

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาจะกล่าวถึง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ รายละเอียดวิธีการศึกษา การเตรียมสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ และสัดส่วนผสมของเพสต์และมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ผงหินปูน ทราย น้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2532 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่จับตัวเป็นก้อน
2. เถ้าลอย ใช้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
3. ผงหินปูนขนาดความละเอียด 3 ไมโครเมตร ใช้ผงหินปูนที่ได้รับการควบคุมคุณภาพในการผลิต มีสิ่งเจือปนน้อย และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นอุตสาหกรรม
4. ทราย ใช้ทรายน้ำจืดนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาดนำไปอบและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และปรับทรายให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
5. การศึกษาในครั้งนี้ใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4 , NS) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4 , MS) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นสารละลายละลาย
6. น้ำ ในการศึกษานี้ใช้น้ำประปา

3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

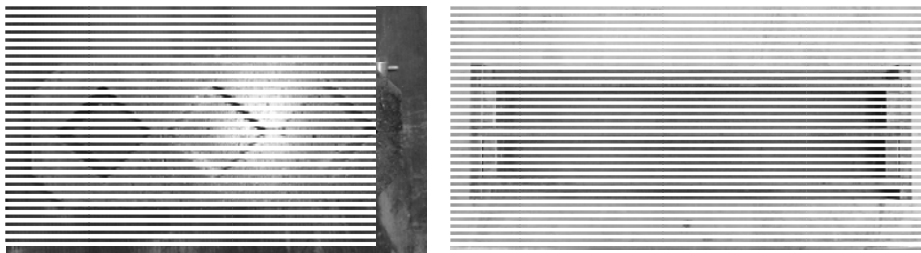
สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีดังนี้

3.2.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์ (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์

3.2.2 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์ (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าร์

3.2.3 เครื่องวัดความยาว (Length Comparator) (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดความยาว

3.2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.01 กรัม (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.01 กรัม

3.2.5 ถังสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 ถังสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์

3.3 รายละเอียดวิธีการศึกษา

สำหรับรายละเอียดของวิธีการศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน คุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน และคุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสาน

ในการศึกษาครั้งนี้คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ได้ทำการศึกษาได้แก่

3.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุประสาน โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

3.3.1.2 ความละเอียดของวัสดุโดยใช้วิธีของเบลน (Blaine Fineness) ตามมาตรฐาน ASTM C204

3.3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน ตามมาตรฐาน ASTM C188

3.3.1.4 ถ่ายภาพอนุภาคของวัสดุประสาน โดยใช้เครื่อง Scanning Electronic Microscope (SEM)

3.2.1.5 การทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุประสาน โดยใช้เครื่อง Laser Particle Size Analyzer

3.3.2 คุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน

สำหรับคุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แก่ลอย และผงหินปูนความละเอียด 3ไมโครเมตร) โดยศึกษาคุณสมบัติด้านซีเมนต์ของวัสดุประสานดังนี้

3.3.2.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Normal Consistency) ของเพสต์ โดยกระทำตามมาตรฐาน ASTM C187

3.3.2.2 การก่อตัว (Setting Time) ของเพสต์ โดยศึกษาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time) โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C230

3.3.2.3 ค่าการไหลแผ่ (Flow Value) ของมอร์ตาร์ โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 143

3.3.2.4 กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) ของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM : C109 โดยทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ ขนาด 50x50x50 มม. ทดสอบที่อายุ 28 วัน และ 1 ปี

3.3.2.5 ความพรุน (Porosity) ของมอร์ตาร์ โดยกระทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยทดสอบความพรุนของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน

3.3.3 คุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ของมอร์ตาร์

สำหรับการคุณสมบัติด้านการขยายตัวในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ของมอร์ตาร์เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีเกลือและผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ มีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

การทดสอบการขยายตัว (Expansion) ของตัวอย่างมอร์ตาร์ใช้ตัวอย่างขนาด 25x25x285 มม. (ตามมาตรฐาน ASTM C1012) หลังจากแช่แท่งตัวอย่างมอร์ตาร์ในน้ำปูนขาวที่อิ่มตัว (Saturate Limewater) เป็นเวลา 28 วันแล้วทำการวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความยาว (Length Comparator) (ตามมาตรฐาน ASTM C490) ต่อจากนั้นนำตัวอย่างมอร์ตาร์แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก) และโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต (ในสัดส่วน 3:1) ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ โดยให้ความเข้มข้นของซัลเฟตรวมกับคลอไรด์ (Cl⁻) เท่ากับร้อยละ 5 (อัตราส่วนซัลเฟตต่อคลอไรด์เท่ากับ 1:8) แล้วทำการวัดความยาวของตัวอย่างที่อายุ 2, 4, 8 และ 16 สัปดาห์และทุกๆ 2 เดือนของการแช่ในสารละลายซัลเฟต โดยเฉลี่ยการขยายตัว 3 แท่งตัวอย่างมอร์ตาร์ ค่าการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์คำนวณได้จากสมการ 3.1

$$\text{การขยายตัว , \%} = [(L_t - L_i) / L_g] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ L_i คือ ค่าเฉลี่ยความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างหลังจากแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วัน (มิลลิเมตร)

L_t คือ ค่าเฉลี่ยความยาวตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซัลเฟต (มิลลิเมตร)

L_g คือ ค่าความยาวของ Gauge Length หรือเท่ากับ 285 มิลลิเมตร

3.4 การเตรียมสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์

สำหรับสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

3.3.1 สารละลายซัลเฟตที่ผสมกันระหว่างโซเดียมซัลเฟตกับแมกนีเซียมซัลเฟต โดยใช้ NS และ MS ใน $\text{NS} : \text{MS}$ เท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งในที่นี้ใช้ NS เท่ากับ 37.5 กรัม และ MS เท่ากับ 10.59 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร เพื่อให้ปริมาณของไอออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) เท่ากันคือ 33,800 ppm

3.3.2 สารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต (ในสัดส่วน 3:1โดยน้ำหนัก) ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ โดยให้ความเข้มข้นของซัลเฟตรวมกับคลอไรด์ (Cl^-) เท่ากับร้อยละ 5 โดยอัตราส่วนซัลเฟตต่อคลอไรด์เท่ากับ 1:8 ซึ่งในที่นี้ใช้ NS เท่ากับ 7.50 กรัม และ MS เท่ากับ 2.12 กรัม ร่วมกับ NaCl เท่ากับ 73.55 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

โดยเตรียมสารละลายไว้ล่วงหน้า 1 วัน ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียสก่อนที่ใช้แช่ตัวอย่าง อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายต่อปริมาตรตัวอย่างที่แช่ประมาณ 4:1

3.4 สัดส่วนผสมของเพสต์และมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับสัดส่วนผสมของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือใช้เถ้าลอยและผงหินปูนแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอชโซลาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บดผสมผงหินปูนร้อยละ 10 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บดผสมผงหินปูนร้อยละ 20 มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 เถ้าลอย ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยน้ำหนัก

3.4.2 ผงหินปูน ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก

3.4.3 เถ้าลอย ใช้แทนที่ในอัตราร้อยละ 20 และผงหินปูนในอัตราส่วนร้อยละ 10 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

3.4.4 เถ้าลอย ใช้แทนที่ในอัตราร้อยละ 10 และผงหินปูนในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

3.4.5 เถ้าลอย ใช้แทนที่ในอัตราร้อยละ 40 และผงหินปูนในอัตราส่วนร้อยละ 10 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

3.4.6 เถ้าลอย ใช้แทนที่ในอัตราร้อยละ 30 และผงหินปูนในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

สำหรับสัดส่วนผสมของเพสต์และมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ โดยในกรณีของมอร์ตาร์นั้นใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.55 และทรายต่อวัสดุประสาน 2.75

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมของตัวอย่างเพสต์ ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและการก่อตัว

ที่	สัญลักษณ์	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		เถ้าลอย	ผงหินปูน
		ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 5		
1	PC1	1.00	-	-	-
2	PC1 FA30	0.70	-	0.30	-
3	PC1 FA50	0.50	-	0.50	-
4	PC1 LP10	0.90	-	-	0.10
5	PC1 LP20	0.80	-	-	0.20
6	PC1 FA20LP10	0.70	-	0.20	0.10
7	PC1 FA10LP20	0.70	-	0.10	0.20
8	PC1 FA40LP10	0.50	-	0.40	0.10
9	PC1 FA30LP20	0.50	-	0.30	0.20
10	PC5	-	1.00	-	-
11	PC5 FA30	-	0.70	0.30	-
12	PC5 FA50	-	0.50	0.50	-
13	PC5 LP10	-	0.90	-	0.10
14	PC5 LP20	-	0.80	-	0.20
15	PC5 FA20LP10	-	0.70	0.20	0.10
16	PC5 FA10LP20	-	0.70	0.10	0.20
17	PC5 FA40LP10	-	0.50	0.40	0.10
18	PC5 FA30LP20	-	0.50	0.30	0.20

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมของตัวอย่างมอร์ตาร์เพื่อทดสอบกำลังอัดประลัย ความพรุน และการขยายตัว
ในสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.55

ที่	สัญลักษณ์	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)					
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		เถ้าลอย	ผง หินปูน	ทราย	น้ำ
		ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 5				
1	MC1	1.00	-	-	-	2.75	0.55
2	MC1 FA30	0.70	-	0.30	-	2.75	0.55
3	MC1 FA50	0.50	-	0.50	-	2.75	0.55
4	MC1 LP10	0.90	-	-	0.10	2.75	0.55
5	MC1 LP20	0.80	-	-	0.20	2.75	0.55
6	MC1 FA20LP10	0.70	-	0.20	0.10	2.75	0.55
7	MC1 FA10LP20	0.70	-	0.10	0.20	2.75	0.55
8	MC1 FA40LP10	0.50	-	0.40	0.10	2.75	0.55
9	MC1 FA30LP20	0.50	-	0.30	0.20	2.75	0.55
10	MC5	-	1.00	-	-	2.75	0.55
11	MC5 FA30	-	0.70	0.30	-	2.75	0.55
12	MC5 FA50	-	0.50	0.50	-	2.75	0.55
13	MC5 LP10	-	0.90	-	0.10	2.75	0.55
14	MC5 LP20	-	0.80	-	0.20	2.75	0.55
15	MC5 FA20LP10	-	0.70	0.200	0.10	2.75	0.55
16	MC5 FA30LP20	-	0.70	0.10	0.20	2.75	0.55
17	MC5 FA40LP10	-	0.50	0.40	0.10	2.75	0.55
18	MC5 FA30LP20	-	0.50	0.30	0.20	2.75	0.55

ความหมายตัวสัญลักษณ์ของแต่ละส่วนผสมมีความหมายดังนี้

- C1 หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
C5 หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5
FA หมายถึง เถ้าลอย (Fly Ash) ที่เหลือจากการเผาไหม้ ของถ่านหิน จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง
LP หมายถึง ผุ่นหินปูนขนาดความละเอียด 3 ไมโครเมตร

การอ่านสัญลักษณ์ *

PC1	หมายถึง	เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน
MC1	หมายถึง	มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน
MC5	หมายถึง	มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน
PC1 L10	หมายถึง	เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูน ร้อยละ 10
MC1 LP10	หมายถึง	มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยผงหินปูนร้อยละ 10
PC1 FA30	หมายถึง	เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 30
MC1 FA30	หมายถึง	มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 30
PC1 FA20 LP10	หมายถึง	เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 20 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10
MC1 FA20 LP10	หมายถึง	มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 20 ร่วมกับผงหินปูนร้อยละ 10