

บทที่ 3

อุปกรณ์ใช้ในโครงการและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

3.1.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของเถ้าตะกอนน้ำประปา

3.1.2 เพื่อศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าที่ปูนซีเมนต์ถูกแทนที่ด้วยเถ้าตะกอนน้ำประปาในปริมาณต่างๆ กัน คือ 0%, 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ที่ 3 วัน, 7 วัน, 14 วัน, 28 วัน และ 56 วัน

3.2 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในโครงการ

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมเถ้าตะกอนน้ำประปา ประกอบด้วย

3.2.1.1 เตาเผา (Muffle furnace) แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เตาเผาที่ใช้ในการเผาตะกอนน้ำประปา (Muffle furnace)

3.2.1.2 ชุดตะแกรงร่อน ประกอบด้วย เบอร์ 16, 30, 40, 50, 100

3.2.2 อุปกรณ์ในการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเถ้าตะกอนน้ำประปา ประกอบด้วย

3.2.2.1 ขวดทดลองมาตรฐานเลอแซททีเยร์ (Standard Le Chateier Flask) จำนวน 1 ใบ

3.2.2.2 หลอดกรวยสำหรับกรอกเถ้าที่ต้องการทดสอบผงลงในขวดมาตรฐาน จำนวน 1 ใบ

3.2.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (0° - 100°) จำนวน 1 อัน

3.2.2.4 น้ำมันก๊าด (Kerosene) ปริมาตรประมาณ 1000 ml.

3.2.2.5 อ่างน้ำขนาดประมาณ 2000 ml. จำนวน 1 ใบ

3.2.2.6 เครื่องชั่งอ่านค่าได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม

3.2.2.7 ถาดสำหรับใส่เถ้า จำนวน 1 ใบ

3.2.3 อุปกรณ์ในการทำลูกปูนมอร์ต้า และ บ่มลูกปูนมอร์ต้า ประกอบด้วย

3.2.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weights and Weighing devices) 1 ชุด ตามมาตรฐาน C 1005

3.2.3.2 กระจกตวง (Glass Graduates) 1 ชุด สามารถตวงน้ำซึ่งใช้เป็นส่วนผสมได้ในปริมาณที่เพียงพอแก่การใช้ภายใน 1 ครั้ง และมีขีดแบ่งอย่างน้อย 5 ml. ขกเว้นอุปกรณ์ขนาด 250 ml. ให้มีขีดแบ่งอย่างน้อย 25 ml.

3.2.3.3 แบบหล่อมอร์ต้ารูปลูกบาศก์ (Specimen Molds) ใช้แบบหล่อมอร์ต้ารูปลูกบาศก์ขนาด 2 นิ้ว หรือ 50 มม. ที่สามารถหล่อมอร์ต้าได้ไม่เกิน 3 แบบ และ แบบหล่อจะแยกได้ไม่เกิน 2 ส่วน

3.2.3.4 เครื่องผสม (Mixer, Bowl and Paddle) 1 ชุดเป็นไปตามมาตรฐาน C 305

3.2.3.5 แท่นทดลองการไหล (Flow table and Flow mold) 1 ชุดเป็นไปตามมาตรฐาน C 230

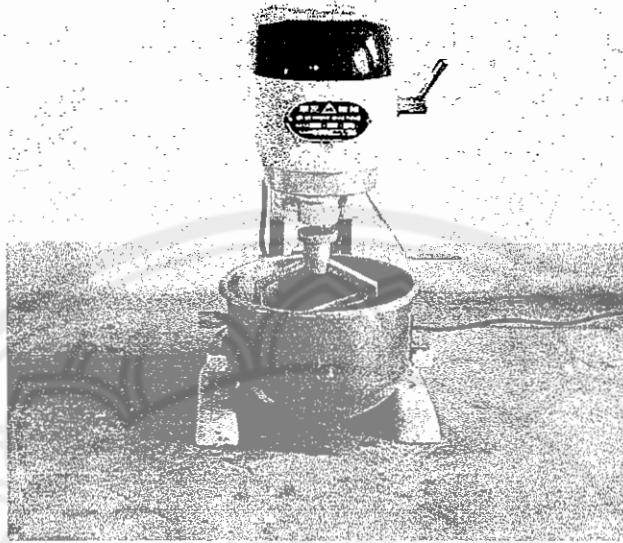
3.2.3.6 แท่นกระทุ้งมอร์ต้ามาตรฐาน (Tampor) 1 อัน

3.2.3.7 เกรียงมาตรฐาน (Trowel) 1 อัน

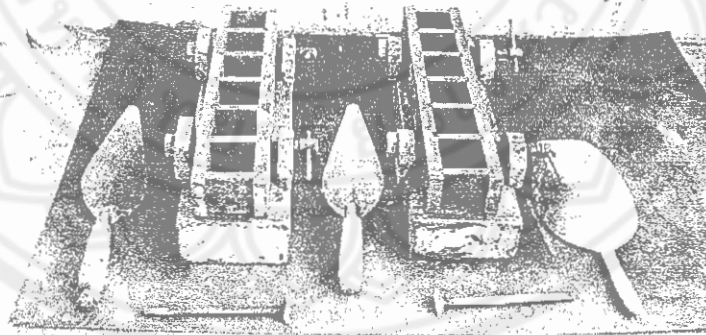
3.2.3.8 อ่างน้ำบ่มก้อนลูกปูนมอร์ต้า (Moist Cabinet)

3.2.3.9 เครื่องทดสอบการรับแรงอัด (Testing Machine)

แสดงดังรูปที่ 3.2 ถึง 3.3



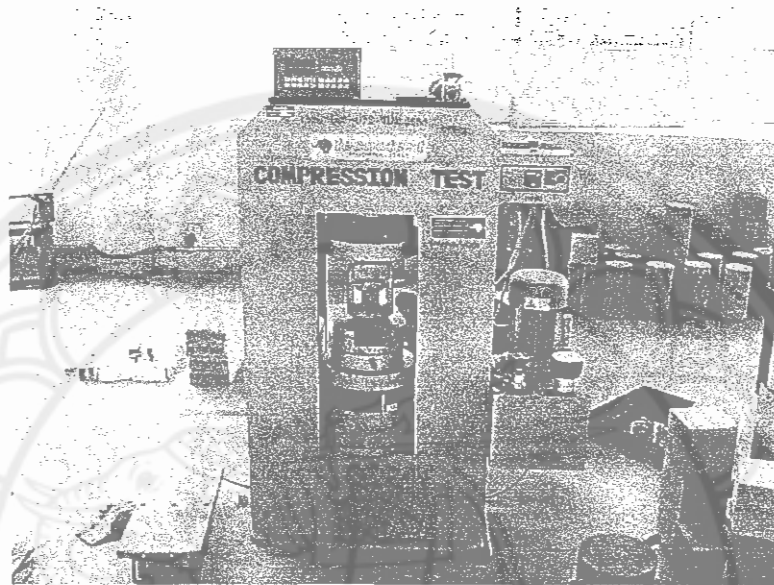
รูปที่ 3.2 เครื่องผสม (Mixer, Bowl and Paddle)



รูปที่ 3.3 แบบหล่อมอร์ต้ารูปลูกบาศก์ (Specimen Molds), แท่นกระทุ้งมอร์ต้ามาตรฐาน (Tampers) และ เกรียงมาตรฐาน (Trowel)

3.2.4 เครื่องมือทดสอบ

ทดสอบหาค่ากำลังอัดของลูกปูนมอร์ต้า โดย Universal Testing Machine แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบการรับกำลังอัด (Testing Machine)

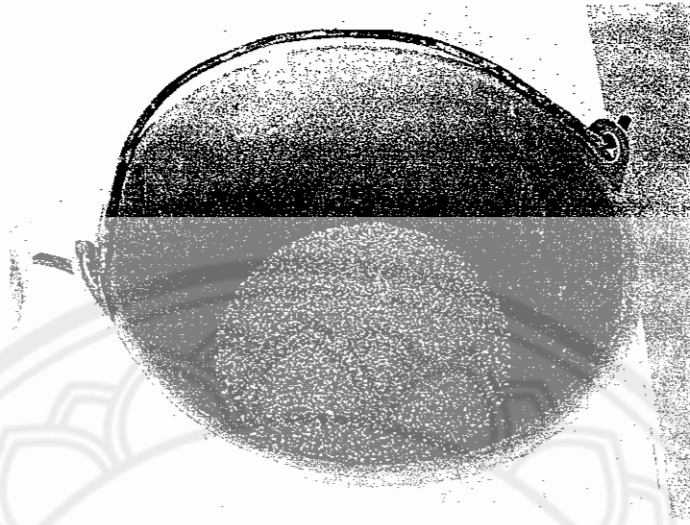
3.2.5 วัสดุ ประกอบด้วย

3.2.5.1 ทรายมาตรฐานชนิด Graded Sand ตามมาตรฐาน ASTM C 778

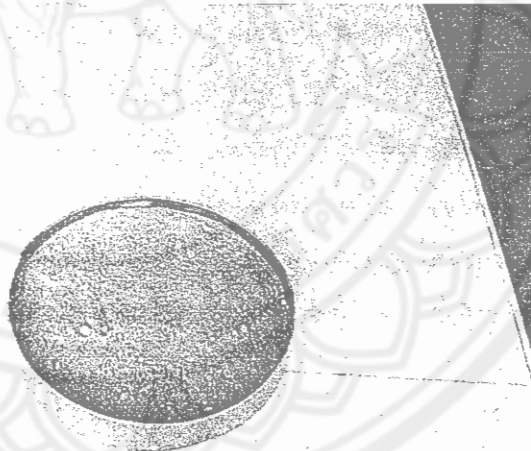
3.2.5.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

3.2.5.3 ถ้ำตะกอนน้ำประปา ที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100

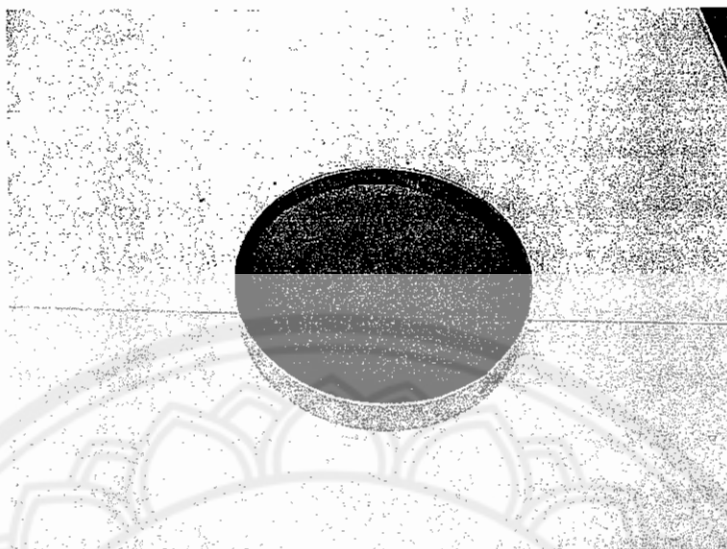
แสดงดังรูปที่ 3.5 ถึง 3.7



รูปที่ 3.5 ทรายนมาตรฐานชนิด Graded Sand ตามมาตรฐาน ASTM C 778)



รูปที่ 3.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คราซัง



รูปที่ 3.7 ถ้ำตะกอนน้ำประปา ที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมถ้ำตะกอนน้ำประปา

ทั้งถ้ำตะกอนน้ำประปาจะมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. นำตะกอนน้ำประปามาเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 30 นาที
2. นำถ้ำตะกอนน้ำประปาที่ได้มาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16, 30, 40, 50 และ 100 โดยในการทดลองนี้จะนำเฉพาะถ้ำที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อเลือกเฉพาะอนุภาคละเอียดมาใช้งาน

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ้ำตะกอนน้ำประปา

จะทำการทดสอบ ดังนี้

- ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของถ้ำตะกอนน้ำประปาโดยมีวิธีทดสอบดังนี้
 1. จัดเตรียมน้ำในอ่างให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20°C ตามที่กำหนดไว้ พยายามควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง

2. เทน้ำมันก๊าดลงในขวดทดลองมาตรฐานเลขแซททีเลียร์ จนกระทั่งระดับน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่างขีดบอกปริมาตร 0 และ 1 ml. คอขวดซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดควรเช็ดให้แห้ง

3. จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำในข้อที่ 1 แล้วให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดและน้ำในอ่างเท่ากัน อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง

4. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งแรก จากนั้นค่อยๆ ใส่เถ้าที่ต้องการทดสอบลงในขวดทดลอง ในการใส่เถ้าควรไม่ให้เถ้าที่ต้องการทดสอบกระจาย และจะต้องระวังไม่ให้เถ้าเกาะติดตามคอขวดทดลองด้วย

5. ปล่อยให้ระดับของน้ำมันก๊าดขึ้นมาอยู่ระหว่างช่วงของขีดบอกปริมาตรส่วนบนของขวดทดลอง จากนั้นทำการไล่ฟองอากาศซึ่งอาจเกาะอยู่กับผิวก้นเถ้าที่ต้องการทดสอบ การไล่ฟองอากาศให้ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้ว แล้วเอียงขวดและหมุนซ้ำๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาอีก

6. จุ่มขวดทดลองลงในอ่างน้ำอีกครั้งหนึ่งเช่นเดียวกับข้อ 3 ก่อนจะอ่านปริมาตรทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองจะต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในการอ่านครั้งแรกและครั้งที่สองแตกต่างกันไม่เกินกว่า 0.2°C

7. อ่านอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง

8. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งหลัง ผลต่างของน้ำหนักของการชั่งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของเถ้าที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง

9. ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จากข้อ 2 ถึงข้อ 8 จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

3.3.3 การเตรียมส่วนผสมมอร์ต้า

1. สัดส่วนของวัสดุสำหรับมอร์ต้าที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าตะกอนน้ำประปาโดยน้ำหนัก คือ ปูนซีเมนต์และเถ้า 1 ส่วน ต่อทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วน โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/b)

2. ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมแต่ละครั้งการทำมอร์ต้าสำหรับก้อนทดสอบ 15 ก้อนจะเป็นไปตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมมอร์ต้าที่ปูนซีเมนต์ถูกแทนที่ด้วยเถ้าตะกอนน้ำประปา จำนวน 15 ก้อน

วัสดุ	เปอร์เซ็นต์การแทนที่					
	0	10	20	30	40	50
ปูนซีเมนต์ (กรัม)	1,350	1,100	1,040	1,000	1,000	900
ทราย (กรัม)	3,712.5	3,025	2,860	2,750	2,750	860
เถ้าตะกอนน้ำประปา (กรัม)	0	110	208	300	400	450
น้ำ (กรัม)	540	484	499.2	520	560	540

3.3.4 วิธีการผสมมอร์ต้า

เตรียมใบพายแห้งและอ่างผสมที่แห้งสนิทให้อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะผสมได้ แล้วเทวัสดุสำหรับการผสมหนึ่งครั้งลงไปอ่างผสม โดยลำดับดังต่อไปนี้

1. เทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสม
2. เติมน้ำปูนซีเมนต์ลงไปและเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำ (140 ± 5 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที
3. ในขณะที่เดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำนี้ ให้เติมทรายที่เตรียมไว้ลงไปอย่างช้าๆ ให้หมดภายในเวลา 30 วินาที
4. หยุดเครื่องผสมให้เปลี่ยนไปเป็นอัตราเร็วปานกลาง (285 ± 10 รอบต่อนาที) แล้วเดินเครื่องผสมต่อไปอีก 30 วินาที
5. หยุดเครื่องผสมเป็นเวลา 1.5 วินาที ให้รับชมมอร์ต้าที่ติดอยู่ข้างๆ อ่างผสมให้ลงไปรวมกันเสร็จภายใน 15 วินาที แล้วใช้ผ้าปิดอ่างผสม
6. เดินเครื่องผสมต่อไปอีก 1 นาที ในอัตราเร็วปานกลาง (285 ± 10 รอบต่อนาที)

3.3.5 การหล่อก้อนทดสอบ

1. สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมแล้วให้ทิ้งมอร์ต้าไว้ในอ่างผสมต่อไปอีก 90 วินาที โดยไม่มีอะไรปิด ในระหว่างเวลา 15 วินาทีสุดท้ายของช่วงเวลาที่ทิ้งไว้นี้ ให้ปาดมอร์ต้าที่ติดตามข้างอ่างลงไป แล้วผสมใหม่อีก 15 วินาที ด้วยอัตราเร็วปานกลาง หลังจากนั้นให้ปาดมอร์ต้าที่ติดใบพายลงไปอ่างผสม

2. ให้เริ่มหล่อก้อนทดสอบภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที นับตั้งแต่ผสมมอร์ต้าครั้งแรกเสร็จ เอมอร์ต้าใส่ลงในแบบหล่อทุกช่องหนาประมาณ 25 มม. (ประมาณครึ่งหนึ่งของความลึก

แบบหล่อ) ให้กระทิ้งมอร์ด้าในแต่ละช่องด้วยแท่งกระทิ้งจนครบ 32 ครั้ง ในเวลาประมาณ 10 วินาที โดยกระทิ้งช่องละ 4 รอบ รอบละ 8 ครั้งในตำแหน่งติคๆ กันตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และการเรียงตำแหน่งการกระทิ้งในรอบถัดไปต้องตั้งฉากกับแนวกระทิ้งครบ 4 รอบเสียก่อนแล้วจึงกระทิ้งเช่นเดียวกับครั้งแรก ในระหว่างการกระทิ้งชั้นที่ 2 แต่ละรอบ ให้ใช้แท่งกระทิ้งกับนิ้วมือที่สวมถุงมือเก็บปาดมอร์ด้าที่ล้นออกมาบนขอบแบบหล่อเล็กน้อย ใช้เกรียงปาดมอร์ด้าที่ล้นขอบแบบลงมาในแบบแล้วปาดผิวให้เรียบ (โดยเหยอหน้าเกรียงเล็กน้อย) ไปตามทางขวางของแบบหล่อแต่ละช่องเพียงครั้งเดียว ต่อจากนั้นเพื่อให้ผิวมอร์ด้าเรียบและให้มอร์ด้าที่นูนออกมาเหนือแบบมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น ให้ใช้เกรียงปาดเบาๆ หนึ่งครั้งตลอดความยาวของแบบหล่อ (โดยเหยอหน้าเกรียงเล็กน้อย) ตัดผิวหน้าของมอร์ด้าให้เรียบเสมอบนขอบแบบหล่อ โดยใช้ขอบด้านตรงของเกรียงวางเกือบตั้งฉากกับแบบ แล้วขยับเกรียงไปมาในลักษณะเช่นเดียวกับการเลื่อยตลอดความยาวของแบบหล่อ

1	2	3	4
8	7	6	5

รอบที่ 1 และ 3

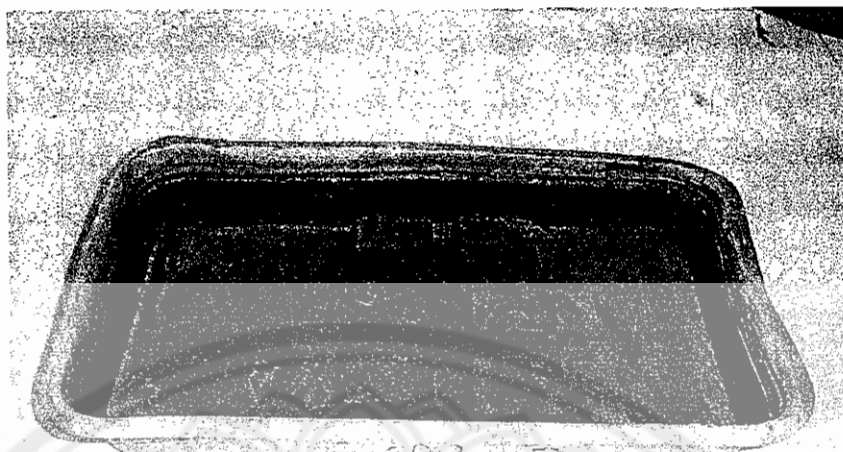
4	5
3	6
2	7
1	8

รอบที่ 2 และ 4

รูปที่ 3.8 ลำดับการกระทิ้งในการหล่อก่อนทดสอบ

3.3.6 การบ่มก้อนทดสอบ

การบ่มก้อนทดสอบต้องบ่มในตู้ขึ้นหรือห้องที่ขึ้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และคงอยู่ในแบบหล่อนับตั้งแต่หล่อเสร็จ โดยให้ผิวบนเปิดสัมผัสกับอากาศขึ้น แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำหยดลงบนผิวแล้วจึงถอดแบบ ถ้าต้องการถอดก่อน 24 ชั่วโมง แต่ไม่น้อยกว่า 20 ชั่วโมง ก็ให้บ่มก้อนทดสอบที่ถอดแบบออกแล้วนั้นต่อไปในตู้ขึ้นจนครบ 24 ชั่วโมง สำหรับก้อนทดสอบที่จะทดสอบเมื่ออายุเกิน 24 ชั่วโมง ให้แช่น้ำที่สะอาดในที่สร้างด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การบ่มลูกปูนมอร์ต้า

3.3.7 วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัด

1. ให้ทดสอบก้อนทดสอบทันทีหลังจากที่นำออกมาจากตู้ขึ้นหรือจากอ่างน้ำที่แช่ก้อนทดสอบไว้และต้องทดสอบให้เสร็จภายในอายุที่กำหนด โดยยอมให้ระยะเวลาลาดเคลื่อนได้ดังในตารางที่ 3.2 ถ้านำก้อนทดสอบออกจากตู้ขึ้นครั้งหนึ่งๆ มากกว่า 1 ก้อนสำหรับการทดสอบครบอายุ 1 วัน จะต้องใช้ผ้าชื้นคลุมก้อนทดสอบไว้จนถึงเวลาทดสอบ ถ้าจำเป็นต้องนำก้อนทดสอบออกมาจากอ่างแช่มากกว่า 1 ก้อน จะต้องเอามาแช่น้ำธรรมดาที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ให้ท่วมก้อนทดสอบจนถึงเวลาทดสอบ
2. เช็ดผิวก้อนทดสอบแต่ละก้อนให้แห้ง ปิดเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าด้านที่สัมผัสกับแป้นของเครื่องที่ทดสอบออกให้หมดแล้วตรวจผิวหน้าทั้ง 2 ด้านนั้นโดยใช้บรรทัดเหล็กทาบ หากปรากฏว่าผิวหน้าโค้ง ต้องฝนให้เรียบหรือทิ้งก้อนทดสอบนั้นไป ส่วนพื้นที่หน้าตัดของก้อนทดสอบนั้นให้สุ่มมาตรวจบ้าง
3. วางก้อนทดสอบให้อยู่ได้ศูนย์กลางเป็นกคตัวบนโดยให้ผิวด้านที่สัมผัสกับแป้นหล่อเป็นด้านที่รับแรงกดและต้องให้แน่ใจว่าเป็นกคตัวนั้นเอง ได้อย่างอิสระห้ามใช้แผ่นรองหรือวัสดุรองพื้นใดๆ ทั้งสิ้น สำหรับก้อนทดสอบที่คาดว่าจะต้องใช้แรงกดสูงสุดเกิน 13 กิโลนิวตัน ให้ใช้แรงกดขึ้นต้นด้วยอัตราอันสมควร จนถึงประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกดสูงสุดที่คาดว่าจะก้อนทดสอบที่จะรับได้ แล้วเพิ่มแรงกดที่เหลือโดยไม่หยุดชะงักภายใน 20 ถึง 80 วินาที สำหรับก้อนทดสอบที่คาดว่าจะรับแรงกดที่สูงสนน้อยกว่า 13 กิโลนิวตันนั้น ไม่ต้องใช้แรงกดขึ้นต้น ให้ใช้แรงกดขึ้นสูงสุด

โดยไม่หยุดชะงักจนได้แรงกดสูงสุดภายใน 20 ถึง 80 วินาที ห้ามปรับกลไกควบคุมเครื่องทดสอบ ในขณะที่ก๊อมนทดสอบบรอก (yield) ก่อนแตก

4. ทำการบันทึกแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ คำนวณหากำลังอัดได้ตามสมการ

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

โดยที่

f_u = กำลังอัดประลัย, ksc

P = แรงประลัย, kg

A = พื้นที่หน้าตัด, cm^2

5. วิธีการเลือกค่าตัวแทนข้อมูลของกำลังอัด จะใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดทั้ง 3 ค่า ในกรณีที่ค่าทั้งหมดมีการเกาะกลุ่มกันคือ ค่าสูงสุดกับต่ำสุดต่างกันไม่เกิน 7% หรือใช้ วิธีค่าเฉลี่ยจาก 2 ค่าที่เกาะกลุ่มหรือใกล้เคียงกันที่สุด