

กรมทางหลวง
สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง
วิธีการทดลอง Compaction Test แบบมาตรฐาน
(เทียบเท่า AASHTO T 99)

* * * * *

1. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้ “วิธี ก.”

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ปรับปรุงจาก AASHTO T 99 และ ASTM D 698 T

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาด คือ

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูงประมาณ 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานที่บดตามรูปที่ 1

(2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูงประมาณ 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุนในการทดลองต้องใช้แหงโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.2 รองด้านใต้ เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตามรูปที่ 2 โดยไม่ต้องใช้แหงโลหะรอง แต่ต้องมีฐานทึบหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แหงโลหะรองแล้ว ให้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.2 แหงโลหะรองเป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5 15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.1-(2) แล้ว จะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.3 ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำให้ไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับระยะตกเท่ากับ 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมียุระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบหลังจากทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วย Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่ได้ใช้ ให้ใช้ส่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.6 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.7 เตอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร และไม่ยาวเกินไปจนกะกะ หนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

2.1.9 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(1) ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

2.1.10 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นอย่างอื่นที่ใช้ผสมตัวอย่าง ได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.11 กระจบองอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.2-05 สำหรับทำ Compaction Test และที่ ว.2-15 สำหรับ Plot Curve ผลการทำ Compaction Test

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

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

(1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้งและทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อเห็นแห้งพอเหมาะสมแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3%) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น 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) ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามีมวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีจำนวนอยู่ขนาดละเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป

(4) แทนที่มวลของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่นมีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริงดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร 2,650 กรัม

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้วจะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นจำนวน $2,650 + 4,850 = 7,500$ กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

(5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 (4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศ แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ 2.4.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณดังต่อไปนี้

(1) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 (1) ให้ใช้มวลประมาณ 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

(2) ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่างๆ ดังกล่าว ในขอบข่ายแล้วให้ดำเนินการทดลองดังนี้

- 2.5.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี
- 2.5.2 เติมน้ำจำนวนหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความชื้นสูงสุด (Optimum Moisture Content)
- 2.5.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วด้วยมือ หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี
- 2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ $1/3$ ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)
- 2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้
- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง
 - ตามวิธี ข. และ ง. จำนวน 56 ครั้ง
- 2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 3 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)
- 2.5.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างและใช้ค้อนทุบให้แน่นพอควรแล้วนำไปชั่ง จะได้มวลของดินตัวอย่าง และมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)
- 2.5.8 ในขณะที่เดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดิน ให้ใช้ดังนี้
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม
 - ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม
- 2.5.9 คำนวณหาค่าความชื้นเปียก, ρ_t (Wet Density) และความชื้นแห้ง, ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content)
- 2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึงข้อ 2.5.9 โดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความชื้นลดลงจึงหยุดการทดลองหรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเติมน้ำแล้วได้ความชื้นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้
- 2.5.11 เขียน Curve ระหว่างความชื้นแห้ง (ρ_d) และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ (w) ก็จะทราบค่าความชื้นแห้งสูงสุด Max. ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความชื้นแห้งสูงสุด, OMC. (Optimum Moisture Content)

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4. การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบมาตรฐานให้รายงานดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (แบบมาตรฐาน)

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่าง ความแน่นแห้งสูงสุด (แบบมาตรฐาน) 2.010 กรัมต่อมิลลิลิตร
 (ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)
 ปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความแน่นแห้งสูงสุด 20.8%
 (ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับดินเหนียว (Cohesive Soil) ควรใช้ปริมาณต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำที่ทำให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

สำหรับดินทราย (Cohesionless Soil) ควรเริ่มจากดินตากแห้ง แล้วค่อยๆ เพิ่มปริมาณน้ำขึ้นทีละน้อย เพื่อให้ได้จำนวนจุดที่จะนำไปเขียน Curve มากที่สุด

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่มีมั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าจำนวนน้ำที่ทำให้ความแน่นสูงสุดประมาณไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าจำนวนน้ำที่ทำให้ความแน่นสูงสุดประมาณ 1 ตัวอย่าง

5.4 สำหรับดินที่เหนียวมากหลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบดจนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

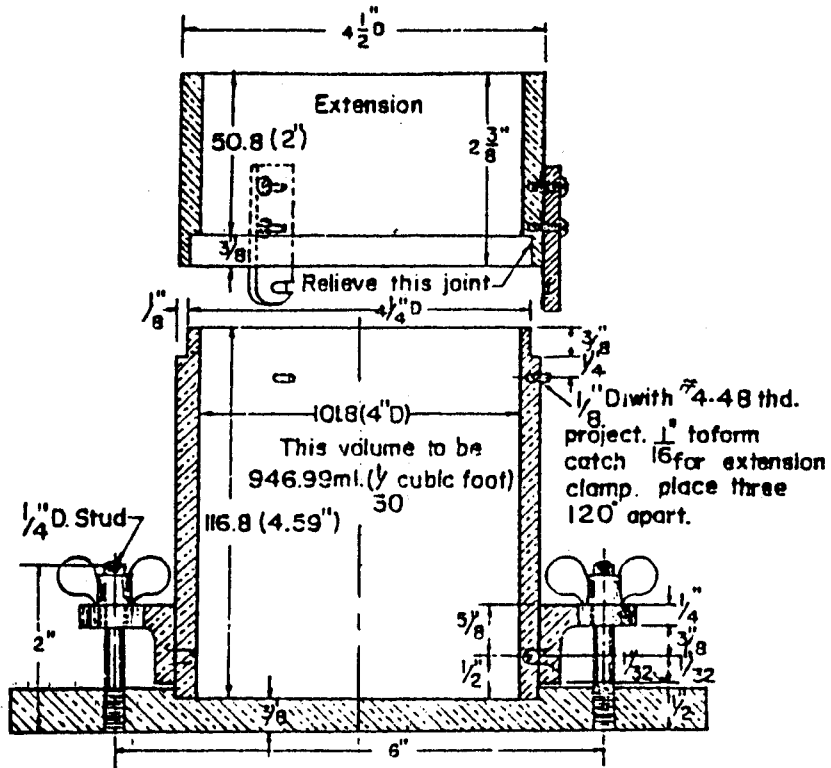
5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

6. หนังสืออ้างอิง

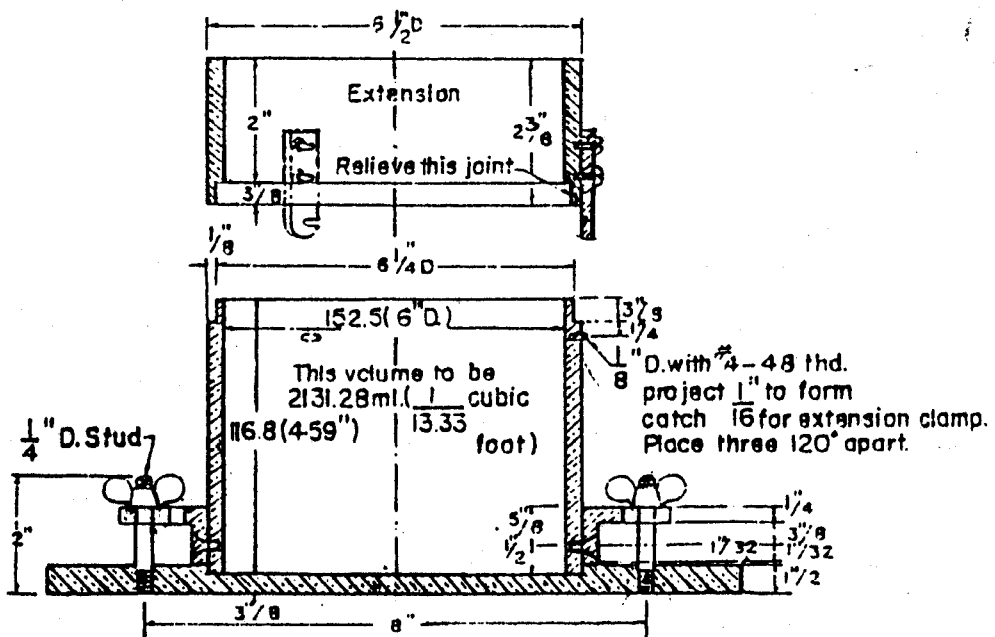
6.1 The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sample and Testing, AASHTO Designation : T99.

6.2 The American Society of Testing Materials ASTM Standards, ASTM Designation : D 698T

* * * * *



รูปที่ 1 Cylindrical Mold, 101.6 mm. (4.0 in) for Soil Tests.



รูปที่ 2 Cylindrical Mold 152.5 mm (6.0 in.) for Soil Tests

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง

อันดับทดลองที่..... P-3

เจ้าของตัวอย่าง.....

หนังสือที่..... วันที่รับหนังสือ.....

ทางสาย..... พระประแดง-บางขุนเทียน ตอน 3

เจ้าหน้าที่ทดลอง..... ชัยฤทธิ์..... วันที่รับตัวอย่าง..... วันที่ทดลอง..... 1/5/43

COMPACTION TEST

Soil Sample : Sand Bedding-Backfill Layer MWAØ 1,000 mm.

Location : Boring No. : Depth :

Type Test : Std. Comp Mold Wt. : 3.528 Kgs. Volume : 936.6 ml.

DENSITY

Trial (Water added) %	10	12	14	16			
Wt. Mold+Soil (Kg.)	5.265	5.380	5.437	5.416			
Wt. Mold (Kg.)	3.528	3.528	3.528	3.528			
Wt. Soil (Kg.)	1.737	1.852	1.909	1.888			
Wet. Density (gm./ml.)	1.855	1.977	2.038	2.016			
Dry Density (gm./ml.)	1.679	1.760	1.780	1.725			
Void Ratio e							
Porosity n							

WATER CONTENT

Can No.	27	12	19	23			
Wt. Can+Wet Soil (gm.)	380.7	346.8	362.3	373.8			
Wt. Can+dry Soil (gm.)	348.5	313.4	321.6	325.8			
Wt. Water (gm.)	32.2	33.4	40.7	48.0			
Wt. Can (gm.)	41.5	42.0	40.9	42.0			
Wt. Dry Soil (gm.)	307.0	271.4	280.7	283.8			
Water Content (%)	10.5	12.3	14.5	16.9			

Remarks Avg = 0.5%

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง

กรมทางหลวง

Test No. P-3
 Type of test Compaction Test แบบมาตรฐาน วิธี ก.
 Date 2/5/43
 Source Sand Bedding-Backfill Layer MWAØ 1,000 mm.
 Plotted by ชัยฤทธิ์

