

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ แบ่งเป็น การลดขนาดของเปลือกหอยแต่ละชนิด การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเปลือกหอยบด การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1776-2542 การทดสอบคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของปูนฉาบ การทดสอบการนำความร้อนของปูนฉาบ และการจำลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ใช้ปูนฉาบผสมเปลือกหอยบดแต่ละชนิด โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการลดขนาดของเปลือกหอย

ผลการทดสอบในการลดขนาดของเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธีการบดด้วยเครื่องบดหยาบและเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ (Ball Mill) ดังนี้

1) ผลทดสอบการบดด้วยเครื่องบดหยาบ (บดแบบแห้ง) พบว่า เปลือกหอยแมลงภู่ใช้จำนวนรอบมากที่สุด คือ 21 รอบ มีจำนวนรอบรองลงมา ได้แก่ เปลือกหอยแครง คือ 18 รอบ และเปลือกหอยนางรมกับเปลือกหอยลายใช้จำนวนรอบน้อยที่สุด คือ 12 รอบเท่ากัน

2) ผลการทดสอบด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ (บดแบบเปียก) พบว่า เปลือกหอยแมลงภู่ใช้เวลาในการบดนานที่สุด คือ 93 ชั่วโมง ที่ใช้เวลารองลงมา ได้แก่ เปลือกหอยแครง คือ 68 ชั่วโมง รองลงมาอีก ได้แก่ เปลือกหอยลาย คือ 58 ชั่วโมง และเปลือกหอยนางรมใช้เวลาในการบดน้อยที่สุด คือ 45 ชั่วโมง

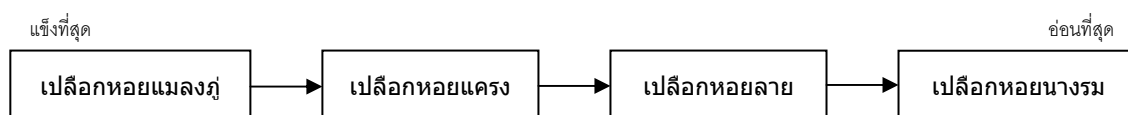
จากผลดังกล่าวข้างต้นสามารถบอกถึงความแข็งของเปลือกหอยได้จากจำนวนรอบที่ผ่านเครื่องบดและจำนวนเวลาที่ใช้ในการบดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ พบว่าเปลือกหอยแมลงภู่ นั้นแข็งที่สุด รองลงมาได้แก่เปลือกหอยแครง เปลือกหอยลาย และเปลือกหอยนางรม ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะของเปลือกหอยบดแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1
ผลการลดขนาดของเปลือกหอยแต่ละชนิด

ประเภทของเครื่องบด	เปลือกหอย ลายบด	เปลือกหอย แมลงภูบด	เปลือกหอย นางรมบด	เปลือกหอย แครงบด
เครื่องบดหยาบ (จำนวนรอบ)	12.00	21.00	12.00	18.00
เครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ (จำนวนชั่วโมง)	58.00	93.00	45.00	68.00
ความถ่วงจำเพาะ	2.71	2.86	2.65	2.82

หมายเหตุ จำนวนรอบ หมายถึง จำนวนรอบที่สามารถบดเปลือกหอยให้มีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.47 มิลลิเมตร) ได้ทั้งหมด
จำนวนชั่วโมง หมายถึง จำนวนชั่วโมงที่สามารถบดเปลือกหอยให้มีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) ได้ทั้งหมด

ภาพที่ 4.1
เรียงลำดับตามความแข็งของเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเปลือกหอยบด

การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เปรียบเทียบกับเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด พบว่า เปลือกหอยบดทั้งหมดมีปริมาณซิลิกา (SiO_2) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.78 – 1.01 ซึ่งน้อยกว่าที่มีในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่มีร้อยละ 20.34 ในขณะที่มีปริมาณปูนขาว (CaO) อยู่ในช่วงร้อยละ 53.38 – 54.24 ซึ่งมีน้อยกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 มีร้อยละ 65.15 แต่ปูนขาวในเปลือกหอยบดนั้นจะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากเปลือกหอยนั้นไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา โดยปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) อยู่ในช่วงร้อยละ 95.60 – 97.13 และในส่วนของกรดเกลือ คือ ปริมาณคลอไรด์ (Cl) นั้น อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 – 0.02 และปริมาณซัลเฟต (SO_4) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.43 เท่านั้น ซึ่งมีปริมาณ

ต่ำเนื่องจากผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการแบบเปียก จึงส่งผลให้กรดเกลือบางส่วนละลายไปกับน้ำ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเปลือกหอยบด

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	เปลือกหอย ลายบด	เปลือกหอย แมลงภูบด	เปลือกหอย นางรมบด	เปลือกหอย แครงบด
SiO ₂	20.34	0.84	0.73	1.01	0.98
Al ₂ O ₃	5.18	0.14	0.13	0.14	0.17
Fe ₂ O ₃	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 ₂ O	0.29	0.03	0.02	0.02	0.03
Na ₂ O	0.04	0.39	0.44	0.23	0.37
SO ₃	2.82	0.16	0.34	0.75	0.13
TiO ₂	-	-0.019	-0.009	0.014	-0.017
P ₂ O ₅	-	0.05	0.13	0.11	0.03
Mn ₂ O ₃	-	0.018	0.02	0.023	0.02
Cl	0.008	0.02	0.02	0.01	0.01
SO ₄	3.76	0.06	0.11	0.43	0.07
Free CaO	1.25	-	-	-	-
CaCO ₃	-	96.80	95.60	96.87	97.13

ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภูบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด ประกอบด้วย การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ของเปลือกหอยบดอยู่ในช่วงร้อยละ 42.20 – 42.87 ซึ่งมีปริมาณสูงเพราะยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา โดยมากกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่มีร้อยละ 1.83 ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 3.11 2.71 2.86 2.65 และ 2.82 ตามลำดับ เปลือกหอยบดทุกชนิดนั้นมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ค่าความ

ต้องการน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 100 101 101 และ 99 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าความละเอียด (พื้นที่ผิวจำเพาะ) โดยวิธีการเบลนมีค่าเท่ากับ 3,376 8,279 6,186 14,280 และ 8,299 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยพื้นที่ผิวของเปลือกหอยบดทุกชนิดมีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์และพื้นที่ผิวของเปลือกหอยนางรมบดมีค่าสูงสุด ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 วัน โดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วนมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 31.16 66.38 86.34 และ 63.68 ตามลำดับ ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 28 วัน โดยที่เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ล้วนมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 25.08 59.14 73.82 และ 58.83 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเปลือกหอยบด

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ				
	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	เปลือกหอย ลายบด	เปลือกหอย แมลงภู่บด	เปลือกหอย นางรมบด	เปลือกหอย แครงบด
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการ เผาไหม้ (ร้อยละ)	1.83	42.73	42.20	42.83	42.87
ความชื้น (ร้อยละ)	-	0.26	0.47	0.36	0.15
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.71	2.86	2.65	2.82
ความต้องการน้ำ (ร้อยละ)	100	100	101	101	99
พื้นที่ผิวจำเพาะ โดยวิธีการเบลน (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)	3,376	8,279	6,186	14,280	8,299
ความละเอียดสะสม (ขนาดของอนุภาค, ร้อยละค้ำง)					
≥ 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 (ร้อยละเปรียบเทียบกับ มอร์ตาร์ควบคุม)					
1) ที่อายุ 7 วัน	100.00	31.16	66.38	86.34	63.68
2) ที่อายุ 28 วัน	100.00	25.08	59.14	73.82	58.83

เปรียบเทียบความแตกต่างของของเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด พบว่า ขนาดของอนุภาคเปลือกหอยบดที่มีไม่แตกต่างกันมากและเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุด แสดงว่าเปลือกหอยนางรมบดมีพื้นที่ผิวขรุขระมากกว่าเปลือกหอยบดชนิดอื่น ๆ ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.2

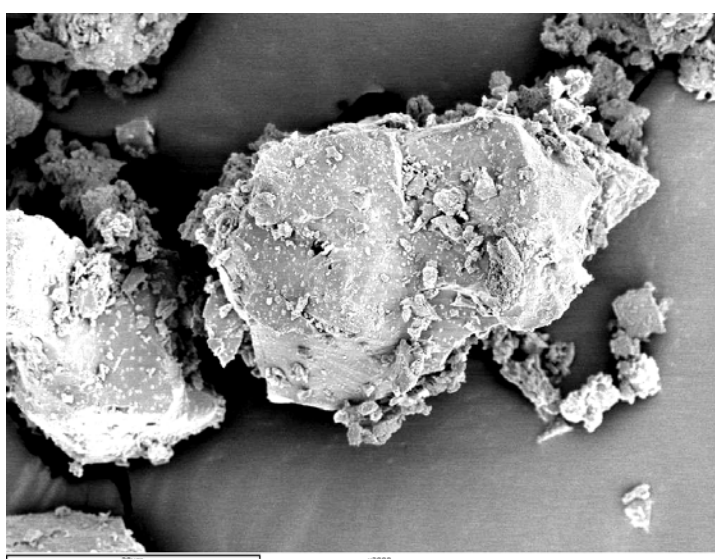
เรียงลำดับตามขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาค



เมื่อพิจารณาลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด จากภาพถ่าย โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) อนุภาคของเปลือกหอยบดมีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายมุม และบางส่วนมีลักษณะเป็นรูปร่างเรียวยาว มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คละกัน พื้นที่ผิวก่อนข้างขรุขระแต่บางส่วนค่อนข้างเรียบ ความพรุนน้อยทำให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยม พื้นผิวเรียบและขรุขระน้อยกว่าเปลือกหอยบด ดังภาพที่ 4.3 - 4.12

ภาพที่ 4.3

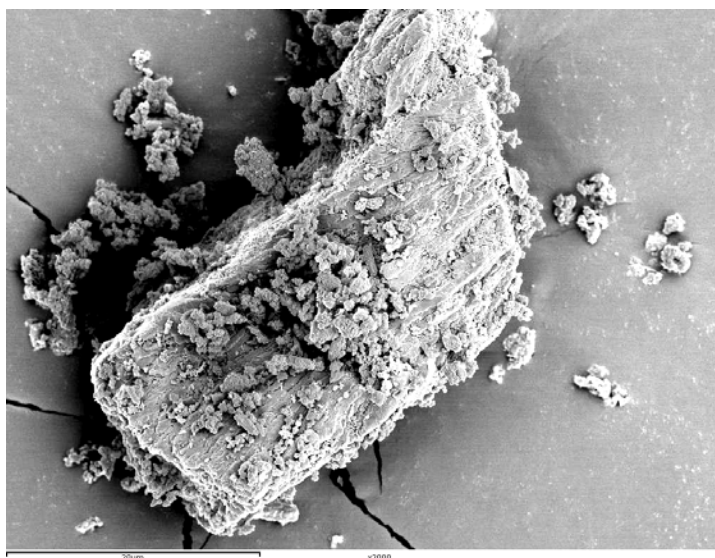
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.4

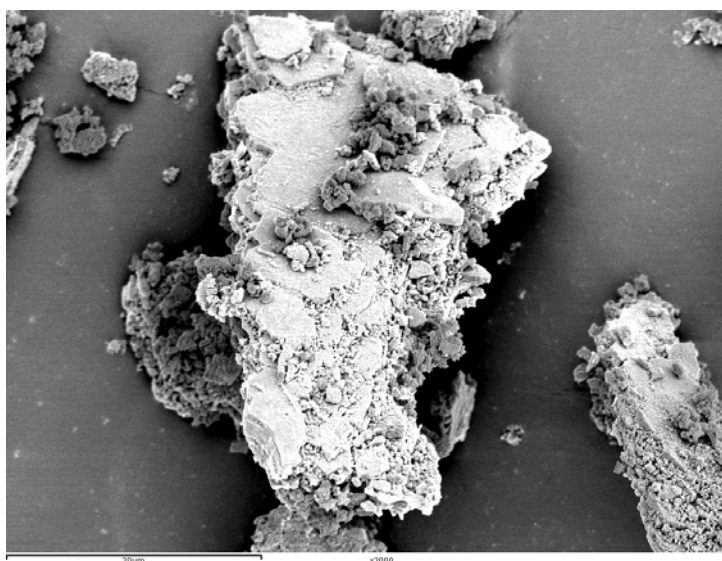
เปลือกหอยลายบด (SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.5

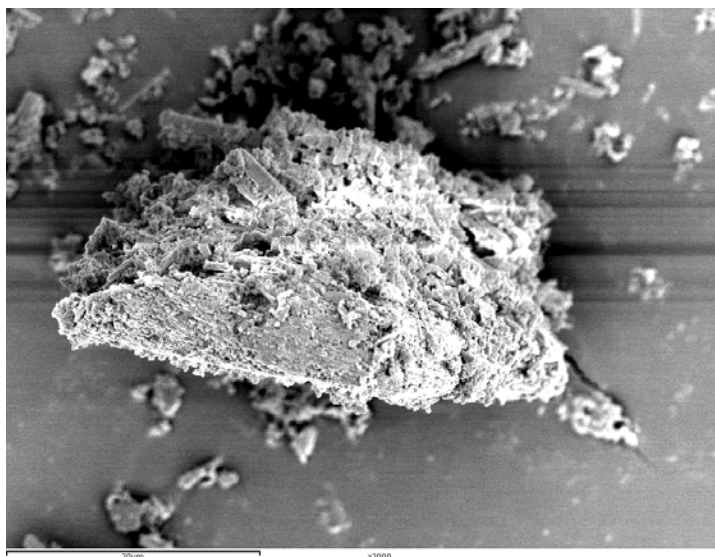
เปลือกหอยแมลงภู่มบด (SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.6

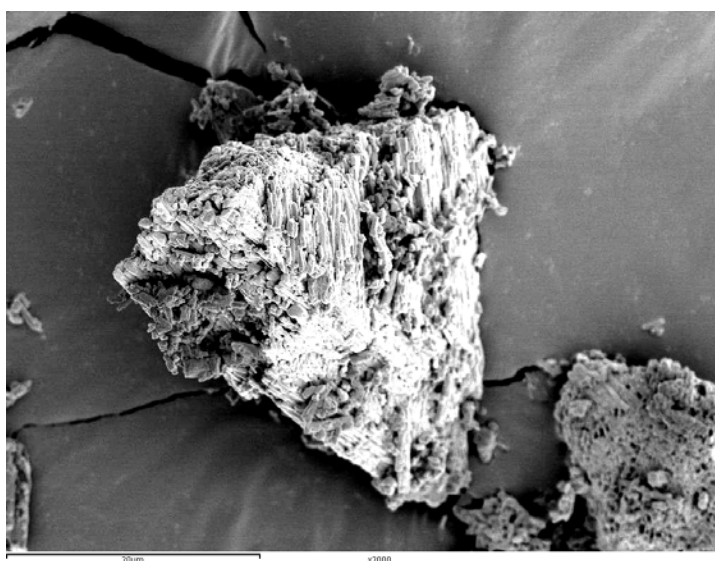
เปลือกหอยนางรมบด (SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.7

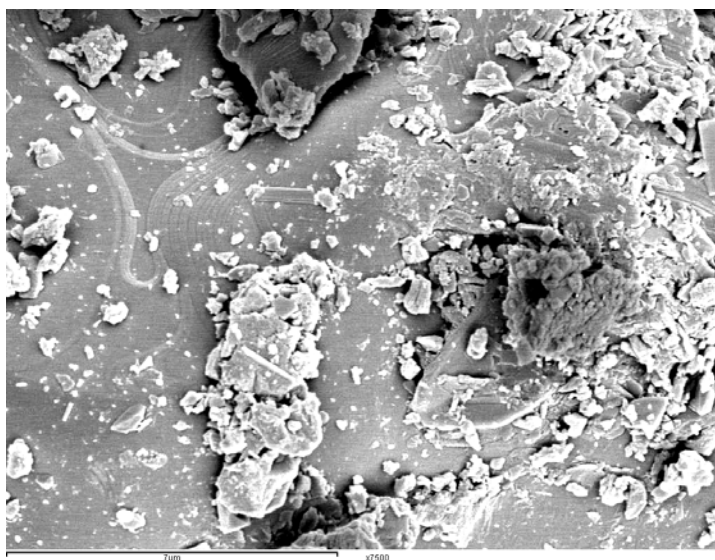
เปลือกหอยแครงบด (SEM กำลังขยาย 2,000 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.8

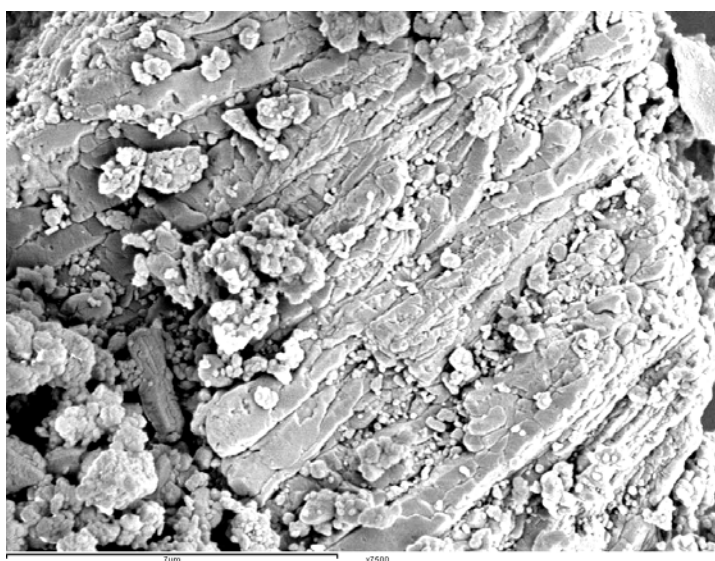
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (SEM กำลังขยาย 7,500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.9

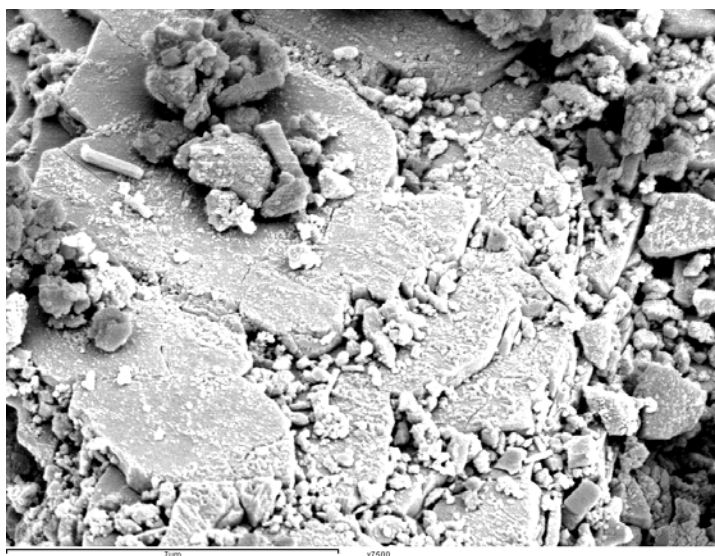
เปลือกหอยลายบด (SEM กำลังขยาย 7,500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.10

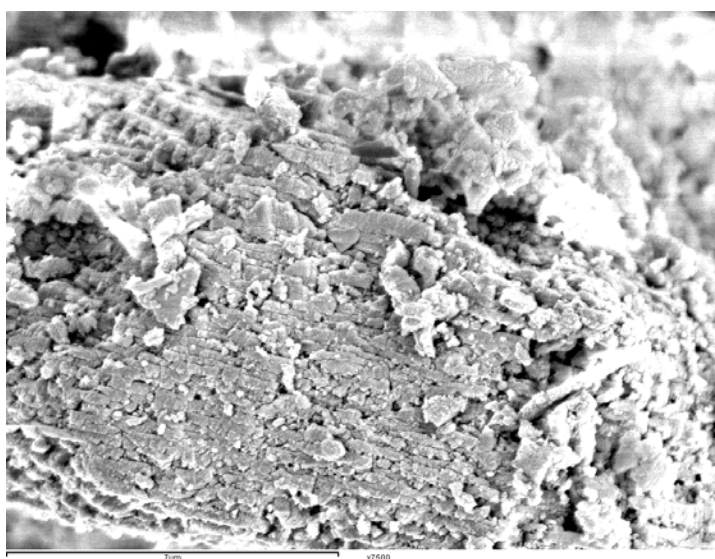
เปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืด (SEM กำลังขยาย 7,500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.11

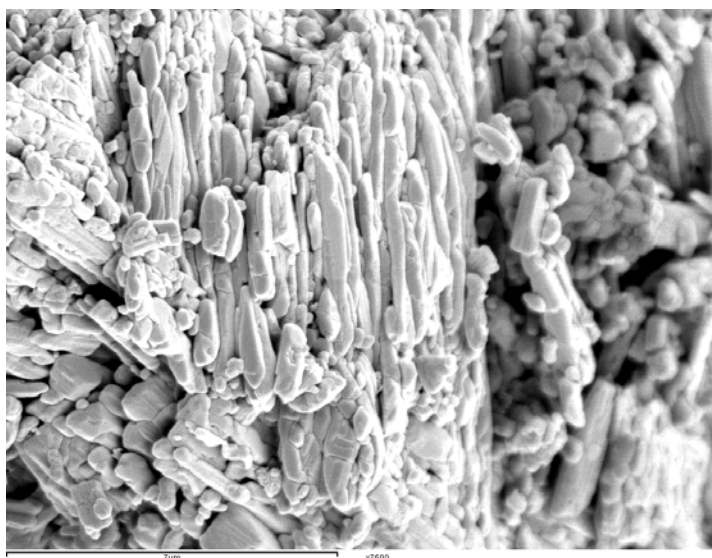
เปลือกหอยนางรมน้ำจืด (SEM กำลังขยาย 7,500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

ภาพที่ 4.12

เปลือกหอยแครงบด (SEM กำลังขยาย 7,500 เท่า)



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย, 5 มกราคม 2552.

การกระจายของขนาดอนุภาคของเปลือกหอยบด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่าขนาดโดยเฉลี่ยของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภูบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยทั้งหมด ดังนี้ 22.82 20.80 29.87 13.93 และ 13.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยเปลือกหอยแครงบดมีขนาดโดยเฉลี่ยเล็กที่สุด รองลงมาได้แก่ เปลือกหอยนางรมบด เปลือกหอยลายบด ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเปลือกหอยแมลงภูบด ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.13 พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเปลือกหอยบดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในช่วง 0.1 – 100 ไมโครเมตร ยกเว้นเปลือกหอยแมลงภูบดที่อนุภาคบางส่วนมีขนาดที่อยูในช่วง 100 – 500 ไมโครเมตร และปูนซีเมนต์ที่ขนาดของอนุภาคส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในช่วง 1 – 100 ไมโครเมตร ดังภาพที่ 4.14

เปลือกหอยบดเกือบทุกชนิดมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ยกเว้นเพียงเปลือกหอยแมลงภูบดเท่านั้น ดังภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ร้อยละสะสมของเปลือกหอยบดมีปริมาตรเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับขนาดที่เพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละสะสมที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงของ 5 ไมโครเมตร ขึ้นไปจนถึงประมาณ 75 ไมโครเมตร

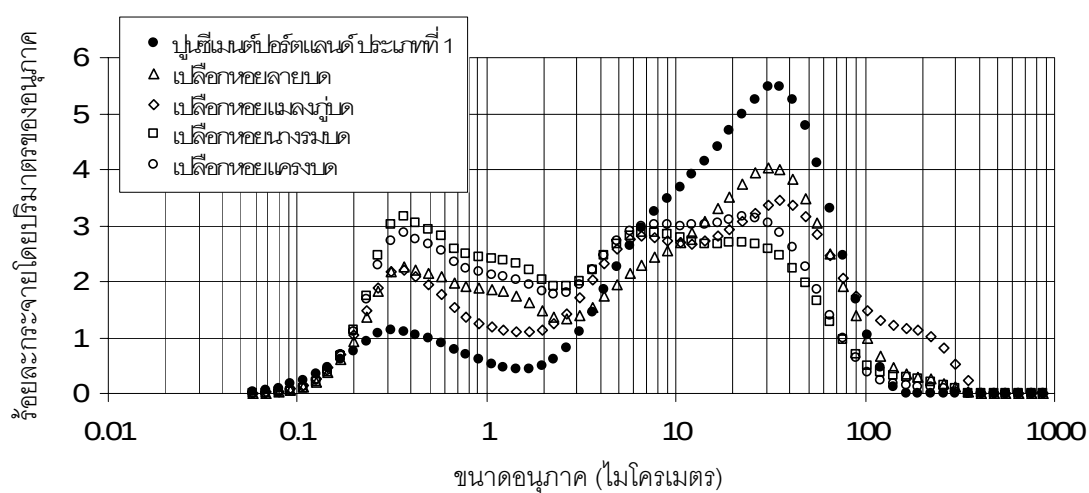
ภาพที่ 4.13

เรียงลำดับตามขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค



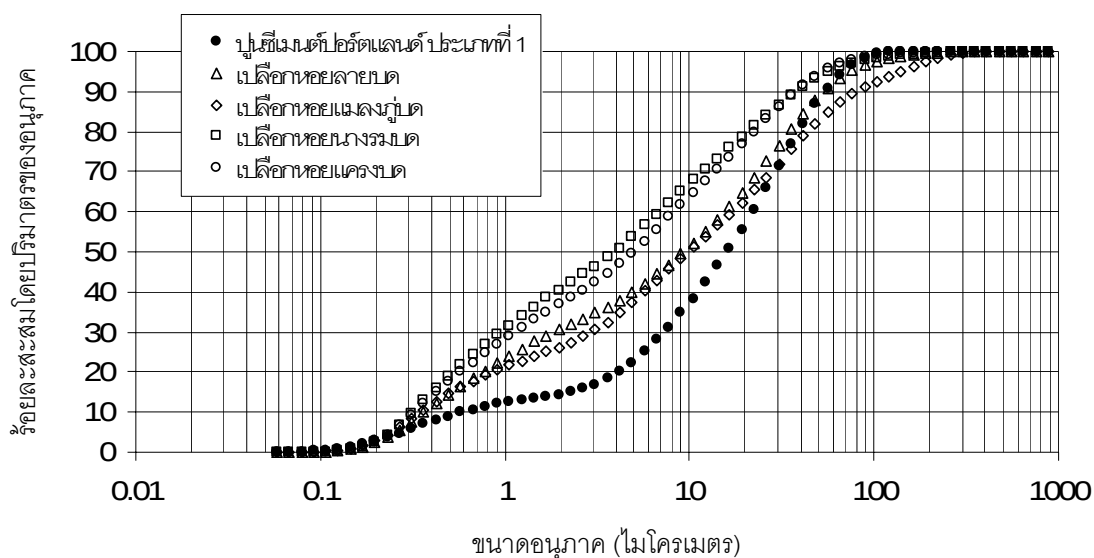
ภาพที่ 4.14

การกระจายของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเปลือกหอยบด



ภาพที่ 4.15

การกระจายแบบสะสมของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเปลือกหอยบด

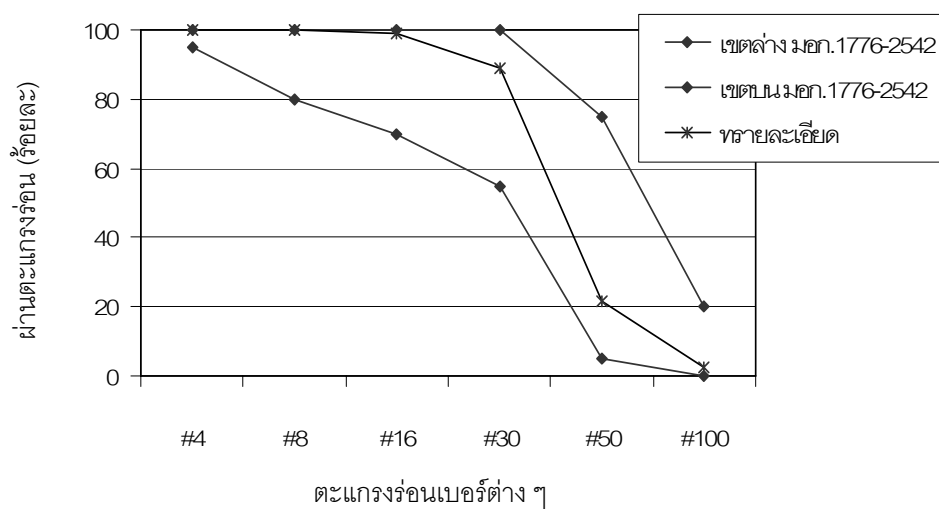


4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึ่มของทราย มีค่าเท่ากับ 2.64 และ 1.30 ตามลำดับ ค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 1.88 และขนาดคละของทรายอยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 มาตรฐาน BS 882-1992 กำหนด ดังภาพที่ 4.16 และ 4.17

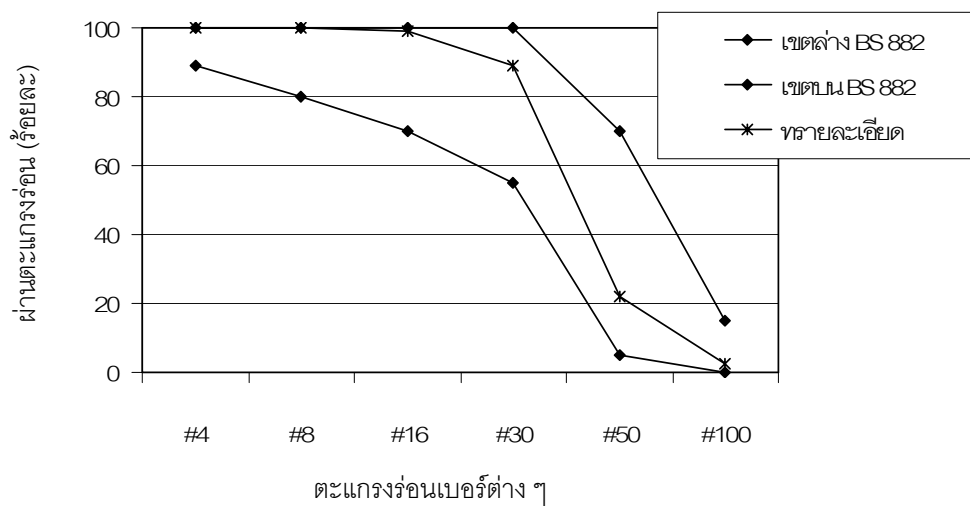
ภาพที่ 4.16

ขนาดคละของทรายละเอียด



ภาพที่ 4.17

ขนาดคละของทรายละเอียดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน BS882

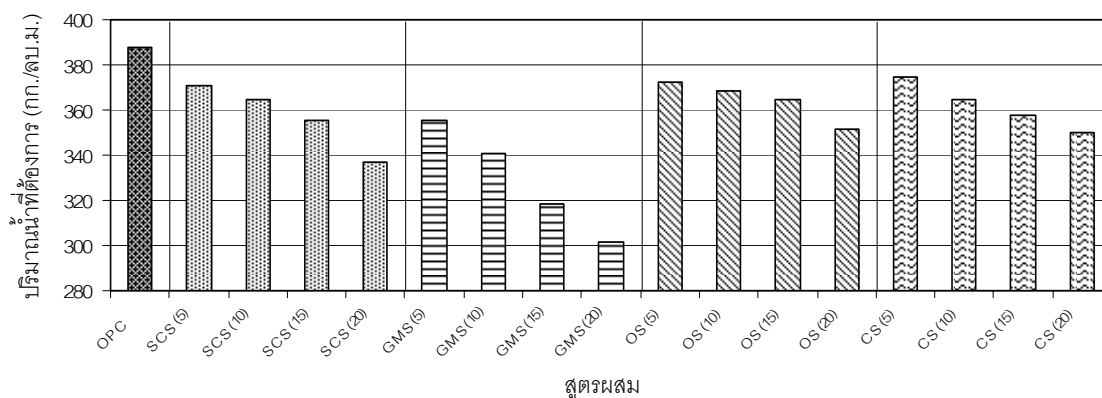


4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของปูนขาวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.4.1 ค่าอัตราการแผ่ไหลของมอร์ตาร์

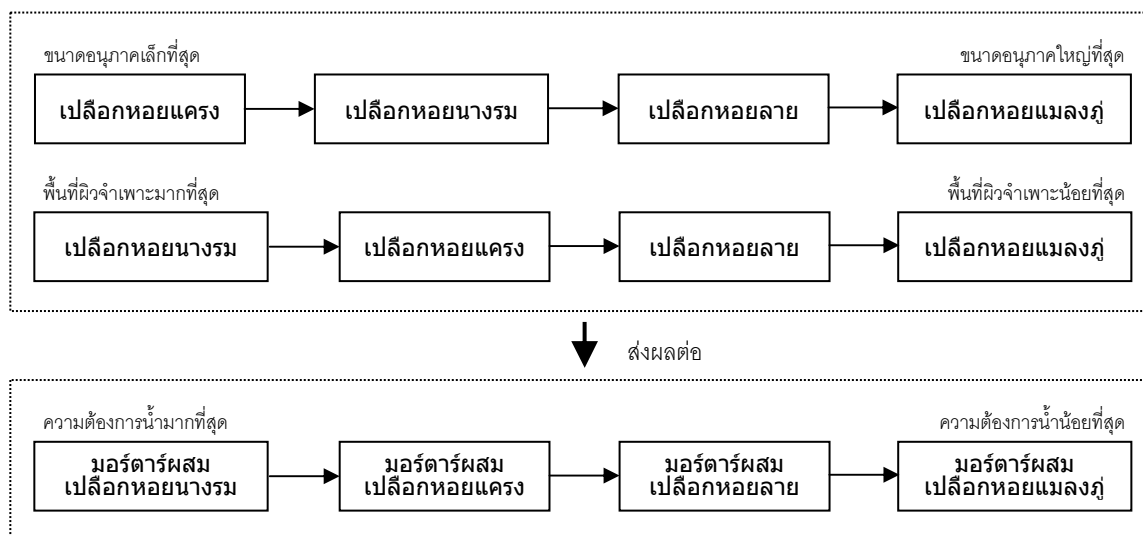
ค่าอัตราการแผ่ไหลของมอร์ตาร์ควบคุม และมอร์ตาร์ที่มีการนำเปลือกหอยบดมาแทนที่ในส่วนผสม พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลมีค่าสูงขึ้น ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยบดทำให้ปริมาณวัสดุเชื่อมประสานลดลง ปริมาณน้ำอิสระจึงมีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของเปลือกหอยบด และด้วยลักษณะอนุภาคของเปลือกหอยบดที่มีพื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระทำให้มีน้ำเคลือบที่ผิวมาก แต่อนุภาคของเปลือกหอยบดบางส่วนค่อนข้างเรียบและมีความพรุนต่ำส่งผลให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำภายในได้น้อย ดังนั้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเปลือกหอยบดในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าการเก็บน้ำภายในโพรงต่ำ ปริมาณน้ำอิสระมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเสียดสีของอนุภาคเปลือกหอยบดกับอนุภาคปูนซีเมนต์มีน้อยลงทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ เพื่อทำให้ค่าอัตราการแผ่ไหลเท่ากันของมอร์ตาร์มีค่าลดลงด้วย ซึ่งค่าอัตราการแผ่ไหลตามมาตรฐาน มอก.1776-2542 เท่ากับ 110 ± 5 และเมื่อเปรียบเทียบเปลือกหอยบดแต่ละชนิดแล้ว พบว่า เปลือกหอยนางรมบดมีความต้องการน้ำมากกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น เป็นเพราะว่าเปลือกหอยนางรมบดมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดมีความต้องการน้ำในการเคลือบผิวมาก แต่พื้นที่ผิวจำเพาะของเปลือกหอยแมลงภู่น้อยที่สุด อีกทั้งขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคใหญ่ที่สุดทำให้พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้เปลือกหอยแมลงภู่น้อยมีความต้องการน้ำน้อยที่สุด โดยมีผลการทดสอบ ดังภาพที่ 4.18 และ 4.19

ภาพที่ 4.18
ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



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

ภาพที่ 4.19
ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการน้ำของมอร์ตาร์และเรียงลำดับ
ตามความต้องการน้ำของเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

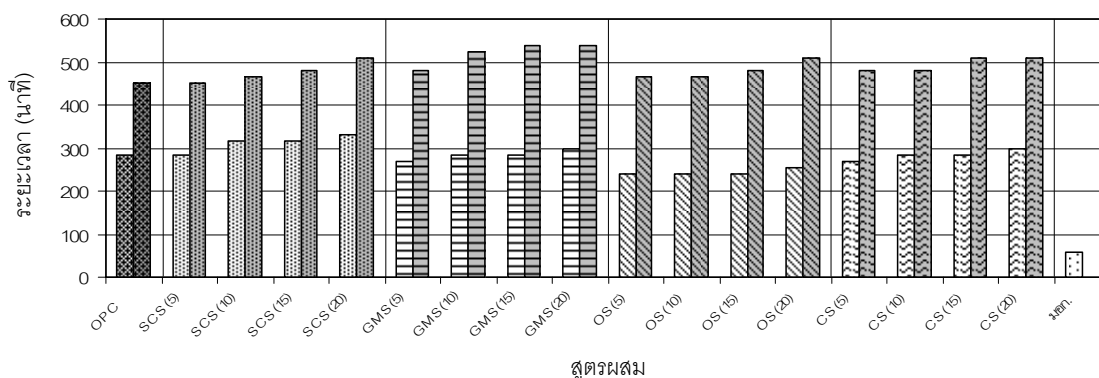
4.4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์

การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของมอร์ตาร์ควบคุมเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีการนำเปลือกหอยบดมาแทนที่บางส่วนในส่วนผสม พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลงด้วยการแทนที่ของเปลือกหอยบดส่งผลทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงตาม โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดจะมีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดซึ่งระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นนั้นต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม อันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวจำเพาะเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีค่าสูง จึงมีอนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างและมีน้ำเคลือบที่ผิวมาก โดยเปลือกหอยนางรมบดดูดน้ำเข้าไปมากจึงเกิดความกระด้างขึ้น ซึ่งความกระด้าง (stiffening) คือช่วงเวลาก่อนการก่อตัวเริ่มต้น ซึ่งมอร์ตาร์สามารถรับแรงอัดได้ 5 kg/cm^2 (ชัชวาล เศรษฐบุตตร, 2544, น. 68) ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดเริ่มแห้งเร็วกว่ามอร์ตาร์ควบคุมในช่วงแรก ส่งผลให้ค่าการก่อตัวเริ่มต้นจึงเร็วขึ้น

ซึ่งค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นตาม มอก.1776-2542 คือ ไม่ต่ำกว่า 60 นาที โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยบดมีค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นผ่านเกณฑ์ มอก.1776-2542 ในทุกส่วนผสม และเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายมีค่าสูงขึ้น โดยระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทั้งหมด มีผลการทดสอบ ดังภาพที่ 4.20

ภาพที่ 4.20

ระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



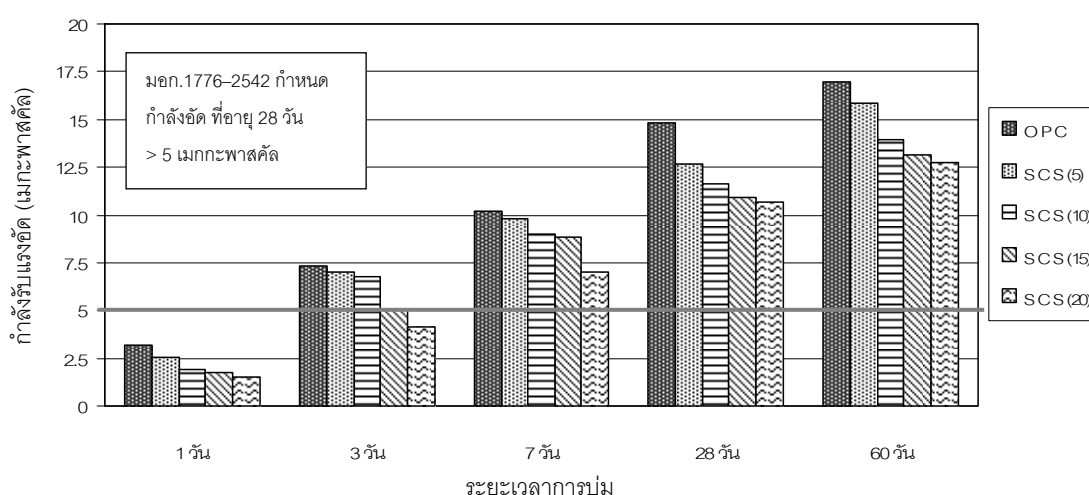
4.4.3 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

การทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด ซึ่งในส่วนผสมมีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (W/C) เป็นไปตามค่าอัตราส่วนผสมร้อยละ 110 ± 5 โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดพบว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนผสม เห็นได้ว่าความสามารถในกำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยบดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังอัดลดลงเพราะว่าเปลือกหอยลายบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของเปลือกหอยลายบดนั้นมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยลายบดบางส่วนสามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์นั้นได้ ดังนั้น ค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างน้อย โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ในช่วงระยะเวลาการบ่ม เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มที่ 60 วัน กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดจะมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างน้อย และโดยรวมแล้วค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่าน มอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล (อายุบ่ม 28 วัน) ดังภาพที่ 4.21

ภาพที่ 4.21

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด

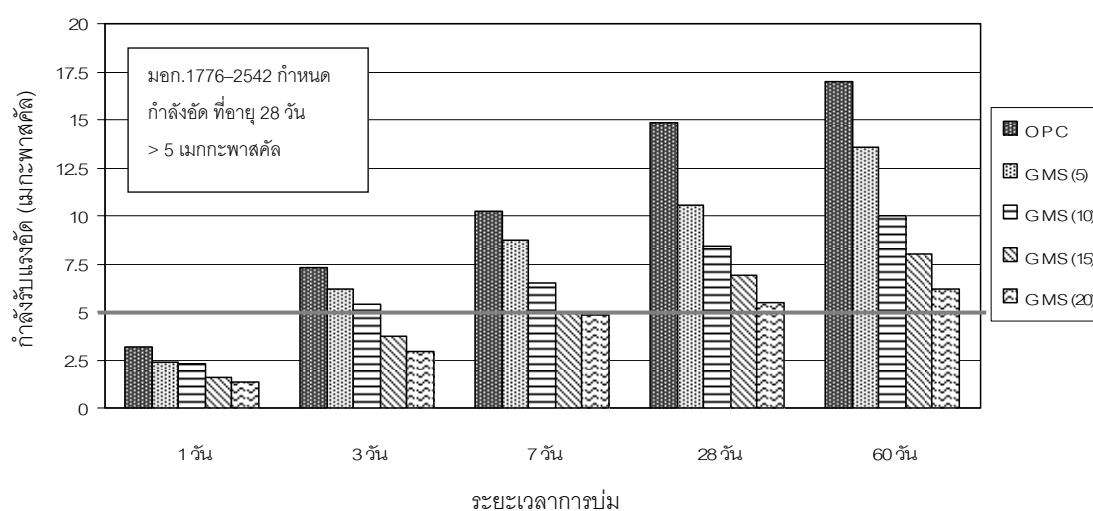


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
SCS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

2) ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดพบว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนผสม เห็นได้ว่าความสามารถในกำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยบดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังอัดลดลงเพราะว่าเปลือกหอยแมลงภูบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของเปลือกหอยแมลงภูบดนั้นมีขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยแมลงภูบดบางส่วนไม่สามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์นั้นได้ ดังนั้น ค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างมาก โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดเมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มที่มากกว่า 3 วัน จะมีค่าลดลงต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างชัดเจน ตามระยะเวลาการบ่มตัวที่เพิ่มมากขึ้น และโดยรวมแล้วค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่าน มอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล (อายุบ่ม 28 วัน) ดังภาพที่ 4.22

ภาพที่ 4.22

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบด

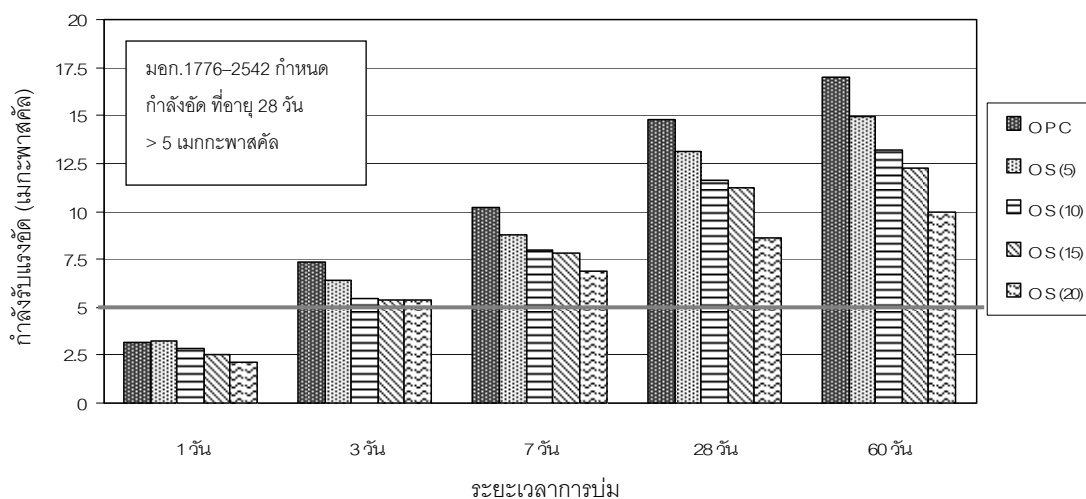


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
 GMS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภูบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
 x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

3) ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดพบว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนผสม เห็นได้ว่าความสามารถในกำลังอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยบดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเพราะว่าเปลือกหอยนางรมบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดบางส่วนสามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์นั้นได้ ดังนั้น ค่ารับแรงอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างน้อย โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาแรกการบ่ม แต่เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มมากกว่า 3 วัน กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดจะมีค่าลดลงต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ตามระยะเวลาการบ่มตัวที่เพิ่มมากขึ้น และโดยรวมแล้วค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่าน มอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล (อายุบ่ม 28 วัน) ดังภาพที่ 4.23

ภาพที่ 4.23

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบด

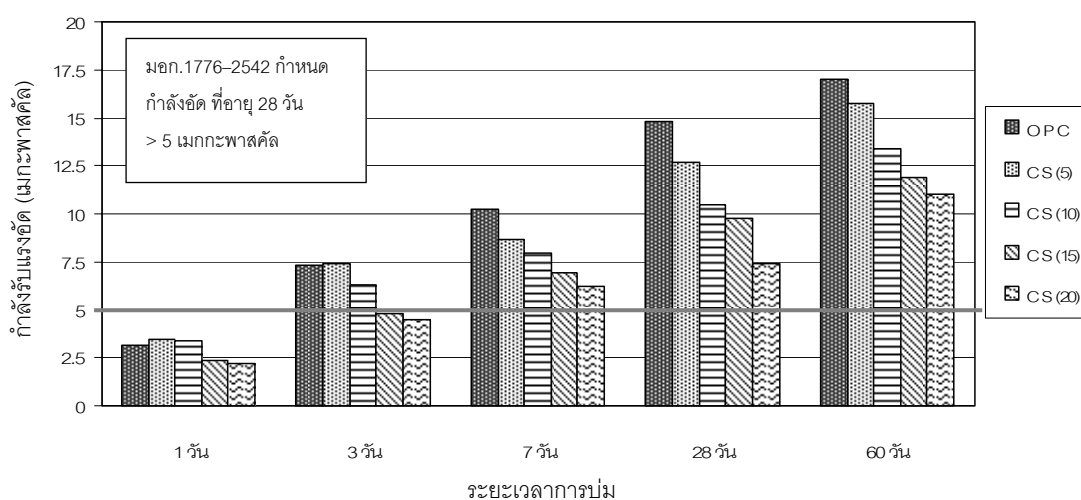


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
OS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

4) ผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดพบว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละส่วนผสม เห็นได้ว่าความสามารถในกำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยบดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังอัดลดลงเพราะว่าเปลือกหอยแครงบดค่อนข้างเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของเปลือกหอยแครงบดนั้นมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของเปลือกหอยแครงบดบางส่วนสามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์นั้นได้ ดังนั้น ค่ากำลังอัดที่ทดสอบได้จึงมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมค่อนข้างน้อย โดยกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาแรกการบ่ม แต่เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มมากกว่า 3 วัน กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดจะมีค่าลดลงต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ตามระยะเวลาการบ่มตัวที่เพิ่มมากขึ้น และโดยรวมแล้วค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบมีค่าผ่าน มอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล (อายุบ่ม 28 วัน) ดังภาพที่ 4.24

ภาพที่ 4.24

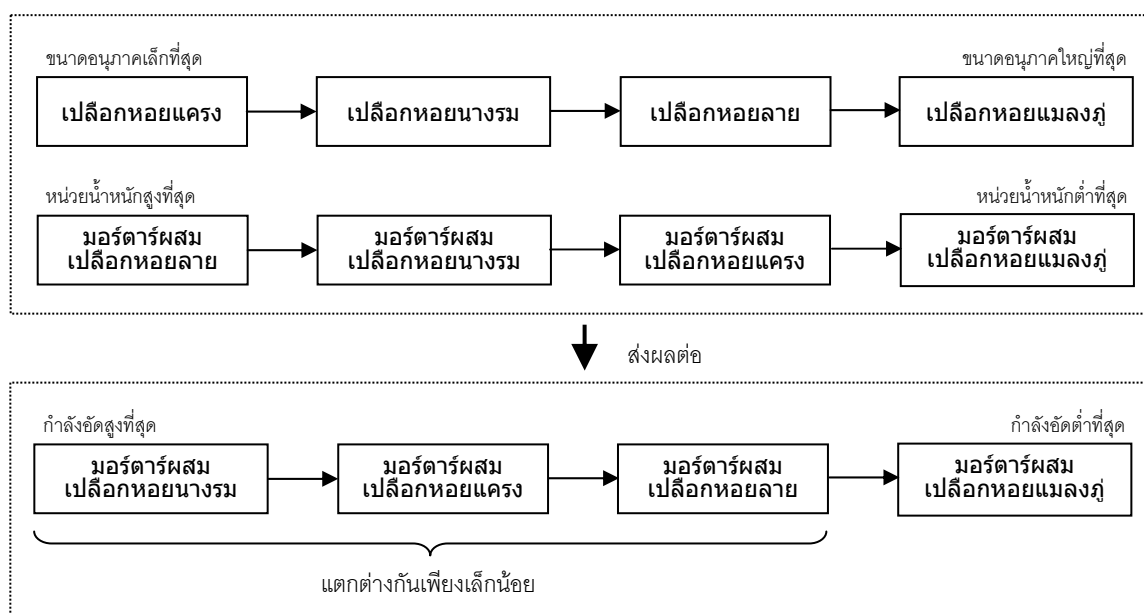
เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบด



หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
CS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

ภาพที่ 4.25

ปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และเรียงลำดับตาม
กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



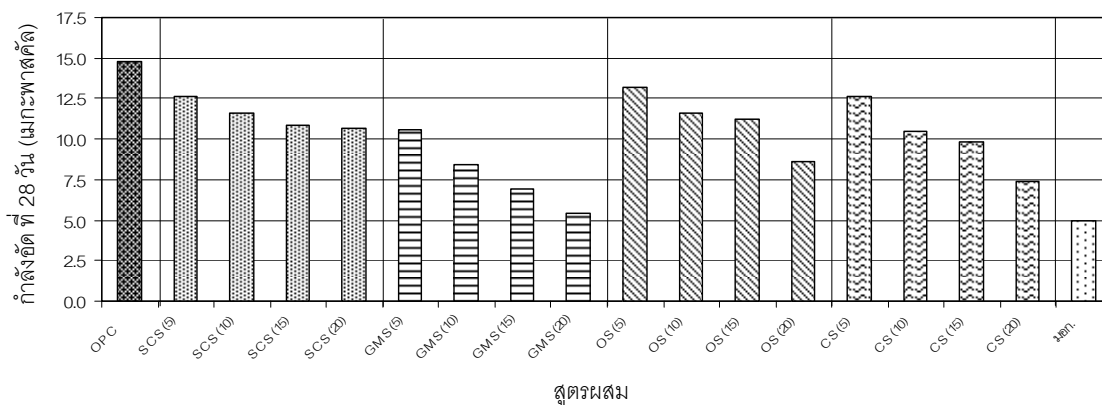
หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

เมื่อพิจารณากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด สามารถผ่านมาตรฐาน มอก.1776-2542 คือ 5 เมกะพาสคัล ดังภาพที่ 4.26

โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดมีแนวโน้มที่ กำลังอัดจะต่ำกว่ามอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดชนิดอื่น ๆ อีกทั้งมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดแทนที่ร้อยละ 20 นั้น มีกำลังอัดมากกว่าค่าตามมาตรฐานเพียงร้อยละ 8.84 ซึ่งแตกต่างกันมากกับมอร์ตาร์ควบคุมที่มีกำลังอัดมากกว่าค่าตามมาตรฐานถึงร้อยละ 196.42 ดังภาพที่ 4.27 เป็นการเปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของมอร์ตาร์กับกำลังอัดที่มาตรฐาน มอก.1776-2542 กำหนด

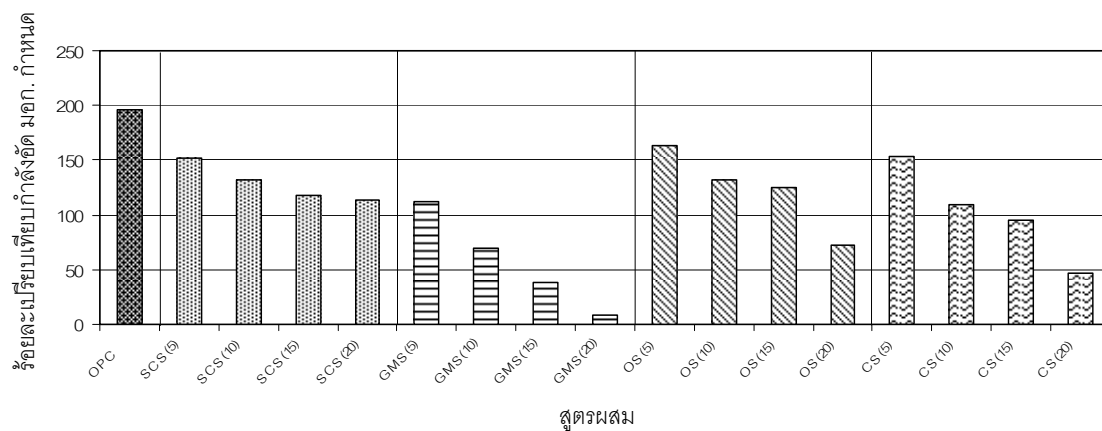
ภาพที่ 4.26

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน กับมาตรฐาน มอก.กำหนด



ภาพที่ 4.27

ร้อยละเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน กับมาตรฐาน มอก.กำหนด



4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติการหดตัวแบบแห้ง

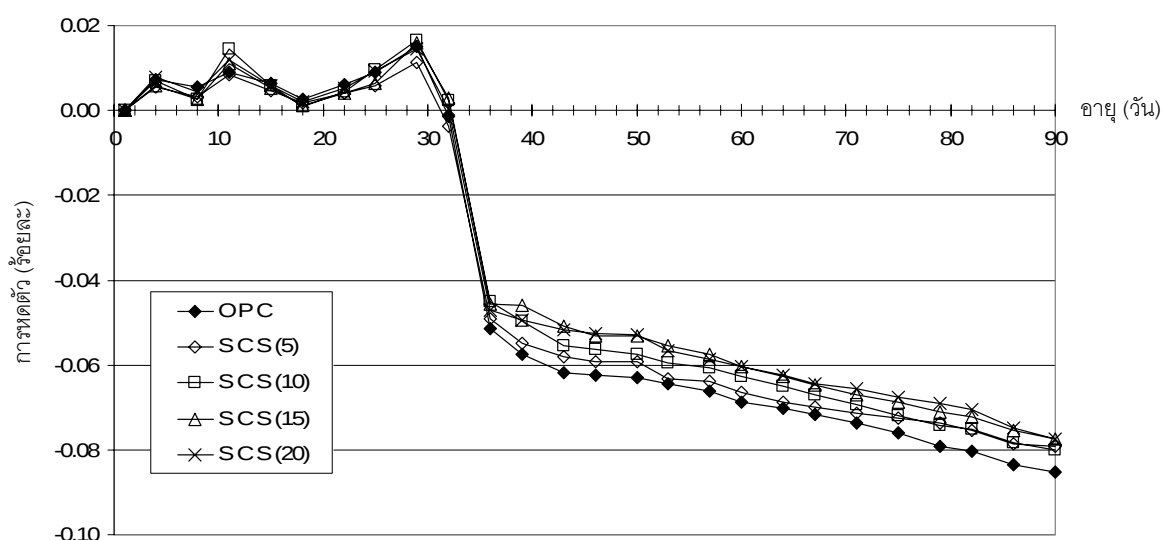
การทดสอบด้านการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบด้านการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด พบว่าร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกันเนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยบดในปริมาณน้อยจึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก โดยการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่า ส่วนผสมที่

มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปริมาณมากขึ้นค่าร้อยละการหดตัวลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมแล้วมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดมีการหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากเปลือกหอยลายบดนั้นมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้อนุภาคของเปลือกหอยลายบดสามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้มากขึ้น ทำให้โครงสร้างภายในหนาแน่นขึ้นและโพรงภายในลดลง การหดตัวจึงมีค่าลดลง เพราะเมื่อแท่งมอร์ตาร์แห้งเนื่องจากน้ำในมอร์ตาร์ระเหยออกไป โดยแท่งมอร์ตาร์แห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 น้ำในโพรงคาปิลารีถูกขับออกมา การหดตัวในลักษณะนี้เกิดจากลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างซีเมนต์เจลดมากกว่าส่วนประกอบทางเคมี การสูญเสียน้ำในโพรงคาปิลารีทำให้น้ำที่เหลือเป็นผิวโค้งและเกิดแรงดึงผิวขึ้น ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหดตัวแบบแห้ง (Neville, 1995) โดยหากลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างของซีเมนต์เจลดมีความหนาแน่นสูงค่าการหดตัวจะต่ำ ดังภาพที่ 4.28

ภาพที่ 4.28

เปรียบเทียบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด

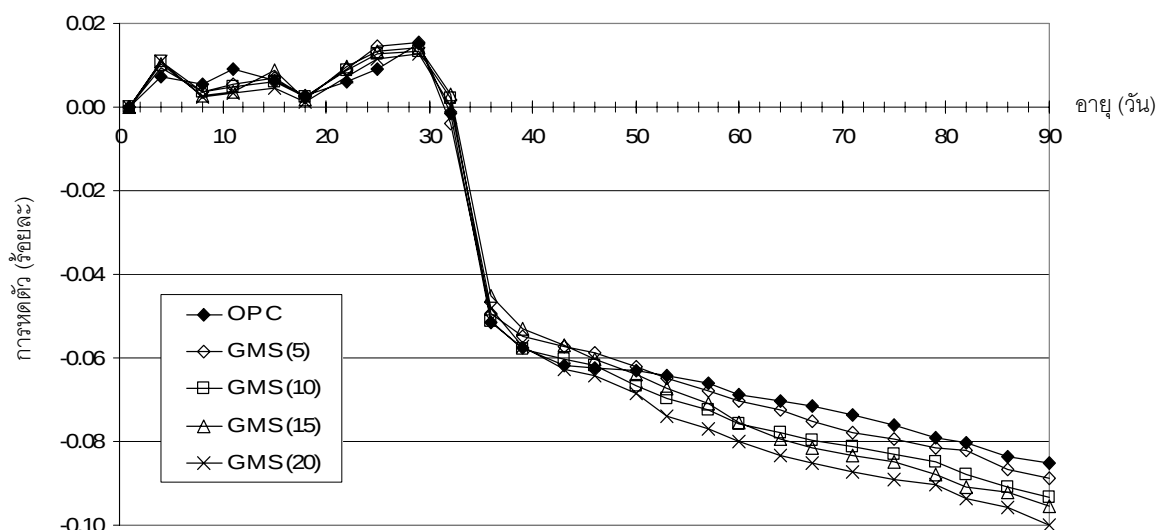


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
SCS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

2) ผลการทดสอบด้านการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดพบว่า ร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกันเนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยแมลงภู่บดในปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก โดยการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่าส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่บดในปริมาณที่มากขึ้นค่าร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมแล้วมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดมีการหดตัวมากกว่าเนื่องจากอนุภาคเปลือกหอยแมลงภู่บดนั้นบางส่วนมีขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ จึงส่งผลให้อนุภาคดังกล่าวไม่สามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้ ส่งผลให้โครงสร้างภายในมีโพรงเพิ่มมากขึ้น การหดตัวจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อแท่งมอร์ตาร์แห้งเนื่องจากน้ำภายในมอร์ตาร์ระเหยออกไป โดยแท่งมอร์ตาร์แห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 น้ำในโพรงคาปิลารีจะถูกขับออกมา การหดตัวในลักษณะนี้เกิดจากลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างซีเมนต์เจลดมากกว่าส่วนประกอบทางเคมี การสูญเสียน้ำในโพรงคาปิลารีทำให้น้ำที่เหลือเป็นผิวโค้งและเกิดแรงดึงผิวขึ้น ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหดตัวแบบแห้ง (Neville, 1995) โดยหากลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างของซีเมนต์เจลดมีความหนาแน่นต่ำค่าการหดตัวจะสูง ดังภาพที่ 4.29

ภาพที่ 4.29

เปรียบเทียบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บด

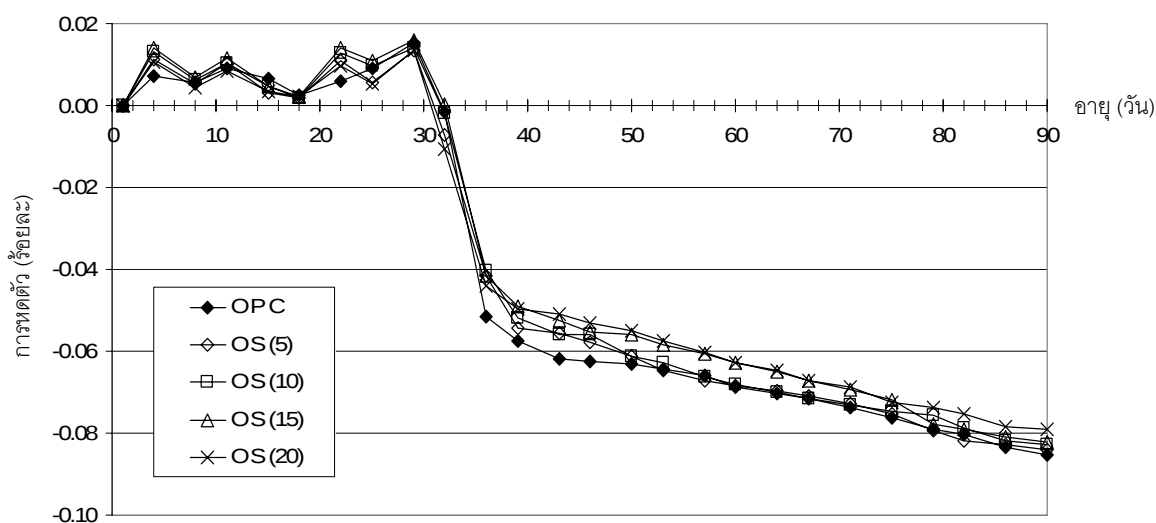


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
 GMS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่บดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
 x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

3) ผลการทดสอบด้านการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดพบว่า ร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกันเนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยนางรมบดในปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก โดยการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่าส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปริมาณที่มากขึ้นค่าร้อยละการหดตัวลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมแล้วมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดมีการหดตัวน้อยกว่าเนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้อนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดสามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้มากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างภายในหนาแน่นขึ้นและโพรงภายในลดลง การหดตัวจึงมีค่าลดลง ดังภาพที่ 4.30

ภาพที่ 4.30

เปรียบเทียบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบด

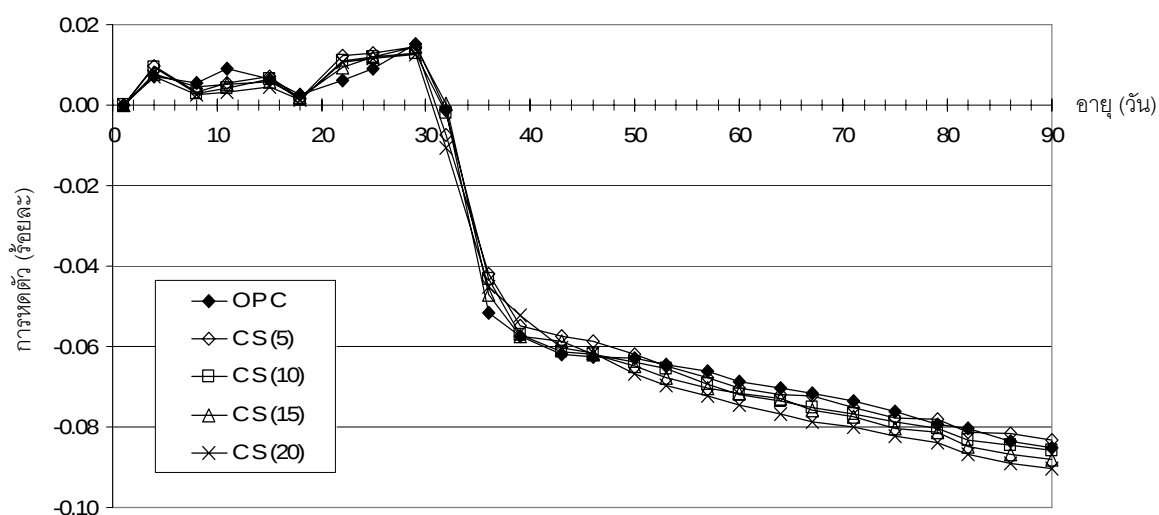


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
OS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

4) ผลการทดสอบด้านการหดตัวแบบแห้งในส่วนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดพบว่า ร้อยละการหดตัวใกล้เคียงกันเนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยแครงบดในปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในมากนัก โดยการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่าส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่าร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมแล้วมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดมีการหดตัวมากกว่า ดังภาพที่ 4.31

ภาพที่ 4.31

เปรียบเทียบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบด

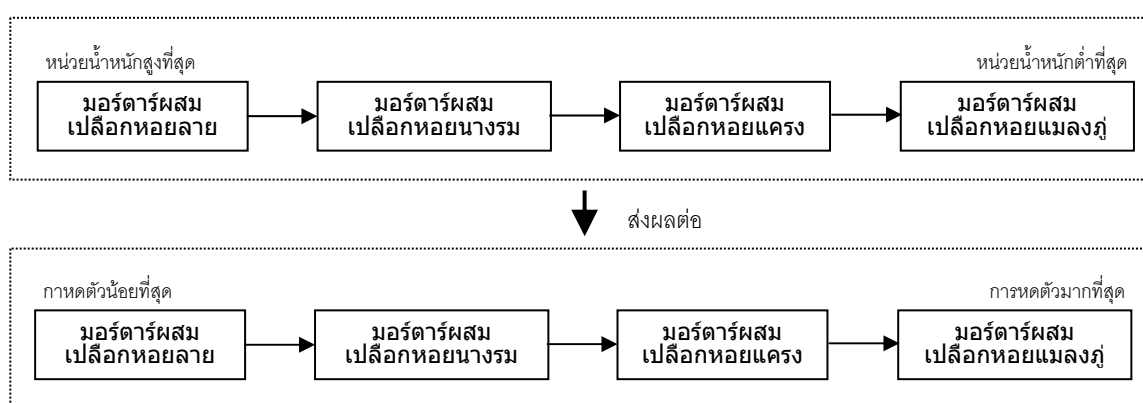


หมายเหตุ OPC แทน มอร์ตาร์ควบคุม
 CS (x) หมายถึง มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
 x แทน อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

เมื่อเปรียบเทียบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยลายบดและเปลือกหอยนางรมบดส่งผลให้ร้อยละการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยลายบดมีแนวโน้มที่การหดตัวลดลงมากกว่าเปลือกหอยนางรมบด ส่วนมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดและเปลือกหอยแครงบดนั้นส่งผลให้ร้อยละการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดมีแนวโน้มที่การหดตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าเปลือกหอยแครงบด

ภาพที่ 4.32

แนวโน้มการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



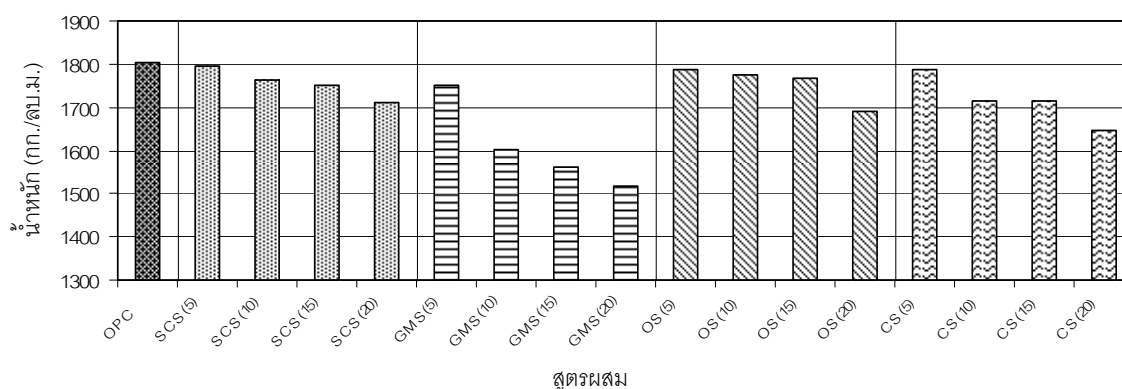
หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.6.1 หน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์

การทดสอบเรื่องหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์นำเปลือกหอยบดมาแทนที่ในส่วนผสม ในการทดสอบ พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยบดเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้หน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์มีค่าลดลง มอร์ตาร์ควบคุมมีหน่วยน้ำหนักสูงสุด ส่วนมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเปลือกหอยแมลงภู ร้อยละ 20 มีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ทั้งหมด ดังภาพที่ 4.33

ภาพที่ 4.33
หน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



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

4.6.2 ความพรุนของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบด้านความพรุนของมอร์ตาร์ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกตามชนิดของเปลือกหอยบดซึ่งเป็นส่วนผสม 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภูบด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเปลือกหอยลายบดเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากขนาดของอนุภาคของเปลือกหอยลายบดที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคนี้อยู่ติดกัน สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ได้เล็กน้อยทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งหมายความว่าค่าความพรุนใกล้เคียงกับของมอร์ตาร์ควบคุม โดยค่าความพรุนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยลายบดทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความพรุนใกล้เคียงกันเนื่องมาจากมีการกระจายตัวของอนุภาคเปลือกหอยลายบดได้สม่ำเสมอ

2) ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเปลือกหอยแมลงภู่บดเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเนื่องจากขนาดของอนุภาคของเปลือกหอยแมลงภู่บดที่ใหญ่กว่าปูนซีเมนต์อนุภาคดังกล่าวจึงไม่สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ ส่งผลให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นลดลง ซึ่งหมายถึง ค่าความพรุนที่มากขึ้นตามลำดับ

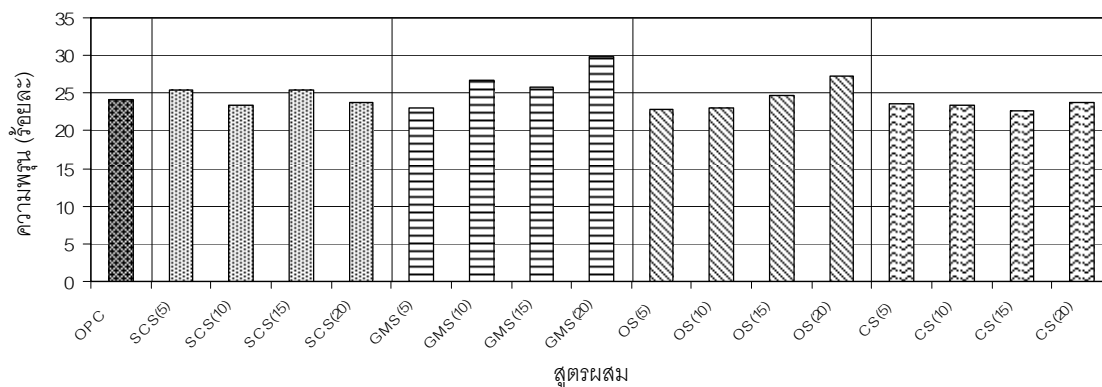
3) ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของอนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคดังกล่าว สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ได้เล็กน้อยทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งหมายถึง ค่าความพรุนใกล้เคียงกับของมอร์ตาร์ควบคุม

4) ผลการทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเปลือกหอยแครงบดเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณของเปลือกหอยแครงบดที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคดังกล่าว สามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ได้ทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นมากกว่าควบคุม ซึ่งหมายถึง ค่าความพรุนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยค่าความพรุนของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยแครงบดทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความพรุนใกล้เคียงกันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคเปลือกหอยแครงบดได้สม่ำเสมอ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบด้านความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดเพียงชนิดเดียวที่มีความพรุนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมทั้งหมด นอกนั้นความพรุนของมอร์ตาร์ส่วนใหญ่จะสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บด ร้อยละ 20 จะมีความพรุนสูงที่สุด แต่มีความสัมพันธ์ที่เหมือนกันคือ เมื่อมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีค่าความพรุนเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.34

ภาพที่ 4.34

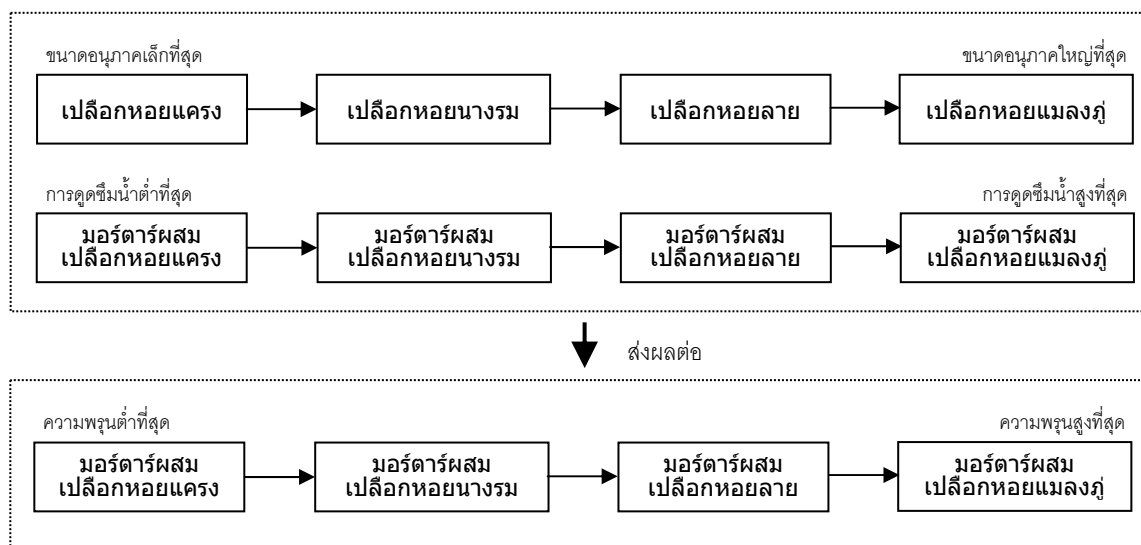
ความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



ภาพที่ 4.35

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพรุนของมอร์ตาร์และเรียงลำดับตาม

ความพรุนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



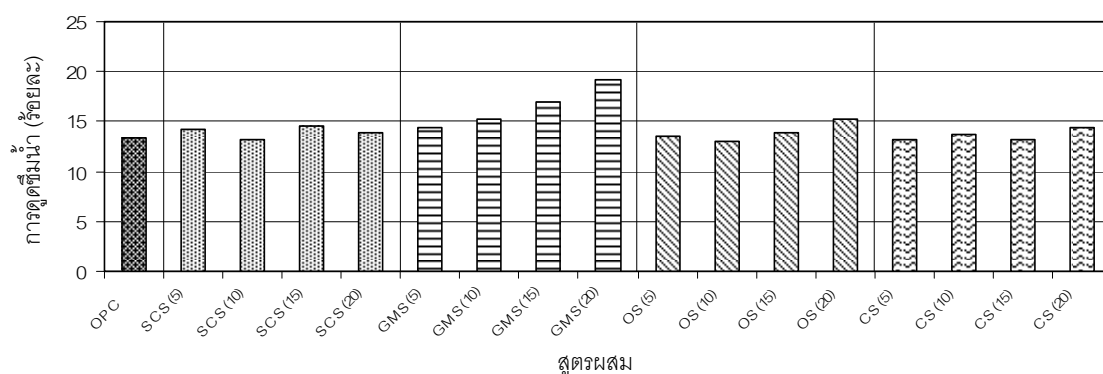
หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

4.6.3 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์ที่มีการนำเปลือกหอยบดมาแทนที่ในส่วนผสม ในการทดสอบ พบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่นับเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเปลือกหอยแมลงภู่นับ ร้อยละ 20 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ทั้งหมด และในส่วนของเปลือกหอยชนิดอื่นนั้น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม ดังภาพที่ 4.36

ภาพที่ 4.36

การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



4.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อนของปูนฉาบ

การทดสอบด้านการนำความร้อนในงานวิจัยชิ้นนี้ พบว่า มอร์ตาร์ควบคุมมีค่าการนำความร้อนที่ $1.56 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ทั่วไปที่ $1.40 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ โดยมีความหนาแน่น $1,960 \text{ kg/m}^3$ (ASHRAE, 2005, p. 25.8) และสามารถแบ่งผลการทดสอบได้เป็น 4 ส่วน ตามชนิดของเปลือกหอยบด ได้แก่ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่นับ เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบด พบว่า ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าน้อยลง เมื่อปริมาณของเปลือกหอยลายบดเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเปลือกหอยลายบดมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์

เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยลายบด ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยลายบดมีความหนาแน่นต่ำลง สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูปพุ่มและโพรงที่มีมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

2) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บด พบว่า ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดน้อยลง เมื่อปริมาณของเปลือกหอยแมลงภู่บดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่บดนั้นมีความถ่วงจำเพาะและความละเอียดน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้อนุภาคเปลือกหอยแมลงภู่บดไม่สามารถแทรกสอดเข้าไประหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ได้ และส่งผลให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดมีความพรุนสูงขึ้น สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศในรูปพุ่มและโพรงที่มีมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

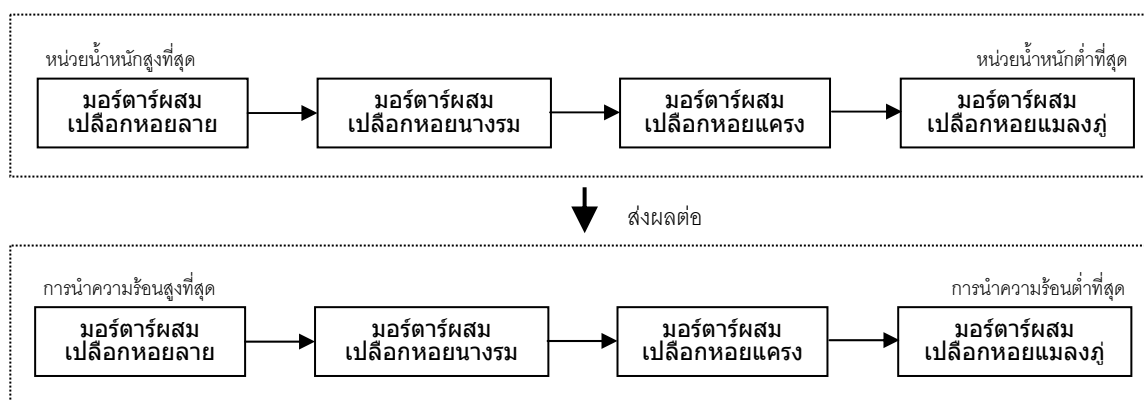
3) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบด พบว่า ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดน้อยลง เมื่อปริมาณของเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดนั้นมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบด ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยนางรมบดมีความหนาแน่นต่ำลง สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศในรูปพุ่มและโพรงที่มีมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

4) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบด พบว่า ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดน้อยลง เมื่อปริมาณของเปลือกหอยแครงบดเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเปลือกหอยแครงบดนั้นมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครงบด ทำให้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแครงบดมีความหนาแน่นต่ำลง สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศในรูปพุ่มและโพรงที่มีมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด พบว่า ค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดร้อยละ 20 มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่บดมีความละเอียดต่ำที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพในการแทรกสอดและการอุดตัวระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้ความหนาแน่นของมอร์ตาร์ลดลง และค่าการนำความร้อนของมอร์ตาร์มีค่าลดลงด้วย เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นของเปลือกหอยบด ดังภาพที่ 4.37 และ 4.38

ภาพที่ 4.37

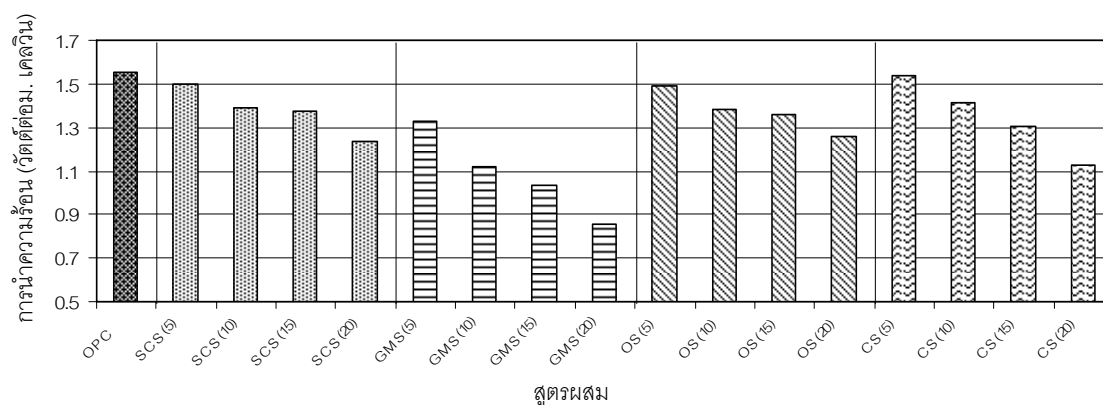
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำความร้อนของมอร์ตาร์และเรียงลำดับตาม
การนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด



หมายเหตุ: เรียงลำดับตามค่าร้อยละที่ได้จากการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

ภาพที่ 4.38

การนำความร้อนของมอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด



หมายเหตุ	OPC	แทน	มอร์ตาร์ควบคุม
	SCS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GMS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่บดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	OS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	CS (x)	หมายถึง	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

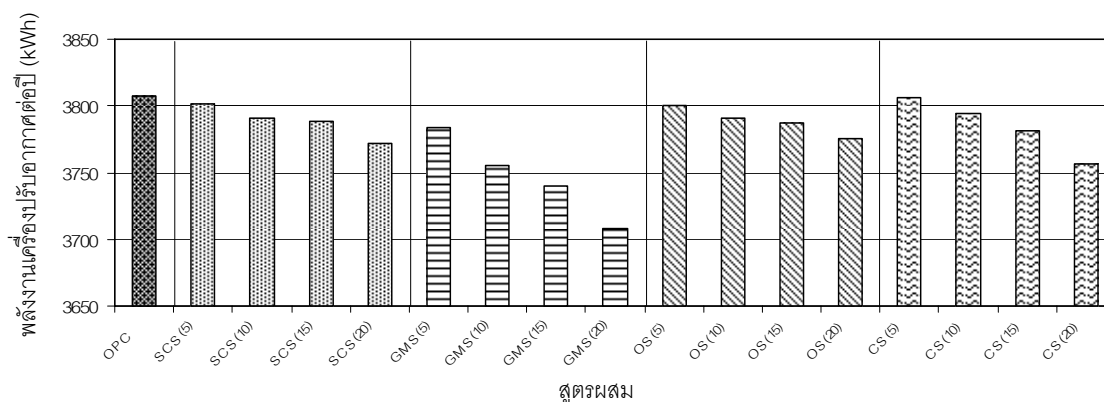
4.8 ผลการทดสอบการจำลองการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคาร

การทดสอบการจำลองการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคาร สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคารและร้อยละของจำนวนเงินที่สามารถประหยัดได้ต่อปี โดยมีผลการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) การจำลองการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศต่อปีของอาคารที่ใช้มอเตอร์ควบคุมและมอเตอร์ที่มีการนำเปลือกหอยบดมาแทนที่ในส่วนผสม พบว่า การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต่อปีมีค่าลดลงทั้งหมด เมื่อปริมาณการแทนที่ของเปลือกหอยบดเพิ่มขึ้น โดยอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต่อปี มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าการนำความร้อนของมอเตอร์ โดยอาคารที่ใช้มอเตอร์ผสมเปลือกหอยแมลงภู่มัแทนที่ร้อยละ 20 ใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต่ำที่สุด ดังภาพที่ 4.39

ภาพที่ 4.39

พลังงานต่อปีของเครื่องปรับอากาศในอาคารที่ใช้มอเตอร์ผสมเปลือกหอยบด



หมายเหตุ	OPC	แทน	มอเตอร์ควบคุม
	SCS (x)	หมายถึง	มอเตอร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยลายบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	GMS (x)	หมายถึง	มอเตอร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่มบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	OS (x)	หมายถึง	มอเตอร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	CS (x)	หมายถึง	มอเตอร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแครงบดในปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ x โดยน้ำหนัก
	x	แทน	อัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยบด

2) ร้อยละของจำนวนเงินที่สามารถประหยัดได้ต่อปีในอาคารที่ฉาบด้วยมอร์ตาร์ ควบคุมและมอร์ตาร์ที่มีการนำเปลือกหอยบดมาแทนที่ในส่วนผสม ในการจำลอง พบว่า โดยอาคารที่ใช้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยแมลงภูบดแทนที่ร้อยละ 20 สามารถประหยัดเงินได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 2.6 ต่อปี ดังภาพที่ 4.40

ภาพที่ 4.40

ร้อยละของจำนวนเงินที่สามารถประหยัดได้ต่อปีในอาคารที่ใช้มอร์ตาร์ผสมเปลือกหอยบด

