

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะกล่าวถึง วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย การเตรียมสารละลายซัลเฟต และสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

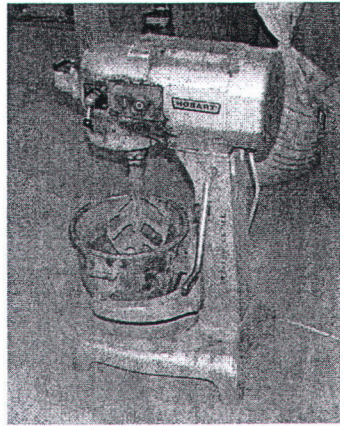
สำหรับวัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ฝุ่นหินปูน เถ้าลอย ทราายนํ้า โซเดียมซัลเฟต และแมกนีเซียมซัลเฟต โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัดและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ตราปลาฉลามของบริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด ซึ่งผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1
2. เถ้าลอย ใช้เถ้าลอย จากโรงงานผลิตแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
3. ฝุ่นหินปูน ใช้ฝุ่นหินปูนที่ได้รับการควบคุมคุณภาพในการผลิต มีสิ่งเจือปนน้อย และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นอุตสาหกรรม โดยมีความละเอียดประมาณ 3 ไมโครเมตร และ 13 ไมโครเมตร
4. ทราย ใช้ทรายน้ำจืด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 โดยได้ทดสอบคุณสมบัติแล้ว คือมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.29
5. สารซัลเฟต ที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างมอร์ตาร์ ได้แก่ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4)
6. นํ้า ใช้นํ้าประปา

3.1.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

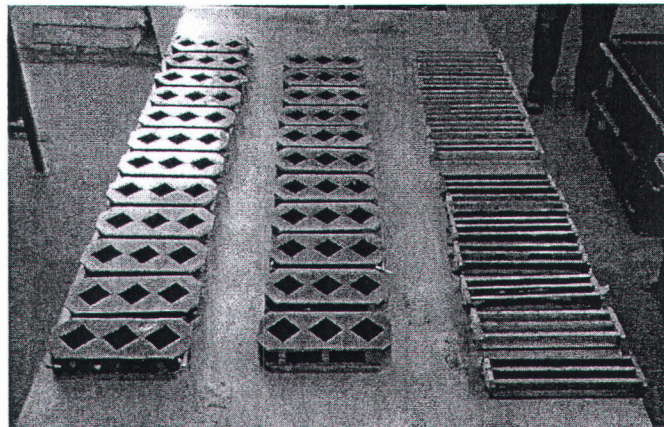
สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่สำคัญ ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ มีดังนี้

1. เครื่องผสมมอร์ตาร์ (รูปที่ 3.1)



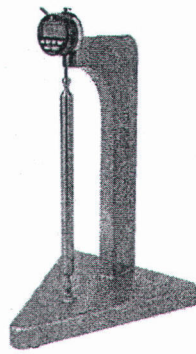
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์

2. แบบหล่อขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 แบบหล่อขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์

3. เครื่องวัดความยาว (Length Comparator) (รูปที่ 3.3)



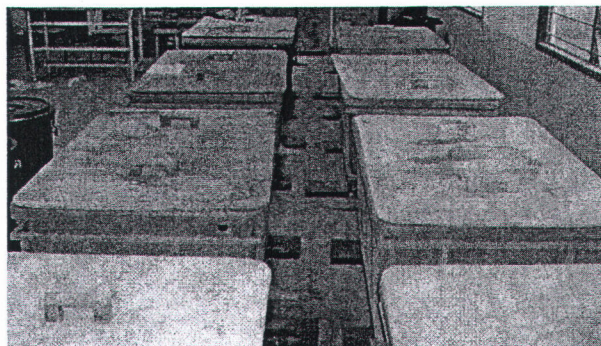
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความยาว

4. เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.01 กรัม (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.01 กรัม

5. ถังสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 ถังสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์

3.2 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับขอบเขตของการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นงานการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยการวัดการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่เตรียมขึ้นมา โดยแช่ในสารละลายซัลเฟต ในขณะที่ขั้นตอนที่สองเป็นการเปรียบเทียบผลของการขยายตัวและการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์ดังกล่าว แล้วเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตที่เผชิญกับสิ่งแวดล้อม ซัลเฟต โดยเฉพาะในกรณีของแมกนีเซียมซัลเฟต

สำหรับขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (ขนาด 2.5x2.5x28.5 เซนติเมตร) เพื่อหาการขยายตัว กระทำตาม ASTM C1012 ในขณะที่การทดสอบหาการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (ลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร) กระทำตาม ASTM C109 ตัวอย่างมอร์ตาร์หลังจากหล่อลงแบบตัวอย่าง (Mold) แล้วหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อกันน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ตัวอย่างจะถอดแบบที่อายุ 1 วัน แล้วนำไปแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว (Saturated lime water) เป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายซัลเฟตที่เตรียมไว้ เพื่อทำการทดสอบการขยายตัว และการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆ สำหรับสารละลาย ซัลเฟตจะมีการเปลี่ยนที่อายุ 1, 2, 4 และทุก ๆ 2 เดือนของการแช่ตัวอย่าง

2. การทดสอบตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้จะประเมินการต้านทานซัลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยวัดการขยายตัวและการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายซัลเฟต

การวัดการขยายตัว

วิธีการวัดการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายซัลเฟตกระทำตามมาตรฐาน ASTM C 1012 โดยหลังจากแช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว 28 วัน ทำการวัดความยาวเริ่มต้นของ ตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความยาว (length comparator) ตามมาตรฐาน ASTM C 490 ต่อจากนั้นนำตัวอย่างแยก แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับ แมกนีเซียมซัลเฟต แล้วทำการวัดความยาวของชิ้นตัวอย่างที่อายุ 2, 3, 4, 8, 13 และ 16 สัปดาห์ของการแช่ใน สารละลายซัลเฟต หลังจากนั้นให้ทำการวัดชิ้นตัวอย่างทุก ๆ อายุ 2 เดือนของการแช่ในสารละลายซัลเฟต สำหรับการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างเป็นการเฉลี่ยการขยายตัว 3 ชิ้นตัวอย่าง สำหรับการขยายตัวของชิ้น ตัวอย่างมอร์ตาร์คำนวณจากสมการ (3.1)

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

โดยที่ L_i คือค่าเฉลี่ยความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่างหลังจากแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C (มม.)
 L_t คือค่าเฉลี่ยความยาวของชิ้นตัวอย่าง ณ เวลาที่ต้องการวัดการขยายตัวหลังจากแช่ในสารละลายซัลเฟตแล้ว (มม.)

การวัดการสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ (ขนาด 5x5x5 ซม.) แช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C แล้ว ทำการวัดน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง ต่อจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างแยกแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างคำนวณจากค่าเฉลี่ยของการสูญเสียน้ำหนักของ 3 ชิ้นตัวอย่าง สำหรับการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์คำนวณจากสมการ (3.2)

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = [(W_i - W_t)/W_i] \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ W_i คือน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างหลังแช่น้ำที่อุณหภูมิ 28 °C (ก.)
 W_t คือน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง ณ เวลาที่ต้องการวัดค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังจากแช่ในสารละลายซัลเฟตแล้ว (ก.)

สำหรับขั้นตอนที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบผลของการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์

โดยการเปรียบเทียบผลของการขยายตัวและการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ระหว่างชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต ต่อจากนั้นเป็นการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง เพื่อเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตที่เผชิญกับสิ่งแวดล้อมซัลเฟต โดยเฉพาะในกรณีของแมกนีเซียมซัลเฟต

3.3 การเตรียมสารละลายซัลเฟต

สำหรับสารละลายซัลเฟตที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สารละลายซัลเฟต 3 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมซัลเฟตผสมกับสารละลายแมกนีเซียมในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สารละลายโซเดียมซัลเฟต ใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เท่ากับ 50 กรัม (SO_4^{2-} เท่ากับ 33,800 ppm) ในสารละลาย 1 ลิตร
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อให้ปริมาณของ SO_4^{2-} เท่ากับ 33,800 ppm ดังนั้นจึงใช้แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) เท่ากับ 42.36 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

3. สารละลายซัลเฟตที่ผสมกันระหว่างโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) กับแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) โดยใช้ในอัตราส่วนเท่ากับ 3: 1 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้โซเดียมซัลเฟต เท่ากับ 37.50 กรัม และแมกนีเซียมซัลเฟตเท่ากับ 10.59 กรัม ละลายในสารละลาย 1 ลิตร เพื่อให้ปริมาณไอออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) รวมแล้วเท่ากับ 33,800 ppm

โดยเตรียมสารละลายซัลเฟตไว้ล่วงหน้า 1 วัน ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียสก่อนแช่ขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ และอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายซัลเฟตต่อปริมาตรขึ้นตัวอย่างที่แช่ประมาณ 4: 1

3.4 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ในการประเมินค่าการต้านทานซัลเฟต ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 และฝุ่นหินปูนซึ่งในที่นี้ใช้ 2 ชนิด คือ ฝุ่นหินปูนที่มีความละเอียด 4 ไมครอนและ 14 ไมครอน และเถ้าลอย (fly ash) ของเถ้าถ่านหิน

การศึกษานี้ใช้สัดส่วนของวัสดุประสานดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ล้วน
2. ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก
3. เถ้าลอยจะใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก
4. ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5
5. ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5
6. ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5
7. ฝุ่นหินปูน (แต่ละชนิด) จะใช้แทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 15 และแทนที่เถ้าลอยร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5

สำหรับตัวอย่างมอร์ตาร์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.55 โดยที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายของมอร์ตาร์เท่ากับ 1:2.75 ตลอดจนการทดลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55

ที่	สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่		เถ้าลอย	ฝุ่นหินปูน		ทราย	น้ำ
		1	5		4 μ	14 μ		
1	C1	1.00	-	-	-	-	2.75	0.55
2	C1-5LP4	0.95	-	-	0.05	-	2.75	0.55
3	C1-5LP14	0.95	-	-	-	0.05	2.75	0.55
4	C1-10LP4	0.90	-	-	0.10	-	2.75	0.55
5	C1-10LP14	0.90	-	-	-	0.10	2.75	0.55
6	C1-20FA	0.80	-	0.20	-	-	2.75	0.55
7	C1-40FA	0.60	-	0.40	-	-	2.75	0.55
8	C1-15FA -5LP4	0.80	-	0.15	0.05	-	2.75	0.55
9	C1-10FA -10LP4	0.80	-	0.10	0.10	-	2.75	0.55
10	C1-30FA -10LP4	0.60	-	0.30	0.10	-	2.75	0.55
11	C1-25FA -15LP4	0.60	-	0.25	0.15	-	2.75	0.55
12	C1-15FA -5LP14	0.80	-	0.15	-	0.05	2.75	0.55
13	C1-10FA -10LP14	0.80	-	0.10	-	0.10	2.75	0.55
14	C1-30FA -10LP14	0.60	-	0.30	-	0.10	2.75	0.55
15	C1-25FA -15LP14	0.60	-	0.25	-	0.15	2.75	0.55
16	C5	-	1.00	-	-	-	2.75	0.55
17	C5-5LP4	-	0.95	-	0.05	-	2.75	0.55
18	C5-5LP4	-	0.95	-	-	0.05	2.75	0.55
19	C5-5LP14	-	0.90	-	0.10	-	2.75	0.55
20	C5-5LP14	-	0.90	-	-	0.10	2.75	0.55
21	C5-20FA	-	0.80	0.20	-	-	2.75	0.55
22	C5-40FA	-	0.60	0.40	-	-	2.75	0.55
23	C5-15FA -5LP4	-	0.80	0.15	0.05	-	2.75	0.55
24	C5-10FA -10LP4	-	0.80	0.10	0.10	-	2.75	0.55
25	C5-30FA -10LP4	-	0.60	0.30	0.10	-	2.75	0.55