

บทที่ 4

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

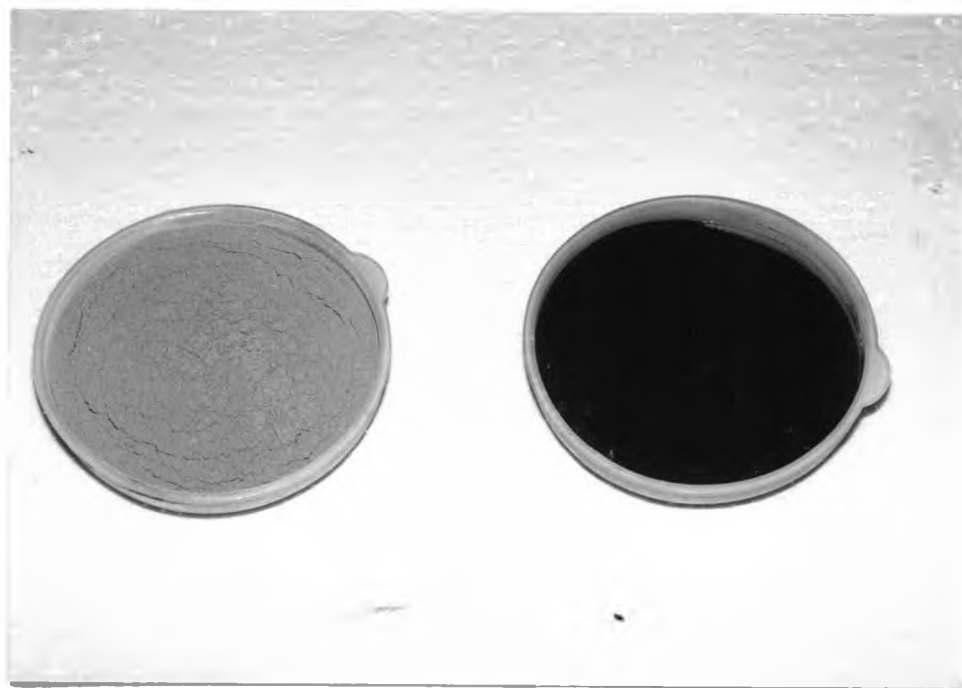
การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

4.1. วัสดุที่ใช้

- 1) ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 2) แก้วลอยลิกไนต์ ใช้แก้วลอย Class C ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานของ ASTM C618-85 โดยเก็บตัวอย่างจากโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง (รูปที่ 4.1)
- 3) ซิลิกาฟูม จากบริษัทซิคาแห่งประเทศไทยจำกัด (รูปที่ 4.1)
- 4) น้ำ ใช้น้ำประปา

4.2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	ความเข้มข้น
1. กรดไฮโดรคลอริก	0.1 N
2. กรดซัลฟูริก	0.02 N
3. โซเดียมซัลไฟด์	1 N
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์	1 N
5. น้ำกลั่น พีเอช 5.8-6.3 ปรับพีเอชโดยการเติมกรด HCl	
6. โซเดียมโบโรไฮไดรด์	
7. โปตัสเซียมไดโคเมต	
8. น้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี	



รูปที่ 4.1 ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง
แก้วลอยลิทไนต์ (ภาพซ้าย)
ซิลิกาฟูม (ภาพขวา)

4.3. ของเสียที่มีปรอทปนเปื้อน

ของเสียที่มีปรอทปนเปื้อนที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ

4.3.1. ตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติ (รูปที่ 4.2) โดยนำน้ำเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าซีโอติซึ่งเก็บรวบรวมจากห้องปฏิบัติการมาตกผลึกด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ 50 % ตามสมการดังนี้



การเตรียมโลหะหนักแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4.3.2. กากหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีปรอทปนเปื้อนจากศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ (รูปที่ 4.2)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. การทดลองหล่อซีเมนต์และการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. เครื่องชั่ง 2000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.2 กรัม
2. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
3. แบบหล่อขนาดลูกบาศก์ 2 นิ้วหรือ 50 มิลลิเมตร (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3)
4. เครื่องทดสอบแรงอัด (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
5. เครื่องทดสอบการซึมได้ของน้ำ(แผนกปฐพีวิทยา กองธรณีปฐพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)



รูปที่ 4.2 ภาพของเชื้อที่มีปรอทปนเปื้อน
ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติ(ภาพขวา)
กากหลอตฟลูออเรสเซนส์ (ภาพซ้าย)

2. การทดสอบการชะละลายของปรอท

1. ตะแกรงขนาด 0.5-9 มิลลิเมตร
2. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
3. เครื่องชั่ง
4. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิเมตร
5. เครื่องเขย่า Horizontal Shaker 200 รอบ/นาที
6. กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน
7. เครื่องวัดพีเอช
8. เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า
9. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer



รูปที่ 4.4 ภาพแบบหล่อซีเมนต์ขนาด $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$

การดำเนินการทดลอง ขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 ขั้นตอนการพิจารณาเลือกอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมของโปรทซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ที่ได้จากผลการวิจัยคือ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี (อนุพันธ์ ปูนพันธ์ฉาย, 2539) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองดังนี้

1.1 การทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม

ซิลิกาฟูม (%)	กากหลอดฟลูออเรสเซนต์/วัสดุซีเมนต์			
	0	0.25	0.5	0.75
0				
10				
20				
30				
40				

1.2 การทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย
ลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์ (%)	กากหลอดฟลูออเรสเซนต์/วัสดุซีเมนต์			
	0	0.25	0.5	0.75
0				
25				
50				
75				
100				

1.3 การทำตะกอนไฮดรอกไซด์จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม

ซิลิกาฟูม (%)	ตะกอนไฮดรอกไซด์จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติ/วัสดุซีเมนต์			
	0	0.25	0.5	0.75
0				
10				
20				
30				
40				

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการวิจัยนี้แสดงดังตาราง

	เก็ลลอยลิกไนต์	ซิลิกาฟูม
ปริมาณที่ใช้	0,25,50,75,100%	0,10,20,30,40 %
ปรอทซัลไฟด์/วัสดุซีเมนต์	0,0.25,0.5,0.75	0,0.25,0.5,0.75
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	0.5	0.5
ระยะเวลาบ่มตัว	1,3,7,14,28 วัน	1,3,7,14,28 วัน

ก. การทดลองหล่อซีเมนต์และทดสอบกำลังรับแรงอัด

วิธีการหล่อและทดสอบกำลังรับแรงอัดมีรายละเอียดดังนี้

1. หล่อซีเมนต์ สำหรับหล่อแบบ $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ โดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 อัตราส่วนผสมปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 วัสดุซีเมนต์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ซีเมนต์ผสมเก็ลลอยและซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม อัตราส่วนเก็ลลอยต่อซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 อัตราส่วนของซิลิกาฟูมต่อซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ทำการทดลอง 3 ตัวอย่างในแต่ละส่วนผสม ใช้เวลาบ่ม 7 วัน
2. ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว
3. หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง โดยการชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างและหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง
4. ทดสอบความให้ซึ่มได้ (ทดสอบเฉพาะค่าอัตราส่วนผสมที่คัดเลือกแล้ว)

ข. การทดสอบการชะละลายของปรอท

การทดลองนี้ใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลายของปรอทโดยวิธีสกัดสาร(Extraction Procedure) ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ตั้งรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

1. บดตัวอย่างซีเมนต์ที่แข็งตัวให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 0.5-5 มิลลิเมตร
2. ชั่งตัวอย่างในข้อ 1 จำนวน 50 กรัมใส่ในตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริกจนมีพีเอชระหว่าง 5.8-6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนักของตัวอย่างสาร(กรัม)
3. เขย่าตัวอย่างบนเครื่องเขย่า(Shaker)เป็นเวลา 6 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องเขย่าชนิด 200 รอบ/นาที
4. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
6. วัดค่าพีเอช ความนำไฟฟ้าและวิเคราะห์หาค่าความเป็นต่างของน้ำสกัด

การทดลองที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อนโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

โซเดียมซัลไฟด์ (เท่าของปริมาณทางทฤษฎี)	ค่าที่ต้องการทดสอบ *
1.00	
1.25	
1.50	
1.75	
2.00	

* ค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความสามารถในการถูกชะละลาย ค่าความชื้นได้ของน้ำและค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์

1. นำกากหลอมดฟลูออเรสเซนซ์และตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติมาเติมสารละลายโซเดียมซิลไฟด์โดยแปรปริมาณการเติมซึ่งคิดเป็นจำนวนเท่าของ Stoichiometry เท่ากับ 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00

2. นำส่วนผสมที่ได้มาผสมซีเมนต์และวัสดุประสานในอัตราส่วนผสมของปรอทซิลไฟด์ต่อวัสดุประสาน อัตราส่วนของวัสดุประสานต่อซีเมนต์ที่ได้คัดเลือกแล้วสำหรับตะกอนแต่ละชนิด โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองดังนี้

2.1 การทำกากหลอมดฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม

2.2 การทำกากหลอมดฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย
ลิกไนต์

2.3 การทำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียซีโอติให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์
ผสมซิลิกาฟูม

3. ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

4. ทดสอบหาความสามารถในการถูกชะละลายของปรอท หลังจากนั้นนำมาวัดค่าพีเอช ความเป็นด่าง ความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด

5. ทดสอบการซึมได้ของน้ำ (Permeability) และค่าความหนาแน่น (Density) ของก้อนซีเมนต์ (เฉพาะค่าอัตราส่วนผสมของโซเดียมซิลไฟด์ที่คัดเลือกแล้ว)

หมายเหตุ

1. ใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง

2. ผลการศึกษาอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลไฟด์ในการทำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียซีโอติให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ได้จากผลการวิจัยของ อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย ,2539

การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาการบ่มตัวที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ผลของระยะเวลาในการบ่ม ที่มีต่อค่าที่ต้องการทดสอบ*	กากหลอต ฟลูออเรสเซนซ์		ตะกอนจากการบำบัด น้ำเสียซีโอดี	
	OPC+SF	OPC+FA	OPC+SF	OPC+FA#
1				
3				
7				
14				
28				

OPC+SF = ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม OPC+FA = ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

*ค่าที่ต้องการทดสอบได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความสามารถในการถูกชะละลายและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์

ผลการวิจัยของอนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย , 2539

1. หล่อซีเมนต์โดยใช้อัตราส่วนของปรอทซัลไฟต์ต่อวัสดุซีเมนต์ อัตราส่วนของวัสดุประสานต่อซีเมนต์ที่ได้คัดเลือกแล้วโดยใช้ระยะเวลาบ่ม 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน
2. ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์
3. ทดสอบหาค่าความสามารถในการถูกชะละลายของปรอทวัดค่าพีเอช ความเป็นด่างและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำสกัด

หมายเหตุ 1. ใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว

	ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว	
	OPC+SF	OPC+FA
กากหลอตฟลูออเรสเซนซ์ ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี		

OPC+SF = ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม OPC+FA = ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

1. ทดสอบหาค่าความสามารถในการถูกชะละลายปรอทของของเสียที่ยังไม่ได้ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยใช้วิธีการทดสอบ เช่นเดียวกับข้อ ข. ในการทดลองที่ 1

2. คำนวณหาประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว

$$\text{ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว} = (C_o - C_s) / C_o * 100$$

C_o = ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดก่อนผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อน

C_s = ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดหลังผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อน

การทดลองที่ 5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวัสดุประสานในการกำจัดปรอทซัลไฟด์

วัสดุผสม		กากหลอตฟลูออเรสเซนซ์		ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี	
ส่วนประกอบ	ราคา/กิโลกรัม	OPC+SF	OPC+FA	OPC+SF	OPC+FA [#]
ปูนซีเมนต์					
เถ้าลอยลิกไนต์					
ซิลิกาฟูม					
โซเดียมซัลไฟด์					
น้ำ					
รวม					

OPC+SF = ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม OPC+FA = ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

ผลการวิจัยของอนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย, 2539