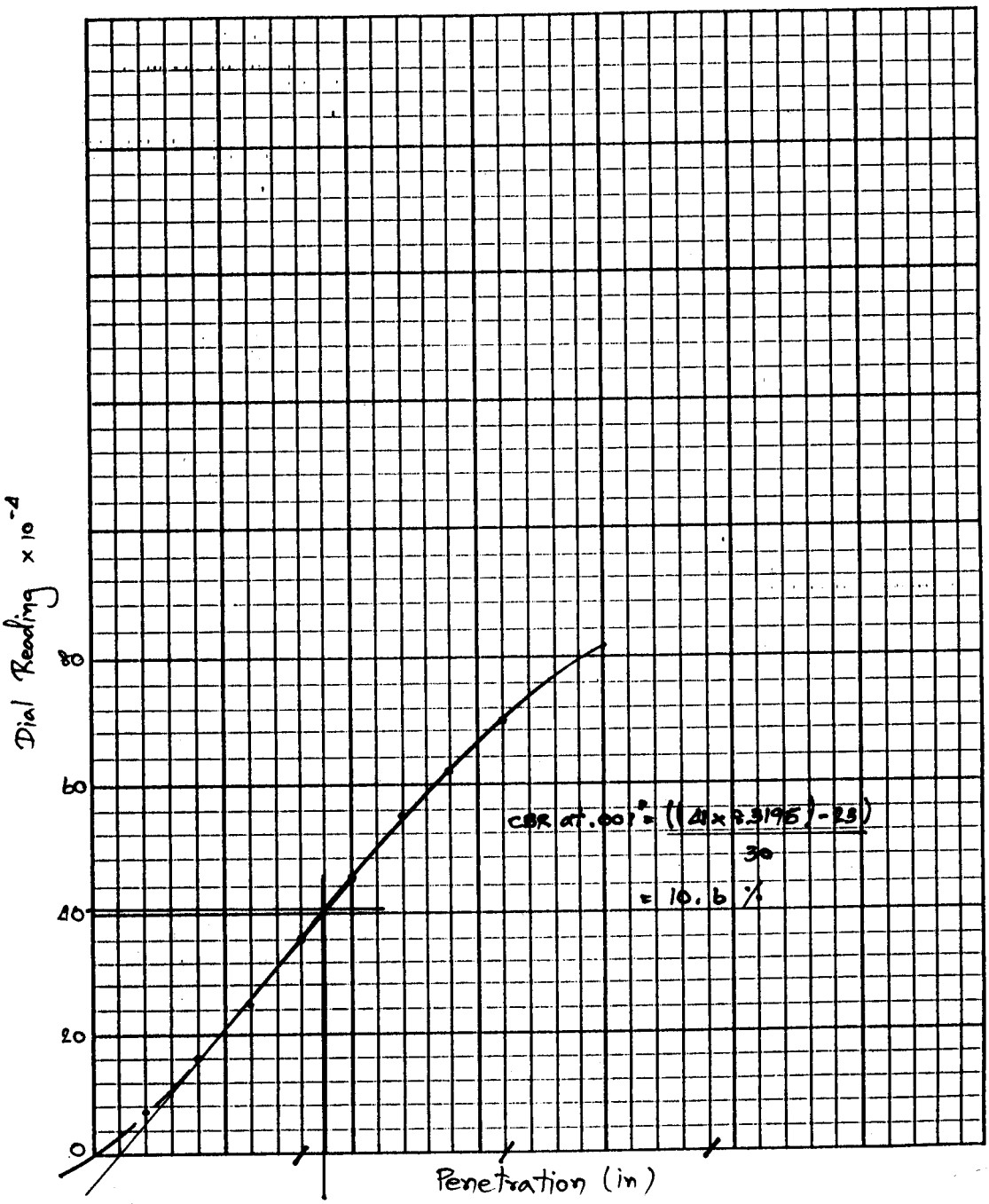
Test No. C-443

Type of test CBR. at 12 Blows

Date 2/5/43

Source Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. RT.

Plotted by ชัยฤทธิ์



SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test .....C-443 (G-22).....

Type of material .....Weathering Rock..... To be used for .Subbase Layer.....

Source .....บ่อสุรวิทย์ อ.พุแค จ.สระบุรี..... Stock pile No. .....

Location of sampling .....km. 43+150-43+295 Frontage Rd., RT.....

Tested by .....อวยพร, ชัยฤทธิ์..... Dated ....3/5/43.....

Materials		Passing							L.L.	P.L.
		50.0	25.0	19.0	9.5	# 10	# 40	# 200		
A	A-2-4	100.0	91.5	86.7	60.9	30.0	20.8	16.9	28.8	8.3
B	Grade "B"			#4 =	41.0					
Mixed A : B =										

Blow	Density gm/cc.	CBR%	Swell%
8	-	-	-
12	1.780	10.6	0.17
25	1.874	37.5	0.14
56	1.979	53.6	0.10
75	-	-	-

100%.....Mod.....Comp. (ทล.-ท. 108/2517.....) = ...1.995..... gm./cc.

95%.....Mod.....Comp. (ทล.-ท. 108/2547.....) = ...1.895..... gm./cc.

O.M.C. = ...7.5.....% water content of (molding) CBR = ...7.2.....%

Required CBR .....≥25.0.....% Raise percent compaction .....-.....%