

บทที่ 5

การทดสอบหาขนาดละเอียดของมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียด และขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม (Seive Analysis, Fineness Modulus and Maximum Size of Aggregate)

บทนำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดละเอียดของมวลรวม (Gradation) ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) และขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม (Nominal Maximum Size of Aggregate) โดยคุณสมบัติดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม

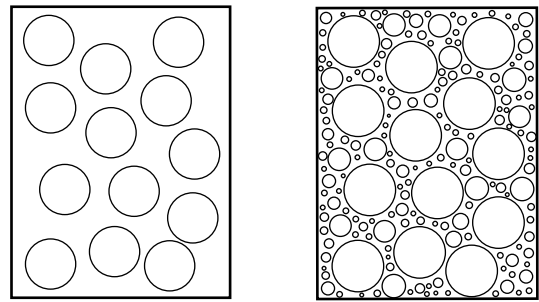
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.ขนาดละเอียด (Gradation)

ขนาดละเอียด (Gradation) คือการกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาค ขนาดละเอียดของมวลร่วมนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการนำไปหล่อหุ้มมวลรวม

1.1. ผลของขนาดละเอียดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตคือ

- ปริมาณซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตที่มีขนาดละเอียดของมวลรวมดี มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้วมวลรวมที่ขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมที่ใหญ่กว่าให้มากที่สุด ดังรูปที่ 1 การที่มวลรวมมีขนาดละเอียดที่ดียิ่งกว่า จะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีปริมาณน้อยลง ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เพื่อยึดมวลรวมและอุดช่องว่างจึงลดลง ทำให้ลดปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้



ขนาดเดี่ยว

ขนาดละเอียดต่อเนื่อง

รูปที่ 1 การเรียงตัวของขนาดละเอียดต่างกัน

- ความสามารถเทได้ (Workability) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมซึ่งมีขนาดละเอียด จะมีปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เหลือจากการเติมช่องว่างในมวลรวมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดละเอียด (Single Size) หรือขนาดละเอียดขาดช่วง (Gap Grade) ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพสต์ดังกล่าวจะทำให้หน้าหล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมทำให้ความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น

- การแยกตัว (Segregation) โดยปกติการแยกตัวของคอนกรีตมี 2 ชนิด คือ การแยกตัวของมอร์ต้าออกจากเนื้อคอนกรีตในคอนกรีตปกติทั่วไปที่ได้รับการจี้เขย่ามากเกินไป (Overvibration) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ การแยกตัว (Bleeding) โดยมีลักษณะ คือ จะมีการจมลงของมวลรวม (องค์ประกอบที่หนักกว่า) ซึ่งจะดันให้น้ำบางส่วน (ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดของส่วนผสม) ลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สามารถของส่วนผสมที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ขณะที่มวลรวมที่หนักกว่าจมลง

1.2. การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุผสมด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

เพื่อควบคุมตรวจสอบให้ขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามที่กำหนดไว้รวมทั้งใช้เพื่อหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมขนาดต่างๆ เพื่อให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ทำโดยการเก็บตัวอย่างมาปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงขนาดต่างๆ ซึ่งวางเรียงกันตามขนาดช่องว่างของตะแกรงจากขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนจนถึงขนาดเล็กที่สุด โดยใช้การเขย่าชุดตะแกรงดังกล่าวผลที่ได้นำมาใส่ตารางตามตัวอย่างในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย

น้ำหนักที่ค้าง คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

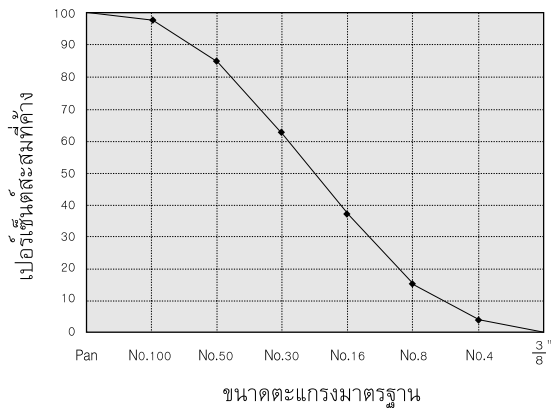
เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ขนาดคละ

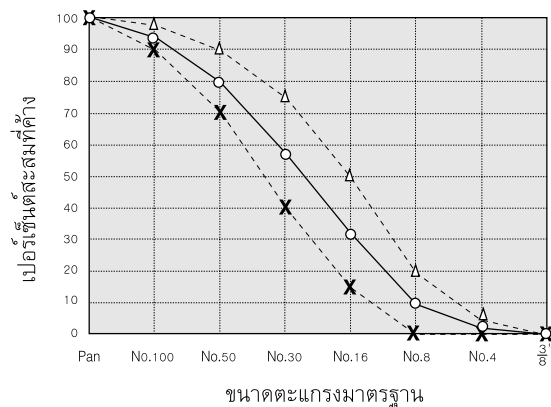
ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม	เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม
#4	61.52	4	4	96
#8	169.18	11	15	85
#16	338.50	22	37	63
#30	384.50	25	62	38
#50	353.74	23	85	15
#100	199.94	13	98	2
ถาดรอง	30.76	2	-	-
รวม	1,538.00	100	301	-

ผลทดสอบที่ได้สามารถนำมาเขียนแผนภูมิขนาดคละของมวลรวม ดังรูปที่ 2 และคำนวณค่าโมดูลัสความละเอียดต่อไป

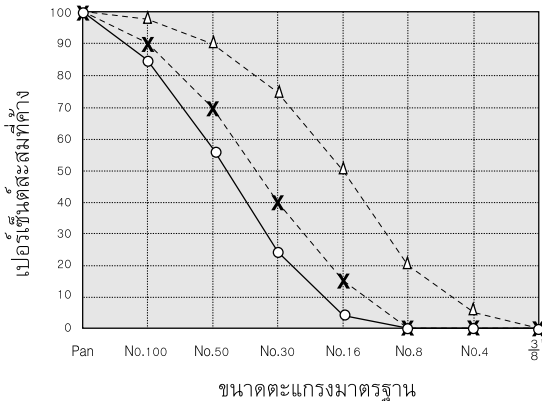


รูปที่ 2 แผนภูมิขนาดคละของมวลรวม

แผนภูมิขนาดคละ (Gradation Curves) คือ การนำผลการวิเคราะห์ขนาดคละมาเขียนแผนภูมิคละซึ่งสามารถช่วยในการเปรียบเทียบขนาดคละของมวลรวมว่าสอดคล้องหรือไม่กับมาตรฐานที่กำหนดได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละได้ตามกำหนด



รูปที่ 4 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละไม่ได้ตามกำหนด

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละ

สำหรับทราย ปริมาณอนุภาคละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 มีผลต่อความสามารถเทได้ การแตงผิวหน้าและการเยิ้มของคอนกรีตสด (Bleeding) นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กยังช่วยให้คอนกรีตเกาะรวมตัวกันได้ดี ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของอนุภาคละเอียดคือ ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 อย่างน้อย 15% และเบอร์ 100 อย่างน้อย 5% แต่ต้องไม่ให้มีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% เพราะอนุภาคขนาดเล็กนี้มัก ประกอบด้วยดินเหนียว ซึ่งมีผลคือจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นในการผสมทำให้ปริมาตรของคอนกรีตมีอัตรา การเปลี่ยนแปลงสูง (เกิดการหดตัว)

สำหรับหิน งานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยพบว่าหินที่ใช้ผสมคอนกรีตมักเป็นหินเพียงขนาดเดียว (Single size) เช่น หิน 1 หรือ หิน 2 ซึ่งไม่ได้มีขนาดคละที่ถูกต้องตามทฤษฎีสำหรับงานคอนกรีต ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย คือ เมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่เป็นวัตถุดิบหลักในประเทศไทยนั้น ปริมาณส่วนละเอียด ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ไม่แยกตัวหรือเกิดการเยิ้มมากและได้กำลังอัดตามต้องการ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่อุดต่างกัน

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

สำหรับงานพิเศษบางประเภทเช่น งานคอนกรีตเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้นในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42%-45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัว

2. ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

$F.M. = (1/100)$ (ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

$$F.M. = (1/100) (4+15+37+62+85+98) = 3.01$$

ค่าโมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เป็นตัวบ่งบอกว่าคุณสมบัติทรายนั้นหยาบหรือละเอียด ค่าโมดูลัสความละเอียดไม่สามารถใช้บอกขนาดคละของมวลรวมได้ แต่สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของมวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทรายที่มี F.M. สูง คือ ทรายที่มีความหยาบมาก เช่น ทรายที่มี F.M. = 3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มี F.M. = 2.3

เนื่องจากทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้เท่าๆ กัน ดังนั้นทรายที่เหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดในช่วง 2.30-3.20 นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความละเอียดยังบอกถึงขนาดโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมว่าค้างอยู่บนตะแกรงลำดับที่เท่าใดโดยเริ่มนับจากตะแกรงเบอร์ 100 ตัวอย่างเช่น ค่า F.M. = 3 หมายถึงมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงลำดับที่ 3 (เบอร์ 30) นับจากตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 เป็นขนาดเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมซึ่งหาได้จากการคิดที่ว่า ถาดรองเป็นตะแกรงลำดับที่ 0 ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงลำดับที่ 1 จนถึง ตะแกรงเบอร์ 4 เป็นตะแกรงลำดับที่ 6 ตามลำดับ ต่อจากนั้นทำการหา F.M. จากค่าเฉลี่ย

ถ่วงน้ำหนักของขนาดตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ที่ค้าง เช่น

$$F.M. = (1/100)[(0 \times 2) + (1 \times 13) + (2 \times 23) + (3 \times 25) + (4 \times 22) + (5 \times 11) + (6 \times 4)] = 3.01$$

ค่าโมดูลัสความละเอียดนอกจากใช้บอกถึงความละเอียดของมวลรวมแล้วยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้อัตราส่วนผสมของมวลรวม (Combined Aggregate) แต่ละชนิดอีกด้วย ซึ่งทำได้โดยการทดลองหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียดเพื่อให้ได้ขนาดคละของมวลรวมผสมอยู่ในขอบเขตที่กำหนดดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1 การหาอัตราส่วนผสมของมวลรวม (Combined Aggregate) ของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่มีค่า F.M. = 7.30 และ 3.01 ตามลำดับ เพื่อให้ได้มวลรวมผสมที่มีขนาดคละอยู่ในขอบเขตตามตารางที่ 3 และมีค่า F.M. = 5.62

ตารางที่ 3 ขนาดคละที่ต้องการ

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรง	
	ค่าเฉลี่ย ขนาดคละที่ต้องการ	ขนาดคละ ที่ต้องการ
1 1/2"	2.0	0-4
3/4"	26.0	20-32
3/8"	48.5	43-54
#4	60.0	55-65
#8	69.0	64-74
#16	77.5	73-82
#30	84.5	80-89
#50	95.0	92-98
#100	99.0	98-100
	F.M.=5.62	

- ทดลองเลือกอัตราส่วนผสมเช่น 0.35 สำหรับทราย และ 0.65 สำหรับหิน

$$\text{จะได้ F.M. รวม} = (0.35 \times 3.01) + (0.65 \times 7.3) = 5.79$$

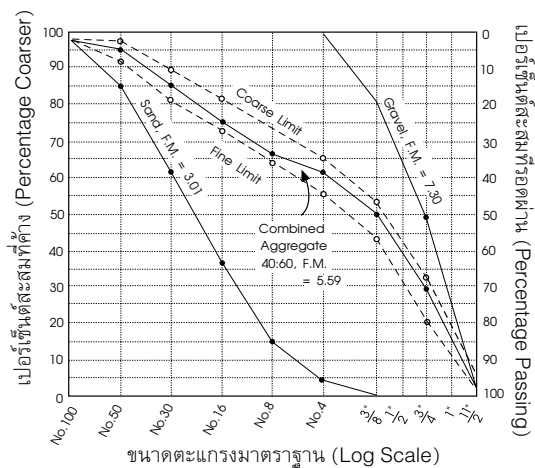
- เนื่องจาก F.M. ยังไม่ได้ตามต้องการ ทำการเลือกอัตราส่วนผสมใหม่คือ 0.4 สำหรับทรายและ 0.6 สำหรับหิน

$$\text{จะได้ F.M.รวม} = (0.40 \times 3.01) + (0.60 \times 7.3) = 5.59 \sim 5.62 \text{ ถือว่าใช้ได้}$$

ต่อจากนั้นทำการเลือกมวลรวมจากแต่ละตะแกรงตามค่าอัตราส่วนที่ทดลอง คำนวณมวลรวมผสม จะได้ขนาดคละตามต้องการ ต่อจากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนแผนภูมิคละ

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมมวลรวม

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ละสมที่ค้ำบนตะแกรง						
	ทราย (X)		หิน (Y)		มวลรวมผสม	ค่าเฉลี่ย	ขนาดคละที่ ต้องการ
	X	0.4X	Y	0.6Y			
1 1/2"	-	-	0	0	0	2.0	0-4
3/4"	-	-	49	29.4	29.4	26.0	20-32
3/8"	-	-	81	48.6	48.6	48.5	43-54
#4	4	1.6	100	60.0	61.6	60.0	55-65
#8	15	6.0	100	60.0	66.6	69.0	64-74
#16	37	14.8	100	60.0	74.8	77.5	73-82
#30	62	24.8	100	60.0	84.8	84.5	80-89
#50	85	34.0	100	60.0	94.0	95.0	92-98
#100	98	39.2	100	60.0	99.2	99.0	98-100
					F.M.=	5.59	5.62



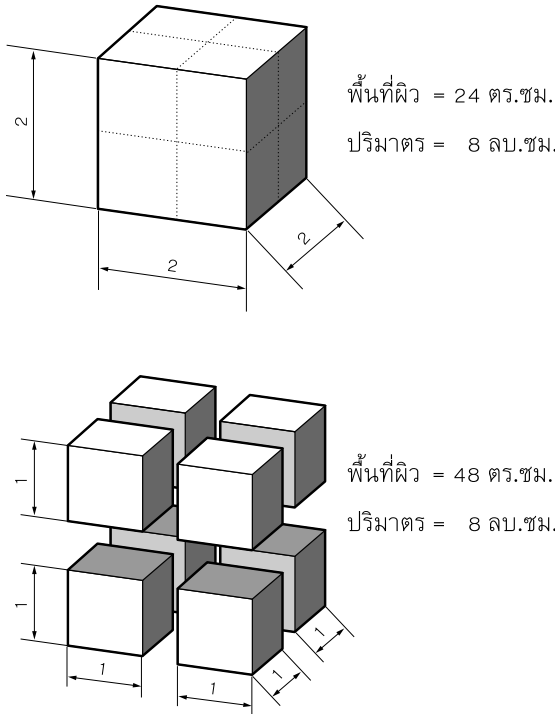
รูปที่ 5 แผนภูมิขนาดคละของมวลรวม

อัตราส่วนที่คำนวณได้นี้ ควรนำไปทดลองผสมจริง ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องปรับอัตราส่วนผสมอีกตาม ความเหมาะสม

3. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับ ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการ และขนาดคละของวัสดุ ผสม กล่าวคือมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิว (Sur- face Area) โดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเมื่อ มีน้ำหนักมวลรวมเท่ากัน

ตัวอย่างที่ 2 สมมุติหินมีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ ขนาด 2x2x2 ซม. มีปริมาตร 8 ลบ.ซ.ม. และพื้นที่ผิว 6x2x2 = 24 ตร.ซม. แต่ถ้าหินก้อนนี้ถูกแบ่งออกเป็นทรงลูกบาศก์ 8 ก้อนเท่าๆ กัน ปริมาตรยังเท่าเดิมคือ 8 ลบ.ซม. แต่พื้นที่ผิวจะเพิ่มเป็น 8x6x1 = 48 ตร.ซม.



ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ เพื่อเคลือบผิวมวลรวมน้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถเท่าเทียมกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 หรือถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่ากัน กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.	
	หินย่อยขนาด 1" - # 4	หินย่อยขนาด $\frac{3}{4}$ " - #4
7.5 ± 2.5	180	190
10.0 ± 2.5	190	200
12.5 ± 2.5	200	210

ขนาดใหญ่มวลรวมที่ใช้ สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมโดยการคูณผลค่าเปอร์เซ็นต์ที่ค้ำว่าตะแกรงใด มีค่าเปอร์เซ็นต์ของ

มวลรวมที่ค้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 15% ให้นำขนาดตะแกรงที่ใหญ่กว่านั้นขึ้นไปอีก 1 ขนาด เป็นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมดังแสดงในตัวอย่าง

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักค้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ที่ค้ำ
1	12	-
$\frac{3}{4}$ "	1,384	7
$\frac{1}{2}$ "	8,031	41
$\frac{3}{8}$ "	8,676	43
#4	573	3
#8	609	3
ถาดรอง	513	3
รวมน้ำหนัก	19,798	100

พิจารณาจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าตะแกรงร้อนขนาดใหญ่ที่สุดที่มีหินค้ำบนตะแกรงเกิน 15% คือตะแกรงขนาด $\frac{1}{2}$ " ตะแกรงร้อนที่ขนาดใหญ่กว่า 1 ชั้น คือ ตะแกรงขนาด $\frac{3}{4}$ " ดังนั้นขนาดใหญ่มวลรวมที่ดีที่สุดของหินนี้ คือ $\frac{3}{4}$ "

ในทางปฏิบัติผู้ออกแบบควรตัดสินใจเลือกขนาดใหญ่มวลรวมโดยคำนึงถึง

1. ขนาดใหญ่มวลรวม ต้องมีขนาดไม่เกิน $\frac{1}{5}$ ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบหล่อ ไม่เกิน $\frac{3}{4}$ ของระยะแคบสุดระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ และไม่เกิน $\frac{1}{3}$ ของความหนาของพื้น

2. สำหรับกรณีใช้ปั๊ม ขนาดใหญ่มวลรวม ต้องไม่เกิน $\frac{1}{5}$ ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม

3. สำหรับกรณีคอนกรีตกำลังอัดสูง การวิบัติของคอนกรีต (Failure) จะเกิดที่มวลรวม แทนที่จะเกิดที่ซีเมนต์เพสต์เหมือนคอนกรีตกำลังอัดทั่วไป เพราะในมวลรวมขนาดใหญ่มีโอกาสที่จะมีรอยร้าวขนาดเล็กอยู่ (Microcracks) ดังนั้นมวลรวมควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้งานคอนกรีตกำลังอัดสูง

ดังนั้นขนาดใหญ่มวลรวมที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปควรมีขนาดไม่เกิน 40 มม. และควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้งานคอนกรีตกำลังอัดสูง

การทดสอบหาขนาดคละและขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C136

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทรายที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม หรือ 0.1% ของน้ำหนักทรายที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดกว่าเป็นเกณฑ์
2. เครื่องชั่งหินที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม หรือ 0.1% ของน้ำหนักหินที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดกว่าเป็นเกณฑ์
3. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
4. เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical Sieve Shaker) ต้องมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งหรือในแนวราบและดิ่งปนกัน เพื่อที่จะให้อนุภาคกระแทกและกลิ้งไปมาบนผิวตะแกรงอย่างทั่วถึง
5. ตะแกรงร่อนมาตรฐานตามมาตรฐาน ASTM C 33

ตารางที่ 6 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้ในการหาขนาดคละของทราย

ขนาดตะแกรง
9.50 มม. ($\frac{3}{8}$ ")
4.75 มม. (# 4)
2.36 มม. (# 8)
1.18 มม. (# 16)
600 μ m (# 30)
300 μ m (# 50)
150 μ m (# 100)



รูปที่ 6 เครื่องเขย่าทราย

วิธีทดสอบทราย

1. จัดหาตัวอย่างทรายที่ต้องการทดสอบให้ได้ปริมาณตามต้องการ โดยเผื่อให้น้ำหนักทรายหลังอบแห้งเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 3 (ประมาณ 300 กรัม)

หมายเหตุ ในกรณีที่ต้องการหาปริมาณฝุ่นในทราย ต้องนำตัวอย่างทรายไปทดสอบหาปริมาณฝุ่นด้วยการล้างก่อนการทดสอบขนาดคละ แล้วบันทึกค่าปริมาณฝุ่นไว้

2. นำตัวอย่างทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

3. ชั่งน้ำหนักทรายหลังอบแห้งให้ได้ประมาณ 300 กรัม

4. นำตะแกรงขนาด $\frac{3}{8}$ " เบอร์ 4 เบอร์ 8 เบอร์ 16 เบอร์ 30 เบอร์ 50 และเบอร์ 100 มาวางซ้อนกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า โดยเรียงให้ตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ชั้นบน

5. เททรายลงบนตะแกรงขนาด $\frac{3}{8}$ " ซึ่งอยู่ชั้นบนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าทราย เขย่าจนทรายที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านไปยังตะแกรงชั้นถัดไป

6. ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างบนแต่ละตะแกรง และทำการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมทั้งหมดของทรายหลังการร่อนกับน้ำหนักทรายแห้งเริ่มแรกก่อนการร่อน ถ้าหากพบว่ามีค่าแตกต่างมากกว่า 0.3% ของน้ำหนักทรายแห้งก่อนร่อน แสดงว่ามีทรายหายไปขณะทำการทดสอบซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการชั่งหรือการทดสอบ ดังนั้นไม่ควรนำผลการทดสอบมาพิจารณา

7. คำนวณหา

- เปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
- เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด
- เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด

โดยใช้น้ำหนักแห้งก่อนการทดสอบเป็นฐานในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

หมายเหตุ ถ้าใช้ทรายที่ผ่านการทดสอบหาปริมาณฝุ่นด้วยการล้างมาทดสอบหาขนาดคล้อย การคำนวณขนาดคล้อยให้ใช้น้ำหนักรวมของตัวอย่างแห้งก่อนการทดสอบล้างฝุ่นเป็นฐานในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ และรวมน้ำหนักปริมาณฝุ่นที่ได้จากการล้างเข้าไปในภาครองด้วย

8. คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) ได้จากการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมแต่ละขนาด หาด้วย 100 โดยคำนวณตามขนาดตะแกรงดังนี้ เบอร์ 100 เบอร์ 50 เบอร์ 30 เบอร์ 16 เบอร์ 8 เบอร์ 4 3/8" และ 1 1/2"

ตัวอย่างที่ 2 การหาขนาดคล้อยของทรายและค่า Fineness Modulus

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม	เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม	ข้อกำหนด
3/8"	0	0	0	100	100
#4	10	2	2	98	95-100
#8	68	10	12	88	80-100
#16	124	19	31	69	50-85
#30	132	20	51	49	25-60
#50	212	32	83	17	10-30
#100	96	15	98	2	2-10
ภาครอง	16	2	100	0	
รวม	658	F.M.=	2.77		

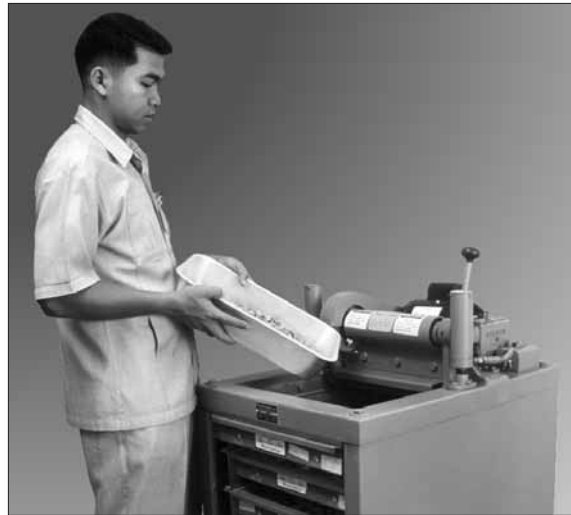
หมายเหตุ ข้อกำหนดจาก ASTM C 33-78

การคำนวณ

ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)=เปอร์เซ็นต์ค่าสะสมของทรายที่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 100 และหยาบกว่าหาด้วย 100

$$\text{จากตาราง F.M.} = (0+2+12+31+51+83+98)/100$$

$$\text{F.M.} = 2.77$$



รูปที่ 7 เครื่องเขย่าหิน

วิธีทดสอบหิน

1. จัดหาตัวอย่างหินที่ต้องการทดสอบให้ได้ปริมาณตามต้องการ โดยเพื่อให้น้ำหนักหินหลังอบแห้งเป็นตามที่กำหนดในข้อ 3

หมายเหตุ ในกรณีที่ต้องการหาปริมาณฝุ่นในหิน การเตรียมตัวอย่างทดสอบต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ดังนี้

- มวลรวมที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด 12.5 มม. (1/2") หรือเล็กกว่าให้ใช้ตัวอย่างเดียวกันในการทดสอบปริมาณฝุ่น และหาขนาดคล้อยโดยเริ่มจากการทดสอบปริมาณฝุ่นในหินด้วยการล้างก่อน

- มวลรวมที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 12.5 มม. (1/2") อาจใช้คนละตัวอย่างในการทดสอบได้

ทั้งนี้เพราะการคำนวณขนาดคล้อยของมวลรวมขนาดใหญ่สุดเล็กกว่า 1/2" จะได้รับผลกระทบจากปริมาณฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญเพราะ

- ปริมาณตัวอย่างหินขนาดดังกล่าวค่อนข้างน้อยเช่นมวลรวมที่มีขนาด 1/2" ใช้ 2 กก. แต่มวลรวมขนาด 3/4" ใช้ 5 กก. ปริมาณฝุ่นจึงส่งผลต่อน้ำหนักมวลรวมในแต่ละตะแกรงได้มาก

- มวลรวมขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมาก จึงมีปริมาณฝุ่นที่เคลือบผิวมากกว่ามวลรวมขนาดใหญ่

2. นำตัวอย่างทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

3. ชั่งน้ำหนักหินหลังอบแห้งให้ได้น้ำหนักตั้งตาราง โดยขึ้นกับขนาดใหญ่สุดของหิน

ตัวอย่างขนาดใหญ่สุด มม. (นิ้ว)	น้ำหนักของตัวอย่าง ที่จะใช้ตามขนาดหิน (กก.)
9.5 ($\frac{3}{8}$ ")	1
12.5 ($\frac{1}{2}$ ")	2
19.0 ($\frac{3}{4}$ ")	5
25.0 (1)	10
37.5 ($1\frac{1}{2}$ ")	15
50.0 (2)	20
63.0 ($2\frac{1}{2}$ ")	35
75.0 (3)	60
90.0 ($3\frac{1}{2}$ ")	100

4. เรียงขนาดตะแกรงโดยขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมใหญ่สุดตั้งตารางที่ 7 ถ้าต้องการคำนวณค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ต้องเพิ่มตะแกรงมาตรฐานเข้าไปจนถึงขนาดเบอร์ 100

5. นำหินใส่ในเครื่องเขย่า เขย่าจนหินที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านไปยังตะแกรงชั้นถัดไป

6. ชั่งน้ำหนักหินที่ค้างบนแต่ละตะแกรง แล้วทำการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมทั้งหมดของหินหลังการร่อนกับหินก่อนการร่อน ถ้าหากพบว่ามีค่าแตกต่างมากกว่า 0.3% แสดงว่าหินหายไปขณะทำการทดสอบ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดจากการชั่งหรือการทดสอบ ดังนั้นไม่ควรนำผลการทดสอบมาพิจารณา

7. คำนวณหา

- เปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
- เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด
- เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยใช้หินก่อนการทดสอบเป็นฐานในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

หมายเหตุ ถ้าใช้หินที่ผ่านการทดสอบหาปริมาณฝุ่นด้วยการล้างมาทดสอบหาขนาดตะแกรง การคำนวณขนาดตะแกรงให้ใช้

น้ำหนักรวมของตัวอย่างแห้งก่อนการทดสอบล้างฝุ่นเป็นฐานในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ และรวมน้ำหนักปริมาณฝุ่นที่ได้จากการล้างเข้าไปในตารางด้วย

8. คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เช่นเดียวกับทราย

9. คำนวณหาค่าขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate) โดยการดูค่าเปอร์เซ็นต์ที่ค้าง ว่าตะแกรงอันใดมีค่าเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างหรือเท่ากับ 15% ให้นำขนาดตะแกรงที่ใหญ่กว่านั้นขึ้นไปอีก 1 ชั้น เป็นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนั้น

ตัวอย่างที่ 3 การหาขนาดละเอียดของหินและค่า Fineness Modulus

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม
1"	0	0	0
$\frac{3}{4}$ "	231.0	4.31	4.31
$\frac{1}{2}$ "	2,655.5	49.50	53.81
$\frac{3}{8}$ "	1,386.5	25.85	79.66
#4	971.9	18.12	97.78
#8	34.9	0.65	98.43
#16	0	0	98.43
#30	0	0	98.43
#50	0	0	98.43
#100	0	0	98.43
ถาดรอง	84.4	1.57	100.00
รวม	5,364.2	F.M.=	7.28

การคำนวณ

ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) = ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของหินที่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 100 และหยาบกว่าหารด้วย 100

$$F.M. = (0+4.31+53.81+79.66+97.78+98.43+98.43+98.43+98.43)/100$$

$$F.M. = 7.28$$

ตารางที่ 7 ขนาดตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในการหาขนาดผละของหิน

ขนาดใหญ่สุด ของมวลรวม	น้ำหนักมวลรวม (กรัม) ตามขนาดของมวลรวมหยาบ												
	100 มม. (4")	90 มม. (3½")	75 มม. (3")	63 มม. (2½")	50 มม. (2")	37.5 มม. (1½")	25 มม. (1")	19 มม. (¾")	12 มม. (½")	9.5 มม. (⅜")	4.75 มม. (#4)	2.36 มม. (#8)	1.18 มม. (#16)
90-37.5 มม. (3½" - 1½")	●	●	—	●	—	●	—	●	—	—	—	—	—
63-37.5 มม. (2½" - 1½")	—	—	●	●	●	●	—	●	—	—	—	—	—
50-25 มม. (2"-1")	—	—	—	●	●	●	●	—	●	—	—	—	—
50-47.5 มม. (2"-#4)	—	—	—	●	●	—	●	—	●	—	●	—	—
37.5-19 มม. (1½" - ¾")	—	—	—	—	●	●	●	●	—	●	—	—	—
37.5-4.75 มม. (1½" - #4)	—	—	—	—	●	●	—	●	—	●	●	—	—
25-12.5 มม. (1" - ½")	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	—	—	—
25-9.5 มม. (1" - ⅜")	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	—	—
25-47.5 มม. (1"- #4)	—	—	—	—	—	●	●	▲	●	▲	●	●	—
19.-9.5 มม. (¾" - ⅜")	—	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	—	—
19-47.5 มม. (¾" - #4)	—	—	—	—	—	—	●	●	▲	●	●	●	—
12.5-4.75 มม. (½" - #6)	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	—
9.5-2.36 มม. (⅜" - #8)	—	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●

● = มีใช้ — = ไม่มีใช้ ▲ = จะใช้หรือไม่ก็ได้

จากการวิเคราะห์จะเห็นว่าตะแกรงร่อนขนาดใหญ่ที่สุดที่มีหินค้างบนตะแกรงเกิน 15% คือตะแกรงขนาด 1/2" ตะแกรงร่อนที่ขนาดใหญ่กว่า 1" ขึ้นคือ ตะแกรงขนาด 3/4" ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของหินนี้คือ 3/4"