บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>วัสดุที่ใช้ในการศึกษา</u>

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กากตะกอนจาโรไซต์
2. วัสดุประสาน

1. <u>กากตะกอนจาโรไซต์</u> (Jarosite residues)

ตัวอย่างกากตะกอนจาโรไซต์ที่ใช้ในการศึกษา ได้มาจากการสังเคราะห์ของบริษัทผาแดงอินดัสตรี จำกัด(มหาชน) ศึกษาการทำเสถียรกากตะกอนรวม 2 ประเภท โดยประเภทแรก มีชื่อเรียกว่า กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา (ส่งมาจากบริษัท Lurgi ประเทศเยอรมัน) และกากตะกอนประเภทที่สองเรียกว่า กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ซึ่งเป็นกากตะกอนที่เกิดจากการเติมแร่สังกะสีซิลิเกตเข้าไปในขั้นตอนการตกตะกอนจาโรไซต์ (สังเคราะห์ที่โรงงานในจังหวัดตาก)

1.1 <u>กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา</u> (Conventional Jarosite)

กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ได้รับมามีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 29 และมีองค์ประกอบโดยประมาณดังนี้ สังกะสีร้อยละ 6.1 เหล็กร้อยละ 27 ทองแดงร้อยละ 0.15 แคดเมียมร้อยละ 0.06 ตะกั่วร้อยละ 5.5 อลูมิเนียมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักแห้ง และยังมี

โลหะหนักละลายที่ติดมากับกากตะกอน โดยมีการล้างตะกอนด้วยน้ำบนสายพานกรองไม่สมบูรณ์ เจือปนกับกากตะกอนอีกจำนวนหนึ่งซึ่งมีองค์ประกอบหลักๆเป็นสังกะสี เหล็ก และแคดเมียม

1.2 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ (Silico Jarosite)

กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีองค์ประกอบเฉพาะส่วนละลายได้ โดยประมาณดังนี้ สังกะสีร้อยละ 0.14 แคดเมียมร้อยละ 0.003 แมงกานีสร้อยละ 0.01 ตะกั่วน้อยกว่าร้อยละ 0.001 (ข้อมูลจากบริษัทผาแดงอินดัสตรี จำกัด) และมีปริมาณน้ำบรรจุในกากตะกอนประมาณร้อยละ 50 ในกระบวนการผลิตจริงกากตะกอนที่เกิดขึ้นต้องผ่านการล้างด้วยน้ำบนสายพานและส่งไปยังเครื่องรีดน้ำที่สามารถทำให้ปริมาณน้ำบรรจุในกากตะกอนเหลือประมาณร้อยละ 40 ดังนั้นในการทำวิจัยนี้จึงต้องลดปริมาณน้ำบรรจุของกากตะกอนให้เหลือประมาณร้อยละ 40 ก่อนที่จะนำไปทำให้เป็นก้อน

2. วัสดุประสาน

วัสดุประสานหรือวัสดุผสมที่ใช้ในการศึกษา เลือกใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ (Cementitious binder) เนื่องจากวัสดุประเภทซีเมนต์มีคุณสมบัติในการยึดเกาะทำให้เป็นก้อนแข็งได้ดี เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพง การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วัสดุประสานชนิดต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง (ตราช้าง)

2.2 ปูนขาวดิบ จากบริษัทผาแดงอินดัสตรี จำกัด(มหาชน)

2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก

2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. การทดลองผสมกากตะกอนกับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2,000 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.2 กรัม

1.2 แบบหล่อพลาสติกขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

1.3 ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์

1.4 แทมเปอร์ (Tamper) มีขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาวประมาณ 5 ถึง 6 นิ้ว หน้าตัดเรียบและตั้งฉากกับแกนจับ ทำด้วยวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ

1.5 เกรียงฉาบซีเมนต์ ความกว้างของใบ 4 ถึง 6 นิ้ว

1.6 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. <u>การทดสอบการสกัดสาร</u>

2.1 ตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร

2.2 ขวดพลาสติกปริมาตร 1 ลิตร ใช้ขวดชนิด PP เพื่อป้องกันการดูดซับของโลหะหนัก

2.3 ขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2.4 เครื่องชั่งสารเคมี 1,000 กรัม

2.5 เครื่องเขย่าแนวราบ 200 รอบต่อนาที

2.6 กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน

2.7 เครื่องวัดพีเอช

2.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.8.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง ยี่ห้อ Varian รุ่น Spectr AA-10 Plus ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.2 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบกราไฟต์ ยี่ห้อ Varian รุ่น Spectr AA-300 ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. <u>การทดสอบความให้ซึมได้</u>

ใช้เครื่องทดสอบ Triaxial test ของแผนกปฏิพีวิทยา กองปฏิพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

4. การวิเคราะห์โครงสร้างภายใน

4.1 X-ray diffraction ใช้เครื่อง JEOL รุ่น JDX 8030 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน ใช้เครื่อง Scanning Microscope ของ JEOL JSM - 35 CF ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ 3 ขั้นตอน คือ

1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น (Trial test)
2. การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด (Optimization test)
3. การทดสอบการชะละลายในระยะยาว (Long-term leaching test)

สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการศึกษาทั้ง 3 ขั้นตอน แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.1

1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้นเป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาหาชนิดของวัสดุประสาน ที่มีประสิทธิภาพในการทำกากตะกอนจาโรไซต์ให้เป็นก้อนได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่นๆ ในกลุ่มวัสดุประสานที่เลือกใช้ การทดสอบเบื้องต้นทำการทดสอบกับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาและกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ โดยกำหนดสัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ดังนี้

1.1 สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 7, 14 และ 35 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 5, 10 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

1.2 สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 7, 14 และ 35 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำกากตะกอนจาโรไซต์ให้เป็นก้อน

ประเภทของกากตะกอน	วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสมของวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง
การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น		
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	7, 14 และ 35
	2. ปูนขาว	7, 14 และ 35
	3. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1ต่อ1) โดยน้ำหนัก	7, 14 และ 35
	4 ปูนซีเมนต์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต (1ต่อ1) โดยน้ำหนัก	7, 14 และ 35
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	5, 10 และ 25
	2. ปูนขาว	5, 10 และ 25
	3. ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1ต่อ1) โดยน้ำหนัก	5, 10 และ 25
การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด		
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	6, 8, 11 และ 14
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	10, 15, 18 และ 20
	2.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า	10, 15, 18 และ 20
การทดสอบการชะละลายในระยะยาว		
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	10
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	10

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 5, 10 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

1.3 สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1ต่อ1 โดยน้ำหนัก กับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 7, 14 และ 35 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 1ต่อ1 โดยน้ำหนัก กับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 5, 10 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

1.4 สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกตในอัตราส่วน 1ต่อ1 โดยน้ำหนัก กับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 7, 14 และ 35 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

สาเหตุที่กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดากำหนดอัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 7, 14 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งเนื่องจากได้คำนวณเปลี่ยนจากอัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 5,10 และ 25 เมื่อเทียบกับน้ำหนักกากตะกอนเปียก เป็นเทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยที่กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 29 และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 40

2. <u>การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด</u>

จากการทดลองเบื้องต้นจนได้ชนิดของวัสดุประสานที่มีสมบัติในการทำกากตะกอนจาโรไซต์ให้เป็นก้อนได้ดีที่สุด ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด จะทำการผสมกากตะกอนจาโรไซต์กับวัสดุประสานชนิดนั้นอีก โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสม เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้วัสดุประสานในปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ในการทำกากตะกอนจาโรไซต์ให้เป็นก้อนมีสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ได้กำหนดอัตราส่วนผสม ดังนี้

2.1 กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 6, 8, 11 และ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

2.2 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ทำการทดสอบรวม 2 ชุด ได้แก่

2.2.1 ใช้ปูนซีเมนปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10, 15, 18 และ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

2.2.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้าเป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10, 15, 18 และ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

3. การทดสอบการชะละลายในระยะยาว

ผลจากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด สามารถกำหนดสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดได้ดังนี้ คือ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง และอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ดังนั้นในการทดสอบการชะละลายระยะยาวจึงทำการผสมกากตะกอนจาโรไซต์กับปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อศึกษาผลของกำลังรับแรงอัดเมื่อแปรเปลี่ยนระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 90 วัน และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดเมื่อแปรเปลี่ยนระยะเวลาบ่มที่ 1 วัน 7 วัน 28 วัน และ 90 วัน และทำการทดลองการชะละลายของโลหะหนักในคอลัมน์ โดยให้น้ำประปาที่มีพีเอชอยู่ระหว่าง 5.8 ถึง 6.3 ไหลชะผ่านกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง เป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อศึกษารูปแบบการชะละลายของโลหะหนัก ในกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่า 14 กก./ตร.ซม.

การศึกษาสมบัติของกากตะกอนจาโรไซต์

กากตะกอนจาโรไซต์ที่ใช้ในการศึกษา ต้องนำมาวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆที่สำคัญ ดังนี้

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

1.1 ปริมาณน้ำบรรจุ

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2216-80

1.2 ความถ่วงจำเพาะ

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 854-58 Test Method for Specific Gravity of Soils

1.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

นำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรมาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาความหนาแน่นรวม

1.4 การกระจายขนาดคละ (Size distribution)

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 422-63 Method for Particle - Size Analysis of Soil สำหรับขนาดตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Micron Photo Sizer model SKC-2000 ที่ศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยวิธีตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยง

2 สมบัติทางด้านเคมี

ศึกษาหาองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ โดยมุ่งเน้นปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษในเนื้อกากตะกอน

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน ทำโดยย่อยกากตะกอนอย่างรุนแรงในกรดไฮโดรคลอริก (HCL) ผสมกับกรดซัลฟุริก(H_2SO_4) และกรดไนตริก(HNO_3) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะละลาย ใช้วิธีการสกัดสารตามวิธีที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนด วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะอาร์เซนิค แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี เพื่อจำแนกประเภทของกากตะกอนจาโรไซต์ว่าเข้าข่ายเป็นของเสียที่เป็นอันตรายประเภทวัตถุมีพิษหรือไม่

การทดสอบสมบัติของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสาน

การผสมกากตะกอนจาโรไซต์กับวัสดุประสานทำการผสมด้วยมือ โดยนำกากตะกอนจากสภาพจริงที่ทราบปริมาณน้ำบรรจุในกากตะกอน มาใส่ในภาชนะที่ใช้ผสมและเติมวัสดุ

ประสานลงไปตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่กำหนดไว้แล้วกวนผสมให้เข้ากัน เติมน้ำตามเท่าที่จำเป็นลงไปในส่วนผสมเพียงเพื่อให้ผสมเข้ากันได้ดี จากนั้นส่วนผสมจะถูกเทลงในแบบหล่อ (รูปที่ 4.1) และกระทุ้งให้เท่ากันตลอดตามวิธีมาตรฐาน ASTM C109-86 หลังจากหล่อเสร็จนำแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดถอดแบบออกและบ่มก้อนตัวอย่างโดยใช้ผ้ากระสอบชุ่มน้ำคลุมทับจนถึงเวลาทดสอบก้อนตัวอย่าง เนื่องจากทราบปริมาณน้ำบรรจุของกากตะกอนและปริมาณน้ำที่เติมลงในส่วนผสม ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ก็สามารถคำนวณได้

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการทำลายฤทธิ์กากตะกอนจาโรไซต์ให้สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ดังนั้น วิธีการทดสอบสมบัติของก้อนตัวอย่างจะยึดถือปฏิบัติตามข้อกำหนดของประกาศดังกล่าว โดยกำหนดการทดสอบ ดังนี้

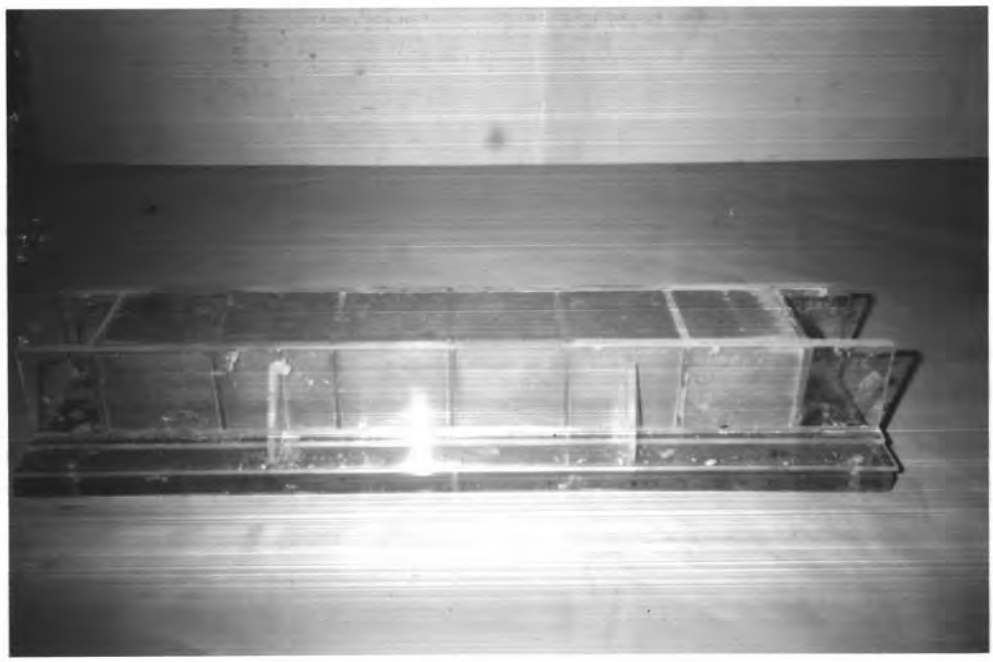
1 <u>การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้นและการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด</u>

1.1 <u>กำลังรับแรงอัด</u>

กำหนดใช้ค่า Unconfined compressive strength โดยทำการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C109-86 Testing for Compressive Strength of Hydraulic Cement Motars Using 50 mm. Cube Specimens โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดแสดงดังรูปที่ 4.2 และทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

1.2 <u>ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด</u>

ตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 1 วัน และ 14 วัน โดยใช้วิธีการการสกัดสารตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ดังนี้ คือ นำก้อนตัวอย่างที่บดให้มีขนาดระหว่าง 0.5 ถึง 5 มิลลิเมตร จำนวน 50 กรัม ใส่ในตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริคที่มีค่าพีเอช 5.8 ถึง 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า(มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก(กรัม) ของก้อนตัวอย่าง เขย่าบนเครื่องเขย่าชนิด 200รอบ/นาที (รูปที่ 4.3) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก สำหรับแคดเมียม ตะกั่ว โครเมียมและ



รูปที่ 4.1 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม.

รูปที่ 4.2 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

สังกะสี วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อาร์เซนิคกับปรอท วิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation โดยการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้นใช้เครื่องแบบเปลวเพลิง และการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดใช้เครื่องแบบกราไฟต์

2. <u>การทดสอบการชะละลายในระยะยาว</u> ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.1 <u>กำลังรับแรงอัด</u>

ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 90 วัน

2.2 <u>ความหนาแน่น</u>

นำก้อนตัวอย่างที่ทราบปริมาตรมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 90 วัน

2.3 <u>ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด</u>

วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน 7 วัน 28 วัน และ 90 วัน

2.4 <u>ความให้ซึมได้</u> (Permeability)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2434-68 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) ทั้งนี้โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Triaxial Test ดังแสดงในรูปที่ 4.4

2.5 <u>ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายในคอลัมน์</u>

วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายและคำนวณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 90 วัน โดยทำการทดลองกับกากตะกอนที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งอย่างละ 1 คอลัมน์ และทำคอลัมน์ควบคุมไว้ 1 คอลัมน์ โดยมีขั้นตอนในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5 และอุปกรณ์ทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6

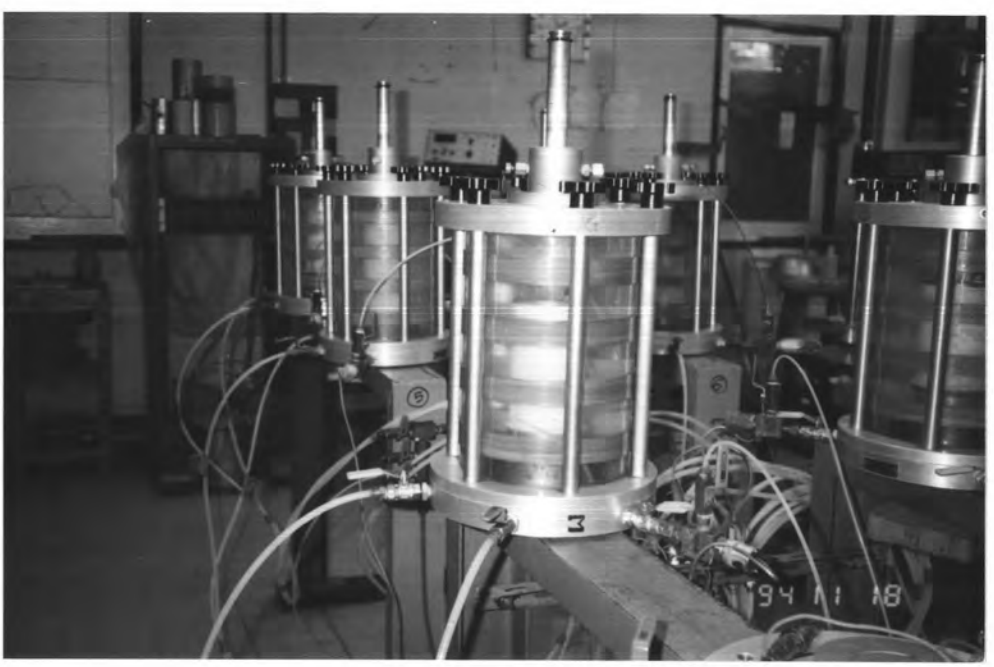
2.6 ความเป็นด่าง

วิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำชะละลายในช่วงระยะเวลา 90 วัน ด้วยการไทเทรตสภาพด่างเมทีลออเรนจ์

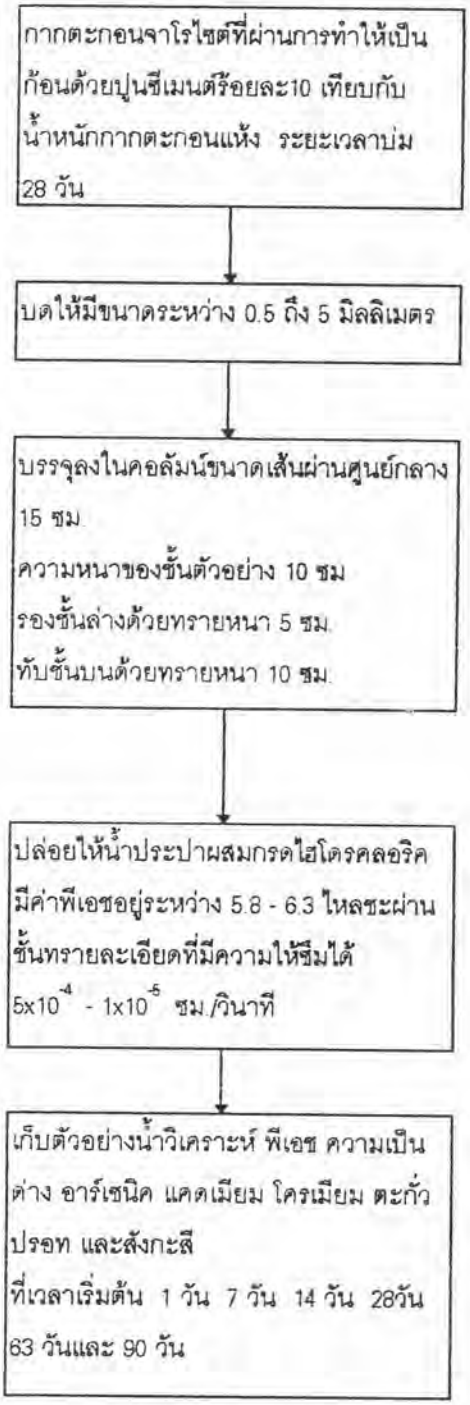
3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน เป็นการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสาน (ศึกษาเฉพาะส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น) เปรียบเทียบกับโครงสร้างภายในของกากตะกอนดิบ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray diffraction และภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning electon microscope) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 เครื่องเขย่า 200 รอบ/นาที



รูปที่ 4.4 เครื่องมือทดสอบความให้ซึมได้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนในการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักในระยะยาว

รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก