ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
เรื่อง วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง

การทดลองที่
ทล. – ท. 101/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน
(เทียบเท่า ASSHO T 100)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Soils) ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) โดยใช้ขวด Pycnometer ถ้าดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้วิธีการทดลอง "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ" ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่จะนำไปใช้ในการคำนวณสำหรับการทดลอง Hydrometer ให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.00 มิลลิเมตร) และใช้ขวด Pycnometer เช่นเดียวกัน

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทอลองประกอบด้วย

1. ขวด Pycnometer ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
3. เทอร์โมมิเตอร์ชนิด 0-100 องศาเซลเซียส
4. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส
5. เตาและภาชนะต้มน้ำ
6. อ่างน้ำ
7. เครื่องกวน (Stirring Apparatus)

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำกลั่น

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.2-06

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ดินที่จะนำมาทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ อาจเป็นดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติ หรือเป็นดินที่อบแห้งแล้วอย่างใดอย่างหนึ่ง

1. การเตรียมตัวอย่างดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติ เตรียมได้โดยการนำเอาดินมาประมาณ 150 กรัมแช่ลงในน้ำกลั่น ผสมดินให้เข้ากับน้ำกลั่น โดยใช้เครื่องกวนแล้วนำดินนี้ไปทดลอง
2. การเตรียมตัวอย่างดินที่อบแห้ง จะต้องอบที่อุณหภูมิประมาณ 100° ซ. อย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรืออบจนกระทั่งมวลของตัวอย่างคงที่ นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นแล้วใช้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม แช่ในน้ำกลั่นอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลอง

2.5 การทดลอง

2.5.1 การเทียบมาตรฐานขวด pycnometer ต้องเทียบมาตรฐานขวด pycnometer ก่อนเพื่อความสะดวกในการใช้ครั้งต่อ ๆ ไป ให้ทำแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของน้ำบวกมวลของขวดกับอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) วิธีเทียบมาตรฐานทำได้ 2 วิธี คือ

(1) โดยการทดลอง ขวดที่จะนำมาเทียบมาตรฐานจะต้องสะอาดและแห้ง ชั่งหามวลของขวด เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุดของ

ระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายที่คอขวด เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหามวลของน้ำบวกมวลของขวด และวัดอุณหภูมิของน้ำกลั่นในขวด นำขวดไปอุ่นให้ร้อนในภาชนะต้มน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับน้ำในขวดจะสูงเกินขีดเครื่องหมาย เอาจุกปิดที่ปากขวดแล้วพลิกขวดไปมา เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำในขวดสม่ำเสมอทั่วกัน เอาน้ำส่วนที่เกินออกจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมาย เช็ดขวดให้แห้ง นำไปชั่งและวัดอุณหภูมิ

การทดลองดังกล่าวข้างต้น ให้ทำที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ระหว่างอุณหภูมิ 35° ซ. และ 60° ซ. เพื่อสะดวกในการทำแผนภูมิที่ต้องการ

(2) โดยการคำนวณหาค่ามวลของน้ำบวกมวลของขวดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้จากสูตร

$$M = M_B + V_B(1 + \Delta T.\varepsilon)(\rho_t - \rho_a)$$

ซึ่ง M = มวลของน้ำ + มวลของขวด มีหน่วยเป็นกรัม

M_B = มวลของขวดเปล่าที่สะอาดและแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

V_B = ปริมาตรของขวด (500 มิลลิลิตร)

สุดของระดับน้ำอยู่ที่เครื่องหมาย และปฏิบัติดังข้างต้น ได้มวลใหม่ที่อุณหภูมิใหม่ ทำเช่นนี้ 4 ครั้ง เสร็จแล้วเทของผสมลงไปในภาชนะที่ทราบมวลแล้ว ถ้ายังมีเศษดินเหลืออยู่ให้เติมน้ำกลั่นลงไปล้างเศษดินเทลงในภาชนะให้หมด นำภาชนะไปอบให้แห้ง ชั่งหามวลของภาชนะกับดินแห้ง จะทราบมวลของดินที่แห้ง (M_S)

3 การคำนวณ

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ได้จากสูตร

$$G_S = \frac{G_T . M_S}{M_S - M_1 + M_2}$$

เมื่อ G_S = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

G_T = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส (ดูตารางที่ 1)

M_S = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

M_1 = มวลของขวด + มวลของน้ำ + มวลของดิน มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของขวด + มวลของน้ำ มีหน่วยเป็นกรัม

T = อุณหภูมิของของผสมในขวด Pcynometer ขณะชั่งหามวล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

$$\Delta T = T - T_C$$

T = อุณหภูมิของน้ำเป็นองศาเซลเซียส ขณะที่ชั่งหามวล

T_C = อุณหภูมิที่ใช้เทียบมาตรฐานขวดที่ปริมาตร V_B (โดยปกติใช้ที่ 20 องศาเซลเซียส)

ε = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวโดยปริมาตรของแก้ว ใช้ค่า 0.100×10^{-4} ต่อองศาเซลเซียส

ρ_t = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร(ดูตารางที่ 1)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ ใช้ค่า 0.001 2 กรัมต่อมิลลิลิตร

ให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดลองมาทำแผนภูมิ ส่วนค่าที่ได้จากวิธีการคำนวณให้ใช้เป็นค่าตรวจสอบแผนภูมินั้น ถ้าแตกต่างกันมากให้ทำการทดลองตรวจสอบค่าที่ได้จากการทดลองใหม่

2.5.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน นำดินที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในขวด Pycnometer เทน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาณ 3 ใน 4 ของขวด Pycnometer แล้วนำไปแช่ในภาชนะต้มน้ำเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด โดยต้มของผสมในขวด Pycnometer ให้เดือดอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำมาเขย่าให้ฟองอากาศขึ้นมาจากก้นขวดจนไม่เห็นฟองอากาศ เติมน้ำกลั่นลงไปอีก ให้ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายแล้วเช็ดขวดภายนอกและภายในจนถึงระดับขีดเครื่องหมายให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหามวล M_1 วัดอุณหภูมิ (ต้องทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกันก่อนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) นำขวด Pycnometer มาแช่น้ำเย็นให้อุณหภูมิของผสมลดต่ำลง ซึ่งปริมาตรจะลดลง เติมน้ำกลั่นให้ส่วนโค้งตอนล่าง

4 ข้อควรระวัง

1. ของผสมหรือน้ำในขวด Pycnometer จะต้องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอในขณะวัด
2. ต้องชั่งหามวลของภาชนะก่อนที่จะนำเอาของผสมในขวด Pycnometer เทลงใส่
3. ต้องระมัดระวังไม่ให้ดินในขวด Pycnometer สูญหายไปในระหว่างเทลงในภาชนะเพื่ออบ มิฉะนั้นมวลของดินที่ได้หลังจากการอบแห้งแล้ว จะไม่ใช่มวลที่แท้จริงในการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน
4. ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำในขวด Pycnometer จะต้องอยู่ที่ขีดเครื่องหมายทุกครั้งเมื่อเวลาชั่ง

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing , Part II , AASHO Designation :T 100

5.2 State of California , Department of Public Work , Division of Highway. Material Manual of Testing and Control Precedures , Vol. I , Test Method No.Calif. 209 - A

5.3 Lambe , T. W.(1951). Soil Testing for Engineers , John Wiley and Son , Newyork.

ตารางที่ 1

ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (G_t)

°ซ.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9995	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9867	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9891

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ_t)ด้วย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

การทดลองที่
ทล. – ท. 102/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหาค่า Liguid Limit (LL) ของดิน
(เทียบเท่า ASSHO T 89)

1. ขอบข่าย

Liquid Limit (LL) ของดิน คือ ปริมาณของน้ำที่มีอยู่พอดีในดิน ซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะ Plastic มาเป็นภาวะ Liquid คิดเทียบเป็นร้อยละของมวลดินอบแห้ง หาได้โดยนำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) มาผสมกับน้ำ ค่า Liquid Limit คือ ปริมาณของน้ำคิดเป็นร้อยละที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง (Liquid Limit Device) ไหลมาชนกันยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) เมื่อเคาะเครื่องมือทดลองซึ่งมีจุดตกกระทบสูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 25 ครั้ง

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)
2. ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร)
3. เครื่องมือทดลอง Liquid Limit 1 ชุด
4. เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)
5. ถ้วยกระเบื้องเคลือบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร (4 ½ นิ้ว หรือ แผ่นกระจกสำหรับผสมดินขนาด 150 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร

6. Spatula ขนาดยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร (3.0 นิ้ว) กว้าง 20 มิลลิเมตร (0.75 นิ้ว)
7. Pipette หรือเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำ
8. กระป๋องอบดินขนาดเล็ก
9. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
10. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างตากแห้งหรืออบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°ซ. มาผสมกันให้ทั่ว แล้วแบ่งด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างดิน หรือใช้วิธี Quartering โดยมากทำพร้อมกับทำ Sieve Analysis ใช้ตัวอย่างซึ่งคาดว่าจะมีส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) มีมวลประมาณ 300 กรัม
2. ถ้ามีตัวอย่างจับเกาะกันเป็นก้อน ให้ใช้เครื่องบดหรือค้อนยางค่อย ๆ บดหรือทุบให้ก้อนดินแตกตัว แต่ต้องไม่ให้ส่วนที่เป็นเม็ดแข็งแตก
3. นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ซ้อนข้างบนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันก้อนโนค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที
4. นำดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ทิ้งไป เทดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ใส่ขวดหรือภาชนะใด ๆ เขียนป้ายบอกแหล่งและหมายเลขทดลองของวัสดุกำกับด้วยทุกครั้ง

2.4 การทดลอง

1. ให้ตรวจสอบเครื่องมือทดลอง Liquid Limit ดังนี้

   (1) เครื่องมือทดลองต้องอยู่ในสภาพดีและมีขนาดถูกต้อง

   (2) สลักยึดถ้วยกระทะต้องไม่สึกหรอจนถ้วยกระทะเอียง

   (3) สกรูยึดถ้วยกระทะจะต้องแน่น

   (4) แนวปาดดินในถ้วยกระทะจะต้องไม่สึกเป็นร่อง

   (5) ให้ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดินบ่อย ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของเครื่องมือนี้ยังคงถูกต้องตามมาตรฐาน

   (6) ให้ตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น โดยใช้ด้ามของเครื่องมือปาดร่องดิน ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มม. วัดระยะตกของถ้วยกระทะให้ได้ 10 มม. ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับโดยคลายสกรูยึดถ้วยกระทะให้หลวมเสียก่อน ปล่อยให้ถ้วยกระทะขยับวางลงบนที่วัดแล้วจึงขันสกรูยึดให้แน่นดังเดิม หมุนที่หมุนถ้วยกระทะเร็ว ๆ หลาย ๆ ครั้ง ถ้าได้ยินเสียง "แก๊ก" เบา ๆ แสดงว่าการตั้งถูกต้องแล้ว แต่ถ้าถ้วยกระทะยังคงสูงขึ้นไปอีกหรือไม่ได้ยินเสียง "แก๊ก" เลย จะต้องปรับเครื่องใหม่

2. นำตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมไว้มาเทบนแผ่นกระจก ผสมกันให้ทั่วแล้วแต่งเป็นรูปทรงกรวย ใช้ Spatula กดยอดทรงกรวย แล้วหมุน Spatula จนครบรอบ เพื่อทำให้กองวัสดุตัวอย่างแบนราบลง ใช้ Spatula แบ่งตัวอย่างเป็น 4 ส่วนด้วยวิธี Quartering นำส่วนตรงกันข้ามรวมกันเพื่อทดลอง ส่วนที่เหลือเก็บไว้ใช้ทดลองเพิ่มเติม ถ้าต้องการภายหลัง

3. นำตัวอย่างที่แบ่งมานี้ผสมกับน้ำในถ้วยกระเบื้องเคลือบ หรือบนแผ่นกระจก เติมน้ำลงไปประมาณ 15-20 มล. ใช้ Spatula ผสมไปมา และบี้จนกระทั่งดินและน้ำผสมทั่วกันแล้วเพิ่มน้ำอีกครั้งละประมาณ 1-3 มล. ผสมให้เข้ากันจนทั่ว ใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 5-10 นาที
4. เมื่อผสมน้ำและคลุกจนทั่วแล้ว กะให้เคาะได้ประมาณ 40 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใช้แผ่นกระจกปิดข้างบน ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 50 นาที และไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียว(ถ้ามี)ดูดซึมน้ำจนทั่ว
5. นำตัวอย่างใส่ลงตรงกลางถ้วยกระทะ ใช้ Spatula กดและปาดดิน โดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุดและป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ข้างใน ให้ดินตรงกลางถ้วยกระทะหนา 10 มม. แล้วนำตัวอย่างที่เหลือกลับมาเก็บในถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม
6. จับยึดถ้วยกระทะให้แน่น ใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลางให้ได้ร่องที่สะอาดและเรียบร้อย

   ในกรณีที่ตัวอย่างค่อนข้างแข็ง หรือมี Plasticity Index (PI) ต่ำ การกดเครื่องมือปาดร่องดินลงไปอาจจะทำให้ตัวอย่างทางด้านปลายฉีกหลุดหรือดินเคลื่อนออกจากกัน ดังนั้นให้ค่อย ๆ ปาดจากหน้าไปหลังและหลังไปหน้า กลับไปกลับมาหลาย ๆ ครั้ง แต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง และค่อย ๆ ปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อย ๆ จนครั้งสุดท้ายแตะก้นถ้วยพอดีและได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย
7. หมุนเคาะถ้วยกระทะด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันเป็นระยะยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จจะต้องไม่เกิน 3 นาที
8. ถ้าไม่แน่ใจว่าการทดลองในข้อ 7 ถูกต้อง ให้ทำการตรวจสอบโดยรีบนำตัวอย่างมาผสมกันใหม่โดยเร็ว แล้วนำกลับไปทดลองใหม่ ถ้าการเคาะในครั้งนี้นับจำนวนครั้งได้เท่าเดิมหรือต่างกันหนึ่งครั้ง ถือว่าการทดลองถูกต้อง แต่ถ้าผิดกันมากกว่านั้น จะ

ต้องนำเอาตัวอย่างมาผสมกันใหม่เพื่อให้น้ำได้ผสมกับตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำมาทดลองอีกครั้งหนึ่ง การตรวจสอบนี้จะมีความสำคัญมากในช่วงที่ใส่น้ำลงไปมาก ๆ และตัวอย่างมี PI สูงเพราะตัวอย่างดูดซึมน้ำยังไม่เต็มที่ขณะทำการทดลอง และยังคงดูดซึมน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้การทดลองมีค่าแตกต่างกัน

9. ทันทีที่เคาะจนตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ให้ใช้ช้อนตักตัวอย่างผ่านตรงที่ตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่าง เอาตัวอย่างใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปชั่งหามวล จดจำนวนครั้งที่เคาะไว้ด้วย

10. รวมตัวอย่างจากถ้วยกระทะมาใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบตามเดิม (หรือบนแผ่นกระจกแล้วแต่กรณี) เติมน้ำลงไปแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 5 ถึง 9

11. ทำการทดลอง 4 จด แต่ละจุดให้การเคาะต่างกันประมาณ 5-7 ครั้ง และจุดต่าง ๆ ควรอยู่ระหว่างช่วงดังต่อไปนี้

    จุดที่ 1 ช่วงการเคาะ 35 – 40 ครั้ง

    จุดที่ 2 ช่วงการเคาะ 25 – 35 ครั้ง

    จุดที่ 3 ช่วงการเคาะ 20 – 30 ครั้ง

    จุดที่ 4 ช่วงการเคาะ 15 – 25 ครั้ง

    การทดลองที่เคาะนอกช่วง 15 – 40 ใช้ไม่ได้

12. ถ้าหากตัวอย่างเปียกเพราะเติมน้ำมากเกินไป แล้วต้องการให้ตัวอย่างแห้งขึ้นให้เกลี่ยตัวอย่างบาง ๆ บนแผ่นกระจกหรือในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผึ่งลมไว้ชั่วครู่ แล้วทำการคลุกผสมกันใหม่ ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนกว่าตัวอย่างจะแห้งตามที่ต้องการ แต่อย่าผึ่งตัวอย่างทิ้งไว้จนผิวหน้าแข็งเป็นคราบขึ้น ห้ามใช้วิธีเอาตัวอย่างใหม่ผสมเพิ่มลงไปเพื่อให้ตัวอย่างแห้งขึ้น

13. ตัวอย่างที่ใส่กระป๋อง หลังจากชั่งหามวลแล้ว (ให้ชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 – 115 ° ซ. อบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบ ทิ้งไว้จนเย็นแล้วชั่งหามวลอบแห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำในดิน(water Content)ของตัวอย่างแต่ละจุด

3. การคำนวณ

คำนวณหาปริมาณน้ำในดินได้จากสูตร

$$w = \frac{\text{มวลของน้ำในดิน (กรัม)}}{\text{มวลของดินอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

4. ข้อควรระวัง

1. ดินตัวอย่างที่มี PI ต่ำเช่น Silty Clay หรือ Sandy Clay ขณะที่ปริมาณน้ำในดินน้อย ๆ การเคลื่อนที่ของตัวอย่างเข้าติดกันในร่อง อาจจะไม่ใช่การเคลื่อนที่(Flow)เข้าสัมผัสกันอย่างแท้จริง แต่เกิดจากปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไปตัวอย่างจึงไม่ยึดเกาะพื้นถ้วยกระทะ ที่ปรากฏให้เห็นเคลื่อนที่เข้าติดกันนั้นอาจเป็นเพราะตัวอย่างเลื่อนไถล (Slip) มาชนกัน ให้ตรวจสอบโดยใช้ Spatula ถ่างดูตรงที่ตัวอย่างชนกัน ถ้าปรากฏว่าตัวอย่าง "ชนกัน" เฉย ๆ ไม่ "ติดเป็นเนื้อเดียว" แสดงว่าเกิดการ Slip ขึ้น ให้เพิ่มน้ำแล้วทดลองใหม่

2. ในการเตรียมตัวอย่างทดลอง จะต้องแน่ใจว่า Sand Grains และ Clay Lumps ต่าง ๆ แยกออกจากกันจนสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ได้ อย่าอบตัวอย่างที่อุณหภูมิเกิน 60° ซ. เพราะจะทำให้ค่า PI และ LL ของวัสดุบางชนิดลดลง และ Organic Matters อาจจะถูกเผาไหม้

3. ให้เก็บตัวอย่างทันทีเมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่เข้ามาติดกันยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) แล้วรีบชั่งหามวล เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีจำนวนน้อยอยู่แล้ว การเก็บรอไว้จะทำให้น้ำระเหยออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องทำงานหรือห้องถิ่นที่มีอากาศร้อน การระเหยของน้ำจะมีมากขึ้น

4. ห้ามผสมตัวอย่างกับน้ำในถ้วยกระทะของเครื่องมือทดลอง แต่ให้ผสมตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือบนแผ่นกระจก

5. ให้วางเครื่องมือทดลองกับพื้นราบทุกครั้งในขณะหมุนเครื่อง ห้ามใช้มืออุ้มเครื่องขึ้นเพื่อหมุนทดลอง

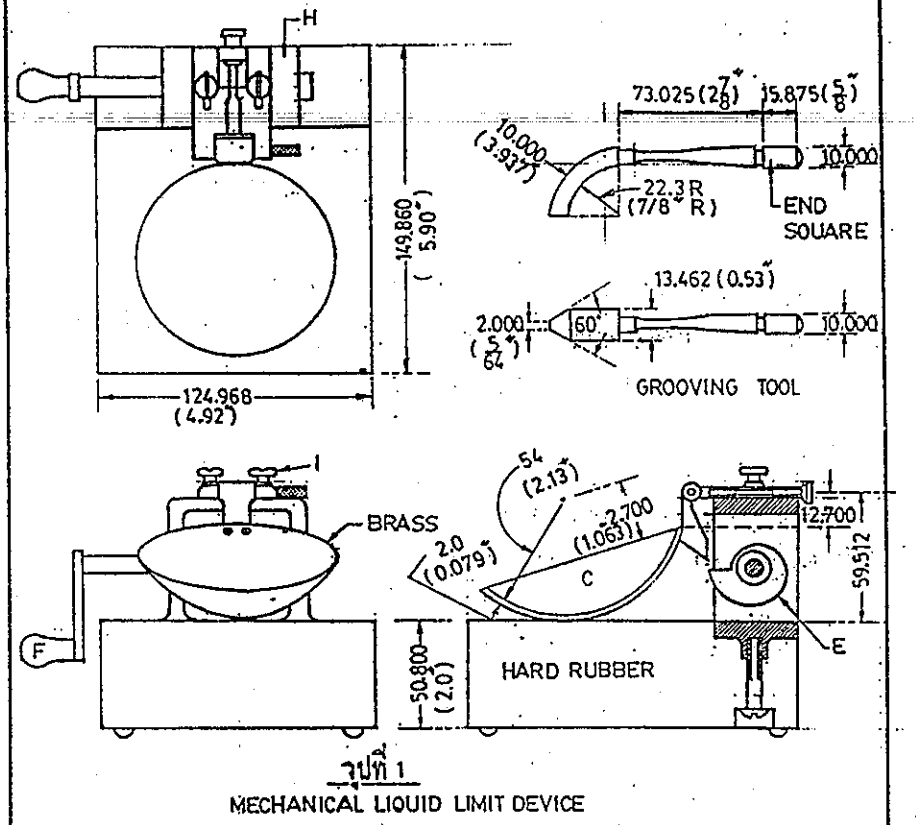
6. น้ำที่ใช้ทดลองจะต้องเป็นน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำประปา

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing , Part II , AASHO Designation :T 89

5.2 State of California , Department of Public Work , Division of Highway. Material Manual of Testing and Control Precedures , Vol. I , Test Method No.Calif. 204 - B

5.3 Lambe , T. W.(1951). Soil Testing for Engineers , John Wiley and Son , Newyork.

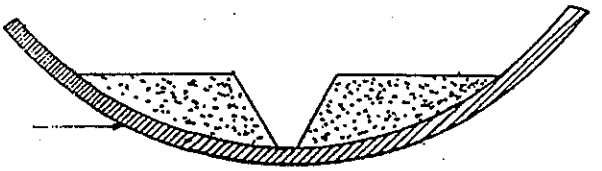


รูปที่ 1

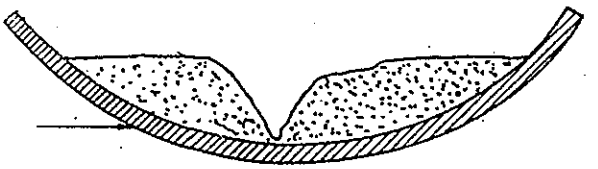
MECHANICAL LIQUID LIMIT DEVICE

มิติเป็นมิลลิเมตร
นอกจากจะแสดงเป็นอย่างอื่น

เรียน [illegible] 2/07/29
ทราบ [illegible] 5/9/29



DIVIDED SOIL CAKE BEFORE TEST



SOIL CAKE AFTER TEST

รูปที่.2 แสดงภาพลักษณะการทดลองหาค่า LIQUID LIMIT

(อ้างอิง : AASHO T 89 - 68, 10 TH EDITION 1971, FIG. 6)

เสียน 20.ส.ค. 29.

ตรวจ 5/4/29

กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ S-19/40 วันที่รับตัวอย่าง _____ วันที่ทดลอง 23 มี.ค.40

เจ้าของตัวอย่าง [illegible] หนังสือที่ ทล.16/40 ลว.10 มี.ค.40

ทางสาย [illegible] เจ้าหน้าที่ทดลอง [illegible]

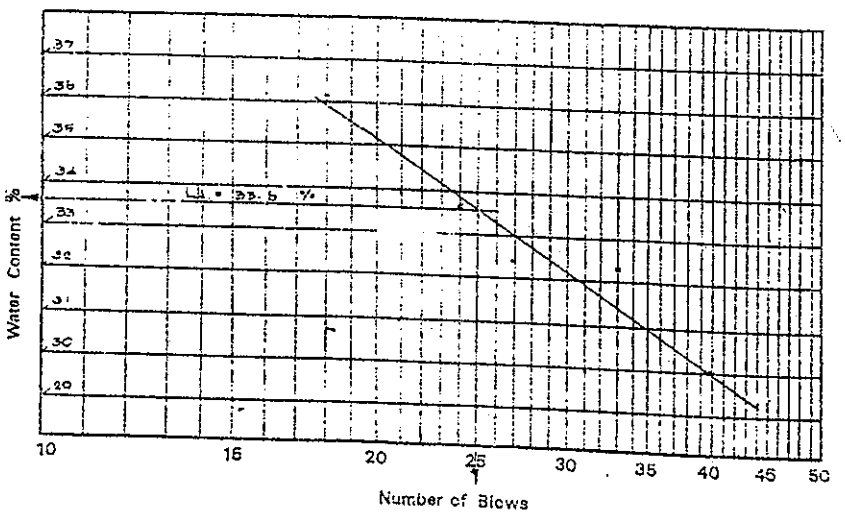
ATTERBERG LIMITS

Sample : [illegible] No. 1 of 1

Source : กม.74+000 ซ้ายทาง 900 เมตร

TEST	LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
Trail	1	2	3	4	1	2
Can No.	B-94	B-9	B-12	B-36	B-44	B-6
No. of blows	19	24	35	40	-	-
Wet soil + can gm.	30.49	30.14	31.61	31.65	23.21	23.75
Dry soil + can gm.	27.67	27.47	28.66	29.12	22.70	23.21
Wt. of water gm.	2.79	2.67	2.95	2.53	0.51	0.54
Wt. of can gm.	19.98	19.55	19.54	20.68	20.41	20.71
Wt. of dry soil gm.	7.69	7.92	9.12	9.44	2.29	2.50
Water Content %	36.3	33.7	32.3	26.8	22.3	21.6
L.L. = 33.6 %					P.L. 21.9 %	
P.I. = L.L. - P.L. 33.6 - 21.9 = 11.7 %						

Flow Curve



การทดลองที่
ทล. – ท. 103/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (เทียบเท่า ASSHO T 90)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้อธิบายถึงการหาค่าจำนวนน้ำต่ำสุดในดิน เมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำดินมาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. ใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ทดลองหา Liquid Limit
2. แผ่นกระจกขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่างของวิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ของดิน

2.3 การทดลอง

1. นำตัวอย่างประมาณ 8 กรัมมาคลุกขยี้ขยำให้เข้ากันจนทั่ว แล้วทำเป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape)
2. ใช้นิ้วมือคลึงตัวอย่างออกเป็นเส้น โดยใช้น้ำหนักกดลงแต่เพียงพอดีในอัตราการคลึง 80 ถึง 90 เที่ยงต่อนาที (คลึงไปและกลับนับเป็น 1 เที่ยว) ให้เส้นผ่านศูนย์

กลางของเส้นตัวอย่างโตสม่ำเสมอกันโดยตลอด เส้นตัวอย่างจะค่อยๆยาวออกและเส้นผ่านศูนย์กลางจะค่อยๆเล็กลง

3. เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงจนเท่ากับ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างแตกพอดี ให้ดำเนินการตามข้อ 11
4. ถ้าเส้นตัวอย่างยังไม่แตก เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงถึง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ให้หักเส้นตัวอย่างออกเป็นหกหรือแปดชิ้น ใช้นิ้วขยี้และขยำทั้งสองมือจนเข้ากันดี แต่งเป็นรูปยาวรีแล้วคลึงใหม่เช่นเดียวกับข้อ 2
5. ถ้าดำเนินการตามข้อ 4 แล้วเส้นตัวอย่างยังคงไม่แตก ให้ดำเนินการตามวิธี 4 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเส้นตัวอย่างแตก ไม่สามารถคลึงต่อไปได้
6. ถ้าการแตกของเส้นตัวอย่างตามข้อ 5 เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดโตกว่า 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างนั้นเคยคลึงได้ขนาด 3.2 มม. มาก่อนแล้ว ให้ดำเนินการตามข้อ 11 ได้
7. การแตกของเส้นตัวอย่าง จะแสดงลักษณะผิดแผกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดิน ดินบางชนิดอาจจะแตกออกเป็นก้อนเล็กมากมาย บางชนิดแตกออกเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยเริ่มต้นแตกปริออกจากปลายทั้งสองข้างก่อน แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลาง จนในที่สุดเส้นตัวอย่างจะแตกออกเป็นชิ้นบาง ๆ เล็ก ๆ หรืออาจจะแตกในลักษณะอื่นก็ได้
8. การปฏิบัติตามข้อ 4 สำหรับดินที่เหนียวมาก ในการคลึงให้เป็นเส้นแต่ละครั้ง การคลึงครั้งหลัง ๆ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น ตัวอย่างดินชนิดนี้เมื่อแตกจะแตกออกเป็นปล้อง ๆ มีขนาดยาว 6.0 ถึง 10.0 มม. (1/4 – 3/8 นิ้ว)
9. ในการคลึงแต่ละครั้งตามข้อ 4 ห้ามเปลี่ยนอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักการคลึง หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่าง เพื่อต้องการให้เส้นตัวอย่างแตกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.

10. สำหรับตัวอย่างที่มี Plasticity น้อย ๆ ในครั้งแรกควรทำดินตัวอย่างให้มีรูปร่างยาวรีและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มม. เล็กน้อย
11. รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดใส่ลงในกระป๋อง ปิดฝา รีบนำไปชั่งแล้วบันทึกมวลไว้ และเอาไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110° ± 5 ° ซ. นำไปชั่ง บันทึกมวลดินแห้ง หามวลที่หายไป และถือว่าเป็นมวลของน้ำ
12. ให้ทำการทดลองตัวอย่างละอย่างน้อย 2 ครั้ง แต่ผลต่างของค่า Plastic Limit (PL) จะต้องไม่เกิน 2%

3. การคำนวณ

คำนวณหาค่า Plastic Limit (PL) และค่า Plasticity Index (PI) ได้จากสูตร

$$\text{Plastic Limit (PL)} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

$$\text{Plasticity Index (PI)} = \text{LL} - \text{PL}$$

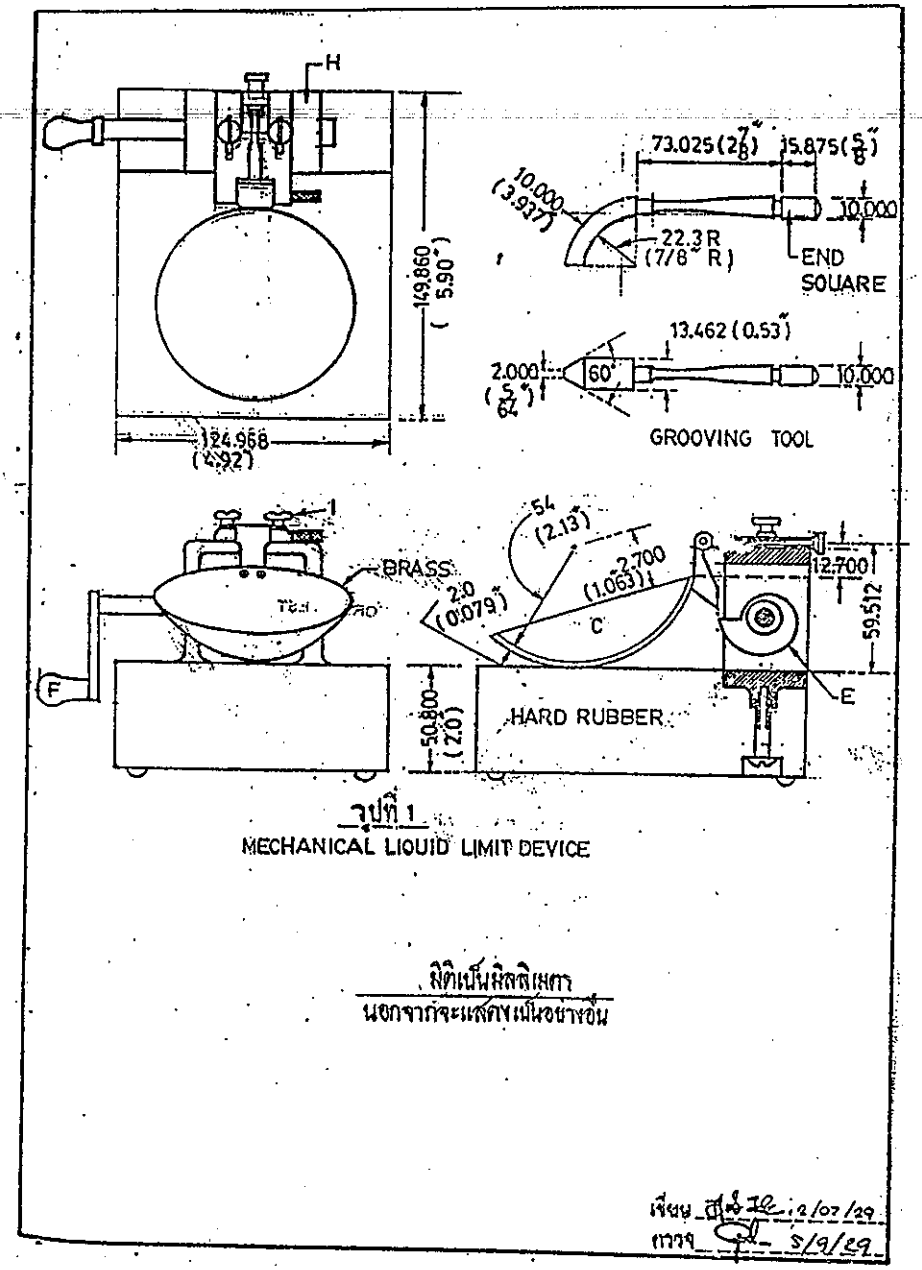
4. ข้อควรระวัง

1. ในการทดลองแต่ละครั้ง ให้แต่งดินตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นแท่งยาวรีก่อนคลึง น้ำหนักนิ้วมือและอัตราความเร็วที่ใช้คลึงจะต้องเหมือนกัน
2. ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างให้ชั่งหามวลทันที มิฉะนั้นน้ำจะระเหยหายไป
3. ตัวอย่างดินพวก Silt หรือพวก PI ต่ำ ๆ จะทำให้ลำบากมาก ก่อนคลึงให้แต่งดินเป็นแท่งยาว น้ำหนักนิ้วที่ใช้กดคลึงต้องเบา มิฉะนั้นแท่งตัวอย่างจะแตกทันที และระหว่างคลึงอาจจะต้องคอยซับน้ำที่ออกจากตัวอย่างมาติดแผ่นกระจก
4. ในกรณีที่ตัวอย่างมีทรายปนมาก ให้หาค่า Plastic Limit ก่อนค่า Liquid Limit ถ้าเป็น Non-Plastic จะได้ไม่ต้องทดลองหาค่า Liquid Limit

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing , Part II , AASHO Designation : T 89

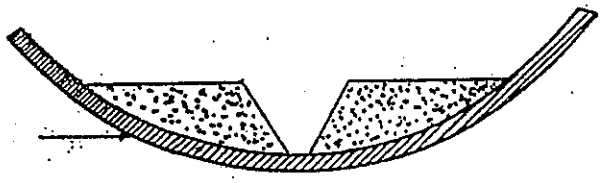
5.2 State of California , Department of Public Work , Division of Highway. Material Manual of Testing and Control Procedures , Vol. I , Test Method No.Calif. 204 - B



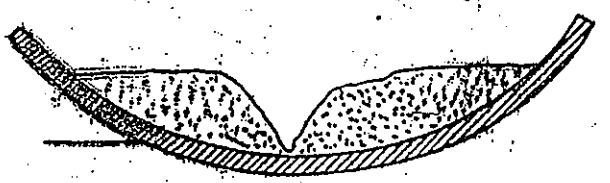
รูปที่ 1
MECHANICAL LIQUID LIMIT DEVICE

หน่วยเป็นมิลลิเมตร
นอกจากจะแสดงเป็นอย่างอื่น

เขียน ... 2/07/29
ตรวจ ... 3/9/29



DIVIDED SOIL CAKE BEFORE TEST



SOIL CAKE AFTER TEST

รูปที่ 2 แสดงการหาค่าความสามารถในการไหลของน้ำ LIQUID LIMIT

(ที่มา : AASHO T 89 - 68, 10 TH EDITION, 1971, FIG.6)

เสร็จ 20 ส.ค. 29.
พิมพ์ 3/9/29

กองวิเคราะห์และวิจัย

ชนิดบันทึกผลการทดสอบที่ S-19/40 วันที่รับตัวอย่าง _____ วันที่ทดสอบ 03 มี.ค.40

เจ้าของตัวอย่าง ____ ที่อยู่ ____ สถานที่ ____ วันที่เก็บ ____

ทางหลวง ____ เจ้าหน้าที่ทดสอบ ____

ATTERBERG LIMITS

Sample : ____ No. 1 of 1

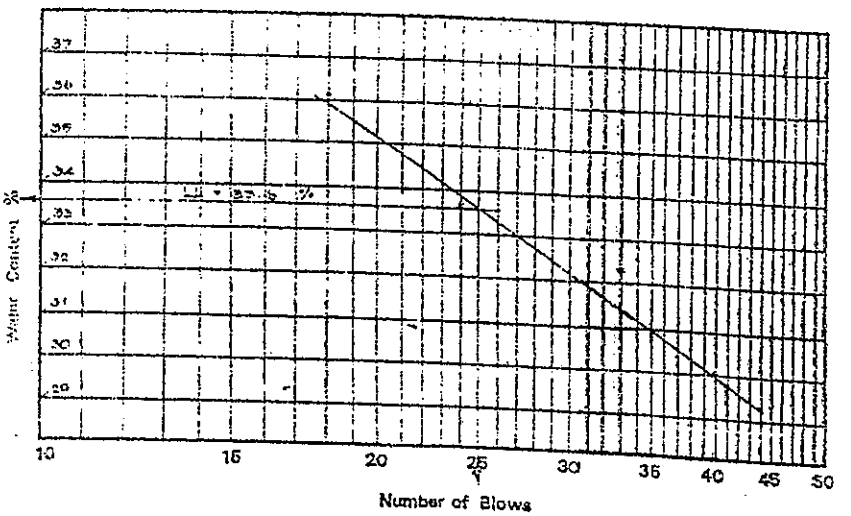
Source : ____

TEST	LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
Trail	1	2	3	4	1	2
Can No.	B-94	B-9	B-42	B-36	B-14	B-4
No. of blows	19	24	33	40	-	-
Wet soil + can gm.	30.45	30.14	31.61	31.98	23.21	23.75
Dry soil + can gm.	27.67	27.47	28.66	29.12	22.70	23.21
Wt. of water gm.	2.78	2.67	2.95	2.86	0.51	0.54
Wt. of can gm.	19.96	19.95	19.64	20.66	20.21	20.71
Wt. of dry soil gm.	7.69	7.52	9.02	9.46	2.29	2.50
Water Content %	36.1	35.7	32.3	30.2	22.3	21.6

L.L. = 33.6 % P.L. 21.9 %

P.I. = L.L. - P.L. 33.6 - 21.9 = 11.7 %

Flow Curve



การทดลองที่
ทล. – ท. 104/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหาค่า Shrinkage Factors
(เทียบเท่า ASSHO T100)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้อธิบายถึงวิธีการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน คือ Shrinkage Limit, Shrinkage Ratio, Volumetric Change และ Lineal Shrinkage

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบสำหรับผสมดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร (4 ½ นิ้ว)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Evaporating Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)
3. Spatula
4. ภาชนะกระเบื้องหรือโลหะฐานราบ (Shrinkage Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร (1 ¾ นิ้ว) และสูงประมาณ 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)
5. เหล็กปาด (Straight Edge)
6. ถ้วยแก้ว (Glass Dish)
7. แผ่นแก้วที่มีขาโลหะสามขา
8. กระบอกตวงขนาดปริมาตร 25 มิลลิลิตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.2 มิลลิลิตร

9. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

10. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. น้ำสะอาด
2. ปรอท (Mercury)
3. Vaseline หรือน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ประมาณ 30 กรัม (โดยปกติใช้ตัวอย่างอันเดียวกันกับที่ใช้ทดลองหาค่า Liquid Limit)

2.4 การทดลอง

1. ผสมดินตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบด้วยน้ำ ให้น้ำแทนที่ Voids โดยทั่วถึง ปริมาณของน้ำที่ต้องการจะเท่ากับ Liquid Limit หรือมากกว่าเล็กน้อย(คำนวณได้ล่วงหน้าจากค่า Liquid Limit)
2. ทาด้านในของ Shrinkage Dish ด้วย Vaseline หรือน้ำมันหล่อลื่นอื่น ๆ ที่เหมาะสมบาง ๆ เพื่อป้องกันมิให้ดินติดภาชนะ ใส่ดินที่ผสมโดยสม่ำเสมอแล้วประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรของ Shrinkage Dish ลงตรงกลางภาชนะ ค่อย ๆ เคาะดินให้ไหลไปชนด้านข้างของภาชนะ ใช้ดินประมาณเท่าเดิมเติมลงไปและทำซ้ำดังข้างต้น จนกระทั่งดินแน่นเต็มภาชนะและให้ล้นออกไปด้านข้าง ใช้เหล็กปาดปาดหน้าให้เรียบ เช็ดดินส่วนที่ติดอยู่ข้างภาชนะออกให้หมด

3. ชั่งหามวลของดินเต็มภาชนะแล้วบันทึกไว้ ปล่อยให้ดินในภาชนะแห้งที่อุณหภูมิของห้องทดลอง(ปกติทิ้งข้ามคืนหรือจนดินเปลี่ยนสีเห็นได้ชัด) แล้วนำเข้าอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 ° ซ. จนแห้ง ชั่งหามวลของดินแห้งและภาชนะ หามวลและปริมาตรของภาชนะเปล่า(ปริมาตรหาได้โดยใช้ปรอทแทนที่)

4. หาปริมาตรของดินแห้งโดยให้ดินแห้งแทนที่ปรอทในถ้วยแก้วที่มีปรอทเต็มทำได้ดังนี้ เติมปรอทให้เต็มถ้วยแก้ว ใช้แผ่นแก้วที่มีขาโลหะสามขากดแน่นที่ปากถ้วย เช็ดปรอทที่จับอยู่ภายนอกถ้วยออกให้สะอาด วางถ้วยแก้วที่มีปรอทเต็มในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Evaporating Dish) ระมัดระวังมิให้ปรอทหกหรือสูญหาย ใส่ก้อนดินที่อบแห้งแล้วลงในถ้วยปรอท และใช้แผ่นแก้วที่มีขาโลหะสามขากดก้อนดินให้จมในปรอท จนแผ่นแก้วสนิทแน่นที่ปากถ้วย วัดปริมาตรของปรอทที่ถูกแทนที่ด้วยกระบอกตวง และบันทึกเป็นปริมาตรของดินแห้ง (V_s) หรือจะชั่งหามวลของปรอทที่ถูกแทนที่ แล้วคำนวณหาปริมาตรของดินแห้งก็ได้ การกดแผ่นแก้วให้สนิทแน่นที่ปากถ้วย ต้องให้ด้านที่มีสามขาจมในปรอท และไม่ให้มีฟองอากาศติดอยู่

3. การคำนวณ

1. คำนวณหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content) ปริมาณน้ำในดินขณะที่ใส่ลงในถ้วย Shrinkage Dish คำนวณได้จากสูตร

$$\omega = \frac{M - M_o}{M_o} * 100$$

เมื่อ ω = ปริมาณน้ำในดินเมื่อใส่ Skrinkage Dish มีหน่วยเป็นร้อยละ

M = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_o = มวลของดินที่อบแห้งแล้ว มีหน่วยเป็นกรัม

2. คำนวณหาค่า Shrinkage Limit

ค่า Shrinkage Limit คือ ปริมาณน้ำที่มากที่สุดในดินคิดเป็นเปอร์เซนต์ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำลดลงอีกจะไม่ทำให้ดินมีปริมาตรลดลง คำนวณได้จากสูตร

$$S = \frac{\omega - (V - V_o)\ \rho_w}{Mo} * 100$$

เมื่อ S = Shrinkage Limit มีหน่วยเป็นร้อยละ

ω = ปริมาณน้ำในดิน จากข้อ 1

V = ปริมาตรของดินเปียก มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_o = ปริมาตรของดินแห้ง มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

M_o = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร

3. คำนวณหาค่า Shrinkage Ratio

ค่า Shrinkage Ratio (R) คำนวณได้จากสูตร

$$R = \frac{M_o}{V_o \cdot \rho_w}$$

4. คำนวณหาค่า Volumetric Change

ค่า Volumetric Change (VC) คำนวณได้จากสูตร

$$VC = (\omega_1 - S) . R$$

เมื่อ VC = Volumetric Change

ω_1 = Water Content ของดินในสภาพใดสภาพหนึ่ง

5. คำนวณหาค่า Lineal Shrinkage

ค่า Lineal Shrinkage (LS) คำนวณได้จากสูตร

$$LS = 100 - (1 - \sqrt[3]{100/VC + 100})$$

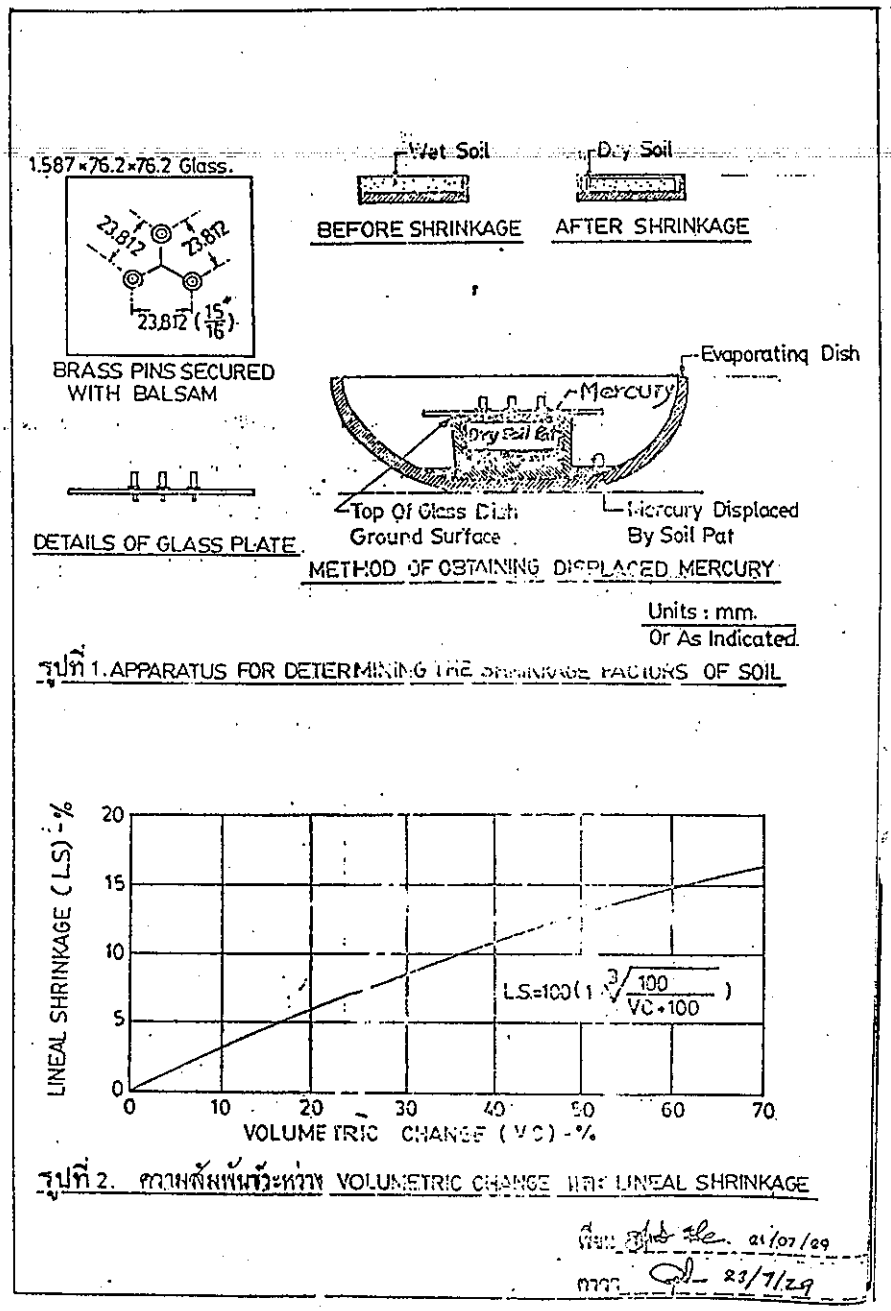
หรือจาก curve ในรูปที่ 2

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing , Part II , AASHO Designation :T 92

5.2 The American Society for Testing and Material (1986). ASTM Standard , Part II , ASTM Designation : D 427.

5.3 Lambe , T. W.(1951). Soil Testing for Engineers , John Wiley and Son , Newyork.



รูปที่ 1. APPARATUS FOR DETERMINING THE SHRINKAGE FACTORS OF SOIL

รูปที่ 2. กราฟสัมพันธ์ระหว่าง VOLUMETRIC CHANGE และ LINEAL SHRINKAGE

ผู้ตรวจ ... 21/07/29

ผู้ตรวจ ... 23/7/29

การทดลองที่
ทล. – ท. 105/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหา Unconfined Compressive Strength ของดิน
(เทียบเท่า ASSHO T208)

1. ขอบข่าย

Unconfined Compressive Strength คือ ค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกหรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกิน 20% ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียด 20% นั้นเป็นค่า Unconfined Compressive Strength

2. วิธีทำ

2.1เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องกด เป็นเครื่องใช้กดแท่งตัวอย่าง มีหลายแบบ เช่น ใช้ Deadweight หรือ Hydraulic เป็นแรงกด หรืออาจใช้เครื่องมือกดชนิดอื่น ๆ ที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ต้องใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร (0.001 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และสำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength มากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) เครื่องกดจะต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร (0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2. เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)
3. Dial Gauge ใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว สามารถอ่านระยะทางเคลื่อนที่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของความยาวแท่งตัวอย่างที่จะใช้ทดลอง
4. Vernire Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
7. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ใช้สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลน้อยกว่า 100 กรัม สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลมากกว่า 100 กรัม ให้ใช้เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
8. เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่น ๆ ที่ต้องใช้คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

ปูนปลาสเตอร์ หรือ Hydrostone หรือ วัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มม. (1.3 นิ้ว) ขนาดใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 71 มม.(2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุต้องไม่เกิน 1 ใน 6 ของเส้นผ่านศูนย์กลาง อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 3

วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มม. หรือ 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือเครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

2. ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง โดยใช้ท่อบางแท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบาง อาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในระหว่างการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือจะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบก็ให้ปิดผิวหน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้มีความหนาน้อยที่สุด ให้ชั่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

3. ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed เดิม มาทำดังนี้

นำตัวอย่างดินมาห่อด้วยแผ่นยางบาง ๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remold อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปบนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 1 เมื่อได้อัดดินใน Mold จนเต็มแล้ว ให้แต่งปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้ จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกัน มี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

2.4 การทดลอง

1. โดยวิธีควบคุมความเครียด

วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกด แล้วเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนของเครื่องกดแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง หมุนหน้าปัดของ Dial Gauge ที่ใช้อ่านระยะทางของการกดให้เข็มชี้ที่ศูนย์ กดแท่งตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวดิ่ง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที จดแรงกดและระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุก ๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใดจะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที (*1) เพิ่มแรงกดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ หาปริมาณน้ำในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าววัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

2. โดยวิธีควบคุมความเค้น

ก่อนการทดลองให้ประมาณค่าแรงกดสูงสุดของแท่งตัวอย่าง (*2) วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกด เลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1/15 ถึง 1/10 ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาที แล้วอ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง เพิ่มแรงกดต่อไปเท่ากับแรงกดแรกแล้วทิ้งไว้ครึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเพิ่มแรงกด ถ้าสังเกตว่าจะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้ง หรือน้อยกว่า 10 ครั้ง เพื่อให้ได้

แรงกดสูงสุดแล้ว จะต้องรีบเปลี่ยนแรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้น หรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดินอาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าวให้วัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

(*1) ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดมาก ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองโดยใช้อัตราเร็วของความเครียดสูง ในทางตรงกันข้าม ดินที่แข็งหรือแตกง่ายซึ่งมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดน้อย ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองด้วยอัตราเร็วของความเครียดที่ต่ำกว่า

(*2) การประมาณค่านี้จะต้องมีประสบการณ์พอเพียง มิฉะนั้นจะต้องใช้เครื่องกดอย่างเล็ก (Penetrometer) กดลงบนส่วนของตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ดู เพื่อหาค่านี้โดยประมาณ

3. การคำนวณ

1. คำนวณหาความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใด ๆ (ε) ได้โดยใช้สูตร

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

เมื่อ ΔL = ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใด ๆ โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge

L_0 = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใด ๆ (A) ได้โดยใช้สูตร

$$A = \frac{A_o}{1-\varepsilon}$$

เมื่อ A_o = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

ε = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้น ๆ

3. คำนวณหาความเค้นสำหรับแรงกดใด ๆ (σ_c) ได้โดยใช้สูตร

$$\sigma_c = P/A$$

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้น ๆ

4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ_c และ ε โดยใช้ σ_c เป็นแกนตั้ง และเป็นแกนนอน จากกราฟสามารถหาค่าสูงสุดของ σ_c หรือค่า σ_c ที่ ε = 20% ได้

ในกรณีที่ต้องการจะใช้กราฟอธิบายคุณสมบัติของดิน ก็ให้แนบแผ่นกราฟนี้รวมไว้ในรายงานผลการทดลองด้วย

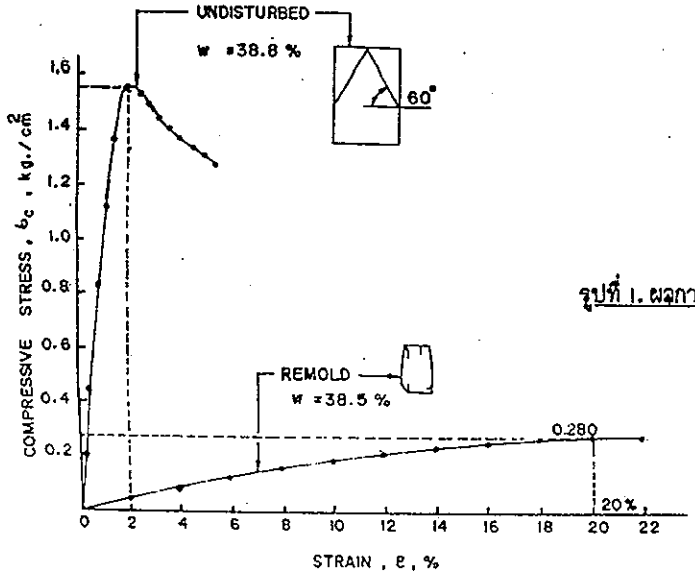
4. ข้อควรระวัง

1. ในการดันดินตัวอย่างออกจากท่อบางเพื่อใช้ทดลอง จะต้องดันไปตามทิศทางเดียวกันกับที่ตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกในระหว่างเก็บตัวอย่าง เพื่อลดการรบกวนตัวอย่างดิน
2. ในการทำตัวอย่าง Remolded ถ้าแท่งตัวอย่างหลังจากทำ Remolded แล้วได้ความแน่นแตกต่างจากก่อนทำ Remolded ให้นำมาดำเนินการใหม่

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing, Part II, AASH Designation: T 207 and T203

ทางหลวง ชุมชนบริเวณ Area : A.
สถานที่เก็บตัวอย่าง ดอนสมพร กม. 2๙๓+๙๐
หลุมเจาะที่ B-2 ความลึก 4.00 ม.
ตัวอย่าง UNDISTURBED ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH q_u = 1.๔๒๒ Kg/cm^2
ตัวอย่าง REMOLD ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH q'_u = 0.๒๘๐ kg/cm^2
SENSITIVITY = q_u / q'_u = ๕.๑๖



รูปที่ 1. ผลการทดลอง UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

เขียน สมศักดิ์ ยืนยง 20 ต.ค. 29.
ตรวจ [signature] 4 ต.ค. 29

การทดลองที่
ทล. – ท. 106/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์วิจัย

วิธีการทดลองหาขนาดวัสดุดินโดยใช้ Hydrometer
(เทียบเท่า ASSHO T 88)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ ใช้หาขนาดและปริมาณของดินที่เล็กกว่า 75 ไมครอน (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1. Hydrometer ชนิด Scale B (แบบ Specific Gravity Hydrometer)
2. เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. เครื่องกวน (Stirring Apparatus)
4. เทอร์โมมิเตอร์อ่านได้ละเอียดถึง 0.5 องศาเซลเซียส
5. กระบอกแก้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร (2 ½ นิ้ว) สูงประมาณ 460 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
6. ถังน้ำสำหรับแช่กระบอกแก้วที่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอ
7. ตะแกรง เบอร์ 10, 40, 100 และ 200 (2.0, 0.425, 0.150, 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ)
8. ถ้วยแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร
9. นาฬิกาจับเวลา

10. เครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler)

11. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

1. น้ำกลั่น
2. สารละลาย เตรียมโดยนำ Sodium Hexametaphosphate Buffered with Sodium Carbonate $(Na\ PO_3)_6$ 4.57 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างตากแห้ง(Air Dry) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10(2.0 มม.) มาแบ่งโดยเครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler) ประมาณ 50 กรัมสำหรับดิน หรือประมาณ 100 กรัมสำหรับดินปนทราย แล้วชั่งหามวลเป็น c ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยแก้ว แล้วเติมสารละลายจำนวน 125 มล. ผสมลงไปแช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชม. จึงใช่เครื่องกวนมากวนของผสมนานประมาณ 1 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัวจากกัน

2.4 การทดลอง

1. ให้หาค่า Hygroscopic Moisture โดยนำดินตากแห้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มม.) มาประมาณ 15 กรัม แล้วชั่งได้มวลเป็น a นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมวลคงที่ ให้มวลของดินแห้งเป็น b
2. การทดลอง Hydrometer

   นำตัวอย่างที่เตรียมใส่ลงไปในกระบอกแก้ว เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาตร 1,000 มล. แช่กระบอกแก้วในถังน้ำจนของผสมในกระบอกแก้วมีอุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของน้ำในถัง นำกระบอกแก้วออกมาเขย่าโดยเอาฝ่ามือปิดปาก

กระบอกแก้ว พลิกกลับไปกลับมา 1 นาที แล้วนำกระบอกแก้วแช่ในถังน้ำอีกครั้งหนึ่ง เอา Hydrometer จุ่มลงไปในกระบอกแก้ว ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุนหรือส่ายไปมา อ่านค่า Hydrometer ที่เวลา ¼, ½, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250 และ 1 440 นาที นับตั้งแต่วางกระบอกแก้วลงในถังน้ำตามลำดับ สำหรับช่วง 2 นาทีแรก ให้อ่านค่าติดต่อกันโดยไม่ต้องเอา Hydrometer ออกจากกระบอกแก้ว ส่วนการอ่านค่าอื่น ๆ ให้เอา Hydrometer ออกทุกครั้ง หลังจากอ่านค่าเสร็จแล้วต้องอ่านอุณหภูมิของน้ำขณะทดลองทันทีทุกครั้ง แล้วทำความสะอาดและเก็บ Hydrometer โดยวิธีหมุนล้างน้ำในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง ซึ่งบรรจุน้ำกลั่นในถังน้ำเดียวกัน

3. การทดลองหาขนาดของดินชนิดเม็ดละเอียด

เมื่ออ่านค่า Hydrometer ครั้งสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว นำของผสมในกระบอกแก้วไปล้างในตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) วัสดุที่ค้างตะแกรงนำไปอบให้แห้งแล้วนำไปหาขนาดตาม "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ด้วยตะแกรงเบอร์ 40, 100 และ 200 (0.425, 0.140 และ 0.075 มม. ตามลำดับ)

3. การคำนวณ

1. คำนวณหาค่ามวลของดินแห้ง โดยนำเอามวลของดินตากแห้งคูณด้วยค่า Correction Factor ของ Hygroscopic Moisture (b/a)

$$M_s = \frac{b \times c}{a}$$

เมื่อ a = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ใช้หา Hygroscopic Moisture

b = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างอบแห้ง (Oven Dry) ที่ใช้หา Hygroscopic Moisture

c = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง

M_s = มวลของตัวอย่างอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร))

2. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของขนาดดิน จากสูตร

$$P' = \frac{G}{(G - G_1)} * \frac{V}{M_s} (R - G_1)\, 100$$

เมื่อ P' = เปอร์เซนต์ของขนาดดินที่เทียบกับดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

V = ปริมาตรของของผสม 1,000 มิลลิลิตร

$$R = X + F$$

เมื่อ X = ค่าที่อ่านได้จริงบน Hydrometer

F = Composite Correction Factor (ดูตารางที่ 2)

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)ที่ใช้ในการทดลอง

G_1 = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิขณะทดลอง (ดูตารางที่ 4)

3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40, 100 และ 200 (0.425, 0.150 และ 0.075 มิลลิเมตร) โดยเอามวลของดินบนแต่ละตะแกรงหารด้วยมวลของดินแห้งทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer คูณด้วย 100 แล้วนำไปหาเปอร์เซ็นต์ส่วนละเอียดได้
4. ในการต่อ Curve ของการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ชนิดเม็ดละเอียด และ Hydrometer เนื่องจากนำเอาวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาใช้ในการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดและ Hydrometer ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากข้อ 2 และ 3 ต้องคูณด้วย

$$\frac{[100 - \text{เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างตะแกรงเบอร์ 10}]}{100}$$

$$P = \frac{P' [100 - \text{เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 10}]}{100}$$

$P = P'$ x อัตราส่วนของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

$$= P' \times (d / 100)$$

เมื่อ P = เปอร์เซ็นต์ของขนาดดิน

d = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

M = มวลของดินอบแห้งทั้งหมดทุกขนาดตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียดที่สุด

$$M = \frac{M_S}{d/100}$$

$$= \frac{b \times c}{a} \times \frac{100}{d}$$

$$P = \frac{100{,}000G(R - G_1)}{(G - G_1)M}$$

หรือ $P = A(R - G_1)$

เมื่อ $A = \dfrac{100{,}000G}{(G - G_1)\,M}$

5. คำนวณหาขนาดของเม็ดดิน

$$D = K\sqrt{L/T}$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน(มิลลิเมตร)

L = ระยะเป็นเซนติเมตรวัดจากผิวบนสุดของของผสมมายังระดับซึ่งหาค่าความหนาแน่นเมื่อเวลา T นาที (ดูตารางที่ 2)

T = ช่วงเวลาเป็นนาที นับตั้งแต่เริ่มปล่อยของผสมตกตะกอนจนถึงขณะที่อ่าน Hydrometer

$K = \sqrt{30n/(G - G_1)980}$ เป็นค่าคงที่ (ดูตารางที่ 3)

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำกลั่น

4. ข้อควรระวัง

1. ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer ต้องมีความละเอียดถึง 0.0005
2. การอ่านค่า Hydrometer ต้องอ่านที่ปลายบนสุดของ Meniscus รอบ ๆ แกน
3. การจุ่ม Hydrometer ลงในของผสมต้องทำอย่างระมัดระวัง โดยพยายามให้ค่าที่จะอ่านจาก Hydrometer อยู่ที่ระดับผิวบนสุดของของผสม ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุนหรือส่ายไปมา
4. การเอา Hydrometer ออกจากของผสมหลังจากอ่านค่าเสร็จแล้ว ต้องพยายามให้มีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด
5. ในระหว่างการทดลองต้องไม่ให้ของผสมในกระบอกแก้วได้รับความสั่นสะเทือน

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Material and Method of Sampling and Testing, Part II , AASHO Designation :T 88

5.2 The American Society for Testing and Material (1986). ASTM Standard, Part II, ASTM Designation: D 422

ตารางที่ 1

Effective Depth (L)

of Hydrometer 151 H

Reading (R)	L	Reading (R)	L
1.000	16.3	1.019	11.3
1.001	16.0	1.020	11.0
1.002	15.8	1.021	10.7
1.003	15.5	1.022	10.5
1.004	15.2	1.023	10.2
1.005	15.0	1.024	10.0
1.006	14.7	1.025	9.7
1.007	14.4	1.026	9.4
1.008	14.2	1.027	9.2
1.009	13.9	1.028	8.9
1.010	13.7	1.029	8.6
1.011	13.4	1.030	8.4
1.012	13.1	1.031	8.1
1.013	12.9	1.032	7.8
1.014	12.6	1.033	7.6
1.015	12.3	1.034	7.3
1.016	12.1	1.035	7.0
1.017	11.8	1.036	6.8
1.018	11.5	1.037	6.5

ตารางที่ 2

Composite Correction Factor (F)

C	F
25	- 0.002 04
26	- 0.002 80
27	- 0.002 55
28	- 0.002 32
29	- 0.002 07
30	- 0.001 84
31	- 0.001 58
32	- 0.001 34
33	- 0.001 10
34	- 0.000 85
35	- 0.000 61

ตารางที่ 3

Constant K (Interpolate for Exact Value)

Temp. (° C)	Specific Gravity of Soil						
	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	3.10
25	0.01349	0.01300	0.01267	0.01232	0.01201	0.01178	0.01160
26	0.01334	0.01291	0.01253	0.01218	0.01188	0.07764	0.01146
27	0.01309	0.01277	0.01239	0.01204	0.01174	0.01150	0.01132
28	0.01304	0.01264	0.01225	0.01191	0.01161	0.01136	0.01118
29	0.01290	0.01249	0.01212	0.01178	0.01148	0.01125	0.01105
30	0.01276	0.01236	0.01199	0.01165	0.01136	0.01110	0.01092
31	0.01264	0.01224	0.01187	0.01153	0.01125	0.01099	0.01080
32	0.01252	0.01212	0.01175	0.01142	0.01114	0.01088	0.01069
33	0.01241	0.01201	0.01165	0.01132	0.01104	0.01078	0.01058
34	0.01231	0.01192	0.01155	0.01122	0.01095	0.01068	0.01048
35	0.01222	0.01183	0.01147	0.01114	0.01086	0.01059	0.01039

ตารางที่ 4

ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

Temp. (°C)	26	27	28	29	30	31	32
G_1	0.996 8	0.996 5	0.996 3	0.996 0	0.995 7	0.995 4	0.995 1

การทดลองที่
ทล. – ท. 107/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลอง Compaction Test แบบมาตรฐาน
เทียบเท่า AASHO T99

1. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ(Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 2.494 กิโลกรัม(5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยก้อนตก 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(3/4นิ้ว)

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 ถ้าไม่ระบุวิธีให้ใช้ " วิธี ก. "

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ปรับปรุงจาก AASHO T99 และ ASTM D 698T

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) ขนาดเดียวกับสูงประมาณ 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบตามรูปที่ 1

2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูงประมาณ 50.8 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) ที่ฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.2 รองด้านใต้ เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูง116.4 มิลลิเมตร(4.584 นิ้ว) ตามรูปที่ 2 โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานทึบหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้ว ได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.854 นิ้ว)

2.1.2 แท่งโลหะรองเป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร(5 15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่าง ๆกัน ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.1-(2) แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 2.494 กิโลกรัม (5.4 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 3.4.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.4 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้างประมาณ 19 มิลลิเมตร

2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบหลังจากทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วย Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.5 ตัวชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัมและชั่งได้ละเอียดถึง 0.009 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.6 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัมสำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.7 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสสำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร และไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ 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 เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่าง ได้แก่ ถาด,ช้อน,พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.2-05 สำหรับทำ Compaction Test

และที่ ว. 2-15 Post Curve ผลการทำ Compaction Test

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ดินหรือหินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

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

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีตามกแห้งผึ่งอากาศให้แห้งและทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อเห็นแห้งพอเหมาะสมแล้ว(มีน้ำประมาณ 2-3 %) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ
   - ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4นิ้ว)
   - ขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม.(เบอร์ 4)
   - ขนาดเล็กกว่า 4.75 มม.(เบอร์ 4)
2. ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีจำนวนอยู่ขนาดละเท่าใด

3. ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป

4. แทนที่มวลของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3)ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3/4 นิ้ว ถึงขนาด 4.75 มม.(เบอร์ 4)ด้วยมวลที่เท่ากันตัวอย่างเช่นมีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม.อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม.ถึงขนาด 4.75 มม. เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มม. ตามที่มีจริงดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม
มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. 2,650 กรัม
มีขนาดระหว่าง 19.0 มม.ถึง ขนาด4.75 มม. 4,850 กรัม
จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เป็นจำนวน 2,658 +4,850 = 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม.เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1(4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 14.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2 - 3 %) และทำQuartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample SplitterX และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่ายให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้งผึ่งอากาศ แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (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) ให้ใช้มวลประมาณ3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
2. ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวในขอบข่าย แล้วให้ดำเนินการทดลองดังนี้

2.5.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2.5.2 เติมน้ำจำนวนหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4 % ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

2.5.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วด้วยมือ หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1/3 ของ 127 มม. (5 นิ้ว)

2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้

- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง
- ตามวิธี ข. และ ง. จำนวน 56 ครั้ง

2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นขั้น ๆ จำนวน 3 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มม. (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.)

2.5.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างและใช้ค้อนทุบให้แน่นพอดวร แล้วนำไปชั่ง จะได้มวลของดินตัวอย่าง และมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)

2.5.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดิน ให้ใช้ดังนี้

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

2.5.9 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก,ρ_t(Wet Density) และความแน่นแห้ง,ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, W (Moisture Content)

2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึงข่อ 2.5.9 โดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2 % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลง จึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้

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

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง
M = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม
M= 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)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4. การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบมาตรฐานให้รายงานดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (แบบมาตรฐาน)

4.2 ค่าปริมาณ น้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

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

5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับดินเหนียว (Cohesive Soil) ควรใช้ปริมาณต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

สำหรับดินทราย (Cohesionless Soil) ควรเริ่มจากดินตากแห้ง แล้วค่อยๆ เพิ่มปริมาณน้ำขึ้นทีละน้อย เพิ่มให้ได้จำนวนจุดที่จะนำไปเขียน Curve มากที่สุด

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

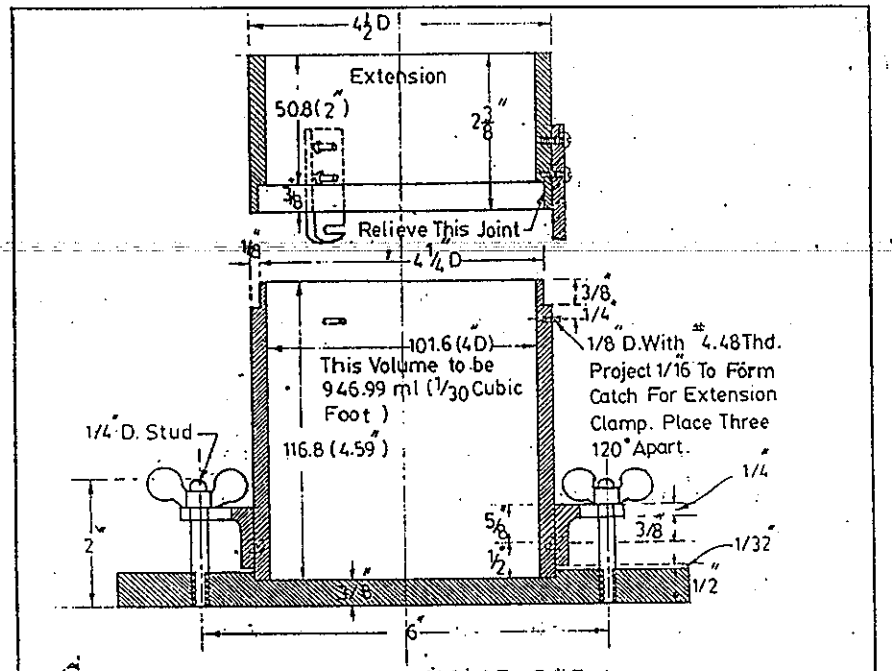
5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าจำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าจำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณ 1 ตัวอย่าง

5.4 สำหรับดินที่เหนียวมากหลังจากตามแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบดจนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

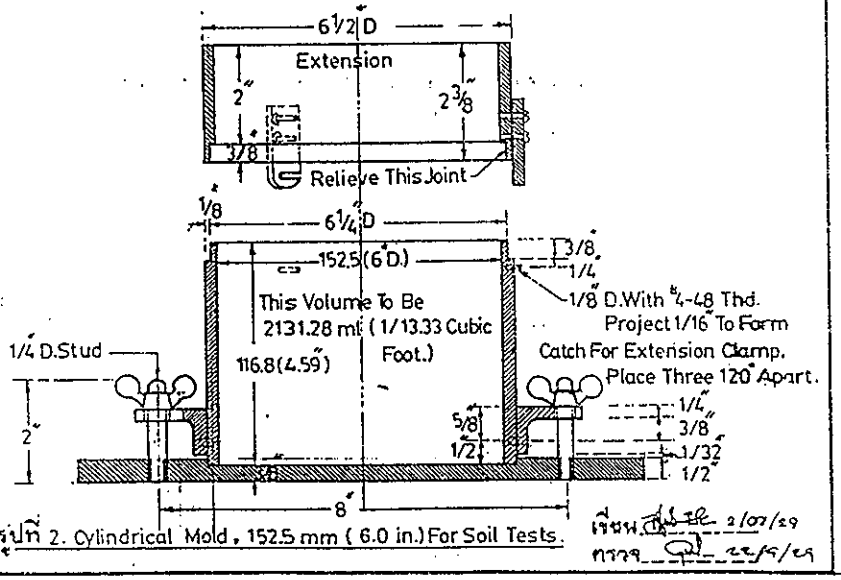
6. หนังสืออ้างอิง

The American Association of state Highway officials Specifications for Highway Materials and Methods of Sample and Testing, AASHO Designation : T99



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

Unit = mm or as indicated



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

เสนอ ... 2/07/29

ทราบ ... 22/9/29

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

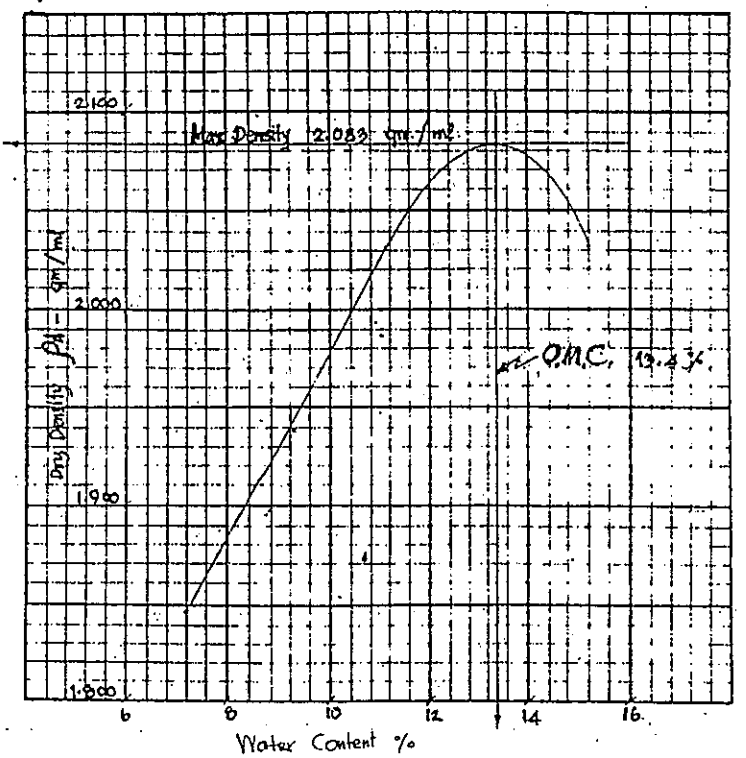
Test No 6-16/15

Type of test Compaction test แบบมาตรฐาน ASTM D.

Date 23 มิ.ย. 15

Source วัสดุที่ได้จาก = ทางหลวง KM. 25+000 ถึง 100 m Stock pile No. S-1

Plotted by วิมล Silty sand For Embankment.



กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ 6-10/15

เจ้าของตัวอย่าง กรม[illegible]

หนังสือที่ 139/4 ลว. 16 ธ.ค. 15 วันที่รับหนังสือ 17 ธ.ค. 15

ทางสาย ชุมทางโคราช - ขอนแก่น

เจ้าหน้าที่ทดลอง วินัย วันที่รับตัวอย่าง 19 ธ.ค. 15 วันที่ทดลอง 22 ธ.ค. 15

COMPACTION TEST

Soil Sample : Silty Sand For Embankment

Location : กม.ที่ 000+400 ข้างขวาทาง Boring No. : S-1 Depth : 0.00 - 1.50 m.

Type Test : มาตรฐาน วิธี ก. Mold Wt. : 2.050 Kgs. Volume : 947.9 ml.
(Std Proctor)

DENSITY

Trial (water added)	%	2	4	6	8	10		
Wt. Mold + Soil	(Kg.)	3.920	4.050	4.180	4.260	4.260		
Wt. Mold	(Kg.)	2.050	2.050	2.050	2.050	2.050		
Wt. Soil	(Kg.)	1.870	2.000	2.130	2.210	2.210		
Wet. Density	(gm/ml.)	1.981	2.119	2.257	2.333	2.341		
Dry Density	(gm/ml.)	1.848	1.939	2.031	2.083	2.032		
Void Ratio	e							
porosity	n							

WATER CONTENT

Can No.		B-10	B-7	B-8	B-15	B-13		
Wt. Can + Wet Soil	(gm)	286.1	313.1	265.6	252.1	254.3		
Wt. Can + dry Soil	(gm)	269.9	290.4	243.7	227.9	196.9		
Wt. Water	(gm)	16.2	22.7	22.1	24.2	27.4		
Wt. Can	(gm)	44.8	46.2	44.6	46.9	46.7		
Wt. Dry Soil	(gm)	224.9	244.2	199.1	181.0	150.2		
Water Content	(%)	7.2	9.7	11.1	13.4	15.2		

กรมทางหลวง

การทดลองที่

กองวิเคราะห์และวิจัย

ทล. – ท. 108/2517

วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

(เทียบเท่า AASHO T180)

1. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม(10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 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) ดินผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

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

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี " ก. "

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของ AASHO T180 และ ASTM 1557T

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มี 2 ขนาด คือ

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มม. (4นิ้ว) สูง116.4 มิลลิเมตร (4.58.4 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก(Collar) ขนาดเดียวกัน สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานหีบตามรูปที่ 1

2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์บางภายใน 152.7 มิลลิเมตร(6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 508 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานหีบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ2.1.2 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) - ตามรูปที่ 2 โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานหีบหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.2 แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร(5.15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.1 (2) แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร(2นิ้ว) มีเวลารวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม(10.0 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบังคับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตรเจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้างประมาณ 19 มิลลิเมตร

2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่ตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ให้ใช่สิ่งหรือเครื่องมืออย่างอื่นเคาะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัมชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

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

2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียสสำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตรแต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ 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 เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด,ช้อน,พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง,ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.2-05 สำหรับทำ Compaction Test

และที่ ว. 2-15 Plot Curve ผลการทำ Compaction Test

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

2.4.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3 %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ
   - ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3-4 นิ้ว)
   - ขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3-4 นิ้ว) ถึงขนาด4.75 มม.(เบอร์ 4)
2. ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบกว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด
3. ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป
4. แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.4.1(3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม.(เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากันตัวอย่างเช่นมีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม.เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. ตามที่มีจริง ดังนี้

   ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

   มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. 2,650 กรัม

   มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. 4,850 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เป็นจำนวน 2,650 + 4,850 = 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1(4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3 %) และทำQuartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่ายให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ2.4.2 หรือ2.4.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณดังนี้

1. ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1(1) ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
2. ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2)ให้ใช้มวล 6,000 กรัมสำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลองดังนี้

2.5.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2.5.2 เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณ น้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimun Moisture Content)

2.5.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วหรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127 มม. (5 นิ้ว)

2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้

- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง
- ตามวิธี ข. และ ง. จำนวน 56 ครั้ง

2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มม. - 5 นิ้ว (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.)

2.5.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)

2.5.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ดังนี้

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

2.5.9 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน W (Moisture Content)

2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึงข้อ 2.5.8 โดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ 2 % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน Curve ได้

2.5.11 เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ W ก็จะทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุด Max. ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

3 การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M= 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)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4 การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานให้รายงาน ดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมล. (แบบสูงกว่ามาตรฐาน)

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่าง ความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) = 2.231 กรัมต่อมล.

(ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)

ปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด = 9.8 %

(ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

5 ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากสภาพดินตามแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต ไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด 1 ตัวอย่าง

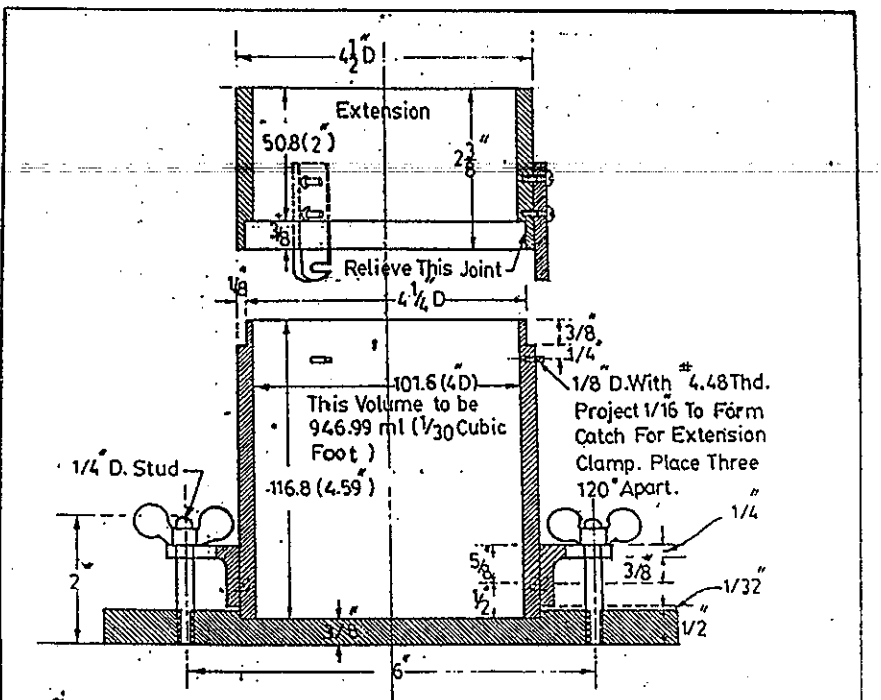
5.4 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

6. หนังสืออ้างอิง

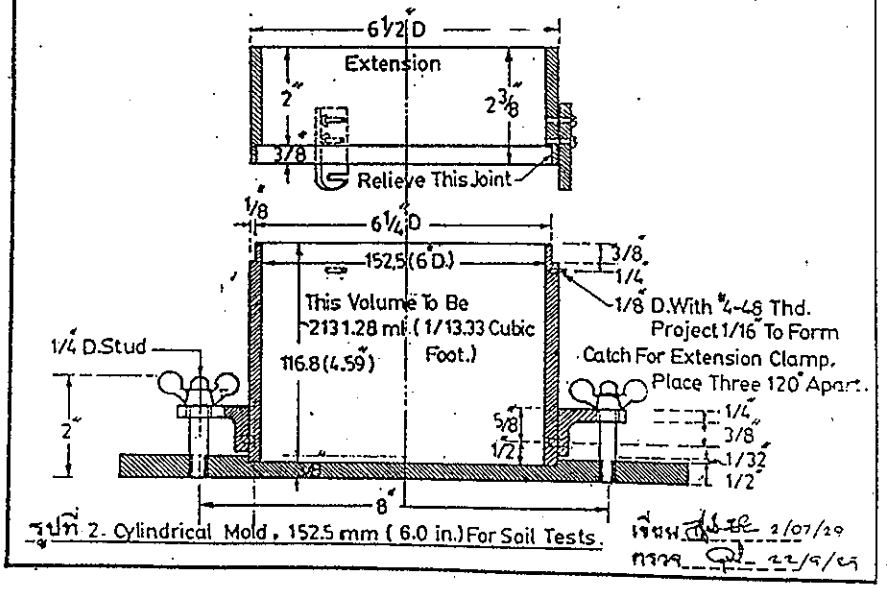
6.1 The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, ASSHO Designation: T180.

6.2 The American Society of Testing Materials ASTM Standards, Designation: D 1558T.



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

Unit = mm or as indicated



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

เขียน 2/07/29

ทาน 22/9/29

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

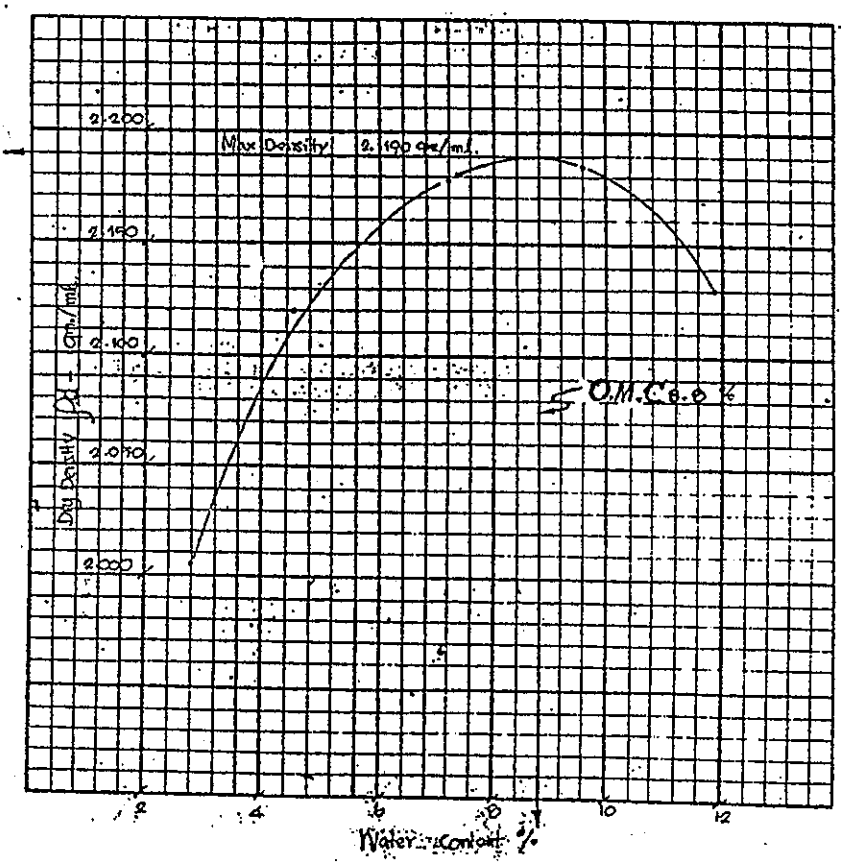
Test No. C-196/15

Type of test Compaction test แบบมาตรฐานทางหลวง วิธี ก.

Date 2 มิ.ย. 16

Source ทล.4 - เพชรบุรี LATERITE FOR SUBBASE กม. 1+600 - 1+900

Plotted by อำพล



กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ C – 126 / 15

เจ้าของตัวอย่าง บริษัท ทัยกิจรุ่งเรือง

หนังสือที่ 1961 / 15 ลว. 30 ธ.ค. 15 วันที่รับหนังสือ 1 ม.ค. 16

ทางสาย เชียงใหม่ – พิษณุโลก

เจ้าหน้าที่ทดลอง อำนวย วันที่รับตัวอย่าง 1 ม.ค. 16 วันที่ทดลอง 1 ม.ค. 16

COMPACTION TEST

Soil Sample : Gray Laterite for Subbase บ่อยาง ก.ม. 5+800 Lt.

Location : ก.ม. 1+600 – 1+900 Boring No. : 3 Depth : 1.00 – 1.60 m.

Type Test : ตู้ทดสอบมาตรฐานวิธี T 180 Mold Wt (M) : 2.080 Kgs. Volume : 944.2 ml.

(Mod. Proctor)

DENSITY

Trial (water added)	%	2	4	6	8	10		
Wt. Mold + Soil	(Kg.)	4.026	4.171	4.286	4.341	4.330		
Wt. Mold (M)	(Kg.)	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080		
Wt. Soil	(Kg.)	1.946	2.091	2.206	2.261	2.250		
Wet. Density	(gm/ml.)	2.061	2.215	2.336	2.395	2.383		
Dry Density	(gm/ml.)	2.005	2.120	2.179	2.195	2.130		
Void Ratio	e							
porosity	n							

WATER CONTENT

Can No.		B-13	B-21	B-12	B-26	B-28		
Wt. Can + Wet Soil	(gm)	744.4	759.4	757.5	769.5	768.7		
Wt. Can + dry Soil	(gm)	736.3	745.8	736.5	741.3	734.2		
Wt. Water (M)	(gm)	8.1	13.6	21.0	28.2	34.1		
Wt. Can (M)	(gm)	46.7	44.4	45.2	47.9	48.0		
Wt. Dry Soil	(gm)	289.6	701.4	291.3	293.4	286.2		
Water Content	(%)	2.8	4.5	7.2	9.6	11.9		

Remarks

การทดลองที่
ทล. – ท. 109/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR
(เทียบเท่า AASHO T 193)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับวัสดุตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ 2 วิธีคือ

วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้ " วิธี ก."

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่าCBR ต้องมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์,50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้อาจจะเป็นเครื่องแบบใช้มือหมุด (กรณีใช้เฟือง) หรือใช้ปั๊ม (กรณีใช้ Hydraulic) หรือแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ในกรณีฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกด (Piston) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงโดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือลงด้วย 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) มีฐานเจาะรุพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่นโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.3 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.589 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) มีความสูงขนาดต่าง ๆซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.2 แล้วจะเหลือตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร(4.584 นิ้ว) ดังรูป

2.1.4 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมี 2 แบบ ดังนี้

1. เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 4,537 กรัม(10 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเทากับ 457.2 มิลลิเมตร(18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตรเจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR มีความ"สุงกว่ามาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517
2. เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 2,495 กรัม (5.4 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเทากับ 3.4.8 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 มิลลิลิตร (หรือ จะใช้ Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว วัดได้ 1 นิ้ว แทนก็ได้) เพื่อวัดการขยายตัว (ดังรูป)

2.1.6 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบบ เส้นผ่านศูนย์กลาย 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) ทำด้วยดลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มิลลิเมตร (1.95 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัก 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 กิโลกรัมชั่งได้ละเอียดถึง 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) เป็นหลักเหล็กคดล้ายไม้บรรทัด 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 (¾ นิ้ว)
2. ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

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

2.1.16 กระป๋องอบดินสำหรับใส่ดินตัวอย่าง เพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.17 นาฬิกาจับเวลา

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.2.2 น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้ฟอร์ม ที่ ว. 2-11 สำหรับการทดลองหาค่า CBR

ที่ ว. 2 – 15 สำหรับ Plot Curve CBR

ที่ว. 2-15 ก. สำหรับ Plot Curve หาค่า CBR

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

2.4.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ดำเนินการดังนี้

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3 %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ
   - ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3-4 นิ้ว)
   - ขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3-4 นิ้ว) ถึงขนาด4.75 มม.(เบอร์ 4)
2. ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด
3. ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป
4. แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.4.1(3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม.(เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากันตัวอย่างเช่นมีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. อยู่2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม.เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. ตามที่มีจริง ดังนี้

   ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

   มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. 2,650 กรัม

   มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. 4,850 กรัม

   มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เป็นจำนวน 2,650 + 4,850 = 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1(4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็ก 19.0 มม. (¾ นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตามแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3 %) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองโดยใช้ตัวอย่างแผ่นตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. เบอร์ 4 คลุกตัวอย่างที่ตะแกรงให้เข้ากัน

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 ตัวอย่างในการทดลองแต่ละครั้ง

2.5 การทดลอง

2.5.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2.4 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี
2. โดยวิธีการทดลอง Compaction Test ตามการทดลองที่ ทล. – ท. 107/.2517 หรือ ทล.-ท.208/2517 จะทราบปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ให้ใช้ปริมาณน้ำในดินดังนี้
   - ดูแบบฟอร์มที่ ว.2-05 ในการทดลองที่ ทล .- ท.107/2517 หรือ ทล.-ท.108/2517 เปรียบเทียงปริมาณน้ำในดินของตัวอย่งกับปริมารน้ำในดินที่คำนวณได้จากการอบตัวอย่าง จะทราบปริมารน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองดังกล่าวเป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด
   - กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้ เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยการอบหรือตั่วให้แห้ง ก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

3. เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 2.5.1 (2)
4. คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี
5. นำแท่งคลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้วและใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง
6. แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127.0 มม. (4 นิ้ว)
7. ทำการบดทับโดยใช้ค้อน ตามข้อ 2.1.4 (1) หรือ 2.1.4 (2) แล้วแต่กรณีจำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ
8. ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127.0 มม. (4 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 มม.
9. ถอดปลอก (Collar) ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับแล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ
10. คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแบบยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับแล้วออก นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหญ่ลงบนแผ่นฐานพลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐานขันสกรูและใส่ปลอกเข้าที่ ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR ต่อไป (กรณีต้องการทดลองตาม "วิธี ข." ดังกล่าวในขอบข่าย ไม่ต้องใส่กระดาษกรองรองใต้แบบ)
11. ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้ง และ 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. ในขณะเดียวกับทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ 2.5.1 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้
    - ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
    - ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม

3. คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_d (wet Density) และค่าความแน่นแห้ง ρ_t(Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content) โดยใช้สูตรตามข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3

2.4.3 การหาค่าการขยายตัว (Swell)

1. นำแผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plato) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Materials) และ 3 อันสำหรับวัสดุ Subgrade วางลงบนตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ 2.5.1 (10)ให้แนบสนิทกับตัวอย่างโดยขยับไปมา แล้วนำลงแช่ในน้ำให้ท่วมตัวอย่างให้หมด วางก้านสามขา (Tripod) ลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ 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 ถึงแม้ว่าการขยายตัวเพิ่มอยู่เรื่อยๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเรียกว่า 4 วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออกตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหายโดยเฉพาะวัสดุจำพวก 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 ตั้งให้หัวอนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

4. หมุนเครื่องหรือเดินเครื่องหรือปั๊ม แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย การที่ให้มีแรงกดประมาณ 4 กก.(40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress Vs. Penetration
5. เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้น ๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มม.(0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา
6. ทำการบันทึกแรงกด เมื่อPenetration อ่านได้ที่

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

   เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงหนักออก
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 CBRจำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M= 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)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

3.4 คำนวณหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$Swell = \frac{S}{A}100$$

เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.5 คำนวณค่า 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

1. ถ้าต้องการแปลงหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก
2. พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1.935.5 ตารางมิลลิเมตร(3 ตารางนิ้ว) คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

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

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 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 และค่าอื่น ๆ ตามแบบฟอร์มที่ ว.2-15 ก.

5. ข้อควรระวัง

5.1สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.2ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่นพื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้น ขณะทำการบดทับ

5.3ปริมาตรของแบบ (V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ หรือจากที่แสดงไว้ในข้อ 2.1.2

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

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

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

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

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration 5.08 มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้นคือค่า CBR ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าสูงกว่าอยู่อีกให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มม.

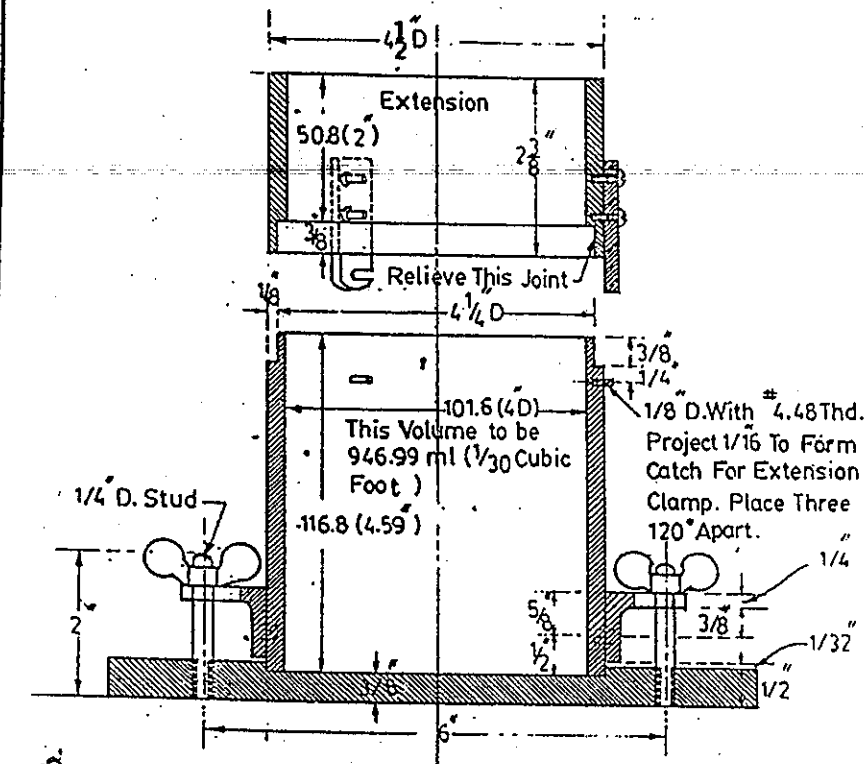
5.8 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่าหรือน้อยกว่า ที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve ตามข้อ 2.5.4(10) ก็ได้ (ในแบบฟอร์มที่ ว. 2-15 ก. ก็ได้เตรียมช่องเพื่อลงรายการไว้ด้วยแล้ว)

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.207/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดเล็ก (ข้อ 2.1.4(1)) ส่วนการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล.-ท.208/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดใหญ่ (ข้อ 2.1.4(2))

6. หนังสืออ้างอิง

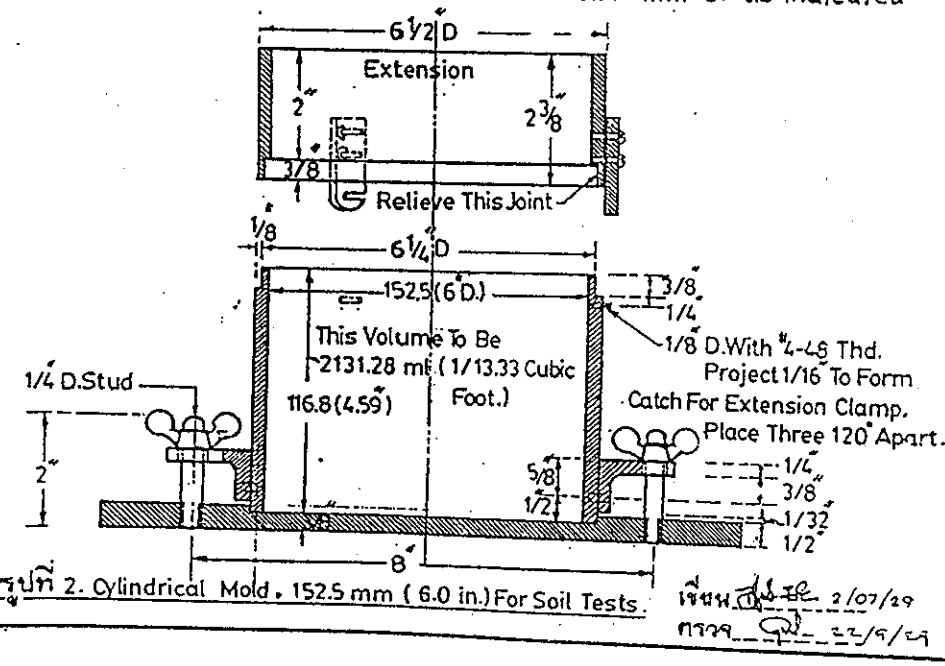
6.1 The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHO Designation : T193

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



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

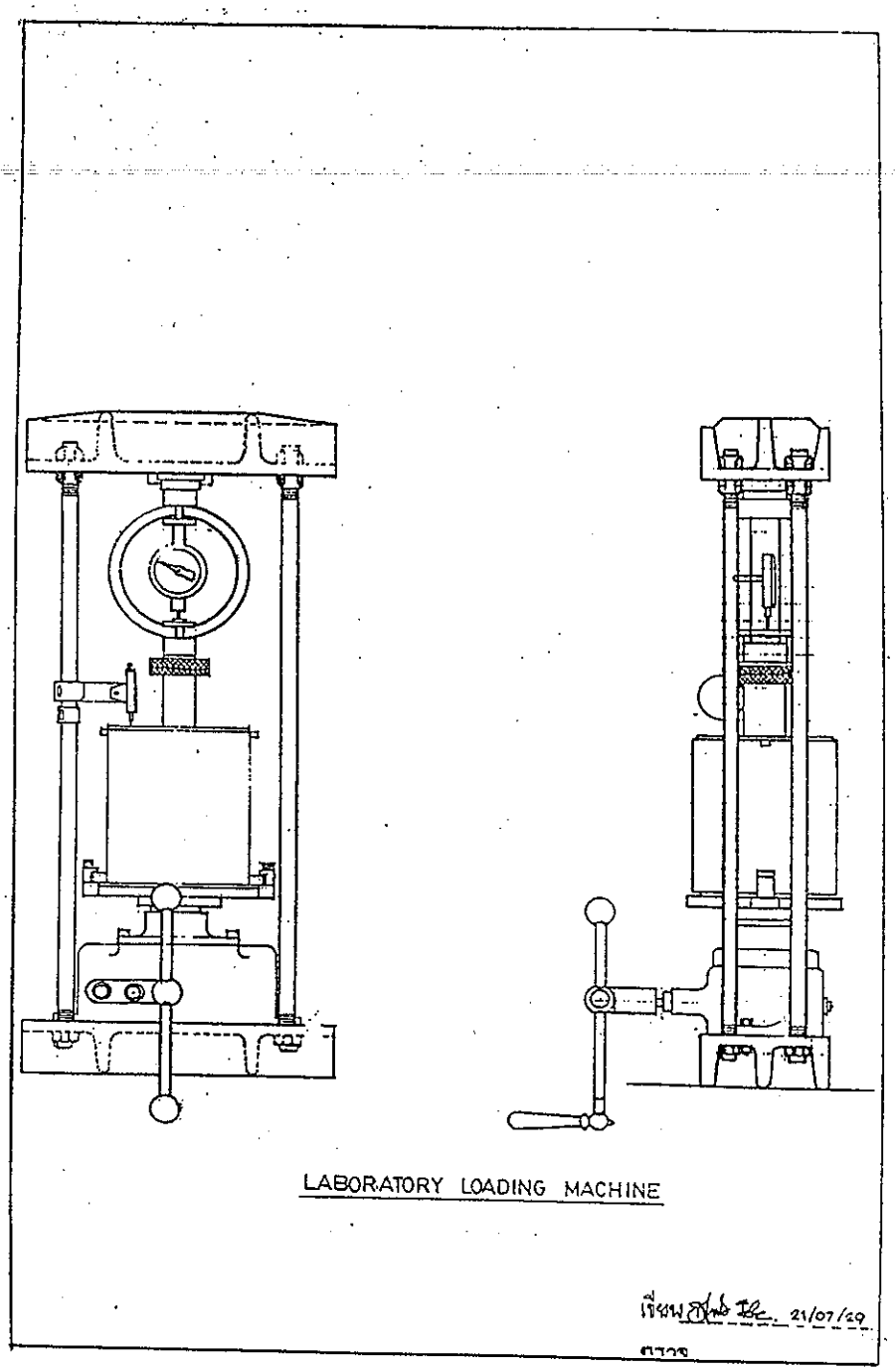
Unit = mm or as indicated



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

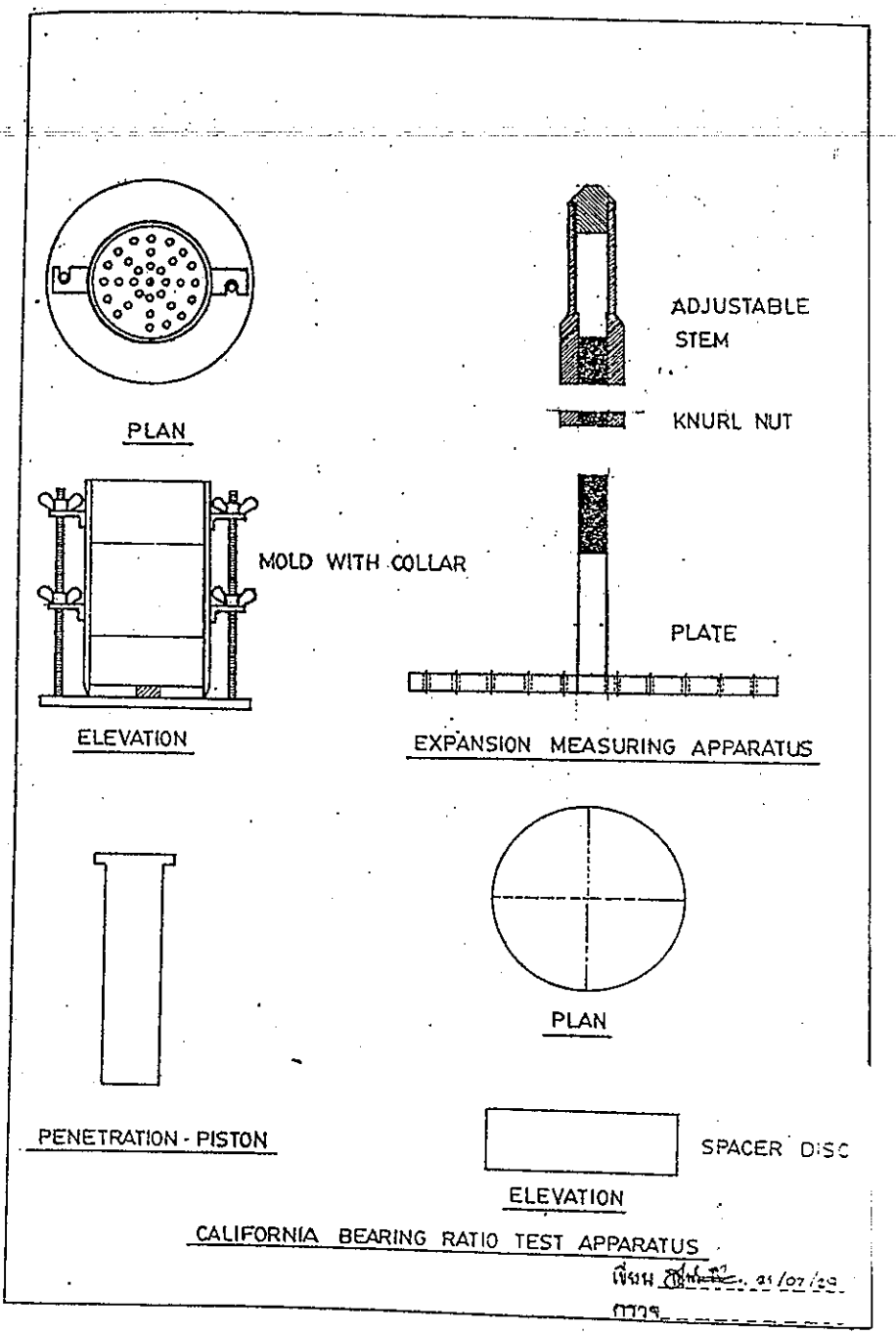
เขียน 2/07/29

ตรวจ 22/9/29

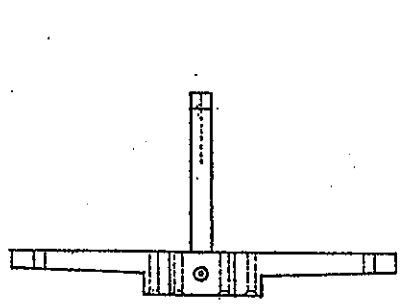


LABORATORY LOADING MACHINE

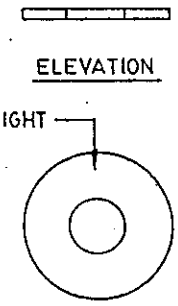
เขียน 21/07/29



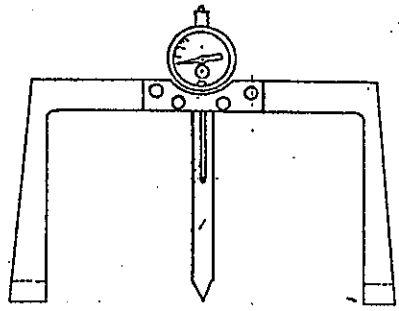
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST APPARATUS



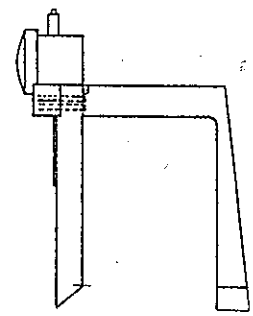
PLAN



PLAN



ELEVATION



SIDE VIEW

EXPANSION MEASURING APPARATUS (TRIPOD)

เขียน 21/07/29

ทาน

SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test C.B.R. 6-18/17

Type of material Silty Sand To be used for Embankment

Source สันป่าตอง - เชียงใหม่ Stock pile No. S-1

Location of sampling กม. 25+000 ขา, 100 ม. ขวา สันป่าตอง - เชียงใหม่

Tested by วิชัย Dated 30 ส.ค. 16

Materials	H.R.B. Classification	Passing 50.0	25.0	19.0	9.5	# 10	# 40	# 200	L.L.	P.I.
A	A-4			100	98.9	97.6	73.6	46.2	24.2	3.8
B					⁄ = 98.6					
Mixed A : B =										

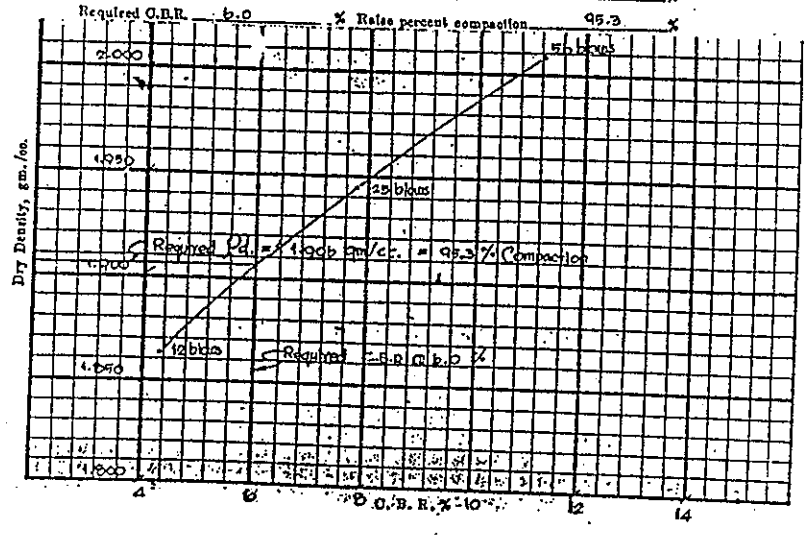
Blow	Density	C.B.R.	Swell
8	-	-	-
12	1.883	4.36	0.49
25	1.945	7.00	0.40
56	2.009	11.21	0.30
75	-	-	-

100 % Std. Proctor Comp. (ทล-ท 107/2517) = 2.000 gm./cc.

95 % Std. Proctor Comp. (ทล-ท 107/2517) = 1.900 gm./cc.

O.M.C. = 13.4 % water content of (molding) C.B.R. = 13.6 %

Required C.B.R. = 6.0 % Raise percent compaction = 95.3 %



กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

Test No. ค-19/15

Type of test Penetration Vs. C.B.R. (12 blows มาตรฐาน)

Date 30 ก.ค. 19

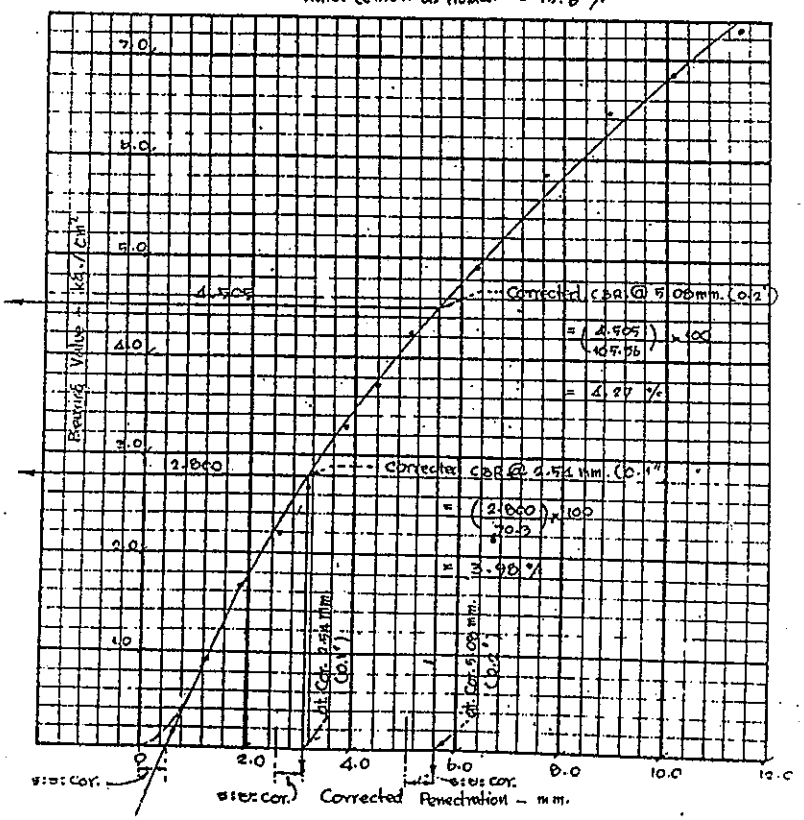
Source สายบ้านโคกสูง – นครราชสีมา Km. 29+000 Lt, 100 m. stock pile No S-1

Plotted by วินัย

Silty Sand For Embankment

ρ_d = 1.867 gm/ml.

Water Content as Molded = 12.6 %



กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ G-10/15

เจ้าของตัวอย่าง ทางหลวง สำนักวิจัยและฝึกอบรม

หนังสือที่ 199/2 ลว 19 ต.ค. 15 วันที่รับหนังสือ 19 ต.ค. 15

ทางสาย สุไหงโกลก - ตากใบ

เจ้าหน้าที่ทดลอง ชัยชัย วันที่รับตัวอย่าง 19 ต.ค. 15 วันที่ทดลอง 26 ต.ค. 15

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Sample Silty Sand For Embankment กม 25+000 ขวา 100 ม. Stock pile No S-1

Mold No. 16 Mass Weight 6.320 Kg. Volume 2302.2 c.c. Factor 0.42 kg/div.

DENSITY

No. blows 12

No. Layers 5

Mass Wt. Hammer 2.494 Kg.

Drop 20.40 cm.

		Before Soaking	After Soaking
Mass Wt. Mold + Soil	Kg.	17.190	17.480
Mass Wt Mold	Kg.	6.320	6.320
Mass Wt Soil	Kg.	4.870	5.160
Wet Density	gm./cc.	2.115	2.241
Dry Density	gm./cc.	1.883	1.951

WATER CONTENT

Can No.		S-11	12	999	B-23
Mass Wt Can + Wet Soil	gm.	290.0	257.4	274.8	300.7
Mass Wt Can + Dry Soil	gm.	260.3	227.3	247.4	260.9
Mass Wt Water	gm.	29.7	26.1	27.4	31.8
Mass Wt Can	gm.	40.7	43.1	43.9	46.2
Mass Wt Dry Soil	gm.	227.6	184.2	203.5	222.7
Water content	%	13.0	14.2	13.5	14.3
Average Water content	%	←	13.6 →		

PENETRATION TEST: Surcharge 3 pcs. = 6.804 Kg. Proving Ring No. 6-72-70

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. Pene. (3)=(1)-(2)	Load (kg.) rdg.from(2)	Bearing Value Kg./cm.^{2}	Bearing Ratio (From Curve)
26 ต.ค. 15	10.35	1.00			0	0.63 (0.025")	0.0009	0.6291	2.28	0.118	Cor. CBR.
27 "	10.30	1.43	0.43	0.94	1	1.27 (0.050")	0.0029	1.2672	10.15	0.940	
28 "	10.30	1.52	0.52	0.41	2	1.90 (0.075")	0.0076	1.9924	91.70	1.640	
29 "	10.30	1.61	0.61	0.48	3	2.54 (0.100")	0.0106	2.5294	43.00	2.220	3.72
30 "	10.35	1.69	0.63	0..	4	3.17 (0.125")	0.0129	3.1571	52.10	2.690	
						3.81 (0.150")	0.0152	3.7940	63.50	3.280	
						4.44 (0.175")	0.0172	4.4229	72.50	3.760	
						5.08 (0.200")	0.0190	5.0602	91.81	4.230	4.36
						6.35 (0.250")	0.0227	6.3273	95.35	4.930	
						7.62 (0.300")	0.0270	7.5930	113.10	5.840	Use This
						8.89 (0.350")	0.0295	8.8805	124.50	6.430	Value
						10.16 (0.400")	0.0312	10.1288	132.10	6.830	
						11.43 (0.450")	0.0332	11.3966	141.00	7.280	
						12.70 (0.500")	0.0349	12.6651	140.40	7.670	

(1) Optimum Moist. 13.4 %

(2) Original Moist 5.2 %

(3) Water to be added (1)–(2) 8.2 %

(4) Use soil passing #4 6,000 gm.

(5) Use soil retained #4 gm.

(6) Total wet soil (4) + (5) 6,000 gm.

(7) Total dry soil (6) ÷ $\frac{100 + (2)}{100}$ 5709 gm.

(8) Total water to be added (7) x (3) 468 gm.

การทดลองที่
ทล. – ท. 602/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองหาค่า CBR ในสนาม (Field CBR)
(เทียบเท่าวิธีของ U.S. Corps of Engineers)

1. ขอบข่าย

การทดลองนี้ใช้หาค่าความแข็งแรงของชั้นต่างๆ ของทางที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร(3/4 นิ้ว) พื้นที่ทดลองอาจอยู่ในสภาพธรรมชาติ ได้รับการบดอัดแล้ว หรือได้รับการเพิ่มความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของงาน การทดลองนี้ได้ดัดแปลงจากวิธีของ U.S. Corps of Engineers

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ประกอบด้วย

2.1.1 น้ำหนักกด เป็นน้ำหนักที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก ปกติใช้เครื่องจักรหรือ รถบรรทุกที่หนักพอไม่ลอยตัวเมื่อขณะทำการทดลอง

2.1.2 เครื่องกด (Screw Jack) มีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (50 กิโลนิวตัน) ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วของการกดให้คงที่ได้ด้วยอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร(.05 นิ้ว) ต่อนาที

2.1.3 ท่อนกด (Penetration Piston) เป็นท่อนทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มิลลิเมตร (1.95 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัด 1,935.4 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) และมีความยาวไม้น้อยกว่า 142.4 มิลลิเมตร(6 นิ้ว) มีเกลียวภายในสำหรับต่อกับท่อนต่อ (Piston Rod) หรือใช้ต่อกับ Proving Ring ได้

2.1.4 เครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงพร้อมที่จับเป็นแม่เหล็ก (Dial Gauge With Magnetic Holder) ชนิดวัดได้ 25 มิลลิเมตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร (หรือจะใช้ขนาดวัดได้ 1 นิ้ว และอ่านได้ละเอียดถึง 0.001 นิ้ว แทนก็ได้

2.1.5 แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (Steel Plate) มี 3 ชนิด

1. แผ่นเหล็ก, แผ่นคอนกรีต กลมมีหูจับ 2 ด้านมีมวล4,537 กรัม(10 ปอนด์) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)

2. แผ่นเหล็กกลมมีมวล 4,537 กรัม(10 ปอนด์) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 254 มิลลิเมตร (10 นิ้ว) ตรงกลางมีรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 51.6 มิลลิเมตร (2 1/32 นิ้ว)
3. แผ่นเหล็กกลมมีมวล 2,268 กรัม (5 ปอนด์) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 254 มิลลิเมตร (10 นิ้ว) มีช่องเพื่อให้สวมท่อนกดได้ หรือจะใช้น้ำหนักอย่างอื่น (Slotted Surcharge หรือ Split Surcharge) แทนได้

2.1.6 Proving Ring ขนาด 1,000 กิโลกรัม (2,000 ปอนด์, 10 กิโลนิวตัน) และ 3,000 กก. (6,000 ปอนด์, 30 กิโลนิวตัน) พร้อมทั้ง Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด และค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดของ Proving Ring

2.1.7 โครงเหล็กพร้อมส่วนประกอบ เพื่อประกอบเป็นแขนติดเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นลง (Dial Gauge) เพื่อใช้วัดระยะที่ท่อนกดจมลง

2.1.8 ท่อนต่อ (Piston Rod) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเดียวกับท่อนกดใช้เพิ่มความยาวของท่อนกด

2.1.9 อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา ภาชนะเก็บตัวอย่างสำหรับหาปริมาณน้ำในดิน สิ่วค้อน อีเตอร์ จอบ พลั่ว เครื่องวัดระดับ ป้ายกั้นจราจร ถังบรรจุน้ำ พร้อมที่ตัก เตาอบ และเครื่องชั่ง

2.2 วัสดุใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 ทรายละเอียด

2.2.2 ปูนปลาสเตอร์

2.2.3 น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.6-01 และ ว.6-02

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

-

2.5 การทดลอง

2.5.1 ขุดผิวหน้าวัสดุออกจนถึงชั้นที่จะทำการทดลองมีขนาดหลุมประมาณ 500 มม. * 500 มม. (ถ้าต้องการทดลองหาค่าความแน่นตาม "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย การทดลองที่ ทล.-ท.603/2517" จุดทดลองความแน่นต้องห่างจากจุดทดลอง CBR ในสนามไม่น้อยกว่า 300 มม.)

2.5.2 เลือกจุดทดลอง CBR ในสนามที่ไม่มีวัสดุก้อนโตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ปรับผิวหน้าให้เรียบและได้ระดับโดยใช้เครื่องวัดระดับช่วย ในกรณีที่ต้องการแช่น้ำ (Soak) ต้องวางแผ่นเหล็ก ดังนี้

1. แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักตามข้อ 2.1.5 (1) จำนวน 1 อัน มีมวล 4,537 กรัม(10 ปอนด์) สำหรับวัสดุพื้นทาง วัสดุรองพื้นทาง และวัสดุคัดเลือก หรือน้ำหนักอื่นใดตามที่กำหนด แต่มีมวลไม่เกิน 13,611 กรัม (30 ปอนด์) บนจุดที่จะทดลอง
2. แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักตามข้อ 2.1.5(1) จำนวน 1 อันและแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักตามข้อ 2.1.5(3) จำนวน 1 อัน มีมวลรวม 6,804 กรัม (15 ปอนด์) สำหรับวัสดุ Subgrade หรืออื่นใดที่กำหนดแต่ต้องไม่เกิน 13,611 กรัม(30 ปอนด์) บนจุดที่จะทดลอง

เทน้ำลงในหลุมแช่ทิ้งไว้จนประมาณว่าวัสดุมีปริมาณความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ไม่ต่ำกว่า 80 % (วัสดุที่มีดินจำพวกดินเหนียวปน ต้องแช่น้ำไว้ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่งโมง) เมื่อแช่น้ำได้ตามที่ต้องการแล้ว ให้ตักน้ำออกให้หมด แล้วยกน้ำหนักที่วางไว้ออก ปาดส่วนที่เหลวออก และแต่งผิวหน้าให้เรียบได้ระดับ ถ้าไม่สามารถแต่งผิวหน้าให้เรียบได้ ให้ใช้ทรายละเอียดแต่งเฉพาะส่วนที่อยู่ใต้แผ่นเหล็ก สำหรับส่วนที่อยู่ใต้ท่อนกด ห้ามปรับระดับด้วยทราย หากจำเป็นต้องแต่งระดับให้ใช้ปูนปลาสเตอร์แต่งบางๆ ให้เรียบ มีขนาดพื้นที่โตไม่เต็มหน้าตัดของท่อนกด ก่อนการทดลองต้องปล่อยให้น้ำซึมออกจากจุดทดลองประมาณ 15 นาที นับจากที่ได้ตักน้ำออกหมด

2.5.3 ให้นำน้ำหนักกดที่ติดเครื่องกดเข้าบริเวณหลุม ติด Proving Ring พร้อมด้วยท่อนกดเข้ากับเครื่องกด แล้วเลื่อนให้ท่อนกดตรงกับจุดทดลอง ปรับให้ท่อนกดตั้งฉากกับพื้นที่ทดลอง วางแผ่นเหล็กดังนี้

1. แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักตามข้อ 2.1.5(2) จำนวน 1 อันสำหรับวัสดุพื้นทาง วัสดุรองพื้นทาง และวัสดุคัดเลือกหรือน้ำหนักอื่นใดที่กำหนด แต่มวลต้องไม่เกิน 13,611 กรัม(30 ปอนด์)

2. แผ่นเหล็กถ่วงตามข้อ 2.1.5 (2) จำนวน1 อัน แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักตามข้อ 2.1.5 (3) จำนวน 1 อัน มีมวลรวม 6,805 กรัม(15 ปอนด์) สำหรับวัสดุ Subgrade หรือน้ำหนักอื่นใดตามกำหนดแต่มวลต้องไม่เกิน 13,611 กรัม(30 ปอนด์)

2.5.4 ติดเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นลง (Dial Gauge) เข้ากับท่อนกด โดยให้แม่เหล็กติดกับท่อนกดและปลายของ Dial Guage วางอยู่บนแผ่นที่ยื่นออกมาจากโครงเหล็ก (ตามข้อ 2.1 7) ให้อยู่ในลักษณะที่อ่านค่าระยะจมลงของท่อนกดได้

2.5.5 หมุนเครื่องกดให้ปลายของท่อนกด กดบนผิวหน้าของพื้นที่ทดลอง ด้วยแรงกดประมาณ 4,000 กรัม(40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring ให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่อ่านค่าระยะจมลงของท่อนกดให้เป็นศูนย์ด้วยการที่ให้มีน้ำหนักกดประมาณ 4,000 กรัม(40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสผิวของพื้นที่ทดลองและไม่นำมาติดในการหา Stress vs. Penetration

2.5.6 หมุนเครื่องกดให้ปลายของท่อนกดจมลงด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอ 1.27 มม.(0.05 นิ้ว) ต่อนาที

2.5.7 ทำการบันทึกแรงกดจากนห้าปัดของ Proving Ring เมื่อท่อนกดจมลงอ่านได้ที่

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

เสร็จแล้วคลายแรงกดออก ยกท่อนกดและแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักออก

2.5.8 นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกดไปหาปริมาณน้ำในดิน ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ดังนี้

1. ขนาดก้อนใหญ่ สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
2. ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม

2.5.9 เขียน Curve ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring กับระยะที่ท่อนกดจมลง (Dial Reading vs. Penetration) เพื่อหาค่า CBR ต่อไป

หมายเหตุ ในการเขียน Curve ของ Dial Reading vs. Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์กลางของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

3. การคำนวณ

3.1 การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณค่า CBR

การคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐานดังนี้

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)

หมายเหตุ

1. ถ้าต้องการแปลงหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก
2. ท่อนกดมีพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว)

คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

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

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

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

4. การรายงาน

ให้รายงาน

4.1 ค่า CBR ที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินเป็นเปอร์เซ็นต์ใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4.3 สภาพภูมิประเทศพื้นถนน การระบายน้ำ รูปตัดของถนนตรงจุดที่ทดลองและอื่น ๆ ตามแบบฟอร์มที่ ว.6-01 และที่ ว.6-02

5. ข้อควรระวัง

5.1 ขาของโครงเหล็กต้องตั้งให้ห่างจากจุดกดไม่น้อยกว่า 400 มม. เพื่อให้อยู่นอกอิทธิพลของการเคลื่อนตัวของวัสดุเนื่องจากแรงกด

5.2 ก่อนการทดลอง ถ้าปรากฏว่าน้ำที่ Soak ไว้แห้ง ให้เติมน้ำแช่ไว้ประมาณ 2 มม. จึงตัดน้ำออกแล้วดำเนินการทดลอง ในกรณีที่เติมน้ำแล้วน้ำซึมไปทันทีให้ดำเนินการทดลองได้เลยหลังจากเติมน้ำ

5.3 ต้องมีป้ายกั้นหรือเครื่องหมายจราจรในบริเวณทดลองเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในกรณีที่จำเป็นจะต้องทดลองบริเวณที่มีระยะมองเห็นปลอดภัยสั้น เช่นที่บริเวณทางโค้ง หรือขึ้นเนินเป็นต้น ให้เพิ่มป้ายกั้นหรือเครื่องหมายจราจร เพื่อให้เห็นได้ในระยะไกล

5.4 ในขณะหมุนเครื่องกด เพื่อให้ท่อนกดจมลงนั้น รถบรรทุกหรือเครื่องจักรที่ใช้เป็นตัวน้ำหนักต้องจอดนิ่งจริง ๆ ถ้าเบรกมือไม่ดีพอต้องหนุนล้อเสีย โดยเฉพาะสำหรับจุดทดลองบนทางลาด

5.5 ในการกดท่อนกดตามข้อ 2.5.6 และอ่านแรงกดตามข้อ 2.5.7 ห้ามกดต่อไปเมื่ออ่านแรงกดได้ถึง 90 % ของค่าความสามารถอ่านได้ค่าสูงสุด (Capacity) ของ Proving Ring ถ้าใช้ Proving Ring ชนิด 1,000 กก. (10 กิโลนิวตัน) ให้เปลี่ยนเป็น Proving Ring เป็นชนิด 3,000 กก. (30 กิโลนิวตัน) ให้หยุดทดลองและหมายเหตุไว้

5.6 เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Load (หรือ Proving Ring Reading) กับค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับ Curve ที่หงายขึ้นเนื่องจากผิวหน้าของตัวอย่างไม่ราบเรียบหรืออ่านยุ่ยเพราะถูกแช่น้ำ ให้ทำการแก้ไขโดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่าน Unit Load เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetration ไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไป เรียกค่า CBR ที่ได้ว่า Corrected CBR Value

5.7 ค่า CBR ที่คำนวณได้จาก Penetration 2.59 มม. (0.1 นิ้ว) และที่ Penetration 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration 5.08 มม. ถ้าไม่เป็นดังนั้นคือค่า CBR ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มม. เป็นค่าที่ทดลองได้

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The Asphalt Institute (1963). Soil Manual for Testing of Asphalt Pavement Structure.

6.2 Road Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, U.K. Soil Mechanics for Road Engineers.

6.3 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท.109/2517 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR"

การทดลองที่
ทล. – ท. 603/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย
(เทียบเท่า AASHO T 191)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นการใช้ทรายแทนที่ (Sand Replacement หรือ Sand Cone Method) เพื่อหาค่าความแน่นในสนาม (In - place Density) ของวัสดุที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองหาค่าความแน่น (แสดงในรายละเอียดในรูปที่ 1) ประกอบด้วย

2.1.1 ขวด (Jar) ลักษณะทรงกระบอก เป็นแก้วหรือพลาสติกที่โปร่งแสง และมีขนาดโดยประมาณดังนี้คือ ปริมาตร 3,780 มิลลิลิตร (1 แกลลอน) ตรงกลางขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร ปากขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร และมีเกลียวสำหรับต่อกับกราย

2.1.2 กรวย (Metal Funnel) เป็นโลหะสูงประมาณ 210 มิลลิเมตร ตรงกลางมีลิ้น (Value) สำหรับปิดหรือเปิดรูทรงกระบอก (Orifice) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ยาว 28.6 มิลลิเมตร (1 1/8 นิ้ว) ปากกรวยบานออกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 165.1 มิลลิเมตร (6 1/2 นิ้ว) เส้นป่านศูนย์กลางภายนอก 171.5 มิลลิเมตร (6 3/4 นิ้ว) สูง 136.5 มิลลิเมตร (5 3/8 นิ้ว) ปลายอีกข้างหนึ่งมีเกลียสำหรับต่อกับขวดขณะทำการทดลองรอยต่อระหว่างขวดและกรวยต้องปิดสนิท ในกรณีที่มีช่องว่างหรือเคลื่อนตัวได้ต้องใส่แหวนยางหรือ Gasket

2.1.3 แผ่นฐาน (Base Plate) เป็นโลหะขนาด 304.8 มิลลิเมตร * 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว * 12 นิ้ว) ตรงกลางมีรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 165.1 มิลลิเมตร(เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากกรวย) มีร่องกว้างประมาณ 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) สำหรับวางปากกรวยให้สนิท ของของแผ่นฐานยกสูงขึ้นเพื่อความสะดวกในการเก็บดินตัวอย่าง มีรูสำหรับตอกตะปูยึดแผ่นฐานไว้ทั้ง 4 มุม

หมายเหตุ เครื่องทดลองตามแน่นนี้ใช้กับตัวอย่างประมาณ 2,800 มิลลิลิตร (0.10 ลูกบาศก์ฟุต) อาจดัดแปลงเครื่องมือให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นได้ แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละชนิด

2.1.4 ทราย เป็นทรายออตตาวา (Ottawa Sand) หรือทรายธรรมดาที่มีในธรรมชาติ หรือที่ทำขึ้น หรือวัสดุอื่นใด ที่ต้องมีความสะอาด แห้ง ไหลได้โดยอิสระ (Free Flowing) ไม่มีเชื้อประสาน แข็ง กลม ไม่มีรอยแตก ไม่มีเหลี่ยมมุม ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) ค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) และมีความแน่น (Bulk Density) ที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 1%

2.1.5 เครื่องชั่งสนาม มีขีดความสารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัมอ่านได้ละเอียด 1.0 กรัม

2.1.6 เครื่องชั่งขนาด 1,000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม

2.1.7 เครื่องอบ (Drying Equipment) เป็นเตาอบไฟฟ้าหรือเตาเผา ซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ประมาณ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หรือเครื่องมืออื่นใดที่สามารถทำให้ตัวอย่างแห้ง เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.8 เครื่องมือประกอบอื่น ๆ มีช้อนตักดิน กระป๋องเก็บตัวอย่าง ภาชนะใส่ดิน เกรียงสิ่วค้อน อีเตอร์ จอบ พลั่ว แปรงขน แปรงลวด เหล็กปาด ตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) ตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) น้ำกลั่น และเทอร์โมมิเตอร์

2.2 วัสดุประกอบการทดลอง

-

2.3 แบบฟอร์ม

2.3.1 ใช้แบบฟอร์มที่ ว.6 – 02 ก.

2.3.2 สำหรับในกรณีที่วัสดุค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม.มากกว่า 10% ให้ใช้แบบฟอร์มที่ ว.6 – 03 ก. และ ว. 6 – 03 ข.

2.3.3 ใช้แบบฟอร์มที่ ว.6 – 07 สำหรับรายงานผล

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

-

2.5 การทดลอง

2.5.1 การตรวจสอบความแน่นของทราย (Bulk Density of sand) ให้ดำเนินการดังนี้

1. หามวลของทรายเต็มขวด (M1)
   - 1.1 หงายขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวย ซึ่งได้ทำความสะอาดและชั่งเรียบร้อยแล้วลงบนพื้นที่มั่นคงได้ระดับ ปิดลิ้นแล้วเททรายในกรวยจนเต็ม
   - 1.2 เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงในขวด และคอยเติมทรายให้เต็มกรวยอยู่ตลอดเวลา ต้องระวังไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจะทำให้ค่าความแน่นของทรายผิดได้ เมื่อทรายล้นขวดแล้วจึงปิดลิ้น แล้วเททรายที่ล้นออกให้หมด
   - 1.3 ชั่งขวดทรายแล้วหามวลของทรายเต็มขวด โดยเอามวลของขวดเปล่าพร้อมกรวยไปหักออกจากมวลของขวดทราย
   - 1.4 ให้ทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยมวลของทรายเต็มขวดเป็น M1
2. หาปริมาตรของขวด (L)
   - 2.1 ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่มั่นคงได้ระดับ แล้วเปิดลิ้นไว้
   - 2.2 เติมน้ำกลั่นลงในขวด จนกระทั่งระดับน้ำขึ้นท่วมกรวยแล้วจึงปิดและเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมด
   - 2.3 ถ้าเกลียวของขวดและกรวยปิดไม่สนิท จะมีน้ำซึมออกมาในขณะที่เติมน้ำ ให้ใช้พาราฟิน หรือเทป หรือขี้ผึ้ง ฉาบป้องกันน้ำซึม
   - 2.4 เช็ดน้ำที่ติดกรวยให้แห้งและนำขวดน้ำไปชั่ง หามวลของน้ำเต็มขวด โดยเอามวลของขวดเปล่าไปหักออกจากมวลของน้ำ ให้หักมวลของวัสดุป้องกันน้ำรั่วออกด้วย
   - 2.5 วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด
   - 2.6 ให้ทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยมวลของน้ำเต็มขวดเป็น M2 และอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปหาค่าปริมาตรของน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวลเป็น T ตามตารางที่ 1
   - 2.7 คำนวณหาปริมาตรของขวดเป็น L

หมายเหตุ

1. ต้องทำเครื่องหมายไว้ว่าเกลียวของขวดและกรวยเคลื่อนตัวหรือไม่ เกลียวต้องไม่ขยับเขยื้อน เพื่อให้ปริมาตรของขวดมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทอลอง
2. เมื่อได้ปริมาตรของขวดเรียบร้อยแล้ว ให้บันทึกปริมาตรที่ถูกต้องของขวดนั้นไว้เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

2.5.2 การทดลองหาค่าความแน่นของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม.

1. ตั้งเครื่องชั่งให้อยู่ในแนวระดับและปรับให้ได้ศูนย์
   1.1 ชั่งหามวลของกระป๋องเก็บตัวอย่างเป็น X_4
   1.2 ชั่งหามวลของภาชนะใส่ดินเป็น P_2
   1.3 เติมทรายลงในขวดซึ่งประกอบกับกรวยเรียบร้อยแล้วให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับการใช้งาน ปิดลิ้นไว้ แล้วนำขวดทรายไปชั่ง ได้มวลรั้งที่หนึ่งเป็น M_1
2. ปรับพื้นผิวทดลองให้เรียบและได้ระดับ วางแผ่นฐานให้สนิทกับพื้น แล้วตอกตะปูยึดให้แน่น ใช้แปรงขนปัดฝุ่นผิวหน้าดินและบนแผ่นฐานออกให้หมด
3. คว่ำขวดทรายให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนล้นขึ้นมาเต็มกรวยโดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้นนำขวดทรายที่เหลือไปชั่ง ได้มวลครั้งที่สองเป็น M_2 มวลที่หายไป $M_1 - M_2$ คือมวลของทรายในกรวยเป็น M_5

   <u>หมายเหตุ</u> การทดลองหาค่าความแน่นของตัวอย่างที่มีเม็ดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ที่ต้องการความรวดเร็วและค่าละเอียดไม่มากนัก ให้ใช้ค่าปริมาตรของกรวยเป็นค่าคงที่ ซึ่งหาค่าเฉลี่ยได้จากการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง
4. เก็บทรายบนแผ่นฐานและพื้นทดลองออกให้หมด ให้ผิวหน้าคงสภาพเดิมเหมือนก่อนเททราย สำหรับทรายที่สกปรกหรือชื้น ให้นำไปทำความสะอาด เพิ่มเติมทรายที่สะอาดลงในขวดจนมีปริมาณเพียงพอกับการใช้งาน ปิดลิ้นไว้ แล้วนำขวดทรายไปชั่งหามวลครั้งที่ 3 เป็น M_3
5. เจาะดินตรงกลางแผ่นฐานเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ารูตรงกลางของแผ่นฐาน โดยขุดเป็นแนวตั้งฉากตลอดชั้นวัสดุที่ทดลอง หรือลึกประมาณ 100-150 มม. แล้วแต่ชนิดของงาน และขนาดของวัสดุตามตารางที่ 2 แต่งหลุมให้เรียบเพื่อให้ทราบแทนที่ได้สะดวก

5.1 รวบรวมตัวอย่างที่ขุดทั้งหมดใส่ภาชนะแล้วนำไปชั่ง ได้มวลรวมของตัวอย่างชื้นและภาชนะใส่ตัวอย่างเป็น P_1

5.2 นำมวลของภาชนะใส่ตัวอย่าง ไปหักออกจากมวลรวมของตัวอย่างชื้นและภาชนะใส่ตัวอย่างมวลที่คงเหลือ $P_1 - P_2$ คือมวลของดินชื้นในหลุมเป็น P_3

6. คลุกดินที่เก็บจากหลุมให้ทั่ว แล้วเก็บใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 100 กรัม หรือแล้วแต่ขนาดของวัสดุตามตารางที่ 2

6.1 ปิดฝากระป๋องป้องกันดินหล่นออก แล้วนำไปชั่งหามวลทันที ได้มวลรวมของดินชื้นและกระป๋องเก็บตัวอย่างเป็น X_1

6.2 นำดินในกระป๋องที่ปิดผาไปอบในเครื่องอบที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 ซ.จนตัวอย่างแล้วนำไปชั่งหามวลได้มวลรวมของดินแห้งและกระป๋องเก็บตัวอย่างเป็น X_2

6.3 นำมวลรวมของดินแห้งและกระป๋องเก็บตัวอย่างไปหักออกจากมวลรวมของดินชื้นและกระป๋องเก็บตัวอย่าง $X_1 - X_2$ ได้มวลของกระป๋องเก็บตัวอย่างไปหักออกจากมวลรวมของดินแห้งและกระป๋องเก็บตัวอย่างได้มวลของดินแห้งเป็น X_3

6.4 หาปริมาณน้ำในดิน w โดยคิดเทียบมวลของน้ำที่มีอยู่ในดิน เป็นร้อยละของมวลของดินแห้ง ในหน่วยมวลเดียวกัน

7. คว่ำขวดทรายให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน (การทดลองที่ต้องการความละเอียดและถูกต้องให้ทำเครื่องหมายไว้ที่ปากกรวยด้านนอก และที่ขอบรูกลางแผ่นฐานด้านบน ในขณะที่คว่ำขวดทรายลงบนแผ่นฐาน ต้องเลื่อนให้เครื่องหมายตรงกันทุกครั้ง) เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม ต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งหามวลครั้งที่สี่เป็น M_4 เก็บทรายสะอาดเพื่อใช้งานต่อไปส่วนทรายที่ชื้นหรือสกปรกให้นำไปทำความสะอาด ความแตกต่างของมวลในการทดลองครั้งหลัง $M_3 - M_4$ คือมวลของทรายที่แทนที่ในหลุมและกรวยเป็น M_6

8. นำมวลของทรายในกรวยไปหักออกจากมวลของทรายในหลุมและกรวย $M_6 - M_5$ คือมวลของทรายในหลุมเป็น M_7

9. หาปริมาตรของหลุมเป็น V_1 โดยเอาความแน่นของทราย ρ_s ไปหารมวลของทรายในหลุม

2.5.3 การทดลองหาค่าความแน่นของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 50.8 มม. และมีส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม. น้อยกว่า 10 % ของมวลรวม

1. ปฏิบัติการทดลองตามข้อ 2.5.2 (1) ถึง (4)

2. ใช้ตะแกรงขนาด 19.0 มม. แบ่งแยกดินที่เก็บจากหลุม ชั่งหามวลของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงเป็น P_4
3. ให้นำส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม. ใส่ลงในหลุมทดลอง
4. ปฏิบัติการทดลองตามข้อ 2.5.2 (6) ถึง (8)
5. หาปริมาตรของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. เป็น V_2 โดยเอาความแน่นของทรายไปหารมวลของทรายในหลุม

2.5.4 การทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 50.8 มม. และมีส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม. มากกว่าหรือเท่ากับ 10% ของมวลรวมหรือวัสดุพวก Grade A หรือ Grade B (มาตรฐานกรมทางหลวง)

1. ปฏิบัติการทดลองตามข้อ 2.5.2 (1) ถึง (5)
2. ใช้ตะแกรงขนาด 19.0 มม. แบ่งแยกดินที่เก็บจากหลุม
   2.1 ชั่งหามวลของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงเป็น P_5
   2.2 ชั่งหามวลของดส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงเป็น P_6
3. ส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม. หรือวัสดุพวก Grade A หรือ Grade B ไม่ต้องใส่ลงในหลุมทดลอง ให้คำนวณหาปริมาตรของส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงเป็น V_3 จากความถ่วงจำเพาะ G แบบ Bulk Saturated - Surface Dry Specific Gravity ตามวิธีทดลองที่ ทล.-ท 207/2517 ที่ได้หาไว้แล้ว ถ้าหินมีลักษณะชื้นหรือแบบ Bulk Specific Gravity ถ้าหินมีลักษณะแห้ง
4. ปฏิบัติการทดลองตามข้อ 2.5.2 (6) ถึง(8)
5. หาปริมาตรของหลุมเป็น V_4 โดยเอาความแน่นของทรายไปหารมวลของทรายในหลุม และผลต่างของปริมาตรของทรายในหลุมกับปริมาตรของส่วนที่เม็ดค้างตะแกรง คือ ปริมาตรของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม.เป็นV_5

3. การคำนวณ

3.1 ความแน่นของทราย

3.1.1 ปริมาตรของขวด

$$L = m_2 T$$

เมื่อ L = ปริมาตรของขวด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

M2 = มวลของน้ำเต็มขวด มีหน่วยเป็นกรัม

T = ปริมาตรของน้ำ 1 กรัม ที่อุณหภูมิทดลองตามตารางที่ 1 มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกรัม

3.2.2 ความแน่นของทราย

$$\rho_S = \frac{m_1}{L}$$

เมื่อ ρ_s = ความแน่นของทราย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

M_1 = มวลของทรายเต็มขวด มีหน่วยเป็นกรัม

L = ปริมาตรของขวด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.2 ปริมาณน้ำในดิน

3.2.1 มวลของน้ำที่มีอยู่ในดิน

$$X_3 = X_1 - X_2$$

เมื่อ X_3 = มวลของน้ำที่มีอยู่ในดิน มีหน่วยเป็นกรัม

X_1 = มวลของดินชื้นและกระป๋องเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

X_2 = มวลของดินแห้งและกระป๋องเก็บตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

3.2.2 มวลของดินแห้ง

$$X_5 = X_2 - X_4$$

เมื่อ X_5 = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

X_2 = มวลของดินแห้งและกระป๋องเก็บตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

X_4 = มวลของกระป๋องเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2.3 ปริมาณน้ำในดิน

$$W = \frac{X_3}{X_5} 100$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

X_3 = มวลของน้ำที่มีอยู่ในดิน มีหน่วยเป็นกรัม

X_5 = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.3 มวลของทรายในหลุม

3.3.1 มวลของดทรายในกรวย

$$M_5 = M_1 - M_2$$

เมื่อ M_5 = มวลของทรายในกรวย มีหน่วยเป็นกรัม

M_1 = มวลครั้งที่หนึ่งของขวด กรวยและทรายมีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลครั้งที่สองของขวด กรวยและทรายมีหน่วยเป็นกรัม

3.3.2 มวลของทรายในหลุมและกรวย

$$M_6 = M_3 - M_4$$

เมื่อ M_6 = มวลของทรายในหลุมและกรวย มีหน่วยเป็นกรัม

M_3 = มวลครั้งที่สามของขวด กรวยและทรายมีหน่วยเป็นกรัม

M_4 = มวลครั้งที่สี่ของขวด กรวยและทราย มีหน่วยเป็นกรัม

3.3.3 มวลของทรายในหลุม

$$M_7 = M_6 - M_5$$

เมื่อ M_7 = มวลของทรายในหลุม มีหน่วยเป็นกรัม

M_6 = มวลของทรายในหลุมและกรวย มีหน่วยเป็นกรัม

M_5 = มวลของทรายในกรวย มีหน่วยเป็นกรัม

<u>3.4 ความแน่นของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 18.0 มิลลิเมตร</u>

3.4.1 ปริมาตรของหลุม

$$V_1 = \frac{M_7}{\rho_s}$$

เมื่อ V1 = ปริมาตรของหลุม มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

M7 = มวลของทรายในหลุม มีหน่วยเป็นกรัม

ρ_s = ความแน่นของทราย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

3.4.2 มวลของดินชื้นจากหลุม

$$P_3 = P_1 - P_2$$

เมื่อ P_3 = มวลของดินชื้นจากหลุม มีหน่วยเป็นกรัม

P_1 = มวลของดินชื้นและภาชนะใส่ดิน มีหน่วยเป็นกรัม

P_2 = มวลของภาชนะใส่ดิน มีหน่วยเป็นกรัม

3.4.3 ความแน่นของดินชื้น

$$\rho_1 = \frac{P_3}{V_1}$$

เมื่อ ρ_1 = ความแน่นของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

P_3 = มวลของดินชื้นจากหลุม มีหน่วยเป็นกรัม

V_1 = ปริมาตรของหลุม มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.4.4 ความแน่นของดินแห้ง

$$\rho_d = \frac{\rho_1}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_1 = ความแน่นของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.5 ความแน่นของดินที่มีส่วนเม็ดค้างตะแกรงขนาด 18.0 มิลลิเมตร น้อยกว่า 10% ของมวลรวม

3.5.1 ปริมาตรที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร

$$V_2 = \frac{M_7}{\rho_s}$$

เมื่อ V2 = ปริมาตรของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

M7 = มวลของทรายในหลุม มีหน่วยเป็นกรัม

ρ_s = ความแน่นของทราย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

3.5.2 ความแน่นของดินชื้น

$$\rho_2 = \frac{P_4}{V_2}$$

เมื่อ ρ_2 = ความแน่ของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

P_4 = มวลของดินชื้นที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นกรัม

V_2 = ปริมาตรของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.5.3 ความแน่นของดินแห้ง

$$\rho_d = \frac{\rho_2}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_2 = ความแน่นของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.6 ความแน่นของดินที่มีส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มากกว่า 10 % ของมวลรวม หรือวัสดุ Grade A หรือ Grade B

3.6.1 ปริมาตรของดินที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร

$$V_3 = \frac{P_6}{G\rho_w}$$

เมื่อ V_3 = ปริมาตรของส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

P_6 = มวลของส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตรมีหน่วยเป็นกรัม

G = ความถ่วงจำเพาะของส่วนที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำใช้ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร

3.6.2 ปริมาตรของดินที่เม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร

$$V_5 = V_4 - V_3$$

เมื่อ V_5 = ปริมาตรของดินที่เม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_4 = ปริมาตรของหลุม มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_3 = ปริมาตรของดินที่เม็ดค้างตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.6.3 ความแน่นของดินชื้น

$$\rho_3 = \frac{P_5}{V_5}$$

เมื่อ ρ_3 = ความแน่นของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

P_5 = มวลของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตรมีหน่วยเป็นกรัม

V_5 = ปริมาตรของดินที่มีเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร มีหน่วยเป็นกรัม

3.6.4 ความแน่นของดินแห้ง

$$\rho_d = \frac{\rho_3}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_3 = ความแน่นของดินชื้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.7 เปอร์เซ็นต์การบดทับ

$$P_c = \frac{\rho_d}{\rho_m} 100$$

เมื่อ P_c = เปอร์เซ็นต์การบดทับ

ρ_d = ความแน่นของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_m = ความแน่นสูงสุดของดินแห้ง ตามวิธีการทดลองที่ ทล. -ท. 107/2517 หรือ 108/2517 มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

4. การรายงาน

ให้รายงานรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 รายงานชื่อโครงการ สายทาง ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ เจ้าหน้าที่ทดลอง วัดเวลาที่ทดลอง ความแน่นของทรายที่ทำได้ ตำแหน่งที่ทดลอง ความหนาของชั้นต่างๆ ตามสัญญาและความหนาจริงในการก่อสร้าง และรายละเอียดอื่น ๆ

4.2 รายงานค่าต่างๆ ตามแบบฟอร์ม สำหรับค่าความแน่นของดินให้ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และเปอร์เซ็นต์การบดทับให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5. ข้อควรระวัง

5.1 แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดลองต้องไม่ให้เคลื่อนตัวได้

5.2 ต้องเก็บทรายที่เทครั้งแรกออกจากผิวหน้าทดลองให้หมด

5.3 ขณะทดลองต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน

5.4 ต้องหาค่าความแน่นของทรายอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

5.5 ทรายที่ใช้ทดลองต้องสะอาดและแห้ง

5.6 ต้องปิดลิ้นก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้ง

5.7 ในขณะที่เคลื่อนย้ายเครื่องมือ ให้อุ้มตัวขวดโดยตรงหรือทำที่หิ้วขวด เพราะกรวยมักจะขาดตรงบริเวณลิ้นถ้าจับหิ้วที่กรวย

5.8 ให้หาความถ่วงจำเพาะของหินที่ค้างตะแกรงขนาด 19.0 มม. ใหม่ทุกครั้งที่ชนิดของวัสดุเปลี่ยนแปลง ตามวิธีทดลองในข้อ 2.5.4 (3)

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The American Society of Testing and Materials. ASTM Standards, ASTM Designation: D 1556 –64.

6.2 The American Association of State Highway Official. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHO Designation: T 191.

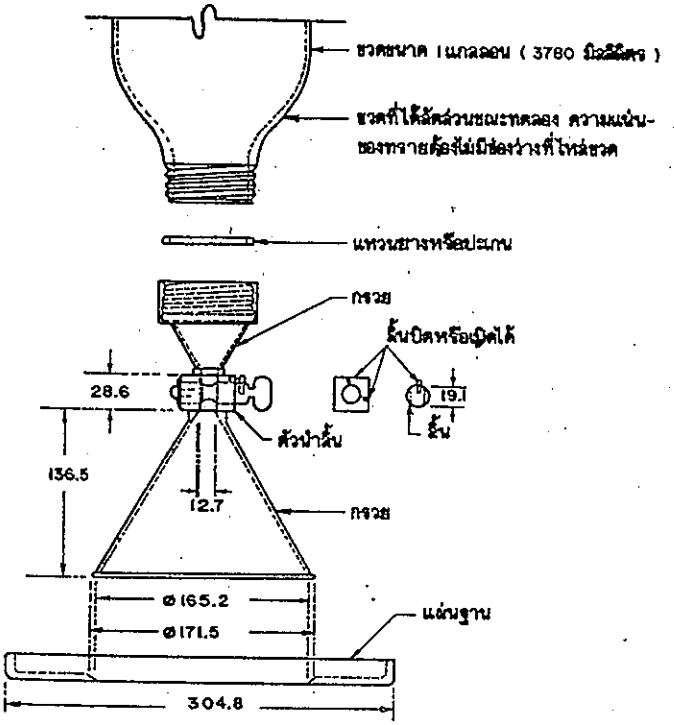
ตารางที่ 1

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาตรของน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวล

อุณหภูมิ		ปริมาตรของน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวล
องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	มิลลิลิตรต่อกรัม (T)
12	43.6	1.000 48
14	57.2	1.000 73
16	60.8	1.000 03
18	64.4	1.001 38
20	68.8	1.001 77
22	71.6	1.002 21
24	75.2	1.002 68
26	78.8	1.003 20
28	82.4	1.003 75
30	86.0	1.004 35
32	89.6	1.004 97

ตารางที่ 2
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดวัสดุ ปริมาตรหลุมและมวลที่ใช้หาความชื้น

ขนาดใหญ่สุดของวัสดุ		ปริมาตรต่ำสุดของหลุม (มิลลิเมตร)	มวลต่ำสุดของวัสดุที่ใช้หาความชื้น (กรัม)
มม.	ขนาดตระแกรง		
4.75	เบอร์ 4	700	100
12.5	0.5 นิ้ว	1 400	250
25	1 นิ้ว	2 100	500



หมายเหตุ—
ขนาดทั้งหมดเป็น มิลลิเมตร

รูปที่. 1 เครื่องมือทดลองหาความแน่น

เรียน ลมลักษ์ ยืนยิ่ง (วกส.29.

ตรวจ 22/9/09

กองวิเคราะห์และวิจัย

Field Density Test Report

Project :..[illegible]..

Section :.....Date..[illegible]..Tested by..[illegible]..

No.	Station	Depth mm.	Material to be used as	Laboratory Test		In-Place Test		Percent Compaction	Minimum Compaction Required	Acceptance	Remarks
				opt. Moist. %	Density gm/ml.	Moist-ure %	Density gm/ml.				
1	1+225 1.5 ML	230	Sub-base	6.8	2.264	4.8	2.219	98.4	95.0	[illegible]	
2	1+416 2.4 MR	235	"	6.8	2.294	2 6	2 160	99.0	95.0	"	
3	1+502 1.0 MR	240	"	6.8	2.264	3 9	2 191	97.2	95.0	"	
4	1+629 2.6 ML	237	"	6 6	2 254	4 0	2 219	98.4	95.0	"	
5	1+716 2.0 MR	240	"	6.8	2 264	4 7	2 227	98.8	95.0	"	

.....Material Engineer.

กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

FIELD DENSITY TEST

SAND REPLACEMENT METHOD

โครงการ ฯ สาย [illegible]

วัสดุชั้น Base course ชนิดของวัสดุ Lime stone

เจ้าหน้าที่ทดสอบ วิจัย วันที่ทดสอบ 26 ต.ค. 16

Density of sand (γ_s) 1.500 gm./cc.

Station	Km	1+945	1+415	1+602	1+629	1+716
	Off set m	1.5 LT	2.4 RT	1.0 RT	2.6 LT	2.0 RT
VOLUME DETERMINATION						
Wt. of Sand in funnel						
initial wt. (W_1) M_1	gm.	7750	7849	8074	12905	8031
final wt. (W_2) M_2	gm.	5803	5953	6372	6307	6307
Wt. of Sand used $W_s = (W_1 - W_2)$ $M_s = M_1 - M_2$	gm.	1747	1896	1702	1670	1724
Wt. of Sand in hole and funnel						
initial wt. (W_3) M_3	gm.	8008	8167	7840	7940	7971
final wt. (W_4) M_4	gm.	2926	3267	3221	3312	3448
Wt. of Sand used $W_6 = (W_3 - W_4)$ $M_6 = M_3 - M_4$	gm.	5082	4900	4619	4629	4523
Wt. of Sand in hole $W_7 = (W_6 - W_5)$ $M_7 = M_6 - M_5$	gm.	3335	3004	2917	2959	2799
Volume of hole $V_1 = (W_7 \div \gamma_s)$ or $= V_2$	cc.	2216.5	1994.7	1936.9	1960.8	1860.6
V_s from ว. 6-03 ว.	cc.	1937.1	1728.6	1684.7	1740.3	1614.9
WATER CONTENT DETERMINATION						
Can No.		20	F 80	F-2	75	81
Wet soil + can. (X_1)	gm.	254.3	274.0	285.2	1098.6	254.6
Dry soil + can. (X_2)	gm.	245.3	266.2	276.0	283.0	245.2
Wt. of water $X_3 = (X_1 - X_2)$ M_3	gm.	9.0	7.8	9.2	9.6	9.4
Wt. of can. (X_4) M_4	gm.	45.7	43.2	41.0	43.0	45.2
Wt. of Dry soil $X_5 = (X_2 - X_4)$ M_5	gm.	199.6	223.0	235.0	240.0	200.0
Water content $[(X_3 \div X_5)\ 100] = w$	%	4.5	3.6	3.9	4.0	4.7
WT. OF DENSITY SAMPLE						
Wet soil + container (P_1)	gm.	4809	4142	4152	4333	4065
Wt. of container (P_2) M_2	gm.	317	317	317	317	317
Wt. of wet soil $P_3 = (P_1 - P_2)$ or $= P_4$ or $= P_5$ M_3	gm.	4492	3825	3835	4016	3766
Wet density $\gamma_w = (P_3 \div V_1)$ or $= \rho_w$ $(P_4 \div V_2)$ or $= (P_5 \div V_s)$	gm./cc.	2.319	2.216	2.276	2.308	2.332
Dry density $[\gamma_w \div (1 + \frac{w}{100})] = \gamma_d$ ρ_d	gm./cc.	2.219	2.160	2.191	2.219	2.227
PERCENT COMPACTION DETERMINATION						
Max. density γ_m ρ_m	gm./cc.	2.254	2.254	2.254	2.254	2.254
% Compaction $P_c = [(\gamma_d \div \gamma_m)\ 100]$ $\rho_d \div \rho_m$		98.4	95.8	97.2	98.4	98.8
DEPTH OF COMPACTED MATERIAL						
Designed depth	cm.	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Actual depth in field	cm.	38.0	35.0	40.0	37.0	40.0

(Soil-Aggregate ที่มี Gradation เข้า Specs. Grade A และ B ให้ใช้ Data ว. 6-03 ว. ทดลองด้วย)

FIELD DENSITY TEST

ใช้คู่กับ ว. ๖—๐๓ ก. ในกรณีที่วัสดุค้าง ๑๙.๐ มม. มากกว่า ๑๐ %

ในการทดลอง field density หินที่โตกว่า ๑๙.๐ มม. จะต้องเอากลับลงไปในหลุม ในขณะที่ทดลองหาปริมาตรของหลุม ถ้าหากมีหินขนาดนี้มากกว่า ๑๐ % ขึ้นไป จะทำให้ทรายไม่สามารถไหลลงถึงกันหลุมได้ จะทำให้เกิด error ในการทดลองหา field density

ในกรณีมีวัสดุโตกว่า ๑๙.๐ มม. มากกว่า ๑๐ % ไม่ต้องเอาวัสดุเหล่านี้ลงในหลุมและให้ดำเนินการทดลองดังนี้ โดยใช้ Data ควบกับ ว. ๖—๐๓ ก.

Bulk saturated-surface-dry specific gravity (G) = 2.70

(ของวัสดุที่ขนาดโตกว่า ๑๙.๐ มม.)

Station	Km.	1+325	1+416	1+902	1+629	1+716
	Off. set	1.5 LT	2.4 RT	1.8 RT	2.6 LT	2.0 RT
Volume of 19.0 mm. retained—aggregate						
น.น. of + 19.0 mm. aggregate (P_6)	gm.	749	726	681	590	658
Volume of + 19.0 mm. aggregate $V_3 = (P_6 \div G)$	cc.	277.4	268.9	252.2	218.5	243.7
Total Volume of hole V_1 from ว.๖—๐๓ ก. = (V_4)	cc.	2214.5	1994.7	1936.9	1958.8	1958.6
Volume of 19.0 mm. passing—aggregate (V_5) or Volume of hole = (V_4—V_3)		1937.1	1725.8	1684.7	1740.3	1614.9
(ใช้ Volume of hole คำนี้ไปหา wet density ใน ว. ๖—๐๓ ก. ต่อไป)						

หมายเหตุ Soil—Aggregate ที่มี Gradation เข้า Specs. grade A และ B ให้ใช้วิธีการทดลองนี้ทุกครั้ง

การทดลองที่
ทล. – ท. 203/2515

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent
(เทียบท่า AASHO T176)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T176-70 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุเม็ดหยาบพวกกรวดหรือทราย

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วยกระบอกตวงพลาสติก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 31.75 มิลลิเมตร (1 1/4 นิ้ว สูง 431.80 มิลลิเมตร(17 นิ้ว) และมีขีดวัด 318 มิลลิเมตร (15 นิ้ว) แบ่งเป็น 15 ส่วน ส่วนละ 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) แต่ละส่วนแบ่งออกเป็น 10 ช่อง

2.1.2 Irrigator Tube (ดูรูปที่ 1)

2.1.3 Weighted Foot Assembly ซึ่งประกอบด้วย Sand Reading Indicator ติดอยู่กับแก่นห่างจากตัว Foot 254 มิลลิเมตร (10 นิ้ว) ดูรูปที่ 1

2.1.4 Siphon Assembly ประกอบด้วยขวดกลมซึ่งบรรจุสารละลาย Calcium Chloride 3.80 ลิตร (1 แกลลอน) ให้ขวดกลมวางสูงจากโต๊ะที่ทำการทดลอง Sand Equivalent 914 ± 25 มิลลิเมตร (3 ฟุต ± 1 นิ้ว)

2.1.5 กระป๋องตวง (Measuring Can) ขนาด 85 ± 5 มิลลิลิตร (3 ออนซ์)

2.1.6 กรวยปากกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางตรงปากกรวยขนาดประมาณ 100 มิลลิเมตร

2.1.7 นาฬิกาจับเวลา

2.1.8 เครื่องเขย่ากล (Mechanical Shaker) มีประสิทธิภาพเขย่าได้ 175 ± 2 รอบต่อนาที และระยะทางเขย่าเท่ากับ 203 ± 1 มิลลิเมตร (8 ± 0.004 นิ้ว) หรืออาจเครื่องเขย่ามือ (Manual Shaker) ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 Stock Solution สารละลาย Calcium Chloride เตรียมได้ จาก Anhydrous Calcium Chloride 454 กรัม, USP Glycerine 2,050 กรัม และ Formaldehyde 47 กรัม ละลาย Calicium Chloride ในน้ำกลั่น 1,900 มิลลิลิตร (1/2 แกลลอน) แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองแบบ Rapid Filtering Filter Paper หรือ Whatman No. 12 เติม Glycerine และ Formanldehyde ในสารละลาย ผสมกันจนเข้ากันดี เติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนได้สารละลาย 3.80 ลิตร (1 แกลลอน)

2.2.2 Working Solution เตรียมได้จาการนำเอาสารละลายในข้อ 2.2.1 มาเต็มกระป๋องตวง (85 ± 5 มิลลิลิตร) เติมน้ำกลั่นให้ได้สารละลาย 3.80 ลิตร (1 แกลลอน)

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.3-12

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างตากแห้ง(Art - Dry Sample) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4(4.76 มม.) มา 1 กระป๋องตวง (85 ± 4 มิลลิลิตร) โดยวิธี Quartering หรือใช้ Riffle Splitter อย่างใดอย่างหนึ่ง ควรเคาะกระป๋องกับพื้นแข็ง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างบรรจุในกระป๋องมากที่สุด ใช้ที่ปาดดินปาดวัสดุที่ขอบบนของกระป๋องตวงให้ตัวอย่างเต็มกระป๋องตวง

2.5 การทดลอง

2.5.1 เติมสารละลายที่เตรียมจากข้อ 2.2.2 ลงไปในกระบอกตวงพลาสติก ให้สูง 4 ± 0.1 ส่วน (4 ± 0.1 นิ้ว) โดยผ่าน Irrigator Tube วางกรวยปากกลมบนปากกระบอกตวง แล้วเทวัอย่างจากกระป๋องตวงลงไปในกระบอกตวงใส่ฟองอากาศโดยใช้ก้นกระบอกตวง กระแทกกับฝ่ามือจนตัวอย่างเปียกโดยทั่งถึงกัน

2.5.2 ปล่อยให้วัสดุตัวอย่างแช่ทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนเป็นเวลา 10 ± 1 นาทีแล้วอุดกระบอกตวงด้วยจุกยาก พลิกกระบอกตวงคว่ำไปมาพร้อมทั้งเขย่า เพื่อป้องกันมิให้วัสดุตกค้างอยู่ที่ก้นกระบอกตวง

2.5.3 การเขย่ากระบอกตวงสามารถทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

1. เขย่าด้วยเครื่องเขย่ากล โดยวางกระบอกตวงพลาสติกซึ่งอุดด้วยจุกยางอยู่ในแนวราบ และอยู่ในลักษณะติดแน่นกับเครื่องเขย่า ตั้งเวลาให้เครื่องเขย่ากลนี้เขย่าเป็นเวลา 45 ± 4 วินาที
2. เครื่องเขย่ามือ โดยยึดกระบอกตวงพลาสติกซึ่งอุดด้วยจุกยางเข้ากับเครื่อง โดยใช้สปริงยึด 3 ตัว ตั้งเครื่องนับครั้งเขย่าให้เริ่มที่ศูนย์ ดันเหล็กโยกกระบอกตวงไปในแนวนอนด้านข้าง จนกระทั่งปลายเข็มชี้ที่เครื่องหมายกำหนดระยะทางการเขย่าซึ่งติดอยู่บนกระดานด้านหลังเครื่องโยก แล้วจึงปล่อยมือให้เหล็กโยกเขย่ากระบอกตวงโดยอิสระ และอาจใช้ปลายนิ้วมือโยกช่วย เพื่อให้การเขย่าเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และเคลื่อนที่ในแนวด้านข้างตามระยะที่กำหนดไว้ การเขย่าที่ถูกต้องสมบูรณ์คือการโยกที่เมื่อครบรอยครั้งหนึ่งๆ แล้ว ปลายเข็มชี้จะอยู่ภายในขีดความกว้างของเครื่องหมายกำหนดระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 3 ให้เขย่าเช่นนี้ 100รอบ
3. ใช้มือเข่า โดยจับกระบอกตวงด้วยฝ่ามือทั้งสองข้างในแนวราบ ให้ระยะทางเขย่าในแนวราบนี้ยาว 228 ± 25 มม. (9 ± 1 นิ้ว) และให้เขย่า 90 รอบ ในเวลาประมาณ 30 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4 (การนับจำนวนรอบให้นับจากจุดเริ่มต้นเขย่าไปแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกเป็น 1 รอบ)

2.5.4 หลังจากเขย่าโดยวิธีการตามข้อ 2.5.3 แล้ว นำกระบอกตวงพลาสติกตั้งโต๊ะ เอาจุกออก หย่อนปลาย Irrigator Tube ลงไปในกระบอกตวง เปิดให้สารละลายในขวดผ่านออกไปล้างวัสดุที่ติดอยู่ข้างๆ กระบอกตวงนั้น จากขอบบนลงไป ค่อย ๆหมุนและดัน Irrigator Tube ผ่านชั้นวัสดุเม็ดหยาบลงไปจนถึงก้นกระบอก วัสดุเม็ดละเอียดจะลอยตัวขึ้นมาเป็นของผสมอยู่เหนือพวกเม็ดหยาบ เมื่อของผสมมีระดับอยู่ที่ขีด 15 ส่วย (15 นิ้ว) ค่อย ๆ ยกIrrigator Tube ขึ้น แต่ยังคงปล่อยให้สารละลายไหลออกเรื่อย ๆ จนเมื่อยก Irrigator Tube ออกจากกระบอกตวง ระดับของผสมในกระบอกตวงต้องอยู่ที่ระดับขีดที่ 15 ส่วน (15 นิ้ว)

2.5.5 ปล่อยกระบอกตวงทิ้งไว้โดยไม่ให้ถูกรบกวนอี 20 นาที นับเวลาหลังจากเอา Irrigator Tube ออกจะเห็นดินเหนียวลอยอยู่ โดยแยกเป็นชั้นอย่างชัดเจน อ่านค่าระดับชั้นบนสุดของดินเหนียวบนกระบอกตวงเป็นค่า "Clay Reading" ถ้าในระยะเวลา 20 นาทีดินเหนียวยังตกตะกอนไม่หมด โดยยังไม่เห็นเป็นชั้นแยกกันอย่างชัดเจน ให้ยืดเวลาออกไปแต่ไม่ควรเกิน 30 นาที ถ้าเวลามากกว่า 30 นาที ยังไม่มีการแยกเห็นได้ชัดเจน ให้

ทำการทดลองใหม่ โดยใช้อีก 3 ตัวอย่าง และใช้ค่า "Clay Reading" ของตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาตกตะกอนที่สั้นที่สุด

2.5.6 หาค่า " Sand Reading" ได้จากการนำเอา Weighted Foot Assembly ค่อยๆ หย่อนลงในกระบอกตวง ไปวางบนวัสดุหยาบหรือทรายอ่านค่าบนกระบอกตวงระดับบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า "Sand Reading "

2.5.7 ค่าของ "Clay Reading " และ "Sand Reading" ให้ใช้ทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่งเท่านั้น ในกรณีที่อ่านทศนิยมได้มากกว่า 1 ตำแหน่ง ให้ปัดไปในด้านมาก จนเหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง เช่นอ่านได้ 3.22 ให้ใช้ 3.3 เป็นต้น

3. การคำนวณ

ค่า Sand Equivalent (SE) หาได้จากสูตร

$$SE = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} 100$$

ถ้าค่า SE ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มทั้งหมด เช่นค่า SE ได้เท่ากับ 41.25 ให้ใช้ค่า SE เป็น42 เป็นต้น

4. การรายงาน

ให้รายงานผลในแบบฟอร์มที่ ว.3-12

5. ข้อควรระวัง

5.1 สถานที่ใช้ในการทดลองต้องเป็นที่ซึ่งปราศจากการสั่นสะเทือน ซึ่งจะทำให้อัตราการตกตะกอนผิดไป

5.2 ไม่ควรวางกระบอกตวงพลาสติกในแสงแดด

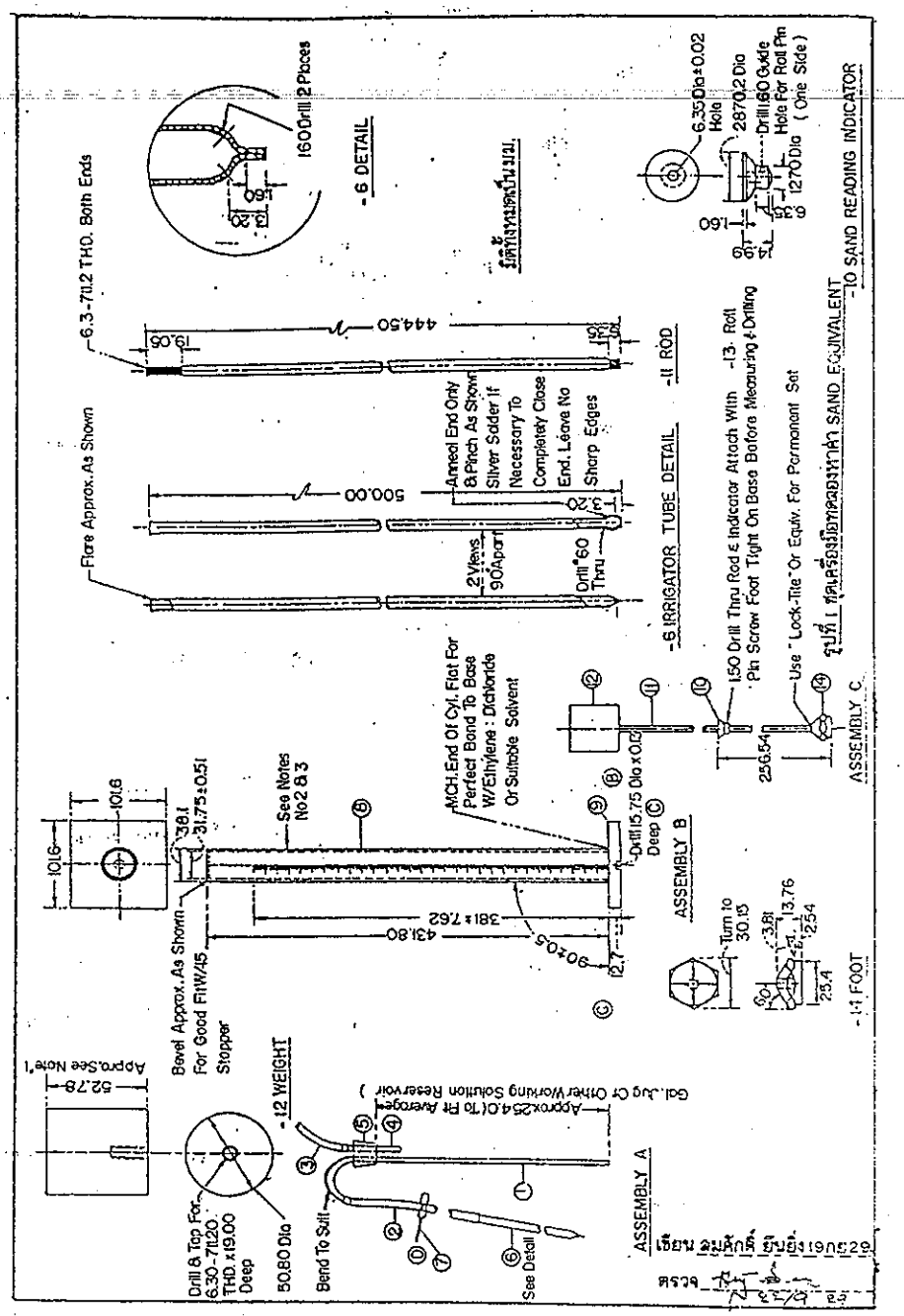
5.3 ระวังมิให้ทรายหรือดินไปอุดตันที่ปลายของ Irrigator Tube

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The American Association of State Highway official. Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II , AASHO Designation : T 176-70

6.2 State of California, Department of public works, Division of highways. Materials Manual of Testing and Control Procedures, Vol. I, Test Method No. Calif.217-B.

6.3 American Society for Testing and Materials (1971). Annual Book of ASTM Standard, Part II, ASRTM Designation: D 2419-71.


-6 DETAIL
160 Drill 2 Places
6.3-711.2 THD. Both Ends
444.50
500.00
Flare Approx. As Shown
Anneal End Only & Pinch As Shown Silver Solder If Necessary To Completely Close End. Leave No Sharp Edges
2 Vews 90 Apart
Drill 60 Thru
-5 IRRIGATOR TUBE DETAIL
-11 ROD
-13- Rott
-10 SAND READING INDICATOR
6.350 Dia ± 0.02 Hole
2870.2 Dia
Drill 60 Guide Hole For Rod Pin (One Side)
1270 Dia
1.60
MCH. End Of Cyl. Flat For Perfect Bond To Base W/Ethylene : Dichloride Or Suitable Solvent
See Notes No2 & 3
Drill 15.75 Dia x 0.02 Deep
ASSEMBLY B
150 Drill Thru Rod & Indicator Attach With Pin Screw Foot Tight On Base Before Measuring & Drilling
Use "Lock-Tite" Or Equiv. For Permanent Set
256.54
ASSEMBLY C
-1:1 FOOT
101.6
38.1
31.75 ± 0.51
Bevel Approx. As Shown For Good Fit W/45 Stopper
381 ± 7.62
431.80
90 ± 0.5
2.7
Turn To 30.15
3.81
13.76
25.4
Approx. See Note 1
52.78
Drill & Tap For 6.30-711.20 THD. x 19.00 Deep
50.80 Dia
Bend To Suit
-12 WEIGHT
Gal. Jug Or Other Working Solution Reservoir)
Approx 254.0 (To Fit Average
See Detail
ASSEMBLY A

กรมทางหลวง

การทดลองที่

ทล. – ท. 202/2515

กองวิเคราะห์และวิจัย

วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion (เทียบเท่า ASTM C 1331 และ C 535)

1. ขอบข่าย

การทดลองนี้เพื่อหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวดและ Coarse Aggregate อื่นๆ การทดลองนี้ดัดแปลงมาจาก ASTM. Designations : C131 – 69 และ C535 – 69

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เครื่อง Los Angeles Abrasion มีลักษณะและขนาดตามรูปที่ 1 ประกอบด้วยเหล็กทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711 ± 5 มิลลิเมตร (24 ± 0.2 นิ้ว) ความยาวภายใน 504 ± 5 มิลลิเมตร (20± 0.2 นิ้ว) เหล็กทรงกระบอกนี้ติดอยู่กับเพลาและหมุนรอบแกนได้ในแนวนอน มีช่องสำหรับใส่วัสดุพร้อมฝาเหล็กปิด เมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะผิวด้านในเหมือนกับผิวทรงกระบอกและเสมอกน ไม่ทำให้ลูกเหล็กทรงกลมซึ่งเป็น Abrasive Charge สะดุดเวลาผ่านรอยต่อ มีเหล็กขวางสูง 89 ± 2 มิลลิเมตร (3.5 ± 0.1นิ้ว) ยาว 508 ± 2 มิลลิเมตร (20 ± 0.2 นิ้ว) ติดแน่นด้านในเหล็กทรงกระบอกความสูงของเหล็กขวางอยู่ในแนวรัศมีของทรงกระบอก ความยาวตามเส้นรอบวงภายนอก วัดในทิศทางที่เหล็กทรงกระบอกหมุนจากเหล็กขวางถึงช่องสำหรับใส่วัสดุไม่น้อยกว่า 1270 มิลลิเมตร (50 นิ้ว)

หมายเหตุ เหล็กขวางควรมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดอยู่กับผนังของเหล็กทรงกระบอก หรืออาจใช้เหล็กฉากแทนโดยติดที่ริมฝาเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ ให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปตามทิศทางที่หมุน

2.1.2 ตะแกรงสำหรับหาขนาดของ Coarse Aggregate ใช้ตะแกรงมีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 75.0 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) , 63.0 มิลลิเมตร (2 ½ นิ้ว) , 50.0 มิลลิเมตร (2นิ้ว) , 37.5 มิลลิเมตร (1 ½ นิ้ว) , 25.0 มิลลิเมตร (1นิ้ว) 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ,12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) , 9.5 มิลลิเมตร (3/9 นิ้ว) , 6.3 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) , #4 (4.75 มิลลิเมตร) #8 (2.36 มิลลิเมตร) #12 (1.70 มิลลิเมตร)

2.1.3 Abrasive Charge เป็นลูกเหล็กทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลองประมาณ 46.8 มิลลิเมตร (1 27/32 นิ้ว) แต่ละลูกมีมวลระหว่าง 390 – 445 กรัม จำนวน Abrasive Charge ขึ้นอยู่กับ Grading ของตัวอย่าง Grading ของตัวอย่างกำหนดไว้ในตารางที่ 1

จำนวน Abrasive Charge ที่ใช้ในการทดลองแต่ละ Grading

Grading	Abrasive Charge	มวลรวม (กรัม)
A	12	5000 ± 25
B	11	5584 ± 25
C	8	5330 ± 25
D	6	5500 ± 25
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

2.1.4 เครื่องชั่งซึ่งสามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

2.2 ใช้ประกอบการทดลอง

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 3 – 11

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.1 ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวดปนทราย หินโม่ ให้ตากตัวอย่างจนแห้ง หรืออบจนแห้งที่อุณหภูมิ 115 – 110 องศาเซลเซียส แล้วทำต่อตามข้อ 2.4.3

2.4.2 ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปน หรือมีส่วนละเอียดติดเป็นก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 110 องศาเซลเซียส แล้วทำต่อตามข้อ 2.4.3

2.4.3 นำตัวอย่างไปแยกขนดตาม Grading ในตารางที่ 1 ถ้าเข้าได้หลาย Grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

2.5 การทดลอง

นำตัวอย่างทีเตรียมไว้จากข้อ 2.4.3 และ Abrasive Charge ตามจำนวนลูกในข้อ 2.1.3 ใส่เข้าไปในเครื่อง Los Angeles หมุนเครื่องด้วยความเร็วที่ 30 – 33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนรอบตามตารางที่ 1 เมื่อหมุนได้ครอบตามกำหนดแล้ว ให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่อง ล้างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ออกทิ้ง นำส่วนที่ค้างตะแรกงเบอร์ 12 มาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส จนได้มวลคงที่ จึงชั่งหามวลตัวอย่างที่เหลือ

ตารางที่ 1

ขนาดตะแกรง (มม.)		มวล (กรัม) และ Grading ของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
75.0	63.0	-	-	-	-	2500±50	-	-
63.0	50.0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50.0	37.5	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37.0	25.0	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25.0	19.0	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19.0	12.5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-	-	-	-
6.3	#4(4.75 มม.)	-	-	2500±10	-	-	-	-
#4(4.75 มม.)	#8(2.36 มม.)				5000±10			
มวลตัวอย่างรวม		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±25	10000±50
จำนวนรอบ		500				1000		

3. การคำนวณ

$$\text{ความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

เมื่อ M_1 = มวลตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

M_2 = มวลที่ค้างบนตะแกรง #12

4. การรายงาน

ให้รายงานค่าความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles เป็นร้อยละ โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5. ข้อควรระวัง

5.1 ให้ทำการชั่ง Abrasive Charge แต่ละลูกอย่างน้อย 1 ครั้งทุกๆ 6 เดือน เพื่อตรวจสอบให้มวลรวมเป็นตามข้อ 2.1.3

5.2 ในกรณีที่เหล็กขวงใช้เหล็กฉากติดริมแผ่นเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ การปิดต้องให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปในทิศทางที่เครื่องหมุน

6. หนังสืออ้างอิง

American Society for Testing Materials, ASTM Standards, ASTM Designation: C131 and 535.

การทดลองที่
ทล. – ท. 204/2516

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง
(เทียบเท่า AASHO T27 - 70)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T27 – 70 และ T37 – 70 เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร - เมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่างๆ ตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง

2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.2 % ของตัวอย่างทั้งหมด

2.1.3 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Simple Splitter) ขนาดต่างๆ

2.1.4 แปรงลวดทองเหลือง แปรงพลาสติกและแปรงขนสำหรับทำความสะอาดตะแกรง

2.1.5 เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 + 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

-

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 3 – 10 แล้วที่ ว. 2 – 12

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธีแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้น เพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ตัวอย่างมีมวลไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	90 – 100	0.5
9.5 มม. (3/4")	90 – 100	1.0
12.5 มม. (1/2")	90 – 100	2.0
19.0 มม. (3/4")	90 – 100	5.0
25.0 มม. (1")	90 – 100	10.0
37.5 มม. (1 ½")	90 – 100	15.0
50 มม. (2")	90 – 100	20.0
63 มม. (2 ½")	90 – 100	25.0
75 มม. (3")	90 – 100	30.0
90 มม. (3 ½")	90 - 100	35.0

2.5 การทดลอง

2.5.1 ถ้ามีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่หรือส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแตกให้หมด ตากหรืออบ ตัวอย่างให้ผิวแห้ง (Surface Dry) ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.5.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาทีไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือ ใช้เวลาเขยานานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้ว ตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องไม่ซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1000 ตร.มม.หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) ถ้าตัวอย่างค้างตะแกรงเกินกว่าที่กำหนด ให้แบ่งตัวอย่างทดลองสองครั้ง หรือเพิ่มตะแกรงขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่ค้างเกินเข้าไปอีกขนาดหนึ่ง นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

3. การคำนวณ

คำนวณหาขนาดเม็ดของวัสดุได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{R}{T} \times 100$$

เมื่อ R = มวลของตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดนั้น

T = มวลของตัวอย่าง

4. การรายงาน

ให้รายงานค่าเปอร์เซ็นต์ตะแกรงขนาดต่างๆต่อมวลรวมด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่งใน แบบฟอร์มที่ ว. 2 – 12

5. ข้อควรระวัง

5.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่าของก้อนโตที่สุด

5.2 ตรวจดูตะแกรงบ่อยๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The American Association of State Highway official. Standard Specifications for Highway Material and Methods of Sampling and Testing , Part ll , AASHO Designations : T27 – 70 and T37 – 70.

6.2 State of California , Department of Public Works , Division of Highway Materials Manual of Testing and Control Procedures , Vol. ll , Test Method No. Calif. 201 – B and 202 – C.

การทดลองที่
ทล. – ท. 205/2517

กรมทางหลวง
กองวิเคราะห์และวิจัย
วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง
(เทียบเท่า AASHO T27 - 70)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ สำหรับขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T27 - 70

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่างๆตามต้องการพร้อมเครื่องเขย่าตะแกรง

2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.2 % ของตัวอย่างทั้งหมดพร้อมเครื่องเขย่าตะแกรง

2.1.3 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.1.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Simple Splitter) ขนาดต่างๆ

2.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง แปรงพลาสติกและแปรงขน

2.1.6 ภาชนะสำหรับใช้และล้างตัวอย่าง หรือ

2.1.7 ภาชนะล้างตัวอย่างด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า (ความจุประมาณ 8000 มิลลิเมตร)

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำยาสำหรับใช้ล้างส่วนละเอียด เตรียมได้จากการละลายผลึก Sodium Hexametaphosphate Buffered Whit Sodium Carbonate ($NaPO_3$) กรัมในน้ำ 1000 มิลลิลิตร คนผสมกันให้ทั่วจนไม่มีเม็ดผลึกเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนใช้ ใช้น้ำยานี้ 125 มิลลิลิตรผสมกับน้ำ 875 มิลลิลิตร เป็นน้ำยาสำหรับล้างส่วนเอียดประมาณ 1000 มิลลิลิตร อาจจะผสมไว้ทีละมากๆ หรือทดลองครั้งหนึ่งก็ผสมครั้งหนึ่งละ 1000 มิลลิลิตร ต่อวัสดุทดลองหนึ่งตัวอย่าง

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 – 01 สำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)

ว. 2 – 01 ก. สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)

ว. 2 – 12 สำหรับรายงาน

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างอาจจะเป็นดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธี Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้น เพื่อลดการแยกตัว ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

2.5 การทดลอง

2.5.1 ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแยกจากกันให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส มวลตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เทน้ำหรือน้ำยาลงไปในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระจอกออกจากภาชนะถ้าไม่ใช้เครื่องเขย่า ควรแช่น้ำไว้ในภาชนะสำหรับล้างตัวอย่างด้วยมือนานประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่บนอยู่มากควรใช้ตระแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 (0.075 มม.) ซ้อนไว้บน เพื่อลดประมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) อีกต่อไป เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
2. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วยเข่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาทีไม่เกิด 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้ว ถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องไม่ก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1000 ตร.มม. หรือไม่เกิด 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดไปชั่ง

2.5.2 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดทั้งใหญ่ และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.) อาจทำได้ 2 วิธี

<u>วิธีที่ 1</u>

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่ หรือมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ และส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนหลุดออกจากกันให้หมด โดยใช้ค้อนยางทุบ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) เพื่อแยกส่วนที่ค้างและผ่านตะแกรง ถ้าตัวอย่างมีมากให้แบ่งทำหลายๆ ครั้ง
2. นำส่วนที่ค้างตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชันของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ
3. นำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องซาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้อของตัวอย่างเพื่อคำนวณของตัวอย่างแห้งก็ได แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดหรือแยกตัวอย่างบางส่วนไปดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.1

<u>วิธีที่ 2</u>

นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากข้อ 2.4 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่าง เพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.1 ถ้ามีขนาดก้อนใหญ่มากควรจัดตะแกรงที่จะล้างให้มีขนาดต่างๆ ลดหลั่นกัน

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

3.1.1 หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากมวลของตัวอย่างอบแห้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือมวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

3.1.2 หามวลที่ผ่าน (Mass Retained) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องมวลที่ค้าง (Mass Retained) ขึ้นไป เอามวลของช่อง (Mass Retained) บน Pan เป็นช่อง Mass Passing ของตะแกรง เบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมมวลของ Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เป็นมวลของช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัดขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อยๆ จนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

3.1.3 คำนวณหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing)ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (กรัม)}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (กรัม)}} \text{X } 100$$

3.2 คำนวณหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่า (เบอร์4) 4.75 มิลลิเมตร

3.2.1 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

1. หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกัน แล้วหักออกจากมวลของตัวอย่างที่อบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือมวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ที่ค้างบน Pan
2. หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดเช่นเดียวกับข้อ 3.1.2
3. คำนวณหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตรเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

3.2.2 คำนวณหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรง ต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เช่นเดียวกับข้อ 3.1

3.2.3 คำนวณหาเปอร์เซนต์รวผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์รวมผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{X \times Y}{100}$$

เมื่อ X = เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

Y = เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ในการทดลองพวกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

4. การรายงาน

ให้รายงานค่าเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆต่อมวลรวม ด้ายทศนิยม 1 ตำแหน่งในแบบฟอร์ม ว. 2 – 12

5. ข้อควรระวัง

5.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่าของก้อนโตที่สุด

5.2 ห้อมใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณที่ยังร้อนอยู่

5.3 ควรตรวจสอบตะแกรงอยู่เสมอ โดยเฉพาะเบอร์ 200 (0.075 มม.)

6. หนังสืออ้างอิง

The American Association of State Highway official. Standard Specifications for Highway Material and Methods of Sampling and Testing , Part ll , AASHO Designations : T11 – 70 , T27 – 70 and T88 – 70

ตารางที่ 1

สำหรับหินย่อย

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	90 – 100	0.5
9.5 มม. (3/4")	90 – 100	1.0
12.5 มม. (1/2")	90 – 100	2.0
19.0 มม. (3/4")	90 – 100	5.0
25.0 มม. (1")	90 – 100	10.0
37.1 มม. (1 ½")	90 – 100	15.0
50.0 มม. (2")	90 – 100	20.0
63.0 มม. (2 ½")	90 – 100	25.0
75.0 มม. (3")	90 – 100	35.0
90 มม. (3 ½")	90 - 100	35.0

ตารางที่ 2

สำหรับ Soil Aggregate

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	90 – 100	0.5
9.50 มม. (3/8")	90 – 100	1.0
12.5 มม. (½")	90 – 100	2.0
19.0 มม. (3/4")	90 – 100	5.0
ใหญ่กว่า 25.0 มม. (1")	90 – 100	10.0

ภาคผนวก ข.
เรื่อง ขั้นตอนการก่อสร้าง

ขั้นตอนการก่อสร้างด้านโครงสร้าง

ขั้นตอนการก่อสร้างนี้จะกล่าวถึงโดยสังเขปว่ามีการก่อสร้างเป็นขั้นตอนอย่างไรบ้าง

งานตรวจสอบระดับดินเดิม (Teat Cross-section)

นำค่าระดับดินเดิมที่หาได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องถ้าค่าที่ได้ต่างกันอย่างมากก็ต้องมีการสำรวจใหม่ เมื่อตรวจสอบหาค่าระดับดินเดิมเรียบร้อยแล้วก็เตรียมงานขั้นตอนต่อไป

งานถางป่าและขุดตอ (Clearing and Crubbing)

ขั้นตอนงานถางป่าและขุดตอ (Clearing and grubbing) เป็นการเตรียมพร้อมบริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนนงานถางป่าและขุดต่อ (Clearing and grubbing) ได้แก่ การกำจัดต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ขยะ วัชพืช และสิ่งไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น โครงสร้าง หรือสิ่งปลูกสร้าง ฯลฯ เพื่อประโยชน์แก่การก่อสร้างและหรืออาจยังความเสียหายให้แก่ความมั่นคงแข็งแรงของคันทางที่จะก่อสร้างใหม่

งานตัดคันทาง (Sub-Grade)

การก่อสร้างงานตัดคันทาง(Sub-grade) ทำการก่อสร้างบนชั้นฐานราก (Foundation) ที่ได้ทำการบดอัดไว้เรียบร้อยแล้งในขั้นตอนของการถางป่าและขุดตอ (Clearing and grubbing) ด้วยวัสดุมวลรวมที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับ และรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบ

งานรองพื้นทาง (Subbase)

การก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง ทำการก่อสร้างบนงานตัดคันทาง (Sub- Grade) ด้วยวัสดุมวลรวม ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับและรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบ

ทรายรองใต้ผิวทาง (Sand Cushion Under Pavement)

การก่อสร้างชั้นรองใต้ผิวทางคอนกรีตบนชั้นรองพื้นทางด้วยทรายที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับ และรูปร่างตามที่แสดงไว้ ในแบบ

ผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pavement)

การก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก บนชั้นทรายรองใต้ผิวทางคอนกรีตที่เตรียมไว้ ด้วยส่วนผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่มีคุณภาพตามที่กำหนด ให้ได้แนว และรูปร่าง ตามที่แสดงไว้ในแบบ

งานก่อสร้างรอยต่อ (Joint)

งานรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต

1. Longitudinal Joint (รอยต่อตามยาว) แบ่งรอยต่อตามความยาวของถนน ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการแตกร้าวของผิวทางคอนกรีตเนื่องมาจากแรงห่อตัว ขณะเดียวกันก็ใช้แบ่งช่องจราจรระหว่างรอยต่อมีเหล็กยึดเรียกว่า Tie Bar
2. Contraction Joint (รอยต่อเพื่อการหดตัว) ทำหน้าที่ บังคับให้รอยแตกในแผ่นคอนกรีต (Crack) เกิดตรงจุดที่ต้องการ และถ้ามีการแตกร้าวก็จะเกิดอย่างเป็นระเบียบ
3. Expansion Joint (รอยต่อเพื่อการขยายตัว) ทำหน้าที่ ป้องกันไม่ให้ถนนได้รับความเสียหายเนื่องจากการหดตัวและขยายตัวของแผ่นคอนกรีต เมื่อได้รับอุณหภูมิแตกต่างกัน
4. Dummy Joint (รอยต่อก่อสร้าง) คือรอยต่อที่จะต้องหยุดการเทคอนกรีตหลังจากสิ้นสุดการทำงานในแต่ละวัน หรือในช่วงที่มีเหตุจำเป็นต้องจะต้องหยุดการทำงานบางครั้งเรียกว่า Contruction Joint

รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ต้องได้รูปและเป็นไปตามข้อกำหนด

งานไหล่ทางหินคลุก (Crushed Rock Shoulder)

การก่อสร้างชั้นไหล่ทางหินคลุก (Crushed Rock Shoulder) บนชั้นรองพื้นทางซึ่งมีการลงทรายบนชั้นรองพื้นทาง ที่ได้เตรียมไว้แล้ว ด้วยวัสดุหินคลุกที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการเกลี่ยแต่ง และบดทับให้ได้ แนว ระดับ และรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบ

งานไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Shoulder)

การก่อสร้างไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Shoulder) โดยปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นไหล่ทางหินคลุก ที่ได้เตรียมไว้แล้ว ให้ได้แนว และรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบ

งานพื้นทาง (Base)

การก่อสร้างชั้นพื้นทาง ทำการก่อสร้างบนงานรองพื้นทาง (Sub- Base) ด้วยวัสดุ มวลรวม ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับและรูปร่างตามที่แสดงไว้ในแบบ

งานทำผิวทาง (Surface Treatment)

เป็นการทำผิวทางสำหรับทางที่มีการจราจรน้อยถึงปานกลาง เป็น Low Cost surface โดยมีวิธีทำทั้ง Single, Double, Triple

งานทำผิวทาง (Slurry Seal)

Slurry Seal Coat เป็นส่วนผสมของ Well – grade fine aggregate , mineral filler (ถ้าจำเป็น) เพื่อช่วยการ Set ตัวของ Slurry ผสมกับ emulsified asphalt และน้ำ จุดประสงค์หลักเพื่อให้แทรกซึมเข้าไปในผิวเก่าที่มีรอยแยก ความหนาค่อนข้างน้อยระหว่าง 3 - 12 มม.

งานทำผิวทาง (Cape Seal)

เป็นการทำผิว (Low cost) อีกชนิดหนึ่งซึ่งใช้ประโยชน์ของ Surface Treatment และ Slurry seal มาผสมกัน โดยทำ Surface Treatment ก่อนแล้วทับหน้าด้วย Slurry seal