

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ใช้ทำการทดลอง วิธีการทดลองต่างๆ และขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้า ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในโครงการวิจัยนี้ โดยก่อนที่จะทำการทดลองควรจะต้องมีการเตรียมการเกี่ยวกับวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง เพื่อความรวดเร็วและยังช่วยให้การดำเนินงานในการทำโครงการวิจัยเป็นไปตามแผนที่ได้วางไว้ อีกทั้งการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ดีและการทำการทดลองที่เป็นขั้นตอนย่อมจะทำให้ผลการทดลองที่ได้ มีประสิทธิภาพตามจุดประสงค์ที่ได้วางไว้

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

- 3.1.2 มาตรฐาน ASTM C 109
- 3.1.2 มาตรฐาน ASTM C 191
- 3.1.3 มาตรฐาน ASTM C 305
- 3.1.4 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่มที่ 1
- 3.1.5 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่มที่ 9
- 3.1.6 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่มที่ 12
- 3.1.7 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่มที่ 19

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Teledo รุ่น PB 302 ผลิตจากประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.2 ถาดอลูมิเนียม
- 3.2.3 ตู้อบ ยี่ห้อ SHELLAB รุ่น 1390 FX ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.2.4 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนทราย ของบริษัท ENDECOTTIS รุ่น EFL 2000/2 ผลิตจากประเทศอังกฤษ
- 3.2.5 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนทราย ของบริษัท ENDECOTTIS รุ่น EFL 2000/2 ผลิตจากประเทศอังกฤษ

- 3.2.6 แบบหล่อมอร์ต้าเพื่อทดสอบกำลังอัด ขนาด 5 x 5 x 5 cm.
- 3.2.7 แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัด ขนาด 25 x 25 x 25 cm
- 3.2.8 ชุดทดสอบกำลังอัด ยี่ห้อ TECHNOTEST ผลิตจากประเทศอิตาลี
- 3.2.9 เกรียง
- 3.2.10 แท่งเหล็ก
- 3.2.11 กระบอกลงน้ำ
- 3.2.12 ชุดเครื่องมือทดสอบระยะก่อตัวไวแคต
- 3.2.13 นาฬิกาจับเวลา

3.3 วัสดุที่ใช้ทำการทดลอง

- 3.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราเพชร ผลิตโดยบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย แต่ละถุงมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม บรรจุในถุงกระดาษเสริมพลาสติกกันความชื้น ไม่มีรอยร้าว และถูกเก็บไว้ในที่แห้ง เนื้อปูนมีเม็ดละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อน
- 3.3.2 ทรายจากจังหวัดพิจิตรพิจิตรที่ล้างสะอาด และถูกเก็บไว้ในที่แห้ง
- 3.3.3 หินจากจังหวัดพิจิตรที่ล้างสะอาด และถูกเก็บไว้ในที่แห้ง
- 3.3.4 ฝุ่นหินจากโรงโม่หิน ส.ว.รฐ จำกัด ที่แยกผ่านตระแกรงมาตรฐาน เบอร์ 100 และถูกเก็บไว้ในที่แห้ง
- 3.3.5 น้ำประปาสะอาด

3.4 การเตรียมวัสดุ

3.4.1 ทราย

นำทรายที่จะใช้ทำการทดลองมาล้างน้ำให้สะอาด โดยสังเกตจากสีของน้ำที่ใช้ล้างมีความใส นำไปผึ่งแดดหรืออบให้ทรายอยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้ง โดยทรายที่ใช้จะต้องมีขนาดกละดั่งที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดคละของทราย

ขนาดตระแกรง	ร้อยละที่ค้างบนตระแกรง
16	0
30	2 + 2
50	72 + 5
100	98 + 2

ทรายที่ได้ทำความสะอาดและหาขนาดคละแล้วควรเก็บไว้ในถังเก็บวัสดุที่มีฝาปิด เพื่อ กันฝุ่นและความชื้น ตามมาตรฐานที่กำหนด

3.4.2 หิน

นำหินที่จะใช้ทำการทดลองมาล้างน้ำให้สะอาด นำไปผึ่งแดดหรืออบให้หินอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ผิวแห้ง โดยหินที่ได้ทำความสะอาดและหาขนาดคละแล้วควรเก็บไว้ในถังเก็บวัสดุที่มีฝาปิด เพื่อ กันฝุ่นและความชื้น ตามมาตรฐานที่กำหนด

3.4.3 ฝุ่นหิน

เป็นฝุ่นหินที่ได้มาจากการย่อยหิน แล้วคัดแยกขนาดของหินเกิดมีฝุ่นจากหินที่มีขนาดเล็กมาก โดยฝุ่นหินที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ นำมาจาก โรงโม่หิน ศ.ว.รัฐ จำกัด แล้วนำฝุ่นหินจาก แหล่งไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 100 นำไปเก็บไว้ในถังเก็บวัสดุที่มีฝาปิดเพื่อ กันฝุ่น และความชื้น เตรียมสำหรับทำการทดลองต่อไป

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การทดสอบหาขนาดคละของทรายและค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย

3.5.1.1 ทำความสะอาดทรายที่ได้จากแหล่งให้สะอาด จากนั้นจึงนำทรายไปอบที่ อุณหภูมิ 110 – 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.1.2 นำทรายที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 500 กรัม เพื่อใช้หาขนาดคละและค่าโมดูลัส ความละเอียด

- 3.5.1.3 นำตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 ,8 16 ,50 ,100 และถาด มาเรียงกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า โดยให้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่อยู่ข้างบนเรียงกันลงมาตามลำดับ
- 3.5.1.4 เททรายลงบนตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 ซึ่งอยู่บนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าทราย เปิดสวิทช์เครื่องเขย่า ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีแล้วจึงปิดสวิทช์
- 3.5.1.5 ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด รวมทั้งทรายที่ค้างในถาดด้วย โดยเครื่องชั่งที่ใช้ต้องเป็นเครื่องชั่งที่อ่านค่าละเอียดถึง 0.01 กรัม
- 3.5.1.6 คำนวณร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
- 3.5.1.7 คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)
- 3.5.1.8 นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาเขียนกราฟจะได้แผนภูมิขนาดคละของทราย
- 3.5.2 การทดสอบหาขนาดคละของหิน
- 3.5.2.1 ทำความสะอาดหินที่ใช้ทดลองให้สะอาด หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 – 115 องศาเซลเซียส
- 3.5.2.2 นำหินที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เพื่อให้หาขนาดคละของหิน
- 3.5.2.3 นำตะแกรงมาตรฐานขนาด 2” 1½” ¾” ½” 3/8” และถาด มาเรียงกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า โดยให้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่อยู่ข้างบน เรียงกันลงมาตามลำดับ
- 3.5.2.4 เททรายลงบนตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 ซึ่งอยู่บนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าทราย เปิดสวิทช์เครื่องเขย่า ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีแล้วจึงปิดสวิทช์
- 3.5.2.5 ชั่งน้ำหนักหินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด รวมทั้งหินที่ค้างในถาดด้วย
- 3.5.2.6 คำนวณร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
- 3.5.2.7 คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)
- 3.5.2.8 นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดมาเขียนกราฟจะได้แผนภูมิขนาดคละของหิน
- 3.5.3 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต
- 3.5.3.1 เตรียมตัวอย่างซีเมนต์และฟูนหิน ตามส่วนผสมดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์

ส่วนผสม	ซีเมนต์ (กรัม)	ฝุ่นหิน (กรัม)	น้ำ (กรัม)	W/C
0 %	325	0	84.5	0.26
5 %	308.75	16.25	84.5	0.274
10 %	292.5	32.5	84.5	0.288
20 %	260	65	84.5	0.325
30 %	227.5	97.5	84.5	0.371

3.5.3.2 ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเกลี่ยให้มีลักษณะเป็นรูปกรวยภูเขาไฟ แล้วค่อยๆ ใส่น้ำตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้

3.5.3.3 ผสมน้ำกับซีเมนต์ให้เข้ากันและปั่นเป็นก้อนกลมๆอย่างรวดเร็ว

3.5.3.4 กดซีเมนต์เพสต์ใส่พิมพ์วงแหวนและตัดแต่งผิวทั้งสองด้านให้เรียบ

3.5.3.5 เขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผ่านไป ในขณะที่เข็มจมลงไป 25 มิลลิเมตร ระยะที่ได้คือระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ที่ส่วนผสมนั้นๆ

3.5.4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า (Test for Compressive Strength of Cement Mortar)

3.5.4.1 ทาน้ำมันชนิดเหลวภายในแบบหล่อต่างๆเพื่อจะได้แกะแบบออกได้ง่าย

3.5.4.2 เตรียมอัตราส่วนผสมตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมมอร์ต้า

ส่วนผสม	ปูน (g)	ฝุ่นหิน(g) ๕	ทราย(g) ๕	น้ำ(g)	W/C
0 %	600	1650	291	0	0.
5 %	570	1650	291	30	0.05
10 %	540	1650	291	60	0.11
20 %	480	1650	291	120	0.25
30 %	360	1650	291	180	0.5

- 3.5.4.3 การผสมมอร์ต้า ให้ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ต้าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 การผสมมอร์ต้าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกด้วยเครื่องผสม
- 3.5.4.4 หลังจากผสมเรียบร้อยแล้ว ให้ทิ้งไว้ในอ่างอีก 90 วินาที แล้วผสมอีกครั้ง ด้วยความเร็วปานกลางเป็นเวลา 15 วินาที
- 3.5.4.5 เริ่มเทมอร์ต้าใส่แบบหล่อตัวอย่าง แบ่งเทเป็น 3 ชั้น โดยใส่ชั้นแรกหนา ประมาณ 25 มิลลิเมตร ให้ครบทุกแบบหล่อ ทุบทุ้งแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้ง ให้เสร็จในเวลา 10 วินาที โดยทุบทุ้งเป็น 4 รอบ แต่ละรอบให้ตั้งฉากกันในแต่ละรอบ และทุบทุ้งให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะให้มอร์ต้าบรรจุได้เต็มแบบหล่อเท่านั้น ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น โดยชั้นสุดท้ายให้มอร์ต้าที่ทุบทุ้งแล้วสูงกว่าแบบหล่อเล็กน้อย จากนั้นใช้เกรียงปาดแต่งให้เรียบร้อย
- 3.5.4.6 หลังจากเทหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก แล้วนำไปแช่ในน้ำที่สะอาดและหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ
- 3.5.4.7 ทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า ตามอายุ 3, 7, 14, 28 และ 45 วัน โดยอนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนของอายุได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความคลาดเคลื่อนของอายุ

อายุ	ความคลาดเคลื่อน
24 ชม.	$\pm \frac{1}{2}$ ชม.
3 วัน	± 1 ชม.
7 วัน	± 3 ชม.
28 วัน	± 12 ชม.

วิธีทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า

1. เช็ดผิวก้นตัวอย่างของมอร์ต้าให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าที่สะอาด
2. วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของก้นตัวอย่าง และคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดกด

3. ทำความสะอาดผิวแท่นกด (Bearing Face) ทั้งด้านบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
4. วางแท่งตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกดแล้วเลื่อนผิวแท่นกดสัมผัสกับก้อนตัวอย่างให้สนิท
5. ป้อนข้อมูลพื้นที่หน้าตัดและอัตราการกดลงในเครื่องทดสอบแรงกด
6. เปิดเครื่องทดสอบกำลังอัดให้น้ำหนักกดลงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตลอดการกดก้อนตัวอย่างทดสอบและขณะเครื่องทดสอบทำงานให้สังเกตน้ำหนักกดบนก้อนตัวอย่างบนหน้าจอเครื่องทดสอบ จนกระทั่งก้อนทดสอบถึงจุดประลัยและกำลังอัดจะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตก
7. บันทึกค่ากำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องทดสอบ และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัย
8. นำค่าน้ำหนักกดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กำลังอัดต่อเวลา

3.5.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Concrete)

3.5.5.1 ทาน้ำมันชนิดเหลวภายในแบบหล่อคอนกรีตต่างๆเพื่อจะได้แกะแบบออกได้ง่าย

3.5.5.2 เตรียมอัตราส่วนผสมตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสม	ปูน(g)	ฝุ่นหิน(g)	ทราย(g)	หิน(g)	น้ำ(g)
100 %	3500	0	7280	14630	2135
10 %	3150	350	7280	14630	2135
20 %	2800	700	7280	14630	2135

w/c
0.61
0.67
0.76

3.5.5.3 ผสมคอนกรีตด้วยมือโดยใช้ถ้วยผสมในภาชนะขนาดใหญ่ ให้เข้ากันดี

3.5.5.4 เริ่มเทคอนกรีตใส่แบบหล่อรูปลูกบาศก์ แบ่งเทเป็น 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นหนาประมาณ 100-150 มิลลิเมตร กระทบแต่ละชั้นด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทบ 1 ครั้ง ต่อพื้นที่ประมาณ 1000 ตารางมิลลิเมตร ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อ การกระทบแต่ละครั้งต้องกระทบให้จมลงไปเท่ากับความหนาของแต่ละชั้นที่ใส่ลงไปใหม่

3.5.5.5 เมื่อทำครบทั้ง 3 ชั้นแล้ว ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียง

3.5.5.6 หลังจากเทหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก แล้วนำไปแช่น้ำที่สะอาดและหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ

3.5.5.7 ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ตามอายุ 3 ,7 ,14 และ 28 วัน

วิธีทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

1. เช็ดผิวก้อนตัวอย่างของมอร์ต้าให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าที่สะอาด
2. วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของก้อนตัวอย่าง
3. ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างแต่ละก้อน
4. ทำความสะอาดแท่นกดของเครื่องทดสอบ (Bearing Faces) ทั้งบนและล่าง
5. วางก้อนตัวอย่างให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นกดได้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท
6. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14 - 34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (Yielding) อย่างรวดเร็วทันทีที่ก่อนถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้น ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใดๆของเครื่องทดสอบ
7. ให้กดจนกระทั่งก้อนทดสอบถึงจุดประลัย
8. บันทึกค่ากำลังอัดสุดท้าย และค่าความเค้นสูงสุดที่แสดงบนหน้าจอเครื่องทดสอบ และหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่จุดประลัย
9. นำค่าน้ำหนักกดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กำลังอัดต่อเวลา