เอกสารอ้างอิง

1. Winterkorn, H. F., "Recent Developements in Soil Stabilization," 1939 Montana National Bituminous Conference, pp. 125-138, Idaho Department of Public Works, 1939.

2. Winterkorn, H. F., "Principles and Practice of Soil Stabilization," Colloid Chemistry, Vol 6, pp. 459-492, Reinhold Publishing Corp., New York, 1946.

3. Mitchell, J. K., "Soil Improvement," State of the Art Report, X ICSMFE, Vol. 4, pp. 533-537, Rotterdam, 1982.

4. Sherwood, P. T., "The Properties of Cement Stabilized Materials." Road Research Laboratory, RRL Report LR 205, Ministry of Transport, Crowthorne, 1968.

5. Circeo, L. J., D. T. Davidson, and H. T. David, "Strength - Naturity Relations of Soil - Cement Mixtures," Iowa State University for 41st Annual Meeting of the Highway Research Board, Washington, D. C., 1962.

6. Thomson, M. R., "Lime - Reactivity of Illinois Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 92, No. SM5, 1966.

7. Lambe, T. W., A. S. Michaels, and Z. C. Moh., "Improvement of the Strength of Soil - Cement with Additives," Highway Research Board, 1957.

8. Flaherty, CAO', Highway Engineering, Vol 2, pp. 177-348, Edward Arnold, London, 3rd ed. 1988.

9. Portland Cement Association, "Soil - Cement Laboratory Handbook," Skokie, Illinois, 1959.

10. Lee Ian K., Weeks White, and Owen G Ingles, Geotechnical Engineering, pp. 457-461, Pitman Publishing Inc., Massachusetts, 1983.

11. Highway Research Board, "Effect of Petrographic Variation of Southwestern Iowa Loess on Stabilization with Portland Cement," Bulletin 98, 1955.

12. Moh, Z. C., "Soil Stabilization with Cement and Sodium Additives," Journal of SMFD, ASCE, Vol 88, pp. 81-105, 1962.

13. Atkins, Harold N., Highway Materials, Soils, and Concretes, pp. 279-280, Reston Publishing Company, Virginia, 2nd ed., 1983.

14. Sowers, George F., Introductory Soil Mechanics and Foundations Geotechnical Engineering, pp. 269-270, Macmillan Publishing, New York, 4th ed., 1979.

15. Lea, F. M., The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold, 2nd ed., 1956.

16. Grimer, F. J., A Laboratory Investigation into some of the Factors Affecting the Strength of Soil - Cement, Road Research Laboratory Note, No. RN/3288, 1958.

17. Ruenkrairergsa, T., "A Research on Types of Soil for Stabilization Suitable for Cement or Lime," Group Training in Road Construction, Department of Highways, Bangkok, 1982.

18. Ingles, O.G., and J. B. Metcalf, Soil Stabilization Principles and Practice, pp. 110-113, Butterworths, Australia, 1972.

19. Clarke, K. E., and A. E. Pollard, "The Effect of Curing Temperature on the Compressive Strength of Soil - Cement Mixtures," Geotechnique, No. 4(3), pp. 97-107, London, 1954.

20. Dumbleton, M. J., Investigation to Assess the Potentialities of Lime for Soil Stabilization in the United Kingdom, Road Research Technical Paper, No. 64, H. M. Stationary Office, London, 1962.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบหน่วยของการวัดในมิติต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัย

ความยาว

1 นิ้ว = 2.54 ซม. 1 ฟุต = 0.3048 ม. 1 ไมล์ = 1.6093 กม.

1 ซม. = 0.3937 นิ้ว 1 ม. = 3.2808 ฟุต 1 กม. = 0.6214 ไมล์

พื้นที่

1 ตร.นิ้ว =6.4516 ตร.ซม. 1 ตร.ฟุต=0.0929 ตร.ม. 1 ตร.ไมล์=2.590 ตร.กม.

1 ตร.ซม.=0.1550 ตร.นิ้ว 1 ตร.ม.=10.7639 ตร.ฟุต 1 ตร.กม.=0.3861 ตร.ไมล์

1 acre =4,047 ตร.ม. 1 hectare=2.471 acres 1 ไร่ =400 ตร.วา

ปริมาตร

1 แกลลอน=3.7854 ลิตร 1 ลบ.ฟุต=28.3169 ลิตร 1 ลบ.ฟุต=0.02832 ลบ.ม.

1 ลิตร =0.2642 แกลลอน 1 ลิตร =0.035313 ลบ.ฟ. 1 ลบ.ม.=35.3133 ลบ.ฟ.

ความเร็ว

1 ไมล์/ชั่วโมง = 1.6093 กม./ชม. 1 ไมล์/ชั่วโมง = 1.46667 ฟุต/วินาที

1 กม./ชั่วโมง = 0.6214 ไมล์/ชม. 1 กม./ชั่วโมง = 0.27778 ม./วินาที

แรงและน้ำหนัก

1 ปอนด์ = 453.6 กรัม 1 ปอนด์ = 0.4536 กก. 1 ปอนด์ = 4.45 นิวตัน

1 กรัม = 0.0022046 ปอนด์ 1 กก. = 2.2046 ปอนด์ 1 นิวตัน = 0.225 ปอนด์

1 slug = 14.59 กก.

ความดัน

1 ปอนด์/ตร.นิ้ว = 0.07031 กก./ตร.ซม. 1 ปอนด์/ตร.นิ้ว = 0.006895 MPa

1 กก./ตร.ซม. = 14.2234 ปอนด์/ตร.นิ้ว 1 MPa = 145.038 ปอนด์/ตร.นิ้ว

ความหนาแน่น

1 ปอนด์/ลบ.ฟุต = 0.01602 กรัม/ลบ.ซม. 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต = 16.0183 กก./ลบ.ม.

1 กรัม/ลบ.ซม. = 62.430 ปอนด์/ลบ.ฟุต 1 กก./ลบ.ม. = 0.062430 ปอนด์/ลบ.ฟุต

อัตราการไหล

1 ลบ.ฟุต/วินาที = 0.02832 ลบ.ม./วินาที

1 ลบ.ม./วินาที = 35.3133 ลบ.ฟุต/วินาที

ภาคผนวก ข

วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ตามมาตราฐานกรมทางหลวง

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลองต่าง ๆ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการนำไปวิเคราะห์ผล ซึ่งสามารถจัดตามอันดับการทดลอง ตามมาตราฐานกรมทางหลวง ได้ดังนี้คือ

1. การทดลองที่ ทล.- ท. 101/2515 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน"

2. การทดลองที่ ทล.- ท. 102/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid LImit (LL) ของดิน"

3. การทดลองที่ ทล.- ท. 103/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index"

4. การทดลองที่ ทล.- ท. 104/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Shrinkage Factors"

5. การทดลองที่ ทล.- ท. 105/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน"

6. การทดลองที่ ทล.- ท. 106/2516 "วิธีการทดลองหาขนาดวัสดุดินโดยใช้ Hydrometer"

7. การทดลองที่ ทล.- ท. 108/2517 "วิธีการทดลองหา Compaction Test แบบสูงกว่ามาตราฐาน"

8. การทดลองที่ ทล.- ท. 109/2517 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR"

9. การทดลองที่ ทล.- ท. 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง"

ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการทดลองต่าง ๆ ตามลำดับต่อไป

การทดลองที่ ทล.- ท. 101/2515

วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

(เทียบเท่า AASHTO T 100)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (soils) ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) โดยใช้ขวด Pycnometer ถ้าดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้หาความถ่วงจำเพาะโดยใช้วิธีการทดลองที่ ทล.- ท. 207/2517 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ" ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่จะนำไปใช้ในการคำนวนสำหรับการทดลอง Hydrometer ให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.00 มิลลิเมตร) และใช้ขวด Pycnometer เช่นเดียวกัน

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ขวด Pycnometer ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.1.2 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.1.3 เทอร์โมมิเตอร์ชนิด 0 - 100 องศาเซลเซียส

2.1.4 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.1.5 เตาและภาชนะต้มน้ำ

2.1.6 อ่างน้ำ

2.1.7 เครื่องกวน (Stirring Apparatus)

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำกลั่น

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 06

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ดินที่จะนำมาทำการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ อาจเป็นดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติ หรืออาจเป็นดินที่อบแห้งแล้ว อย่างใดอย่างหนึ่ง

2.4.1 การเตรียมตัวอย่างดินที่มีน้ำผสมอยู่ตามธรรมชาติ เตรียมได้โดยการนำเอาดินมาประมาณ 150 กรัม แช่ลงในน้ำกลั่น ผสมดินให้เข้ากับน้ำกลั่นโดยใช้เครื่องกวน แล้วนำดินนี้ไปทดลอง

2.4.2 การเตรียมตัวอย่างที่อบแห้ง จะต้องอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรืออบกระทั่งมวลของตัวอย่างคงที่ นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใช้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม แช่ในน้ำกลั่นอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลอง

2.5 การทดลอง

2.5.1 การเทียบมาตราฐานขวด Pycnometer ต้องเทียบมาตราฐานขวด Pycnometer ก่อน เพื่อความสะดวกในการใช้คราวต่อ ๆ ไป ให้ทำแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของน้ำบวกกับมวลของขวด กับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) วิธีเทียบมาตราฐานทำได้ 2 วิธีคือ

2.5.1.1 โดยการทดลอง ขวดที่จะนำมาเทียบมาตราฐานจะต้องสะอาดและแห้ง ชั่งหามวลของขวด เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายที่คอขวด เช็ดขวดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหามวลของน้ำบวกมวลของขวด และวัดอุณหภูมิของน้ำกลั่นในขวด นำขวดไปอุ่นให้ร้อนในภาชนะต้มน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับน้ำในขวดจะสูงเกินขีดเครื่องหมาย เอาจุกปิดที่ปากขวดแล้วพลิกขวดไปมา เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำในขวดสม่ำเสมอทั่วกัน เอาน้ำส่วนที่เกินออกจนกระทั่งส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีด

เครื่องหมาย เช็ดขวดให้แห้ง นำไปชั่งและวัดอุณหภูมิ

การทดลองดังกล่าวข้างต้น ให้ทำที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ระหว่างอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อสะดวกในการทำแผนภูมิที่ต้องการ

2.5.1.2 โดยการคำนวนหาค่ามวลของน้ำบวกมวลของขวดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ จากสูตร

$$M = M_B + V_B (1 + dT.e)(p_t - p_a)$$

ซึ่ง M = มวลของน้ำ + มวลของขวด มีหน่วยเป็นกรัม

M_B = มวลของขวดเปล่าที่สะอาดแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

V_B = ปริมาตรของขวด (500 มิลลิลิตร)

$$dT = T - T_C$$

T = อุณหภูมิของน้ำเป็นองศาเซลเซียส ขณะที่ชั่งหามวล

T_C = อุณหภูมิที่ใช้เทียบมาตราฐานขวดที่ปริมาตร V_B (โดยปกติใช้ที่ 20 องศาเซลเซียส)

e = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวโดยปริมาตรของแก้ว ใช้ค่า 0.00001 ต่อองศาเซลเซียส

p_t = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (ดูตารางที่ 1)

p_a = ความหนาแน่นของอากาศ ใช้ค่า 0.0012 กรัมต่อมิลลิลิตร

ให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดลองมาทำแผนภูมิ ส่วนค่าที่ได้จากวิธีการคำนวนให้ใช้เป็นค่าตรวจสอบแผนภูมินั้น ถ้าแตกต่างกันมากให้ทำการทดลองตรวจสอบค่าที่ได้จากการทดลองใหม่

2.5.2 <u>การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน</u> นำดินที่เตรียมไว้จากข้อ 2.4 ใส่ลงไปในขวด Pycnometer เทน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาณ 3 ใน 4 ของขวด Pycnometer แล้วนำไปแช่ในภาชนะต้มน้ำเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด โดยต้มของผสมใน

ขวด Pycnometer ให้เดือดอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำมาเขย่าให้ฟองอากาศขึ้นมาจากก้นขวด จนไม่เห็นฟองอากาศ เติมน้ำกลั่นลงไปอีก ให้ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมาย แล้วเช็ดขวดภายนอกและภายในจนถึงระดับขีดเครื่องหมายให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหามวล M_1 วัดอุณหภูมิ (ต้องทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกันก่อน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น) นำขวด Pycnometer มาแช่เย็นให้อุณหภูมิของผสมลดต่ำลง ซึ่งปริมาตรจะลดลง เติมน้ำกลั่นให้ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่เครื่องหมาย และปฏิบัติดังข้างต้น ได้มวลใหม่ที่อุณหภูมิใหม่ ทำเช่นนี้ 4 ครั้ง เสร็จแล้วเทของผสมลงไปในภาชนะที่ทราบมวลแล้ว ถ้ายังมีเศษดินเหลืออยู่ให้เติมน้ำกลั่นลงไป ล้างเศษดินเทลงภาชนะให้หมด นำภาชนะไปอบให้แห้ง ชั่งหามวลของภาชนะกับดินแห้ง (M_s)

3. การคำนวน

คำนวนหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ได้จากสูตร

$$G_s = \frac{G_t \cdot M_s}{M_s - M_1 + M_2}$$

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 = อุณหภูมิของส่วนผสมในขวด Pycnometer ขณะชั่งหามวล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

4. การรายงาน

ให้รายงานชนิด สี สถานที่เก็บตัวอย่างดิน หลุมเจาะ ความลึก วัน เดือน ปี และเจ้าหน้าที่ผู้ทำการทดลอง พร้อมทั้งค่าต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์ม ว. 2 - 06

5. ข้อควรระวัง

5.1 ของผสมหรือน้ำในขวด Pycnometer จะต้องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอในขณะวัด

5.2 ต้องชั่งหามวลของภาชนะก่อนที่จะนำเอาของผสมในขวด Pycnometer เทใส่

5.3 ต้องระมัดระวังไม่ให้ดินในขวด Pycnometer สูญหายไปในระหว่างเทลงภาชนะเพื่ออบ มิฉะนั้นมวลของดินที่ได้หลังจากการอบแห้งแล้ว จะไม่ใช่มวลที่แท้จริงในการคำนวนหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

5.4 ส่วนโค้งตอนล่างสุดของระดับน้ำในขวด Pycnometer จะต้องอยู่ที่ขีดเครื่องหมายทุกครั้งเมื่อเวลาชั่ง

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	0.9994	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	0.9767	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	0.9591

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าความหนาแน่นของน้ำ (ρ_t) ด้วย มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

กองวิเคราะห์และวิจัย

ลำดับทดลองที่ S-15/16

เจ้าของตัวอย่าง บริษัทล้อสร้างอิ.ที.

หนังสือที่ 325/15 วันที่รับหนังสือ 13 ต.ค. 15

ทางสาย กรุงเทพฯ - สระบุรี

เจ้าหน้าที่ทดลอง สมบูรณ์ วันที่รับตัวอย่าง 13 ต.ค. 15 วันที่ทดลอง 14 ต.ค. 15

★ ★ ★ ★ ★

การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

(SPECIFIC GRAVITY TEST)

Sample : ดินลิเทปนน้ำตาล เทา ดำ

Location : ฉบ. 38 + 000 Test No. 6

Boring No. 2 Sample Depth 10.00 ม. Sample No. B5

Pycnometer No. 2		Dish No. 132			
Determination No.		1	2	3	4
Wt. Pycnometer + water + soils M_1 / W_1	gm.	686.5	688.4	690.0	691.7
Temperature	t°C	60	51	46	35
Wt. Pycnometer + water M_2 / W_2	gm.	630.0	632.2	633.3	635.4
Wt. dish + dry soils	gm.	231.3	231.3	231.3	231.3
Wt. Dish	gm.	142.8	142.8	142.8	142.8
Wt. Dry soils M_S / W_S	gm.	88.5	88.5	88.5	88.5
Sp. gr. of water at t°C	G_t	0.993 2	0.987 6	0.989 8	0.994 1
Sp. gr. of soils	G_s	2.72	2.70	2.75	2.73
Average Sp. gr. of Soils	G_s	2.72			

Remarks :

$$G_s = \frac{M_S}{\frac{G_t \cdot W_s}{W_s - W_1 + W_2}} \quad \left(\frac{W_s}{M_S} - \frac{W_1}{M_1} + \frac{W_2}{M_2}\right)$$

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่กองวิเคราะห์และวิจัยได้รับเท่านั้น.

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน ..... บาท

การทดลองที่ ทล.- ท. 102/2515

วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน

(เทียบเท่า AASHTO T 89)

1. ขอบข่าย

Liquid Limit (LL) ของดิน คือปริมาณของน้ำที่มีอยู่พอดีในดิน ซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะ Plastic มาเป็นภาวะ Liquid คิดเทียบเป็นร้อยละของมวลดินอบแห้ง หาได้โดยนำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) มาผสมกับน้ำ ค่า Liquid Limit เป็นปริมาณของน้ำคิดเป็นร้อยละ ที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง (Liquid Limit Device) ไหลมาชนกันยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อเคาะเครื่องมือทดลองซึ่งมีจุดตกกระทบสูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 25 ครั้ง

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก ASTM D 423 - 66, Test Method No. Calif. 204 - 13 อธิบายถึงวิธีหาค่า Liquid Limit ของดินโดยวิธี Mechanical Method

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)

2.1.2 ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร)

2.1.3 เครื่องมือทดลอง Liquid Limit 1 ชุด (ดูรูปที่ 1)

2.1.4 เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool) (ดูรูปที่ 1)

2.1.5 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร (4 1/2 นิ้ว) หรือแผ่นกระจกสำหรับผสมดินขนาด 150 มิลลิเมตร คูณ 150 มิลลิเมตร

2.1.6 Spatula ขนาดยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร (3.0 นิ้ว) กว้าง 20 มิลลิเมตร (0.75 นิ้ว)

2.1.7 Pipette หรือเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำ

2.1.8 กระป๋องอบดินขนาดเล็ก

2.1.9 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.1.10 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาดตามข้อ 5.6

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 02

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.1 นำตัวอย่างที่ตากแห้งหรืออบแห้ง ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส มาผสมกันให้ทั่ว แล้วแบ่งด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างดิน หรือใช้วิธี Quartering โดยมากทำพร้อมกับทำ Sieve Analysis ใช้ตัวอย่างซึ่งคาดว่าจะมีส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ประมาณ 300 กรัม

2.4.2 ถ้ามีตัวอย่างจับเกาะกันเป็นก้อน ให้ใช้เครื่องบดหรือค้อนยาง ค่อย ๆ บดหรือทุบให้ก้อนดินแตกตัว แต่ต้องไม่ให้ส่วนที่เป็นเม็ดแข็งแตก

2.4.3 นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ซ้อนข้างบนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันก้อนโตค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที

2.4.4 นำดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ทิ้งไป เทดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ใส่ขวดหรือภาชนะใด ๆ เขียนป้ายบอกแหล่งและหมายเลขทดลองของวัสดุกำกับด้วยทุกครั้ง

2.5 <u>การทดลอง</u>

2.5.1 ให้ตรวจสอบเครื่องมือทดลอง Liquid Limit ดังนี้

1. เครื่องมือทดลองต้องอยู่ในสภาพที่ดี และมีขนาดถูกต้อง (ตามรูปที่ 1)
2. สลักยึดถ้วยกระทะต้องไม่สึกหรอจนถ้วยกระทะเอียง
3. สกรูยึดถ้วยกระทะจะต้องแน่น
4. แนวปาดดินในถ้วยกระทะจะต้องไม่สึกเป็นร่อง
5. ให้ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดินบ่อย ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของเครื่องมือนี้ยังคงถูกต้องตามมาตราฐาน
6. ให้ตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น โดยใช้ด้านของเครื่องมือปาดร่องดิน ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 10 มิลลิเมตร วัดระยะตกของถ้วยกระทะให้ได้ 10 มิลลิเมตร ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับโดยคลายสกรูยึดถ้วยกระทะให้หลวมเสียก่อน ปล่อยให้ถ้วยกระทะขยับวางลงบนที่วัด แล้วจึงขันสกรูยึดให้แน่นดังเดิม หมุนที่หมุนถ้วยกระทะเร็ว ๆ หลาย ๆ ครั้ง ถ้าได้ยินเสียง "แก๊ก" เบา ๆ แสดงว่าการตั้งถูกต้องแล้ว แต่ถ้าถอยกระทะยังคงสูงขึ้นไปอีก หรือไม่ได้ยินเสียง "แก๊ก" เลย จะต้องปรับเครื่องใหม่

2.5.2 นำตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมไว้มาเทบนแผ่นกระจก ผสมกันให้ทั่ว แล้วตั้งเป็นรูปกรวย ใช้ Spatula แบ่งตัวอย่างเป็น 4 ส่วน ด้วยวิธี Quartering นำส่วนตรงกันข้ามรวมกันเพื่อทดลอง ส่วนที่เหลือเก็บไว้ใช้ทดลองเพิ่มเติม ถ้าต้องการภายหลัง

2.5.3 นำตัวอย่างที่แบ่งมานี้ ผสมกับน้ำในถ้วยกระเบื้องเคลือบ หรือบนแผ่นกระจก เติมน้ำลงไปประมาณ 15 - 20 มิลลิลิตร ใช้ Spatula ผสมไปมา และบี้จนกระทั่งดินและน้ำผสมกันทั่ว แล้วเพิ่มน้ำอีกครั้งละประมาณ 1 - 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่ว ใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 5 - 10 นาที

2.5.4 เมื่อผสมน้ำและคลุกกันจนทั่วแล้ว กะให้เคาะได้ประมาณ 40 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใช้แผ่นกระจกปิดข้างบน ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 50 นาที และไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียว (ถ้ามี) ดูดซึมน้ำจนทั่ว

2.5.5 นำตัวอย่างใส่ตรงกลางถ้วยกระทะ ใช้ Spatula กดและปาดดิน โดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุด และป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ข้างใน ให้ดินตรงกลางถ้วยกระทะหนา 10 มิลลิเมตร และมีรูปร่างดังรูปที่ 2 แล้วนำตัวอย่างที่เหลือกลับมาเก็บในถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

2.5.6 จับยึดถ้วยกระทะให้แน่น ใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดดินตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลาง ให้ได้ร่องที่สะอาดและเรียบร้อย

ในกรณีที่ตัวอย่างค่อนข้างแข็ง หรือมี Plasticity Index (PI) ต่ำ การกดเครื่องมือปาดร่องดินลงไป อาจจะทำให้ตัวอย่างทางด้านปลายฉีกหลุดหรือดินเคลื่อนออกจากกัน ดังนั้นให้ค่อย ๆ ปาดจากหน้าไปหลังและหลังไปหน้า กลับไปกลับมาหลาย ๆ ครั้ง แต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง และค่อย ๆ ปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อย ๆ จนครั้งสุดท้ายแตะก้นถ้วยพอดี และได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย

2.5.7 หมุนถ้วยกระทะด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันเป็นระยะยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จเรียบร้อย จะต้องไม่เกิน 3 นาที

2.5.8 ถ้าไม่แน่ใจว่าการทดลองในข้อ 2.5.7 ถูกต้อง ให้ทำการตรวจสอบโดยรีบนำตัวอย่างมาผสมกันใหม่โดยเร็ว แล้วนำกลับไปทดลองใหม่ ถ้าการเคาะในครั้งนี้นับจำนวนครั้งได้เท่าเดิม หรือต่างกัน 1 ครั้ง ถือว่าการทดลองถูกต้อง แต่ถ้าผิดกันมากกว่านั้น จะต้องนำเอาตัวอย่างมาผสมกันใหม่ เพื่อให้น้ำได้ผสมกับตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำมาทดลองอีกครั้งหนึ่ง การตรวจสอบนี้จะมีความสำคัญมากในช่วงที่ใส่น้ำลงไปมาก ๆ และตัวอย่างที่มี PI สูง เพราะตัวอย่างดูดซึมน้ำยังไม่เต็มที่ขณะทำการทดลอง และยังคงดูดซึมน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้การทดลองมีค่าแตกต่างกัน

2.5.9 ทันทีที่เคาะจนกระทั่งตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2นิ้ว) ให้ใช้ช้อนตักตัวอย่างผ่านตรงที่ตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่าง เอาตัวอย่างใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปชั่งหามวล จดจำนวนครั้งที่เคาะไว้ด้วย

2.5.10 รวมตัวอย่างจากถ้วยกระทะมาใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบตามเดิม (หรือแผ่นกระจกแล้วแต่กรณี) เติมน้ำลงไปแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.5 ถึง 2.5.9

2.5.11 ทำการทดลอง 4 จุด แต่ละจุดให้การเคาะแตกต่างกัน 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

2.5.12 ถ้าหากตัวอย่างเปียกเพราะเติมน้ำมากเกินไป แล้วต้องการให้ตัวอย่างแห้งขึ้น ให้เกลี่ยตัวอย่างบาง ๆ บนแผ่นกระจกหรือในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผึ่งลมไว้ชั่วครู่ แล้วทำการคลุกผสมกันใหม่ ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนกว่าตัวอย่างจะแห้งตามที่ต้องการ แต่อย่าผึ่งตัวอย่างทิ้งไว้จนผิวหน้าแข็งเป็นคราบขึ้น ห้ามใช้วิธีเอาตัวอย่างใหม่ผสมเพิ่มลงไปเพื่อให้ตัวอย่างแห้งขึ้น

2.5.13 ตัวอย่างที่ใส่กระป๋อง หลังจากชั่งหามวลแล้ว (ให้ชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 115 องศาเซลเซียส อบแห้งและมีมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำออกจากเตาอบ ทิ้งไว้จนเย็นแล้วชั่งหามวลอบแห้ง คำนวนหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content) ของตัวอย่างแต่ละจุด

3. การคำนวน

คำนวนหาปริมาณน้ำในดินได้จากสูตร

$$W = \frac{\text{มวลของน้ำในดิน (กรัม)}}{\text{มวลของดินอบแห้ง (กรัม)}} * 100\ \%$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินมีหน่วยเป็นร้อยละ

4. การรายงาน

ให้ดำเนินการดังนี้

4.1 เขียน Flow Curve ลงใน Semilogarithmic Graph ซึ่งอยู่ในแบบฟอร์มที่ ว. 2 - 02 จากปริมาณน้ำในดินและจำนวนครั้งที่เคาะ (Number of Blows) เป็นเส้นตรงให้ผ่านหรือใกล้เคียงอย่างน้อย 3 จุด

4.2 Liquid Limit คือปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละที่ได้จากการลากเส้นตรงจากจำนวนที่เคาะ 25 ครั้ง ตัดกับ Flow Curve

ให้รายงานค่า LL ในแบบฟอร์มที่ ว. 2 - 02 โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5. ข้อควรระวัง

5.1 ดินตัวอย่างที่มี PI ต่ำ เช่น Silty Clay หรือ Sandy Clay ขณะที่ปริมาณน้ำในดินน้อย ๆ การเคลื่อนที่ของตัวอย่างเข้าติดกันในร่อง อาจจะไม่ใช่การเคลื่อนที่ (Flow) เข้าสัมผัสกันอย่างแท้จริง แต่เกิดจากปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไป ตัวอย่างจึงไม่ยึดเกาะพื้นถ้วยกระทะ ที่ปรากฏให้เห็นเคลื่อนที่เข้าติดกันนั้น อาจเป็นเพราะตัวอย่างลื่นไถล (Slip) มาชนกัน ให้ตรวจสอบโดยใช้ Spatula ถ่างดูตรงที่ตัวอย่างชนกัน ถ้าปรากฏว่าตัวอย่าง "ชนกัน" เฉย ๆ ไม่ "ติดเป็นเนื้อเดียว" แสดงว่าเกิดการ Slip ขึ้น ให้เพิ่มน้ำ

แล้วทดลองใหม่

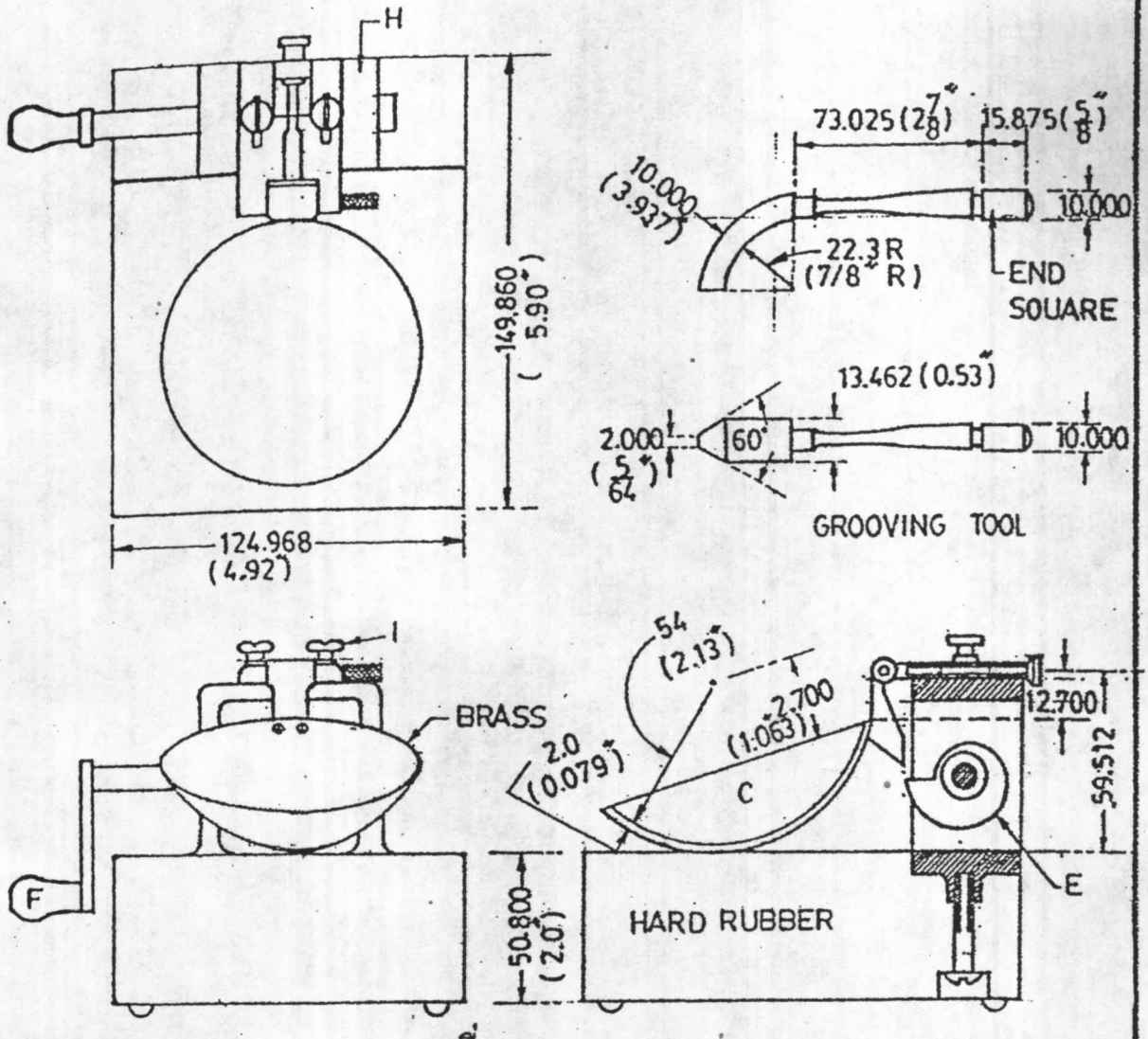
5.2 ในการเตรียมตัวอย่างทดลอง จะต้องแน่ใจว่า Sand Grains และ Clay Lumps ต่าง ๆ แยกออกจากกันจนสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ได้ อย่าอบตัวอย่างที่อุณหภูมิเกิน 60 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ค่า PI และ LL ของวัสดุบางชนิดลดลง และ Organic Matters อาจจะถูกเผาไหม้

5.3 ให้เก็บตัวอย่างทันทีเมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่มาติดกันยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) แล้วรีบชั่งหามวล เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีจำนวนน้อยอยู่แล้ว การเก็บรอจะทำให้น้ำระเหยออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องทำงานหรือท้องถิ่นที่มีอากาศร้อน การระเหยของน้ำจะมีมากขึ้น

5.4 ห้ามผสมตัวอย่างกับน้ำในถ้วยกระทะของเครื่องมือทดลอง แต่ให้ผสมตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือบนแผ่นกระจก

5.5 ให้วางเครื่องมือกับพื้นราบทุกครั้งในขณะหมุนเครื่อง ห้ามใช้มืออุ้มขึ้นเพื่อหมุนทดลอง

5.6 น้ำที่ใช้ทดลองจะต้องเป็นน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำประปา

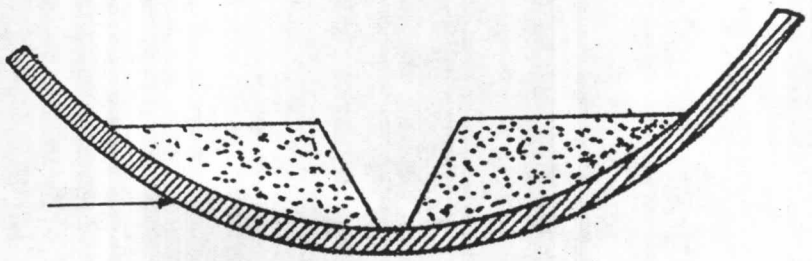


รูปที่ 1

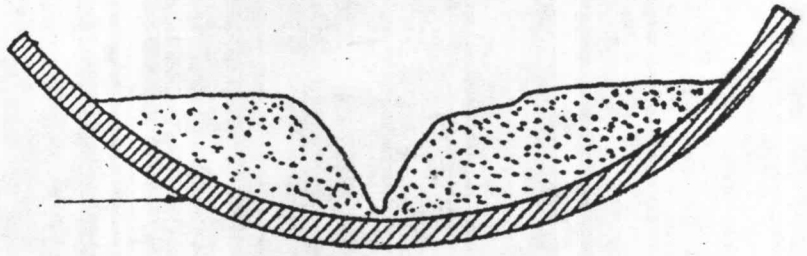
MECHANICAL LIQUID LIMIT DEVICE

มิติเป็นมิลลิเมตร

นอกจากจะแสดงเป็นอย่างอื่น



DIVIDED SOIL CAKE BEFORE TEST



SOIL CAKE AFTER TEST

รูปที่.2 แสดงภาพลักษณะการทดสอบหาค่า LIQUID LIMIT

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

ว. 2 – 02

กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ S-19/10 วันที่รับตัวอย่าง _____ วันที่ทดลอง 23 มี.ค.10

เจ้าของตัวอย่าง ท.ช.ก. สันห้วยขาแตระราช หนังสือที่ ทล.16/10 ลว.10 มี.ค.10

ทางสาย ณ บริเวณศูนย์ปางน้ำ เจ้าหน้าที่ทดลอง ประเติม

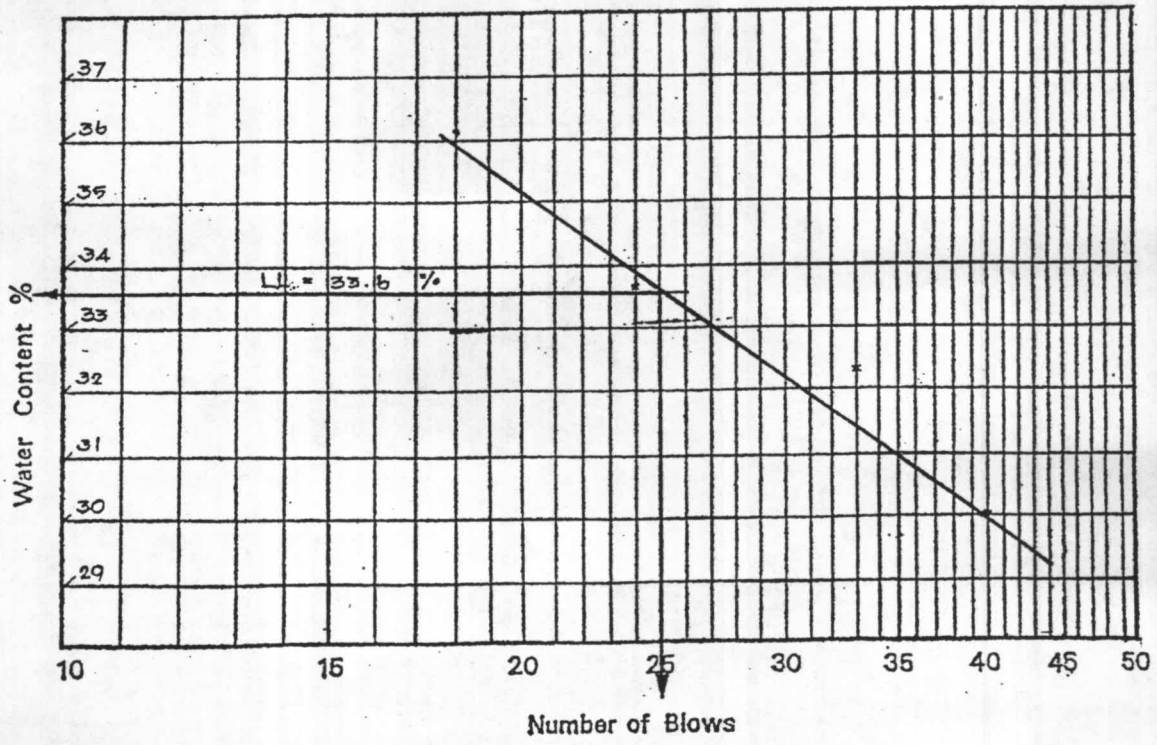
ATTERBERG LIMITS

Sample : ดินชั้นล่างสีน้ำตาล No. 1 of 1

Source : กม.7+000 ซ้ายทาง 500 เมตร

TEST		LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
Trail		1	2	3	4	1	2
Can No.		B-34	B-9	B-12	B-36	B-14	B-4
No. of blows		18	24	33	40	-	-
Wet soil + can	gm.	30.45	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.~~ W_w of water	gm.	2.78	2.67	2.95	2.53	0.51	0.54
~~Wt.~~ W_c of can	gm.	19.98	19.55	19.54	20.68	20.41	20.71
~~Wt.~~ W_s of dry soil	gm.	7.69	7.92	9.12	8.44	2.29	2.50
Water Content	%	36.1	33.7	32.3	20.0	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

วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index

(เทียบเท่า AASHTO T 90)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 90 อธิบายถึงวิธีการหาค่าน้ำต่ำสุดในดิน เมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำดินมาคลิงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ทดลองหา Liquid Limit ตามการทดลองที่ ทล.- ท. 102/2515

2.1.2 แผ่นกระจกขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร คูณ 150 มิลลิเมตร คูณ 10 มิลลิเมตร

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

-

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 02

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่างของวิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ของดิน ตามการทดลองที่ ทล.- ท. 102/2515

2.5 การทดลอง

2.5.1 นำตัวอย่างประมาณ 8 กรัม มาคลุกขยี้ขยำให้เข้ากันจนทั่ว แล้วทำเป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape)

2.5.2 ใช้นิ้วมือคลิ้งตัวอย่างออกเป็นเส้น โดยใช้น้ำหนักกดลงแต่เพียงพอดี ในอัตราการคลิ้ง 80 ถึง 90 เที่ยวต่อนาที (คลิ้งไปและกลับนับเป็น 1 เที่ยว) ให้เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างโตสม่ำเสมอโดยตลอด เส้นตัวอย่างจะค่อย ๆยาวออก และเส้นผ่าศูนย์กลางจะค่อย ๆ ลดลง

2.5.3 เมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงจนเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างแตกพอดี ให้ดำเนินการตามข้อ 2.5.11

2.5.4 ถ้าเส้นตัวอย่างยังไม่แตก เมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงถึง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ให้หักเส้นตัวอย่างออกเป็น 6 หรือ 8 ชิ้น ใช้นิ้วขยี้และขยำทั้งสองมือจนเข้ากันดี แต่งเป็นรูปยาวรีแล้วคลิ้งใหม่เช่นเดียวกับข้อ 2.5.2

2.5.5 ถ้าดำเนินการตามข้อ 2.5.4 แล้วเส้นตัวอย่างยังคงไม่แตก ให้ดำเนินตามวิธี 2.5.4 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเส้นตัวอย่างแตก ไม่สามารถคลิ้งต่อไปได้

2.5.6 ถ้าการแตกของเส้นตัวอย่างตามข้อ 2.5.5 เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างนั้นเคยคลิ้งได้ขนาด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) มาก่อนแล้ว ให้ดำเนินการตามข้อ 2.5.11 ได้

2.5.7 การแตกของเส้นตัวอย่าง จะแสดงลักษณะผิดแผกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดิน ดินบางชนิดอาจจะแตกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ มากมาย บางชนิดแตกออกเป็นลักษณะ

ทรงกระบอก โดยเริ่มต้นปริออกจากปลายทั้งสองข้างก่อน แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลาง จนในที่สุดเส้นตัวอย่างจะแตกออกเป็นชิ้นบาง ๆ เล็ก ๆ หรืออาจจะแตกในลักษณะอื่นก็ได้

2.5.8 การปฏิบัติตามข้อ 2.5.4 สำหรับดินที่เหนียวมาก ในการคลึงให้เป็นเส้นแต่ละครั้ง การคลึงครั้งหลัง ๆ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น ตัวอย่างดินชนิดนี้เมื่อแตกออกจะแตกออกเป็นปล้อง ๆ มีขนาดยาว 6.0 ถึง 10.0 มิลลิเมตร (1/4 - 3/8 นิ้ว)

2.5.9 ในการคลึงแต่ละครั้งตามข้อ 2.5.4 ห้ามเปลี่ยนอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักการคลึง หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่าง เพื่อต้องการให้เส้นตัวอย่างแตกที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว)

2.5.10 สำหรับตัวอย่างที่มี Plasticity น้อย ๆ ในครั้งแรกควรทำดินตัวอย่างให้มีรูปร่างยาวรี และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร เล็กน้อย

2.5.11 รวบรวมตัวอย่างที่แห้งทั้งหมดใส่ลงในกระป๋อง ปิดฝา รีบนำไปชั่ง แล้วบันทึกมวลไว้ และนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส นำไปชั่ง บันทึกมวลดินแห้ง หามวลที่หายไป และถือว่าเป็นมวลของน้ำ

2.5.12 ให้ทำการทดลองตัวอย่างละอย่างน้อย 2 ครั้ง แต่ผลต่างของค่า Plastic Limit (PL) จะต้องไม่เกิน 2 เปอร์เซนต์

3. การคำนวน

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

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

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

4. การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดลองโดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ยกเว้นในกรณีต่อไปนี้

4.1 ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า Plastic Limit หรือค่า Plasticity Index ให้รายงานค่า PI ว่า "NP (Non - Plastic)"

4.2 ในกรณีที่ค่า Plastic Limit มากกว่าหรือเท่ากับ Liquid Limit ให้รายงานค่า PI ว่า "NP"

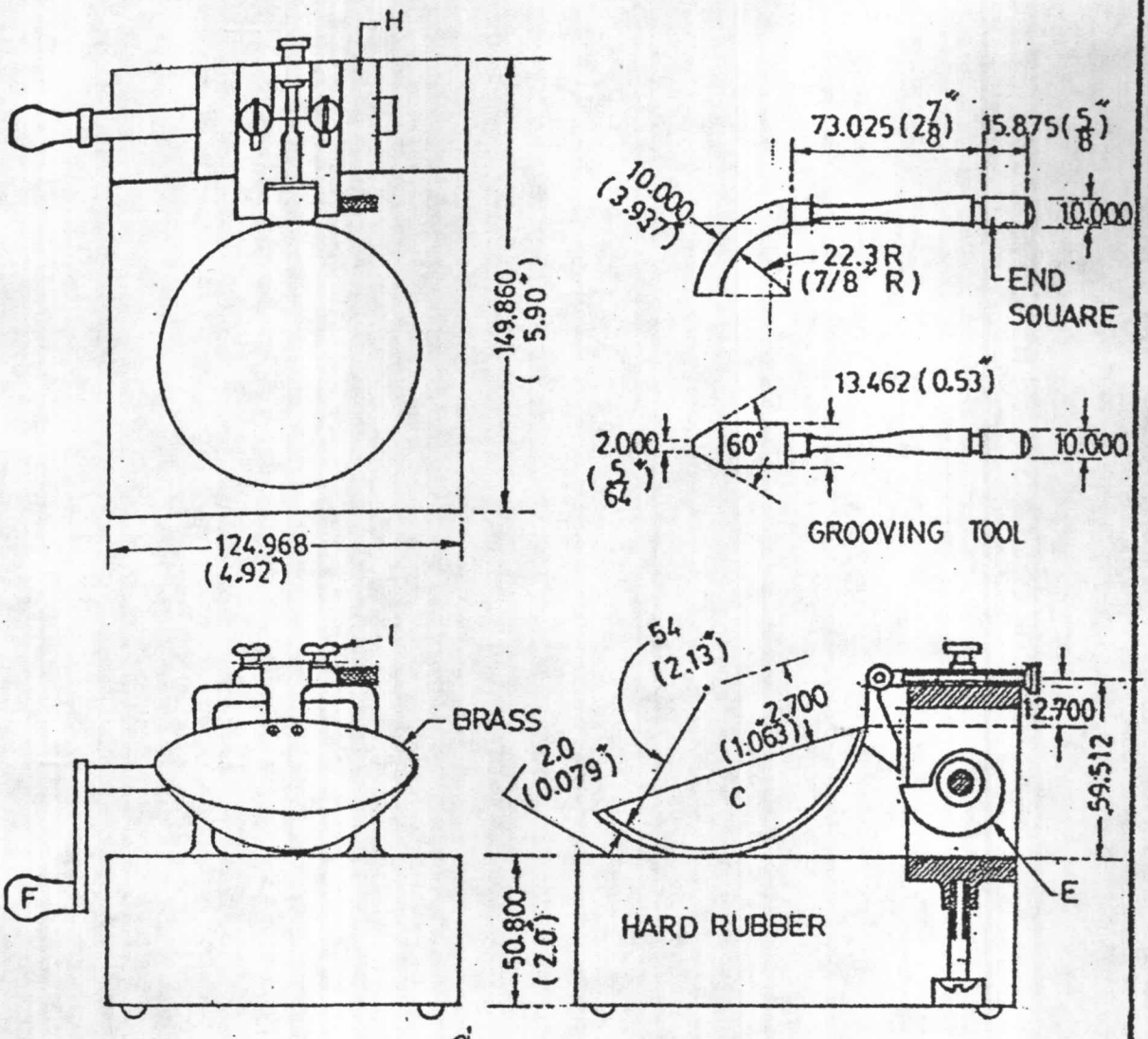
5. ข้อควรระวัง

5.1 ในการทดลองแต่ละครั้ง ให้แต่งดินตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นแท่งยาวรีก่อนคลิง น้ำหนักนิ้วมือและอัตราความเร็วที่ใช้คลิงจะต้องเหมือนกัน

5.2 ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างให้ชั่งหามวลทันที มิฉะนั้นน้ำจะระเหยหายไป

5.3 ตัวอย่างดินพวก Silt หรือพวก PI ต่ำ ๆ จะทำลำบากมาก ก่อนทำให้แต่งดินเป็นแท่งยาว น้ำหนักนิ้วที่ใช้กดคลิงต้องเบา มิฉะนั้นแท่งตัวอย่างจะแตกทันที และระหว่างคลิงอาจจะต้องคอยซับน้ำที่ออกจากแผ่นตัวอย่างมาติดแผ่นกระจก

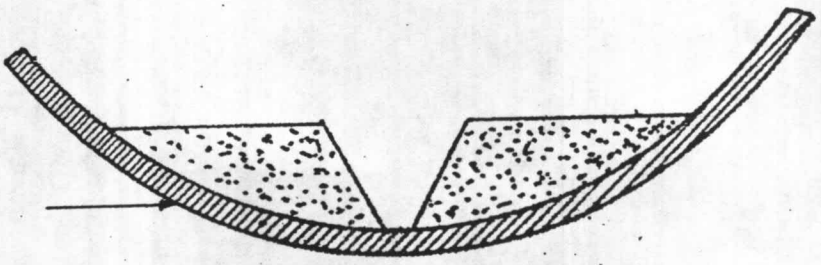
5.4 ในกรณีที่ตัวอย่างมีทรายปนมาก ให้หาค่า Plastic Limit ก่อนค่า Liquid Limit ถ้าเป็น Non - Plastic จะได้ไม่ต้องทดลองหาค่า Liquid Limit



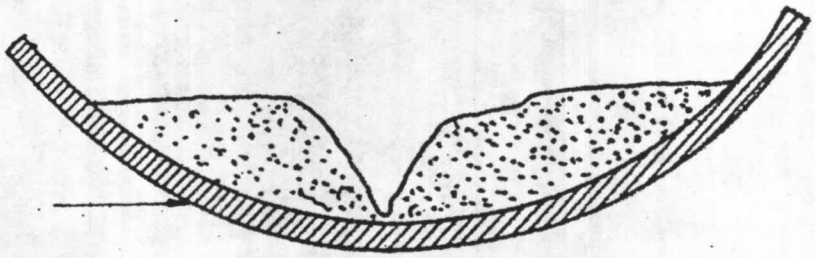
รูปที่ 1

MECHANICAL LIQUID LIMIT DEVICE

มิติเป็นมิลลิเมตร
นอกจากจะแสดงเป็นอย่างอื่น



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)

ว. 2 – 02

กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ S-19/10 วันที่รับตัวอย่าง _____ วันที่ทดลอง 23 มี.ค.10

เจ้าของตัวอย่าง ขบ.ทล. สถาบันวิจัยและฝึกอบรม หนังสือที่ ทล.16/10 สว.10 มี.ค.10

ทางสาย ถนน บริเวณศูนย์บำรุงน้ำ เจ้าหน้าที่ทดลอง ประเสริม

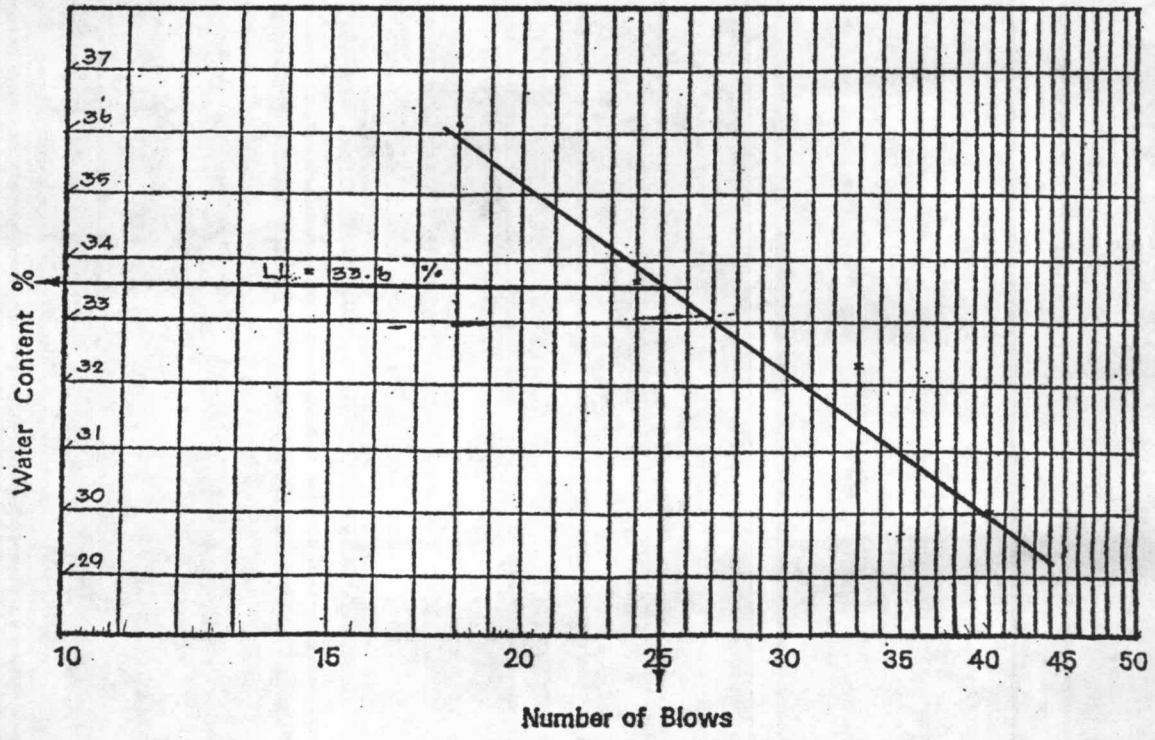
ATTERBERG LIMITS

Sample : สูตรวังสีน้ำอาด No. 1 of 1

Source : กม. 7+000 ซ้ายหาง 500 เมตร

TEST		LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
Trail		1	2	3	4	1	2
Can No.		B-24	B-9	B-12	B-36	B-14	B-4
No. of blows		18	24	33	40	–	–
Wet soil + can	gm.	30.45	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.~~ M. of water	gm.	2.78	2.67	2.95	2.53	0.51	0.54
~~Wt.~~ M. of can	gm.	19.98	19.55	19.54	20.68	20.41	20.71
~~Wt~~ M. of dry soil	gm.	7.69	7.92	9.12	8.44	2.29	2.50
Water Content	%	36.1	33.7	32.3	20.0	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

วิธีการทดลองหาค่า Shrinkage Factors

(เทียบเท่า AASHTO T 92)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 92 อธิบายถึงวิธีการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน คือ Shrinkage Limit, Shrinkage Ratio, Volumetric Change และ Lineal Shrinkage

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ สำหรับผสมดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร (4 1/2 นิ้ว)

2.1.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Evaporating Dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.1.3 Spatula

2.1.4 ภาชนะกระเบื้อง หรือโลหะฐานราบ (Shrinkage Dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร (1 3/4 นิ้ว) และสูงประมาณ 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)

2.1.5 เหล็กปาด (Straight Edge)

2.1.6 ถ้วยแก้ว (Glass Dish)

2.1.7 แผ่นแก้วที่มีขาโลหะ 3 ขา (ดูรูปที่ 1)

2.1.8 กระบอกตวงขนาดปริมาตร 25 มิลลิลิตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.2 มิลลิลิตร

2.1.9 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.1.10 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 น้ำสะอาด

2.2.2 ปรอท (Mercury)

2.2.3 Vaseline หรือน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 02

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ประมาณ 30 กรัม (โดยปกติใช้ตัวอย่างอันเดียวกันกับที่ใช้ทดลองหาค่า Liquid Limit)

2.5 การทดลอง

2.5.1 ผสมดินตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบด้วยน้ำ ให้น้ำแทนที่ Voids โดยทั่งถึง ปริมาณของน้ำที่ต้องการจะเท่ากับ Liquid Limit หรือมากกว่าเล็กน้อย (คำนวนได้ล่วงหน้าจากค่า Liquid limit)

2.5.2 ทาด้านในของ Shrinkage Dish ด้วย Vaseline หรือน้ำมันหล่อลื่นอื่น ๆ ที่เหมาะสมบาง ๆ เพื่อป้องกันมิให้ดินติดภาชนะ ใส่ดินที่ผสมโดยสม่ำเสมอแล้วประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรของ Shrinkage Dish ลงตรงกลางภาชนะ ค่อย ๆ เคาะดินให้ไหลไปชนด้านข้างของภาชนะ ใช้ดินประมาณเท่าเดิมเติมลงไป และทำซ้ำดังข้างต้นจนกระทั่งดินแน่นเต็มภาชนะและให้ล้นออกไปด้านข้าง ใช้เหล็กปาดปาดหน้าให้เรียบ เช็ดดิน

ส่วนที่ติดอยู่ข้าง ๆ ภาชนะออกให้หมด

2.5.3 ชั่งหามวลของดินเต็มภาชนะแล้วบันทึกไว้ ปล่อยให้ดินในภาชนะแห้งที่อุณหภูมิของห้องทดลอง (ปกติทิ้งข้ามคืนหรือจนดินเปลี่ยนสีเห็นได้ชัด) แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของดินแห้งและภาชนะ หามวลและปริมาตรของภาชนะเปล่า (ปริมาตรหาได้โดยใช้ปรอทแทนที่)

2.5.4 หาปริมาตรของดินแห้ง โดยให้ดินแห้งแทนที่ปรอทในถ้วยแก้วที่มีปรอทเต็ม ทำได้ดังนี้

เติมปรอทให้เต็มถ้วยแก้ว ใช้แผ่นแก้วที่มีขาโลหะ 3 ขา กดแผ่นที่ปากถ้วย เช็ดปรอทที่จับอยู่ภายนอกถ้วยให้สะอาด วางถ้วยแก้วที่มีปรอทเต็มในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Evaporating Dish) ระมัดระวังมิให้ปรอทหกหรือสูญหาย ใส่ก้อนดินที่อบแห้งแล้วลงในถ้วยปรอท และใช้แผ่นถ้วยแก้วที่มีขาโลหะ 3 ขา กดก้อนดินให้จมในปรอท จนแผ่นแก้วสนิทแน่นที่ปากถ้วย วัดปริมาตรของปรอทที่ถูกแทนที่ด้วยกระบอกตวง และบันทึกเป็นปริมาตรของดินแห้ง (V_o) หรือจะชั่งหามวลของปรอทที่ถูกแทนที่ แล้วคำนวนหาปริมาตรของดินแห้งก็ได้ การกดแผ่นแก้วให้สนิทแน่นที่ปากถ้วย ต้องให้ด้านที่มี 3 ขา จมในปรอท และไม่ให้มีฟองอากาศติดอยู่

3. <u>การคำนวน</u>

3.1 <u>คำนวนหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content)</u>

ปริมาณน้ำในดินขณะที่ใส่ลงในถ้วย Shrinkage Dish คำนวนได้จากสูตร

$$W = \frac{M - M_o}{M_o} * 100\ \%$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเมื่อใส่ Shrinkage Dish มีหน่วยเป็นร้อยละ

M = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_o = มวลของดินที่อบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวนหาค่า Shrinkage Limit

ค่า Shrinkage Limit คือปริมาณน้ำที่มากที่สุดในดินคิดเป็นเปอร์เซนต์ ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำลดลงอีก จะไม่ทำให้ดินมีปริมาตรลดลง คำนวนได้จากสูตร

$$S = \frac{W - (V - V_o) f_w}{M_o} * 100\ \%$$

เมื่อ S = Shrinkage Limit มีหน่วยเป็นร้อยละ

W = ปริมาณน้ำในดิน จากข้อ 3.1

V = ปริมาตรของดินเปียก มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_o = ปริมาตรของดินแห้ง มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

M_o = มวลของดินแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

f_w = ความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 คำนวนหาค่า Shrinkage Ratio

ค่า Shrinkage Ratio (R) คำนวนได้จากสูตร

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

3.4 คำนวนหาค่า Volumetric Change

ค่า Volumetric Change (VC) คำนวนได้จากสูตร

$$VC = (W_1 - S) R$$

เมื่อ VC = Volumetric Change

W_1 = Water Content ของดินในสภาพใดสภาพหนึ่ง

3.5 คำนวนหาค่า Lineal Shrinkage

ค่า Lineal Shrinkage (LS) คำนวนได้จากสูตร

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

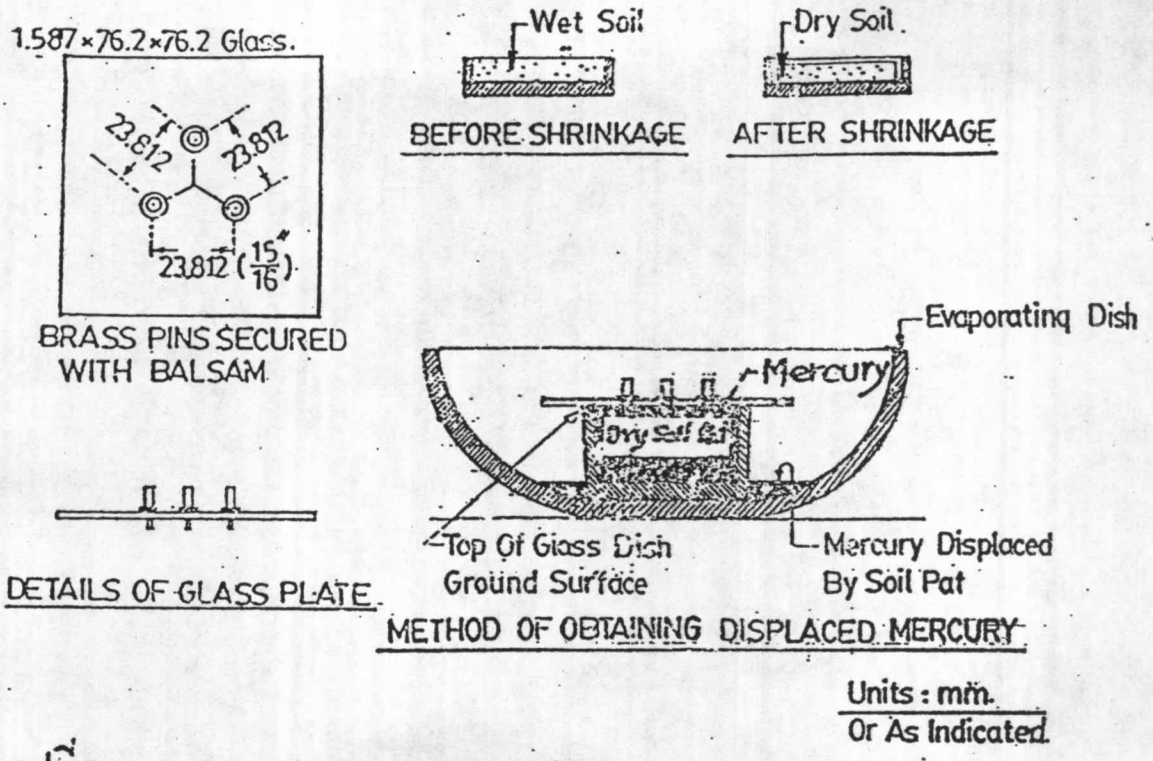
หรือจาก Curve ในรูปที่ 2

4. <u>การรายงาน</u>

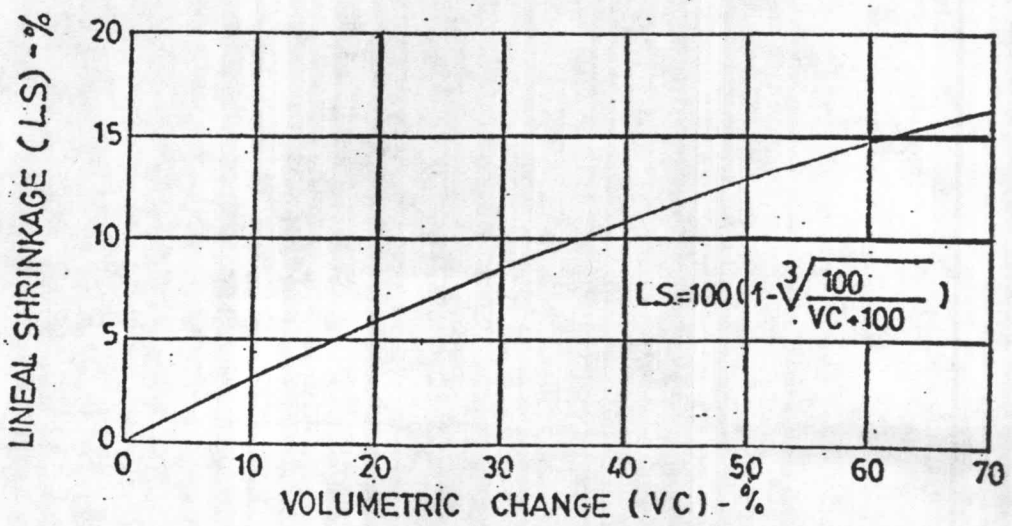
ให้รายงานตามแบบฟอร์มที่ ว. 2 - 20

5. <u>ข้อควรระวัง</u>

-



รูปที่ 1. APPARATUS FOR DETERMINING THE SHRINKAGE FACTORS OF SOIL



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่าง VOLUMETRIC CHANGE และ LINEAL SHRINKAGE

กองวิเคราะห์และวิจัย

อ้นทับทดลองที่ 518/08 วันที่รับตัวอย่าง 6 มี.ค. 08 วันที่ทดลอง 7 มี.ค. 08

เจ้าของตัวอย่าง โครงการฯ หนังสือที่ –

ทางสาย บ้านไผ่-ร้อยเอ็ด เจ้าหน้าที่ทดลอง ดวงใจ

SHRINKAGE FACTORS TEST

Shrinkage dish No.	3B	
Vol. of dish, V	10.88	cc
Wt. of dish	109.35	gm
Wet Soil + dish	135.30	gm
Dry Soil + dish	129.01	gm
Wt. of water	6.29	gm
Wt. of dry soil, W_o	19.66	gm
Wt. of wet soil, W	25.95	gm
Water content, w	31.99	%
Vol. of dry soil, V_o	8.00	cc

CALCULATIONS

Shrinkage Limit, $S = w - \frac{(V-V_o)\rho_w}{W_o} \times 100 = 17.34\ \%$

Shrinkage Ratio, $R = \frac{M_o W_o}{V_o \cdot \rho_w} = 2.46$

Volumetric Change, $VC = (w_1 - S)R = 25.60\ \%$

@ 28% moisture (Natural)

Lineal Shrinkage, $LS = 100\left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{VC+100}}\right)$

$= 7.32\ \%$ (from calculation)

$= 7.4\ \%$ (from curve fig. 2)

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....บาท

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่กองวิเคราะห์และวิจัยได้รับเท่านั้น

การทดลองที่ ทล. - ท. 105/2515

วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

(เทียบเท่า AASHTO T 208)

1. ขอบข่าย

Unconfined Compressive Strength คือค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก หรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกิน 20 เปอร์เซนต์ ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียด 20 เปอร์เซนต์ นั้นเป็นค่า Unconfined Compressive Strength

การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 208 - 70 อธิบายถึงการหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดินในสภาพ Undisturbed และ Remolded อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลอง จะควบคุมโดยความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) ก็ได้

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

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

(0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)

2.1.3 Dial Gauge ใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว สามารถอ่านระยะทางเคลื่อนที่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ20 ของความยาวแท่งตัวอย่างที่จะใช้ทดลอง

2.1.4 Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

2.1.6 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.1.7 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ใช้สำหรับดินตัวอย่างที่มีมวลน้อยกว่า 100 กรัม สำหรับดินตัวอย่างที่มีมวลมากกว่า 100 กรัม ให้ใช้เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.1.8 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่น ๆ ที่ต้องใช้คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

2.2 <u>วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง</u>

ปูนปลาสเตอร์ หรือ Hydrostone หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน

2.3 <u>แบบฟอร์ม</u>

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 19

2.4 <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

2.4.1 ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุต้องไม่เกิน 1 ใน 6 ของ

เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากหลังจากเสร็จการทดลองแล้วพบว่า มีเม็ดวัสดุใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ ก็ให้หมายเหตุไว้ในแบบฟอร์ม อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 3 วัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือเครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

2.4.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่ หรือจากดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบาง แท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบาง อาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้น ในระหว่างการดันดินตัวอย่างออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดิน หรือจะทำให้ดินตัวอย่างถูกรบกวน ก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ การเตรียมตัวอย่างทดลอง ถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ก็ให้ปิดผิวหน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้มีความหนาน้อยที่สุด หรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ให้ชั่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้แท่งตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

2.4.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed เดิม มาทำดังนี้

นำตัวอย่างดินมาห่อด้วยแผ่นยางบาง ๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remolded อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปปนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold จนเต็มที่แล้ว ให้แต่งปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้ จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกัน มี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

2.5 การทดลอง

2.5.1 โดยวิธีควบคุมความเครียด

วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกด แล้วเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนของเครื่องกดแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง หมุนหน้าปัดของ Dial Gauge ที่ใช้อ่านระยะทางของเครื่องกด ให้เข็มชี้ที่ศูนย์ กดแท่งตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวดิ่ง 0.5 เปอร์เซนต์ ถึง 2 เปอร์เซนต์ ต่อนาที จนแรงกดและระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุก ๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใด จะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที (*1) เพิ่มแรงกดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 เปอร์เซนต์ หาปริมาณน้ำในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าว วัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

2.5.2 โดยวิธีควบคุมความเค้น

ก่อนการทดลองให้ประมาณค่าแรงกดสูงสุดของแท่งตัวอย่าง (*2) วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกด เลื่อนจนแผ่นบนอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1/15 ถึง 1/10 ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้ แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาที อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง เพิ่มแรงกดต่อไปเท่ากับแรงกดครั้งแรก แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ ในระหว่างการเพิ่มแรงกด ถ้าสังเกตุว่าจะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้ง หรือน้อยกว่า 10 ครั้ง เพื่อให้ได้แรงกดสูงสุดแล้ว จะต้องรีบเปลี่ยนแปลงแรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้นหรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดิน อาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าว วัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

(*1) ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดมาก ดินชนิดนี้จะต้องทดลองโดยใช้อัตราเร็วของความเครียดสูง ในทางตรงกันข้าม ดินที่แข็งหรือแตกง่าย ซึ่งมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดน้อย ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองด้วยอัตราเร็วของความเครียดที่ต่ำกว่า

(*2) การประมาณค่านี้จะต้องมีประสบการณ์พอเพียง มิฉะนั้นจะต้องใช้เครื่องกดอย่างเล็ก (Penetrometer) กดลงบนของตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ดู เพื่อหาค่านี้โดยประมาณ

3. <u>การคำนวน</u>

3.1 คำนวนหาค่าความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใด ๆ (E) ได้โดยใช้สูตร

$$E = \frac{dL}{L_o}$$

เมื่อ dL = ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใด ๆ โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge

L_o = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

3.2 คำนวนหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใด ๆ (A) ได้โดยใช้สูตร

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

เมื่อ A_o = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

E = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้น ๆ

3.3 คำนวนหาความเค้นสำหรับแรงกดใด ๆ (S) ได้โดยใช้สูตร

$$S = \frac{P}{A}$$

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้น ๆ

3.4 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S และ E โดยใช้ S เป็นแกนตั้ง และ E เป็นแกนนอน จากกราฟสามารถหาค่าสูงสุดของ S หรือค่า S ที่ E = 20 เปอร์เซนต์ ได้

ในกรณีที่ต้องการจะใช้กราฟอธิบายคุณสมบัติของดิน ก็ให้แนบแผ่นกราฟนี้รวมไว้ในรายงานผลการทดลองด้วย ตามข้อ 4.8

4. <u>การรายงาน</u>

ให้รายงานผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ค่า Unconfined Compressive Strength

4.2 ชนิดและรูปร่างของแท่งตัวอย่าง เช่น

- Undisturbed
- Compacted
- Remolded
- Cylindrical
- Prismatic

4.3 อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง

4.4 ลักษณะดินโดยทั่วไป เช่น ชื่อของดิน สัญญาลักษณ์ เป็นต้น

4.5 Initial Density ปริมาณน้ำในดิน และ Degree Of Saturation (ถ้าตัวอย่างถูกทำให้อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการ ให้หมายเหตุ Degree Of Saturation อีกค่าหนึ่งไว้ด้วย)

4.6 ค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดเป็นร้อยละ (อ่านจากกราฟ)

4.7 ค่าอัตราเร็วเฉลี่ยของความเครียดเป็นร้อยละต่อนาที โดยติดตั้งแต่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด

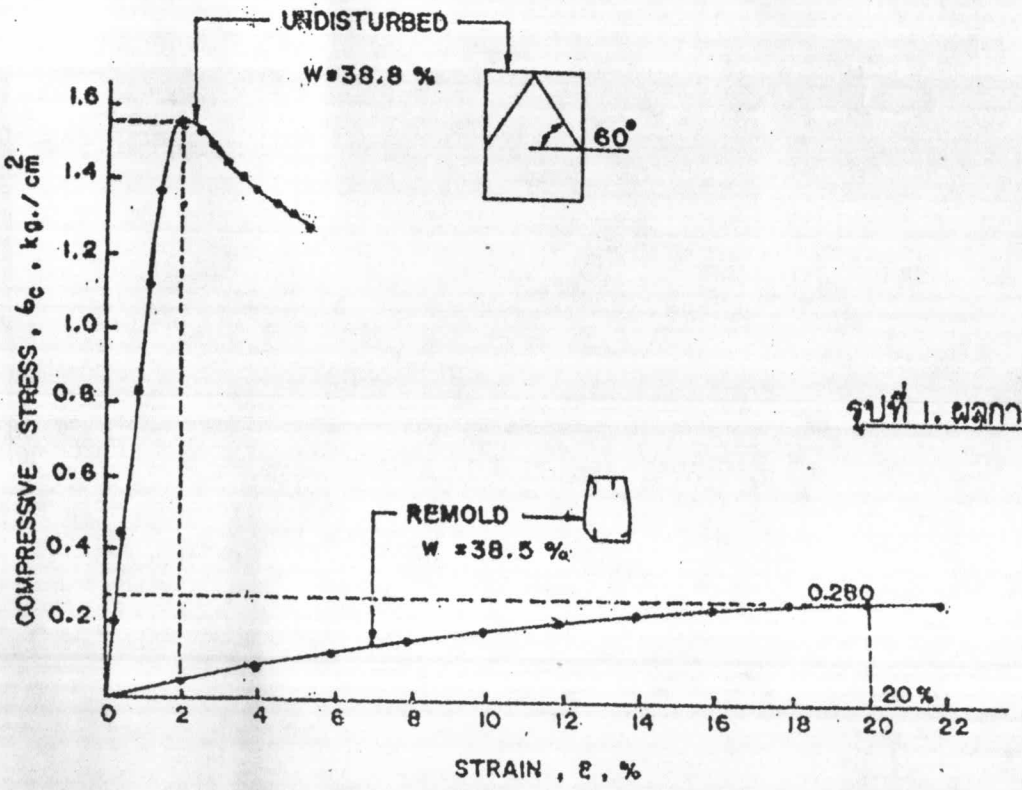
4.8 ให้เขียนหมายเหตุในกรณีที่เกิดมีลักษณะผิดปกติในการทดลอง หรือแนบรายละเอียดอื่น ๆ ที่คิดว่ามีความจำเป็นต้องใช้อธิบายผลการทดลอง

5. <u>ข้อควรระวัง</u>

5.1 ในการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบางเพื่อใช้ทดลอง จะต้องดันดินไปตามทิศทางเดียวกันกับที่ตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกในระหว่างการเก็บตัวอย่าง เพื่อลดการรบกวนตัวอย่างดิน

5.2 ในการทำตัวอย่าง Remolded ถ้าแท่งตัวอย่างหลังจากทำ Remolded แล้วได้ความแน่นแตกต่างจากก่อนทำ Remolded ให้นำมาดำเนินการใหม่

ทางสาย ชุมพร Area A.
สถานที่เก็บตัวอย่าง ดอนระนาม กม. 2 + 150.00
หลุมเจาะที่ B-2 ความลึก 4.00 ม.
ตัวอย่าง UNDISTURBED ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH q_u = 1.586 Kg/cm^2
ตัวอย่าง REMOLD ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH q'_u = 0.280 kg/cm^2
SENSITIVITY = q_u / q'_u = 5.56



รูปที่ 1. ผลการทดลอง UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

2 2 - 19

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

การทดลอง UNCONFINED COMPRESSION แผ่นที่ 1/2

หางสาย ในบริเวณ Area A หมายเลขทางหลวง –

ชื่อสถานที่เก็บตัวอย่าง ถนนสาย กม. 23+150 การทดลองที่ U-17

หลุมเจาะที่ B-2 วันที่ทดลอง 6 ต.ค. 15

ตัวอย่างที่ GA-3-26 เจ้าหน้าที่ทดลอง WCS

ลักษณะตัวอย่าง Silty Clay, Very Soft เจ้าหน้าที่ตรวจ SPO

ความถ่วงจำเพาะ, G_s 2.75 ความยาวตัวอย่าง 9.00 ซ.ม.

WATER CONTENT

หมายเลข Proving Ring #72 1 ช่อง (0.0001") = 0.2247 kg.
Calibration Factor

SPECIMEN LOCATION	Full sample	Top.	Mid.	Bot.
CONTAINER NO.	–	E-11	E-15	E-8
WT. CONT+WET SOIL, gm.	–	17.806	17.504	17.279
WT. CONT+DRY SOIL, gm.	–	14.666	14.704	14.561
WT. WATER, gm.	–	2.640	2.800	2.718
WT. CONT., gm.	–	7.835	7.503	7.553
WT. DRY SOIL, gm.	–	6.831	7.201	7.008
WATER CONTENT, %	–	38.6	38.9	38.8

SPECIMEN MEASUREMENT

CIRCUMFERENCE	11.48 cm.
INITIAL DIAMETER	3.65 cm.
INITIAL AREA	10.50 cm^2
INITIAL HEIGHT	8.89 cm. (3.50")
HEIGHT/DIAMETER	2.44
INITIAL WEIGHT	160.9 gm
FINAL WEIGHT	160.2 gm
FAILURE CONDITIONS	☑

รูปร่างตัวอย่าง Undisturbed อัตราความเร็วของ Strain 0.717 % ต่อนาที

ELAPSED TIME MIN.	STRAIN DIAL (0.001 in.)	STRAIN (%)	CORRECTED AREA, A (cm^2)	PROVING RING DIAL (0.0001 in.)	AXIAL LOAD, P (kg.)	AXIAL STRESS, P/A (kg/cm^2)
0	0	0	10.50	0	0	0
	10	0.3	10.53	9.0	2.04	0.194
	20	0.6	10.54	21.0	4.77	0.452
	30	0.9	10.60	38.0	8.63	0.814
	40	1.1	10.62	53.2	12.08	1.137
	50	1.4	10.65	64.5	14.64	1.375
	60	1.7	10.69	71.2	16.16	1.513
	70	2.0	10.71	73.3	16.64	1.554
	80	2.3	10.75	73.5	16.68	1.552
	90	2.6	10.78	71.6	16.25	1.507
	100	2.9	10.81	70.1	15.91	1.473
	110	3.1	10.84	69.0	15.66	1.445
	120	3.4	10.87	67.9	15.41	1.418
	130	3.7	10.90	66.9	15.19	1.394
	140	4.0	10.94	65.9	14.94	1.366
6.0	150	4.3	10.97	65.0	14.76	1.345

หมายเหตุ ตารางรวมเนื่องการทดลองเป็นเงิน.....บาท
ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่กองวิเคราะห์และวิจัยได้รับเท่านั้น

การทดลองที่ ทล. - ท. 106/2516

วิธีการทดลองหาขนาดวัสดุดินโดยใช้ Hydrometer

(เทียบเท่า AASHTO T 88)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ ใช้หาขนาดและปริมาณของดินที่เล็กกว่า 75 ไมครอน (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 Hydrometer ชนิด Scale B (แบบ Specific Gravity Hydrometer)

2.1.2 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.1.3 เครื่องกวน (Stirring Apparatus)

2.1.4 เทอร์โมมิเตอร์อ่านได้ละเอียดถึง 0.5 องศาเซลเซียส

2.1.5 กระบอกแก้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร (2 1/2 นิ้ว) สูงประมาณ 460 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.1.6 ถังสำหรับแช่กระบอกแก้ว ที่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอ

2.1.7 ตะแกรงเบอร์ 10 ตะแกรงเบอร์ 40 ตะแกรงเบอร์ 100 และตะแกรงเบอร์ 200 (2.0 มิลลิเมตร 0.425 มิลลิเมตร 0.150 มิลลิเมตร และ 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

2.1.8 ถ้วยแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร

2.1.9 นาฬิกาจับเวลา

2.1.10 เครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler)

2.1.11 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 น้ำกลั่น

2.2.2 สารละลาย เตรียมโดยนำ Sodium Hexametaphosphate Buffered With Sodium Carbonate $(NaPO_3)_6$ 45.7 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 06 ก.

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างตากแห้ง (Air Dry) ที่ผ่านตแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาแบ่งโดยเครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler) ประมาณ 50 กรัม สำหรับดิน หรือประมาณ 100 สำหรับดินปนทราย แล้วชั่งหามวลเป็น c ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยแก้ว แล้วเติมสารละลายซึ่งเตรียมจากข้อ 2.2.2 จำนวน 125 มิลลิลิตร ผสมลงไป แช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง จึงใช้เครื่องกวนมากวนของผสมนานประมาณ 1 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัวจากกัน

2.5 การทดลอง

2.5.1 ให้หาค่า Hygroscopic Moisture โดยนำดินตากแห้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิลิตร) มาประมาณ 15 กรัม แล้วชั่งได้มวลเป็น a นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมวลคงที่ ให้มวลของดินแห้งเป็น b

2.5.2 การทดลอง Hydrometer

นำตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 2.4 ใส่ลงไปในกระบอกแก้ว เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แช่กระบอกแก้วในถังน้ำจนของผสมใน

กระบอกแก้วมีอุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของน้ำในถัง นำกระบอกแก้วออกมาเขย่าโดยเอาฝามือปิดปากกระบอกแก้ว พลิกกลับไปกลับมา 1 นาที แล้วนำกระบอกแก้วแช่ในถังน้ำอีกครั้งหนึ่ง เอา Hydrometer จุ่มลงในกระบอกแก้ว ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุนหรือส่ายไปมา อ่านค่า Hydrometer ที่เวลา 1/4 นาที 1/2 นาที 1 นาที 5 นาที 15 นาที 30 นาที 60 นาที 250 นาที และ 1,440 นาที นับตั้งแต่วางกระบอกแก้วลงในถังน้ำตามลำดับ สำหรับช่วง 2 นาทีแรก ให้อ่านติดต่อกันโดยไม่ต้องเอา Hydrometer ออกจากกระบอกแก้ว ส่วนการอ่านค่าอื่น ๆ ให้เอา Hydrometer ออกทุกครั้ง หลังจากอ่านค่าเสร็จแล้วต้องอ่านอุณหภูมิของน้ำขณะทดลองทันทีทุกครั้ง แล้วทำความสะอาดและเก็บ Hydrometer โดยวิธีหมุนล้างน้ำในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง ซึ่งบรรจุน้ำกลั่นในถังน้ำเดียวกัน

2.5.3 การทดลองหาขนาดของดินชนิดเม็ดละเอียด

เมื่ออ่านค่า Hydrometer ครั้งสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว นำของผสมในกระบอกแก้วไปล้างในตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) วัสดุที่ค้างตะแกรงนำไปอบแห้ง แล้วนำไปหาขนาดตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ท. 204/2516 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ด้วยตะแกรงเบอร์ 40 ตะแกรงเบอร์ 100 และตะแกรงเบอร์ 200 (0.425 มิลลิเมตร 0.150 มิลลิเมตร และ 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

3. <u>การคำนวน</u>

3.1 คำนวนหาค่ามวลของดินแห้ง โดยนำเอามวลของดินตากแห้งคูณด้วยค่า Correction Factor ของ Hygroscopic Moisture (b/a)

$$M_s = \frac{b * c}{a} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ a = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ใช้หา Hygroscopic Moisture

b = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างอบแห้ง (Oven Dry) ที่ใช้หา

Hygroscopic Moisture

c = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.4

M_s = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

3.2 คำนวนหาเปอร์เซ็นต์ของขนาดดิน จากสูตร

$$P' = \frac{G}{(G - G_1)} * \frac{V}{M_s} (R - G_1) * 100\ \% \quad .....(2)$$

เมื่อ P' = เปอร์เซ็นต์ของขนาดดินที่เทียบกับดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

V = ปริมาตรของของผสม 1,000 มิลลิลิตร

R = X + F

เมื่อ X = ค่าที่อ่านได้จริงบน Hydrometer

F = Composite Correction Factor (ดูตารางที่ 2)

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) ที่ใช้ในการทดลอง (หาได้จากการทดลองที่ ทล. - ท. 101/2515)

G_1 = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิขณะทดลอง (ดูตารางที่ 4)

3.3 คำนวนหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ตะแกรงเบอร์ 100 และตะแกรงเบอร์ 200 (0.425 มิลลิเมตร 0.150 มิลลิเมตร และ 0.075 มิลลิเมตร) โดยเอามวลของดินบนแต่ละตะแกรง หารด้วยมวลของดินแห้งทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer คูณด้วย 100 แล้วนำไปหาเปอร์เซ็นต์ส่วนละเอียดได้ ตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ท. 204/2516

3.4 ในการต่อ Curve ของการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ชนิดเม็ดละเอียด และ Hydrometer เนื่องจากนำเอาวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาใช้ในการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดละเอียด และ Hydrometer ดังนั้นค่าเปอร์เซนต์ที่ได้จากข้อ 3.2 และ 3.3 ต้องคูณด้วย

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

นั่นคือ
$$P = \frac{[100 - \text{เปอร์เซนต์ของวัสดุที่ค้างตะแกรงเบอร์ 10}]}{100}$$

หรือ P = P'* อัตราส่วนของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

$= p' * (d/100)$

เมื่อ P = เปอร์เซนต์ของขนาดดิน

d = เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

M = มวลของดินอบแห้งทั้งหมดทุกขนาดตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียดที่สุด

$$= \frac{M_s}{d/100}$$

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

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

หรือ $P = A\ (R - G_1)$

เมื่อ $$A = \frac{100{,}000\ G}{(G - G1)\ M}$$

3.5 คำนวนหาขนาดของเม็ดดิน

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

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน (มิลลิเมตร)

L = ระยะทางเป็นเซนติเมตรวัดจากผิวบนสุดของของผสมมายังระดับซึ่งหาค่าความหนาแน่นเมื่อเวลา T นาที (ดูตารางที่ 1)

T = ช่วงเวลาเป็นนาที นับตั้งแต่เริ่มปล่อยของผสมตกตะกอนจนถึงขณะที่อ่าน Hydrometer

$$K = \sqrt{\frac{30\ n}{(G - G1)\ 980}}$$ เป็นค่าคงที่ (คำนวนหรือดูตารางที่ 3)

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำกลั่น มีหน่วยเป็น poise

4. <u>การรายงาน</u>

ให้รายงานตามแบบฟอร์มในข้อ 2.3

5. ข้อควรระวัง

5.1 ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer ต้องมีความละเอียดถึง 0.0005

5.2 การอ่านค่า Hydrometer ต้องอ่านที่ปลายบนสุดของ Meniscus รอบ ๆ แกน

5.3 การจุ่ม Hydrometer ลงในของผสมต้องทำอย่างระมัดระวัง โดยพยายามให้ค่าที่จะอ่านจาก Hydrometer อยู่ที่ระดับผิวบนสุดของของผสม ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุนหรือส่ายไปมา

5.4 การเอา Hydrometer ออกจากของผสมหลังจากอ่านค่าเสร็จแล้ว ต้องพยายามให้มีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

5.5 ในระหว่างการทดลองต้องไม่ให้ของผสมในกระบอกแก้วได้รับความสั่นสะเทือน

ตารางที่ 1

Effective Depth (L)

of Hydromrter 151 H

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)

°ซ	F
25	- 0.00304
26	- 0.00280
27	- 0.00255
28	- 0.00232
29	- 0.00207
30	- 0.00184
31	- 0.00158
32	- 0.00134
33	- 0.00110
34	- 0.00085
35	- 0.00061

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	0.01164	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	0.01124	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

(°C)	26	27	28	29	30	31	32
G_1	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960	0.9957	0.9954	0.9951

กองวิเคราะห์และวิจัย วว. ๒-๐๖ ก.

HYDROMETER ANALYSIS

Source ศูนย์ทดสอบ - ทรายแดง Tested by ชาวฯ

Sample No. 8 Soil fraction tested No 10

Date predared 12 ก.พ.๒๖ Date tested 13 ก.พ.๒๖ & ๑๔ ก.พ.๒๖

Can No.	๔๖	+ air-dry moisture sample	27.49 gm.
Can No.	๔๓		11.09 gm.
a = Air - dry moisture sample			16.40 gm.
Can No.	๔๓	+ oven-dry moisture sample	26.81 gm.
Can No.	๔๓		11.09 gm.
b = Oven - dry moisture sample			15.72 gm.
Can No.	๔๓	+ air-dry hydrometer sample	63.11 gm.
Can No.	๔๓		11.07 gm.
c = Air - dry hydrometer sample			52.02 gm.
d = Percent by weight of fraction tested intotal sample (from washed sieve analysis			100 %

$W = \frac{100 \times (b) \times (c)}{(a) \times (d)} = \frac{100 \times 15.72 \times 52.02}{16.40 \times 100} =$ 49.86

G = Specific gravity of soil fraction tested 2.71

Stir for 60 seconds, 5-10 minutus befom agition

Agitate for 60 seconde : begin 9.10 ; end 9.11

Hydromter data (Jar No.

T (Min)	Read Time	Temp	Hydrometer Reading Actual	F(over)	R	P (%) A(R-G)
¼	9.11	30	1.0290	- 0.00184	1.03084	90.01
½	9.11	30	1.0280	- 0.00184	1.02984	94.83
1	9.12	30	1.0262	- 0.00184	1.02804	89.11
2	9.13	30	1.0240	- 0.00184	1.02584	82.12
5	9.16	30	1.0203	- 0.00184	1.02214	70.36
15	9.16	30	1.0173	- 0.00184	1.01914	60.83
30	9.41	30	1.0150	- 0.00184	1.01684	53.52
60	10.11	30	1.0130	- 0.00184	1.01484	47.16
250	13.21	30	1.0092	- 0.00184	1.01104	35.09
1440	9.11	30	1.0070	- 0.00184	1.00884	28.09

$A = \frac{100000\,G}{W(G-G_1)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times (2.71 - 0.9957)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times 1.7143} = 3170.52$

T (Min)	L (over)	L/T	$\sqrt{L/T}$	K (over)	$D(mm) = K\sqrt{L/T}$
¼	9.2	36.8	6.066	0.01196	0.0725
½	9.4	18.8	4.336	0.01196	0.0519
1	10.0	10.0	3.162	0.01196	0.0378
2	10.5	5.25	2.291	0.01196	0.0274
5	11.5	2.3	1.517	0.01196	0.0181
15	12.3	0.82	0.906	0.01196	0.0108
30	12.9	0.43	0.656	0.01196	0.0078
60	13.4	0.223	0.473	0.01196	0.0057
250	14.4	0.058	0.24	0.01196	0.0029
1440	15.0	0.010	0.102	0.01196	0.0012

Remack : Use Constant Temp. Water Bath at 30°c

การทดลองที่ ทล. - ท. 108/2517

วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตราฐาน

(เทียบเท่า AASHTO T 88)

1. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 4.573 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

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

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

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

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

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี "ก"

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดคือ

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบตามรูปที่ 1

2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 508 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.2 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจจะใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตามรูปที่ 2 โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานทึบ หรือแบบสูงขนาดอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้งได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.2 แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5 15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.1 ในหัวข้อที่ 2 แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) .

2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะรูห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มี ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะ

ตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถอ่านได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

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

2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

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

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

1. ขนาด 19 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 Mixture ก็ได้

2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

2.2 <u>วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง</u>

น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

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

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil - Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

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

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2 - 3 เปอร์เซนต์) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ

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

2. ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 ในหัวข้อที่ 1. ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

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

4. แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 หัวข้อที่ 3 ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่าง

ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริง ดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม
มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร 2,650 กรัม
มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม
มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 2,650 กรัม บวกกับ 4,850 กรัม เป็น 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 ในหัวข้อที่ 4. ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ 2 - 3 เปอร์เซนต์) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ 2.4.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณดังนี้

1. ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 ในหัวข้อที่ 1. ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2. ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 ในหัวข้อที่ 2. ให้ใช้มวล 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้ แล้วแต่ความต้องการตามวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลองดังนี้

2.5.1 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วมาคลุกกันจนเข้ากันดี

2.5.2 เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4 เปอร์เซนต์ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

2.5.3 คลุกตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้

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

2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)

2.5.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออก ก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)

2.5.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ดังนี้

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

2.5.9 คำนวนหาค่าความแน่นเปียก p_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง p_d เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน W (Moisture Content)

2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึงข้อ 2.5.9 โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ 2 เปอร์เซ็นต์ จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสมในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้

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

3. <u>การคำนวน</u>

3.1 คำนวนหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M2} * 100\ \%$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละเทียบกับมวลอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวนหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ p_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ

V = ปริมาตรของแบบหรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.3 คำนวนหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$p_d = \frac{p_t}{1 + W/100}$$

เมื่อ p_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

p_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดิน เป็นร้อยละ

4. <u>การรายงาน</u>

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตราฐาน ให้รายงานดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (แบบสูงกว่ามาตราฐาน)

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่าง ความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตราฐาน) = 2.231 กรัมต่อมิลลิลิตร
(ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)

ปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด = 9.8 %
(ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

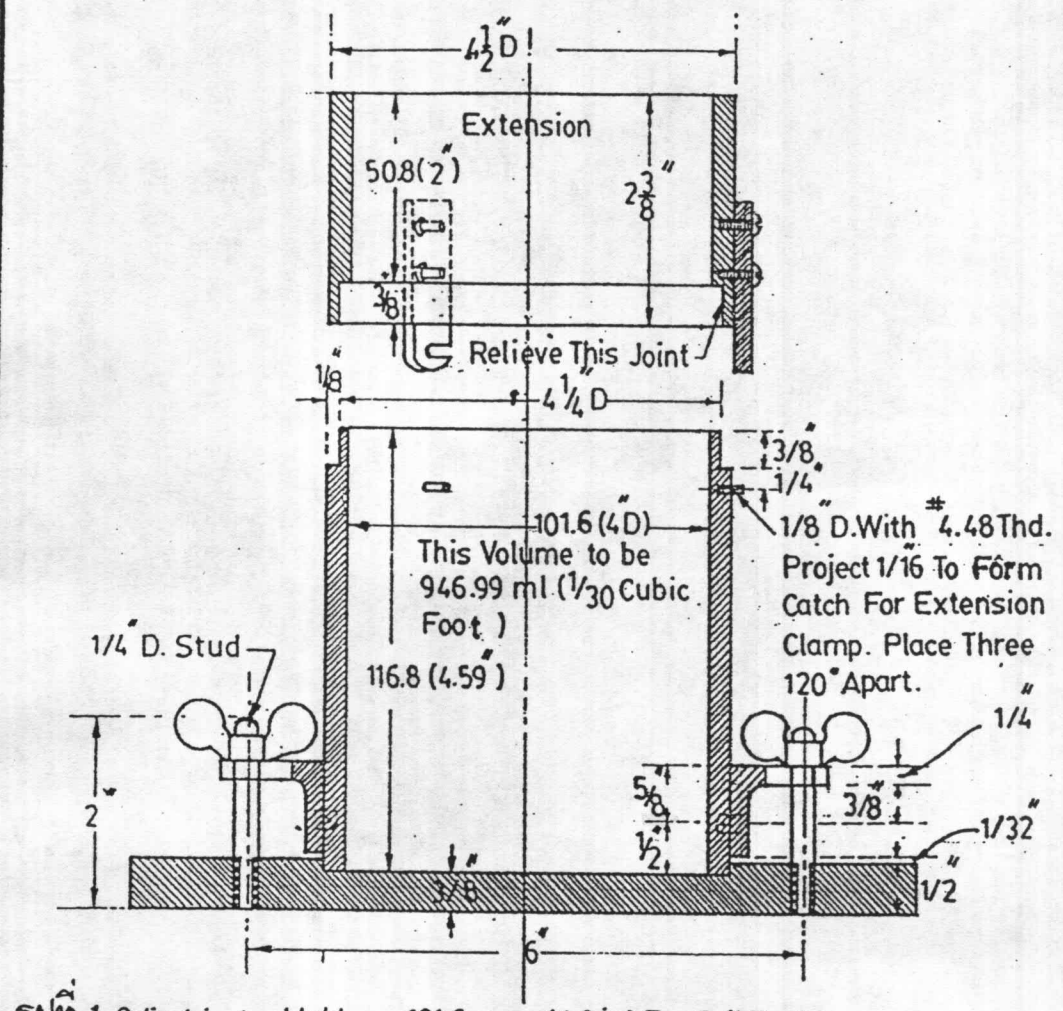
สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากสภาพดินตากแห้ง จนกระทั่งมีมวลมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการใช้ค้อนสำหรับทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด 1 ตัวอย่าง

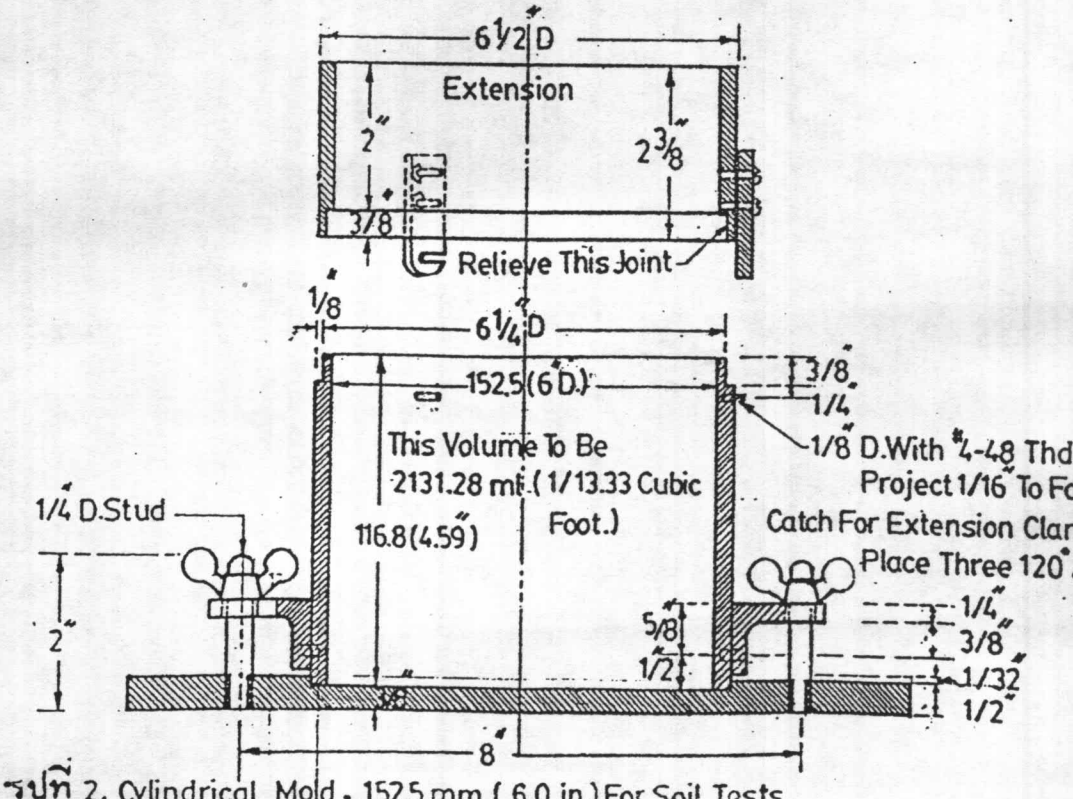
5.4 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุด เท่าที่จะมากได้

5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวน เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป



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.

ว. 2 – 15

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

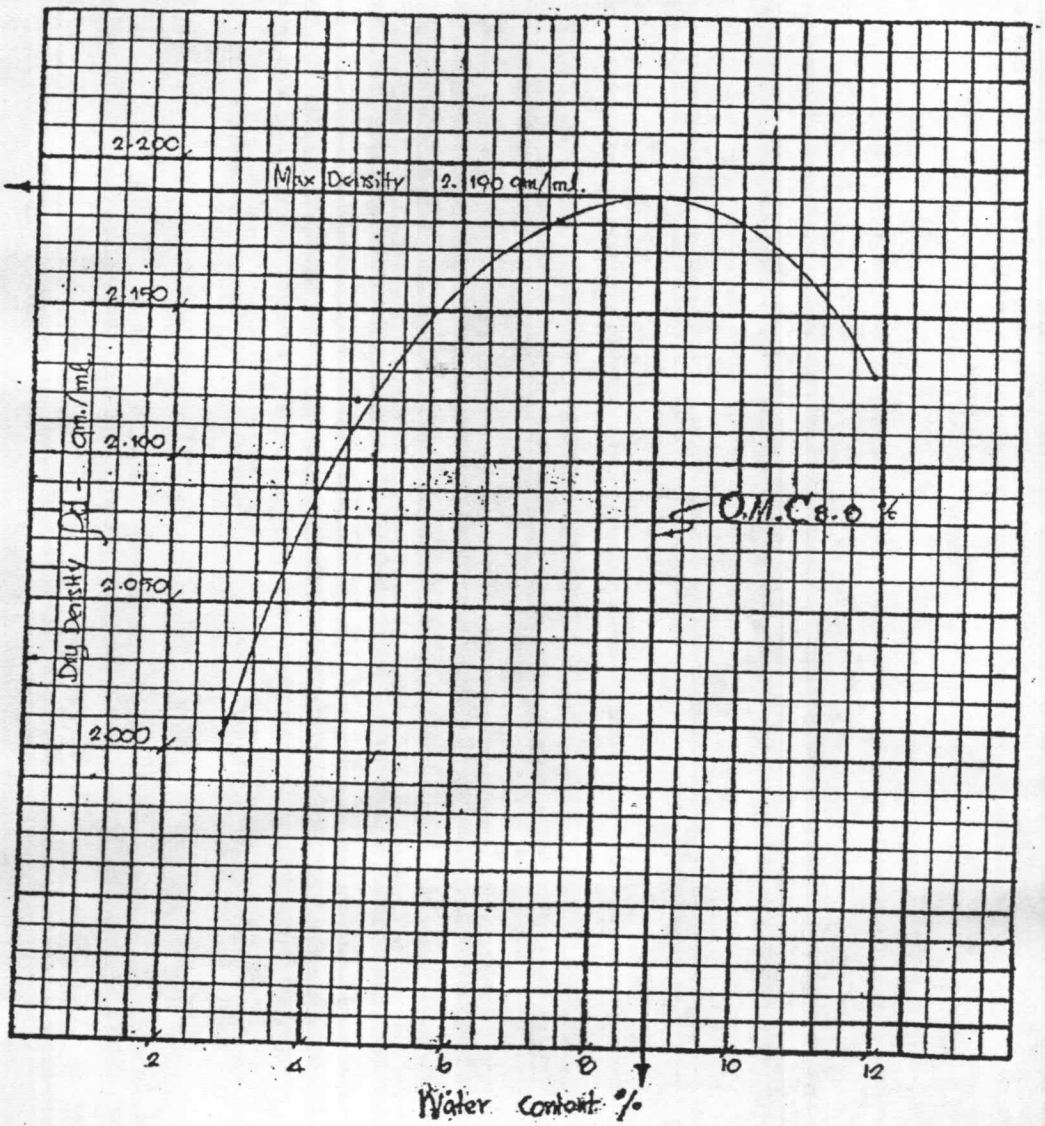
Test No. C-126 /15

Type of test Compaction test แบบมาตรฐานวิธี ก.

Date 2 มี.ค. 16

Source หิน – เขินไพร LATERITE FOR SUBBASE กม. 1+600 – 1+900

Plotted by อำพล



กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ C – 126 / 15

เจ้าของตัวอย่าง บริษัท ตันกิตรุ่งเรือง

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

ทางสาย เชาวู – นิคมไทย

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

COMPACTION TEST

Soil Sample : Gray Laterite for Subbase บ่อยาง ร + 200 ม.

Location : กม. 1+600 – 1+900 Boring No. : 3 Depth : 1.00 – 1.80 m.

Type Test : ตู้ตกว่ามาตรฐานวิธี ก. Mold Wt : 2.080 Kgs. Volume : 944.2 ml.

(Mod. Proctor)

DENSITY

Trial (water added) %	2	4	6	8	10		
Wt. Mold + Soil (Kg.)	4.026	4.174	4.286	4.341	4.330		
Wt. Mold (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	2.185	2.130		
Void Ratio e							
porosity n							

WATER CONTENT

Can No.	B-13	B-21	B-12	B-36	B-28		
Wt. Can + Wet Soil (gm)	144.4	159.4	157.5	169.5	168.7		
Wt. Can + dry Soil (gm)	136.3	145.8	136.5	141.3	144.2		
Wt. Water (gm)	8.1	13.6	21.0	28.2	24.1		
Wt. Can (gm)	46.7	44.4	45.2	47.9	48.0		
Wt. Dry Soil (gm)	289.6	101.4	291.3	293.4	286.2		
Water Content (%)	2.8	4.5	7.2	9.6	11.9		

Remarks

การทดลองที่ ทล. - ท. 109/2517

วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR

(เทียบเท่า AASHTO T 193)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้นเพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตราฐาน เมื่อทำการบดทับวัสดุนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณในดินใด ๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และใช้ควบคุมงานในการบดทับในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

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) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่า CBR ต้องมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์ หรือ 50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้อาจจะเป็นเครื่องแบบใช้มือหมุน (กรณีใช้เฟือง) หรือใช้ปั๊ม (กรณีใช้ Hydraulic) หรือแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ (กรณีใช้มอเตอร์ไฟฟ้า) อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกด (Piston) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.27

มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง โดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงด้วย Dial Gauge มีอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้ท่อนกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านแรงกด (กรณีใช้เฟืองดันขึ้นหรือดันลง) หรือหน้าปัดอ่านแรงกด (กรณีใช้ Hydraulicเป็นตัวดันขึ้นหรือลง) ได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม (20 นิวตัน) หรือน้อยกว่านั้น (ดังรูป)

2.1.2 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่นโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.3 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบสูงขนาดเท่าใดก็ได้ เมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ดังรูป

2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมี 2 แบบ ดังนี้

1. เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 4,537 กรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับหาค่า CBR ที่ความแน่น "สูงกว่ามาตราฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ท. 108/2517

2. เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับหาค่า CBR ที่ความแน่น "มาตราฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ท. 107/2517

2.1.5 เครื่องวัดการขยายตัว (Expansion Measuring Apparatus) ประกอบด้วย

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

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

2.1.6 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กรูปทรงกระบอกแบน เส้นผ่าศูนย์กลาง 149.2 มิลลิเมตร (5 7/8นิ้ว) มีรูกลวงเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 54.0 มิลลิเมตร (2 1/8 นิ้ว) เพื่อให้ท่อนกดสอดแทรกไปได้ มีมวลเท่ากับ 2,268 กรัม (5 ปอนด์) ดังรูป

แผ่นถ่วงน้ำหนักนี้อาจเป็นแบบผ่าครึ่งเป็นสองซีก หรือผ่าเป็นร่องก็ได้

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

2.1.8 เครื่องดันตัวอย่าง (Penetration Piston) ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 49.5 มิลลิเมตร (1.95 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดังรูป

2.1.9 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.10 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัมชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.11 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

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

2.1.13 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

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

1. ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

2. ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

2.1.15 เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.16 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.17 นาฬิกาจับเวลา

2.2 <u>วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง</u>

2.2.1 กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.2.2 น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 11 สำหรับการทดลองหาค่า CBR
ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2 - 15 สำหรับ Plot Curve หาค่า CBR
ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 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 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีปริมาณน้ำในดิน 2 - 3 เปอร์เซนต์) นำมาร่อนผ่านตะแกรง แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

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

2. ทำการชั่งหามวลของแต่ละขนาด ที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 ในหัวข้อที่ 1. ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

3. ตัวอย่างที่ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร ให้ทิ้งไป

4. แทนที่ตัวอย่างในข้อ 2.4.1 ในหัวข้อที่ 3. ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0

มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริงดังนี้

สมมุติตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม
มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,650 กรัม
มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 4,850 กรัม
มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้คือ

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,654 + 4,850 = 7,500 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 ในหัวข้อที่ 4. ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2 - 3 เปอร์เซนต์) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ 2.4.3 แล้วแต่กรณีให้มีมวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ตัวอย่าง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมไว้ 3 ตัวอย่าง ในการ

ทดลองแต่ละครั้ง

2.5 การทดลอง

2.5.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2.4 มาคลุกเคลาจนเข้ากันดี

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

- ดูแบบฟอร์มที่ ว. 2 - 05 ในการทดลองที่ ทล. - ท. 107/2517 หรือการทดลองที่ ทล. - ท. 108/2517 เปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างกับปริมาณน้ำในดินที่คำนวนได้จากการอบตัวอย่าง จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่เตรียมไว้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองดังกล่าวเป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่มีความแน่นสูงสุด

- กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยทำการอบหรือคั่วให้แห้ง ก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง ให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นแห้งสูงสุด

3. เติมน้ำที่คำนวนได้จากข้อ 2.5.1 ในหัวข้อที่ 2.

4. คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

5. นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้ว และใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

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

7. ทำการบดทับโดยใช้ค้อน ตามข้อ 2.1.4 ในหัวข้อที่ 1. หรือในหัวข้อที่ 2. แล้วแต่กรณีจำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่การบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ

8. ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 มิลลิเมตร

9. ถอกปลอก (Collar) ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับ แล้วใช้ค้อนยางทุบออกจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ

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

11. ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 และ 56 ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นในข้อ 2.5.1 ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง

2.5.2 การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

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

2. ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ 2.5.1 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้

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

3. คำนวนหาค่าความแน่นเปียก p_t (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง p_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน W (Moisture Content) โดยใช้สูตรตามข้อ 3.1 ข้อ 3.2 และข้อ 3.3

2.5.3 การหาค่าการขยายตัว (Swell)

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

2. เมื่อครบกำหนด 4 วัน ถึงแม้ว่าการขยายตัวยังเพิ่มอยู่เรื่อย ๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเร็วกว่า 4 วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออก ตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย โดยเฉพาะวัสุจำพวก Granular Material เสร็จแล้วให้ทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออก ก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังแช่น้ำแล้ว นำตัวอย่างเตรียมไว้

เพื่อทดลอง 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 ในหัวข้อที่ 2. หรือ 2.5.4 ในหัวข้อที่ 1. แล้วแต่กรณี มาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade ลงบนตัวอย่าง

3. นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

4. หมุนเครื่อง หรือเดินเครื่อง หรือปั๊ม แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกด ให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ การที่ให้มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสกับผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress vs. Penetration

5. เพิ่มแรงลงบนท่อนกดตามวิธีการของเครื่องกดนั้น ๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

6. ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

- 0.025 นิ้ว
- 0.050 นิ้ว
- 0.075 นิ้ว

- 0.100 นิ้ว
- 0.125 นิ้ว
- 0.150 นิ้ว
- 0.175 นิ้ว
- 0.200 นิ้ว
- 0.025 นิ้ว
- 0.300 นิ้ว
- 0.350 นิ้ว
- 0.400 นิ้ว
- 0.450 นิ้ว
- 0.500 นิ้ว

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

7. นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกด ๆ ลงไปเป็นรูไปหาปริมาณน้ำในดิน ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามข้อ 2.5.2 ในหัวข้อที่ 2.

8. ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีการกับที่กล่าวมาแล้ว

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

10. เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับ ค่าความแน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซนต์ของการบดทับที่ต้องการต่อไป

<u>หมายเหตุ</u> ในการเขียน Curve ของ Stress vs. Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงาย เพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

3. การคำนวน

3.1 คำนวนหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ คิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวนหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ p_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ หรือปริมาตรของแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.3 คำนวนหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$p_d = \frac{p_t}{1 + W/100}$$

เมื่อ p_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

p_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

W = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.4 คำนวนหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$\text{Swell} = \frac{S}{H} * 100\ \%$$

เมื่อ S = ผลต่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.5 การคำนวนหาค่า CBR

ในการคำนวนหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตราฐาน ดังนี้

Penetration (inch)	Standard Load (lbs)	Standard Unit Load (Y) ($lb/in.^2$)
0.1	3,000	1,000
0.2	4,500	1,500
0.3	5,700	1,900
0.4	6,900	2,300
0.5	7,800	2,600

หมายเหตุ คำนวนค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

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

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

Y = ค่าหน่วยแรงมาตราฐาน (Standard Unit Load) จากตารางในหัวข้อที่ 3.5

4. การรายงาน

ในการทำการทดลอง CBR ให้รายงานดังนี้

4.1 ค่า CBR ที่ความแน่น X % ของความแน่นแห้งสูงสุด 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

5.1 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดทับ

5.3 ปริมาตรของแบบ (V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวนเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณหรือจากที่แสดงไว้ในข้อ 2.1.2

5.4 ปริมาตรของน้ำที่ใช้ผสม เพื่อเตรียมตัวอย่างทำ CBR ถ้าต้องการใช้ค่าต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในวิธีทดลอง วิธีนี้ย่อมใช้ได้สำหรับงานวิจัยหรืองานอื่นใด แต่ถ้าไม่แสดงไว้ว่าต้องการใช้น้ำปริมาณเท่าใดแล้ว ให้ใช้ปริมาณน้ำตามข้อ 2.5.1 ในหัวข้อที่ 2. เสมอไป

5.5 ในการทดลอง Penetration Test โดยใช้ Proving Ring เป็นตัวอ่านแรง และใช้ Penetration Dial Gauge ติดที่ Frame ของเครื่องกด ต้องทำการแก้ค่า Penetration เนื่องจากการหดตัวของ Proving Ring โดยหักค่าการหดตัวของ Proving Ring ออกจากค่า Penetration ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในแบบฟอร์มที่ ว. 2 - 11 กรณีที่ติด Penetration Dial Gauge ที่ท่อนกด ไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

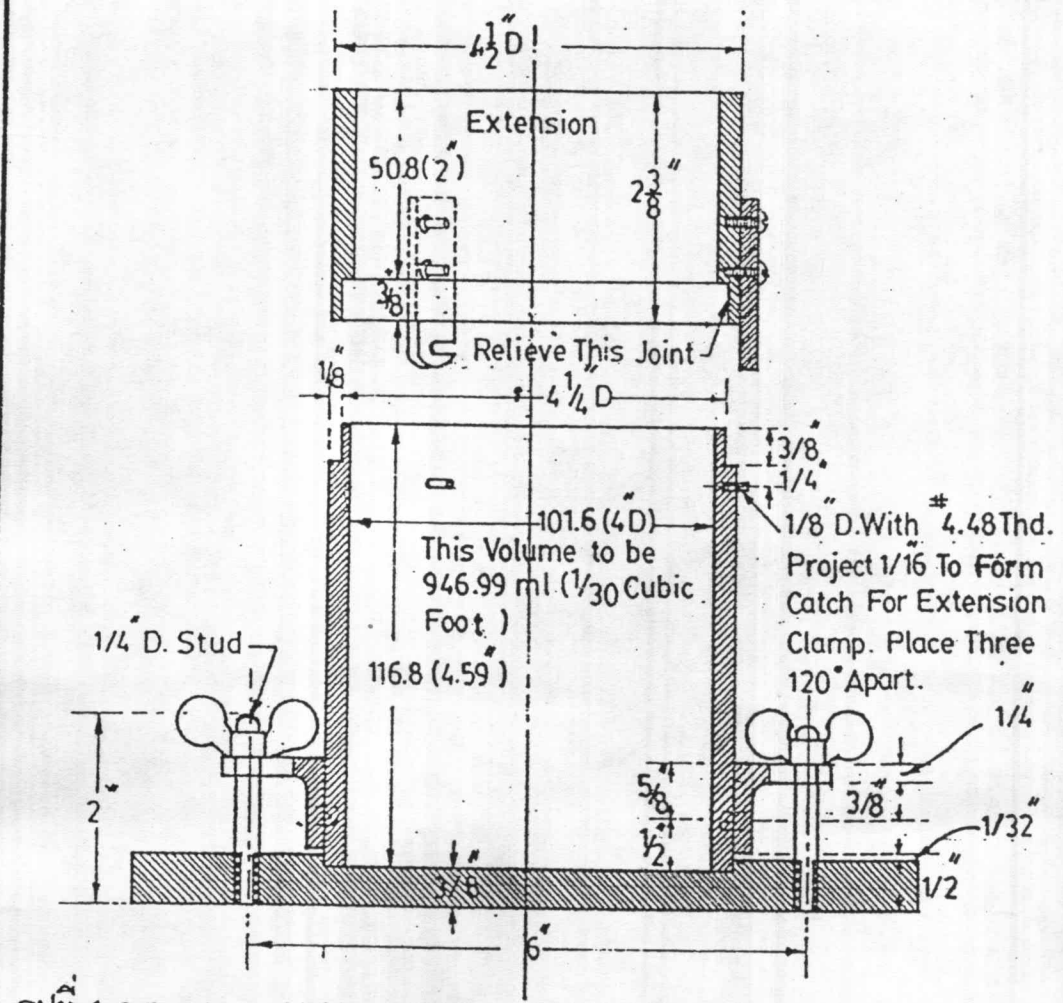
5.6 เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Unit Load และค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับ Curve ที่หงายขึ้น เนื่องจากความไท่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนราบคือเส้นที่ลากผ่าน Unit Load เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetration ไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไป ซึ่งเรียกว่า Corrected CBR Value

5.7 ค่า CBR ที่ได้จาก Corrected Load Value หรือจาก True Load Value (Curve ถูกต้อง ไม่ต้องแก้ไข) คำนวนจาก Penetration 2.54 มิลลิเมตร (0.1 นิ้ว) และค่าที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร (0.2 นิ้ว) เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มิลลิเมตร จะต้องมีค่าสูงกว่า CBR ที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร ถ้าหากไม่เป็นดังนั้น คือค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร สูงกว่า 2.54 มิลลิเมตร ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถ้ายังสูงกว่าอยู่อีกให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร

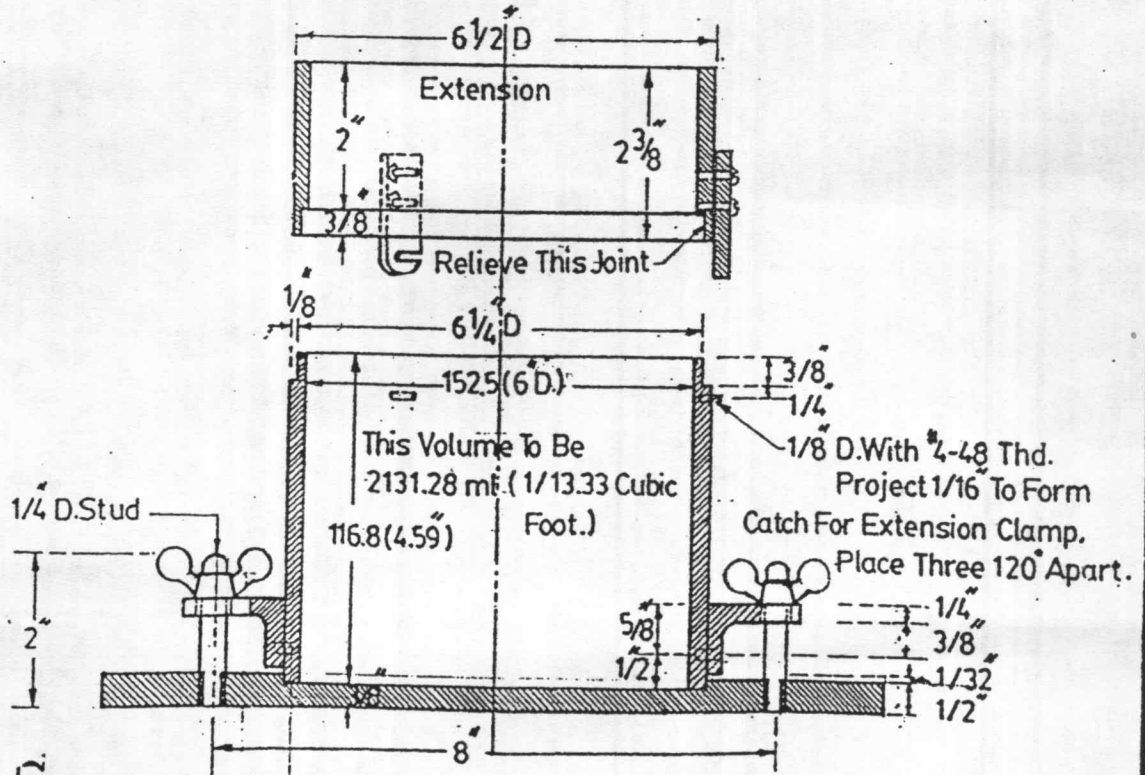
5.8 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve ตามข้อ 2.5.4 ในหัวข้อที่ 10. ก็ได้

5.9 ค้อนที่ใช้ทำการบดทับเพื่อเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่า CBR มี 2 ขนาด คือ ตามข้อ 2.1.4 ในหัวข้อที่ 1. และข้อ 2.1.4 ในหัวข้อที่ 2. ในการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล. - ท. 107/2517 ให้ใช้ค้อนเล็ก ส่วนการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล. - ท. 108/2517 ให้ใช้ค้อนใหญ่

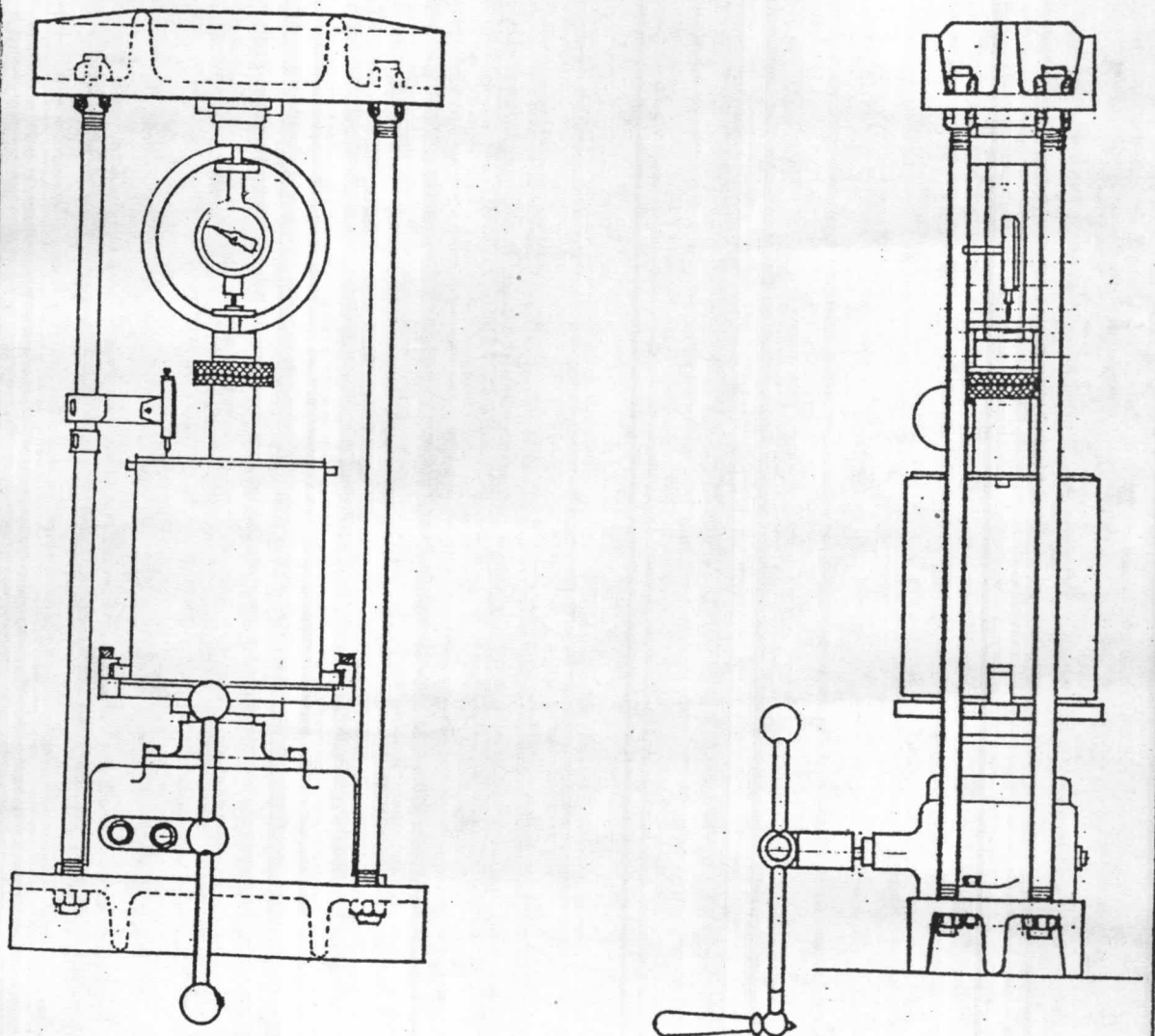


รูปที่ 1. Cylindrical Mold ,101.6 mm (4.0 in) For Soil Tests.

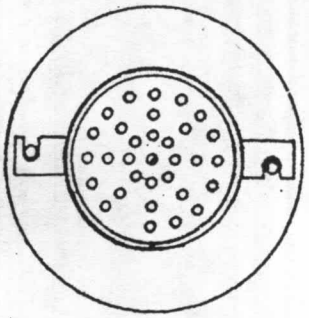
Unit = mm or as indicated



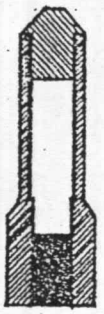
รูปที่ 2. Cylindrical Mold , 152.5 mm (6.0 in.) For Soil Tests.



LABORATORY LOADING MACHINE

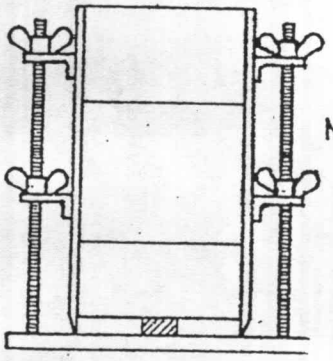


PLAN



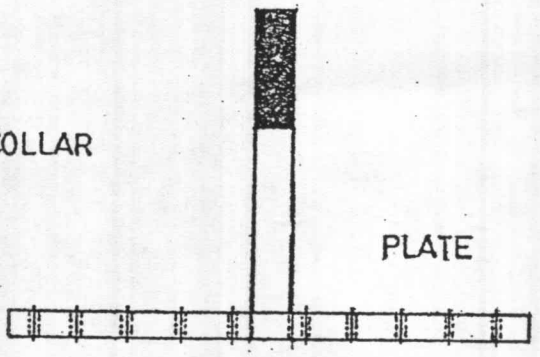
ADJUSTABLE STEM

KNURL NUT



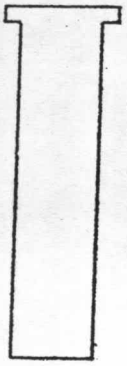
MOLD WITH COLLAR

ELEVATION

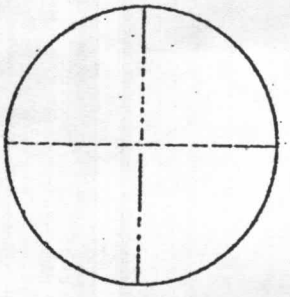


PLATE

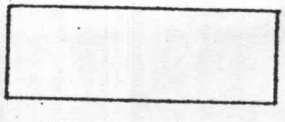
EXPANSION MEASURING APPARATUS



PENETRATION PISTON



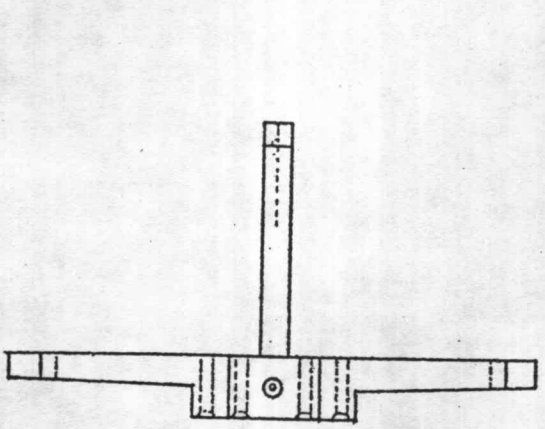
PLAN



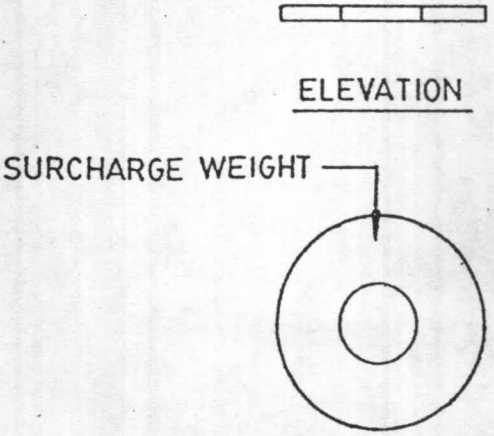
SPACER DISC

ELEVATION

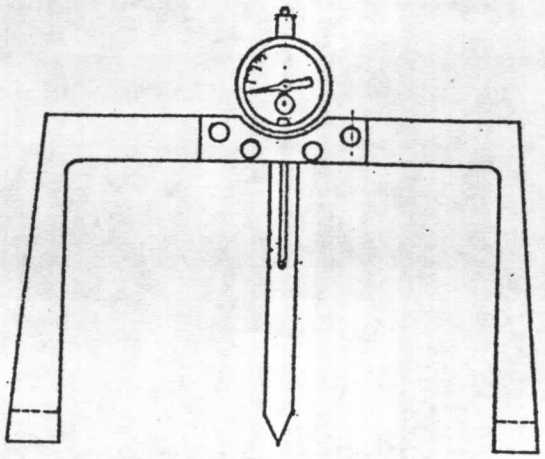
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST APPARATUS



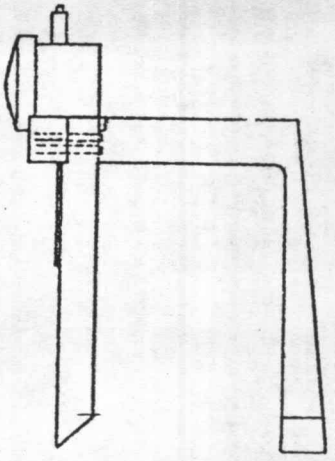
PLAN



PLAN



ELEVATION



SIDE VIEW

EXPANSION MEASURING APPARATUS (TRIPOD)

ว. 2—15 ก.

SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test 6-18/17

Type of material Silty Sand To be used for Embankment.

Source สุไหงโกลก - พรมแดน Stock pile No. S-1

Location of sampling กม. 25+000 ขา, 100 ม. ลาย สุไหงโกลก - พรมแดน

Tested by วิเชียร Dated 30 ก.ค. 15

Materials	HRB Classification	Passing							L.L.	P.I.
		50.0	25.0	19.0	9.5	# 10	# 40	# 200		
A	A-4			100	90.9	82.6	73.6	48.2	24.2	3.8
B					#4 = 93.6					
Mixed A : B =										

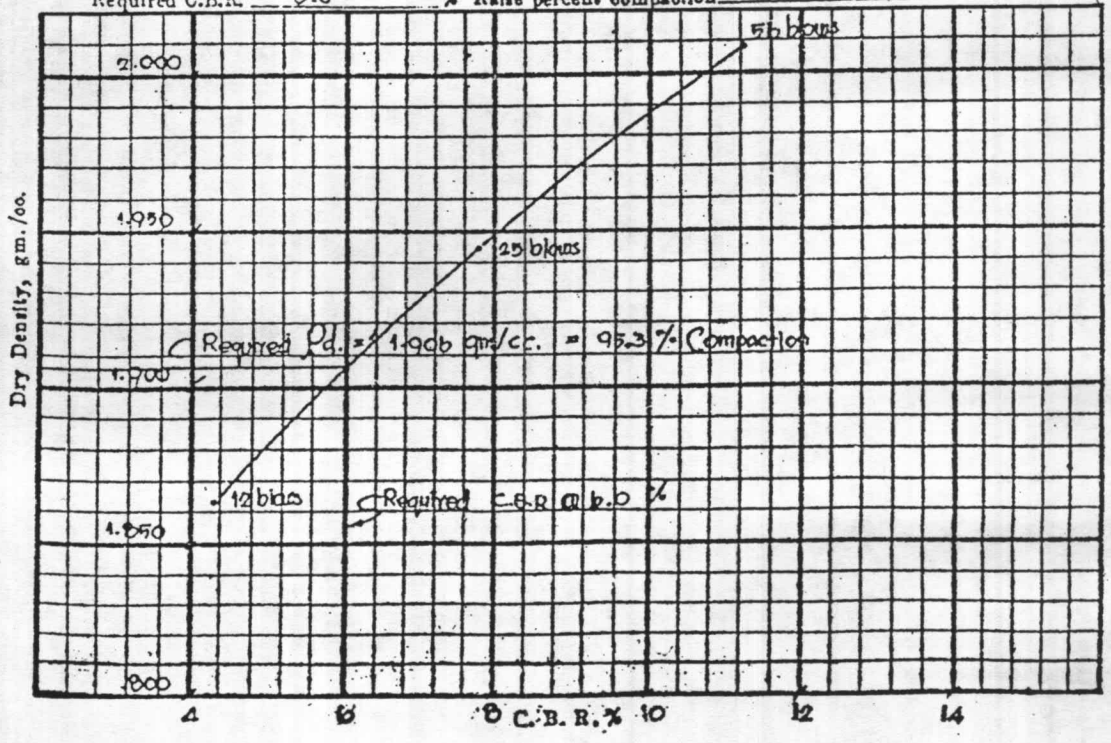
Blow	Density	C.B.R.	Swell
8	-	-	-
12	1.863	4.36	0.49
25	1.945	7.80	0.40
56	2.009	11.21	0.30
75	-	-	-

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

95 % Std Proctor Com (มอ-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 %



ว. 2 – 15

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

Test No. G-10/15

Type of test Penetration Vs. CBR. (12 blows มาตรฐาน)

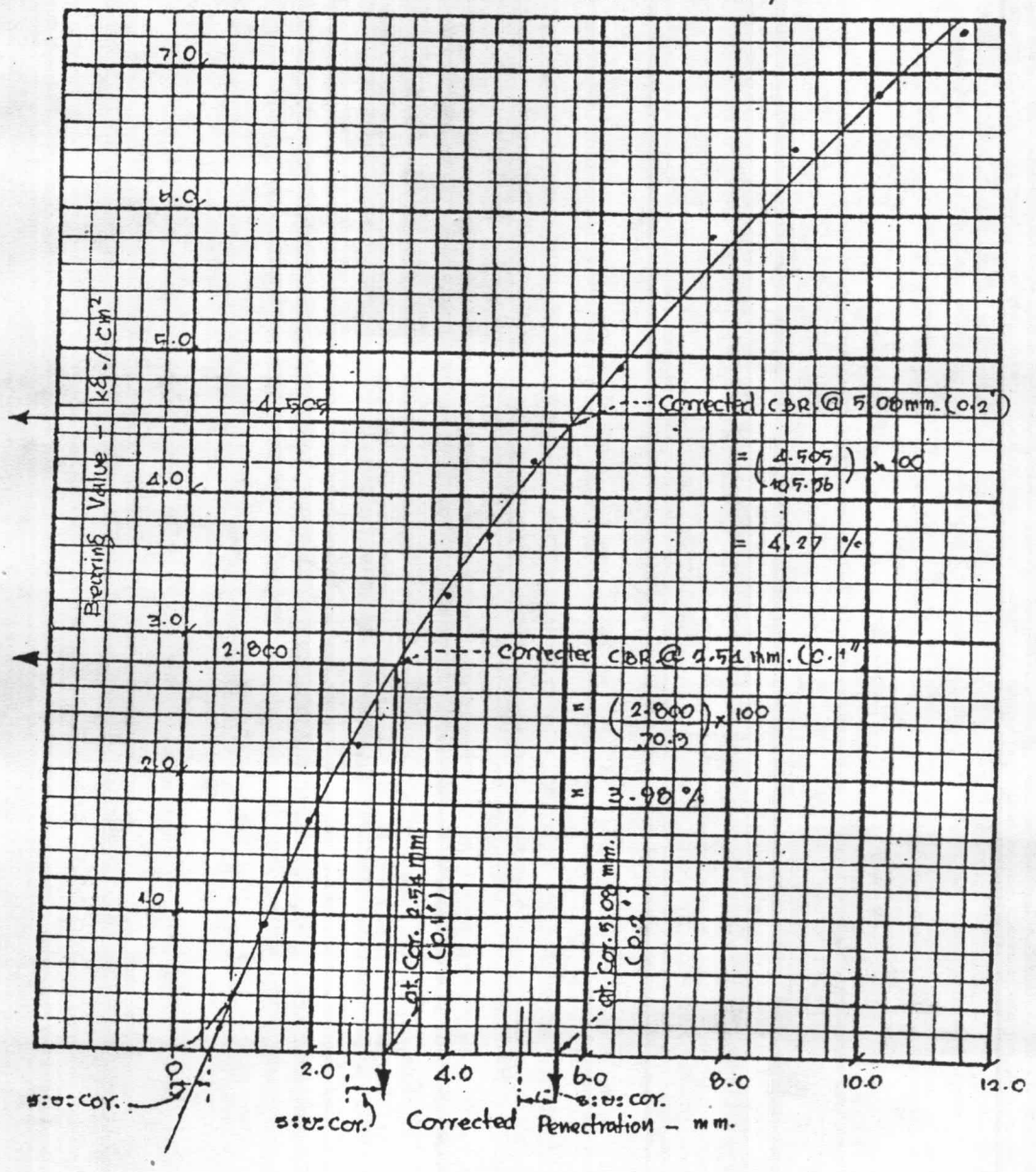
Date 30 ก.ค. 15

Source สำนักโทลล - ทางหลวงแผ่นดิน Km. 29+000 ขา, 100 m. stock pile NO S-1

Plotted by วิชัย Silty Sand For Embankment

ρ_d = 1.863 gm/ml.

Water Content as Molded = 11.6 %



กองวิเคราะห์และวิจัย

ว. 2—11

อันดับทดลองที่ G-10/15

เจ้าของตัวอย่าง ทางหลวง สำนักวิศวกรรมทาง

หนังสือที่ 139/4 ลว 18 ต.ค. 15 วันที่รับหนังสือ 19 ต.ค. 15

ทางสาย สุไหงโกลก - ตากใบ

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

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Sample Silty Sand For Embankment กม 25+000 ขา, 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

M
Wt. Hammer 2.494 Kg.

Drop 70.40 cm.

		Before Soaking	After Soaking
M Wt. Mold + Soil	Kg.	17.190	17.480
M Wt Mold	Kg.	6.320	6.320
M Wt. Soil	Kg.	4.870	5.160
Wet Density	gm./cc.	2.115	2.241
Dry Density	gm./cc.	1.863	1.961

WATER CONTENT

Can No.		S-11	12	999	B-23
M Wt. Can + Wet Soil	gm.	298.0	257.4	274.8	300.7
M Wt. Can + Dry Soil	gm.	268.3	227.3	247.4	268.9
M Wt. Water	gm.	29.7	26.1	27.4	31.8
M Wt. Can	gm.	40.7	43.1	43.9	46.2
M 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. 6-22-70

Piston area = 19.355 cm.^{2} (3 in.^{2}) at 1.37 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	0.74	1	1.27 (0.050")	0.0028	1.2672	18.15	0.940	
28 "	10.30	1.52	0.52	0.41	2	1.90 (0.075")	0.0076	1.8924	31.70	1.640	
29 "	10.30	1.61	0.61	0.49	3	2.54 (0.100")	0.0106	2.5294	43.00	2.220	3.72
30 "	10.35	1.69	0.63	0.49	4	3.17 (0.125")	0.0129	3.1571	52.10	2.690	
(1) Optimum Moist. 13.4 %						3.81 (0.150")	0.0152	3.7948	63.50	3.280	
(2) Original Moist 5.2 %						4.44 (0.175")	0.0172	4.4228	72.50	3.750	
(3) Water to be added (1)−(2) 8.2 %						5.08 (0.200")	0.0198	5.0602	81.81	4.230	4.36
(4) Use soil passing #4 } 6,000 gm.						6.35 (0.250")	0.0227	6.3273	95.35	4.930	
(5) Use soil retained #4 } gm.						7.62 (0.300")	0.0270	7.5930	113.10	5.840	Use this
(6) Total wet soil (4) + (5) 6,000 gm.						8.89 (0.350")	0.0295	8.8605	124.50	6.430	Value
(7) Total dry soil (6) ÷ $\frac{100+(2)}{100}$ 5703 gm.						10.16 (0.400")	0.0312	10.1288	132.10	6.830	
(8) Total water to be added (7) × (3) 468 gm.						11.43 (0.450")	0.0332	11.3968	141.00	7.280	
						12.70 (0.500")	0.0349	12.6651	140.40	7.670	

การทดลองที่ ทล. - ท. 205/2517

วิธีการทดลองหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

(เทียบเท่า AASHTO T 27 - 70)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้สำหรับหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดผ่านช่องตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27 - 70

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง

2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.2 % ของตัวอย่างทั้งหมด

2.1.3 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ที่ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส

2.1.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ

2.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรง ชนิดลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน

2.1.6 ภาชนะสำหรับใช้แช่และล้างตัวอย่างด้วยมือ หรือ

2.1.7 ภาชนะล้างตัวอย่างด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า (ความจุประมาณ 8,000 มิลลิลิตร)

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำยาสำหรับใช้ล้างส่วนละเอียด เตรียมได้จากการละลายผลึก Sodium Hexametaphosphate Buffered With Sodium Carbonate $(NaPO_3)_6$ 45.7 กรัม ในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนผสมกันให้ทั่วจนไม่มีเมล็ดผลึกเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ ใช้น้ำยานี้ 125 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 875 มิลลิลิตร เป็นน้ำยาสำหรับล้างส่วนละเอียดประมาณ 1,000 มิลลิลิตร อาจจะผสมไว้ทีละมาก ๆ หรือทดลองครั้งหนึ่งก็ผสมครั้งหนึ่งครั้งละ 1,000 มิลลิลิตร ต่อวัสดุทดลองหนึ่งตัวอย่าง

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์ม ว. 2 - 01 สำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4

ใช้แบบฟอร์ม ว. 2 - 01 ก. สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4

ใช้แบบฟอร์ม 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

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแยกออกให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวนหามวลตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เทน้ำหรือน้ำยาลงไปในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ ถ้าไม่ใช้เครื่องเขย่าควรแช่น้ำไว้ในภาชนะสำหรับล้างตัวอย่างด้วยมือนานประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 ถ้าหากตัวอย่างมีขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ซ้อนไว้บน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีกต่อไป เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

2. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาทีไม่เกิน 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้ตัวอย่างนานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

2.5.2 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4

วิธีที่ 1

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่ หรือมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ และส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนหลุดออก

จากกันให้หมด โดยใช้ค้อนยางทุบ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อแยกส่วนที่ค้างและผ่านตะแกรง ถ้าตัวอย่างมีมากให้แบ่งทำหลาย ๆ ครั้ง

2. นำส่วนที่ค้างตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวนหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ

3. นำส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวนหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดหรือแยกตัวอย่างเพียงบางส่วนไปดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.1

วิธีที่ 2

นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากข้อ 2.4 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่าง เพื่อคำนวนหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปดำเนินการทดลองตามข้อที่ 2.5.1 ถ้ามีขนาดก้อนใหญ่มากควรจัดตะแกรงที่จะล้างให้มีขนาดต่าง ๆท ลดหลั่นกัน

3. การคำนวน

3.1 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4

3.1.1 หามวลค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไปคือมวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

3.1.2 หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องมวลที่ค้าง (Mass Retained) ขึ้นไป เอามวลของช่อง Mass

Retained บน Pan เป็นช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 รวมมวลของ Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 เป็นมวลของช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัดขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อย ๆ จนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

3.1.3 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดลอง}} * 100\ \%$$

3.2 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4

3.2.1 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4

1. หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไปคือมวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่ค้างบน Pan

2. หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2

3. คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตรเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

3.2.2 คำนวนหาเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 เช่นเดียวกับข้อ 3.1

3.2.3 คำนวนหาเปอร์เซนต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 ได้ดังนี้

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

เมื่อ X = เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4

Y = เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ในการทดลองพวกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4

4. <u>การรายงาน</u>

ให้รายงานค่าเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ต่อมวลรวม ด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง ในแบบฟอร์ม ว. 2 -02

5. <u>ข้อควรระวัง</u>

5.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 1/2 เท่าของก้อนโตที่สุด

5.2 ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

5.3 ควรตรวจสอบตะแกรงอยู่เสมอ โดยเฉพาะเบอร์ 200

ตารางที่ 1
สำหรับหินย่อย

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	90 - 100	0.5
9.5 มม. (3/8")	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 1/2")	90 - 100	15.0
50.0 มม. (2")	90 - 100	20.0
63.0 มม. (2 1/2")	90 - 100	25.0
75.0 มม. (3")	90 - 100	35.0
90.0 มม. (3 1/2")	90 - 100	35.0

ตารางที่ 2
สำหรับ Soil Aggregate

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม	ปริมาณตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	90 - 100	0.5
9.5 มม. (3/8")	90 - 100	1.0
12.5 มม. (1/2")	90 - 100	2.0
19.0 มม. (3/4")	90 - 100	5.0
ใหญ่กว่า 25.0มม.(1")	90 - 100	10.0

Materials & Research Division

Department of Highways.

Project : กาญจนบุรี - ลาดหญ้า

No.	Source	Depth M	Description of Sample	Estimate Quantity M^3	H R B Classification	Sieve Analysis % Passing								Plasticity		Comp. DH-T		Lab. C.B.R.		Remarks
						25.4 (1")	19.0 (3/4")	9.51 (3/8")	#4	#10	#40	#200		LL.	PI.	Opt Mc. %	gm/cc.	C.B.R.	Swell %	
1	6+300	-	CRUSHED	1900		100	78.5	60.4	42.1	30.6	22.2	15.6		22.6	5.8	8.6	2.146	86	0.2	
			Stone																	
2	16+100 LT.	1.2	Laterite	2600			100	99.5	91.3	51.9	44.4	39.9		38.6	13.2	12.8	1.867	18	1.6	

ท. 2-01 ก.

กองวิเคราะห์และวิจัย

SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES

Type and No. of test Washed #16 Project กาญจนบุรี - ลาดหญ้า

Type of materials Crushed Rock To be used for Base Course

Source Km. 6+300 Stock pile No.

Location of Sampling

Tested by ปัญญา Dated 18 ก.พ.29

Sieve No. m/m	wt. M retained	wt. M passing	% passing
25.4 (1")	-	9,867.1	100.0
19.0 (3/4")	2121.4	7745.7	78.5
9.31 (3/8")	1783.4	5962.3	80.4
4.76 (#4)	1509.5	4152.8	42.2
Pan	4152.8		

COARSE AGGREGATES

1) Total wt. of aggregate = 10,000 gms.
(Wet Sample)
2) Total coarse aggregate = 5,814.3 gms.
(retained on No. 4)
3) Total fine aggregate = 4286.7 gms
(passing No. 4 = 1 − 2)
4) Water content of fine (w) = 3.2 %
5) Dry wt. of fine aggregate = 4152.5 gms.
$\left(3 \div \frac{(100)+w}{100}\right)$
6) Total wt. of aggregate = 9867.1 gms.
(2 + 5)

FINE AGGREGATES

1) Total wt. of fine aggregate = 4152.8 gms
2) Wet wt. of fine aggregate used = 710.0 gms
3) Water content of fine aggregate = 3.2 %
4) Dry wt. of fine aggregate = 688.0 gms

Remarks

Sieve No	wt. retained	Passing	% Passing	Total % Passing
# 4	–	688.0	100	42.1
#10	189.2	500.8	72.8	30.6
#40	138.5	363.6	52.8	22.2
#200	108.6	250.7	27.0	15.6
Pan	254.7			

* Total % Passing = % passing of fine aggregates x % passing No. 4 of coarse aggregate ÷ 100

ว. 2-01

กองวิเคราะห์และวิจัย

ชั้นดับทดลองที่ A-18 วันที่รับตัวอย่าง 16 ก.พ. 15 วันที่ทดลอง 17 ก.พ. 15

เจ้าของตัวอย่าง หน่วย Soil Survey หมายเลขที่ -

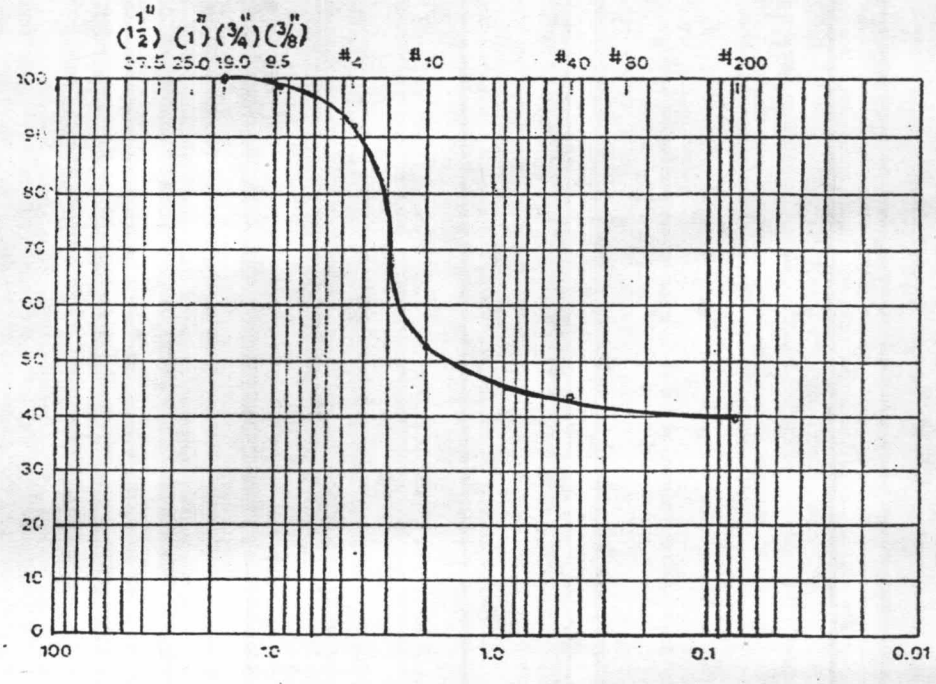
ทางหลวง กาญจนบุรี - ลาดหญ้า เจ้าหน้าที่ทดลอง บัญชา

SIEVE ANALYSIS

Sample : ลูกรัง

Source : ก.ม. 16+100 LT.

Sieve No.	Sieve Opening mm.	M [illegible] Sieve gm.	Sieve + Soil gm.	Soil Retained gm.	% Soil Retained	Cumulative	% Finer
19.0 (3/4")	19.0			-	-	-	100
9.51 (3/8")	9.51			25.0	0.5	0.5	99.5
#4	4.76			410.0	8.2	8.7	91.3
#10	2.00			1970.0	39.4	48.1	51.9
#40	0.420			375.0	7.5	55.6	44.4
#200	0.074			225.0	4.5	60.1	39.9
Pan				1995.0	39.8	100.0	-



Diameter in mm.

Grain size Distribution Curve.

Wet Sample : เจ้าหน้าที่ทดลอง บัญชา Dry Sample : เจ้าหน้าที่ชั่งน้ำหนักเม็ด บัญชา

เจ้าหน้าที่ชั่งน้ำหนักเม็ด บัญชา เจ้าหน้าที่ตรวจน้ำหนักเม็ด บัญชา

เจ้าหน้าที่ตรวจน้ำหนักเม็ด บัญชา เจ้าหน้าที่คิดคำนวณ บัญชา

TM. T.S.V. 3 ตรวจ/08 ตค.08 5.

ภาคผนวก ค

แสดงผลการทดสอบเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการทดสอบ compaction test ที่ปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ

COMPACTION TEST WASTE + 0% CEMENT	
Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
68.6	54.1
72.6	55.7
75.1	57.3
76.9	55.3
77.8	54.8

COMPACTION TEST WASTE + 18% CEMENT	
Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
60.9	58.8
70.9	61.1
72.1	61.4
75.6	60.2
78.0	58.5

COMPACTION TEST WASTE + 20% CEMENT	
Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
59.3	58.6
62.3	60.0
68.3	62.0
69.0	61.5
70.0	60.5

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการทดสอบ compaction test ที่ปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ (ต่อ)

COMPACTION TEST
WASTE + 22% CEMENT

Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
65.7	61.1
67.0	61.8
67.3	63.6
68.8	63.1
69.0	62.9

COMPACTION TEST
WASTE + 24% CEMENT

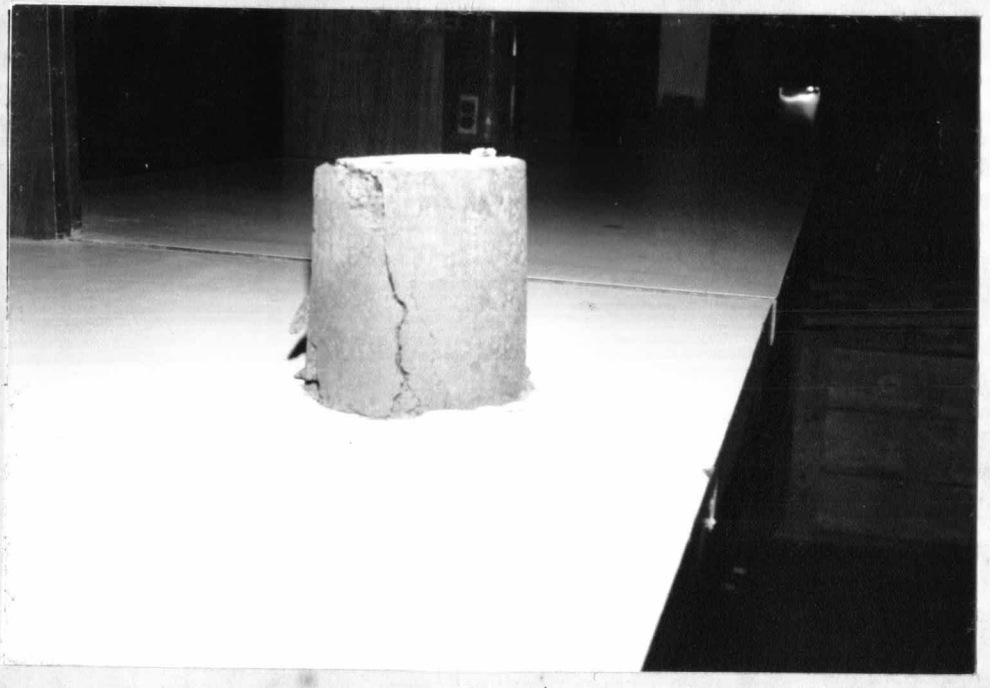
Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
54.0	63.0
55.9	64.7
60.5	65.1
65.8	63.7
72.2	62.2

COMPACTION TEST
WASTE + 26% CEMENT

Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
55.0	61.2
57.5	63.0
58.0	64.9
60.3	64.6
64.0	64.4

COMPACTION TEST
WASTE + 28% CEMENT

Moisture content (%)	Dry density (lb/cu.ft.)
52.5	64.4
55.2	65.2
58.4	66.4
60.2	66.3
64.4	66.2



รูปที่ ค.1 ลักษณะการ failure ของผงโลหะผสมซีเมนต์ เมื่อทำการทดสอบเพื่อหาค่า UCS

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย ณัฐสม สงวนวงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2502 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2525 เริ่มทำงานในตำแหน่งวิศวกรโครงสร้าง ที่บริษัทอิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเมนต์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด เมื่อปี พ.ศ. 2525 เข้าศึกษาต่อที่บัณฑิตวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2531 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม