

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะในงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ โดยการใช้เปลือกหอยบดเป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตปูนฉาบ มีการทดสอบการลดขนาดของเปลือกหอยแต่ละชนิด การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเปลือกหอยบด การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1776-2542 การทดสอบคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของปูนฉาบ การทดสอบการนำความร้อนของปูนฉาบ และการจำลองการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ใช้ปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิด ซึ่งสามารถสรุปผลที่ได้จากการทดสอบและศึกษา ดังนี้

5.1 ข้อสรุปผลจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 ผลกระทบด้านคุณสมบัติของเปลือกหอยบด

การทดสอบคุณสมบัติของเปลือกหอยบดโดยละเอียด เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกหอยบดที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยทั้ง 4 ชนิด คือ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด ซึ่งมีผลการทดสอบต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) จำนวนรอบและจำนวนชั่วโมงในการบดเปลือกหอยแต่ละชนิดสามารถบอกถึงความแข็งแรงของเปลือกหอยได้ โดยเรียงลำดับตามความแข็งแรงมากไปน้อย ดังนี้ เปลือกหอยแมลงภู่ม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยลาย และเปลือกหอยนางรม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะ คือ 2.86 2.82 2.71 และ 2.65 ตามลำดับ

2) ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักของเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่มบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 96.80 95.60 96.87 และ 97.13 ตามลำดับ

3) การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) คือ ปริมาณของคาร์บอน (carbon) ที่มีอยู่ในซีเมนต์ซึ่งมีอยู่ในเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด จะมีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 42.73 42.20 42.83 และ 42.87 ตามลำดับ มีปริมาณสูงกว่าปูนซีเมนต์มากเนื่องจากเปลือกหอยบดนั้นไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา

4) ค่าความต้องการน้ำ (water requirement) ของเปลือกหอยบด โดยจะมีค่าความต้องการน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีค่าความต้องการน้ำ คือ 100 101 101 และ 99 ตามลำดับ

5) ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยวิธีการเบลน ของเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีค่าดังนี้ 8,279 6,186 14,280 และ 8,299 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยเปลือกหอยนางรมบดมีพื้นที่ผิวมากที่สุด

6) ขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคเปลือกหอยบด โดยเรียงจากใหญ่ไปเล็ก ดังนี้ เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด โดยมีขนาดเฉลี่ย ดังนี้ 29.87 20.80 13.93 และ 13.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ และขนาดโดยเฉลี่ยของปูนซีเมนต์ คือ 22.82 ไมโครเมตร

7) ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเปลือกหอยบดส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.1 – 100 ไมโครเมตร ยกเว้นเปลือกหอยแมลงภู่บดที่อนุภาคบางส่วนมีขนาดที่อยู่ในช่วง 100 – 500 ไมโครเมตร ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ขนาดของอนุภาคส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ในช่วง 1 – 100 ไมโครเมตร

8) ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายมุม และบางส่วนมีลักษณะเป็นรูปร่างเรียวยาว มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คละกัน พื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระแต่บางส่วนค่อนข้างเรียบ ความพรุนน้อย

5.1.2 ผลกระทบด้านคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1) ผลกระทบด้านค่าอัตราการแผ่ไหล สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

(1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเปลือกหอยบดมีลักษณะอนุภาคที่พื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระ แต่บางส่วนค่อนข้างเรียบและความพรุนน้อยทำให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำภายในได้น้อย ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ของมอร์ตาร์เพื่อทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

(2) เปลือกหอยนางรมบดมีความต้องการน้ำสูงกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบด มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น ทำให้อนุภาคมีความต้องการน้ำมาก ในทางตรงกันข้ามเปลือกหอยแมลงภู่มบดมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำที่สุด อีกทั้งขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคใหญ่ที่สุด ทำให้สามารถทำปฏิกิริยาได้ต่ำกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้เปลือกหอยแมลงภู่มบดมีความต้องการน้ำต่ำที่สุด

2) ผลกระทบด้านระยะการก่อดัวเริ่มต้นและการก่อดัวสุดท้าย สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

(1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าระยะการก่อดัวเริ่มต้นมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลงด้วยการแทนที่ของเปลือกหอยบดส่งผลทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงตาม

(2) มอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดมีค่าระยะเวลาก่อดัวเริ่มต้นต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวจำเพาะของเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีค่าสูง จึงมีอนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างและมีน้ำเคลือบที่ผิวมาก โดยเปลือกหอยนางรมบดดูดน้ำเข้าไปมากจึงเกิดความกระด้างขึ้น ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดเริ่มแห้งเร็วกวามอร์ตาร์ควบคุมในช่วงแรก ค่าการก่อดัวเริ่มต้นจึงเร็วขึ้น

(3) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์ ส่งผลให้ระยะเวลาก่อดัวสุดท้ายมีค่าสูงขึ้น โดยระยะเวลาก่อดัวสุดท้ายของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทั้งหมด

3) ผลกระทบด้านกำลังรับแรงอัด สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

(1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

(2) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สูงกว่า มอก.1776-2542 ที่ 5 เมกะพาสคัล อายุบ่มที่ 28 วัน

(3) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่มบด ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ต่ำกว่าเปลือกหอยบดอีก 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ

5.1.3 ผลกระทบด้านคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้ง

ผลกระทบด้านการหดตัวแบบแห้ง สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยลายบดและเปลือกหอยนางรมบด พบว่า ทำให้ร้อยละการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดมีแนวโน้มที่การหดตัวลดลงมากกว่าเปลือกหอยนางรมบด

2) การเพิ่มร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภูบดและเปลือกหอยแครงบด พบว่า ทำให้ร้อยละการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดมีแนวโน้มที่การหดตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าเปลือกหอยแครงบด

5.1.4 ผลกระทบด้านคุณสมบัติทางกายภาพ

1) ในด้านหน่วยน้ำหนัก การเพิ่มร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด ทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

2) ในด้านความพรุน มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดเพียงชนิดเดียวที่มีความพรุนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม มอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดชนิดอื่นส่วนใหญ่ค่าความพรุนสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะมีความพรุนสูงสุด แต่มีความสัมพันธ์ที่เหมือนกันคือ เมื่อมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีค่าความพรุนเพิ่มขึ้น

3) ผลกระทบด้านการดูดซึมน้ำ สรุปผลได้ว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเปลือกหอยแมลงภู ร้อยละ 20 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ทั้งหมด และในส่วนของเปลือกหอยบดชนิดอื่นนั้นค่าร้อยละการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

5.1.5 ผลกระทบด้านคุณสมบัติการนำความร้อน

ผลกระทบด้านค่าการนำความร้อน สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิดในปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าการนำความร้อนมีค่าลดลง เนื่องจากเปลือกหอยบดมีความฉนวนจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยบด ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดมีความหนาแน่นต่ำลงสามารถ

ถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูปพ่นและโพรงที่มีมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

2) ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดร้อยละ 20 มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่บดมีความละเอียดน้อยที่สุด ทำให้ไม่สามารถแทรกเข้าไประหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ได้ ส่งผลให้ความหนาแน่นของมอร์ตาร์ลดลง และค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดลง เมื่อปริมาณของเปลือกหอยบดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

5.1.6 ผลกระทบด้านการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคาร

ผลกระทบด้านการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคาร สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

1) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด ในปูนซีเมนต์ ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีมีค่าลดลง โดยมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ และอาคารที่ใช้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่แทนที่ร้อยละ 20 ใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต่ำที่สุด

2) อาคารที่ใช้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดแทนที่ร้อยละ 20 สามารถประหยัดเงินได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 2.6 ต่อปี

5.2 ข้อสรุปในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคุณสมบัติของเปลือกหอยและมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิดตามวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 5 ประการ ดังนี้

- 1) การใช้พลังงานในการบด - เปลือกหอยนางรมใช้พลังงานในการบดน้อยที่สุด
- 2) ความแข็งแรง - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดมีความแข็งแรงมากที่สุด แต่ว่ามอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดและเปลือกหอยลายบดมีความแข็งแรงต่ำกว่าเล็กน้อย
- 3) การลดการแตกร้าว - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดช่วยลดการแตกร้าวได้สูงที่สุด และมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดช่วยลดการแตกร้าวรองลงมา
- 4) การดูดซึมน้ำ - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดดูดซึมน้ำต่ำที่สุด

5) การเป็นฉนวนกันความร้อน - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดมีความเป็นฉนวนมากที่สุด

ตารางที่ 5.1

ประสิทธิภาพของเปลือกหอยตามวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้งาน

คุณสมบัติของการนำไปประยุกต์ใช้งาน	ประสิทธิภาพในการใช้งาน			
	ดีที่สุด			ด้อยที่สุด
	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3	อันดับที่ 4
1. การใช้พลังงานในการบด	เปลือกหอยนางรม	เปลือกหอยลาย	เปลือกหอยแครง	เปลือกหอยแมลงภู่
2. ความแข็งแรง	เปลือกหอยนางรม	เปลือกหอยแครง	เปลือกหอยลาย	เปลือกหอยแมลงภู่
3. การลดการแตกร้าว	เปลือกหอยลาย	เปลือกหอยนางรม	-	-
4. การดูดซึมน้ำ	เปลือกหอยแครง	เปลือกหอยนางรม	เปลือกหอยลาย	เปลือกหอยแมลงภู่
5. การเป็นฉนวนกันความร้อน	เปลือกหอยแมลงภู่	เปลือกหอยแครง	เปลือกหอยนางรม	เปลือกหอยลาย

หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การนำเปลือกหอยมาบดและใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อผลิตปูนฉาบนั้น จะสามารถช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้โดยเป็นการลดการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ แต่ในขั้นตอนของการทำความสะอาดและการลดขนาดของเปลือกหอยนั้นยังคงใช้พลังงานสูง ถ้าหากสามารถค้นพบวิธีในการลดขนาดของเปลือกหอยที่สิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ จะสามารถทำให้การนำขยะหรือวัสดุที่เหลือใช้ประเภทเปลือกหอยชนิดต่าง ๆ นำมาแปรรูปและไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาหาวิธีการทำความสะอาดเปลือกหอยให้สะดวกกว่าการล้างด้วยน้ำ
2. ควรทำการศึกษาผลกระทบของการใช้เปลือกหอยชนิดอื่น ๆ ที่มีต่อปูนา
3. ควรทำการศึกษาผลของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด ในการทดสอบกับสภาพการใช้งานจริงในการก่อสร้าง
4. ควรทำการศึกษาผลกระทบของเปลือกหอยบดที่มีต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของมอร์ตาร์ เช่น การดูดซับเสียง กำลังดึง กำลังดัด แรงยึดเหนี่ยว หรือความทนทาน เป็นต้น