

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

การวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่ศึกษาเชิงทดลองและเปรียบเทียบ โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และคุณสมบัติการเป็นฉนวนของปูนฉาบของการใช้เถ้าชีวมวลผสมทดแทนวัสดุมวลรวม ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. เพื่อนำวัสดุที่เป็นของเหลือจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนซึ่งก็คือเถ้าชีวมวลผสม (blended - biomass ash) ที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิง 4 ชนิดรวมกัน ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าเปลือกไม้ เถ้าขี้ข้าวโพด และเถ้าไม้สัก มาปรับปรุง คุณภาพ สำหรับเป็นวัสดุฉาบในการผลิตปูนฉาบมวลเบาที่ทนความร้อน
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติของปูนฉาบที่ใช้อยู่ทั่วไปตามท้องตลาด
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติของปูนฉาบที่ใช้เถ้าชีวมวลผสมทดแทนในปูนซีเมนต์และทราย
4. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในด้านปริมาณและการใช้งานเถ้าชีวมวลผสมมาใช้ผลิตปูนฉาบมวลเบาที่ทนความร้อน
5. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของปูนฉาบในการเป็นฉนวนกันความร้อนของปูนฉาบธรรมดาและปูนฉาบที่ใช้เถ้าชีวมวลผสมในการผลิต

#### 3.1 แผนการทดลอง

แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

##### 3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 และการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวลไม่ทดแทนทรายในอัตราส่วน ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20

การศึกษาส่วนผสมเบื้องต้น เพื่อนำมาใช้ผลิตมอร์ตาร์ มีสัดส่วนการผสม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1  
อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์

| สัญลักษณ์ | อัตราส่วนการแทนที่<br>เถ้าซีเมนต์ (ร้อยละ) | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์<br>ประเภทที่ 1 (กรัม) | ทราย<br>(กรัม) | น้ำ<br>(กรัม) | ปริมาณซีเมนต์<br>(กรัม) |
|-----------|--|--|----------------|---------------|-------------------------|
| OPC 1     | 0  | 400  | 1,600          | 430           | 0                       |
| CBS (5)   | 5  | 400  | 1,520          | 485           | 80                      |
| CBS (10)  | 10   | 400  | 1,440          | 515           | 160                     |
| CBS (15)  | 15   | 400  | 1,360          | 550           | 240                     |
| CBS (20)  | 20   | 400  | 1,280          | 620           | 320                     |
| GBC (5)   | 5  | 380  | 1,600          | 430           | 20                      |
| GBC (10)  | 10   | 360  | 1,600          | 425           | 40                      |
| GBC (15)  | 15   | 340  | 1,600          | 415           | 60                      |
| GBC (20)  | 20   | 320  | 1,600          | 410           | 80                      |

หมายเหตุ OPC 1 แทน มอร์ตาร์ควบคุม  
CBS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าซีเมนต์ไม่บดในทรายในอัตราส่วน  
ร้อยละ x โดยน้ำหนัก  
GBC (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เถ้าซีเมนต์บดในปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน  
ร้อยละ x โดยน้ำหนัก  
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าซีเมนต์

การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1776 - 2542  
และคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแบ่งการทดสอบได้ 5 ส่วน ดังนี้

1. การทดสอบขนาดอนุภาคเถ้าซีเมนต์ (size distribution) มีขั้นตอนการทดสอบขนาดอนุภาคเถ้าซีเมนต์ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) เครื่องมือทดสอบ Laser Particle Size (wet analysis system)

2) วิธีการทดสอบ

- (1) เตรียมตัวอย่างเถ้าซีเมนต์ น้ำหนักประมาณ 10 กรัม
- (2) เถ้าซีเมนต์ที่ทดสอบควรมีการคละขนาด โดยการนำเถ้าซีเมนต์มาจากภาชนะที่บรรจุควรมีการตักมาจากหลาย ๆ ที่ของภาชนะเพื่อจะได้มีการคละขนาดที่เหมาะสม
- (3) นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่อง Laser Particle Size เพื่อขนาดอนุภาคเถ้าซีเมนต์และตัวอย่างที่เข้าเครื่องทดสอบควรทำให้เปียกเล็กน้อย ก่อนทดสอบ
- (4) ภายในเครื่องทดสอบจะมีที่ใส่ตัวอย่างซึ่งจะมีน้ำอยู่ ให้ใส่ตัวอย่างทดสอบน้ำหนักประมาณ 10 กรัม ลงไปภายในน้ำ
- (5) เทคนิคที่ใช้ในการทดสอบคือ Wet Analysis System โดยการใช้ น้ำทดสอบ ซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิห้องให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- (6) บันทึกผลการทดสอบ

2. การทดสอบด้านกำลังรับแรงอัด มีขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าซีเมนต์ ดังนี้

1) การผสมมอร์ตาร์โดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM C305 (Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Paste and Mortars)

(1) เครื่องมือทดสอบ

- ก. เครื่องผสม (mixer) เครื่องผสมประกอบด้วย ตัวเครื่อง ใบพาย และอ่างผสม โดยใบพายและอ่างผสมสามารถแยกประกอบเข้ากับเครื่องได้ ตัวเครื่องสามารถปรับระดับการหมุนของใบพายได้อย่างน้อย 2 ระดับ คือ  $140 \pm 5$  รอบต่อนาที และ  $285 \pm 10$  รอบต่อนาที สามารถปรับระดับระยะห่างระหว่างจุดล่างสุดของใบพาย และด้านล่างของอ่างผสมได้ในช่วง 0.8-2.5 มิลลิเมตร ขนาดของใบพายและอ่างผสมแสดงในรูป โดยอ่างผสมมีความจุประมาณ 4.37 ลิตร
- ข. ตัวปาด (scraper) ตัวปาดมีด้ามยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร มีใบซึ่งทำจากยางกึ่งแข็ง กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร
- ค. เครื่องชั่ง (balance)
- ง. กระบอกตวง

(2) วิธีการผสมมอร์ตาร์

ก. ตีตั้งใบพายและอ่างผสมซึ่งสะอาดและแห้งสนิทแล้วเข้ากับตัวเครื่อง  
 ข. ใส่น้ำจำนวนทั้งหมดของสัดส่วนผสมซึ่งออกแบบไว้ ลงในอ่างผสม  
 ค. ใส่ซีเมนต์จำนวนทั้งหมดของส่วนผสม ซึ่งออกแบบไว้ลงในอ่างผสม  
 ง. เริ่มเดินเครื่องหมุนใบพายเป็นเวลา 30 วินาที ด้วยความเร็ว  
 รอบ  $140 \pm 5$  รอบต่อนาที ค่อย ๆ เททรายจำนวนทั้งหมดของสัดส่วนผสมในช่วงเวลาดังกล่าว  
 ซึ่งออกแบบไว้ให้หมดพอดี

จ. หยุดเครื่องและเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น  $285 \pm 10$  รอบต่อนาที  
 จากนั้นเดินเครื่องเป็นเวลา 30 วินาที

ฉ. หยุดเครื่องเป็นเวลา 90 วินาที ในช่วง 15 วินาทีแรกให้ปาดมอร์ตาร์  
 ที่ติดรอบอ่างผสมออก มารวมกับส่วนที่อยู่กลางอ่างผสม หลังจากนั้นปิดฝา

ช. เริ่มเดินเครื่องที่ความเร็ว  $285 \pm 10$  รอบต่อนาที ต่อเป็นเวลา  
 60 วินาที จากนั้นหยุดเครื่องและนำส่วนผสมนี้ไปทดลองต่อ

2) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าซีเมนต์ (Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars)

(1) เครื่องมือทดสอบ เครื่องทดสอบแรงดึงแรงกด UTM (Universal Testing Machine)

(2) วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ก. ตรวจสอบดูว่าแป้นบาททรงกลมเคลื่อนได้อย่างอิสระ  
 ข. นำแท่งทดสอบเข้าเครื่อง โดยวางด้านข้างของแท่งทดสอบบน  
 ศูนย์กลางของแป้นบาททรงกลม และผิวด้านข้างต้องสัมผัสแป้นบาททรงกลม

ค. เพิ่มแรงอัดด้วยอัตราสม่ำเสมอ จนแท่งทดสอบแตกภายใน 20 - 80  
 วินาที หลังจากเริ่มกดแรง โดยไม่มีการปรับกลไกการควบคุมเครื่องในระหว่างการทดสอบ

ง. บันทึกค่าแรงอัดสูงสุด (กำลังอัดประลัย)

3. การทดสอบการไหล (flow test) ขั้นตอนการทดสอบความสามารถการแผ่ไหลของ  
 มอร์ตาร์ที่ผสมแล้วมีวิธีทดสอบดังนี้

1) เครื่องมือทดสอบ

(1) เครื่องชั่งตรงมาตรฐาน C1005

(2) กระจกตวงมาตรฐาน ASTM C40

- (3) แบบหล่อตัวอย่างขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร และแท่งกระทุ้ง
- (4) เครื่องผสม อ่างผสม และใบพาย ตามมาตรฐาน ASTM C305
- (5) โต๊ะทดสอบการไหล และแบบใส่ตัวอย่างสำหรับการไหล ตามมาตรฐาน

ASTM C230

- (6) เกรียง

## 2) วิธีการทดสอบ

(1) การผสมมอร์ตาร์ ให้ผสมตามวิธีที่กำหนดในการทดลองเรื่องการผสมมอร์ตาร์

(2) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการไหลและกำลังรับแรงอัด ตามที่กำหนดดังตารางที่ 3.1

- (3) การทดสอบการไหล

ก. เช็ดแท่นโต๊ะทดสอบการไหลให้สะอาดและแห้ง

ข. วางแบบลงกลางแท่น

ค. ใส่มอร์ตาร์ลงในแบบสูงประมาณ 25 มิลลิเมตร กระทุ้งโดยรอบ 20 ครั้งด้วยแรงที่พอเพียงให้มอร์ตาร์เต็มแบบได้ จากนั้นเติมมอร์ตาร์ให้เต็มแล้วกระทุ้งเช่นเดิม

ง. ใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้แบบเรียบ โดยวางเกรียงให้แนวขอบเกรียงอยู่ในลักษณะเกือบตั้งฉากกับผิวหน้าแบบ แล้วค่อย ๆ ฉีกมอร์ตาร์ส่วนที่เกินออก

จ. เช็ดแท่นโต๊ะทดสอบการไหลให้แห้งและสะอาด

ฉ. ยกแบบขึ้นตรง ๆ หลังจากผสมเสร็จแล้ว 1 นาที เริ่มหมุนให้แท่นยกขึ้นและตกลงในระยะ 13 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 25 ครั้ง ใน 15 วินาทีทันที

ช. วัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่าง 4 เส้น ซึ่งห่างกันโดยประมาณแล้วว่าจะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 8 ส่วนเท่ากัน จากนั้นหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (davg)

4. การทดสอบด้านระยะเวลาการก่อตัว (setting time) ขึ้นตอนการทดสอบความสามารถในการก่อมอร์ตาร์ที่ผสมเข้าชีวมวล มีวิธีทดสอบดังนี้

### 1) เครื่องมือทดสอบ

- (1) เครื่องมือทดสอบแบบไวแคท
- (2) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
- (3) หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 200 มิลลิลิตร และมีขีดอ่านปริมาตรได้

ละเอียดถึง 1 มิลลิลิตร

- (4) เกรียงเหล็ก
- (5) ถาดสำหรับผสมซีเมนต์
- (6) ภาชนะสำหรับใส่ซีเมนต์
- (7) ถุงมือยาง

## 2) วิธีการทดสอบ

### (1) การทดสอบหาความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์

ก. นำปูนซีเมนต์มาผสมกับน้ำจำนวนหนึ่งโดยให้ผสมน้ำครั้งแรกปริมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรือปริมาณที่เห็นว่าสมควร การผสมมีขั้นตอนดังนี้

- ทำความสะอาดใบพาย หม้อผสม แล้วทำให้แห้งใส่น้ำที่เตรียมไว้ตามกำหนดลงในหม้อผสม
- ใส่ปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในน้ำ และทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ดูดซึมน้ำจนทั่ว 30 นาที
- เริ่มเดินเครื่องหมุนใบพายด้วยความเร็วรอบ  $140 \pm 5$  รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ในช่วงเวลาดังกล่าว ค่อย ๆ เททรายจำนวนทั้งหมดของสัดส่วนผสม ซึ่งออกแบบไว้ให้หมดพอดี
- หยุดเครื่องและเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น  $285 \pm 10$  รอบต่อนาที จากนั้นเดินเครื่องเป็นเวลา 30 วินาที
- หยุดเครื่องเป็นเวลา 90 วินาที ในช่วง 15 วินาทีแรกให้ปาดมอร์ต้าที่ติดรอบอ่างผสมออก มารวมกับส่วนที่อยู่กลางอ่างผสม หลังจากนั้นปิดฝา
- เริ่มเดินเครื่องต่อเป็นเวลา 60 วินาที ที่ความเร็ว  $285 \pm 10$  รอบต่อนาที จากนั้นหยุดเครื่องและนำส่วนผสมนี้ไปทดลองต่อ

ข. จากนั้นให้ใช้มือทั้งสองปั้นซีเมนต์เพสต์ที่ได้ให้เป็นก้อนกลม ๆ อย่างรวดเร็ว แล้วโยนจากมือหนึ่งไปอีกมือหนึ่งสลับกันไป จำนวน 10 ครั้ง โดยให้มือทั้งสองห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร



ค. จากนั้นในขณะที่มือข้างหนึ่งถือซีเมนต์เพสต์ลูกกลมอยู่นั้น ให้อัดซีเมนต์เพสต์เข้าไปทางด้านใหญ่ของแบบวงแหวนรูปกรวยของเครื่องมือไวแคท ซึ่งถือไว้ด้วยมืออีกข้างหนึ่ง

ง. ปาดซีเมนต์เพสต์ที่เกินอยู่ทางด้านใหญ่ของแบบออก โดยใช้มือเลือนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

จ. วางแบบด้านใหญ่ลงบนแผ่นแก้ว แล้วปาดซีเมนต์เพสต์ที่เกินอยู่ทางด้านเล็กออกโดยใช้เกรียงตัดเฉียง ๆ กับด้านบนของแบบ จากนั้นให้ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย โดยใช้ปลายเกรียงแตะ ๆ เท่านั้น ห้ามให้มีการอัดซีเมนต์เพสต์ด้วยแรงใด ๆ ทั้งสิ้น

ฉ. ให้ทำการทดสอบหาระยะที่เข็มจมลงไปเมื่อปล่อยเข็มขนาด 1 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไปหลังจากที่เตรียมตัวอย่างเสร็จ เรียบร้อยแล้ว 30 นาที และให้ทำการทดสอบซ้ำทุก 15 นาที หลังจากนั้น (ทุก 10 นาที สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม) จนกระทั่งระยะเข็มจมน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

ช. ในการทดสอบแต่ละครั้ง ให้เลือนปลายเข็มให้แตะกับผิวของเพสต์ จากนั้นให้อ่านสเกลหน้าปัทม์ (หรืออาจตั้งสเกลให้อ่านที่ศูนย์ก็ได้) แล้วปล่อยเข็มให้เลือนลงทันที เป็นระยะเวลา 30 วินาที จากนั้นจึงอ่านสเกลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเข็มจมลงไปเท่าใด (ในกรณีที่เพสต์เหลวมาก อาจใช้มือช่วยเพื่อป้องกันเข็มงอได้)

ซ. ในการทดสอบแต่ละครั้ง ไม่ควรทดสอบใกล้กว่า 6.4 มิลลิเมตร จากจุดเดิม หรือ 9.5 มิลลิเมตร จากขอบด้านในของแบบรูปวงแหวน

ด. หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผ่านไปในขณะที่เข็มจมลงไป 25 มิลลิเมตร ให้จากกราฟ ระยะเวลาที่หาได้คือ ระยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์นั้น ๆ

5. การทดสอบความพรุน (pore size and porosity) มีขั้นตอนการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชีวมวล มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) เครื่องมือทดสอบ Pore Master 60 (Pore Size Distribution)

2) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาดประมาณ  $10 \times 10 \times 1$  มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม 3 ชิ้น

(2) มอร์ตาร์ที่ทดสอบ มีอายุการบ่ม 28 วัน

(3) นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่อง Pore Master 60 เพื่อหาค่าความพรุน (pore size and porosity)

(4) ภายในเครื่องทดสอบจะมีเครื่องใส่ตัวอย่าง (penetrometer) ให้ใส่ตัวอย่างทดสอบประมาณร้อยละ 50 – 80 ของปริมาณของเครื่องใส่ตัวอย่าง โดยน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบประมาณ 0.800 – 1.300 กรัม

(5) เทคนิคที่ใช้ในการทดสอบคือ Pore Sizer โดยการใช้ปรอท (mercury) ที่มีความดันสูงสุด 30,000 psia (207 Mpa) ทดสอบโดยสามารถวัดรูพรุนได้ในช่วง 360 – 0.006 Micron และมีการควบคุมอุณหภูมิห้องให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

(6) บันทึกผลการทดสอบ

### 3.1.2 การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ (heat insulation testing)

มีขั้นตอนการทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เครื่องมือทดสอบ Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)

2. วิธีการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างของมอร์ตาร์ขนาดประมาณ 40x40x15 มิลลิเมตร 2 ชิ้น

2) มอร์ตาร์ที่ทดสอบ มีอายุการบ่ม 7 วัน

3) ควรเลือกมอร์ตาร์ที่มีผิวหน้าเรียบ

4) นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser โดยประกบตัวอย่างทดสอบ 2 ชิ้น เข้าด้วยกัน

5) เทคนิคที่ใช้ในการทดสอบคือ Thermal Constant Analysis (TCA) และ Disk type ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Kapton Insulation (Sensor No. C5501) ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิห้องให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

6) ผลการทดสอบจะได้ค่าการส่งผ่านความร้อน ซึ่งค่าจากการทดสอบเป็นค่าเฉลี่ยที่มีความสม่ำเสมอจากการวัดผลตามพื้นที่ต่าง ๆ ของพื้นผิวของวัสดุที่มีการสัมผัสกับ sensor ส่วนค่าการแผ่ความร้อน และค่าความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งได้จากการคำนวณจากค่าการส่งผ่านความร้อน

7) บันทึกผลการทดสอบ



### 3.2 ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

ประชากรในการวิจัย หมายถึง วัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร ที่มีการพัฒนานำไปเป็นเชื้อเพลิงให้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน จากการนำมาศึกษาในขั้นต้นที่มีอยู่ 4 ชนิด คือ

1. เถ้าแกลบ
2. เถ้าเปลือกไม้
3. เถ้าชังข้าวโพด
4. เถ้าไม้สัก

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย หมายถึง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการนำไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงให้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน พร้อมทั้งการนำไปพัฒนา และการผลิตปุ๋ยหมัก ได้แก่ แกลบ เปลือกไม้ ชังข้าวโพด และไม้สัก เพราะเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการนำมาใช้แทนที่ปุ๋ยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

### 3.3 ตัวแปรในการศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่
  - 1) อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลบดต่อปุ๋ยซีเมนต์ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20
  - 2) อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลไม่บดต่อทรายร้อยละ 0 5 10 15 และ 20
2. ตัวแปรตาม ได้แก่
  - 1) กำลังอัดที่เวลา 1 3 7 14 และ 28 วัน
  - 2) คุณหมุมิการกันความร้อน
  - 3) ค่าความชุ่มน้ำ
  - 4) ระยะเวลาก่อตัว
  - 5) หน่วยน้ำหนัก
  - 6) ความพรุน
3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่
  - 1) วัสดุประสาน คือ ปุ๋ยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำ
  - 2) ปริมาณความต้องการน้ำกำหนดให้มีการแผ่ไหลเบื้องต้น  $110 \pm 5$
  - 3) ขนาดของมอร์ตาร์ (กว้าง x ยาว x สูง)  $5 \times 5 \times 5$  เซนติเมตร

### 3.4 สถานที่ทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการและทดสอบ ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2. ห้องปฏิบัติการและทดสอบ ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
3. ห้องปฏิบัติการและทดสอบภาควิชาสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
4. ห้องปฏิบัติการและทดสอบ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

### 3.5 การเก็บข้อมูล

1. ในหนึ่งชุดการทดสอบ จะประกอบด้วยมอร์ตาร์ 3 ก้อน นำมาทดสอบการรับแรงอัดครั้งละ 1 ก้อน ทดสอบและทำการวัดการรับแรงอัด
2. ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 3 7 14 และ 28 วัน โดยนับจากวันที่เริ่มหล่อแบบ
3. นำค่าการรับแรงอัดทั้ง 3 ก้อนมาเฉลี่ยกัน โดยอ้างอิงค่ามาตรฐาน มอก. 1776-2542
4. การทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหล โดยอ้างอิงค่ามาตรฐาน มอก. 1776-2542 เพื่อหาสัดส่วนความต้องการน้ำของแต่ละสูตร ทำการวัดผลการทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหล
5. การทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัว โดยอ้างอิงค่ามาตรฐาน มอก. 1776-2542 เพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวระยะต้น ทำการวัดผลการทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัว
6. การทดสอบค่าความพรุนของมอร์ตาร์ นำมาทดสอบเมื่อมอร์ตาร์มีอายุการบ่ม 28 วัน โดยทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ทำการวัดผลการทดสอบค่าความพรุน
7. การทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ นำตัวอย่างทดสอบชุดละ 2 ตัวอย่าง โดยทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำการวัดผลการทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อน

### 3.6 การวิเคราะห์และการตีความ

1. คัดเลือกมอร์ตาร์ที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 1776 - 2542
2. เปรียบเทียบมอร์ตาร์แต่ละชุดทดสอบ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐาน มอก. 1776 - 2542
3. นำมาทดสอบค่าความพรุนของมอร์ตาร์
4. นำมาทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนของมอร์ตาร์ โดยมีการเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของแต่ละคุณสมบัติ