

บทที่ 3

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และความชื้นผิวของมวลรวม (Specific Gravity, Absorption and Surface Moisture of Aggregate)

บทนำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) การดูดซึมน้ำ (Absorption) และความชื้นผิว (Surface Moisture) ของมวลรวม ค่าความถ่วงจำเพาะมีประโยชน์ในการหาปริมาณส่วนผสมของหินทรายในคอนกรีต ส่วนค่าการดูดซึมน้ำและความชื้นผิวของมวลรวมใช้สำหรับปรับแก้ปริมาณของหินทรายและน้ำเมื่อความชื้นของหินทรายเปลี่ยนแปลงไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

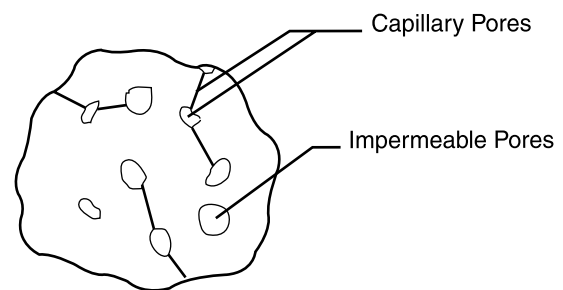
1. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน

ค่าความถ่วงจำเพาะของหินทรายขึ้นอยู่กับค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของมวลรวมและปริมาณช่องว่างของมวลรวม โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 2.4-3.0 ความถ่วงจำเพาะแบ่งออกเป็นหลายประเภท ดังนี้

1.1. ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ (Absolute Specific Gravity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งที่ชั่งในอากาศของมวลรวม เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวม ทั้งที่เป็นช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ (Capillary pores) และชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable pores) ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นในการหาค่าดังกล่าวจึงต้องทำการบดวัสดุให้ละเอียดก่อน เพื่อป้องกันการนำช่องว่างชนิดที่

น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable pores) มาคิด แต่การหาโดยวิธีดังกล่าว มีความละเอียดเกินไปในงานคอนกรีต ดังนั้นในงานคอนกรีตทั่วไปจะถือว่าช่องว่างในมวลรวมชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable pores) นั้นถือเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม โดยช่องว่างในมวลรวมที่จะกล่าวต่อไปสำหรับการทดสอบนี้ คือ ช่องว่างชนิดที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Capillary pores)



รูปที่ 1 ภาพตัดภายในมวลรวมแสดงช่องว่างชนิดน้ำซึมผ่านได้ และชนิดน้ำซึมผ่านไม่ได้

1.2. ความถ่วงจำเพาะแท้จริง (Apparent Specific Gravity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวมที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Capillary pores) ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง

น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวมที่ไม่รวมช่องว่างในมวลรวม

1.3. ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง (Bulk Specific Gravity–Oven Dry) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศ ที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวมโดยรวมส่วนที่เป็นเนื้อแข็งและช่องว่างในมวลรวมที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Capillary pores) ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง

น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวม + ช่องว่างในมวลรวม

1.4. ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk Specific Gravity–Saturated Surface Dry) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักที่ชั่งในอากาศของมวลรวม กับน้ำหนักของน้ำภายในช่องว่างที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Capillary pores) เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากันณอุณหภูมิเดียวกัน โดยสรุปมีค่าเท่ากับ

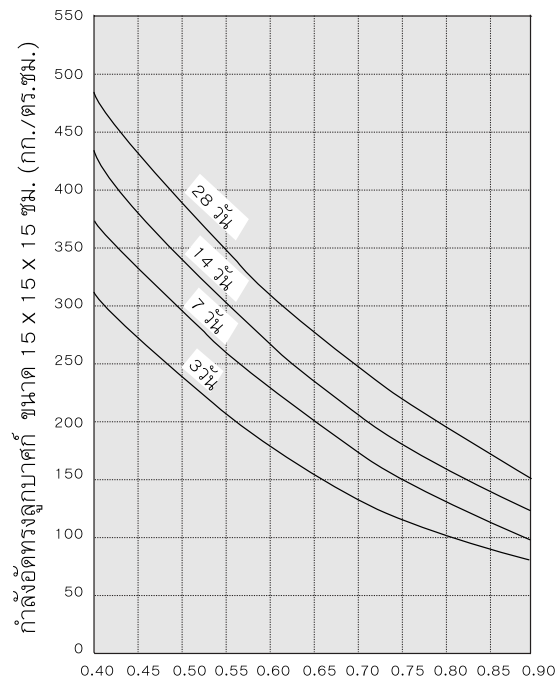
น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง + น้ำหนักน้ำในช่องว่าง

น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวม + ช่องว่างในมวลรวม

การคำนวณค่าต่างๆ ในงานคอนกรีตโดยปกตินั้นถือว่ามวลรวมนั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) เนื่องจากน้ำที่ถูกกักอยู่ในช่องว่างในมวลรวมนั้นไม่ได้มีส่วนในการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เหมือนน้ำที่อยู่ผิว (Free Water) ดังนั้นจึงถือว่าน้ำดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม

ตัวอย่างที่ 1 การใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

- กำลังอัดทรงลูกบาศก์ที่ต้องการ 240 ksc.
- กำลังอัดทรงลูกบาศก์ที่ออกแบบ 240+60 = 300 ksc. (ส่วนเผื่อ 60 ksc.)
- ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม.
- ขนาดหิน 3/4" - #4
- ใช้น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการก่อตัว 300 cc./100 กก.ซีเมนต์
- โดยคุณสมบัติของมวลรวม คือ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ = 3.15
- ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.70
- ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย = 2.65



รูปที่ 2 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

จากรูปที่ 2 กำลังอัด 300 ksc. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) = 0.61

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

| ค่ายุบตัว (ซม.) | ปริมาณน้ำต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. คอนกรีตเมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ | |
|-----------------|--|--------------------------|
| | หินย่อยขนาด 1" - #4 | หินย่อยขนาด 3/4" - #4 |
| 7.5 ± 2.5 | 165 | 175 |
| 10.0 ± 2.5 | 175 | 185 |
| 12.5 ± 2.5 | 180 | 190 |

ตารางที่ 2 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดต่างกันเมื่อใช้น้ำยา

| ขนาดหิน | ปริมาณปูนซีเมนต์+ปริมาณทราย |
|-----------|------------------------------|
| 1" - #4 | 38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร |
| 3/4" - #4 | 40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร |

จากตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. เพื่อให้ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม.
 เมื่อใช้หิน 3/4" - #4 = 175 ลิตร
 ปริมาตรซีเมนต์ที่ต้องใช้ = 175/0.61 = 287 กก.

จากตารางที่ 2 เมื่อใช้หินขนาด 3/4" - #4
 ปริมาตรซีเมนต์ + ปริมาตรทราย = 400 ลิตร
 ปริมาตรทราย = 400 - 91 = 309 ลิตร

ปริมาตรหิน = 1,000 - ปริมาตรซีเมนต์ - ปริมาตรน้ำ - ปริมาตรทราย
 = 1,000 - 91 - 175 - 309 (1 ลบ.ม.คอนกรีตมีปริมาตร 1,000 ลิตร)
 = 425 ลิตร

สรุป ใน 1 ลบ.ม.คอนกรีตประกอบด้วย

| | | | | | | | |
|---------|---------------|---|---------|------|---|-------|-----|
| ซีเมนต์ | 91 x 3.15 | = | 286.6 | กก. | ~ | 290 | กก. |
| ทราย | 309 x 2.65 | = | 818.8 | กก. | ~ | 820 | กก. |
| หิน | 425 x 2.70 | = | 1,147.5 | กก. | ~ | 1,150 | กก. |
| น้ำ | | = | 175.0 | ลิตร | ~ | 170 | กก. |
| น้ำยา | 300/100 x 290 | = | 870.0 | CC. | | | |

หมายเหตุ

| | | | |
|---------------------|----------------|----|------|
| ซีเมนต์ หิน และทราย | ซั่งละเอียดถึง | 5 | กก. |
| น้ำยาผสมคอนกรีต | ซั่งละเอียดถึง | 50 | CC. |
| น้ำ | ซั่งละเอียดถึง | 5 | ลิตร |

2. ค่าความชื้นทั้งหมด (Moisture)

คือปริมาณน้ำทั้งหมดในมวลรวมทั้งที่อยู่ในช่องว่าง (Capillary pores) และน้ำที่ผิวของมวลรวม (Free Water) โดยคำนวณจากผลรวมระหว่างค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม (Absorption) และค่าความชื้นที่ผิวของมวลรวม (Surface Moisture) โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำทั้งหมดต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง (Oven-Dry)

สภาพความชื้นแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ

2.1. สภาพอบแห้ง (Oven-Dry) คือสภาพที่ความชื้นในมวลรวมทั้งหมด ถูกขับออกด้วยความร้อนจากเตาอบจนมวลรวมมีน้ำหนักคงที่

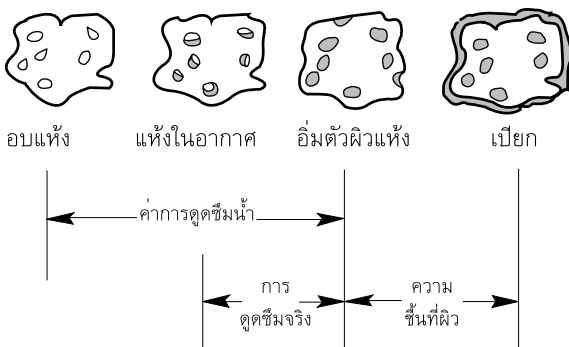
2.2. สภาพแห้งในอากาศ (Air-Dry, AD) คือสภาพที่มวลรวมผิวแห้งแต่น้ำในช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores) บางส่วน

2.3. สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry, SSD) คือ สภาพที่มวลรวมผิวแห้งแต่น้ำเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores)

2.4. สภาพเปียก (Wet, W) คือ สภาพที่มวลรวมผิวเปียกและมีน้ำเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores)

3. ค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption)

คือ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมน้ำเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores) ของมวลรวม แต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ผิวนอกของมวลรวม (Free Water) แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในช่องว่างต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง



รูปที่ 3 สภาพความชื้นของมวลรวม

สภาพของหินย่อยและทรายแม่น้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ หินปูนมีค่าการดูดซึมน้ำ 0.5% มีสภาพแห้งในอากาศ คือ มีน้ำบางส่วนในช่องว่าง (Capillary pores) ทรายมีค่าการดูดซึมน้ำ 0.7% มีสภาพเปียก และมีความชื้นอยู่ระหว่าง 2-8%

4. ค่าความชื้นที่ผิว (Surface Moisture)

หาได้จากค่าความชื้นทั้งหมด (Moisture) หักออกด้วยค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption) แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ผิวของมวลรวม (Free Water) ต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

การหาความชื้นที่ผิวหาได้ 3 วิธีคือ

4.1. วิธีหาความชื้นที่ผิวโดยตรง ทำโดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง แล้วผึ่งลมให้แห้งจนอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) จากนั้นนำมาทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักที่หายไปคือค่าความชื้นผิวของมวลรวม

4.2. วิธีหาความชื้นที่ผิวโดยวิธีอบแห้ง ทำโดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง แล้วอบจนมวลรวมอยู่ในสภาพอบแห้ง (Oven-Dry) จากนั้นนำออกมาทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักที่หายไปเป็นค่าความชื้นทั้งหมด การหาความชื้นที่ผิวทำได้โดยนำค่าความชื้นทั้งหมดหักออกด้วยค่าการดูดซึมน้ำ วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่ดูแล้วรู้สึกว่ามีค่าความชื้นที่ผิวและต้องทราบค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวม

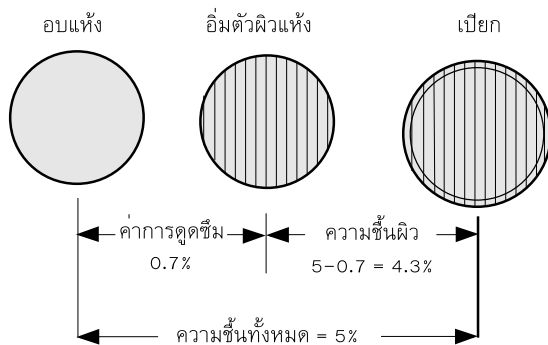
4.3. วิธีหาความชื้นที่ผิวโดยการชั่งในอากาศและการชั่งในน้ำ วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก สามารถทำได้ทั้งในห้องทดสอบและในสนาม โดยที่ไม่ต้องมีตู้อบ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องรู้ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมที่อิ่มตัวผิวแห้งเสียก่อน โดยรายละเอียดของวิธีการหาความชื้นผิววิธีนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อการทดสอบต่อไป

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้สมมุติฐานที่ว่า มวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับสภาพจริงของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจากการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพจริงของวัตถุดิบ ทั้งนี้ถ้าไม่ทำการปรับปริมาณน้ำจะส่งผล

ต่อความสามารถเทได้ (Workability) และกำลังของคอนกรีต (Compressive Strength) โดยที่ถ้ามวลรวมนั้นมีค่าความชื้นทั้งหมดเกินค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อนำมาผสมคอนกรีตก็จะเป็นการเพิ่มน้ำให้ส่วนผสม ทำให้ส่วนผสมเหลวไป หรือถ้ามวลรวมนั้นมีความชื้นทั้งหมดน้อยกว่าค่าการดูดซึมน้ำ มวลรวมจะดูดน้ำเข้าไปในขณะผสมทำให้ส่วนผสมแห้งไป

ตัวอย่างที่ 2 การใช้ค่าความชื้นทั้งหมด ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความชื้นผิว ในการปรับส่วนผสมจากการออกแบบกำหนดให้ค่าน้ำหนักมวลรวมก่อนการปรับส่วนผสม ตามตัวอย่างที่ 1

ทราย ที่ใช้ผลิตจริงมีค่าความชื้นทั้งหมด 5% ค่าการดูดซึมน้ำ 0.7%
หิน ที่ใช้ผลิตจริงอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งมีค่าความชื้นทั้งหมด 0.5% ค่าการดูดซึมน้ำ 0.5%



นั่นคือ น้ำหนักทราย 100 กก. จะมีน้ำมากไป 4.3 กก.
ดังนั้น น้ำหนักทราย 820 กก. จะมีน้ำมากไป

$$\frac{4.3 \times 820}{100} = 35.26 \text{ กก.}$$

เพราะฉะนั้นจะต้องชั่งทรายเพิ่ม $820 + 35.26 = 855$ กก.

หมายเหตุ ปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้นอีก 35.26 กก. นั้นก็ยังอยู่ในสภาพที่มีความชื้นเกินอยู่แต่ถือว่าค่าดังกล่าวมีค่าไม่มากจึงไม่นำมาคำนวณ

เนื่องจากหินอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งตามที่ออกแบบอยู่แล้ว จึงไม่ต้องปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น เพราะฉะนั้นจะต้องลดน้ำส่วนเกินออกไปโดยเหลือน้ำในส่วนผสม $175 - 35.26 = 139.7$ ลิตร
ดังนั้นอัตราส่วนผสมใหม่หลังจากการปรับความชื้นคือ

ซีเมนต์ 290 กก. หิน 1,150 กก.

น้ำ 140 กก. ทราย 855 กก.

น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการก่อตัว (Type D)

870 cc.

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

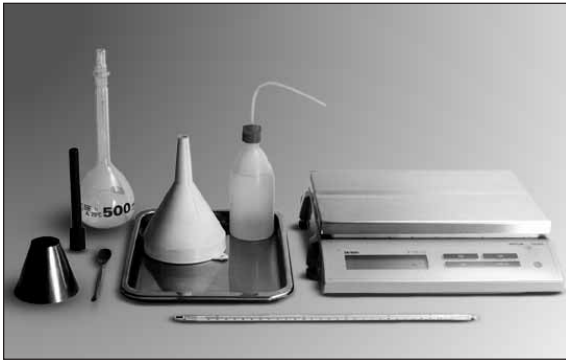
มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 128

Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทรายที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัมหรือ 0.1% ของน้ำหนักทรายที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์
2. ขวดทดลองรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ขนาดความจุ 500 ลบ.ซม. มีความแม่นยำในการวัดผิดพลาดไม่เกิน 0.1 ลบ.ซม.
3. กรวยตัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบน 40 ± 3 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ฐาน 90 ± 3 มม. สูง 75 ± 3 มม. และความหนาอย่างน้อย 0.8 มม.
4. เหล็กกระทันท์ (Tamper) ที่มีขนาดน้ำหนัก 340 ± 15 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ± 3 มม.
5. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ถาดสแตนเลส



รูปที่ 4 อุปกรณ์หาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

การเตรียมตัวอย่าง

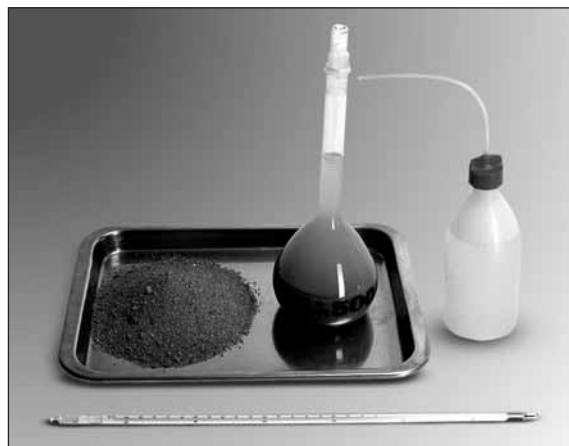
1. ใช้ทรายตัวอย่างประมาณ 1,000 กรัม อบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ และปล่อยให้อุณหภูมิของตัวอย่างเย็นลง
2. นำทรายไปแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วค่อยๆรินน้ำออกจากภาชนะบรรจุตัวอย่าง โดยระวังไม่ให้ส่วนละเอียดไหลออกไปกับน้ำ
3. นำทรายมาผึ่งให้ความร้อนและคลุกเคล้าทรายโดยสม่ำเสมอ จนกระทั่งใกล้ถึงจุดอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ซึ่งทดสอบสภาพจุดอิ่มตัวผิวแห้งได้ โดยวางกรวยด้านเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใหญ่บนพื้นที่ผิวเรียบและไม่ดูดซับน้ำ ใส่ทรายที่เตรียมไว้ในกรวยให้ล้น ใช้มือที่จับยอดกรวยป้องทรายไว้ไม่ให้หล่นออกนอกยอดกรวย ปล่อยให้เหล็กต๋าลงบนทรายที่ยอดกรวย 25 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เหล็กต๋าลงจากระดับผิวทรายครั้งล่าสุด 5 มม. และปล่อยให้เหล็กต๋าลงตกอย่างอิสระตามแรงดึงดูดของโลก จากนั้นปาดให้พอดีระดับปากกรวย นำทรายที่หล่นรอบฐานกรวยออกให้หมด ยกกรวยขึ้นตรงๆ ถ้าทรายยังเปียกอยู่ทรายจะยังคงเป็นรูปกรวยไม่เกิดการละลาย เมื่อใดที่ทรายเริ่มเกิดการพังทลายลงแสดงว่าทรายนั้นเข้าสู่สภาพอิ่มตัวผิวแห้งแล้ว



รูปที่ 5 ทรายที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งและสภาพเปียก

วิธีทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักทรายตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งประมาณ 500 ± 10 กรัม บันทึกค่าน้ำหนักทราย S
2. เททรายลงในขวดทดลองรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่ภาชนะลงไปให้หมดจากนั้นเติมน้ำเพิ่มถึงระดับประมาณ 90% ของปริมาตรขวดทดลอง
3. ไล่ฟองอากาศภายในให้หมด โดยอาศัยการหมุนคว่ำและเขย่า
4. ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่คอขวดด้านในแล้วเติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกเป็นค่า C
5. เททรายออกจากขวดใส่ภาชนะนำเข้าตู้อบ อบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ $1\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ ชม.
6. นำทรายมาชั่งน้ำหนักจะได้ค่า A
7. เติมน้ำใส่ขวดเปล่าจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ ชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B



รูปที่ 6 การเติมน้ำในขวดทดลองจนถึงระดับที่กำหนด

การคำนวณ

- ค่าตัวอย่าง
- S = 500 กรัม
 - C = 960 กรัม
 - A = 490 กรัม
 - B = 657 กรัม

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Bulk Specific Gravity (สภาพแห้ง)} &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อทราย+Void ในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ}) + (\text{น้ำหนักทราย SSD}) - (\text{น้ำหนักขวด} + \text{ทราย} + \text{น้ำเต็มขวด})} \\
 &= \frac{A}{B+S-C} = \frac{490}{657+500-960} = 2.49
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Bulk Specific Gravity (อิ่มตัวผิวแห้ง)} &= \frac{\text{น้ำหนักทราย SSD}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อทราย+Void ในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทราย SSD}}{(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ}) + (\text{น้ำหนักทราย SSD}) - (\text{น้ำหนักขวด} + \text{ทราย} + \text{น้ำเต็มขวด})} \\
 &= \frac{S}{B+S-C} = \frac{500}{657+500-960} = 2.54
 \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักทราย SSD} = \text{น้ำหนักทรายแห้ง} + \text{น้ำหนักน้ำใน Void}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Apparent Specific Gravity} &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อทรายโดยไม่รวม Void ในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ}) + (\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}) - (\text{น้ำหนักขวด+น้ำ+ทรายเต็มขวด})} \\
 &= \frac{A}{B+A-C} = \frac{490}{657+490-960} = 2.62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ เปอร์เซ็นต์การดูดซึม (Absorption \%)} &= \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่อยู่ใน Void ของทราย}}{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทราย SSD}-\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{(S-A)}{A} \times 100 = \frac{500-490}{490} \times 100 = 2.04
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและค่าการดูดซึมน้ำ

| Determination | No. 1 | No. 2 |
|--|-------|-------|
| Weight of Glass Graduate, G (g) | 152.9 | 154.0 |
| Weight of Glass Graduate + Water, B (g) | 657.0 | 656.5 |
| Weight of Saturated Surface-Dry Sand, S (g) | 500.0 | 500.0 |
| Weight of Water + Sand + Glass Graduate, C (g) | 960.0 | 960.2 |
| Weight of Oven-Dry Sand, A (g) | 490.0 | 489.5 |
| Bulk Specific Gravity (Oven-Dry) | 2.49 | 2.49 |
| Bulk Specific Gravity (SSD) | 2.54 | 2.54 |
| Apparent Specific Gravity | 2.62 | 2.62 |
| Absorption (%) | 2.04 | 2.15 |
| Average Bulk Specific Gravity (Oven-Dry) | 2.49 | |
| Average Bulk Specific Gravity (SSD) | 2.55 | |
| Average Apparent Specific Gravity | 2.63 | |
| Average Absorption (%) | 2.10 | |

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 127

Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งหินที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัมหรือ 0.1% ของน้ำหนักหินที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์
2. ตะกร้าสำหรับชั่งหินในน้ำ
3. ถังใส่น้ำ
4. ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)
5. เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียดในการอ่าน 0.1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 อุปกรณ์หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและการดูดซึมน้ำ

การเตรียมตัวอย่าง

1. จัดหาตัวอย่างหินให้ได้ปริมาณตามต้องการตามข้อที่ 5
2. นำหินมาร่อนบนตะแกรงเบอร์ 4 ทั้งส่วนที่ผ่านตะแกรงไป
3. ล้างสิ่งสกปรกหรือสารอื่นๆ ที่เคลือบผิวให้สะอาด

4. อบมวลรวมให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ณ อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทั้งมวลรวมให้เย็นจนมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส
5. ชั่งน้ำหนักให้ได้ตามข้อกำหนดต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณหินที่น้อยสุดตามขนาดหิน

| ขนาดตัวอย่างใหญ่สุด มม. (นิ้ว) | น้ำหนักของตัวอย่าง อย่างน้อยที่ใช้ทดสอบ (กก.) |
|-----------------------------------|--|
| 12.5 (½) หรือเล็กกว่า | 2 |
| 19.0 (¾) | 3 |
| 25.0 (1) | 4 |
| 37.0 (1 ½) | 5 |

6. แช่ตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง

วิธีทดสอบ

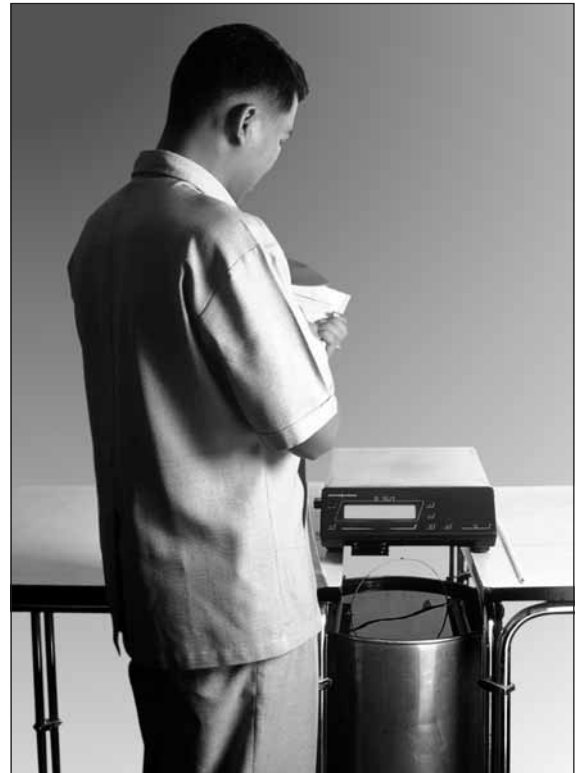
1. เทน้ำทิ้งผ่านตะแกรงเบอร์ 16 หรือเล็กกว่าและเช็ดน้ำที่เคลือบผิวตัวอย่างด้วยผ้าให้แห้งจนอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) นำมาชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B



รูปที่ 8 การเช็ดหินให้อยู่ในสภาพอิ่มตัว

2. ชั่งน้ำหนักตะกร้าในน้ำ และชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบรวมตะกร้าในน้ำ โดยรักษาให้หน้ามีอุณหภูมิ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองคือน้ำหนักตัวอย่างทดสอบสภาพอิ่มตัวชั่งในน้ำ C

3. อบหินจนน้ำหนักคงที่ ณ อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นลงมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำหินมาชั่งน้ำหนักแห้ง A



รูปที่ 9 การชั่งหินในน้ำ

การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าตัวอย่าง B} &= 336.7 \text{ กรัม} \\
 \text{C} &= (\text{น้ำหนักตะกร้าและหินที่ชั่งในน้ำ}) \\
 &\quad - (\text{น้ำหนักตะกร้าเปล่าชั่งในน้ำ}) \\
 &= 387.6 - 173.0 \text{ กรัม} \\
 &= 214.6 \text{ กรัม} \\
 \text{A} &= 335.8 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &1. \text{ Bulk Specific Gravity (สภาพแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับหิน + Void ในหิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{A}{B - C} = \frac{335.8}{336.7 - 214.6} = 2.75 \\
 &2. \text{ Bulk Specific Gravity (อิมตัวผิวแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับหิน + Void ในหิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{B}{B - C} = \frac{336.7}{336.7 - 214.6} = 2.76 \\
 &3. \text{ Apparent Specific Gravity} = \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อหินไม่รวม Void ในหิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{A}{A - C} = \frac{335.8}{335.8 - 214.6} = 2.77 \\
 &4. \text{ เปอร์เซ็นต์การดูดซึม (Absorption, %) = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่อยู่ใน Void ของหิน}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{(B - A) \times 100}{A} = \frac{336.7 - 335.8}{335.8} \times 100 = 0.27
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและค่าการดูดซึม

| Determination | No. 1 | No. 2 |
|---|-------|-------|
| Weight of SSD Sample, B (g) | 336.7 | 332.1 |
| Weight of Container (Basket) in Water (g) | 173.0 | 173.0 |
| Weight of Container + Sample in Water (g) | 387.6 | 384.7 |
| Weight of Sample in Water, C (g) | 214.6 | 211.7 |
| Weight of Oven-Dry Sample in Air, A (g) | 335.8 | 331.3 |
| Bulk Specific Gravity (Oven-Dry) | 2.75 | 2.75 |
| Bulk Specific Gravity (SSD) | 2.76 | 2.76 |
| Apparent Specific Gravity | 2.76 | 2.77 |
| Absorption (%) | 0.27 | 0.24 |
| Average Bulk Specific Gravity (Oven-Dry) | 2.75 | |
| Average Bulk Specific Gravity (SSD) | 2.76 | |
| Average Apparent Specific Gravity | 2.77 | |
| Average Absorption (%) | 0.26 | |

การทดสอบหาปริมาณความชื้นที่ผิว

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 70

Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม
2. ขวดทดลองที่มีปริมาตร 500 มก.

วิธีทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างปริมาณไม่น้อยกว่า 200 กรัม นำมาชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_1
2. เติมน้ำลงในขวดทดลองเปล่าให้ถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_2
3. เติมตัวอย่างลงในขวดทดลองเปล่าแล้วเติมน้ำจนท่วมตัวอย่างทำการเขย่าขวดทดลองเพื่อไล่ฟองอากาศ

4. เติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_3

5. ปริมาณน้ำซึ่งตัวอย่างแทนที่มีค่าเท่ากับ

$$W = W_1 + W_2 - W_3$$

น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับทรายที่มีความชื้น
 $= (\text{น้ำหนักทรายที่มีความชื้นที่ผิว}) + (\text{น้ำหนักน้ำ}) - \text{น้ำหนัก(น้ำ+ทราย)}$

ค่าตัวอย่าง

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 200.0 \text{ กรัม} \\
 W_2 &= 660.0 \text{ กรัม} \\
 W_3 &= 772.2 \text{ กรัม} \\
 W &= 200 + 660 - 772.2 \\
 &= 87.8 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

6. กำหนดหาความชื้นผิวโดยอ้างอิงจากสภาพ
อิมตัวผิวแห้ง (SSD)

$$P_s = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ผิว (Free Water)}}{\text{น้ำหนักทรายที่สภาพ SSD}} \times 100$$

$$= \frac{W - V_d}{W_1 - W} \times 100$$

$$= \frac{87.80 - 78.43}{200 - 87.80} \times 100 = 8.35 \%$$

โดย $V_d = \frac{W_1}{\text{SPGR}_{\text{SSD}}}$

$$= \frac{200}{2.55} = 78.43$$

(ค่าจากตารางที่ 3)

7. กำหนดหาค่าความชื้นที่ผิวโดยอ้างอิงจาก
สภาพอบแห้ง (Oven-Dry)

$$P_d = P_s \left(1 + \frac{P_a}{100} \right)$$

$$= 8.35 \left(1 + \frac{2.10}{100} \right) = 8.52 \%$$

$$P_s = \text{ค่าการดูดซึมของทราย}$$

$$= 2.10 \% \text{ (ค่าจากตารางที่ 3)}$$

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการหาค่าความชื้นที่ผิวของมวลรวมละเอียด

| Determination | No. 1 | No. 2 |
|---|-------|-------|
| Weight of Sample, W_1 (g) | 200.0 | 200.0 |
| Weight of Container + Water, W_2 (g) | 660.0 | 660.0 |
| Weight of Container, Water and Sample, W_3 (g) | 772.2 | 770.5 |
| Weight of Water Displaced by the Sample, W (g) | 87.8 | 89.5 |
| Percentage of Surface Moisture (SSD) | 8.35 | 10.02 |
| Percentage of Surface Moisture (Oven-Dry) | 8.52 | 10.23 |
| Average Percentage of Surface Moisture (SSD) | 9.19 | |
| Average Percentage of Surface Moisture (Oven-Dry) | 9.34 | |