

**กรมทางหลวง**  
**สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง**  
**วิธีการทดลองหาขนาดวัสดุดิน โดยใช้ Hydrometer**  
**(เทียบเท่า AASHTO T 88)**

\* \* \* \* \*

## 1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ใช้หาขนาดและปริมาณของดินที่เล็กกว่า 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 กระบอกลูกแก้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร (2 1/2 นิ้ว) สูงประมาณ 460 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.1.6 ถังน้ำสำหรับแช่กระบอกลูกแก้วที่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอ

2.1.7 ตะแกรง เบอร์ 10, 40, 100 และ 200 (2.0, 0.425, 0.150, 0.075 มิลลิเมตรตามลำดับ)

2.1.8 ถ้วยแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร

2.1.9 นาฬิกาจับเวลา

2.1.10 เครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler)

2.1.11 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส

### 2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 น้ำกลั่น

2.2.2 สารละลาย เตรียมโดยนำ Sodium Hexametaphosphate Buffered With Sodium Carbonate ( $\text{Na PO}_3$ )<sub>6</sub> 45.7 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

### 2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2-06 ก.

### 2.4 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างตากแห้ง (Air Dry) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาแบ่งโดยเครื่องแบ่งตัวอย่างขนาดเล็ก (Riffle Sampler) ประมาณ 50 กรัมสำหรับดิน หรือ ประมาณ 100 กรัมสำหรับดินปนทราย แล้วชั่งหามวลเป็น C ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยแก้ว แล้วเติมสารละลายซึ่งเตรียมจากข้อ 2.2.2 จำนวน 125 มิลลิลิตร ผสมลงไป แช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง จึงใช้เครื่องกวนมากรวนของผสมนานประมาณ 1 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัวจากกัน

### 2.5 การทดลอง

2.5.1 ให้หาค่า Hygroscopic Moisture โดยนำดินตากแห้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาประมาณ 15 กรัม แล้วชั่งได้มวลเป็น a นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5^{\circ}$  C จนกระทั่งมวลคงที่ ให้มวลของดินแห้งเป็น b

#### 2.5.2 การทดลอง Hydrometer

นำตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 2.4 ใส่ลงในกระบอกแก้ว เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร แช่กระบอกแก้วในถังน้ำจนของผสมในกระบอกแก้วมีอุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของน้ำในถัง นำกระบอกแก้วออกมาเขย่าโดยเอาฝ่ามือปิดปากกระบอกแก้ว พลิกกลับไปกลับมา 1 นาที แล้วนำกระบอกแก้วแช่ในถังน้ำอีกครั้งหนึ่ง เอา Hydrometer จุ่มลงไป ในกระบอกแก้ว ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุนหรือส่ายไปมา อ่านค่า Hydrometer ที่เวลา 1/4, 1/2, 1, 2, 5, 30, 60, 250 และ 1,440 นาที นับตั้งแต่วางกระบอกแก้วลงในถังน้ำตามลำดับ สำหรับช่วง 2 นาทีแรกให้อ่านค่าติดต่อกันโดยไม่ต้องเอา Hydrometer ออกจากกระบอกแก้ว ส่วนการอ่านค่าอื่นๆ ให้เอา Hydrometer ออกทุกครั้ง หลังจากอ่านค่าเสร็จแล้วต้องอ่านอุณหภูมิของน้ำขณะทดลองทันทีทุกครั้ง แล้วทำความสะอาดและเก็บ Hydrometer โดยวิธีหมุนล้างน้ำในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง ซึ่งบรรจุน้ำกลั่นในถังน้ำเดียวกัน

#### 2.5.3 การทดลองหาขนาดของดินชนิดเม็ดละเอียด

เมื่ออ่านค่า Hydrometer ครั้งสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว นำของผสมในกระบอกแก้วไปล้างในตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) วัสดุที่ค้างตะแกรงนำไปอบให้แห้ง แล้วนำไปหาขนาดตามวิธีทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” ด้วยตะแกรงเบอร์ 40 , 100 และ 200 (0.425, 0.150 และ 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

### 3. การคำนวณ

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

$$M_s = \frac{b \times c}{a} \dots\dots\dots (1)$$

- เมื่อ
- a = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ใช้หา Hygroscopic Moisture
  - b = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างอบแห้ง (Oven Dry) ที่ใช้หา Hygroscopic Moisture
  - c = มวลเป็นกรัมของตัวอย่างตากแห้งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.4
  - $M_s$  = มวลของตัวอย่างอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

3.2 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของขนาดดิน จากสูตร

$$P = \frac{G}{(G-G_1)} \times \frac{V}{M_s} (R-G_1)100 \dots\dots\dots (2)$$

- เมื่อ
- P = เปอร์เซนต์ของขนาดดินที่เทียบกับดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)
  - V = ปริมาตรของของผสม 1,000 มิลลิลิตร
  - R = X+F
  - เมื่อ X = ค่าที่อ่านได้จริงบน Hydrometer
  - F = Composite Correction Factor (ดูตารางที่ 2)
  - G = ค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) ที่ใช้ในการทดลอง (ทำได้จากการทดลองที่ ทล.-ท. 101/2515)
  - $G_1$  = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิขณะทดลอง (ดูตารางที่ 4)

3.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40, 100 และ 200 (0.425, 0.150 และ 0.075 มิลลิเมตร) โดยเอามวลของดินบนแต่ละตะแกรงหารด้วยมวลของดินแห้งทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง Hydrometer คูณด้วย 100 แล้วนำไปหาเปอร์เซ็นต์ส่วนละเอียดได้ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516

3.4 ในการต่อ Curve ของการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ชนิดเม็ดละเอียดและ Hydrometer เนื่องจากนำเอาวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร) มาใช้ในการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดและ Hydrometer ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากข้อ 3.2 และ 3.3 ต้อง คูณด้วย

$$P = \frac{P' \left[ \frac{100 - \text{เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างตะแกรงเบอร์ 10}}{100} \right]}{100}$$

$$P = P' \times \text{อัตราส่วนของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)}$$

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

เมื่อ  $P$  = เปอร์เซ็นต์ของขนาดดิน

$d$  = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร)

$M$  = มวลของดินอบแห้งทั้งหมดทุกขนาดตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียดที่สุด

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

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

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

หรือ  $P = A(R - G_1)$

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

### 3.5 คำนวณหาขนาดของเม็ดดิน

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

เมื่อ  $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน (มิลลิเมตร)

$L$  = ระยะเป็นเซนติเมตรวัดจากผิวบนสุดของของผสมมายังระดับซึ่งหาค่าความหนาแน่นเมื่อเวลา  $T$  นาที (ดูตารางที่ 1)

$T$  = ช่วงเวลาเป็นนาที นับตั้งแต่เริ่มปล่อยของผสมตกตะกอนจนถึงขณะที่อ่าน Hydrometer

$$K = \sqrt{\frac{30 n}{(G-G_1) 980}}$$

เมื่อ  $n$  = สัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำกลั่น เป็นค่าคงที่ (ดูตารางที่ 3)

## 4. การรายงาน

ให้รายงานตามแบบฟอร์มในข้อ 2.3

## 5. ข้อควรระวัง

5.1 ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer ต้องมีความละเอียดถึง 0.0005

5.2 การอ่านค่า Hydrometer ต้องอ่านที่ปลายบนสุดของ Meniscus รอบๆ แกน

5.3 การจุ่ม Hydrometer ลงในของผสมต้องทำอย่างระมัดระวัง โดยพยายามให้ค่าที่จะอ่านจาก Hydrometer อยู่ที่ระดับผิวบนสุดของของผสม ระวังอย่าให้ Hydrometer หมุน หรือส่ายไปมา

5.4 การเอา Hydrometer ออกจากของผสมหลังจากอ่านค่าเสร็จแล้ว ต้องพยายามให้มี  
กระทบกระเทือนน้อยที่สุด

5.5 ในระหว่างการทดลองต้องไม่ให้ของผสมในกระบอกแก้วได้รับความสั่นสะเทือน

## 6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specifications for Highway Materials and Method of Sampling a Testing, Part II , AASHTO Designation : T 88

6.2 The American Society of Testing Materials. ASTM Standards, ASTM Designation : D 422

\* \* \* \* \*

ตารางที่ 1 <b>Effective Depth (L)</b> <b>Of Hydrometer 151 H</b>			
Reading (R)	L	Reading (R)	L
1.000	16.3	1.019	11.3
1.001	16.0	1.020	11.0
1.002	15.8	1.021	10.7
1.003	15.5	1.022	10.5
1.004	15.2	1.023	10.2
1.005	15.0	1.024	10.0
1.006	14.7	1.025	9.7
1.007	14.4	1.026	9.4
1.008	14.2	1.027	9.2
1.009	13.9	1.028	8.9
1.010	13.7	1.029	8.6
1.011	13.4	1.030	8.4
1.012	13.1	1.031	8.1
1.013	12.9	1.032	7.8
1.014	12.6	1.033	7.6
1.015	12.3	1.034	7.3
1.016	12.1	1.035	7.0
1.017	11.8	1.036	6.8
1.018	11.5	1.037	6.5

ตารางที่ 2 Composite Correction Factor (F)	
°C	F
25	+0.003 04
26	+0.002 80
27	+0.002 55
28	+0.002 32
29	+0.002 07
30	+0.001 84
31	+0.001 58
32	+0.001 34
33	+0.001 10
34	+0.000 85
35	+0.000 61



ตารางที่ 3 Constant K (Interpolate for Exact Value)							
Temp. (°C)	Specific Gravity of Soil						
	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	3.10
25	0.01349	0.01300	0.01267	0.01232	0.01201	0.01178	0.01160
26	0.01334	0.01291	0.01253	0.01218	0.01188	0.01164	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	0.011222	0.01183	0.01147	0.0114	0.01086	0.01059	0.01039

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

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง

HYDROMETER ANALYSIS

Source สู่สิงโกลก-พรมแดน Tested by ยาว  
 Sample No.8 Soil fraction tested No.10  
 Date prepared 12 ต.ค. 16 date tested 13 ต.ค. 16 & 14 ต.ค. 16 gm.  
 Can No. 43 \* air-dry moisture sample 27.49 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 a = Air-dry moisture sample 16.40 gm.  
 Can No. 43 \* oven-dry moisture sample 26.81 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 b = Over-dry moisture sample 15.72 gm.  
 Can No. 43 Oven - dry moisture sample 63.11 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 c = Air-dry hydrometer sample 52.05 gm.  
 d = Percent by weight of fraction tested  
 in total sample (from washed sieve analysis) 100%  
 $M = \frac{100 \times (b) \times (c)}{(a) \times (d)} = \frac{100 \times 15.72 \times 52.02}{16.40 \times 100} = 49.86$   
 G = Specific gravity of soil fraction tested 2.71  
 Stir for 60 seconds, 5-10 minutes before agitate  
 Agitate for 60 second : begin 9.10 : end 9.11  
 Hydrometer data (Jar No.) 1

T (Min)	Hydrometer Reading					P (%) A(R - G <sub>1</sub> )
	Time	Temp	Actual	F(over)	R	
1/4	9.11	30	1.0290	-0.00184	1.03084	80.01
1/2	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	1.02784	82.12
5	9.16	30	1.0203	-0.00184	1.02214	70.36
15	9.16	30	1.0173	-0.00184	1.01914	60.03
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	17.21	30	1.0092	-0.00184	1.01104	35.09
1440	9.11	30	1.0070	-0.00184	1.00884	28.09

$$A = \frac{100000 G}{W(G - G_1)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times (2.71 - 0.9957)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times 1.7143} = 3570.52$$

T (Min)	L (over)	L/T	$\sqrt{L/T}$	K (over)	D (mm) K $\sqrt{L/T}$
1/4	9.2	36.8	6.066	0.01196	0.0725
1/2	9.4	18.8	4.366	0.01196	0.0519
1	10.0	10.0	3.162	0.01196	0.0378
2	10.5	2.25	2.291	0.01196	0.0274
3	11.5	2.0	1.517	0.01196	0.0181
15	12.3	0.82	8.806	0.01196	0.0108
30	12.9	0.43	0.656	0.01196	0.0078
60	13.4	0.233	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

Remark : Use Constant Temp. Water Bath at 30 C

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง

HYDROMETER ANALYSIS

Source สู่สิงโกลก-พรมแดน Tested by ยาว  
 Sample No.8 Soil fraction tested No.10  
 Date prepared 12 ต.ค. 16 date tested 13 ต.ค. 16 & 14 ต.ค. 16 gm.  
 Can No. 43 \* air-dry moisture sample 27.49 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 a = Air-dry moisture sample 16.40 gm.  
 Can No. 43 \* oven-dry moisture sample 26.81 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 b = Over-dry moisture sample 15.72 gm.  
 Can No. 43 Oven - dry moisture sample 63.11 gm.  
 Can No. 43 11.09 gm.  
 c = Air-dry hydrometer sample 52.05 gm.  
 d = Percent by weight of fraction tested  
 in total sample (from washed sieve analysis) 100%  
 $M = \frac{100 \times (b) \times (c)}{(a) \times (d)} = \frac{100 \times 15.72 \times 52.02}{16.40 \times 100} = 49.86$   
 G = Specific gravity of soil fraction tested 2.71  
 Stir for 60 seconds, 5-10 minutes before agitate  
 Agitate for 60 second : begin 9.10 : end 9.11  
 Hydrometer data (Jar No.) 1

T (Min)	Hydrometer Reading				P (%) A(R - G <sub>1</sub> )	
	Time	Temp	Actual	F(over)		R
1/4	9.11	30	1.0290	-0.00184	1.03084	80.01
1/2	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	1.02784	82.12
5	9.16	30	1.0203	-0.00184	1.02214	70.36
15	9.16	30	1.0173	-0.00184	1.01914	60.03
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	17.21	30	1.0092	-0.00184	1.01104	35.09
1440	9.11	30	1.0070	-0.00184	1.00884	28.09

$$A = \frac{100000 G}{W(G - G_1)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times (2.71 - 0.9957)} = \frac{100,000 \times 2.71}{49.86 \times 1.7143} = 3570.52$$

T (Min)	L (over)	L/T	$\sqrt{L/T}$	K (over)	D (mm) K $\sqrt{L/T}$
1/4	9.2	36.8	6.066	0.01196	0.0725
1/2	9.4	18.8	4.366	0.01196	0.0519
1	10.0	10.0	3.162	0.01196	0.0378
2	10.5	2.25	2.291	0.01196	0.0274
3	11.5	2.0	1.517	0.01196	0.0181
15	12.3	0.82	8.806	0.01196	0.0108
30	12.9	0.43	0.656	0.01196	0.0078
60	13.4	0.233	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

Remark : Use Constant Temp. Water Bath at 30 C