

บทที่ 4

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) และช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids)

บทนำ

การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างในมวลรวม ค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเป็นค่าปริมาตรหรือค่าปริมาตรเป็นค่าน้ำหนัก เมื่อใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร และมีความสัมพันธ์ในการหาปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)

หน่วยน้ำหนักเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงว่าในหนึ่งหน่วยปริมาตรของมวลรวมจะมีน้ำหนักเท่าใด โดยหน่วยน้ำหนักแบ่งออกเป็น

1.1. หน่วยน้ำหนักสมบูรณ์ (Absolute Unit Weight) เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยไม่รวมช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids) สามารถหาได้โดยการคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{Absolute Unit Weight} = \text{Specific Gravity (SSD)} \times \text{Unit Weight ของน้ำ}$$

1.2. หน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids) สามารถหาได้จากการทดสอบตาม ASTM C 29 ทำโดยการใส่มวลรวมในถังเหล็กทรงกระบอก ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาตรถัง แล้วคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมกับปริมาตรของถัง

ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นเป็นค่าหน่วยน้ำหนักแบบ Bulk Unit Weight ทั้งนี้เพราะในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถทำให้มวลรวมอัดแน่นในเนื้อคอนกรีตจนไม่มีช่องว่างระหว่างมวลรวมได้ (Voids)

ตัวอย่างที่ 1 การใช้ค่าน้ำหนัก (Unit Weight) ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร

งานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตร 1 : 2 : 4 คือ

ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

= 1,235 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของหินขนาด (3/4" - # 4)

= 1,574 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของทราย

= 1,666 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ

ปูน 1 ถู 50 กก. มีปริมาตร = 50/1,235
= 0.04 ลบ.ม.

เพราะฉะนั้น ทราย 2 ส่วน = 2 x 0.04
= 0.08 ลบ.ม.

คิดเป็นน้ำหนักทราย = 0.08 x 1,666
= 133.3 กก.

หิน 4 ส่วน = 4 x 0.04
= 0.16 ลบ.ม.

คิดเป็นน้ำหนักหิน = 0.16 x 1,574
= 251.8 กก.

ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถู เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม.เท่ากับ 30 ลิตร (จากการทดลอง) ดังนั้นในการผสมคอนกรีตด้วยไม้เล็กเพื่อให้ได้ส่วนผสม 1 : 2 : 4 โดยปริมาตรจะต้องใช้

ปูน 1 ถู	50 กก.	หิน	251 กก.
ทราย	133 กก.	น้ำ	30 ลิตร

ค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการอัดแน่น (Compactability) ของมวลรวมที่ถูกอัดลงในถังและปริมาณความชื้น

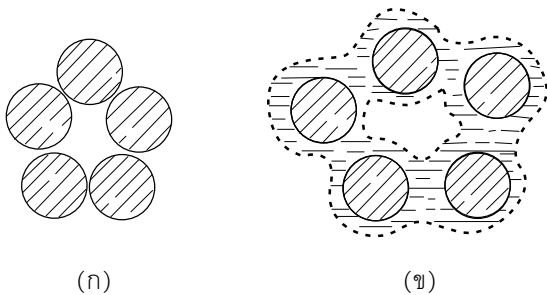
• **ความสามารถในการอัดแน่น** ดังกล่าวขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดคละของมวลรวม (Gradation)
2. รูปร่างของมวลรวม (Shape)

ทั้งนี้เพราะมวลรวมที่มีขนาดคละดี มวลรวมขนาดเล็กจะแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมขนาดใหญ่ ทำให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีขนาดเล็ก ส่วนรูปร่างของมวลรวมนั้นจะมีผลอย่างมากต่อความสามารถที่มวลรวมจะถูกอัดให้อยู่รวมกัน

• **ปริมาณความชื้น** เช่น ในกรณีทรายละเอียด

ที่มีความชื้นค่าหน่วยน้ำหนักอาจจะลดลงถึง 25% อันเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำที่ผิวของทรายจะผลักดันให้อนุภาคของทรายห่างออกจากกัน ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาตรทรายที่เท่ากัน น้ำหนักของทรายที่มีความชื้นจะน้อยกว่าน้ำหนักทรายปกติ ซึ่งจะมีผลให้การหาหน่วยน้ำหนักและการหาส่วนผสมคอนกรีตด้วยการตวงปริมาตรมีโอกาสผิดพลาด ดังนั้นการหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมควรทำในสภาพอบแห้ง (Oven-Dry)

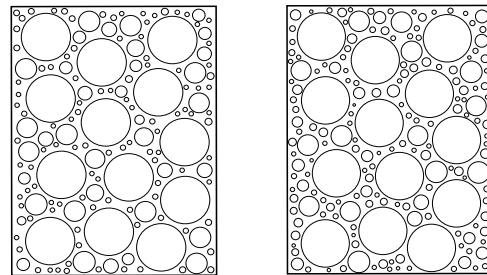


รูปที่ 1 ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นเมื่อทรายมีความชื้น

2. ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids)

เป็นค่าที่แสดงถึงว่ามีอากาศปนแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมเท่าใด โดยทั้งนี้ไม่รวมช่องว่างภายในของมวลรวม (pores in aggregate) และยังบอกถึงอัตราการอัดแน่นของวัสดุผสมว่าแน่นเพียงใด นั่นคือ มวลรวมชนิดเดียวกัน (มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากัน) ถ้ามวลรวมมีค่าหน่วยน้ำหนักมากกว่า แสดงว่ามวลรวมนั้นมีช่องว่างระหว่างมวลรวมที่น้อยกว่า และการลดช่องว่างระหว่าง

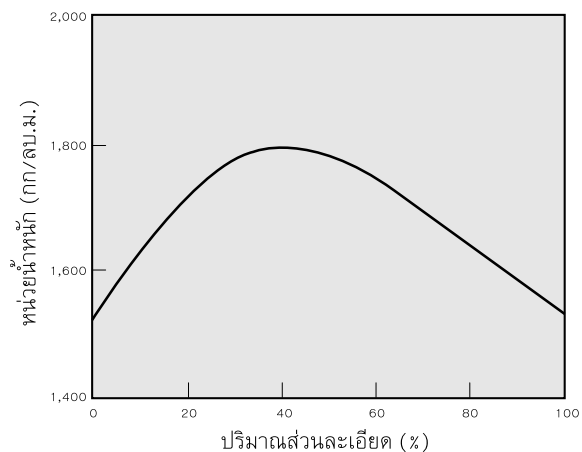
มวลรวมสามารถทำได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่มีขนาดคละไล่เรียงกัน ซึ่งจะทำให้ช่วยลดปริมาณซีเมนต์เพสต์



ขนาดคละขาดตอน ขนาดคละต่อเนื่อง

รูปที่ 2 การเรียงตัวของขนาดคละต่างๆ กัน

จากการทดลองผสมมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดด้วยอัตราส่วนต่างๆ และทำการหาหน่วยน้ำหนักพบว่า หน่วยน้ำหนักจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณส่วนละเอียด 34%–40% โดยน้ำหนัก ณ จุดดังกล่าวมวลรวมจะมีความแน่นสูงสุด (ช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยสุด) ดังนั้นเราจึงควรใช้สัดส่วนของส่วนละเอียดในช่วงดังกล่าว เพราะจะใช้ซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตด้วย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณส่วนละเอียด

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างระหว่างมวลรวม

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 29

Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.05 กก. ของน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ
2. เหล็กต้ำลักษณะเป็นท่อนเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8" (16 มม.) ยาว 24" (600 มม.)
3. ถังเหล็กทรงกระบอก มีขนาดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1
4. เหล็กปาด ช้อนตัก เทอร์โมมิเตอร์

ตารางที่ 1 ขนาดของถังเหล็กทรงกระบอก

ความจุ (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม.)	ความสูงภายใน (มม.)	ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (มม.)
3	155 (6")	160 (6.1")	12.5 (1/2")
10	205 (8")	308 (11.5")	25.0 (1")
15	255 (10")	295 (11.0")	40.0 (1 1/2")
30	355 (14")	305 (11.2")	100.0 (4")



รูปที่ 4 อุปกรณ์ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างในมวลรวม

การคำนวณปริมาตรถัง

1. ชั่งน้ำหนักถังเปล่า (ค่าตัวอย่าง T = 2.75 กก.)
2. เติมน้ำให้เต็มถึงจนล้น ไล่ฟองอากาศในน้ำให้หมด ชั่งน้ำหนักถังที่บรรจุน้ำเต็มถึง (ค่าตัวอย่าง น้ำหนักถัง + น้ำ = 5.4 กก.)
3. คำนวณหาน้ำหนักของน้ำที่บรรจุในถัง (ควรละเอียดถึง ± 0.05 กก.) ซึ่งน้ำหนักของน้ำในถังมีค่าเท่ากับน้ำหนักถังที่บรรจุน้ำเต็มหักออกด้วยน้ำหนักถังเปล่า (ค่าตัวอย่าง น้ำหนักน้ำ = $5.40 - 2.75 = 2.65$ กก.)
4. วัดอุณหภูมิของน้ำในถัง เพื่อหาหน่วยน้ำหนักของน้ำจากตารางที่ 2 ถ้าอุณหภูมิไม่ตรงตามข้อมูลที่แสดงในตารางให้เทียบตามสัดส่วนได้
5. สูตรการคำนวณหาปริมาตรของถัง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรถัง} &= \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในถัง}}{\text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}} \\ &= \frac{2.65}{998} = 2.65 \times 10^{-3} \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

(ค่าตัวอย่างหน่วยน้ำหนักของน้ำ = 998 กก./ลบ.ม)

ตารางที่ 2 หน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		ปอนด์/ลบ.ฟุต	กก./ลบ.เมตร
องศาฟาเรนไฮต์	องศาเซลเซียส		
60.0	15.6	62.366	999.01
65.0	18.3	62.336	998.54
70.0	21.1	62.301	997.97
(73.4)	(23.0)	(62.274)	(997.54)
75.0	23.9	62.261	997.32
80.0	26.7	62.216	996.59
85.0	29.4	62.166	995.83

วิธีทดสอบ

การหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมโดยการกระทุ้ง (Rodding Procedure) ใช้กับหินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1 1/2" มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างที่จะทดสอบมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักถึงเปลา แล้วบันทึกค่าน้ำหนักไว้

2. ใส่ตัวอย่างทดสอบลงในถังประมาณ 1/3 ของความจุ เกลี่ยให้ได้ระดับแล้วต๋ำด้วยเหล็กต๋ำ 25 ครั้ง โดยต๋ำให้ทั่วทั้งผิวหน้า เติมตัวอย่างทดสอบวัดให้ได้ปริมาณ 1/3 ของความจุ เกลี่ยให้ได้ระดับแล้วต๋ำด้วยเหล็กต๋ำ 25 ครั้ง โดยต๋ำให้ทั่วทั้งผิวหน้า เติมตัวอย่างทดสอบวัดให้ได้ปริมาณ 2/3 ของความจุถึง ต๋ำอีก 25 ครั้ง จากนั้นเติมตัวอย่างทดสอบให้เต็มจนล้นถึง ต๋ำอีก 25 ครั้ง ใช้เหล็กปาดให้เรียบเสมอขอบถึง

ข้อควรระวัง

ในการต๋ำชั้นแรกไม่ควรให้เหล็กต๋ำกระทบกันถึง สำหรับ การต๋ำชั้นที่สองและการต๋ำชั้นที่สามใช้แรงพอประมาณ โดยใช้เหล็กต๋ำให้ทะลุถึงชั้นถัดไปเท่านั้น



รูปที่ 5 การหาปริมาตรถึง



รูปที่ 6 การปาดผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบเสมอขอบถึง

3. ชั่งน้ำหนักถังพร้อมตัวอย่างทดสอบ (ค่าตัวอย่าง G = 7.20 กก.) ซึ่งควรชั่งได้ละเอียดถึง 0.1% หักน้ำหนักที่ชั่งได้ด้วยน้ำหนักถังเปล่า จะได้น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ

การคำนวณ

ค่าตัวอย่าง

น้ำหนักถัง T = 2.75 กก.

น้ำหนักตัวอย่าง+ถัง G = 7.20 กก.

น้ำหนักตัวอย่าง G-T = 7.20 - 2.75 = 4.45 กก.

ค่าปริมาตรถัง V = 2.65×10^{-3} ลบ.ม.

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของหิน A = 0.26 %

หน่วยน้ำหนักอัดแน่น (Oven-Dry)

$$M = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวม}}{\text{ปริมาตรถัง}} = \frac{G - T}{V} = \frac{7.20 - 2.75}{2.65 \times 10^{-3}} = 1,679.25 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

หน่วยน้ำหนักที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

$$M_{ssd} = \frac{M (1 + A)}{100} = \frac{1,679.25 (1 + 0.26)}{100} = 1,683.62 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

เปอร์เซ็นต์ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม

$$\% \text{ Voids} = \frac{(S \times W) - M}{S \times W} \times 100 = \frac{(2.76 \times 998) - 1,679.25}{2.76 \times 998} \times 100 = 39.04 \%$$

S = ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม

(ค่าตัวอย่างจากการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ = 2.76)

W = ความหนาแน่นของน้ำ

(ค่าตัวอย่าง = 988 กก./ลบ.ม.)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการหาค่าหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม

	No. 1	No. 2
Weight of Measuring Cylinder, T (kg)	2.75	2.75
Weight of Cylinder and Water (kg)	5.40	5.40
Weight of Water (kg)	2.65	2.65
Volume of Measuring Cylinder, V (m ³)	2.65×10^{-3}	2.65×10^{-3}
Weight of Cylinder + Sample, G (kg)	7.20	7.15
Weight of Sample Alone (kg)	4.45	4.40
Unit Weight of Sample, M (kg/m ³)	1,679.25	1,660.38
Unit Weight of Sample at SSD, M _{ssd} (kg/m ³)	1,683.62	1,664.70
Bulk Specific Gravity (Oven-Dry)	2.76	2.76
Percentage of Voids (%)	39.04	39.72
Average Unit Weight of Sample (kg/m ³)	1,674.16	
Average Percentage of Voids (%)	39.38	