

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

สำหรับผลการศึกษาและการวิเคราะห์ในการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมถั่วลอยและผงหินปูนในครั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยดังกล่าวจึงได้ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ด้วย คุณสมบัติดังกล่าวที่ศึกษาได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมี ส่วนในด้านคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมถั่วลอยและผงหินปูน ได้ศึกษาคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ความชื้นเหลือปกติของเพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ ร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ การหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ ความพรุนของมอร์ตาร์ และกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์และคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนขนาดความละเอียด 4 และ 14 ไมโครเมตร และถั่วลอย โดยคุณสมบัติเบื้องต้นที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และคุณสมบัติทางเคมี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15 ส่วนผงหินปูนที่มีขนาดเฉลี่ย 4 และ 14 ไมโครเมตรนั้น มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.70 และ 2.71 ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.44

4.1.2 ความละเอียดโดยวิธีเบลนของวัสดุประสาน

สำหรับผลการทดสอบความละเอียดโดยวิธีเบลน (Blaine's fineness) ของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 คือของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความละเอียดโดยวิธีเบลนเท่ากับ 3,190 ซม.²/ก. ในขณะที่ของผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร และขนาด 14 ไมโครเมตร เท่ากับ 9,260 และ 3,320 ซม.²/ก. ตามลำดับ โดยความละเอียดขนาด

4 ไมโครเมตรนั้นมากกว่าของปูนซีเมนต์ประมาณ 3 เท่า ส่วนของเถ้าลอยที่ใช้มีค่าความละเอียดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือมีค่าเท่ากับ $2,460 \text{ ซม.}^2/\text{ก.}$

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดโดยวิธีเบลน และขนาดอนุภาคเฉลี่ย ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูน และเถ้าลอยที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	ผงหินปูน		เถ้าลอย
		4 μm	14 μm	
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.70	2.71	2.44
ความละเอียด ; ซม. ² / ก.	3,190	9,260	3,320	2,460
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ; μm	17.54	3.93	14.11	20.28

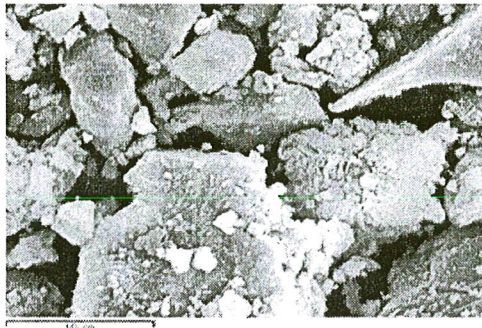
4.1.3 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสาน

ในการถ่ายภาพขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสานในครั้งนี้ได้ใช้โดยวิธี Scanning Electronic Microscope (SEM) แสดงดังรูปที่ 4.1 จากภาพถ่ายขยายขนาด 3,500 เท่าของอนุภาคของวัสดุประสานพบว่า อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีลักษณะเป็นเหลี่ยมกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนของผงหินปูนก็จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมเช่นเดียวกับกรณีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยที่ผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร นั้นจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าของปูนซีเมนต์ และเล็กกว่าของผงหินปูนความละเอียดขนาด 14 ไมโครเมตร ในขณะที่ลักษณะของอนุภาคของเถ้าลอยของแม่เถ้าที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ จะมีลักษณะค่อนข้างกลมที่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปเช่นเดียวกัน

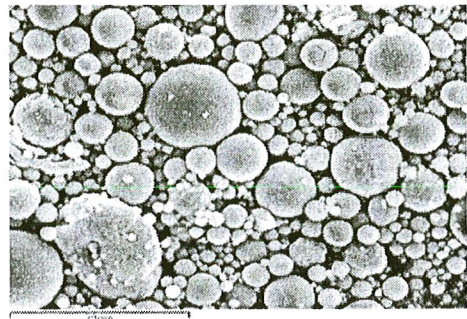
4.1.4 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน

ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสานที่ใช้นั้นมีลักษณะการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีของเถ้าลอยที่แนวโน้มจะมีอนุภาคส่วนที่หยาบมากกว่าวัสดุตัวอื่น กล่าวคือกราฟส่วนสะสมที่ค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปจะมีส่วนที่หยาบมากกว่าส่วนที่ละเอียดสำหรับค่าของขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ร้อยละค่าสะสมที่ 50) ของวัสดุประสานแต่ละชนิดเป็นดังนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 17.54 ไมโครเมตร ในขณะที่ของผงหินปูนความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร มีค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 3.93 และ 14.11 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งผงหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตรมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ย

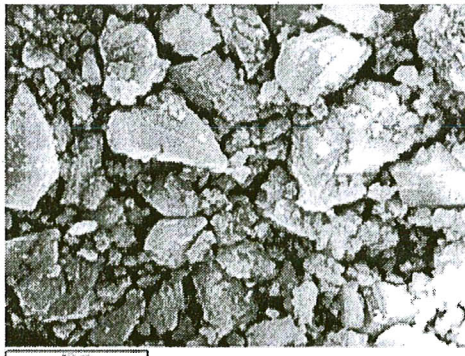
ค่อนข้างเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยของปูนซีเมนต์ ส่วนเถ้าลอยนั้นมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20.28 ไมโครเมตรซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



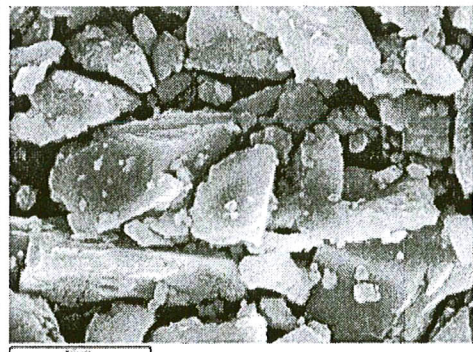
ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ข) เถ้าลอย

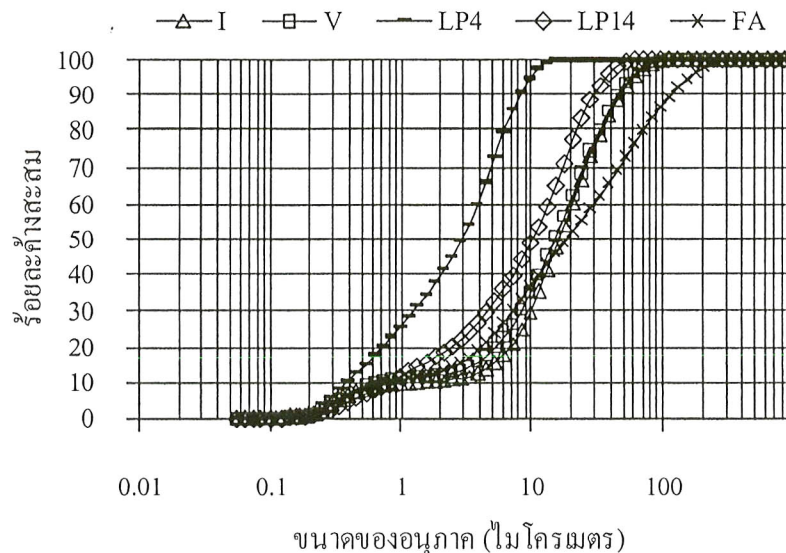


ค) ผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร



ง) ผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (ขนาด 3,500 เท่า) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย และผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายสะสมของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และ ถ้าวลอยในเทอมของร้อยละค่าคงที่

4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และ ถ้าวลอย โดยใช้วิธี X - ray fluorescence spectrometry (XRF) แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า SiO_2 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.61 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ของผงหินปูนมีน้อยกว่าร้อยละ 1 แต่ของถ้าวลอยมีมากถึงร้อยละ 36.10 ส่วนปริมาณของ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 นั้นพบว่าของปูนซีเมนต์มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 3-5 ของผงหินปูนไม่ถึงร้อยละ 1 แต่ของถ้าวลอยมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.40 และ 15.10 ตามลำดับ ในส่วนปริมาณของ CaO นั้น ปรากฏว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับร้อยละ 64.89 ซึ่งใกล้เคียงกับของผงหินปูน (ร้อยละ 54.80 และ 54.30) ในขณะที่ถ้าวลอยจากแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีปริมาณ CaO เท่ากับร้อยละ 17.40 โดยน้ำหนัก

ในส่วนของออกไซด์รอง ซึ่งได้แก่ MgO , Na_2O , K_2O หรือ SO_3 ในวัสดุประสานแต่ละชนิดที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ปรากฏว่ามีค่าค่อนข้างน้อยและมีในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับปริมาณของ LOI (การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา) พบว่าของผงหินปูนนั้นมีค่าค่อนข้างสูงคือประมาณร้อยละ 43-44 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ของปูนซีเมนต์และถ้าวลอยนั้นน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนักเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร และเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภทที่ 1	ผงหินปูน		เถ้าลอย
		4 μm	14 μm	
Silicon Dioxide , SiO_2	20.61	0.06	0.27	36.10
Aluminum Oxide , Al_2O_3	5.03	0.09	0.18	19.40
Ferric Oxide , Fe_2O_3	3.03	0.04	0.08	15.10
Calcium Oxide , CaO	64.89	54.80	54.30	17.40
Magnesium Oxide , MgO	1.43	0.57	0.62	2.97
Sodium Oxide , Na_2O	0.22	-	-	-
Potassium Oxide , K_2O	0.46	-	-	-
Sulfur Trioxide , SO_3	2.70	-	-	0.77
Free Lime , CaO	0.79	-	-	-
Loss on Ignition, LOI	1.23	43.80	43.63	2.81

4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่ศึกษาในครั้งนี้

สำหรับผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ ร้อยละการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ การหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ ความพรุนของมอร์ตาร์ และกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์และคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ปริมาณที่เหมาะสมของเพสต์

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน (ขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร้อยละ 5 และ 10 เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 40 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 5 แทนที่เถ้าลอยร้อยละ 10 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 แทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 15 แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.25 และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10 ได้เท่ากับร้อยละ 24.00 และ 25.00 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ซึ่งอาจเป็นเพราะผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ช่วยในการลื่นไหลจึงทำให้ต้องการน้อยลง

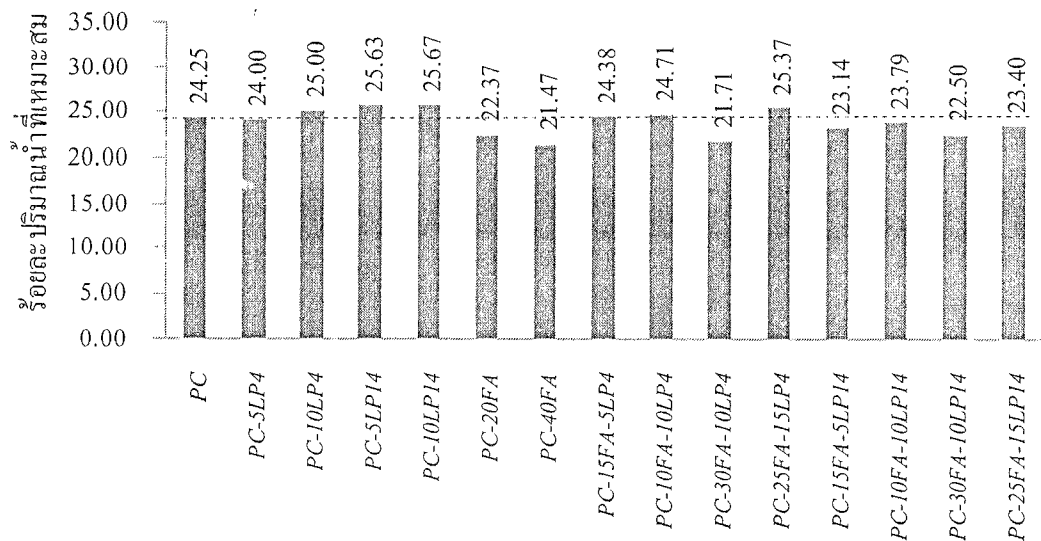
ส่วนปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10 ได้เท่ากับ ร้อยละ 25.63 และ 25.67 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ซึ่งในกรณีนี้อาจเป็นเพราะความถ่วงจำเพาะของผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จึงทำให้เพิ่มปริมาณมากขึ้น พื้นที่ผิวมาก จึงต้องการน้ำมากในการเคลือบผิว

สำหรับเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 40 พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ดังกล่าวมีน้อยกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ปริมาณเถ้าลอยในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยมีอนุภาคที่กลมจึงช่วยในการลื่นไหล

กรณีเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 พบว่าให้ค่าในทิศทางที่สอดคล้องกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูน กล่าวคือเพสต์ที่มีเถ้าลอยในปริมาณที่มากเป็นส่วนผสม จะทำให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น ผลจากอนุภาคที่กลมของเถ้าลอย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์และเวลาก่อตัวของเพสต์วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

ที่	เพสต์	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (ร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน)	เวลาก่อตัว (นาที)	
			ระยะต้น	ระยะปลาย
1	PC	24.25	95	150
2	PC-5LP4	24.00	107	150
3	PC-10LP4	25.00	100	135
4	PC-5LP14	25.63	131	195
5	PC-10LP14	25.67	125	165
6	PC-20FA	22.37	147	195
7	PC-40FA	21.47	150	210
8	PC-15FA-5LP4	24.38	128	210
9	PC-10FA-10LP4	24.71	117	180
10	PC-30FA-10LP4	21.71	113	165
11	PC-25FA-15LP4	25.37	111	150
12	PC-15FA-5LP14	23.14	120	150
13	PC-10FA-10LP14	23.79	108	135
14	PC-30FA-10LP14	22.50	143	180
15	PC-25FA-15LP14	23.40	135	165



รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์วัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถ้าวลอย และผงหินปูน เป็นส่วนผสม

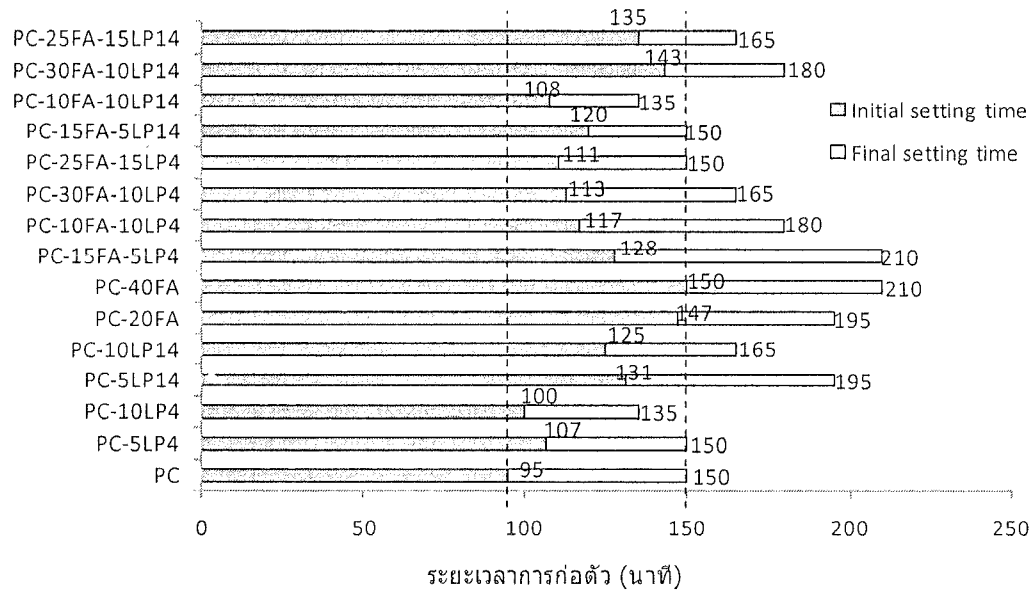
4.2.2 ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์

เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนเพสต์ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนร้อยละ 10 เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยถ้าวลอยร้อยละ 20 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยถ้าวลอยร้อยละ 10 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน (ทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร้อยละ 5 และ 10 มีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่ผงหินปูนไปลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงจึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลง ทำให้การก่อตัวนานขึ้น ส่วนกรณีเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยถ้าวลอย พบว่าเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ทั้งหมดมีค่ามากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณถ้าวลอยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถ้าวลอยซึ่งเป็นสารปอซโซลานเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ ทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การไฮเดรชันจึงเกิดได้น้อย รวมทั้งปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดหลังหรือช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานต้องอาศัยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ในการทำปฏิกิริยาโดยที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้นเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

สำหรับเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยถ้าวลอยร่วมกับผงหินปูน พบว่ายังมีค่ามากกว่าของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ต

แลนด์ประเภทที่ 1 . ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของเถาลอยและผงหินปูนที่มีผลต่อเวลาการก่อตัวดังที่กล่าวมาแล้ว



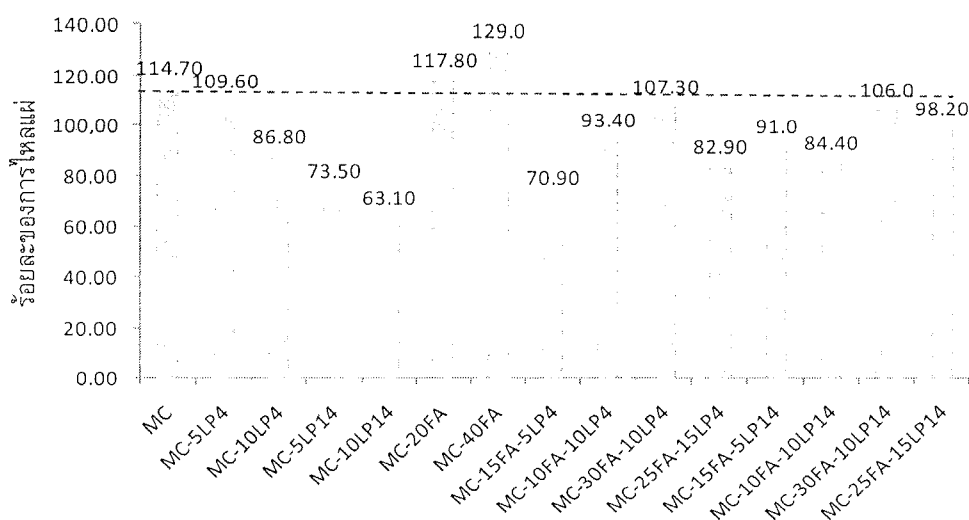
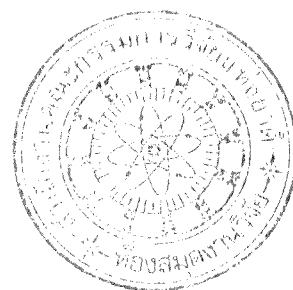
รูปที่ 4.4 เวลาการก่อตัวระยะต้นและเวลาการก่อตัวระยะปลายของเพสต์วัสดุประสานที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถาลอย และผงหินปูนเป็นส่วนผสม

4.2.3 การไหลแผ่ของมอร์ตาร์

ค่าการไหลแผ่ (Flow value) ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนและเถาลอย แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 เมื่อใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่เท่ากัน คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 พบว่าค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยผงหินปูนมีค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่ผงหินปูนที่มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผงหินปูนมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จึงทำให้พื้นที่ผิวมากขึ้น จึงต้องการน้ำไปเคลือบผิวมากขึ้น ในขณะที่การไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถาลอยนั้นกลับให้ค่าการไหลแผ่ที่มากกว่าของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการแทนที่เถาลอยที่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะอนุภาคของเถาลอยที่กลมจึงช่วยในการลื่นไหลทำให้ค่าการไหลแผ่มากขึ้น ส่วนกรณีแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถาลอยร่วมกับผงหินปูนก็ให้ผลสอดคล้องกับกรณีแทนที่ด้วยเถาลอยหรือผงหินปูนอย่างเดียว

ตารางที่ 4.5 ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูน

ที่	มอร์ตาร์	ค่าการไหล (ร้อยละ)
1	MC	114.70
2	MC-5LP4	109.60
3	MC-5LP4	86.80
4	MC-5LP14	73.50
5	MC-5LP14	63.10
6	MC-20FA	117.80
7	MC-40FA	129.00
8	MC-15FA -5LP4	70.90
9	MC-10FA -10LP4	93.40
10	MC-30FA -10LP4	107.30
11	MC-25FA -15LP4	82.90
12	MC-15FA -5LP14	91.00
13	MC-10FA -10LP14	84.40
14	MC-30FA -10LP14	106.00
15	MC-25FA -15LP14	98.20



รูปที่ 4.5 ค่าการไหลแผ่ ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูน

4.2.4 ความพรุนของมอร์ตาร์

ในการศึกษาความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ซึ่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นอีกอย่างหนึ่งของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ได้ทำการทดลองหาค่าความพรุน (Total porosity) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน โดยกระทำตามมาตรฐาน ASTM C 642 ซึ่งผลจากการทดสอบหาค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์นั้น ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.3

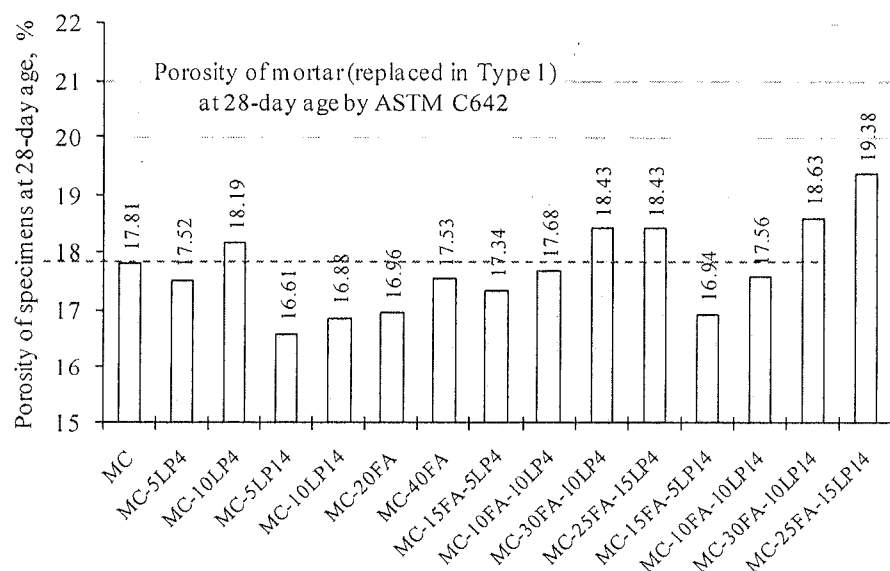
ตารางที่ 4.6 ความพรุนตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำปูนขาวอายุ 28 วัน (มาตรฐาน ASTM C 642)

ที่	สัญลักษณ์	ความพรุน (%wt)
1	MC	17.81
2	MC-5LP4	17.52
3	MC-5LP4	17.75
4	MC-5LP14	16.61
5	MC-5LP14	16.88
6	MC-20FA	16.96
7	MC-40FA	17.53
8	MC-15FA -5LP4	17.34
9	MC-10FA -10LP4	17.68
10	MC-30FA -10LP4	18.43
11	MC-25FA -15LP4	18.04
12	MC-15FA -5LP14	16.94
13	MC-10FA -10LP14	17.56
14	MC-30FA -10LP14	18.63
15	MC-25FA -15LP14	19.38

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ผงหินปูน และทั้งเถ้าลอยและผงหินปูน พบว่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน เท่ากับร้อยละ 18.09 ในขณะที่ของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน (ความละเอียดขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร) ทั้ง ร้อยละ 5 และ 10 มีค่าต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน นั้นแสดงว่าผงหินปูนมีผลต่อการเติมเต็มช่องว่างในมอร์ตาร์ ซึ่ง

ประสิทธิภาพของการเติมเต็มขึ้นกับปริมาณที่เหมาะสมของผงหินปูน และเมื่อเปรียบเทียบกับผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร กับขนาด 14 ไมโครเมตร จากผลของความพรุนแสดงว่า ผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรมีผลในการไปเติมเต็มได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของการแทนที่ร้อยละ 5 กับร้อยละ 10 ไม่ว่าจะเป็นของผงหินปูนความละเอียดขนาด 4 หรือ 14 ไมโครเมตร พบว่า การแทนที่ร้อยละ 5 ให้ค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ต่ำกว่าเมื่อแทนที่ร้อยละ 10 นั่นก็แสดงว่าเป็นไปได้ว่า ปริมาณร้อยละ 5 ของการแทนที่ น่าจะเป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่าปริมาณร้อยละ 10 ในการไปเติมเต็มช่องว่างของตัวอย่างมอร์ตาร์

สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้น พบว่า การแทนที่ในปริมาณร้อยละ 20 และ 40 ทำให้ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ร้อยละ 20 นั้นจะมีค่าความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์ต่ำกว่าเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 40 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออายุ 28 วัน ปฏิกริยาปอซโซลานบวกกับการเติมเต็มในช่องว่างช่วยส่งเสริมให้มอร์ตาร์มีความแน่นสูงขึ้นจึงทำให้ความพรุนของตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าต่ำกว่า ส่วนการแทนที่ทั้งผงหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นั้นจะให้ผลในทิศทางของการแทนที่ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งแล้วแต่ปริมาณที่มากน้อยอย่างไรของการแทนที่ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอย ซึ่งค่าความพรุนดังกล่าวได้แสดงดังรูปที่ 4.6



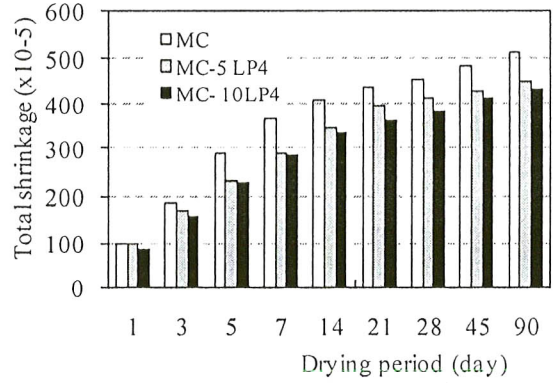
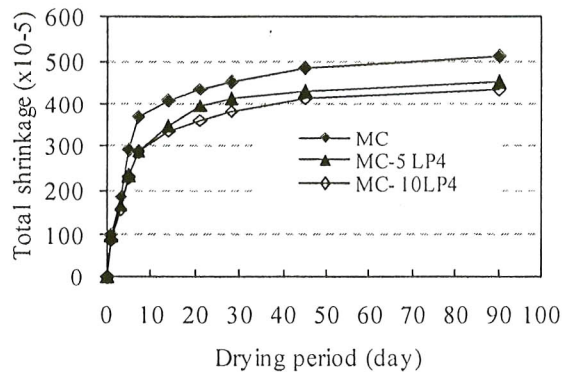
รูปที่ 4.6 ความพรุน (มาตรฐาน ASTM C 642) ของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อแทนที่ด้วยผงหินปูนและเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ป้อนในน้ำปูนขาวที่อายุ 28 วัน

4.2.5 การหัตถ์แห่งของมอร์ตาร์

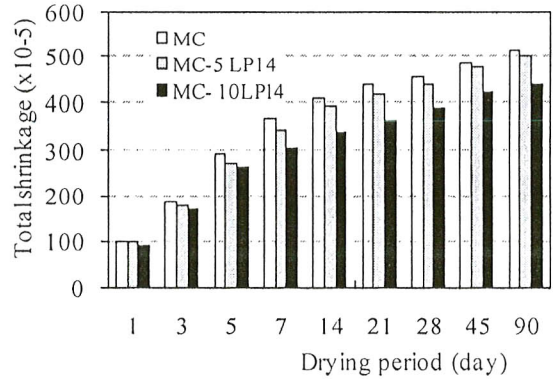
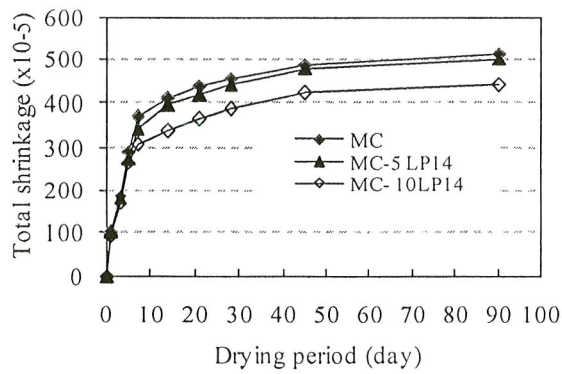
รูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.13 แสดงผลการศึกษาการหัตถ์แห่งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของการหัตถ์แห่งที่ระยะเวลาบ่มแห้ง 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 45 และ 90 วัน ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10 พบว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนมีค่าร้อยละของการหัตถ์แห่งมากกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงหินปูนซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อย (inert material) ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ เป็นการเพิ่มมวลรวมละเอียด ซึ่งโดยทั่วไปการเพิ่มปริมาตรของมวลรวมทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยลงและลดการหัตถ์ได้ [16,17] ประกอบกับผงหินปูนมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ จึงสามารถดูดซับน้ำไว้ที่ผิวของอนุภาคได้มาก ทำให้เหลือน้ำอิสระน้อยลง เนื้อมอร์ตาร์จึงมีช่องว่างลดลง และด้วยอนุภาคที่เล็กมากของผงหินปูน ช่วยในการเติมเต็มช่องว่างในเพสต์ ส่งผลให้การสูญเสียความชื้นยากขึ้น และถ้าพิจารณาระหว่างการแทนที่ผงหินปูนร้อยละ 5 และร้อยละ 10 นั้น พบว่าการแทนที่ด้วยร้อยละ 10 ของผงหินปูนให้ค่าการหัตถ์แห่งที่น้อยกว่าเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 5 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่ด้วยปริมาณร้อยละ 10 ของผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตรนั้นเป็นปริมาณที่เหมาะสมกว่า ส่วนเมื่อพิจารณาถึงการแทนที่ของผงหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.8 ก็ให้ผลในทิศทางเดียวกับของผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร ดังที่กล่าวมาแล้ว

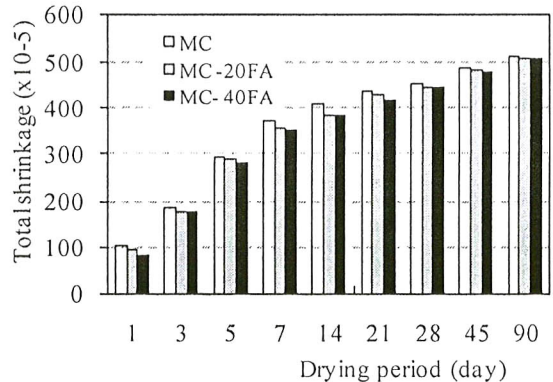
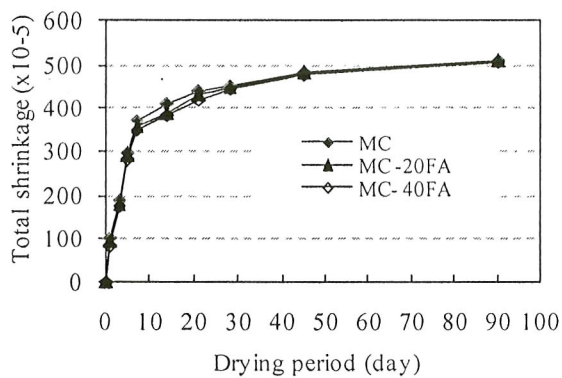
สำหรับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 40 (รูปที่ 4.9) พบว่าการแทนที่ด้วยเถ้าลอยให้ค่าร้อยละของการหัตถ์แห่งน้อยกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เพราะการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย อาจทำให้ความพรุนมากขึ้น แต่ขนาดโดยเฉลี่ยของโพรงมีขนาดเล็กลง [17] ดังนั้นการสูญเสียความชื้นสู่สภาพแวดล้อมจึงเป็นไปได้ยากขึ้น ส่งผลให้การหัตถ์แห่งน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยกับการแทนที่ด้วยผงหินปูน ที่ระยะเวลาบ่มแห้ง 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 45 และ 90 วัน ดังรูปที่ 4.10 พบว่าในช่วงระยะเวลาบ่มแห้งแรกๆ มีค่าร้อยละของการหัตถ์แห่งใกล้เคียงกันหรือแนวโน้มว่าของมอร์ตาร์เถ้าลอยจะน้อยกว่า แต่ที่อายุนานขึ้นกลับพบว่า มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 ให้ค่าร้อยละของการหัตถ์แห่งมากกว่า



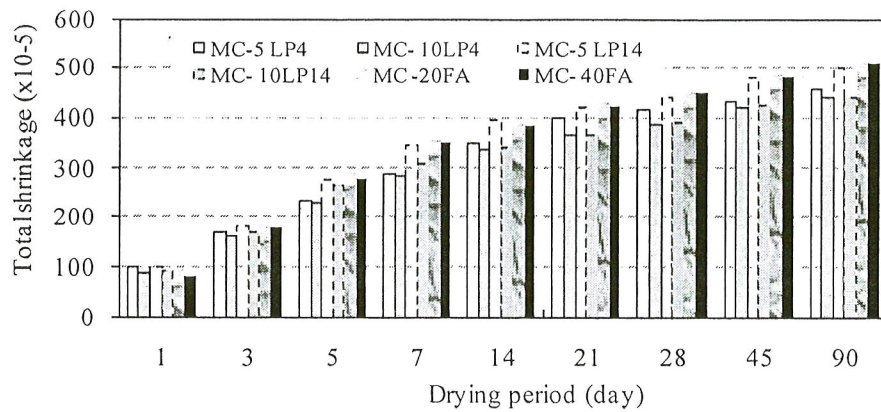
รูปที่ 4.7 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10



รูปที่ 4.8 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10



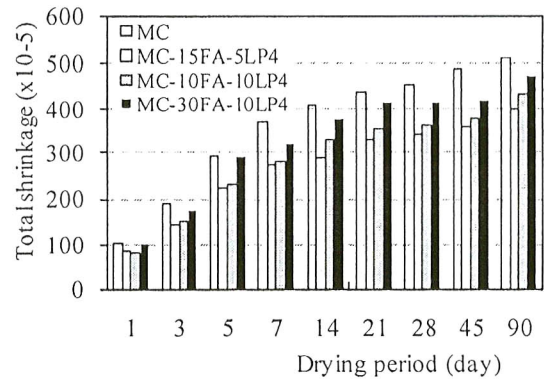
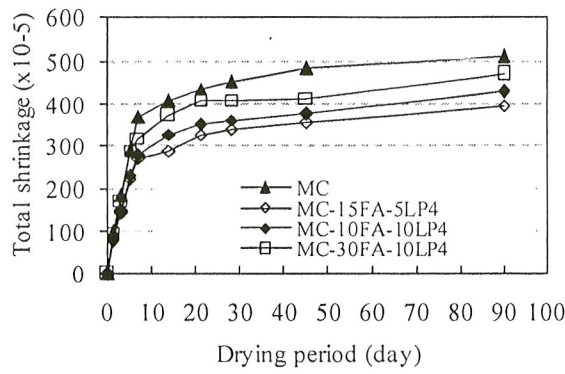
รูปที่ 4.9 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 40



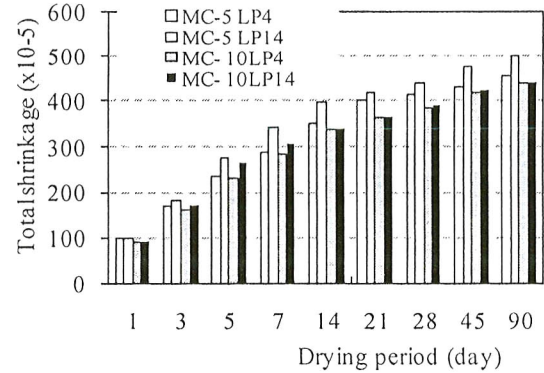
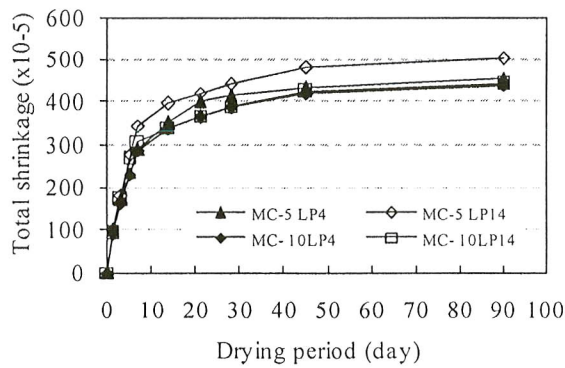
รูปที่ 4.10 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่เถ้าลอยและผงหินปูน

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงค่าร้อยละของการหดตัวแห้งที่ระยะเวลาบ่มแห้ง 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 45 และ 90 วัน ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูน เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน พบว่าค่าร้อยละของการหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูน ทั้งความละเอียด 4 และ 14 ไมโครเมตร ทุกสัดส่วนของการแทนที่ร่วม มีค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ดังเหตุผลที่กล่าวแล้ว กล่าวคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้โดยเฉลี่ยของโพรงมีขนาดเล็กลง ส่วนผงหินปูนที่มีความละเอียดมากกว่าจะช่วยเติมเต็มช่องว่าง มีผลให้ความชื้นน้ำ หรือความพรุนน้อยลงการสูญเสียไอน้ำภายในเพสต์ยากขึ้น มีผลให้การหดตัวแห้งน้อยลง

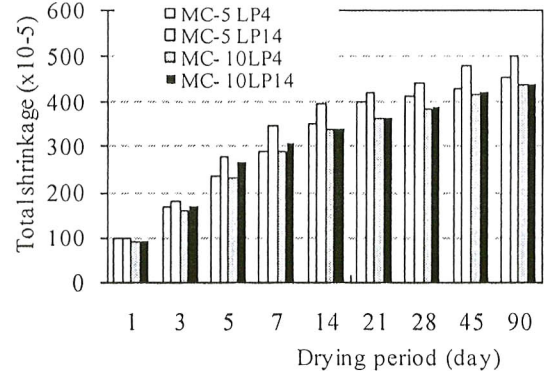
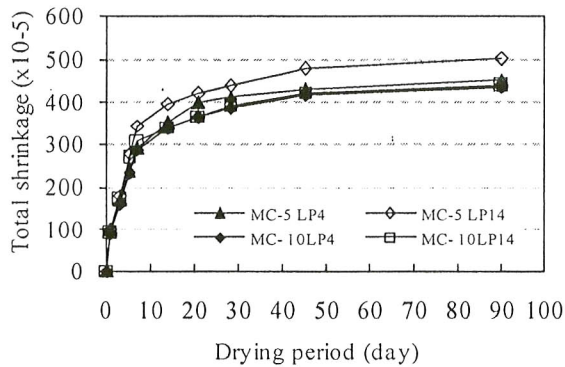
ส่วนรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงเปรียบเทียบการหดตัวแห้งระหว่างของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร กับการแทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร พบว่าการหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร มีค่าน้อยกว่าของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร ทั้งการแทนที่ร้อยละ 5 และ 10 และทุกอายุที่ศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผงหินปูนความละเอียดขนาด 4 ไมโครเมตรนั้นมีความละเอียดมากกว่า จึงสามารถเติมเต็มช่องว่างได้ดีกว่า ทำให้การสูญเสียไอน้ำได้ยากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวแห้งของมอร์ตาร์มีค่าน้อยลง



รูปที่ 4.11 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูนความ ละเอียด 4 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.12 การหดตัวแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูนความ ละเอียด 14 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการหดตัวแห้งระหว่างของตัวอย่างมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท ที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนความละเอียด 4 ไมโครเมตร กับผงหินปูนความละเอียด 14 ไมโครเมตร

4.2.6 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์และคอนกรีต

4.2.6.1 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์

ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.20 แสดงผลการศึกษากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และร้อยละ 40 มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ผงหินปูน (ทั้ง 4 และ 14 ไมโครเมตร) ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 5 มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 30 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10 และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 15 เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 อธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 กำลังอัดประลัยตัวอย่างมอร์ตาร์เถ้าลอยผสมผงหินปูนที่บ่มในน้ำปูนขาวอายุ 28 วัน

ที่	สัญลักษณ์	กำลังอัดประลัย (MPa)				
		3 วัน	7 วัน	28 วัน	56 วัน	90 วัน
1	MC	29.30	35.70	46.67	53.40	53.00
2	MC-5LP4	34.60	38.93	48.40	52.80	54.00
3	MC-5LP4	29.20	37.20	44.50	49.60	52.00
4	MC-5LP14	23.50	33.90	44.0	51.20	52.80
5	MC-5LP14	20.30	33.20	42.50	47.90	52.00
6	MC-20FA	22.80	30.90	42.00	44.80	48.00
7	MC-40FA	16.80	22.40	32.10	36.00	41.00
8	MC-15FA -5LP4	25.20	34.40	43.33	51.40	54.00
9	MC-10FA -10LP4	23.87	33.33	46.00	49.00	51.00
10	MC-30FA -10LP4	19.00	22.60	36.10	42.20	46.20
11	MC-25FA -15LP4	22.00	30.20	40.30	48.00	51.47
12	MC-15FA -5LP14	27.20	34.80	48.40	54.90	59.73
13	MC-10FA -10LP14	20.67	31.10	42.40	49.70	53.47
14	MC-30FA -10LP14	15.90	21.60	34.90	42.10	47.87
15	MC-25FA -15LP14	18.20	24.10	36.13	42.00	49.07

จากรูปที่ 4.14 พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยทั้งร้อยละ 20 และ 40 ให้ค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 40 จะให้ค่าค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง การไฮเดรชันจึงเกิดน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออายุมากขึ้น การพัฒนากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

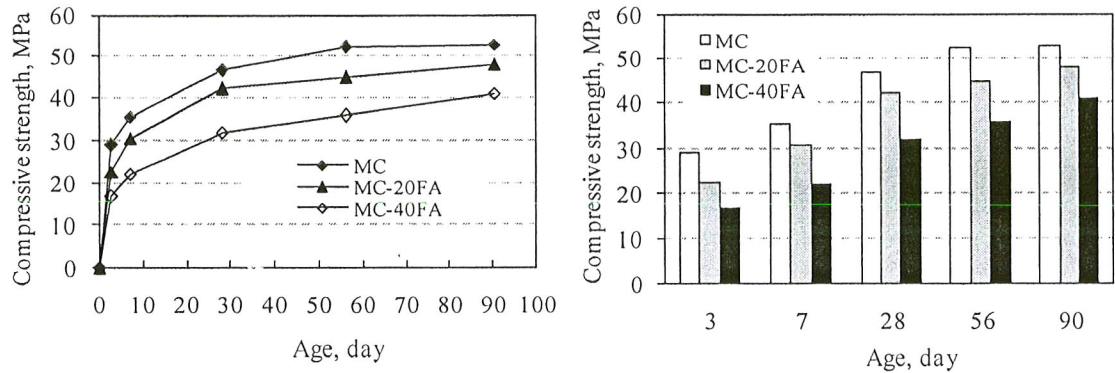
กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.15) เมื่อแทนที่ร้อยละ 5 มีค่าสูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วนเล็กน้อย โดยเฉพาะในช่วงอายุต้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรที่แทนที่ปูนซีเมนต์มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นวัสดุเติมเต็ม (Filler) ลดปริมาณช่องว่างภายในเนื้อมอร์ตาร์ทำให้แน่นขึ้นมอร์ตาร์จึงมีกำลังอัดประลัยสูง แต่เมื่อแทนที่ด้วยร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังอัดประลัยมอร์ตาร์ดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่ด้วยผงหินปูนร้อยละ 10 อาจเป็นปริมาณที่สูงไป ทำให้เกิดความต้องการในการเติมเต็ม รวมทั้งไปลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงมากขึ้น ส่วนในกรณีของผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.16) พบว่าการแทนที่ร้อยละ 5 และ 10 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำให้กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์มีค่าต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยปริมาณร้อยละ 20 ทั้งนี้เพราะผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตรอาจเป็นขนาดที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้การเติมเต็มได้ไม่ดีเท่ากรณีของผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดประลัยของตัวอย่างมอร์ตาร์เถ้าลอยกับมอร์ตาร์ผงหินปูน (รูปที่ 4.17) พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ผงหินปูนทั้งขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่าของมอร์ตาร์เถ้าลอย

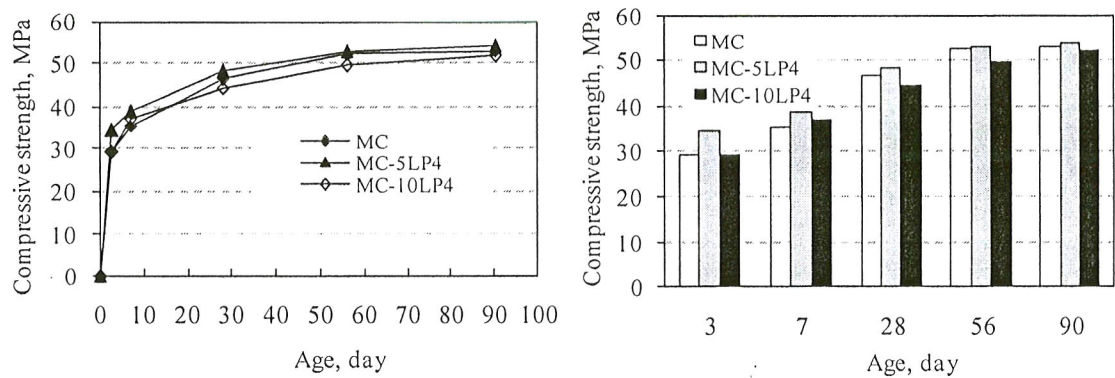
ส่วนรูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอายุของตัวอย่างมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูนทั้ง 4 และ 14 ไมโครเมตร ทุกสัดส่วนที่ศึกษาในครั้งนี้ ให้ค่ากำลังอัดประลัยที่น้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ยกเว้นสัดส่วนที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15 ร่วมด้วยผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยมากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะในอายุช่วงต้นๆ

ในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างผลของความละเอียดผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร ที่มีผลกระทบท่อกำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ผงหินปูนนั้น (รูปที่ 4.20) พบว่ากำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรนั้นจะให้ค่าที่มากกว่าของมอร์ตาร์ที่ใช้ผง

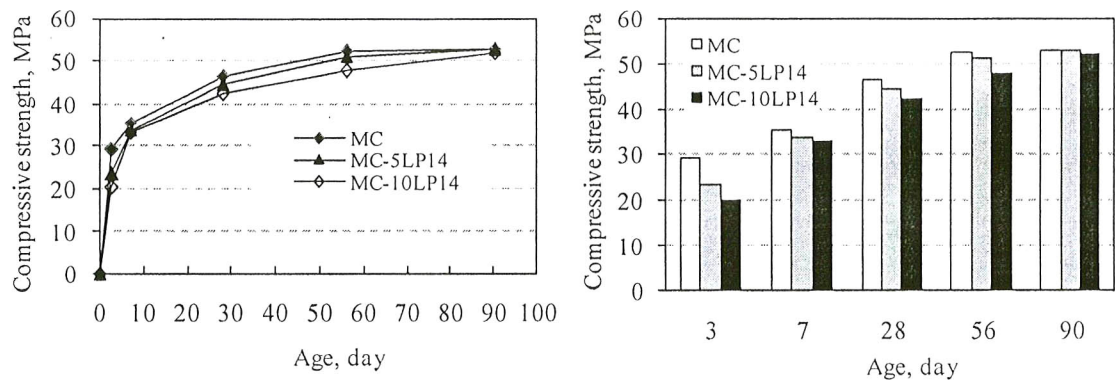
หินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ทั้งนี้เป็นเพราะผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตรมีความละเอียดกว่า ทำให้สามารถไปเติมเต็มช่องว่างได้ดีกว่า จึงให้กำลังอัดประลัยมากกว่า



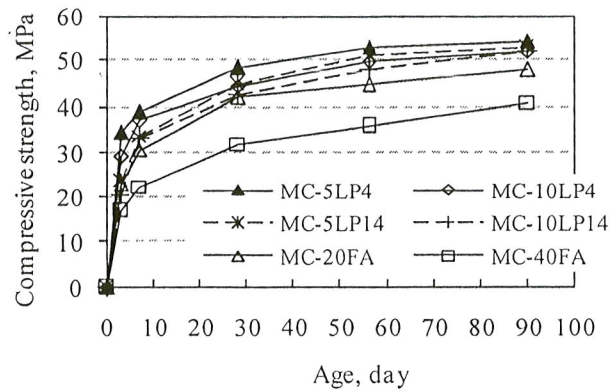
รูปที่ 4.14 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 40



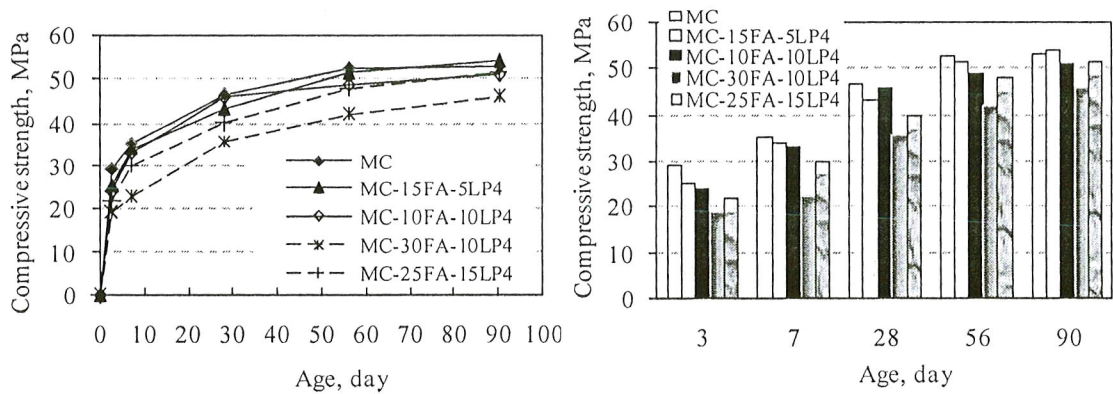
รูปที่ 4.15 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10



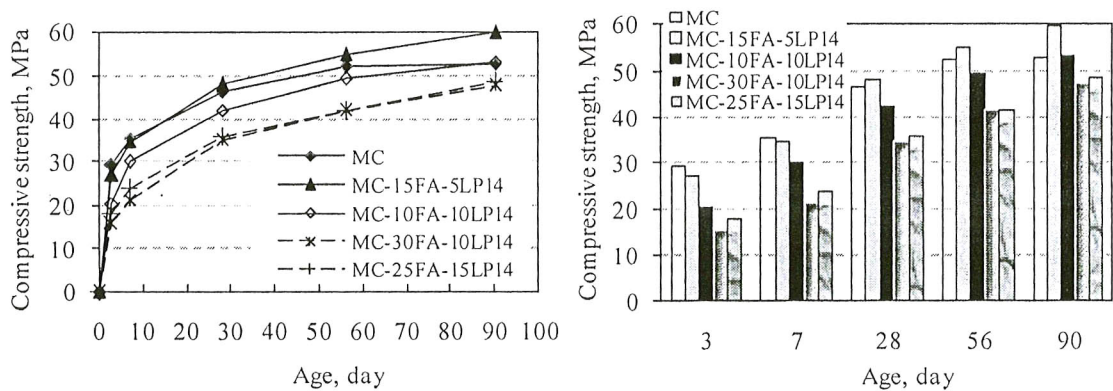
รูปที่ 4.16 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10



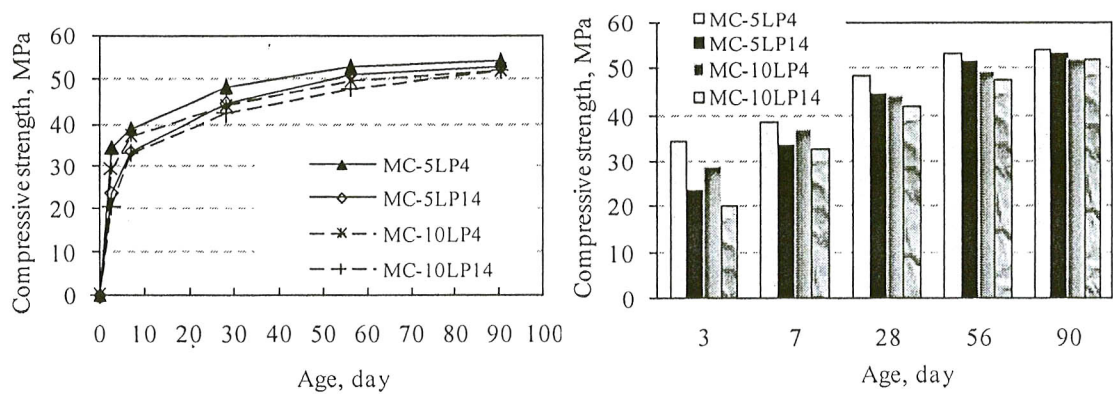
รูปที่ 4.17 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูนขนาด



รูปที่ 4.18 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูนขนาด 4 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.19 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูนขนาด 14 ไมโครเมตร



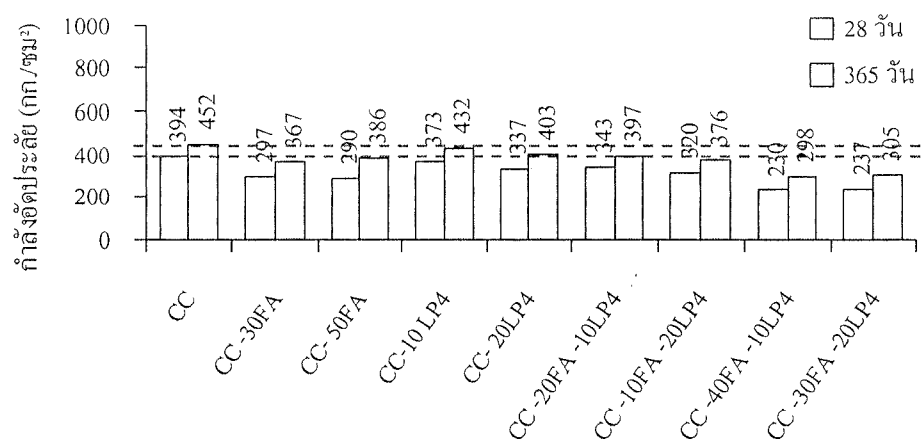
รูปที่ 4.20 กำลังอัดประลัยของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนขนาด 4 และ 14 ไมโครเมตร ร้อยละ 5 และ 10

4.2.6.2 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.21 แสดงกำลังอัดประลัย (compressive strength) ของคอนกรีตที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต (ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม.³) ซึ่งมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย และผงหินปูน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 โดยศึกษาที่อายุของตัวอย่างคอนกรีตที่ 28 วัน และ 365 วัน พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยมีแนวโน้มจะน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอยปริมาณมาก (ร้อยละ 50) เป็นเพราะปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดน้อยในคอนกรีตอายุน้อย สำหรับคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เป็นเพราะการแทนที่ด้วยผงหินปูนที่มีความละเอียดมาก (4 ไมโครเมตร) ช่วยในการเติมเต็มช่องว่างในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแน่นขึ้น ส่วนเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยร่วมกับผงหินปูน จะให้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตสอดคล้องกับการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูน กล่าวคือถ้ามีเถ้าลอยผสมอยู่ในปริมาณมากแนวโน้มจะทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และเช่นเดียวกันที่อายุ 365 วัน กำลังอัดประลัยของคอนกรีตจะให้ผลในทิศทางเดียวกับที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.8 กำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ที่อายุ 28 วัน และ 365 วัน

ลำดับที่	คอนกรีต	กำลังอัด (กก./ซม. ²)	
		28 วัน	365 วัน
1	CC	394	452
2	CC -30FA	297	367
3	CC- 50FA	290	386
4	CC-10 LP4	373	432
5	CC- 20LP4	337	403
6	CC -20FA -10LP4	343	397
7	CC- 10FA-20LP4	320	376
8	CC-40FA-10 LP4	230	298
9	CC -30FA- 20LP4	237	305



รูปที่ 4.21 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอยและผงหินปูน ที่อายุ 28 วัน และ 365 วัน