

บทที่ 7

การทดสอบหาดัชนีความแบน (FLAKINESS) และดัชนีความยาวของหิน (ELONGATION)

บทนำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาดัชนีความแบน (Flakiness Index) และดัชนีความยาวของหิน (Elongation Index) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาลักษณะรูปร่างของหินดังกล่าวว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุผสมทำคอนกรีตหรือไม่ ทั้งนี้เพราะรูปร่างของหินมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตโดยตรง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบหรือมีรูปร่างแบนและยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเท่าได้ (Workability) เดียวกัน ซึ่งตามมาตรฐานอังกฤษ BS 812 Part 1 1975 ได้ให้คำนิยามของรูปร่างและลักษณะมวลรวมไว้ดังนี้

1.1. กลม (Rounded) ลักษณะผิวของมวลรวมเกลี้ยงไม่มีเหลี่ยมเนื่องจากการเสียดสีกันเอง เช่น กรวดทรายจากแม่น้ำ หรือชายทะเล มวลรวมที่มีลักษณะก้อนกลมจะช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยกว่า

1.2. บิดเบี้ยว (Irregular) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีมาบ้างและมีเหลี่ยมมน เช่น กรวดทรายที่ได้จากบ่อหินเหล็กไฟ ที่ได้จากพื้นดินหรือขุดขึ้นมา

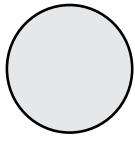
1.3. เหลี่ยม (Angular) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีเหลี่ยมเกิดจากด้านที่เรียบมาบรรจบกันและเห็นได้ชัด เช่น หินย่อยจากเครื่องโม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา

1.4. แบน (Flat or Flaky) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความหนาแน่นน้อยมากเมื่อเทียบกับความกว้างหรือความยาว ปกติจะเป็นเหลี่ยมด้วย เช่น หินที่มีลักษณะเป็นชั้น การพิจารณาว่ามวลรวมนั้นแบน (Flat or Flaky) ก็ต่อเมื่อมีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.6 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคในแต่ละขนาดตะแกรง

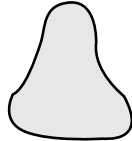
1.5. ยาวเรียว (Elongated) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความยาวมาก เมื่อเทียบกับความกว้างและความหนา การพิจารณาว่ามวลรวมนั้นยาวเรียว (Elongated) ก็ต่อเมื่อมีความยาวมากกว่า 1.8 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดตะแกรงมาตรฐานซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคในแต่ละขนาดตะแกรง

1.6. แบนและยาวเรียว (Flaky and Elongated) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความยาวมากกว่าความกว้างมาก และมีความกว้างมากกว่าความหนา

กลม (Rounded)



กลม
Spherical



บิตเบี้ยว
Irregular



บิตเบี้ยวมาก
Highly
Irregular

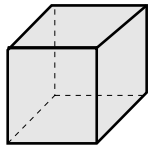


แบน
Flat

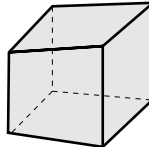


ยาวเรียว
Elongated
(Needle-Like)

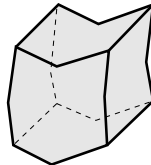
เป็นเหลี่ยมมุม (Angular)



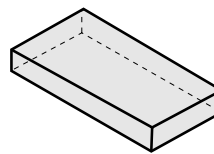
ลูกบาศก์
Cubical



บิตเบี้ยว
Irregular
(Chunky)



บิตเบี้ยวมาก
Highly
Irregular



แบน
Flat or
Flaky



ยาวเรียว
Elongated
(Prismatic)

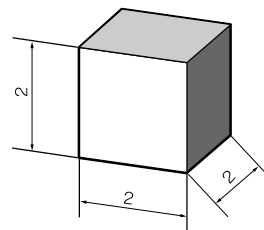
รูปที่ 1 การแบ่งประเภทของมวลรวมตามรูปร่างของอนุภาค

2. อิทธิพลของรูปร่างมวลรวมต่อคอนกรีต

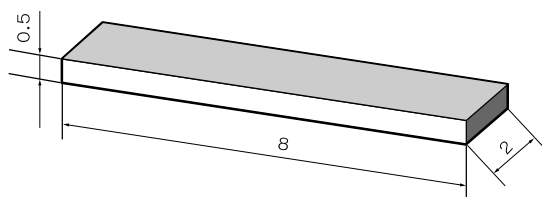
2.1. กำลังอัดและความสามารถเทได้ (Strength and Workability) รูปร่างของมวลรวม (Shape) มีความสำคัญต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และกำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยมวลรวมที่มีรูปร่างแบน (Flat or Flaky) หรือ ยาวเรียว (Elongated) จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมมากกว่ามวลรวมปกติ เมื่อนำหนักของมวลรวมเท่ากัน ตามที่แสดงในตัวอย่างที่ 1 ดังนั้นมวลรวมที่มีรูปร่างแบนหรือยาวเรียวจึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น เพื่อให้ได้ความสามารถเทได้ (Workability) เท่าๆ กัน หรือถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่าเดิม กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง เพราะต้องเพิ่มปริมาณน้ำหรือเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 1 สมมุติว่าหินมีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ ขนาด $2 \times 2 \times 2$ ซม. จะมีปริมาตร 8 ลบ.ซม. และมีพื้นที่ผิว $2 \times 2 \times 6 = 24$ ตร.ซม. แต่ถ้าหินนี้มีรูปร่าง

แบนยาว (Flaky and Elongated) ขนาด $0.5 \times 2 \times 8$ ซม. จะมีปริมาตร 8 ลบ.ซม. และมีพื้นที่ผิว $= 2 \times (0.5 \times 2) + 2 \times (0.5 \times 8) + 2 \times (2 \times 8) = 42$ ตร.ซม.

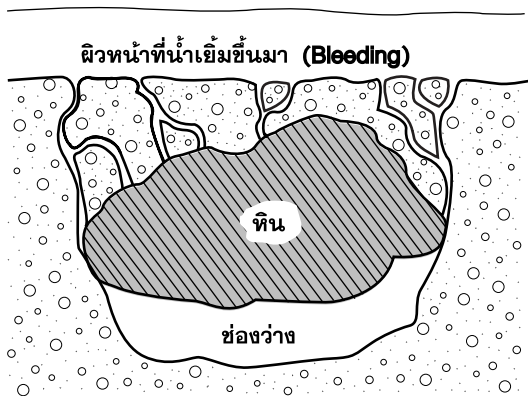


พื้นที่ผิว = 24 ตร.ซม.
ปริมาตร = 8 ลบ.ซม.



พื้นที่ผิว = 42 ตร.ซม.
ปริมาตร = 8 ลบ.ซม.

2.2. ความทนทาน (Durability) จากการที่มวลรวมมีรูปร่างแบนหรือยาวเรียว ถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่าเดิม นอกจากกำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง เพราะต้องเพิ่มปริมาณน้ำหรือเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แล้ว ยังมีผลให้ความทนทานของคอนกรีตลดลงอีกด้วย ทั้งนี้เพราะน้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หิน และบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่มุมหน้าคอนกรีตหรือที่เรียกว่าการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว แอ่งน้ำดังกล่าวจะเป็นช่องว่างที่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต (Inter Connection Void) ทำให้คอนกรีตมีความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำ (Permeability) เพิ่มขึ้นและความทนทาน (Durability) ลดลง



รูปที่ 2 ลักษณะแอ่งน้ำใต้มวลรวมที่เป็นสาเหตุให้ความทนทานของคอนกรีตลดลง

สำหรับงานคอนกรีตทั่วไปในประเทศไทยมวลรวมที่จะนำมาใช้ควรมีดัชนีความแบน (Flakiness Index) ไม่เกิน 40% และดัชนีความยาว (Elongation Index) ไม่เกิน 35% ส่วนคอนกรีตที่ใช้ในงานบ่มและคอนกรีตกำลังอัดสูง ควรมีค่าดังกล่าวไม่เกิน 25%

การทดสอบหาดัชนีความแบนของหิน

มาตรฐานที่ใช้

BS 812 : Section 105.1 : 1989

Flakiness Index of Coarse Aggregate

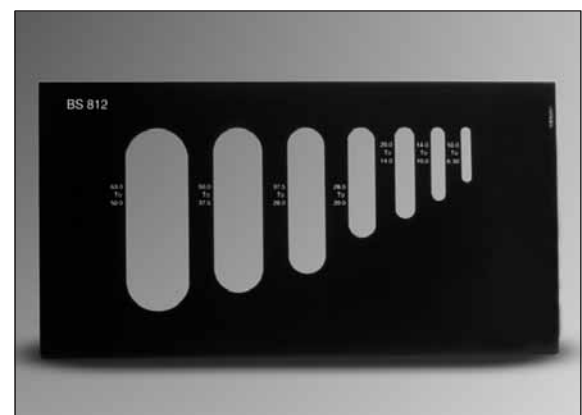
อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1% ของน้ำหนักมวลรวมที่ใช้ทดสอบ
2. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
3. เครื่องแยกขนาดคละที่มีขนาดและตะแกรงเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้ชุดของตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ

ตะแกรงชนิด Square Hole Perforated Plate 450 mm or 300 mm (มม.)	
	63.0
	50.0
	37.5
	28.0
	20.0
	14.0
	10.0
	6.3

4. เครื่องมือทดสอบความแบน (Metal Thickness Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องมือทดสอบความแบน (Metal Thickness Gauge)

วิธีทดสอบ

- นำมวลรวมมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 63.0 มม. 50.0 มม. 37.5 มม. 28.0 มม. 20.0 มม. 14.0 มม. 10.0 มม. และ 6.3 มม. จากนั้นแยกส่วนที่ค้างบนตะแกรงขนาด 63.0 มม. และส่วนที่ผ่านตะแกรง 6.3 มม. ออกไป
- ล้างหินให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- ชั่งน้ำหนักมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานแต่ละขนาดให้ได้ตามตารางที่ 2 แล้วบันทึกค่า
- คำนวณหาค่าน้ำหนักรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง 63.0 มม. และค้างตะแกรง 6.3 มม. บันทึกค่า M_1
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างของตัวอย่างแต่ละ

ขนาดเทียบกับน้ำหนักรวม

6. ตัดขนาดคละที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของน้ำหนักรวมทิ้งไป แล้วรวมน้ำหนักที่เหลือใหม่ บันทึกเป็นค่า M_2

7. วัดความแบนของตัวอย่างทดสอบแต่ละขนาดให้ตรงกับขนาดของ Metal Thickness Gauge ดังตารางที่ 2 โดยการใช้มือแยกมวลรวมที่ไม่สามารถผ่านช่องของ Metal Thickness Gauge ได้ออกแล้วชั่งน้ำหนักมวลรวมแต่ละขนาดที่ผ่าน Gauge ต่อจากนั้นคำนวณหาน้ำหนักรวม บันทึกเป็นค่า M_3

8. คำนวณหาค่าดัชนีความแบน

$$\text{Flakiness Index (FI)} = \frac{M_3}{M_2} \times 100$$

ตารางที่ 2 น้ำหนักตัวอย่างทดสอบตามขนาดตะแกรงและความกว้างของช่อง Metal Thickness Gauge

ตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาด		น้ำหนักตัวอย่างน้อยสุดของตะแกรงแต่ละขนาด (กก.)	ความกว้างช่องว่างของ Metal Thickness Gauge* (มม.)
ผ่านทั้งหมด (มม.)	ค้างทั้งหมด (มม.)		
63.0	50.0	50.0	33.9 ± 0.30
50.0	37.5	35.0	26.3 ± 0.30
37.5	28.0	15.0	19.7 ± 0.30
28.0	20.0	5.0	14.4 ± 0.15
20.0	14.0	2.0	10.2 ± 0.15
14.0	10.0	1.0	7.2 ± 0.10
10.0	6.3	0.5	4.9 ± 0.10

หมายเหตุ * ขนาดเท่ากับ 0.6 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดตะแกรงที่ผ่านและที่ค้าง

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

ขนาดตะแกรง (มม.)	น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทดสอบ	น้ำหนักที่ค้าง (กรัม)	น้ำหนักที่ผ่าน (กรัม)
28.00	-	-	-	-
20.00	330.3	12.37	213.3	117.0
14.00	1,205.5	45.14	884.4	321.1
10.00	816.0	30.55	615.5	200.5
6.30	318.9	11.94	242.7	76.2
น้ำหนักรวม	2,670.7	100.00	1,955.9	714.8

$$\begin{aligned}
 \text{Flakiness Index (FI)} &= \frac{M_3}{M_2} \times 100 \\
 &= \frac{714.8}{2,670.7} \times 100 \\
 &= 26.76 \%
 \end{aligned}$$

การทดสอบหาดัชนีความยาวของหิน

มาตรฐานที่ใช้

BS 812 : Section 105.2 : 1990

Elongation Index of Coarse Aggregate

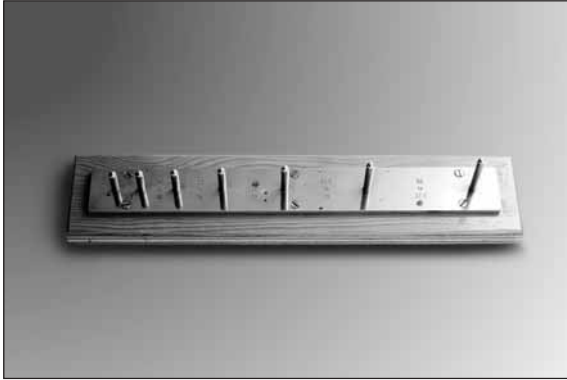
อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1% ของน้ำหนักมวลรวมที่ใช้ทดสอบ
2. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
3. เครื่องแยกขนาดคละที่มีขนาดและตะแกรงเหมาะสมกับวัสดุที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้ชุดของตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ

ตะแกรงชนิด Square Hole Perforated Plate 450 mm or 300 mm (มม.)
50.0
37.5
28.0
20.0
14.0
10.0
6.3

4. เครื่องมือทดสอบความยาว (Metal Length Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบความยาว (Metal Length Gauge)

วิธีทดสอบ

1. นำมวลรวมมาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50.0 มม. 37.5 มม. 28.0 มม. 20.0 มม. 14.0 มม. 10.0 มม. และ 6.3 มม. จากนั้นแยกมวลรวมส่วนที่ค้างบนตะแกรงขนาด 50 มม. และส่วนที่ผ่านตะแกรง 6.3 มม. ออกไป
2. ล้างหินให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานแต่ละขนาดให้ได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำหนักตัวอย่างทดสอบตามขนาดตะแกรงและช่องว่างระหว่าง Metal Length Gauge

ตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาด		น้ำหนักตัวอย่างน้อยสุด ของตะแกรงแต่ละขนาด (กก.)	ช่องว่างระหว่าง Metal Length Gauge* (มม.)
ผ่านทั้งหมด (มม.)	ค้างทั้งหมด (มม.)		
50.0	37.5	35.0	78.7 ± 0.3
37.5	28.0	15.0	59.0 ± 0.3
28.0	20.0	5.0	43.2 ± 0.3
20.0	14.0	2.0	30.6 ± 0.3
14.0	10.0	1.0	21.6 ± 0.2
10.0	6.3	0.5	14.7 ± 0.2

หมายเหตุ * ขนาดเท่ากับ 1.8 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดตะแกรงที่ผ่านและที่ค้าง

4. คำนวณหาค่าน้ำหนักรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง 50.0 มม. และค้ำบนตะแกรง 6.3 มม. บันทึกเป็นค่า M_1

5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้ำของตัวอย่างแต่ละขนาดเทียบกับน้ำหนักรวม

6. ตัดขนาดคละที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของน้ำหนักรวมทิ้งไป รวมน้ำหนักที่เหลือใหม่บันทึกเป็นค่า M_2

7. วัดความยาวของตัวอย่างทดสอบแต่ละขนาดให้ตรงกับขนาด Metal Length Gauge ดังตารางที่ 4 โดยการใช่มือแยกมวลรวมที่ไม่สามารถผ่านช่องว่างของ Metal Length Gauge ออก แล้วชั่งน้ำหนักมวลรวมแต่ละขนาดที่ไม่ผ่าน Guage ต่อจากนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักรวมบันทึกเป็นค่า M_3

8. คำนวณหาค่าดัชนีความยาว

$$\text{Elongation Index} = \frac{M_3}{M_2} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

ขนาดตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทดสอบ	น้ำหนักที่ผ่าน (กรัม)	น้ำหนักที่ค้ำ (กรัม)
28.0	-	-	-	-
20.0	330.3	12.37	319.4	10.8
14.0	1,205.5	45.14	980.0	225.0
10.0	816.0	30.55	477.6	338.4
6.3	318.9	11.94	99.7	219.1
น้ำหนักรวม	2,670.7	100.00	1,876.7	793.3

$$\begin{aligned} \text{Elongation Index} &= \frac{M_3}{M_2} \times 100 \\ &= \frac{793.3}{2,670.7} \times 100 \\ &= 29.70 \% \end{aligned}$$