

## บทที่ 2

### วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และขั้นตอนการทดสอบแท่งตัวอย่างมอร์ต้าและคอนกรีต ซึ่งเป็นบทที่สำคัญที่สุดของโครงการวิจัยนี้ ก่อนทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมตัวเกี่ยวกับอุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เพื่อจะได้ทำการทดลองได้ทันทีและช่วยให้การดำเนินงานในการทำโครงการวิจัยเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ อีกทั้งการเตรียมวัสดุที่ดีและการทำการทดลองเป็นขั้นตอนจะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

#### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1.1 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อMettler Teledo รุ่น PB 302 ผลิตจากประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 2.1.2 เครื่องชั่งหินทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Teledo ผลิตจากประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 2.1.3 กระบอกลดขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร
- 2.1.4 กรวยทดสอบทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในด้านบน 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ฐาน 90 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร และหนา 0.8 มิลลิเมตร
- 2.1.5 เหล็กกระทุ้ง (Tampor) มีน้ำหนัก 340 กรัม เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
- 2.1.6 ตู้อบ ยี่ห้อ SHELLAB รุ่น 1390FX ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.1.8 ถาดอลูมิเนียม
- 2.1.9 ชุดทดสอบการไหลของมอร์ต้า (Flow Test) ยี่ห้อ ENDECOTTS รุ่น EFL 2000/2 SIN 14540-97 ผลิตจากประเทศ อิตาลี
- 2.1.10 เหล็กต๋า (Tamping Rod) ทำจากเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ปลายกลมมน
- 2.1.11 แบบหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ต้าทำจากเหล็กทรงลูกบาศก์ กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร

- 2.1.12 แบบหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต ทำจากเหล็กหล่อเป็นทรงลูกบาศก์ กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร
- 2.1.13 ชุดทดสอบกำลังอัด (Compressive Machine) ยี่ห้อ TECHNOSTEST ผลิตจากประเทศอิตาลี
- 2.1.14 Dial Gauge ยี่ห้อ TECHNOSTEST รุ่น T 630/1 ผลิตจากประเทศเยอรมันนี
- 2.1.15 ตะกร้าสำหรับซังหินในน้ำ
- 2.1.16 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ สปริง ถังเหล็ก ยี่ห้อ CAPACITY ไม่มีรุ่น ผลิตจากประเทศไทย
- 2.1.17 เครื่องผสมมอร์ต้า ยี่ห้อ HVA MIN MARCHINE HONDUR PRODUCT รุ่น HS 100 ผลิตจากประเทศไทย
- 2.1.18 โม่แบบ Pan ยี่ห้อ BATON MIXER ไม่มีรุ่น ผลิตจากประเทศไทย

## 2.2 วัสดุที่ใช้

- 2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Type 1) ตราช้าง ผลิตจากบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย ซึ่งแต่ละถุงหนัก 50 กิโลกรัม บรรจุในถุงกระดาษเป็นอย่างดี ไม่มีรอยร้าว และถูกเก็บในที่แห้ง ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้จะต้องมีเม็ดปูนละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อน
- 2.2.2 ทราย
- 2.2.3 หิน
- 2.2.4 น้ำ ใช้น้ำประปาที่สะอาด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จากห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยีภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธนเรศวร
- 2.2.5 สารผสมเพิ่ม ในการทดลองนี้ ใช้สารผสมเพิ่มประเภท เถ้าลอย (Fly Ash) จากแหล่งคือ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

## 2.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

### 2.3.1 ทราย

ใช้ทรายแม่น้ำ จาก ต.หนองแขม อ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร ซึ่งเป็นทรายหยาบนำไปล้างให้สะอาด ผึ่งแดดให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แล้วจึงนำทรายไปเก็บไว้ในถุงพลาสติก ปิดฝาให้สนิท ก่อนที่จะทำการผสมคอนกรีตทุกครั้ง จะต้องนำทรายที่จะใช้มาหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำเพื่อทำการปรับลดน้ำที่จะใช้ในการผสมคอนกรีตในแต่ละครั้ง เพื่อที่จะได้สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ได้ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

### 2.3.2 หิน

ใช้หินขนาด 3/8 นิ้ว จาก โรงโม้ศิลากำแพงเพชร ของ หจก. ศิลากำแพงเพชร  
 ต. พรานกระต่าย อ. พรานกระต่าย จ. กำแพงเพชร ก่อนใช้จะต้องล้างหินด้วยน้ำ  
 สะอาด และตากให้แห้งแล้วจึงเก็บหินที่แห้งไว้ในถังพลาสติก ปิดฝาให้สนิท

### 2.3.3 เล้าลอย

เล้าลอยที่นำมาใช้นั้นนำมาจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งเป็น  
 กากผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ในการเก็บเล้าลอยนั้นต้องเก็บ  
 ในสภาวะที่แห้ง ปราศจากความชื้น โดยเก็บไว้ในถุงดำมัดปากถุงแล้วนำถุงดำ  
 เก็บไว้ในถังพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง

### 2.3.4 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ตราช้างแดง ผลิตจากบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) โดย  
 การเก็บปูนซีเมนต์นั้น ต้องเก็บในสภาวะที่แห้ง ไม่มีความชื้น เพื่อที่ปูนซีเมนต์จะ  
 ได้ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน

## 2.4 วิธีการทดลอง

ก่อนที่จะทำการผสมคอนกรีตในแต่ละครั้งนั้นต้องมีการทดสอบหาค่าต่าง ๆ ของ  
 วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตทุกครั้ง ในการหาค่าต่าง ๆ นั้นต้องหาดังวิธีดังต่อไปนี้

### 2.4.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำและความชื้นของทราย

2.4.1.1 ใช้ทรายตัวอย่างจากถังที่เก็บทรายประมาณ 1000 กรัม ที่ผ่านการทดสอบว่าทราย  
 มีการไหลตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว โดยการเททรายนั้นลงในกรวยโลหะจน  
 เต็มแล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งเป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรง ๆ ใน  
 แนวตั้ง ถ้าพบว่าทรายยุบตัวลงเล็กน้อย แสดงว่าทรายอยู่ใน  
 สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ( SSD ) แล้ว แต่ถ้าทรายยังคงเป็นรูปกรวยอยู่ ให้ทำทรายให้  
 แห้งโดยการผึ่งทรายให้แห้ง แล้วทดสอบให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ( SSD )  
 อีกครั้ง

2.4.1.2 จากนั้นให้เททราย จำนวน 500 กรัม ลงในกระบอกตวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีด  
 ระดับประมาณ 450 มล.

- 2.4.1.3 นำกระบอกตวงในข้อ 3) ไปเขย่า เพื่อไล่ฟองอากาศออก แล้วเติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล.
- 2.4.1.4 ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวง ทราซ และ น้ำ ทั้งหมด บันทึกค่า
- 2.4.1.5 เททรายออกจากกระบอกตวงใส่ถาดโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ถึง 1.5 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักที่แห้ง
- 2.4.1.6 ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำหนักที่ระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส
- 2.4.1.7 คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง ความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และร้อยละการดูดซึม
- 2.4.1.8 นำทรายตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละถัง มาถึงละ 2 จุด ใส่กระป๋องอลูมิเนียม ชั่งน้ำหนักทรายรวมน้ำหนักกระป๋อง บันทึกค่าน้ำหนักทั้ง 2 กระป๋อง (เขียนสัญลักษณ์ไว้ที่ข้างกระป๋อง)
- 2.4.1.9 นำทรายที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในข้อ 2.4.2.8 ทั้งหมด นำไปอบที่เตาอบอุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2.4.1.10 นำทรายในแต่ละกระป๋องที่ผ่านการอบให้แห้งทิ้งไว้ 1 ถึง 1.5 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักทรายแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง ทุกกระป๋อง
- 2.4.1.11 เททรายที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ถาดไว้ แล้วจึงชั่งน้ำหนักกระป๋องเปล่า แต่ละกระป๋อง บันทึกค่าน้ำหนักกระป๋องเปล่า แล้วคำนวณหาความชื้นเฉลี่ยของทราย

#### การคำนวณ

คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

โดยที่ B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล., กรัม

## 2.4.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำและความชื้นของหิน

2.4.2.1 นำตัวอย่างหินที่เก็บไว้ในถัง ออบในเตาที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 3 ชั่วโมง

2.4.2.2 จากนั้นนำหินไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.2.3 ทำหินให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง โดยนำหินแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้าสะอาด ให้น้ำที่เกาะตามผิวของหินถูกดูดซับไป โดยที่ผิวของหินยังขึ้นอยู่กับหลักเสี่ยงอย่าให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู แล้วจึงชั่งหินในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง บนเครื่องชั่งในอากาศ

2.4.2.4 เทหินในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ลงในตะกร้าลวดเหล็ก แล้วชั่งน้ำหนักในน้ำโดยใช้เครื่องชั่งแบบสปริง

2.4.2.5 จากนั้นนำเอาหินไปอบในในตู้อบอุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น 1 ถึง 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

2.4.2.6 คำนวณหาความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของหิน

2.4.2.7 นำตัวอย่างหินที่เก็บไว้ในถัง มาชั่งน้ำหนักหินรวมถาด บันทึกค่า จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2.4.2.8 นำหินที่อบแห้งแล้วทิ้งไว้ 1 ถึง 3 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักหินแห้ง แล้วคำนวณหาค่าความชื้นของหินที่เก็บไว้ในถัง

### การคำนวณ

คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface – Dry) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = \frac{B}{B - C}$$

โดยที่ B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งน้ำ, กรัม

### 2.4.3 การทดสอบการขยายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตามมาตรฐาน ASTM 1012 ต้องทำการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ และการทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ด้วยจึงสามารถทำการทดสอบหาการยืดยาวตัวของมอร์ตาร์ได้ โดยการทดลองมีสองประเภท คือ แบบเร่งปฏิกิริยา ( ใช้สารเคมีเข้มข้นมากกว่าในธรรมชาติ) และแบบไม่เร่งปฏิกิริยา ( ใช้สารเคมีเข้มข้นเท่ากับที่มีในธรรมชาติ)

ในที่นี้ใช้แบบเร่งปฏิกิริยา เพราะที่ใช้เวลาน้อยกว่า

#### การทดสอบการไหลของมอร์ตาร์

1. เตรียมอุปกรณ์ชุดทดสอบการไหลแผ่ให้พร้อม รวมทั้งเช็คแท่นให้สะอาดและแห้ง แล้ววางแบบลงให้อยู่กึ่งกลางของแท่น
2. ให้เตรียมตัวอย่างทรายให้เพียงพอ ตามตารางที่ 2.2 โดยใช้ น้ำในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 และใช้ทรายเท่ากับ 0.4 ของปริมาตรทั้งหมดของมอร์ตาร์ ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์สำหรับการทดสอบการไหลแผ่ของซีเมนต์มอร์ตาร์

Type	Cement ( kg )	Sand ( kg )	Fly Ash ( kg )
P1	3.0	8.25	-
F10	2.7	8.25	0.3
F20	2.4	8.25	0.6
F30	2.1	8.25	0.9
F50	1.5	8.25	1.5
F70	0.9	8.25	2.1

3. การผสมมอร์ตาร์นั้น ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ตาร์ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮครอลิกด้วยเครื่องผสม
4. หลังจากผสมตามข้อ 3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้งด้วย ความเร็วปานกลางเป็นระยะเวลา 15 วินาที
5. เทมอร์ตาร์ที่ผสมแล้วลงในแบบ 1 ชั้น หนาประมาณ 20 มม. แล้วกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง 20 ครั้ง
6. เทมอร์ตาลงไปอีกชั้นให้เต็มแบบแล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เชื่อมมอร์ตาร์ส่วนที่เกินออกให้เรียบ ทำความสะอาดแท่นแล้วยกแบบขึ้นตรง ๆ หลังจากทีผสมมอร์ตาร์เสร็จแล้ว 60 วินาที

7. หมุนให้แท่นตกกระแทกในแนวตั้งสูง 12.7 มม. จำนวน 25 ครั้ง ในเวลา 15 วินาทีเสร็จแล้วให้วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของมอร์ต้าที่กระจายบนแท่น โดยหาค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้งในช่วงห่างเท่า ๆ กัน
8. ให้คำนวณหาการไหลเผ่นจาก

$$\text{การไหลเผ่น, \%} = (D1 - D0) / D0$$

เมื่อ  $D0$  = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแบบ

$D1$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ต้าที่กระจายบนแท่น

ให้ทำการทดลองการไหลเผ่นซ้ำอีกโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ จนกระทั่งได้ การไหลเผ่น  $110 \pm 5\%$  และในการทดลองแต่ละครั้งให้ใช้มอร์ต้าใหม่เสมอ

#### การทดลองหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้า (Test for Compressive Strength of Cement Mortar)

1. ทาน้ำมันชนิดเหลวภายในแบบหล่อตัวอย่างบาง ๆ เพื่อจะได้เก็บแบบได้โดยง่าย
2. เตรียมอัตราส่วนผสมตาม ตารางที่ 2.2 และทำการผสมมอร์ต้า ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนผสมมอร์ต้าสำหรับแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  ซม. จำนวน 24 ตัวอย่าง

Mixer type	W/C	Minoral Addmixer		kg/m <sup>3</sup> of 4 Morta			
		Type	%Replac ement	Cement	Fly Ash	Water	Sand
P1	0.485	-	0	333.33	0.00	161.67	916.50
F10	0.45	Fly Ash	10	300.00	33.33	150.00	916.50
F20	0.43	Fly Ash	20	266.67	66.67	143.33	916.50
F30	0.417	Fly Ash	30	233.33	100.00	139.00	916.50
F50	0.38	Fly Ash	50	166.67	166.67	126.67	916.50
F70	0.37	Fly Ash	70	100.00	233.33	123.33	916.50

3. การผสมมอร์ต้านั้น ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ต้า ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ต้าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม
4. หลังจากผสมตามข้อ 3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้งด้วย ความเร็วปานกลางเป็นระยะเวลา 15 วินาที
5. ให้เริ่มเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อตัวอย่าง โดยใช้ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. ให้

- ครบทุกแบบหล่อ ทุกระหว่างแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้ง ให้เสร็จภายในเวลา 10 วินาที ทุกระหว่างเป็น 4 รอบ โดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่นและทุกระหว่างให้น้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้มอร์ต้าบรรจได้เต็มแบบหล่อเท่านั้น ทุกระหว่างให้ครบ 4 รอบในแต่ละช่องก่อนที่จะไปทุกระหว่างช่องอื่นต่อไปเมื่อทุกระหว่างชั้นแรกเสร็จหมดเรียบร้อยแล้ว ให้ใส่มอร์ต้าส่วนที่เหลือให้เต็มครบทุกแบบหล่อแล้ว ทุกระหว่างเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยให้มอร์ต้าเมื่อทุกระหว่างเสร็จแล้วสูงกว่าแบบเล็กน้อย ใช้เกรียงแต่งให้เรียบร้อย
6. หลังจากที่หล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วแช่ในน้ำที่สะอาด และหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ
  7. ทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าลูกบาศก์ โดยนำไปกดโดยชุดทดสอบ Compressive Strength เพื่อหาลำดับอัดให้อยู่ในช่วง  $3000 \pm 150$  psi ตามมาตรฐาน ASTM C1012

#### วิธีทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า

1. เช็ดผิวแห้งตัวอย่างมอร์ต้าให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าสะอาด
2. วัดขนาด ความยาว ความกว้าง ความสูง ของแท่งตัวอย่างลูกบาศก์ และคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด
3. ทำความสะอาดผิวแท่งกด (Bearing Faces) ทั้งด้านบน และด้านล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
4. วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแล้วเลื่อนผิวกดสัมผัสกับแท่งตัวอย่างทดสอบให้สนิท
5. ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัด และ อัตราการกดลงในเครื่องทดสอบแรงกด
6. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตลอดการกดแท่งตัวอย่างทดสอบ และขณะเครื่องกดทำงานให้สังเกตน้ำหนักที่กดลงบนแท่งตัวอย่าง บนหน้าจอเครื่องกดจนแท่งทดสอบถึงจุดประลัย และกำลังอัดตกลงเรื่อย ๆ จนแท่งตัวอย่างแตก
7. บันทึกค่า กำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องกด และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัยอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง อนึ่งหากกำลังอัดของแต่ละแท่งตัวอย่างแตกต่างกันไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10% แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ไปแล้ว จะต้องมีการทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 3 ค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 3 ค่า ต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมดนำค่าน้ำหนักกด มาพล็อตกราฟกำลังอัดและระยะเวลาในการบ่ม



### ขั้นตอนการทดสอบการขยายตัวของมอร์ต้า

2.4.3.1 ให้เตรียมตัวอย่างทรายให้เพียงพอ ตามตารางที่ 2.2 โดยใช้ น้ำในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 และใช้ทรายเท่ากับ 0.4 ของปริมาตรทั้งหมดของมอร์ต้า

**ตารางที่ 2.3** อัตราส่วนผสมมอร์ต้าสำหรับแท่งตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 20 ซม.

จำนวน 12 ตัวอย่าง

Mixer type	W/C	Minoral Addmixer		kg/m <sup>3</sup> of 2 Morta bar			
		Type	%Replacement	Cement	Fly Ash	Water	Sand
P1	0.485	-	0	833.40	0.00	404.20	2291.60
F10	0.45	Fly Ash	10	750.00	83.34	375.03	2291.60
F20	0.43	Fly Ash	20	666.67	166.67	358.36	2291.60
F30	0.417	Fly Ash	30	583.34	250.00	347.52	2291.60
F50	0.38	Fly Ash	50	416.66	416.67	316.69	2291.60
F70	0.37	Fly Ash	70	250.00	583.34	308.35	2291.60

2.4.3.2 การผสมมอร์ต้านั้น ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ต้า ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ต้าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม

2.4.3.3 หลังจากผสมตามข้อ 3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้งด้วย ความเร็วปานกลางเป็นระยะเวลา 15 วินาที

2.4.3.4 ให้เริ่มเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อตัวอย่าง โดยใส่ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. ให้ครบทุกแบบหล่อ กระทั่งแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้งให้เสร็จภายในเวลา 10 วินาที กระทั่งเป็น 4 รอบโดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่นและกระทุ้งให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้มอร์ต้าบรรจุได้เต็มแบบหล่อเท่านั้นกระทุ้งให้ครบ 4 รอบในแต่ละช่องก่อนที่จะไปกระทุ้งช่องอื่นต่อไปเมื่อกระทุ้งชั้นแรกเสร็จหมดเรียบร้อยแล้วให้ใส่มอร์ต้าส่วนที่เหลือให้เต็มครบทุกแบบหล่อแล้ว กระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรกโดยให้มอร์ต้าเมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วสูงกว่าแบบเล็กน้อย จากนั้นให้ใช้เกรียงแต่งให้เรียบร้อย

2.4.3.5 หลังจากเทหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วแช่ในน้ำที่สะอาด และหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ ให้ครบตามจำนวนวันที่ได้ทำการทดสอบการไหลแล้ว

2.4.3.6 นำแท่งมอร์ตาไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต เข้มข้น 5%

2.4.3.7 เมื่อบ่มตัวจนครบกำหนดเวลาแล้ว ให้นำแท่งมอร์ตาทดสอบการขยายตัวของแท่งมอร์ตาโดยนำไปวัด โดย Dialgag ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.001 มม.

**วิธีการเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟต**

ในการทดลองนี้ใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต เข้มข้น 5% เตรียมได้โดย ในสารละลาย 1 ลิตร ( 1000 cm<sup>3</sup> ) มีสาร โซเดียมซัลเฟตอยู่ 5 g เตรียมได้ดังนี้

1. เตรียมน้ำ 900 g ไว้ในภาชนะสำหรับผสม
2. นำสาร โซเดียมซัลเฟต 50 g ใส่ลงในน้ำที่เตรียมไว้
3. คนให้ละลายเป็นสารละลาย
4. เติมด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายนั้นมีปริมาตร 1 ลิตร

**วิธีวัดการขยายตัวของมอร์ตา**

1. นำแท่งมอร์ตาขึ้นมาจากถังบ่ม เช็ดให้แห้ง
2. เช็กระดับอ้างอิงของ Dialgag
3. วัดแท่งมอร์ตาโดยวัด 3 ครั้งแล้วนำมาเฉลี่ย

สมการที่ใช้คำนวณ 
$$L = (L_x - L_i \times 100) / L_0$$

เมื่อ	$L_x$	=	ความยาวที่วัด ได้เมื่อเวลาในการแช่ซัลเฟตเป็น x ตัปดาห์
	G	=	Gage Length ของมอร์ตา ในที่นี้คือ 190 mm
	$L_i$	=	ความยาวอ้างอิงที่วัด ได้เมื่อเวลาในการแช่ซัลเฟตเป็น x ตัปดาห์
	L	=	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง ไปของมอร์ตาเมื่อเวลาในการแช่ซัลเฟตเป็น x ตัปดาห์(การขยายตัวของมอร์ตา)
	A	=	ตัวอย่างที่ทำการทดสอบตัวที่ 1 (MIX 1)
	B	=	ตัวอย่างที่ทำการทดสอบตัวที่ 2 (MIX 2)

**2.4.4 การทดสอบผลของเถ้าลอยต่อความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีต**

การทดสอบผลของเถ้าลอยต่อความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของคอนกรีตนั้น ในที่นี้จะพิจารณาพิจารณาได้ 2 หัวข้อย่อ ดังนี้ คือผลที่มีต่อกำลังอัด และลักษณะการกัดกร่อนของคอนกรีต ซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังนี้

### 2.4.4.1 ผลที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.4.4.1.1 ทาน้ำมันแบบหล่อรูปลูกบาศก์เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบหล่อไว้บนพื้นที่ราบและมั่นคง

2.4.4.1.2 เตรียมตัวอย่าง หิน ทราย ปูนซีเมนต์ น้ำ และ เถ้าลอยให้เพียงพอ ตามตาราง ที่ 2.2 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 , และ 0.5 ใช้เถ้าเป็นลอยผสมเพิ่ม โดย น้ำหนักปูนซีเมนต์ และใช้ปูนซีเมนต์ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนผสมคอนกรีต สำหรับแท่งรูปลูกบาศก์จำนวน 60 แท่งทดสอบ

Type	kg/m <sup>3</sup> of concrete					kg / 9 Cube of concrete				
	Cement	Fly Ash	Water	Sand	Aggregate	Cement	Fly Ash	Water	Sand	Aggregate
P1	500.00	0.00	175.87	718.99	1141.43	19.74	0.00	6.94	28.39	45.07
F10	450.00	50.00	175.87	718.99	1141.43	17.77	1.97	6.94	28.39	45.07
F20	400.00	100.00	175.87	718.99	1141.43	15.80	3.95	6.94	28.39	45.07
F30	350.00	150.00	175.87	718.99	1141.43	13.82	5.92	6.94	28.39	45.07
P1	500.00	0.00	227.28	676.88	1074.59	19.74	0.00	8.97	26.73	42.43
F10	450.00	50.00	227.28	676.88	1074.59	17.77	1.97	8.97	26.73	42.43
F20	400.00	100.00	227.28	676.88	1074.59	15.80	3.95	8.97	26.73	42.43
F30	350.00	150.00	227.28	676.88	1074.59	13.82	5.92	8.97	26.73	42.43

2.4.4.1.3 เทส่วนผสม หิน ทราย ลงในเครื่อง โม่ ผสมให้หินและทรายเข้ากันหลังจากนั้น เทปูนซีเมนต์ลงไปผสมในเครื่อง โม่ ผสม ให้ หิน ทราย ซีเมนต์ เถ้าลอย เข้ากันได้ดีแล้วจึงเทน้ำลงในเครื่อง โม่ผสมให้คอนกรีตเข้ากันได้ดีใช้เวลา ประมาณ 5 ถึง 10 นาที จึงหยุดโม่แล้วเทคอนกรีตลงในกระบะ

2.4.4.1.4 เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้น ๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว

2.4.4.1.5 เขย่าคอนกรีต โดยใช้แท่งเหล็กกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้น ๆ ชั้นละประมาณ 10 ถึง 15 ซม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็กโดยกระทุ้ง 1 ครั้งต่อพื้นที่ประมาณ 1000 ตารางมิลลิเมตร ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อ การกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่

- 2.4.4.1.6 หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบร้อยด้วย  
เกรียงแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ในห้องที่ชื้น
- 2.4.4.1.7 ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อเท่งทดสอบ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้บ่มเท่ง  
คอนกรีตในน้ำที่สะอาด จนกว่าถึงเวลาทดสอบตามอายุ และ 28 วัน
- 2.4.4.1.8 เมื่อบ่มคอนกรีตครบ 28 วันแล้วให้นำเท่งทดสอบจุ่มน้ำปละลายทิ้งไว้ให้แห้ง  
ประมาณ 10 ถึง 15 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย โซเดียมซัลเฟต
- 2.4.4.1.9 เมื่อถึงเวลาที่จะทำการทดสอบกำลังอัด ให้นำคอนกรีตจุ่มน้ำปละลายทิ้งไว้ให้แห้ง  
ประมาณ 10 ถึง 15 นาที จากนั้นนำไปทดสอบ หากำลังอัดของคอนกรีต

### วิธีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

- วัด และบันทึกค่า ความกว้าง ความยาว และความสูงของเท่งคอนกรีต ชั่งน้ำหนัก  
และบันทึกค่าน้ำหนักของเท่งคอนกรีต
- เคลือบผิวหน้าเท่งทดสอบ ในกรณีที่ผิวหน้าของเท่งคอนกรีตไม่เรียบ ( 1 ด้าน) ให้  
เคลือบผิวหน้าเท่งคอนกรีตด้วยส่วนผสมของกัมมะถันกับผงทรายละเอียด ในการ  
เคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนเท่งทดสอบ และผิวหน้าที่จะต้องใช้  
ต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัดดูที่ใช้เคลือบแข็งตัว ต้องป้องกันการระเหยของน้ำ  
เช่น ใช้ผ้าเปียกคลุมไว้
- ทำความสะอาดผิวแทนกด(Bearing Faces) ทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบ
- วางแท่นตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนผิวแทนกด  
ให้สัมผัสกับแท่งตัวอย่างทดสอบให้สนิท
- ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัด และ อัตราการกด ลงในเครื่องทดสอบแรงกด
- เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ 15 กิโลกรัมต่อตาราง  
เซนติเมตรต่อวินาทีตลอดการกดแท่งตัวอย่างทดสอบ และขณะเครื่องกดทำงานให้  
สังเกตน้ำหนักที่กดลงบนแท่งตัวอย่างบนหน้าจอเครื่องกดจนกระทั่งน้ำหนักขึ้น 200  
กิโลกรัม แล้วเริ่มบันทึกค่าแรงกด และค่าการยุบตัวทุก ๆ 0.05 มม. ( 5 ช่อง Dial  
Gauge ) จนเท่งทดสอบถึงจุดประลัย และกำลังอัดตกลงเรื่อย ๆ จนแท่งตัวอย่าง แตก
- บันทึกค่า กำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องกด และหา  
ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัยอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่าง อนึ่งหากกำลังอัดของแต่ละ  
แท่งตัวอย่างแตกต่างกันไปจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดเกินกว่า 10% แล้ว  
ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ตัดค่าที่ใช้ไม่ได้ไปแล้ว จะต้องมีการ  
ทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 3 ค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ย หากเหลือน้อยกว่า 3 ค่าจะ  
ต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด

## 8. นำค่าน้ำหนักกด มาพล็อตกราฟกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มตัว

### การคำนวณ

$$\text{กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดเฉลี่ย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm<sup>2</sup>)

### 2.4.4.2 การพิจารณาการกัดกร่อน

เป็นการทดสอบ โดยสังเกตการกัดกร่อนของซัลเฟตต่อคอนกรีตที่ผสมเกลือลอยในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเกลือลอยลงไป โดยสังเกตได้จากลักษณะภายนอกคือ การผุกร่อนของคอนกรีต และสีของคอนกรีตได้