

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่ได้ศึกษาเชิงทดลองและเปรียบเทียบ โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล ความคงทน กายภาพ และการนำความร้อนของปูนฉาบในการใช้เปลือกหอยบดผสมทดแทนปูนซีเมนต์ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. การศึกษาความเหมาะสมในด้านปริมาณ และการใช้เปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตปูนฉาบ
2. การศึกษาคุณสมบัติของปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ ตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน มอก.1776-2542
3. การศึกษาคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม
4. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม
5. การศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม
6. การเปรียบเทียบการจำลองการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคารที่ใช้ปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการทดแทนปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

3.1 แผนการทดสอบ

แผนการทดสอบมีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 8 ส่วน ดังนี้

3.1.1 การลดขนาดของเปลือกหอย

- 1) ทดสอบการบดเปลือกหอยด้วยเครื่องบดหยาบ (บดแบบแห้ง) (ดังภาพที่ จ.9) โดยการนำเปลือกหอยที่ผ่านการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว เข้าสู่เครื่องบดหยาบจำนวนประมาณ

30 กิโลกรัม ในแต่ละชนิด เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ทั้งหมดแล้ว จึงหยุดเครื่องบดหยาบ แล้วทำการบันทึกจำนวนรอบที่ทำการบดเปลือกหอยแต่ละชนิด

2) ทดสอบการบดเปลือกหอยด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ (บดแบบเปียก) (ดังภาพที่ จ.10) โดยการนำเปลือกหอยบดที่ผ่านการบดจากเครื่องบดหยาบข้างต้น เข้าสู่เครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์จำนวนประมาณ 29 กิโลกรัม ในแต่ละชนิด ในขณะที่เริ่มทำการบดบันทึกเวลาเริ่มต้น จากนั้นทำการบดอย่างต่อเนื่อง แล้วนำมาผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 200 ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงให้ไปทำการบดใหม่ ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้ว นำเข้าเตาอบอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) ทั้งหมดแล้วทำการบันทึกเวลาสิ้นสุด จะได้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการบดเปลือกหอยแต่ละชนิด

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของเปลือกหอยบด

1) ทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

2) ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์และซัลเฟต (Chloride and Sulfate) ด้วยวิธีการไทเทรตและวิธีการตกตะกอน ตามลำดับ วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

3) ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM C188-95 (ASTM Committee, 2006) วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

4) ทดสอบหาความละเอียด โดยใช้วิธีเบลน (Blaine fineness) ตามมาตรฐาน ASTM C204-05 วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

5) ทดสอบหาค่าดัชนีกำลัง ตามมาตรฐาน ASTM C311-00 วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

6) ทดสอบถ่ายภาพขยายของอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

7) ทดสอบหาขนาดการกระจายของอนุภาค (particle size distribution) ด้วยเครื่อง Mastersizer S วัสดุผงที่จะทดสอบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภูบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด

3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด

1) ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของทรายละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C128-01

2) ทดสอบหาขนาดคละและโมดูลัสความละเอียด ของทรายละเอียดที่ใช้สำหรับฉาบ ตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 และมาตรฐาน BS 882-1992 (British Standard, 1992)

3.1.4 การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1776-2542

การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบได้ 3 ส่วน ดังนี้

1) การทดสอบการไหลแผ่ (flow test) เพื่อการหาปริมาณน้ำเหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนผสม ตามมาตรฐาน ASTM C109-05

2) การทดสอบระยะเวลาการก่อตัว (setting time) ตามมาตรฐาน ASTM C807-05

3) การทดสอบด้านกำลังรับแรงอัด มีขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดดังนี้

(1) การผสมมอร์ตาร์โดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM C305-06

(2) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C109-05

โดยการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 การศึกษาส่วนผสมเบื้องต้นเพื่อนำมาใช้ผลิตมอร์ตาร์ตัวอย่าง โดยมีสัดส่วนการผสม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1
สัดส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบมอร์ตาร์

สัญลักษณ์	ร้อยละการ แทนที่โดย น้ำหนักร	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ 1 (กก./ลบ.ม.)	เปลือก หอยบด (กก./ลบ.ม.)	ทราย (กก./ลบ.ม.)	น้ำ (กก./ลบ.ม.)
OPC	0	374	0	1497	387
SCS (5)	5	356	19	1497	371
SCS (10)	10	337	37	1497	365
SCS (15)	15	318	56	1497	356
SCS (20)	20	299	75	1497	337
GMS (5)	5	356	19	1497	356
GMS (10)	10	337	37	1497	341
GMS (15)	15	318	56	1497	318
GMS (20)	20	299	75	1497	301
OS (5)	5	356	19	1497	372
OS (10)	10	337	37	1497	369
OS (15)	15	318	56	1497	365
OS (20)	20	299	75	1497	352
CS (5)	5	356	19	1497	374
CS (10)	10	337	37	1497	365
CS (15)	15	318	56	1497	357
CS (20)	20	299	75	1497	350

หมายเหตุ	OPC	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	SCS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GMS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	OS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	CS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด
			อัตราส่วนน้ำได้จากอัตราการไหลผ่าน 110 ± 5

3.1.5 การทดสอบคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบ

ทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM C596-01 ทำโดยบ่มมอร์ตาร์ไว้ในน้ำ 28 วัน จากนั้นนำขึ้นมากทำการบ่มในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ ร้อยละ 60 ± 5

3.1.6 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนฉาบ

ทดสอบหาความพรุน ร้อยละการดูดซึมน้ำ และหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM C20-00(2005)

3.1.7 การทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อนของปูนฉาบ

ทดสอบหาการนำความร้อนของมอร์ตาร์ ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน JIS R 2618-1992

3.1.8 การจำลองหาพลังงานเครื่องปรับอากาศของอาคาร

การหาการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคารที่จำลองขึ้นมา โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ มีชื่อว่า “VisualDOE 4.0” เปรียบเทียบอาคารที่ใช้กำแพงผนังก่ออิฐฉาบปูน ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ $4 \times 4 \times 3$ เมตร จำนวน 1 ชั้น ซึ่งฉาบด้วยปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบดชนิดต่าง ๆ กับปูนฉาบควบคุม รวมทั้งคำนวณถึงว่าปริมาณรายจ่ายต่อปีที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นหากใช้ปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดกับอาคารนั้น

ตารางที่ 3.2
จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	จำนวนตัวอย่างของแต่ละการทดสอบ			
	กำลังอัด	การหัดตัวแบบแห้ง	ความพรุนและการดูดซึมน้ำ	การนำความร้อน
OPC	15	3	3	1
SCS (5)	15	3	3	1
SCS (10)	15	3	3	1
SCS (15)	15	3	3	1
SCS (20)	15	3	3	1
GMS (5)	15	3	3	1
GMS (10)	15	3	3	1
GMS (15)	15	3	3	1
GMS (20)	15	3	3	1
OS (5)	15	3	3	1
OS (10)	15	3	3	1
OS (15)	15	3	3	1
OS (20)	15	3	3	1
CS (5)	15	3	3	1
CS (10)	15	3	3	1
CS (15)	15	3	3	1
CS (20)	15	3	3	1
รวม	255	81	81	17
รวมทั้งหมด	434			

หมายเหตุ	OPC	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	SCS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GMS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	OS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	CS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด
			อัตราส่วนน้ำได้จากอัตราการใช้ 110 ± 5

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัย หมายถึง วัสดุที่เหลือใช้จากอาหารประเภทหอยทะเล จากการนำมาศึกษาในขั้นต้นที่มีอยู่ 6 ชนิด ได้แก่

1. เปลือกหอยนางรม
2. เปลือกหอยแมลงภู่
3. เปลือกหอยแครง
4. เปลือกหอยเชลล์
5. เปลือกหอยกะพง
6. เปลือกหอยลาย

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย หมายถึง วัสดุที่เหลือใช้จากอาหารประเภทหอยทะเลที่มนุษย์นิยมบริโภค ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง มี 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยแครง เพราะเป็นผลผลิตหอยที่มีปริมาณมากที่สุดในโลกและในประเทศไทย เพื่อเป็นวัสดุที่นำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์สำหรับผลิตปูนฉาบ

3.3 ตัวแปรในการศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่

- (1) อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยนางรมบด ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20
- (2) อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยแมลงภู่บด ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20
- (3) อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยแครงบด ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20
- (4) อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยลายบด ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

- (1) ค่าความต้องการน้ำ
- (2) ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย
- (3) กำลังอัดที่เวลา 1 3 7 28 และ 60 วัน
- (4) การหดตัวแบบแห้งที่เวลา 1 ถึง 90 วัน
- (5) หน่วยน้ำหนัก
- (6) ความพรุน

(7) ร้อยละการดูดซึมน้ำ

(8) การนำความร้อน

(9) พลังงานการใช้เครื่องปรับอากาศต่อปี

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่

(1) วัสดุประสาน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และน้ำประปา

(2) วัสดุมวลรวมละเอียด คือ หินทรายละเอียด

(3) ปริมาณความต้องการน้ำกำหนดให้มีการแผ่ไหลเบื้องต้น ร้อยละ 110 ± 5

(4) ขนาดของมอร์ตาร์ (กว้าง x ยาว x สูง) $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร (ทดสอบกำลังอัด ความพรุน และร้อยละการดูดซึมน้ำ)

(5) ขนาดของมอร์ตาร์ (กว้าง x ยาว x สูง) $2.5 \times 2.5 \times 28.5$ เซนติเมตร (ทดสอบการหดตัวแบบแห้ง)

(6) ขนาดของมอร์ตาร์ (กว้าง x ยาว x สูง) $20 \times 24 \times 2$ เซนติเมตร (ทดสอบการนำความร้อน)

3.4 สถานที่ทดสอบ

1. ห้องปฏิบัติการและการทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2. ห้องปฏิบัติการและการทดสอบ ภาควิชาธรณีวิทยาและภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

3. ห้องปฏิบัติการและทดสอบ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

4. ห้องปฏิบัติการและทดสอบ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

5. โรงงานเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์

3.5 การเก็บข้อมูล

1. การทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหล โดยอ้างอิงค่ามาตรฐาน มอก.1776-2542 เพื่อหาสัดส่วนความต้องการน้ำของแต่ละสัดส่วนผสม ทำการวัดผลการทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหล

2. การทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัว โดยอ้างอิงค่ามาตรฐาน มอก.1776-2542 เพื่อหาระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะสุดท้าย ทำการวัดผลการทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัว

3. ในหนึ่งชุดการทดสอบมอร์ตาร์ จะประกอบด้วยมอร์ตาร์ 3 ก้อน นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด การหดตัวแบบแห้ง ความพรุน และร้อยละการดูดซึม ครั้งละ 1 ก้อน ทดสอบและทำการวัดกำลังรับแรงอัด และค่าการหดตัวแบบแห้ง
4. ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 28 และ 60 วัน โดยนับจากวันที่เริ่มหล่อแบบของการทดสอบกำลังอัด
5. ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ระยะเวลาการบ่มที่ 1 ถึง 90 วัน โดยนับจากวันที่เริ่มหล่อแบบของการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง
6. ทำการเก็บข้อมูล ณ ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน โดยนับจากวันที่เริ่มหล่อแบบของการทดสอบความพรุน และร้อยละการดูดซึม
7. ทำการเก็บข้อมูล ณ ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน โดยนับจากวันที่เริ่มหล่อแบบของการทดสอบการนำความร้อน
8. นำค่ากำลังการรับแรงอัด ค่าการหดตัวแบบแห้ง ความพรุน และร้อยละการดูดซึม ทั้ง 3 ก้อนมาเฉลี่ยกัน
9. นำค่าการนำความร้อน ที่วัดทั้ง 3 จุดมาเฉลี่ยกัน

3.6 การวิเคราะห์และการตีความ

1. คัดเลือกมอร์ตาร์ที่ผ่านมาตรฐาน มอก.1776-2542
2. เปรียบเทียบมอร์ตาร์แต่ละชุดทดสอบ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐาน มอก.1776-2542
3. นำมาทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ความพรุน และค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์
4. นำค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดสอบมาใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจำลองหาพลังงานการใช้เครื่องปรับอากาศของอาคารต่อปี