

## คุณสมบัติด้านกำลังอัดและการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบด

### Compressive Strength and Drying Shrinkage Properties of Masonry Mortar Containing Ground Seashells

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ ชโลธร ศิริภัทรประวัตติ

Pusit Lertwattananaruk and Chalothorn Siripattarapavat

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 986-9605 โทรสาร: (+662) 986-8067 Email: Lertwatt@tu.ac.th

#### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเปลือกหอยทะเลบด 4 ชนิด ได้แก่ หอยลาย หอยแมลงภู่ หอยนางรม และหอยแครง มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มอร์ตาร์ปูนฉาบให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป โดยศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1776) รวมทั้งคุณสมบัติในด้านกำลังอัด และการหดตัวแบบแห้ง โดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนฉาบควบคุมที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ล้วน ตัวแปรหลักที่ศึกษา ได้แก่ สัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยบดชนิดต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ใกล้เคียงกัน เมื่อปริมาณการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ปูนฉาบมีค่าลดลง อีกทั้งทำให้ส่วนผสมมีความต้องการน้ำลดลง และระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น และในด้านการหดตัวแบบแห้ง การใช้เปลือกหอยลายบดและเปลือกหอยนางรมบดเป็นส่วนผสมมีผลให้ การหดตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบควบคุม โดยสรุปมอร์ตาร์ปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบดทั้งสี่ชนิดในงานวิจัยนี้ สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.1776 ในทุกส่วนผสม

#### Abstract

This research investigated the use of ground seashells including short-necked clam, green mussel, oyster and cockle for developing plastering cement suitable for general usage. This work was focused on the influence of variables on the properties of plastering mortar in accordance with the Thai Industrial Standard (TIS 1776) compared with ordinary Portland cement (OPC) mortars. Also the properties studied include the compressive strength and drying shrinkage. The parameters are the percentage replacement of ground seashells at the levels of 5%, 10%, 15% and 20% by weight of total binder. The results indicated that the amount of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) of ground short-necked clam shell, green mussel shell, oyster shell and cockle shell are comparable and not much different. The increased amount of ground seashells caused the decrease in strength of plastering mortar, the decrease of water requirement and the increase of setting time of the mixture. For the drying shrinkage of mortar, using ground short-necked clam shell and ground oyster shell in the mixture caused the decrease in shrinkage of plastering mortar compared with an OPC mortar. In conclusion, all of the mortar mixtures containing ground seashells yielded the properties passing the TIS standard for plastering mortar.

## 1. บทนำ

ในปีพ.ศ. 2549 มีปริมาณขยะมูลฝอยในกรุงเทพมหานครประมาณ 3.09 ล้านตัน [1] โดยในส่วนของปริมาณขยะจากกระดุกและเปลือกหอยมีประมาณร้อยละ 0.9 ของปริมาณขยะทั้งหมด คิดเป็นปริมาณขยะจากกระดุกและเปลือกหอยประมาณ 27,810 ตัน เนื่องจากขยะประเภทนี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยการเผาไหม้ จึงทำการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบเท่านั้น และด้วยส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกหอย มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 90 [2-6] ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับฝุ่นหินปูนหรือหินปูนที่เป็นผลจากการบดหินปูนเพื่อใช้ผลิตปูนซีเมนต์และนิยมใช้เป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์หรือทรายในงานคอนกรีตเพื่อประหยัด โดยในลักษณะพิเศษบางอย่างคือ โครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงเป็นทั้งในแบบอะราโกไนท์ และแคลไซต์ ที่มีความแข็งแรงและความหนาแน่นมากกว่าฝุ่นหินปูนหรือหินปูนที่ส่วนใหญ่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบแคลไซต์ [6]

ในปัจจุบัน มีการศึกษาการนำเปลือกหอยบดมาใช้ทดแทนหินหรือทรายในการผลิตคอนกรีตและมอร์ตาร์ อาทิ การใช้เปลือกหอยขมทดแทนหินในคอนกรีต เมื่อเพิ่มอัตราทดแทนที่หินของเปลือกหอยขมในส่วนผสม ทำให้กำลังอัดและกำลังดึงต่ำลง และความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตลดลง [7] และจากการศึกษา พบว่า เปลือกหอยนางรมบดมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งยังมีสารอินทรีย์เล็กน้อย [2] โดยแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในรูปผลึกของแคลไซต์เป็นส่วนประกอบหลัก มีลักษณะกลม และน้ำหนักเบากว่าทราย และการใช้เปลือกหอยนางรมบดแทนที่ทรายไม่ได้ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [3] นอกจากนี้ยัง พบว่า เปลือกหอยนางรมบดไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ และความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตลดลงเมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดลดลง และเมื่ออัตราการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดเร็วขึ้น และสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง [4] ส่วนการศึกษาเปลือกหอยแมลงภู่บดละเอียดเพื่อใช้ทดแทนฝุ่นหินปูนในการผลิตมอร์ตาร์

พบว่า ลักษณะรูปร่างอนุภาคของเปลือกหอยบดมีรูปร่างเรียวยาวคล้ายกับเข็ม ซึ่งแตกต่างจากฝุ่นหินปูนที่มีรูปร่างกลมมนเป็นผลทำให้ลักษณะภายในมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดมีโครงสร้างแบบตาข่าย และมีรูพรุนที่เล็กกว่า จึงส่งผลทำให้กำลังอัดและกำลังดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมฝุ่นหินปูน [5]

วัสดุผงหลายชนิดมีผลต่อการหดตัวของมอร์ตาร์ เช่น เถ้าลอยบางชนิดมีคุณสมบัติช่วยให้มอร์ตาร์ขยายตัวเล็กน้อยทำให้ลดเซกการหดตัวได้บางส่วน การใช้ซิลิกาฟูมก็สามารถช่วยลดการหดตัวแบบแห้งได้ เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นให้กับคอนกรีต และการใช้ฝุ่นหินปูนก็สามารถลดการหดตัวแบบแห้งได้ [8] การนำหินปูนมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของปูนก่อและปูนฉาบ พบว่า การผสมหินปูนในมอร์ตาร์ส่งผลให้การหดตัวแบบแห้งลดลงได้ เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุค่อนข้างเฉื่อยและเป็นมวลรวมชนิดหนึ่ง [9-10]

จากข้อมูลสถิติปริมาณหอยน้ำเค็มที่บริโภคในประเทศไทย [11] พบว่า หอยนางรม หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยลาย เป็นที่นิยมในการบริโภคมากที่สุด จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ ในการศึกษาการใช้เปลือกหอยทะเลทั้ง 4 ชนิด เพื่อใช้เป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตปูนฉาบให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป และเป็นการนำขยะหรือวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อีกทางหนึ่ง

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้เปลือกหอยบดแต่ละชนิดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนฉาบ
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรม และคุณสมบัติของปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก.1776 [12]
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิดในการแทนที่ปูนซีเมนต์

## 3. วิธีการศึกษา

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2. ทรายละเอียด มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.88
3. เปลือกหอย 4 ชนิด ซึ่งนำมาจาก จ.สมุทรสงคราม (เปลือกหอยแมลงภู่) จ.สุราษฎร์ธานี (เปลือกหอยลายและเปลือกหอยแครง) และ จ.จันทบุรี (เปลือกหอยนางรม)
4. น้ำประปา

**ตารางที่ 1** สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบด

| สัญลักษณ์ | ปูนซีเมนต์<br>ปอร์ตแลนด์<br>(กรัม) | เปลือก<br>หอยบด<br>(กรัม) | ทราย<br>(กรัม) | น้ำ<br>(กรัม) |
|-----------|------------------------------------|---------------------------|----------------|---------------|
| OPC       | 374                                | 0                         | 1497           | 387           |
| SCS (5)   | 356                                | 19                        | 1497           | 371           |
| SCS (10)  | 337                                | 37                        | 1497           | 365           |
| SCS (15)  | 318                                | 56                        | 1497           | 356           |
| SCS (20)  | 299                                | 75                        | 1497           | 337           |
| GMS (5)   | 356                                | 19                        | 1497           | 356           |
| GMS (10)  | 337                                | 37                        | 1497           | 341           |
| GMS (15)  | 318                                | 56                        | 1497           | 318           |
| GMS (20)  | 299                                | 75                        | 1497           | 301           |
| OS (5)    | 356                                | 19                        | 1497           | 372           |
| OS (10)   | 337                                | 37                        | 1497           | 369           |
| OS (15)   | 318                                | 56                        | 1497           | 365           |
| OS (20)   | 299                                | 75                        | 1497           | 352           |
| CS (5)    | 356                                | 19                        | 1497           | 374           |
| CS (10)   | 337                                | 37                        | 1497           | 365           |
| CS (15)   | 318                                | 56                        | 1497           | 357           |
| CS (20)   | 299                                | 75                        | 1497           | 350           |

หมายเหตุ

OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม

SCS(x) มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยลายบด

GMS(x) มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภู่บด

OS (x) มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบด

CS (x) มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครงบด

x แทน อัตราส่วนร้อยละการแทนที่ของเปลือกหอยบดโดยน้ำหนัก

### 3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

1. นำเปลือกหอยแต่ละชนิดมาทำความสะอาด และทำให้แห้ง จากนั้นทำการบดเปลือกหอยด้วยเครื่องบดหยาบ เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.47 มิลลิเมตร) แล้ว นำไปบดต่อด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ (บดแบบเปียก) เพื่อให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วนำเปลือกหอยบดมาอบให้แห้งในตู้อบ ที่มีอุณหภูมิ  $110 \pm 5$  °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. การผสมปูนฉาบ (มอร์ตาร์) นำเปลือกหอยบดปริมาณตามสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มาผสมกับ ปูนซีเมนต์ น้ำ และทราย ในสัดส่วนผสม ดังในตารางที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายละเอียด เท่ากับ 1:4 และ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ตามค่าอัตราการแผ่ไหลร้อยละ  $110 \pm 5$

### 3.3 วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยบดด้วยวิธี X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) การทดสอบปริมาณคลอไรด์และซัลเฟต (Chloride and Sulfate) ด้วยวิธีการไทเทรตและวิธีการตกตะกอน

2. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกหอยบด ได้แก่ การทดสอบความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM C188 [13] การทดสอบความละเอียดของเปลือกหอยบดโดยวิธีเบลน (Blaine fineness) ตามมาตรฐาน ASTM C204 [14] การทดสอบค่าดัชนีกำลัง ตามมาตรฐาน ASTM C311 [15] การถ่ายภาพของอนุภาคด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) และการทดสอบความละเอียดของเปลือกหอยบดด้วยเครื่องมือ Laser Particle Size Analyzer

3. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของวัสดุมวลรวม ได้แก่ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของทรายละเอียด และเปลือกหอยบดตามมาตรฐาน ASTM C128 [16] และการทดสอบขนาดกะและโมดูลัสความละเอียดของทรายละเอียดที่ใช้สำหรับฉาบ ตามมาตรฐาน มอก.1776 และมาตรฐาน BS882 [17]

4. การศึกษาคุณสมบัติของปูนฉาบ โดยทำการทดสอบค่าอัตราการแผ่ไหลเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ASTM C109 [18] การทดสอบระยะการก่อตัวตามมาตรฐาน ASTM C807 [19] การทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 60 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109 [18] และการทดสอบคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งตามมาตรฐาน ASTM C596 [20]

**ตารางที่ 2** คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกหอยบด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

| องค์ประกอบ                     | องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) |       |       |       |       |
|--------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                | PC                         | SCS   | GMS   | OS    | CS    |
| SiO <sub>2</sub>               | 20.34                      | 0.84  | 0.73  | 1.01  | 0.98  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.18                       | 0.14  | 0.13  | 0.14  | 0.17  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.21                       | 0.06  | 0.05  | 0.07  | 0.06  |
| CaO                            | 65.15                      | 53.99 | 53.38 | 53.59 | 54.24 |
| MgO                            | 1.17                       | 0.08  | 0.03  | 0.46  | 0.02  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.29                       | 0.03  | 0.02  | 0.02  | 0.03  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.04                       | 0.39  | 0.44  | 0.23  | 0.37  |
| SO <sub>3</sub>                | 2.82                       | 0.16  | 0.34  | 0.75  | 0.13  |
| Cl                             | 0.008                      | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0.01  |
| SO <sub>4</sub>                | 3.76                       | 0.06  | 0.11  | 0.43  | 0.07  |
| Free CaO                       | 1.25                       | -     | -     | -     | -     |
| CaCO <sub>3</sub>              | -                          | 96.8  | 95.6  | 96.87 | 97.13 |

#### 4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

##### 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้น

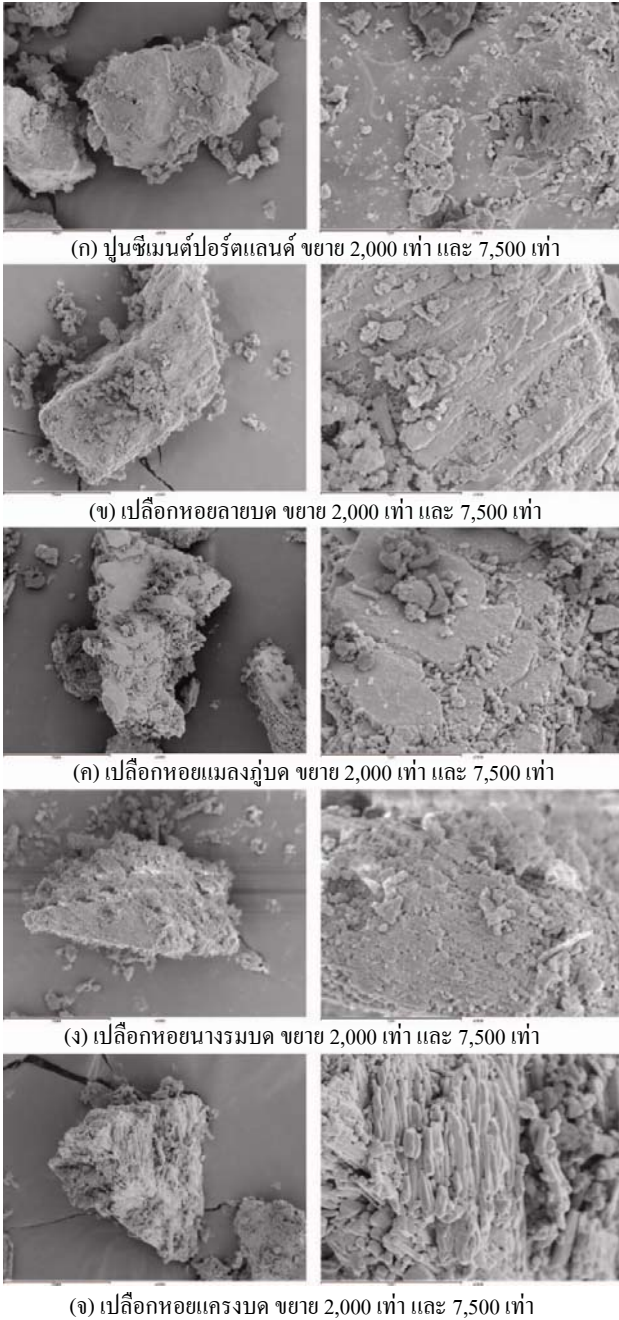
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของเปลือกหอยบดพบว่า ปริมาณ CaCO<sub>3</sub> ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักของเปลือกหอยบด (SCS) เปลือกหอยแมลงภู่บด (GMS) เปลือกหอยนางรมบด (OS) และเปลือกหอยแครงบด (CS) มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 96.80, 95.60, 96.87 และ 97.13 ตามลำดับ เปลือกหอยบดทั้งสี่ชนิดมีปริมาณ CaO ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 53.59 ถึง 54.24 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ (PC) ที่มีปริมาณ CaO ร้อยละ 65.15 ในส่วนของปริมาณคลอไรด์ (Cl)

มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.02 และปริมาณซัลเฟต (SO<sub>4</sub>) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 ถึง 0.43 เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณต่ำเนื่องจากผ่านกระบวนการบดด้วยวิธีการแบบเปียก จึงส่งผลให้เกลือบางส่วนละลายไปกับน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 3 พบว่า การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาของเปลือกหอยบดมีค่าสูงมาก โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 42 ถึง 43 เนื่องจาก มีการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>) เมื่อผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 550 องศาเซลเซียส และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีการเบลนของเปลือกหอยบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีค่าเท่ากับ 8279, 6186, 14280 และ 8299 ซม.<sup>2</sup>/ก. ตามลำดับ โดยเปลือกหอยนางรมบดมีพื้นที่ผิวมากที่สุด และในรูปที่ 3 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายมุม และบางส่วนมีลักษณะเป็นรูปร่างเรียวยาว มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คลุกกัน พื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระแต่บางส่วนค่อนข้างเรียบ และมีความพรุนน้อย

**ตารางที่ 3** คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกหอยบด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

| คุณสมบัติ                             | ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ |       |       |        |       |
|---------------------------------------|------------------------------|-------|-------|--------|-------|
|                                       | PC                           | SCS   | GMS   | OS     | CS    |
| การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (%)  | 1.83                         | 42.73 | 42.2  | 42.83  | 42.87 |
| ความชื้น (%)                          | -                            | 0.26  | 0.47  | 0.36   | 0.15  |
| ความถ่วงจำเพาะ                        | 3.11                         | 2.71  | 2.86  | 2.65   | 2.82  |
| ความต้องการน้ำ (%)                    | 100                          | 100   | 101   | 101    | 99    |
| พื้นที่ผิวจำเพาะ (cm <sup>2</sup> /g) | 3,376                        | 8,279 | 6,186 | 14,280 | 8,299 |
| ความละเอียดสะสม (%)                   |                              |       |       |        |       |
| ≥ 75 ไมโครเมตร                        | 3.28                         | 4.73  | 10.62 | 2.89   | 1.90  |
| 75 ไมโครเมตร                          | 9.88                         | 7.44  | 7.38  | 3.89   | 4.22  |
| 45 ไมโครเมตร                          | 10.05                        | 7.31  | 6.54  | 4.22   | 4.87  |
| ≤ 36 ไมโครเมตร                        | 76.78                        | 80.52 | 75.46 | 89.01  | 89.02 |
| ดัชนีกำลัง (%)                        |                              |       |       |        |       |
| 1) ที่อายุ 7 วัน                      | 100                          | 31.16 | 66.38 | 86.34  | 63.68 |
| 2) ที่อายุ 28 วัน                     | 100                          | 25.08 | 59.14 | 73.82  | 58.83 |



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของปูนซีเมนต์และเปลือกหอยบด

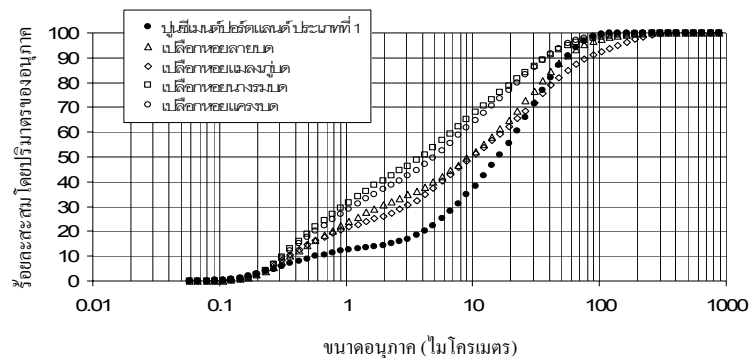
ผลการทดสอบขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคพบว่า ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคปูนซีเมนต์ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด มีค่าเท่ากับ 22.82, 20.80, 29.87, 13.93 และ 13.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยเปลือกหอยแครงบดมีขนาดเล็กที่สุด รองลงมาได้แก่ เปลือกหอยนางรมบด เปลือกหอยลายบด ปูนซีเมนต์ และเปลือกหอยแมลงภู่บด ตามลำดับ และผลของการกระจายขนาดของอนุภาค พบว่า ปริมาตรร้อยละ 80 ของอนุภาคเปลือกหอยแครงและหอยนางรมบดมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 20 ไมโครเมตร และปริมาตรร้อยละ 80 ของอนุภาคเปลือกหอยลายและหอยแมลงภู่บดมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 40 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4

#### 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมละเอียด

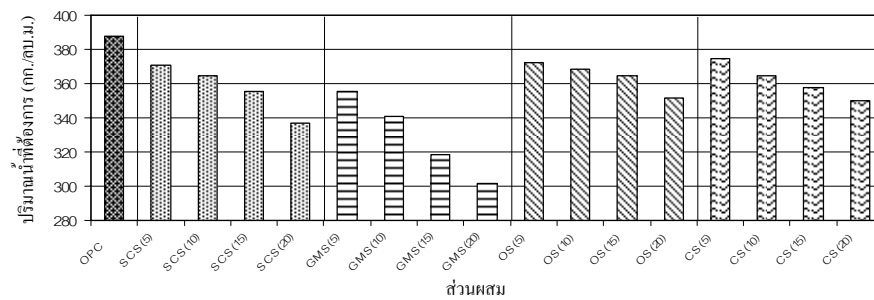
ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมของทราย มีค่าเท่ากับ 2.64 และ 1.30 ตามลำดับ ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย เท่ากับ 1.88 และขนาดคละของทรายอยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก.1776 [12] และมาตรฐาน BS 882 [17] กำหนดไว้

#### 4.3 คุณสมบัติทางกลของปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยบด

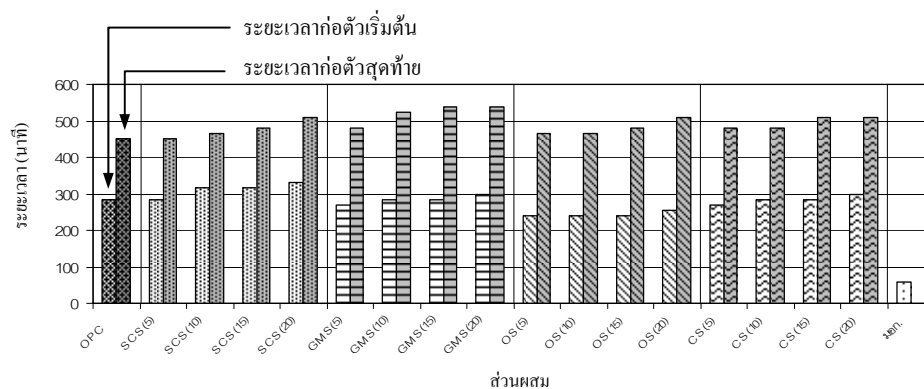
เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าสูงขึ้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยบดทำให้ส่วนผสมของมอร์ต้าร์มีปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง และปริมาณน้ำอิสระจึงมีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของเปลือกหอยบด และด้วยลักษณะอนุภาคของเปลือกหอยบดที่มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ ทำให้อนุภาคมีความสามารถในการกักเก็บน้ำภายในค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 4 การกระจายขนาดแบบสะสมของปูนซีเมนต์และเปลือกหอยบด



รูปที่ 5 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด

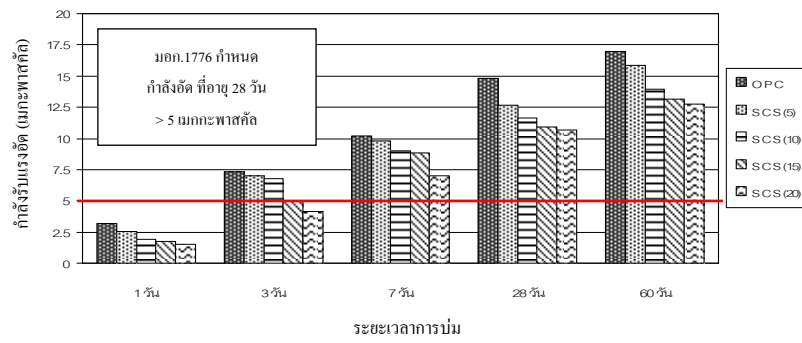


รูปที่ 6 ระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด

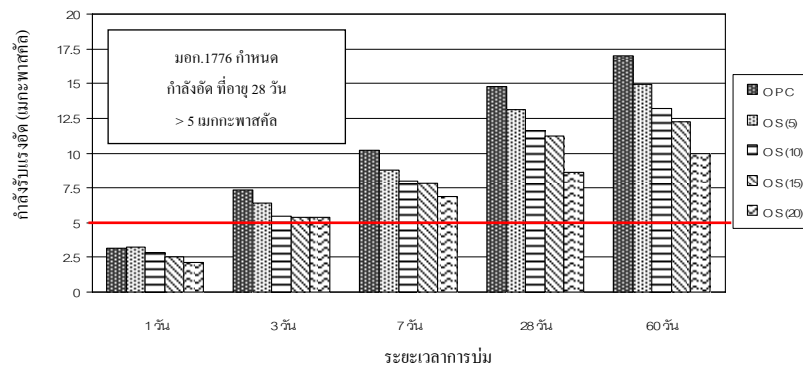
ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของเปลือกหอยบดในส่วนผสมของปูนฉาบ ทำให้ค่าการกักเก็บน้ำในโพรงของอนุภาคมีปริมาณต่ำลง ปริมาณน้ำอิสระจึงมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้การเสียดสีของอนุภาคเปลือกหอยบดกับอนุภาคปูนซีเมนต์มีน้อยลง ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันของมอร์ตาร์จึงมีค่าลดลงด้วย ซึ่งค่าอัตราการแผ่ไหลตามมาตรฐาน มอก.1776 [12] เท่ากับ  $110 \pm 5$  และเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกหอยบดแต่ละชนิดแล้ว พบว่า เปลือกหอยนางรมบดมีความต้องการน้ำสูงกว่าเปลือกหอยบดชนิดอื่น เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าเปลือกหอยบดชนิดอื่น ทำให้อนุภาคมีความต้องการน้ำในการเคลือบผิวมาก แต่พื้นที่ผิวจำเพาะของเปลือกหอยแมลงภู่น้อยที่สุด อีกทั้งขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคใหญ่ที่สุด พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาจึงน้อยกว่าเปลือกหอยชนิดอื่นๆ ส่งผลให้เปลือก

หอยแมลงภู่น้อยมีความต้องการน้ำต่ำที่สุด โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5

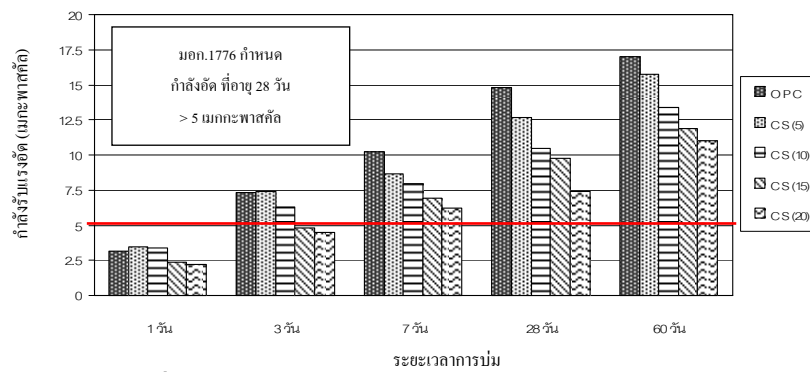
เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเพิ่มของปริมาณการแทนที่ของเปลือกหอยบด ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดจะมีระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ตาม มอก. 1776 กำหนดไว้ขั้นต่ำคือไม่ต่ำกว่า 60 นาที โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดของทุกส่วนผสม มีค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นมากกว่า 60 นาที ซึ่งผ่านเกณฑ์ มอก.1776 และเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายมีค่าสูงขึ้น โดยระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทั้งหมด ดังรูปที่ 6



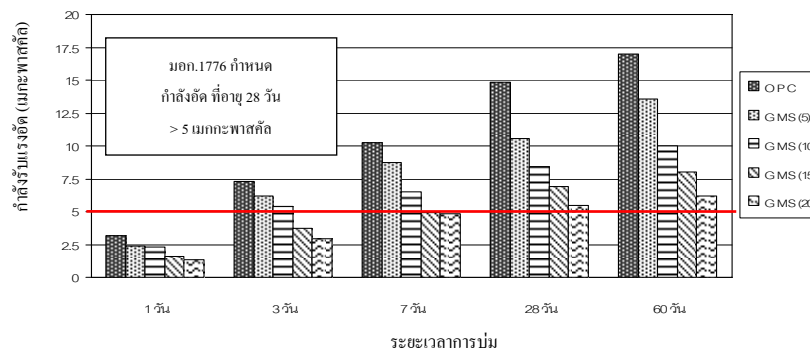
รูปที่ 7 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด



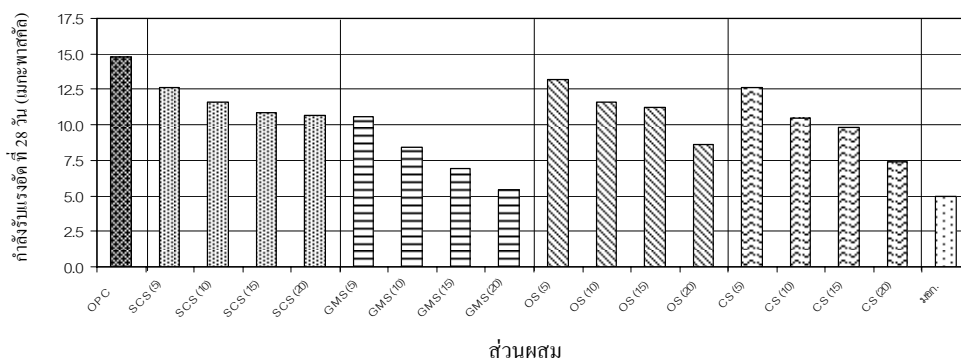
รูปที่ 8 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบด



รูปที่ 9 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบด



รูปที่ 10 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่นบด



รูปที่ 11 กําลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด

ผลการทดสอบกําลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ (W/C) เป็นไปตามค่าอัตราการแผ่ไหลร้อยละ  $110 \pm 5$  พบว่า กําลังอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบดในปริมาณที่มากขึ้นมีค่ากําลังอัดลดลง เพราะว่าเปลือกหอยบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของเปลือกหอยบดทั้ง 3 ชนิดนั้น มีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยบดบางส่วนสามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ได้ ดังนั้น ค่ากําลังอัดที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมเล็กน้อย โดยกําลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ตามช่วงระยะเวลาการบ่ม ดังรูปที่ 7 ถึง 9

กําลังอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบดในปริมาณที่มากขึ้น มีค่ากําลังอัดลดลง เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภูบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาและขนาดอนุภาคของเปลือกหอยแมลงภูบดนั้นมีขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยแมลงภูบดบางส่วนไม่สามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ได้ ดังนั้น ค่ากําลังอัดจึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างมาก โดยกําลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดเมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มที่มากกว่า 3 วัน มีค่าลดลงต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างชัดเจน ดังในรูปที่ 10 และค่ากําลังอัดที่อายุ 28 วัน ของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิดนั้น ผ่านมาตรฐาน มอก.1776 [12] ซึ่งเท่ากับ 5 เมกะพาสคัล ดังในรูปที่ 11

#### 4.4 การหัดัวแบบแห้ง

1) การหัดัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดและเปลือกหอยนางรมบด พบว่า การหัดัวมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยบดในปริมาณต่ำ ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้งสองชนิด มีการหัดัวน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และการใช้เปลือกหอยบดในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าการหัดัวลดลง เนื่องจากเปลือกหอยบดนั้นมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้อนุภาคสามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้มากขึ้น มีผลให้โครงสร้างภายในหนาแน่นขึ้นและโพรงภายในลดลง การหัดัวจึงลดลงโดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดมีแนวโน้มของการหัดัวลดลงมากกว่าเปลือกหอยนางรมบด ดังรูปที่ 12 และ 13

2) การหัดัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดและเปลือกหอยแครง พบว่า การหัดัวใกล้เคียงกัน เนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยบดในปริมาณต่ำ ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้งสองชนิด มีการหัดัวมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม และการใช้เปลือกหอยแมลงภูบดในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าการหัดัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคเปลือกหอยแมลงภูบดบางส่วนมีขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ จึงส่งผลให้อนุภาคไม่สามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้ ส่งผลให้โครงสร้างภายในมีโพรงมากขึ้น การหัดัวจึงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดมีแนวโน้มการหัดัวเพิ่มขึ้นมากกว่าเปลือกหอยแครงบด ดังรูปที่ 14 และ 15

## 5. สรุปผลการศึกษา

### 5.1 สรุปผลทดสอบ

1) องค์ประกอบทางเคมีหลักของเปลือกหอยบด คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 96 ถึง 97 ส่วนขนาดโดยเฉลี่ยของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภูบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยทั้งหมด ดังนี้ 22.82, 20.80, 29.87, 13.93 และ 13.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ และลักษณะรูปร่างของอนุภาคเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คละกัน ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมหลายมุม บางส่วนมีรูปร่างเรียวยาว พื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระ แต่บางส่วนค่อนข้างเรียบ และมีความพรุนน้อย

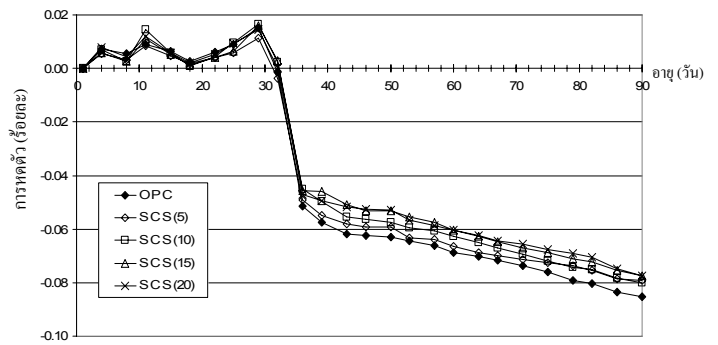
2) การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดในปูนซีเมนต์ ส่งผลให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าสูงขึ้น และปริมาณน้ำที่ใช้ของมอร์ตาร์เพื่อทำให้ ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม และยังส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม แต่พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สูงกว่า มอก.1776 [12] ที่ 5 เมกะพาสคัล ที่อายุบ่ม 28 วัน โดยการเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบด ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ต่ำกว่าเปลือกหอยบดอีก 3 ชนิด อย่างชัดเจน

3) การเพิ่มร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยลายบด และเปลือกหอยนางรมบด ส่งผลให้ร้อยละของการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด มีแนวโน้มของการหดตัวลดลงมากกว่าเปลือกหอยนางรมบด ในส่วนเปลือกหอยแมลงภูบดและเปลือกหอยแครงบด พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเปลือกหอย ส่งผลให้ร้อยละการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น

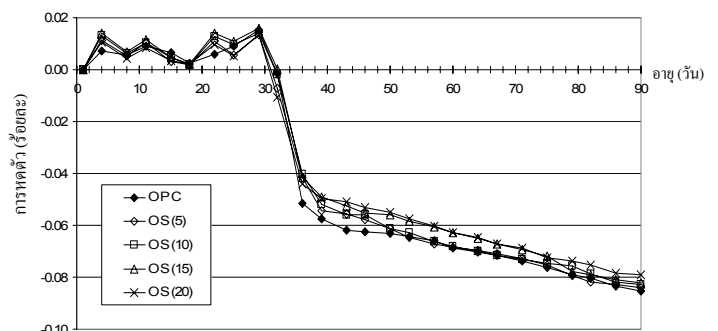
### 5.2 สรุปผลการนำไปประยุกต์ใช้งาน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด ในการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับปูนฉาบ สามารถสรุปได้ ดังนี้

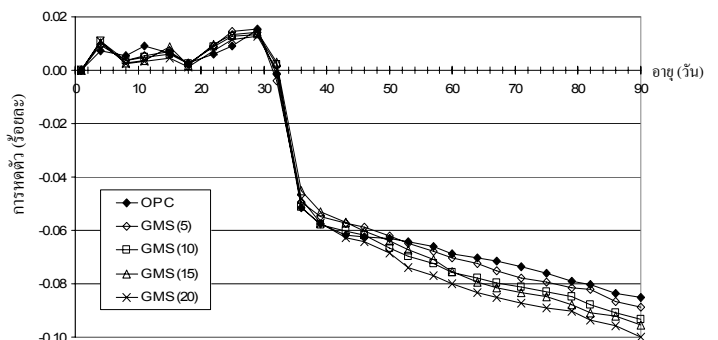
- 1) เปลือกหอยนางรมใช้พลังงานในการบดต่ำที่สุด



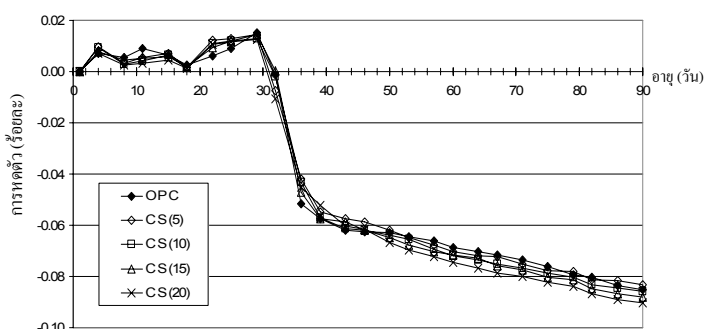
รูปที่ 12 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด



รูปที่ 13 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบด



รูปที่ 14 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบด



รูปที่ 15 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบด

2) ความแข็งแรง - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมมีความแข็งแรงมากที่สุด แต่มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดและเปลือกหอยลายบดมีความแข็งแรงต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย

3) การลดการแตกร้าว - มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดช่วยลดการแตกร้าวได้สูงที่สุด และมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดช่วยลดการแตกร้าวรองลงมา

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และมูลนิธิพระบรมราชานุสรณ์พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ที่ให้การสนับสนุนในส่วนของการทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร. (2550). สถิติรายปี กรุงเทพมหานคร. [http://203.155.220.230/stat\\_search/frame.asp](http://203.155.220.230/stat_search/frame.asp). 26 กรกฎาคม 2551.
- [2] Yoon, G.L., Kim, B.T., Kim, B.O. and Han, S.H. (2003). Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell. *Waste Management*, 23, 825-834.
- [3] Yoon, H.S., Park, S.K., Lee, K.H. and Park, J.B. (2004). Oyster shell as substitute for aggregate in mortar. *Waste Management and Research*, 22, 158-170.
- [4] Yang, E.I., Yi, S.T., and Leem, Y.M. (2005). Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. *Cement and Concrete Research*, 35, 2175-2182.
- [5] Ballester, P., Marmol, I., Morales, J. and Sanchez, L. (2007). Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars. *Concrete and Concrete Research*, 37, 559-564.

- [6] จรรยาพร พุ่มงาม. (2545). การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสีย โดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] Falade, F. (1995). An investigation of periwinkle shells as coarse aggregate in concrete. *Building and Environment*, 30, 573-577.
- [8] คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ. (2543). ความคงทนของคอนกรีต. กรุงเทพฯ: บริษัท จุดทอง จำกัด.
- [9] หวังแก้ว บุญสวน. (2542). การปรับปรุงคุณสมบัติของปูนก่อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง.
- [10] Benachour, Y., Davy, C.A., Skoczylas, F. and Houari, H. (2008). Effect of a high calcite filler addition upon microstructural, mechanical, shrinkage and transport properties of a mortar. *Cement and Concrete Research*, 38, 727-736.
- [11] กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง. (2549). หนังสือสถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2549. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2552, จาก <http://www.fisheries.go.th/it-stat/>.
- [12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2542). มอร์ตาร์สำหรับฉาบ. มอก.1776-2542.
- [13] American Society for Testing and Material. (2006). ASTM C188 - 95(2003) Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 4.01. Philadelphia.
- [14] American Society for Testing and Material. (2006). ASTM C204-05 Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus. *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 4.01. Philadelphia.

- [15] American Society for Testing and Material. (2006).  
ASTM C311-00e1 Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.02. Philadelphia.
- [16] American Society for Testing and Material. (2006).  
ASTM C128-01 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.02. Philadelphia.
- [17] British Standards Institution. (1992). BS 882: Specification for aggregates from natural sources for concrete. British Standard. United Kingdom.
- [18] American Society for Testing and Material. (2006).  
ASTM C109 - 05: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.01. Philadelphia.
- [19] American Society for Testing and Material. (2006).  
ASTM C807-05 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.01. Philadelphia.
- [20] American Society for Testing and Material. (2006).  
ASTM C596-01 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.01. Philadelphia.