



บทที่ 4

แผนการดำเนินการวิจัย

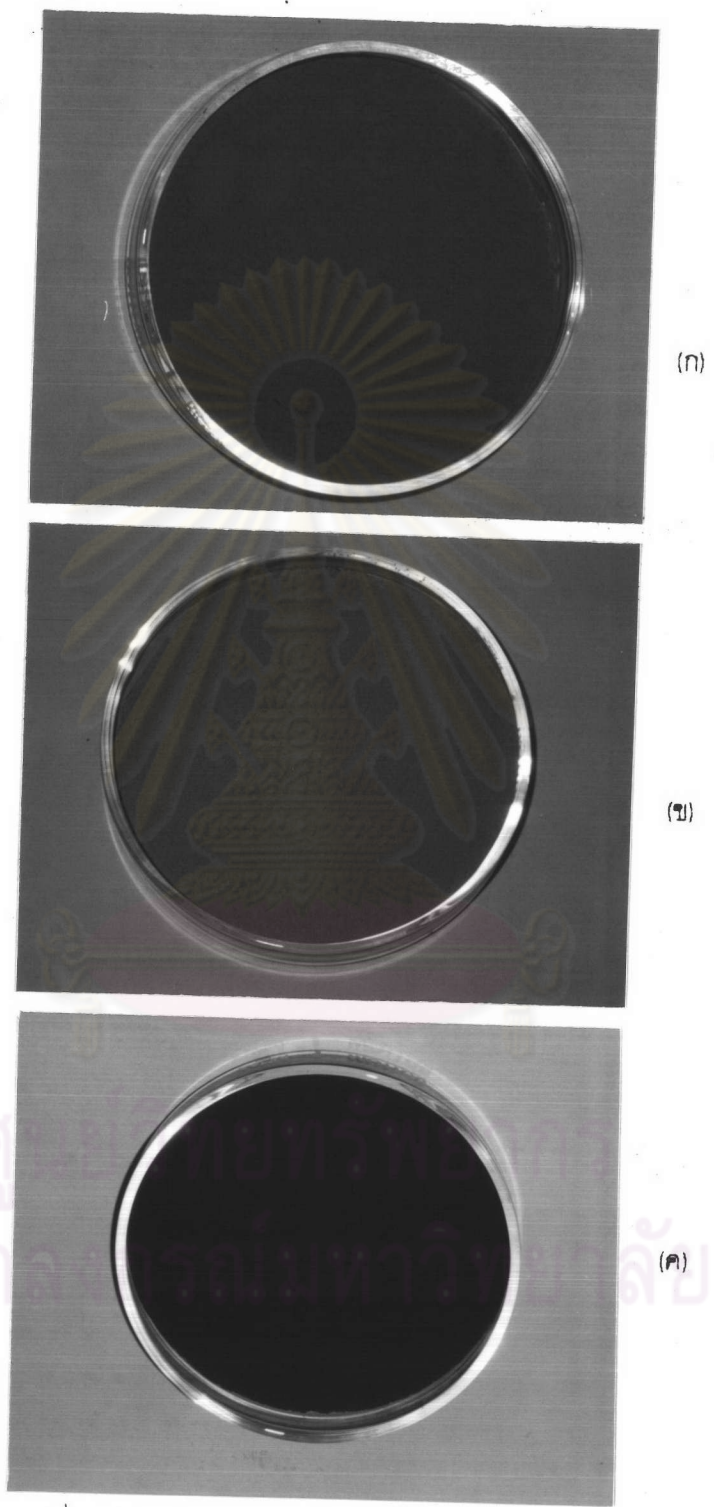
การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1.ก)
2. แก้วลอยลิกไนต์เก็บตัวอย่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานของ ASTM (C618-85) ซึ่งจัดอยู่ในชั้น C ประมาณ 50 กิโลกรัม และเก็บรักษาตัวอย่างโดยใช้ถุงพลาสติกปิดรัดปากถุงให้แน่นเพื่อป้องกันความชื้น (ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1.ข)
3. น้ำ ใช้น้ำประปา

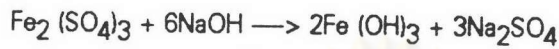
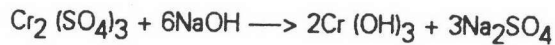
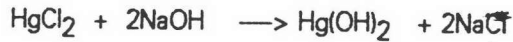
2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

สารเคมี	ความเข้มข้น
1. Hydrochloric Acid	0.1 N
2. Sulfuric Acid	0.02 N
3. Sodium Hydroxide	1 N
4. น้ำกลั่น พีเอช 5.8-6.3 และพีเอช 2, 6, 8 และ 10	
- ปรับพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้โดยเติมด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จนน้ำกลั่นมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5.8-6.3	
- ปรับพีเอชของน้ำกลั่น 2, 6, 8 และ 10 โดยใช้กรด HCl เข้มข้นและสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 N	
5. Methyl Orange	
6. น้ำเสียจากการวิเคราะห์ COD	



ภาพที่ 4.1 วัสดุประสานและตะกอนโลหะหนักที่ใช้ในการทดลอง
ก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ข ถ้ำลอยลิกไนต์
ค ตะกอนโลหะหนัก

3. ตะกอนโลหะหนัก เตรียมตะกอนโลหะหนัก โดยใช้น้ำเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ COD (เก็บรวบรวมจากห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) นำมาตกผลึกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% และควบคุมพีเอชที่ 9.5 ตามสมการดังนี้



นำตะกอนโลหะหนักที่ได้มาทำให้แห้งโดยใช้ Water Bath ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง และนำเข้า Desiccator เพื่อลดความชื้นนานประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปบดให้เป็นผง เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดความชื้น(ดังมีรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.และภาพที่ 4.1,ค) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. การเตรียมตะกอนโลหะหนัก

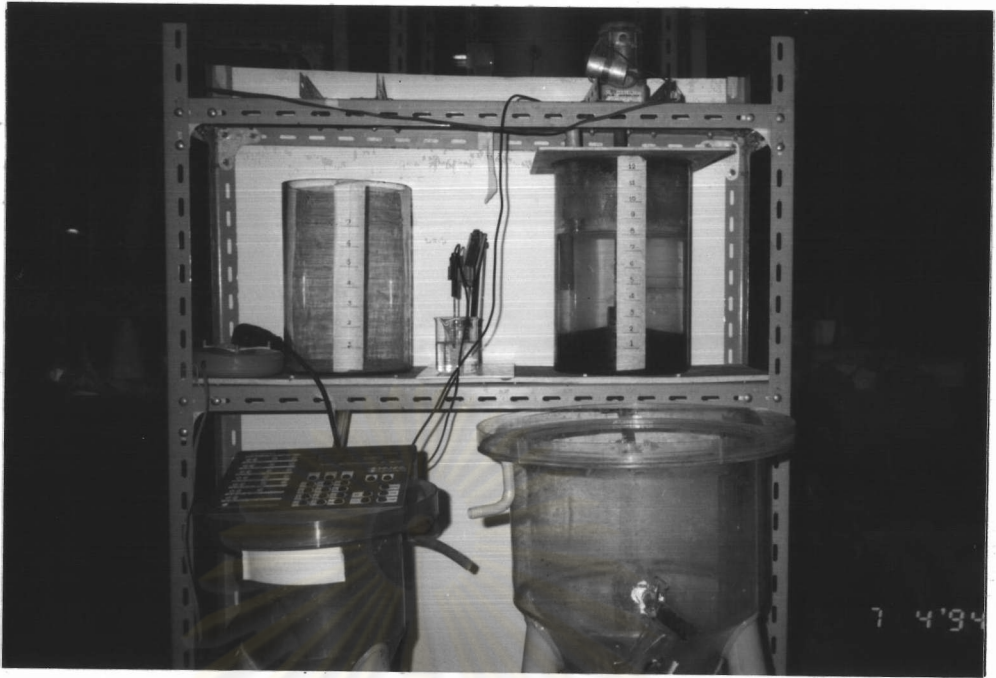
อุปกรณ์การเตรียมตะกอนโลหะหนักแสดงรายละเอียดไว้ในภาพที่ 4.2

2. การทดสอบหล่อซีเมนต์ และทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. เครื่องชั่ง 2000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.2 กรัม
2. กระบอกลวดขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
3. แบบหล่อ ขนาดลูกบาศก์ 2 นิ้ว หรือ 50 มม. (ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.3)
4. เครื่องผสมปูนซีเมนต์ (Mixer) หรือแผ่นกระจกสำหรับผสมด้วยมือ
5. Tamper มีขนาดหน้าตัด 1/2 x 1 นิ้ว มีความยาว 5-6 นิ้ว ปลายตัดเรียบ และหน้าตัดตั้งฉากกับแกน ทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
6. เกรียงพลาสติกขนาดหน้ากว้างของใบ 4-6 นิ้ว
7. เครื่องทดสอบแรงอัด (Testing Machine) (ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.4)
8. Sieve No. 20-16, 30-20 และ > 30
9. เครื่องทดสอบการซึมของน้ำ (Permeameter) (ดำเนินการทดสอบโดย กฟผ. ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.5)

3. การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

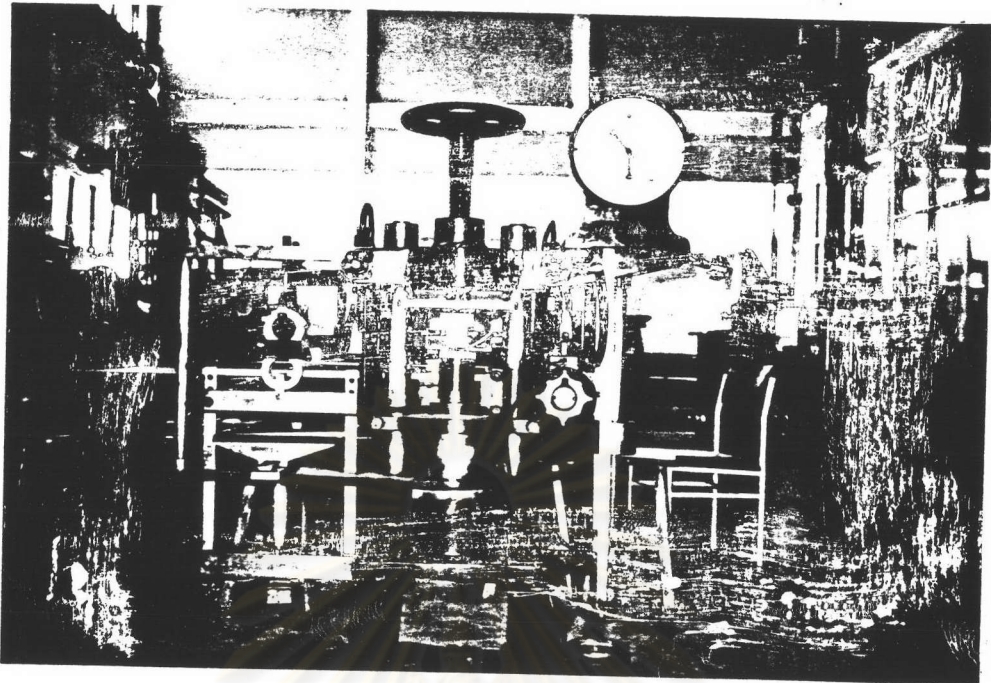
1. Seive ขนาด 0.5-5 มิลลิเมตร
2. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
3. เครื่องชั่งขนาด 1000 กรัม
4. กระบอกลวดขนาด 500 มล.
5. เครื่องเขย่า Horizontal Shaker 200 รอบ/นาที
6. กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน
7. เครื่องวัด pH



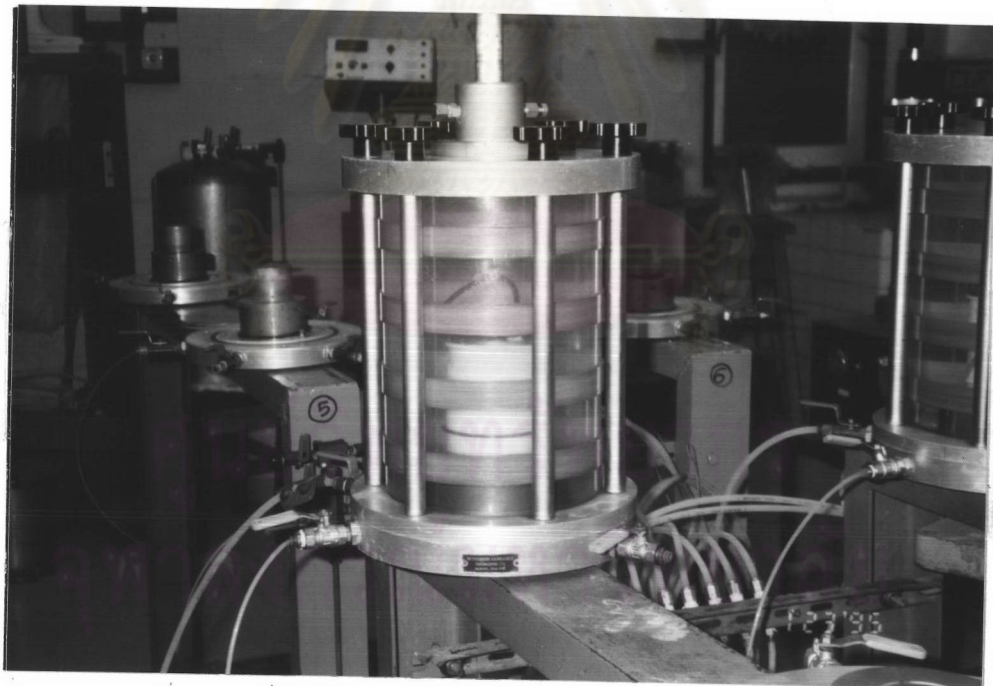
ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตะกอนโลหะหนัก



ภาพที่ 4.3 แบบหล่อซีเมนต์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม.³



ภาพที่ 4.4 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)



ภาพที่ 4.5 เครื่องมือทดสอบความให้ซึมได้ (แผนกปฐพีวิทยา
กองธรณีปฐพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

8. เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductimeter)
9. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองตลอดจนตัวแปรที่ศึกษาแสดงไว้ในแผนผังรูปที่ 4.1 โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลองดังนี้

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

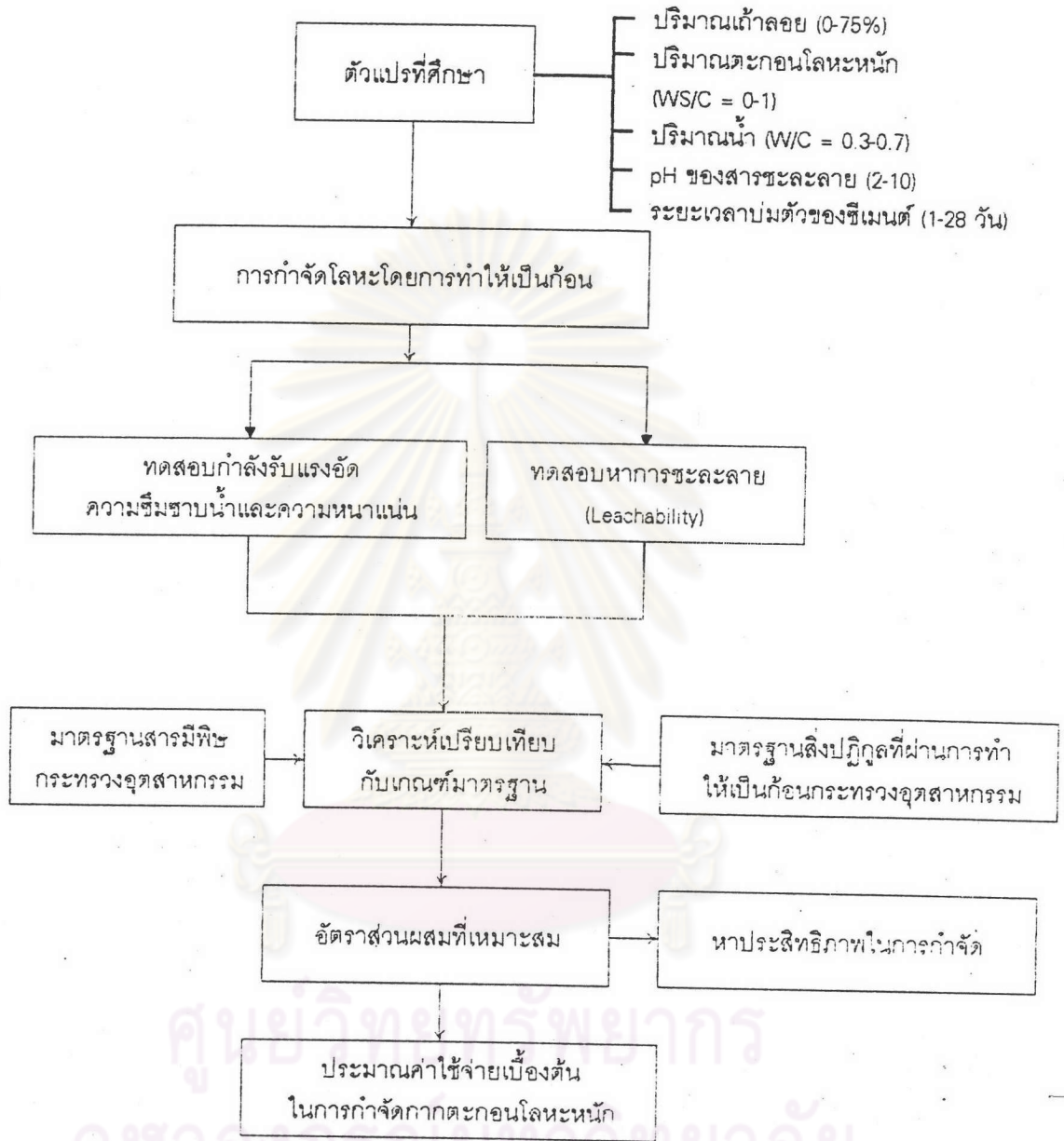
เถ้าลอยลิกไนต์ %	อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน			
	0	0.1	0.25	0.5
0				
25				
50				
75				

- ก. การทดลองหล่อซีเมนต์และทดสอบกำลังรับแรงอัด

แผนผังแสดงอัตราส่วนของวัสดุซีเมนต์และขั้นตอนการหล่อซีเมนต์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 และวิธีการหล่อและทดสอบกำลังรับแรงอัดมีรายละเอียดดังนี้

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ ตามมาตรฐานของ ASTM C109-86 สำหรับหล่อแบบขนาด 5x5x5 ซม³ ใช้อัตราส่วนผสม วัสดุประสาน : น้ำ เท่ากับ 1:0.5 และใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0, 0.1, 0.25, และ 0.5 สำหรับวัสดุซีเมนต์ที่ใช้ประกอบด้วยเถ้าลอยและปูนซีเมนต์โดยใช้อัตราส่วนเถ้าลอยในวัสดุซีเมนต์เท่ากับ 0.25, 50 และ 75% ในการผสมซีเมนต์แต่ละอัตราส่วนให้ผสมครั้งละ 2 ก้อน

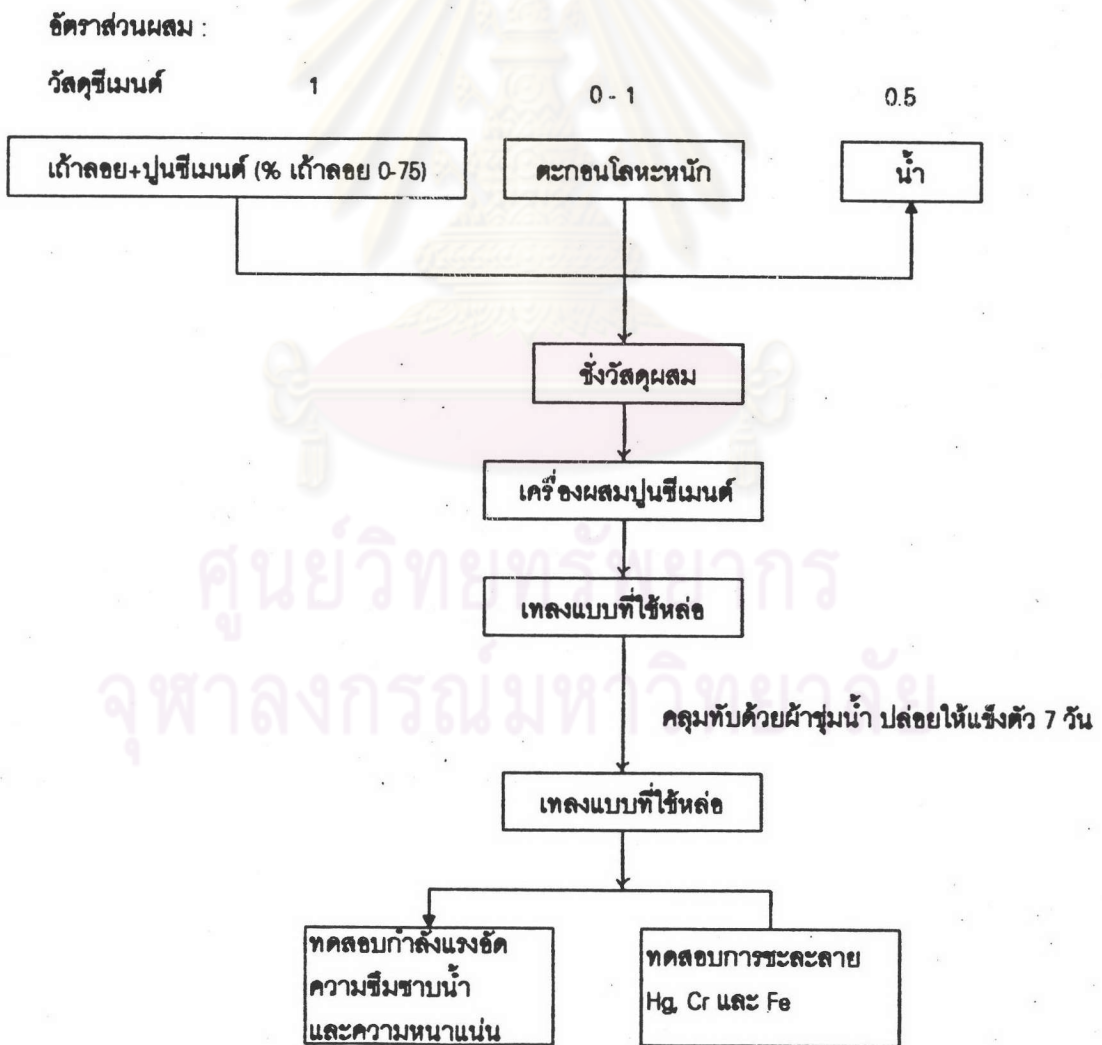
2. การผสมใช้วิธีผสมด้วยมือ (สวมถุงมือยาง) โดยผสมวัสดุประสานและตะกอนโลหะหนักตามอัตราส่วนในข้อ 1 ให้เข้ากันบนแผ่นกระจก เมื่อเข้ากันดีแล้วกองซีเมนต์ที่ผสมแล้วเป็นรูปภูเขาและให้มีหลุมตรงกลาง เติมน้ำลงในหลุมกลางและตักส่วนผสมจากด้านข้างลงในหลุมด้วยในเวลา 30 วินาที และทิ้งให้ซึมตัวด้วยน้ำ 30 วินาที เริ่มผสมให้เข้ากันด้วยเกรียงในเวลา 1 นาที 30 วินาที



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงตัวแปรที่ศึกษาและขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3. เทชีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที หลังการผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้วหรือ 2.5 ซม. แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมนีเมนต์ผสมชั้นที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องขณะกระทุ้งใช้ Tamper กระทุ้ง 16 ครั้งเช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย

4. หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันทีและถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบ 7 วัน โดยใช้ผ้ากระสอบชุบน้ำคลุมทับ นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่อง test machine (ภาพที่ 4.4)โดยใช้ตัวอย่าง 2 ก้อน ทดสอบแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนของวัสดุซีเมนต์ และขั้นตอนการหล่อซีเมนต์

5. หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างโดยการการชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างและหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง

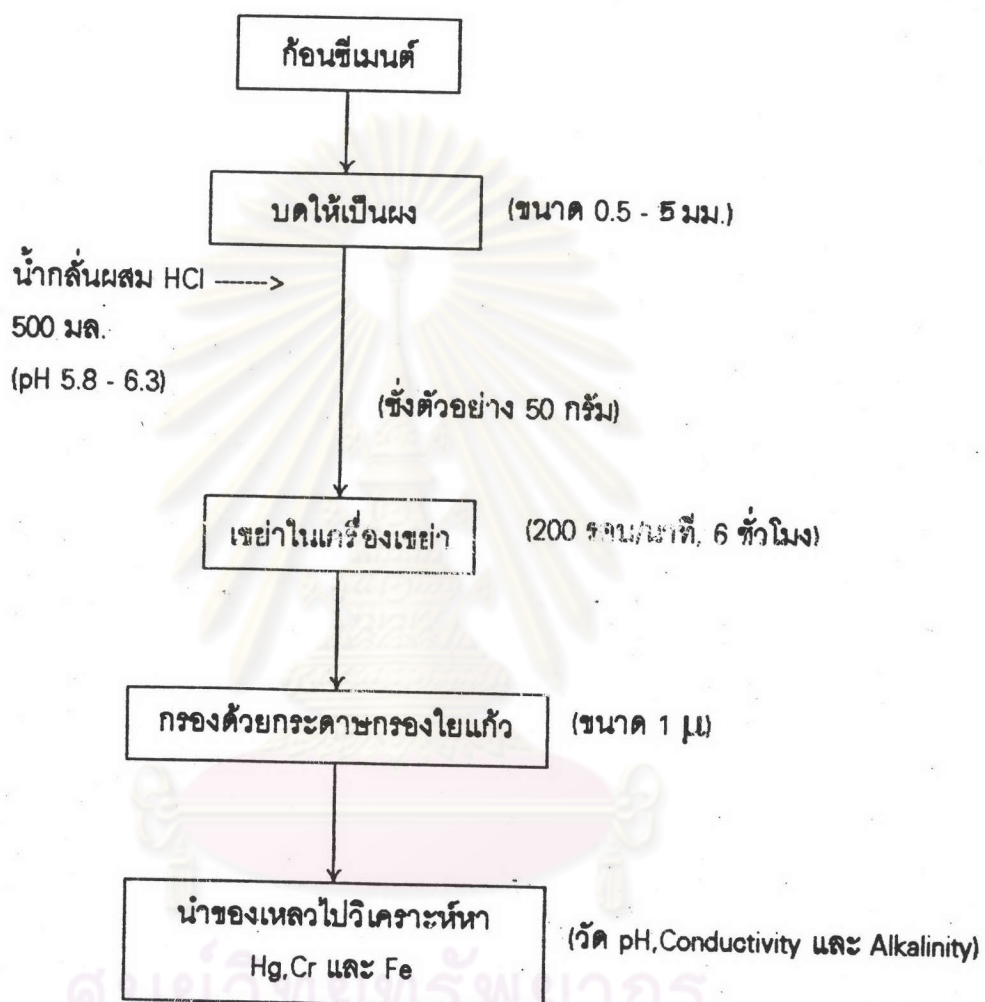
6. การทดสอบความให้ซึ่มได้ ทดสอบโดยการไฟฟ้าผ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ข. การทดสอบการระละลายของโลหะหนัก

การทดลองนี้ใช้มาตรฐานการทดสอบการระละลายของโลหะหนัก โดยใช้วิธีสกัดสาร (Extraction Procedure) ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ดังรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้ (แผนผังสรุป รูปที่ 4.3)

1. บดตัวอย่างซีเมนต์ที่แข็งตัวให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 0.5 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร
2. ชั่งตัวอย่างในข้อ 1) 50 กรัม ใส่ในตัวอย่างที่ประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.8 ถึง 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างสาร
3. เขย่าตัวอย่างบนเครื่องเขย่า (Shaker) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่าชนิด 200 รอบ/นาที
4. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หา Hg, Cr และ Fe โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
6. วัดค่าพีเอช ความนำไฟฟ้า และวิเคราะห์หาค่าความเป็นต่างของน้ำสกัด

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แผนผังแสดงการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก

2.1. จากผลการทดลองที่ 1 เลือกอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 และเลือกวัสดุประสานที่มี % etailoy 0 และ 50 ทดลองแปรค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35, 0.5, 0.6 และ 0.7 และ บ่มให้แข็งตัวใน 7 วัน

2.2. ทดสอบหาค่าความสามารถถูกชะละลายโลหะหนัก (Hg, Cr และ Fe) โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธีการเหมือนการทดลองที่ 1 และวัดค่าพีเอช, ความนำไฟฟ้า และความเป็นด่างของน้ำสกัด

2.3 ทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย

3. การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของน้ำกลั่นที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก

3.1 จากผลการทดลองที่ 2 เลือกอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 ทำการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และแปรค่าพีเอชของน้ำที่ใช้ในการทดสอบการชะละลาย เป็น 2, 6, 8 และ 10

3.2 ทดสอบหาค่าความสามารถถูกชะละลายโลหะหนัก (Hg, Cr และ Fe) โดยทำการทดสอบ 2 ตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย และวัดค่าพีเอช, ความนำไฟฟ้าและความเป็นด่างของน้ำสกัด

4. การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวที่ใช้ในกระบวนการทำให้เป็นก้อน

4.1 ทำการทดลองผสมซีเมนต์ ตามอัตราส่วนเหมือนการทดลองที่ 3 แต่เปลี่ยน ตัวแปรเป็นระยะเวลาบ่มตัวในการหล่อซีเมนต์ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

4.2 ทดสอบหาค่าความสามารถถูกชะละลายโลหะหนัก (Hg, Cr และ Fe) ค่าพีเอชความนำไฟฟ้าและความเป็นด่างของน้ำสกัด

4.3 ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และ ความให้ซึมได้ของก้อนตัวอย่าง (ทดสอบโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

5. การทดลองที่ 5 หาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนักและปริมาณค่าใช้
จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อน

5.1 ทดสอบหาค่าความสามารถถูกชะละลายโลหะหนัก (Hg, Cr, Fe) ของตะกอนโลหะ
หนัก ที่ยังไม่ได้ผ่านการทำให้เป็นก้อน โดยใช้วิธีการทดสอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

5.2 คำนวณหาประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{L_o - L_s}{L_o} \times 100$$

L_o

L_s = ความสามารถถูกชะละลายโลหะหนักในน้ำสกัดภายหลังผ่านกระบวนการ
การทำให้เป็นก้อน มีหน่วยเป็น มก./ก.

L_o = ความสามารถถูกชะละลายโลหะหนักในน้ำสกัดก่อนผ่านกระบวนการ
ทำให้เป็นก้อนมีหน่วยเป็น มก./ก.

5.3 ปริมาณค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยเปรียบเทียบ
เทียบผลกับการวิจัยที่ผ่านมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย