บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การทดสอบหาสารอินทรีย์ในทราย (Test for Organic Impurities of Sands)

มวลรวมละเอียดหรือทราย อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. ทรายบก พบบนบกที่ห่างจากทะเลและไม่มีความเค็มติดอยู่
2. ทรายแม่น้ำลำธาร พบตามลำห้วย แม่น้ำเก่าและใหม่
3. ทรายทะเลย พบตามชายหาดทะเลยหรือบนบก แต่ยังมีเกลือติดอยู่
4. ทรายที่ทำขึ้นจากการร่อนหินมีมนุษย์ทุบเป็นก้อนเล็กๆ

คอนกรีตธรรมดาจะต้องการเฉพาะทรายหยาบที่มีเม็ดคมแข็งและสะอาด โดยมีฝุ่นน้อยที่สุด และไม่มีด่าง กรดหรือเกลือเจือปน สวนสารเจือปนอื่นๆ เช่น ดิน ฝุ่น เกณฑ์กำหนดให้มีได้ไม่เกินดังนี้

1. มีดินผสมอยู่ได้ไม่มากกว่า 1% โดยน้ำหนัก
2. มีถ่านปนอยู่ได้ไม่มากกว่า 1% โดยน้ำหนัก
3. มีฝุ่นหรือสิ่งที่ลอดตะแกรงเบอร์ 200 ปนอยู่ไม่มากกว่า 5% โดยน้ำหนัก
4. ปราศจากสารอินทรีย์ เช่น ตะไคร่น้ำ ใบไม้เน่า

สารอินทรีย์ในทรายสามารถทดสอบได้โดยวิธีการวัดความเข้มของสี (Colorimeter Test) โดยใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ลงไปแล้วเทียบสีของส่วนผสมนั้นกับสีมาตรฐานการ์ดเนอร์ (Gardner Color Scale) ถ้าปรากฏว่าสารละลายใสหรือมีสีเหลืองอ่อนๆ แสดงว่าทรายนั้นปราศจากสารอินทรีย์ หากสารละลายมีสีระหว่างสีอ่อนกับสีน้ำตาล แสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์มากพอที่จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพเลวลง โดยการทดสอบนี้ไม่ควรนำไปใช้กับทรายที่มีอนุภาคถ่านหินหรือลิกไนต์ปนอยู่ เนื่องจากสารเหล่านี้อาจทำให้เกิดสีเข้มในสารละลาย ซึ่งไม่ถือว่าเกิดผลเสียหายทางเคมีต่อคอนกรีต

ความถี่ในการทดสอบหาสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับสภาวะและความแน่นอนสม่ำเสมอของทราย โดยปกติ ควรทำทุกวันแต่สำหรับทรายที่ถูกน้ำชะ อาจลดลงเป็นสัปดาห์ละครั้งก็ได้

ตัวอย่างทรายที่จะนำมาทดสอบควรชื้นเล็กน้อย ถ้ามีความชื้นที่ผิวมากไป จะทำให้สารละลายที่ได้เจือจางกว่าที่ควรจะเป็น หากเป็นมวลแห้งสารอินทรีย์อาจสูญหายระหว่างสัมผัส

แถบสีมาตรฐาน

เป็นแถบสีที่ทำจากสีต่างๆ 5 สีด้วยกัน มีสีอ่อนไปจนถึงสีเข้ม ใช้เปรียบเทียบกับสีที่ได้จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อยู่ในทราย ถ้าใกล้เคียงกับสีใดในแถบสีมาตรฐานก็จะได้ความหมายของแต่ละสีนั้น ซึ่งจะแสดงถึงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่ในทรายมากน้อยเพียงใด ความหมายของสีจะบอกเป็นหมายเลขดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยจะพิจารณาแถบสีมาตรฐาน แบบ Gardner หรือแบบแผ่นกระจกสารอินทรีย์อย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าหมายเลขของสีมาตรฐานการ์ดเนอร์กับแผ่นกระจกสารอินทรีย์

หมายเลขสีมาตรฐานการ์ดเนอร์	หมายเลขแผ่นกระจกสารอินทรีย์
5	1
8	2
11(มาตรฐาน)	3(มาตรฐาน)
14	4
16	5

2.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

(Test for Specific Gravity and Absorption of Aggregates)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (Specific Gravity)

หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุนภายในที่น้ำซึมเข้าไม่ได้ (Impermeable pores) และช่องว่างที่ผิวที่น้ำซึมเข้าได้ (Permeable pores) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแยกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. **ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด** (Bulk Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณของมวลรวม (ที่รวมรูพรุนภายในและช่องว่างที่ผิวของมวลรวม) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน

2. **ความถ่วงจำเพาะปรากฏ** (Apparent Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวม (ที่รวมเอารูพรุนภายใน แต่ไม่รวมช่องว่างที่ผิว) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

3. **<u>ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์</u> (Absolute or True Specific Gravity)**

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้มวลรวม (ที่ไม่รวมทั้งรูพรุนภายในและช่องว่างที่ผิว) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดยทำเป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเปลี่ยนแปลงไปได้ ความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของมวลรวมเป็นปริมาตรเนื้อแท้ หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้เป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณมวลรวมสำหรับการผสมนั้น ๆ ตามปกติในการคำนวณปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4 – 3

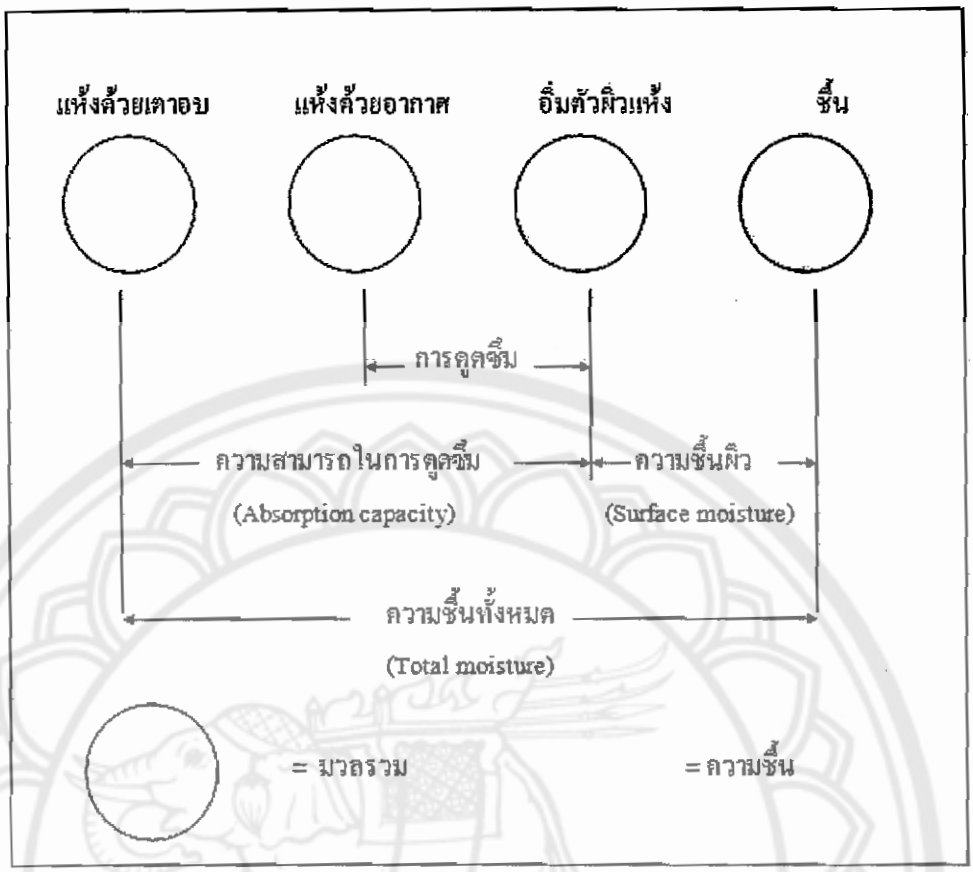
การดูดซึมของมวลรวม (Absorption of Aggregates)

โครงสร้างภายในก้อนวัสดุผสมประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านี้จะดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ได้ ในการผสมคอนกรีตจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสม ให้ได้ความข้นเหลวคงที่ ทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ

ปริมาณน้ำในมวลรวมอาจอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งใน 4 อย่าง ดังรูปที่ 2.1

1. แห้งด้วยเตาอบ (Oven dry) ในภาวะนี้มวลรวมสามารถดูดความชื้นได้เต็มที่
2. แห้งในอากาศ (Air dry) หรือแห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างในบ้าง มวลรวมจึงดูดความชื้นได้พอควร
3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยที่มวลรวมจะไม่คายหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. ชื้นหรือเปียก (Damp หรือ Wet) มีความชื้นมากเกินไป โดยจะมีน้ำหุ้มก้อนมวลรวมอยู่

การทดสอบหาการดูดซึมของมวลรวมจึงมีประโยชน์ในการหาปริมาณน้ำของมวลรวมที่คายออกมาหรือดูดซึมเข้าไปจากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้เราสามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง



รูปที่ 2.1 แสดงสภาวะความชื้นของมวลรวม

การคำนวณ

จากทฤษฎี ความถ่วงจำเพาะจะเท่ากับ น้ำหนักทราย 500 กรัม ต่อ น้ำหนักน้ำในปริมาณที่เท่ากับทราย

1) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ

$$\text{ถพ.ทั้งหมด} = \frac{\text{นน.ทรายแห้งด้วยเตาอบ}}{\text{นน.น้ำ 500 ml.} - (\text{นน.ทรายอิ่มตัว 500 g} + \text{นน.น้ำเติมเต็ม 500 ml.}) + \text{นน.ทรายอิ่มตัว 500 g}}$$

หรือ = A / (B – C + S)

โดย A= น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ (g)

B = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 ml. (g)

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมและน้ำที่ระดับ 500 ml. (g)

S = น้ำหนักทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (g)

2) **ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด** (Bulk Specific Gravity) **ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง** = S / (B – C + S)

3) **ความถ่วงจำเพาะปรากฏ** (Apparent Specific Gravity) = A / (B – C + A)

4) **ร้อยละการดูดซึม** (% Absorption) = 100 * (S – A) / A

2.3 การทดสอบหากำลังอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

(Test for Compressive Strength of Cement Mortars)

การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของซีเมนต์วิธีหนึ่ง ว่าซีเมนต์ที่จะนำมาใช้งานนั้นมีคุณภาพได้มาตรฐานหรือไม่

กำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ตามขนาด 2.75 ส่วน โดยน้ำหนักเตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐานแล้วจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.2

ทรายมาตรฐาน

ทรายมาตรฐานที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์จะต้องเป็นทรายธรรมชาติจากเมืองออตตาวา มลรัฐอิลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกาและจะต้องมีขนาดคละดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์กำหนดกำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์มาตรฐาน

อายุและการบ่ม	กำลังอัด, กก./ ซม^2				
	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1 วันในอากาศชื้น	-	-	120	-	-
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ	85	70	210	-	-
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ	150	130	-	55	105
1 วันในอากาศชื้น 27 วันในน้ำ	245	245	-	140	210

ตารางที่ 2.3 ขนาดคละของทรายมาตรฐาน

ตะแกรงเบอร์ (ช่องว่าง มม.)	มวลที่ค้างบนตะแกรง %
16 (1.180)	0
30 (0.600)	2 ± 2
50 (0.300)	72 ± 5
100 (0.150)	98 ± 2

อุณหภูมิและความชื้น

1) อุณหภูมิของอากาศในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งอุณหภูมิของเครื่องมือควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27.5 °C

2) อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสม ห้องเก็บความชื้น และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้เก็บตัวอย่างควรอยู่ระหว่าง 23 ± 1.7 °C

3) ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปฏิบัติการไม่ควรน้อยกว่า 50%

4) ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บความชื้นไม่ควรน้อยกว่า 90%

จำนวนตัวอย่าง

ในการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องใช้ตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง

การคำนวณ

ค่ากำลังอัดของตัวอย่างแต่ละก้อนคำนวณได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A}$$

เมื่อ f_c = กำลังอัด , kg/cm^2 หรือ ksc

P = แรงอัดประลัย, kg.

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างจริง,$cm.^2$

อนึ่งหากค่ากำลังอัดของแต่ละตัวอย่างแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10% แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตามหลังจากตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ออกแล้วจะต้องมีผลการทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 2 ค่าสำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 2 ค่า จะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด

2.4 การทดสอบหาค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์ซีเมนต์

(Test for Tensile Strength of Cement Mortars)

การทดสอบหากำลังดึงของมอร์ตาร์ซีเมนต์โดยใช้ตัวอย่างแบบบริเคทนี้มิได้มีวัตถุประสงค์ที่จะหากำลังดึงหรือความแข็งแรงโดยตรง แต่การทดสอบครั้งนี้จะแสดงให้ทราบถึงคุณภาพของซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบว่าซีเมนต์ชนิดนั้นมีคุณภาพได้มาตรฐานหรือไม่ และเหมาะสมที่จะเอาไปใช้ในงานคอนกรีตหรือไม่

หากการทดสอบหากำลังดึงของมอร์ตาร์ซีเมนต์ ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ไม่สมควรที่จะนำซีเมนต์นั้นไปใช้ในงานคอนกรีตอีกต่อไป การที่ค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานอาจเนื่องจากซีเมนต์นั้นเป็นซีเมนต์เก่าที่ผลิตมานานแล้วหรือจากการเก็บรักษาซีเมนต์ไม่ดีพอ ซีเมนต์ได้รับความชื้นทำให้เสื่อมคุณภาพได้ ถึงแม้ว่าผู้ผลิตจะรับรองว่าซีเมนต์ที่ผลิตมีคุณภาพได้มาตรฐานก็ตาม การทดสอบวิธีนี้จะช่วยให้ผู้ควบคุมมีความมั่นใจในคุณภาพของซีเมนต์ยิ่งขึ้น

มาตรฐาน ASTM C 150 ได้กำหนดถึงคุณภาพของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่างๆ โดยเมื่อทำการทดสอบหากำลังดึงของมอร์ตาร์ซีเมนต์ซึ่งมีอัตราส่วนผสม 1 ส่วนของซีเมนต์ต่อ 3 ส่วน ของทรายมาตรฐานโดยน้ำหนักแล้ว จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.4

ทรายมาตรฐาน

ทรายมาตรฐานจะต้องเป็นทรายธรรมชาติซึ่งได้จากเมืองออตตาวา มลรัฐอิลินอยส์ ซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างตะแกรงเบอร์ 30

ตารางที่ 2.4 กำลังดึงของซีเมนต์มอร์ตาร์, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)

อายุและสภาพการบ่ม	ชนิดของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์				
	1	2	3	4	5
1 วันในอากาศชื้น	-	-	275 (19.3)	-	-
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ	150 (10.5)	125 (8.8)	375 (26.3)	-	-
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ	275 (19.3)	250 (17.5)	-	175 (12.3)	250 (17.5)
1 วันในอากาศชื้น 27 วันในน้ำ	350 (24.5)	325 (22.8)	-	300 (21.0)	325 (22.8)

อุณหภูมิและความชื้น

1) อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดลอง รวมทั้งอุณหภูมิของเครื่องมือควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27.5° ซ. อุณหภูมิของห้องเก็บตัวอย่างบริเคทควรจะอยู่ระหว่าง 21.3 ถึง 24.7 °C

2) ความชื้นสัมพัทธ์ ของห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 50 และความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บตัวอย่างไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 95

จำนวนตัวอย่างบริเคท

ในการทดสอบหาผลของกำลังดึงของตัวอย่างแต่ละชุดควรทดสอบไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง

การคำนวณ

ค่ากำลังดึงของตัวอย่างบริเคทนี้ จะแสดงออกมาในรูปของหน่วยแรงดึงที่ทำให้ตัวอย่างบริเคทขาดพอดีคำนวณได้จากสูตร

$$f_t = \frac{P}{A}$$

เมื่อ f_t = ค่ากำลังดึง (Tensile Strength)
หรือหน่วยแรงดึง(Tensile Stress) ที่จุดประลัย, kg/cm^2

P = แรงดึงประลัย, kg

A = พื้นที่หน้าตัดที่เล็กที่สุดของตัวอย่างบริเคท , cm^2