

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

จากการศึกษาผลกระทบของซีเมนต์เถ้าลอยและผงหินปูนต่อการขยายตัวของมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ในครั้งนี้ ได้พิจารณาผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลในหัวข้อดังต่อไปนี้คือ คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน คุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน และคุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผงหินปูนขนาด 3 ไมโครเมตร และเถ้าลอย โดยคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

สำหรับคุณสมบัติทางด้านกายภาพของวัสดุประสานที่ศึกษาได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน (Blaine fineness) ภาพถ่ายขยายของอนุภาคโดยวิธี Scanning Electronic Microscope (SEM) และการกระจายตัวของอนุภาค (Size distribution)

4.1.1.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดโดยวิธีเบลนของวัสดุประสาน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะและความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผงหินปูน และเถ้าลอย พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 3.11 ส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เท่ากับ 3.18 ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยและผงหินปูนนั้นจะมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ โดยมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.46 และ 2.79 ตามลำดับ สำหรับความละเอียดโดยวิธีเบลนนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (3,250 ซม.²/ก.) และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (3,340 ซม.²/ก.) มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความละเอียดของของเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ ประเภทที่ 5 คือเท่ากับ 3,550 ซม.²/ก. ส่วนผงหินปูนจะมีความละเอียดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น คือ 12,160 ซม.²/ก.

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดโดยวิธีเบลนของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

ประเภทของวัสดุ ประสาน รายการ	ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภทที่ 5	ผงหินปูน (3 ไมครอน)	เถ้าลอย
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	3.18	2.79	2.46
ความละเอียดโดยวิธีเบลน (ชม. ² / ก.)	3,250	3,340	12,160	3,550

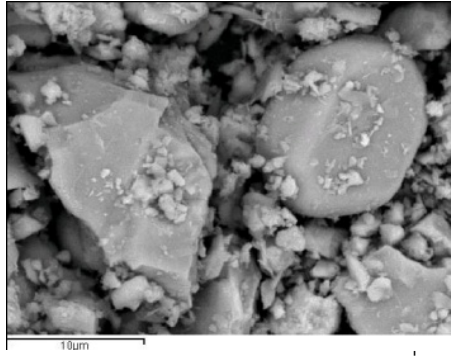
4.1.1.2 ภาพถ่ายขยายของอนุภาคโดยใช้เครื่อง Scanning Electronic Microscope: SEM ของวัสดุประสาน

จากการถ่ายภาพขยายของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ โดยใช้เครื่อง Scanning Electronic Microscope: SEM ซึ่งขยาย 3,500 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่ารูปร่างของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 5 มีลักษณะคล้ายกันเป็นรูปเหลี่ยมคม ส่วนรูปร่างของอนุภาคขยายของผงหินปูนนั้น มีลักษณะเป็นเหลี่ยมซึ่งจะมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 5 ในขณะที่รูปร่างของอนุภาคของเถ้าลอยมีลักษณะกลมเรียบมีขนาดต่างๆกันกระจายอยู่เห็นได้ชัดเจน

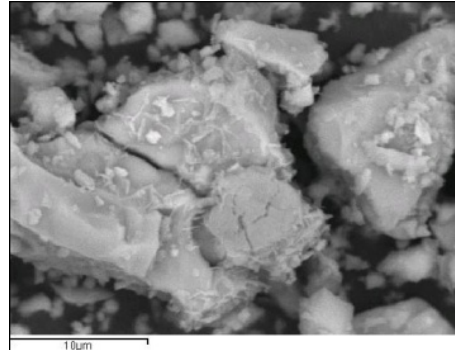
4.1.1.3 การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน

การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ประมาณ 17 และ 16 ไมโครเมตร ตามลำดับ และของเถ้าลอยมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคประมาณ 20 ไมโครเมตร ในขณะที่ของผงหินปูน มีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคประมาณ 3 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

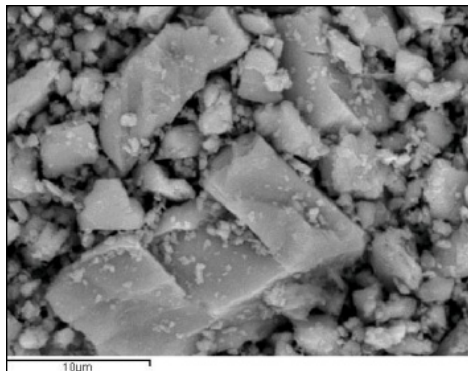
ส่วนลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ศึกษาในครั้งนี้นพบว่าการกระจายของอนุภาคของผงหินปูนค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งขนาดส่วนที่ละเอียด และส่วนที่หยาบใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะเห็นว่าค่อนข้างจับกลุ่มที่เหมือนกันคือ ส่วนอนุภาคส่วนที่ละเอียดมีแนวโน้มว่ามีมากกว่าส่วนที่หยาบ ยกเว้นกรณีของเถ้าลอยมีแนวโน้มว่าการกระจายตัวของอนุภาคส่วนที่หยาบจะมีมากกว่าส่วนละเอียด



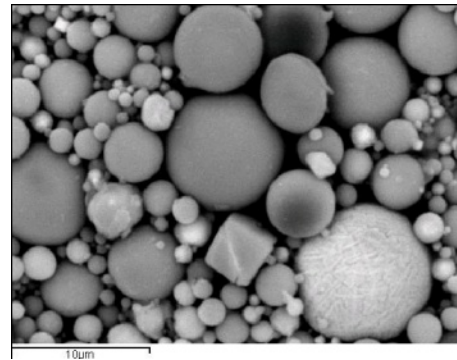
ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

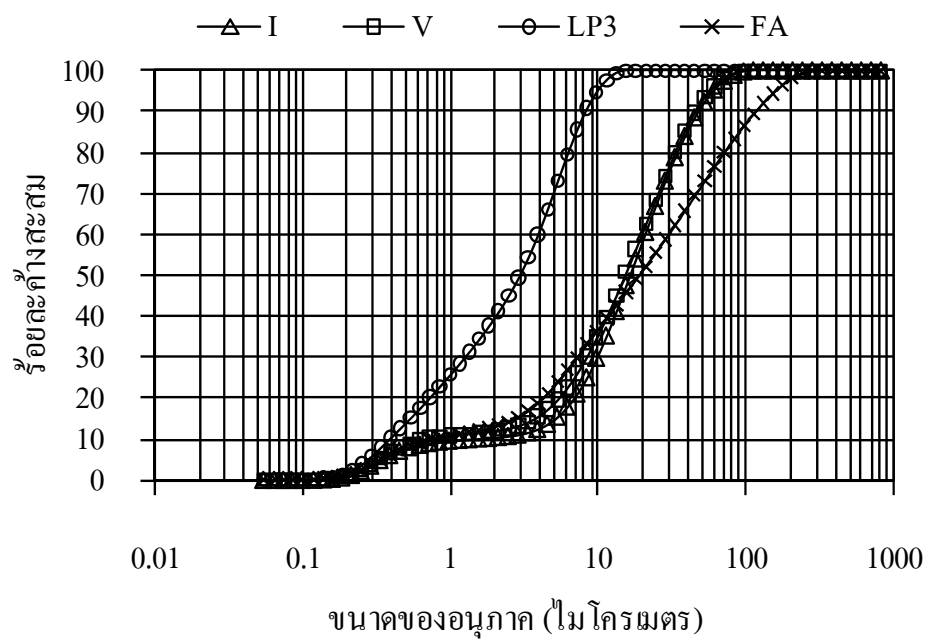


ค. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ง. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายขยาย 3,500 เท่าของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี โดยวิธี X-ray fluorescence spectrometry : XRF ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผงหินปูน และเถ้าลอย ดังตาราง ที่ 4.2 พบว่า SiO_2 ของเถ้าลอยมีค่าค่อนข้างสูงคือเท่ากับร้อยละ 40.93 เมื่อเปรียบเทียบกับของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งเท่ากับร้อยละ 19.51 และ 21.87 ตามลำดับ ในขณะที่ของผงหินปูนมี SiO_2 น้อยมากคือเท่ากับร้อยละ 0.46 ในกรณีของ Al_2O_3 ก็เช่นกันโดยที่ของ เถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 22.42 ในขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 และผง หินปูนเท่ากับร้อยละ 4.97 3.87 และ 0.06 ตามลำดับ และกรณีของ Fe_2O_3 ก็ทำนองเดียวกันคือ เถ้า ลอย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และผงหินปูนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 13.64 3.78 4.34 และ 0.03 ตามลำดับ ส่วนในกรณี CaO นั้นพบว่าของเถ้าลอยมีค่าน้อยกว่า ทั้งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และผงหินปูน โดย มีค่า เท่ากับร้อยละ 13.63 (เถ้าลอย) ร้อยละ 65.38 (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) ร้อยละ 64.56 (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5) และร้อยละ 55.25 ซึ่งเป็นของผงหินปูน

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

สารประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5	ผงหินปูน (3 ไมโครเมตร)	เถ้าลอย
SiO_2	19.51	21.87	0.46	40.93
Al_2O_3	4.97	3.87	0.06	22.42
Fe_2O_3	3.78	4.34	0.03	13.64
CaO	65.38	64.56	55.25	13.63
MgO	1.08	1.11	0.37	2.93
Na_2O	<0.01	<0.01	<0.01	0.89
K_2O	0.47	0.24	0.01	2.39
SO_3	2.16	2.08	<0.01	1.92
TiO_2	0.25	0.21	<0.01	0.43
P_2O_3	0.07	0.05	0.01	0.15
Free Lime	1.00	0.76	-	0.22
LOI	2.27	1.59	43.79	0.46
Insoluble Residue %	0.28	0.23	-	-

ในส่วนออกไซด์รองอื่นๆได้แก่ MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 , TiO_2 , P_2O_3 , Free Lime และสารที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue %) นอกเหนือจากออกไซด์หลักที่กล่าวมาแล้วพบว่า

ของปูนซีเมนต์ทั้งสองประเภท รวมทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ยกเว้นกรณีของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผา (Loss on Ignition; LOI) ของผงหินปูนค่อนข้างสูงคือ ร้อยละ 43.79 ในขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 2.27, 1.59 และ 0.46 ตามลำดับ

4.2 คุณสมบัติทางด้านซีเมนต์ของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติทางด้านซีเมนต์ (Cementitious properties) ของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Normal consistency) ของเพสต์ การก่อตัว (Setting time) ของเพสต์ การไหลแผ่ (Flow) ของมอร์ตาร์ ความพรุน (Porosity) ที่อายุ 28 วันของมอร์ตาร์ และกำลังอัดประลัย (Compressive strength; f_c) ของมอร์ตาร์ ที่อายุ 28 วัน และ 365 วัน

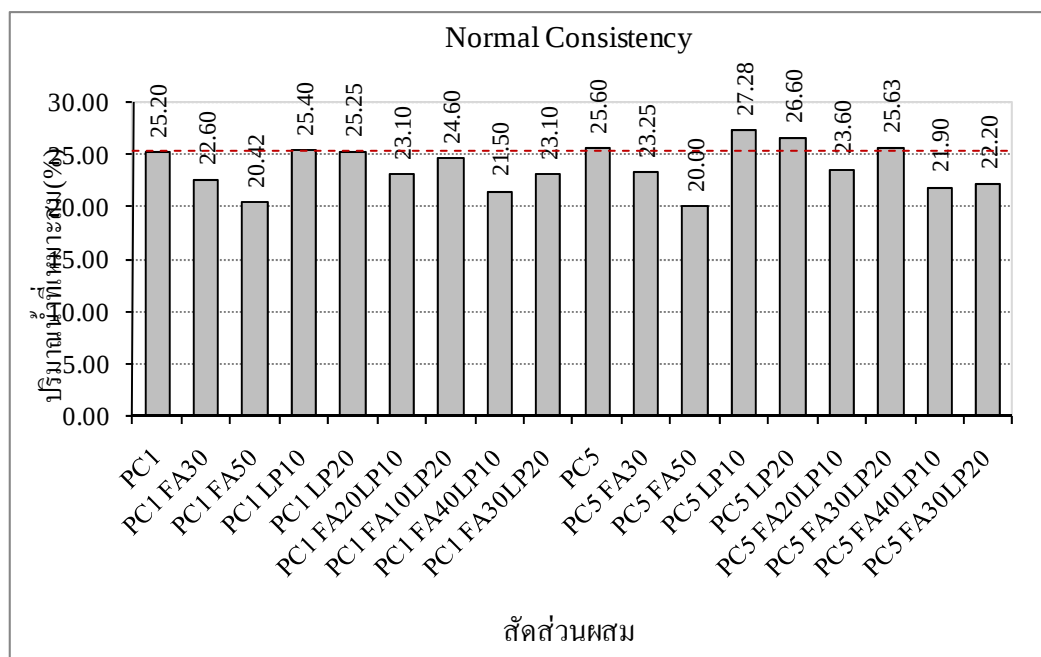
4.2.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์วัสดุประสาน

ผลการศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ (Normal consistency) ของวัสดุประสานทั้งหมดจำนวน 18 ตัวอย่างสัดส่วนผสม โดยได้ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.3

จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 25.20 และ 25.60 ตามลำดับ ส่วนกรณีของเพสต์เมื่อแทนที่เถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อแทนที่เถ้าลอยจะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่ำกว่ากรณีไม่แทนที่โดยเฉพาะกรณีแทนที่ในปริมาณมากขึ้น จะได้ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมยิ่งต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะของอนุภาคที่กลมของเถ้าลอยช่วยในการไหลลื่นจึงทำให้มีความต้องการน้ำน้อย ส่วนกรณีแทนที่ผงหินปูนทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 พบว่าจะให้ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมใกล้เคียงหรือมีแนวโน้มที่สูงขึ้นทั้งนี้เป็นเพราะผงหินปูนที่แทนที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้มีความต้องการน้ำมากขึ้น สำหรับปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์แทนที่ทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนก็จะให้ผลสอดคล้องกับการแทนที่เถ้าลอย และแทนที่ผงหินปูน กล่าวคือถ้าปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอยมากจะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์มีค่าต่ำลง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเฟสต์ของสัดส่วนผสมต่างๆของวัสดุประสานที่ศึกษาในครั้งนี้

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (ร้อยละ)
1	PC1	25.20
2	PC1 FA30	22.60
3	PC1 FA50	20.40
4	PC1 LP10	25.40
5	PC1 LP20	25.25
6	PC1 FA20LP10	23.10
7	PC1 FA10LP20	24.60
8	PC1 FA40LP10	21.50
9	PC1 FA30LP20	23.10
10	PC5	25.60
11	PC5 FA30	23.25
12	PC5 FA50	20.00
13	PC5 LP10	27.25
14	PC5 LP20	26.60
15	PC5 FA20LP10	23.60
16	PC5 FA30LP20	25.60
17	PC5 FA40LP10	21.90
18	PC5 FA30LP20	22.20



ภาพที่ 4.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเฟสต์ของสัดส่วนผสมต่างๆของวัสดุประสาน

4.2.2 ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์วัสดุประสาน

ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 แสดงการก่อตัว (Setting time) ของเพสต์ของวัสดุประสานที่ศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 18 สัดส่วนผสม โดยเปรียบเทียบระหว่างเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และเพสต์ของการแทนที่เถ้าลอยและผงหินปูน ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 โดยศึกษาทั้งการก่อตัวเริ่มต้น (Initial setting time) และการก่อตัวขั้นสุดท้าย (Final setting time)

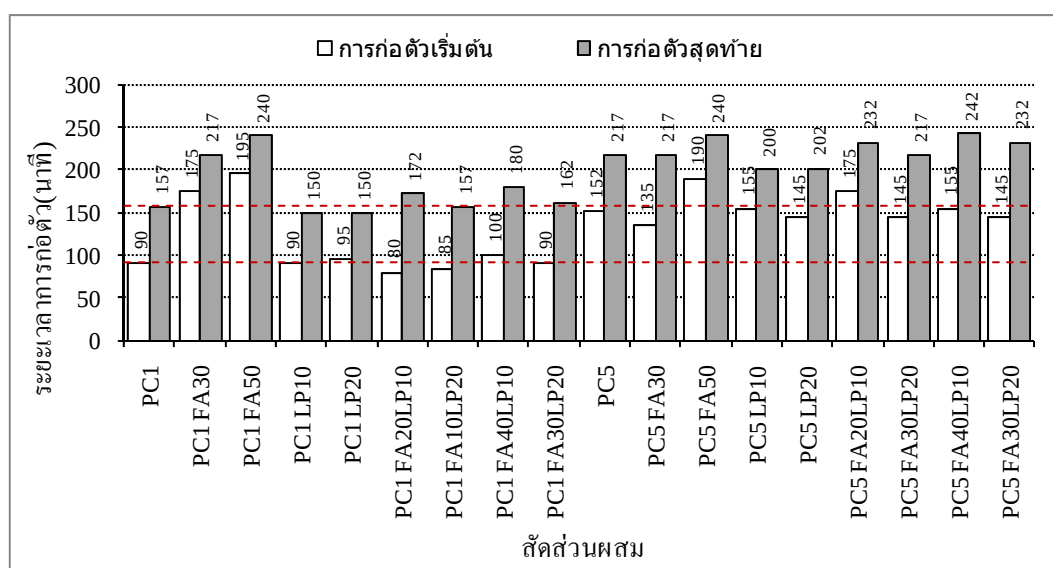
จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วน เท่ากับ 104 และ 152 นาที ส่วนการก่อตัวขั้นสุดท้ายเท่ากับ 157 และ 217 นาที ตามลำดับ ส่วนกรณีของเพสต์เมื่อแทนที่เถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อแทนที่เถ้าลอยจะได้ระยะเวลาการก่อตัวที่มากกว่ากรณีไม่แทนที่ โดยเฉพาะกรณีแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวยิ่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการแทนที่เถ้าลอยทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง อีกทั้งเถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานซึ่งการทำปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่วนกรณีแทนที่ผงหินปูนทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 พบว่า จะได้ระยะเวลาการก่อตัวที่มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะผงหินปูนมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้มีการกระจายตัวของวัสดุประสานดีขึ้นส่งผลให้มีการทำปฏิกิริยาดีขึ้น สำหรับการก่อตัวของเพสต์แทนที่ทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนจะให้ผลสอดคล้องกับการแทนที่เถ้าลอย และแทนที่ผงหินปูน

ตารางที่ 4.4 การก่อตัวของเพสต์ของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	การก่อตัวเริ่มต้น (นาที)	การก่อตัวสุดท้าย (นาที)
1	PC1	90	157
2	PC1 FA30	175	217
3	PC1 FA50	195	240
4	PC1 LP10	90	150
5	PC1 LP20	95	150
6	PC1 FA20LP10	80	172
7	PC1 FA10LP20	85	157
8	PC1 FA40LP10	100	180
9	PC1 FA30LP20	90	162
10	PC5	152	217
11	PC5 FA30	135	217
12	PC5 FA50	190	240

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	การก่อดั้วเริ่มต้น (นาทีก)	การก่อดั้วสุดท้าย (นาทีก)
13	PC5 LP10	155	200
14	PC5 LP20	145	202
15	PC5 FA20LP10	175	232
16	PC5 FA10LP20	145	217
17	PC5 FA40LP10	155	242
18	PC5 FA30LP20	145	232



ภาพที่ 4.4 การก่อดั้วของเพสต์ของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

4.2.3 ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

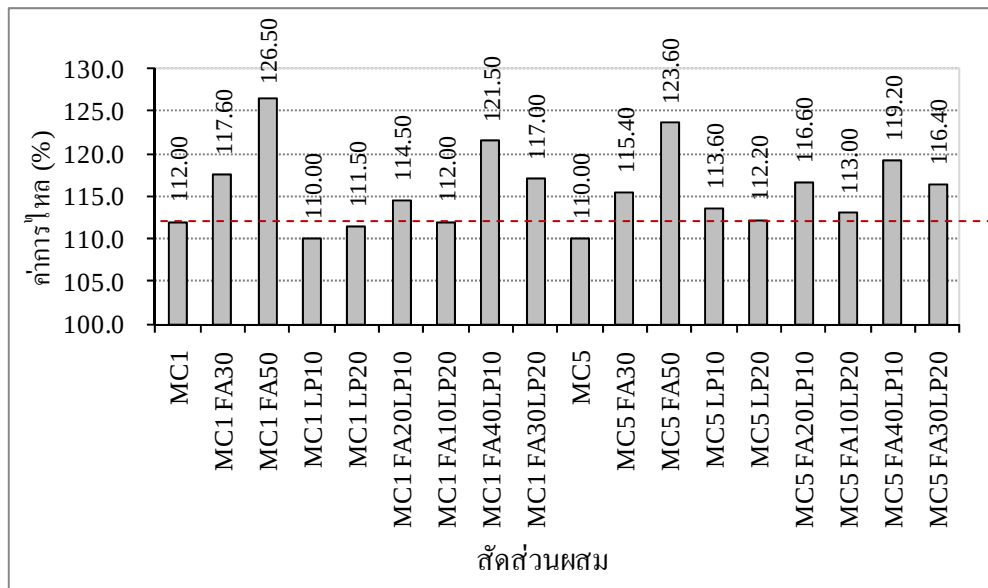
ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 แสดงค่าการไหลแผ่ (Flow value) ของมอร์ตาร์ที่ศึกษาในครั้งนี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 18 สัดส่วนผสม โดยเปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน และการแทนที่เถ้าลอยและผงหินปูนในปูนซีเมนต์ดังกล่าว โดยมีมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

จากการศึกษาพบว่าค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 112 และ 110 ตามลำดับ ส่วนกรณีค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เมื่อแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ เมื่อแทนที่เถ้าลอยจะได้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่มากกว่ากรณีไม่แทนที่ โดยเฉพาะกรณีแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะของอนุภาคที่กลมของเถ้าลอยช่วยในการไหลสลับทำให้การยุบตัวเพิ่มขึ้น สำหรับกรณีแทนที่ผงหินปูนพบว่าทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะให้ค่า

ใกล้เคียงหรือมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เป็นเพราะผงหินปูนที่แทนที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ทำให้มีความต้องการน้ำมากขึ้นมอร์ตาร์จึงมีสภาพเหนียว สำหรับการไหลแผ่ของมอร์ตาร์แทนที่ทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนจะให้ผลสอดคล้องกับการแทนที่เถ้าลอย และแทนที่ผงหินปูน

ตารางที่ 4.5 ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	ค่าการไหลแผ่ (ร้อยละ)
1	MC1	112.0
2	MC1 FA30	117.6
3	MC1 FA50	126.5
4	MC1 LP10	110.0
5	MC1 LP20	111.5
6	MC1 FA20LP10	114.5
7	MC1 FA10LP20	112.0
8	MC1 FA40LP10	121.5
9	MC1 FA30LP20	117.0
10	MC5	110.0
11	MC5 FA30	115.4
12	MC5 FA50	123.6
13	MC5 LP10	113.6
14	MC5 LP20	112.2
15	MC5 FA20LP10	116.6
16	MC5 FA10LP20	113.0
17	MC5 FA40LP10	119.2
18	MC5 FA30LP20	116.4



ภาพที่ 4.5 ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

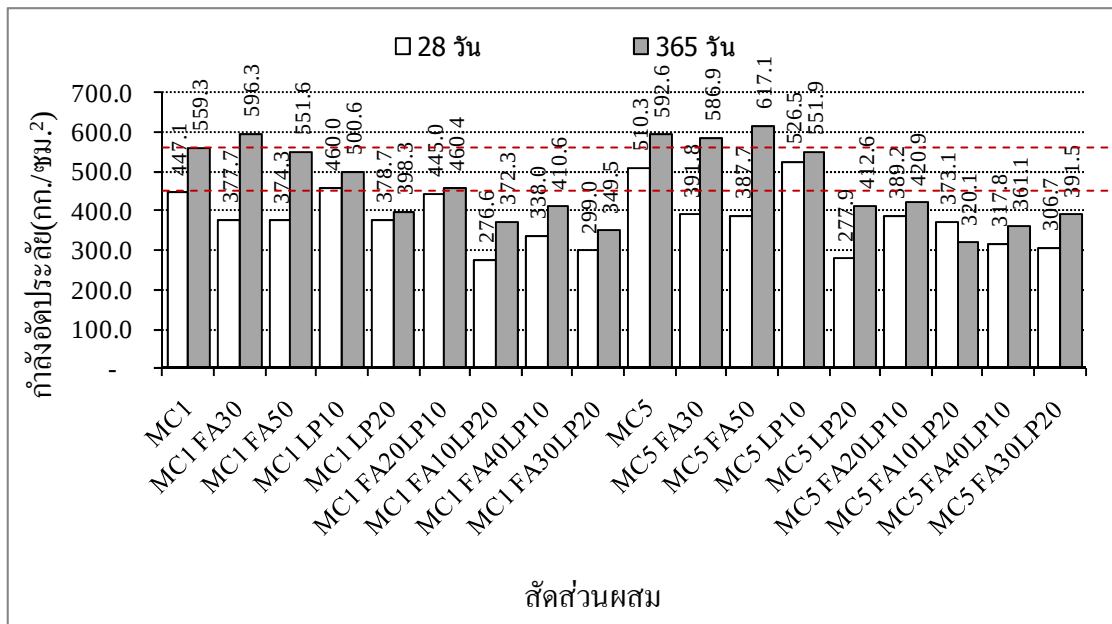
4.2.4 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6 แสดงค่ากำลังอัดประลัย (Compressive strength) ของมอร์ตาร์ที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษากำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 มม. ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และการแทนที่เถ้าลอย และผงหินปูนในปูนซีเมนต์ดังกล่าว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 โดยศึกษาที่อายุของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ 28 วัน และ 365 วัน

จากการศึกษาพบว่า กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ล้วนที่อายุ 28 วัน มีค่า 447 และ 510 กก./ซม.² ตามลำดับ ส่วนกรณีของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่เถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ เมื่อแทนที่เถ้าลอยจะได้ค่ากำลังอัดที่น้อยกว่ากรณีไม่แทนที่ โดยเฉพาะกรณีแทนที่ในปริมาณมากขึ้นค่ากำลังอัดยิ่งลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการลดปริมาณปูนซีเมนต์ส่วนกรณีแทนที่ผงหินปูนพบว่าทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ให้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงหรือมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับกำลังอัดของมอร์ตาร์แทนที่ทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนจะให้ผลสอดคล้องกับการแทนที่เถ้าลอย และแทนที่ผงหินปูน ในขณะที่กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 365 วัน ทุกสัดส่วนผสมมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีการพัฒนากำลังอัดในอัตราที่สูงขึ้นในทุกสัดส่วนผสม โดยเฉพาะในตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 พบว่ามีแนวโน้มให้ค่าการพัฒนากำลังอัดประลัยในอัตราส่วนสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นมาก

ตารางที่ 4.6 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ ที่อายุ 28 วันและ 365 วัน

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. ²)	
		28 วัน	365 วัน
1	MC1	447	559
2	MC1 FA30	378	596
3	MC1 FA50	374	552
4	MC1 LP10	460	501
5	MC1 LP20	379	398
6	MC1 FA20LP10	445	460
7	MC1 FA10LP20	277	372
8	MC1 FA40LP10	338	411
9	MC1 FA30LP20	299	350
10	MC5	510	593
11	MC5 FA30	392	587
12	MC5 FA50	388	617
13	MC5 LP10	526	552
14	MC5 LP20	278	413
15	MC5 FA20LP10	389	421
16	MC5 FA10LP20	373	320
17	MC5 FA40LP10	318	361
18	MC5 FA30LP20	307	392



ภาพที่ 4.6 กําลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน และ 365วัน

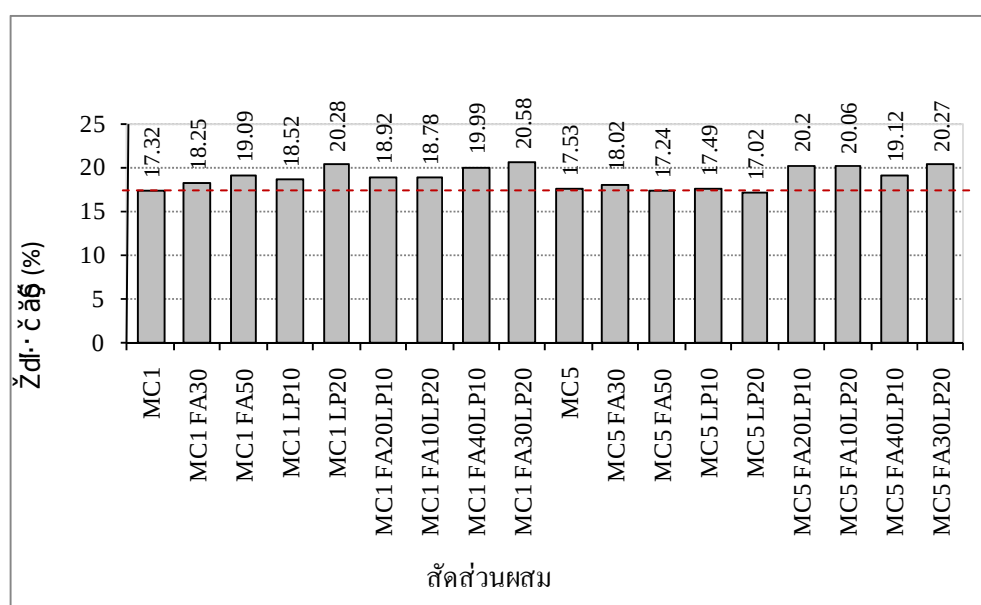
4.2.5 ความพรุนของมอร์ตาร์

ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 แสดงความพรุน (Porosity) ของมอร์ตาร์ที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษาความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 10x10x10 ซม.³ ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และการแทนที่เถ้าลอย และผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ดังกล่าว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 โดยศึกษาความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน

จากการศึกษาพบว่า ความพรุนของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และประเภทที่ 5 ล้วน มีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 17.32 และ 17.53 ตามลำดับ ส่วนกรณีของมอร์ตาร์มีเถ้าลอยทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อแทนที่เถ้าลอยจะได้ความพรุนสูงกว่ากรณีไม่แทนที่ โดยเฉพาะกรณีแทนที่ในปริมาณมากขึ้น จะได้ค่าความพรุนยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ศึกษานั้นใช้ที่อายุ 28 วัน ซึ่งปฏิกิริยาปอซโซลานของตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยยังเกิดไม่เต็มที่ จึงทำให้มอร์ตาร์มีช่องว่างมากกว่ากรณีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ส่วนกรณีแทนที่ผงหินปูนพบว่าทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 จะให้ค่าความพรุนใกล้เคียงหรือมีแนวโน้มที่ลดลงทั้งนี้เป็นเพราะผงหินปูนที่แทนที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้มีการแทนที่ช่องว่างในมอร์ตาร์ดีขึ้น สำหรับค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แทนที่ทั้งเถ้าลอยและผงหินปูนจะให้ผลสอดคล้องกับการแทนที่ทั้งสอง กล่าวคือเมื่อปริมาณการแทนที่เถ้าลอยมีแนวโน้มจะให้ค่าความพรุนมากกว่ากรณีไม่แทนที่ โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่เถ้าลอยในปริมาณที่สูงขึ้น แนวโน้มจะให้ค่าความพรุนที่สูงขึ้นเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4.7 ความพรุนที่อายุ 28 วันของมอร์ตาร์ เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.55

ลำดับที่	สัดส่วนผสม	ความพรุน (ร้อยละ)
1	MC1	17.32
2	MC1 FA30	18.25
3	MC1 FA50	19.09
4	MC1 LP10	18.52
5	MC1 LP20	20.28
6	MC1 FA20LP10	18.92
7	MC1 FA10LP20	18.78
8	MC1 FA40LP10	19.99
9	MC1 FA30LP20	20.58
10	MC5	17.53
11	MC5 FA30	17.40
12	MC5 FA50	17.93
13	MC5 LP10	17.13
14	MC5 LP20	18.35
15	MC5 FA20LP10	20.20
16	MC5 FA10LP20	20.06
17	MC5 FA40LP10	19.12
18	MC5 FA30LP20	20.27



ภาพที่ 4.7 ความพรุนที่อายุ 28 วันของมอร์ตาร์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

4.3 คุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ของมอร์ตาร์

สำหรับคุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้นั้น เนื่องจากโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปีติดต่อกัน โดยในครั้งนี้นั้นเป็นการรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยในส่วนของปีที่ 1 ซึ่งในการศึกษาวิจัยเรื่อง “ผลกระทบของซีเมนต์เถ้าลอยและผงหินปูนต่อการขยายตัวของมอร์ตาร์ในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์” จำเป็นต้องใช้เวลานานในการแช่ในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการวิจัยต่อเนื่องกัน 2 ปี ดังเหตุผลที่ได้เสนอแล้วตั้งแต่การเสนอหัวข้อวิจัยในตอนต้นแล้ว จึงทำให้ ณ ขณะนี้ผลของการทดลองคุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ของตัวอย่างมอร์ตาร์ยังไม่เห็นผลที่แตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกันได้ ดังนั้นในการรายงานในครั้งนี้อาจจะไม่ขอนำเสนอ โดยจะขอนำเสนอผลการทดลองหรือผลการศึกษาในรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยในปีที่ 2 ต่อไป