

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิจัย หน่วยงานวิจัยและพัฒนา บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ตำบลหนองบัวใต้ อำเภอเมือง จังหวัดตาก

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 กากซิลิกาโรไซท์

กากซิลิกาโรไซท์จากกระบวนการผลิตตั้งกะสีของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) จังหวัดตาก ซึ่งผ่านการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C - 105°C แล้วทำการบดด้วยมือให้มีขนาดเล็กลงกว่า 600 ไมโครเมตร ก่อนนำไปใช้ทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1.2 วัสดุประสาน

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษามี 5 ชนิดแสดงดังรูปที่ 3.2 – 3.6 ได้แก่

- ก) ปูนขาวซึ่งมีใช้งานใน บมจ. ผาแดงอินดัสทรี ราคา 1,830 บาทต่อตัน
- ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ตราช้าง) ราคา 2,300 บาทต่อตัน
- ค) หินปูนซึ่งมีใช้งานใน บมจ. ผาแดงอินดัสทรี ราคา 220 บาทต่อตัน นำมาบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็กลงกว่า 600 ไมโครเมตร
- ง) จี้อัลลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ราคา 260 บาทต่อตัน
- จ) จี้อัลลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ราคา 260 บาทต่อตัน นำมาบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็กลงกว่า 600 ไมโครเมตร

3.1.3 น้ำที่ใช้ผสมกากซิลิกาโรไซท์กับวัสดุประสาน

เป็นน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยบมจ. ผาแดงอินดัสทรี จังหวัดตาก โดยใช้น้ำจากแม่น้ำปิงทำการตกตะกอนและกรองทราย



รูป 3.1 กากซิติโคจาโรไซท์



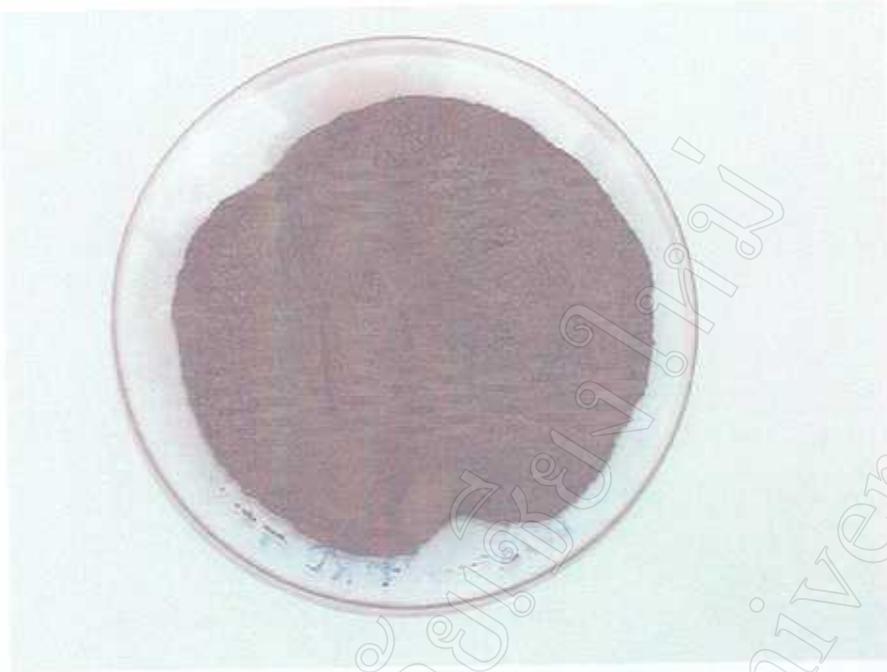
รูป 3.2 ปูนขาว



รูป 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ตราช้าง)



รูป 3.4 หินปูน



รูป 3.5 ชี้เค้าลอย



ก่อนบด

หลังบด

รูป 3.6 ชี้เค้าลิกไนต์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การทดลองผสมกากชิลิโคจาโรโซท์กับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ก) เครื่องชั่งใช้ชั่งน้ำหนักขนาด 3,000 กรัม ยี่ห้อ SHIMAZSU รุ่น AEU 210 อ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

ข) อ่างพลาสติกสำหรับการผสม

ค) อุปกรณ์การหล่อแท่งตัวอย่างเพื่อให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8 ซม. และสูง 16 ซม. แสดงดังรูปที่ 3.7

ง) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดยี่ห้อ SHIMAZSU รุ่น UMH-100 แสดงดังรูปที่

3.8

3.2.2 การทดสอบการสกัดสาร

ก) เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ SHIMAZSU รุ่น AEU 210

ข) ขวดพลาสติกขนาด 300 มิลลิลิตร

ค) กระจกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

ง) เครื่องวัดค่าพีเอชยี่ห้อ Radiometer รุ่น PHM 92

จ) เครื่องเขย่าแนวราบยี่ห้อ EYELA รุ่น MMS 300 แสดงดังรูปที่ 3.9

ฉ) อุปกรณ์การกรอง พร้อมกระดาษกรองใยแก้ว

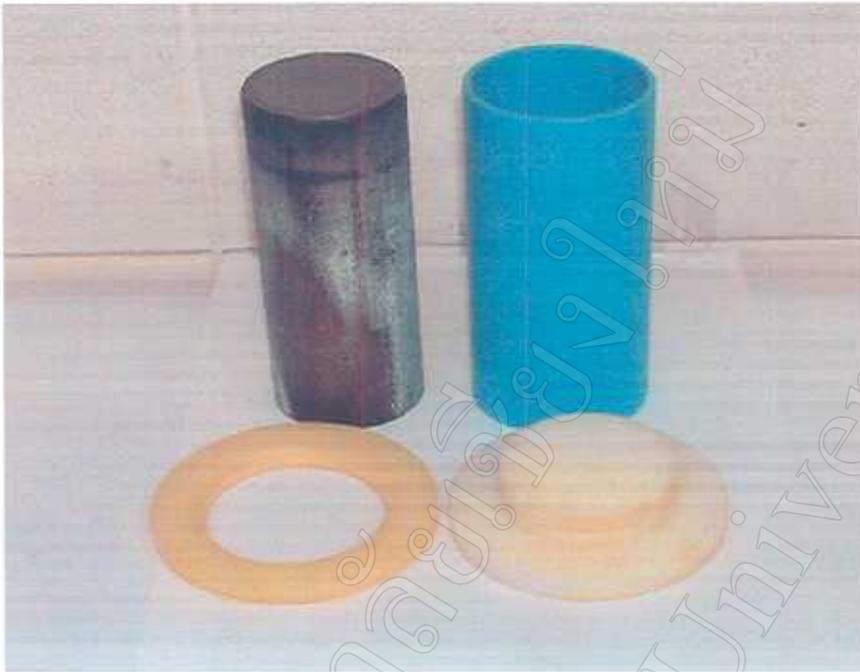
ช) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ยี่ห้อ Varian รุ่น SpectrAA. 250 plus แสดงดังรูปที่ 3.10

ซ) เครื่องอะตอมมิกอิมิตชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ICP-AES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 2000 แสดงดังรูปที่ 3.11

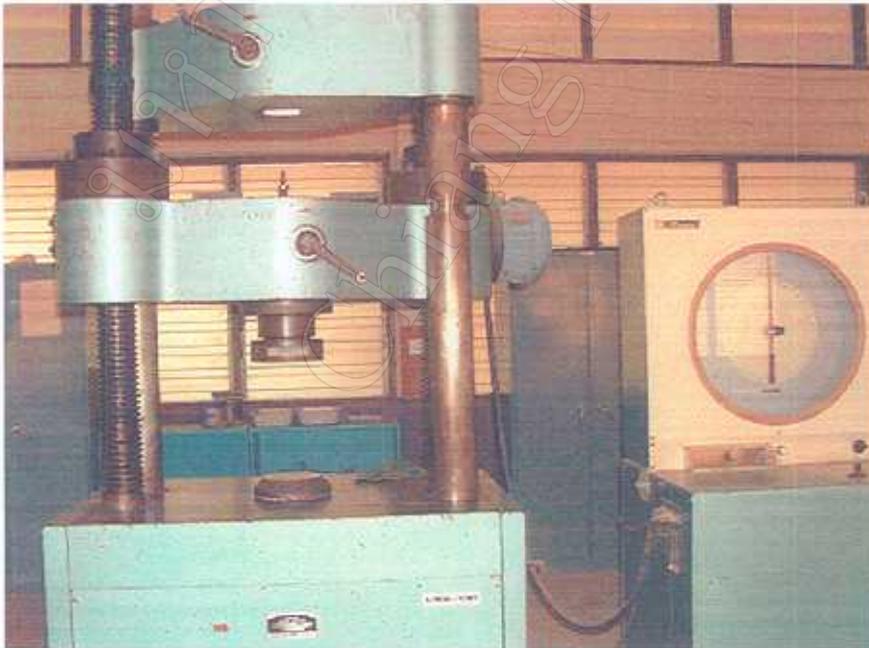
3.2.3 การทดสอบการชะละลายระยะยาวในหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ

ก) อุปกรณ์ทดสอบการชะละลายระยะยาวทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 ซม. บรรจุกากชิลิโคจาโรโซท์สูง 2 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.12

ข) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ยี่ห้อ Varian รุ่น SpectrAA. 250 plus แสดงดังรูปที่ 3.10



รูป 3.7 อุปกรณ์การหล่อแท่งตัวอย่าง



รูป 3.8 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูป 3.9 เครื่องเข่านิวรอบ



รูป 3.10 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)



รูป 3.11 เครื่องอะตอมมิสแกนสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ICP-AES)



รูป 3.12 อุปกรณ์ทดสอบการชะละลายในระยะยาวของหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ

3.3 การดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ 3 ขั้นตอนคือ

การทดลองที่ 1 : การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น

การทดลองที่ 2 : การทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

การทดลองที่ 3 : การทดสอบการชะละลายในระยะยาว

3.3.1 การทดลองที่ 1 : การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น

การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้นเป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาหาอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำกาชิลิโคจาโรไซท์ให้เป็นก้อน เพื่อให้มีความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ใช้วัสดุประสานที่มีองค์ประกอบดังตารางที่ 3.1 และมีการจัดทำอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานและวัสดุประสานคลดดังตารางที่ 3.2 และมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.13 คือหล่อก้อนตัวอย่าง 6 ก้อนต่ออัตราส่วนผสม แล้วจึงบ่มก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 14 วัน จำนวน 3 ก้อน และ 28 วัน จำนวน 3 ก้อน หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบคุณลักษณะของก้อนชิลิโคจาโรไซท์เฉพาะค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเท่านั้น

ตาราง 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานต่างๆ

วัสดุประสาน	ปริมาณองค์ประกอบ (ร้อยละ) โดยน้ำหนักแห้ง				
	Al as Al ₂ O ₃	Ca as CaO	Ca as CaCO ₃	Fe as Fe ₂ O ₃	Si as SiO ₂
ปูนขาว	1.10	87.4	-	0.56	< 0.5%
หินปูน	0.17	-	99.50	0.23	< 0.5%
ซีเมนต์ลอย	31.70	2.38	-	10.59	46.0
ซีเมนต์ลิไกไนต์	29.44	4.76	-	9.65	47.2
ปูนซีเมนต์	6.24	55.13	-	3.72	28.2

ที่มา : แผนวิจัยและพัฒนา บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) 2542

ตาราง 3.2 การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น

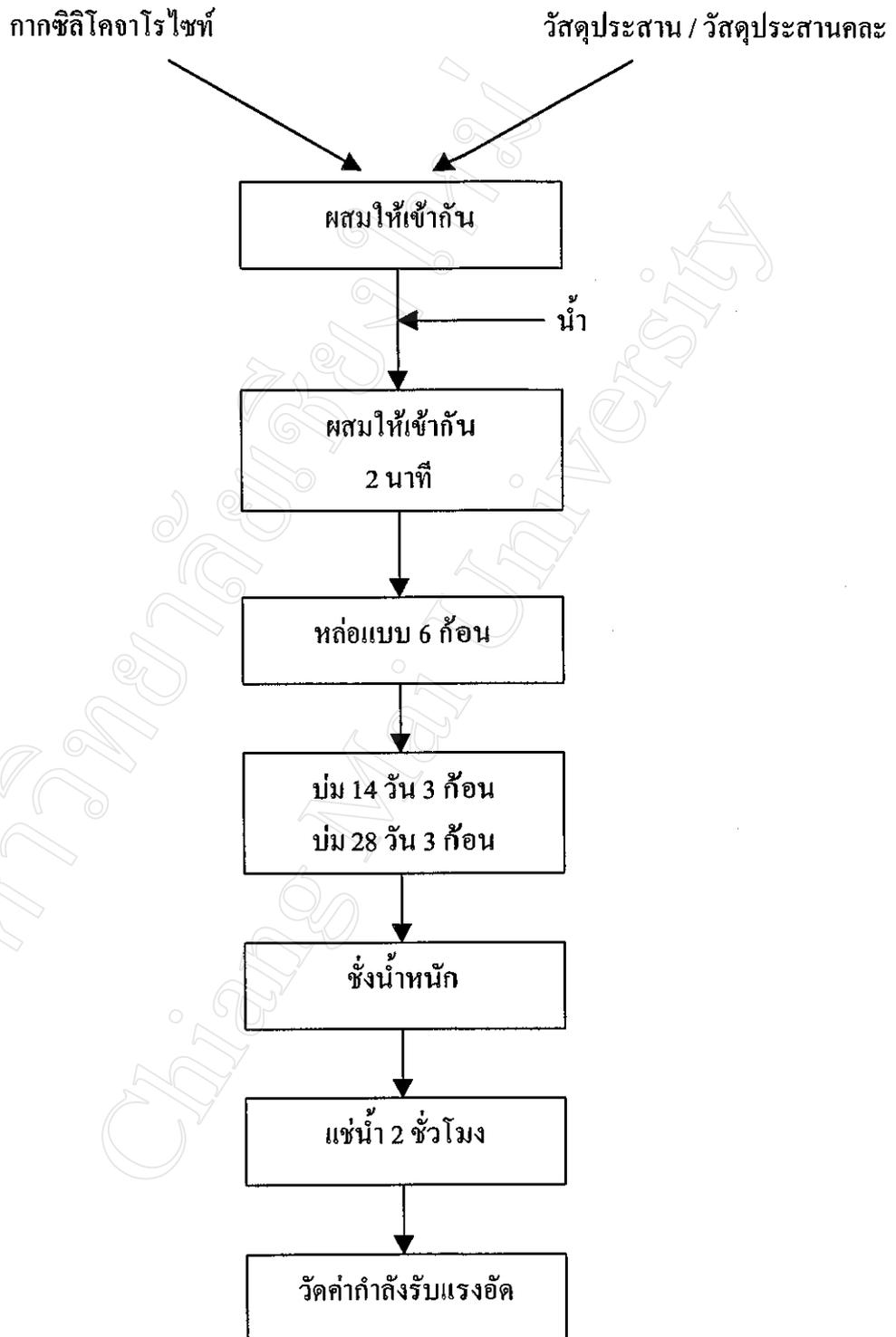
การทดลอง ที่	วัสดุประสาน / วัสดุประสานคละ ⁽¹⁾	อัตราส่วนของวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนัก กากซีเมนต์ไฮดรอลิกแห้ง	อัตราส่วนของน้ำต่อ วัสดุประสาน โดยน้ำหนัก ⁽²⁾
1.1	ปูนขาว	5, 10, 15, 20	3.7 - 13.8
1.2	หินปูน	10, 20, 35, 50	1.5 - 6.9
1.3	ซีเมนต์ลอย	10, 20, 35, 50	1.5 - 6.9
1.4	ซีเมนต์ลิกไนต์	10, 20, 35, 50	1.5 - 6.9
1.5	ปูนซีเมนต์	5, 10, 15, 20	3.7 - 13.8
1.6	ปูนขาวผสมหินปูน	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0
1.7	ปูนขาวผสมซีเมนต์ลอย	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0
1.8	ปูนขาวผสมซีเมนต์ลิกไนต์	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0
1.9	ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์	5, 10, 15, 20	3.7 - 13.8
1.10	ปูนซีเมนต์ผสมหินปูน	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0
1.11	ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ลอย	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0
1.12	ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ลิกไนต์	5, 10, 20, 30	2.5 - 14.0

หมายเหตุ (1). วัสดุประสานคละทำโดยการผสมวัสดุประสาน 2 ชนิดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

(2). ปริมาณน้ำที่ใช้เติมคำนวณจาก

น้ำที่เติมทั้งหมด = น้ำจากกากซีเมนต์ไฮดรอลิกแห้ง + น้ำจากวัสดุประสาน โดย

- น้ำจากกากซีเมนต์ไฮดรอลิกแห้งเติมในปริมาณ 2/3 เท่าของน้ำหนักกากซีเมนต์ไฮดรอลิกแห้ง (คิดจากกากซีเมนต์ไฮดรอลิกแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 40)
- น้ำจากวัสดุประสานเติมในปริมาณ 0.4 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวที่ใช้ หรือ 0.2 เท่าของน้ำหนักหินปูน ซีเมนต์ลอย หรือซีเมนต์ลิกไนต์ที่ใช้



รูป 3.13 ขั้นตอนการทดลองในการทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น

(หมายเหตุ - วิธีการทดลองนี้ประยุกต์จาก ASTM D 1632-96 และ ASTM D 1633-96)

3.3.2 การทดลองที่ 2 : การทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

จากการทดลองที่ 1 จะได้ช่วงอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซิลิโคจาโรไซท์ผ่านพิภคมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ในการทดลองที่ 2 นี้จะทดลองเพื่อหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด โดยจะทำการผสมกากซิลิโคจาโรไซท์กับวัสดุประสานที่เลือกโดยทำการแปรผันอัตราส่วนผสมเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือใช้วัสดุประสานในปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไปเพื่อทำให้กากซิลิโคจาโรไซท์ที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนมีคุณลักษณะทั้งค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากการสกัดสารตามวิธีการของกระทรวงอุตสาหกรรมผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด โดยในการทดลองแต่ละอัตราส่วนจะทำการทดลองซ้ำกัน 2 ครั้ง

การทดลองในขั้นตอนนี้จัดทำอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานดังตารางที่ 3.2 โดยมีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับการทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น (รูป 3.13) แต่จะทำการทดลองซ้ำกัน 2 ครั้งต่ออัตราส่วนผสม ทำการทดสอบคุณลักษณะของก้อนซิลิโคจาโรไซท์คือค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น หากพบว่าก้อนซิลิโคจาโรไซท์ได้มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า 3.5 กก./ตร.ซม. จึงนำมาสกัดสารด้วยวิธีที่แสดงดังรูปที่ 3.14 เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด เนื่องจากข้อมูลโลหะหนักที่มีค่าเกินมาตรฐานในการจำแนกเป็นของเสียอันตรายตามตารางที่ 1.3 มีเฉพาะค่าแคดเมียมเท่านั้น ค่าสังกะสีและแมงกานีสมีค่าสูง ส่วนโลหะหนักอื่นๆ มีค่าต่ำมาก ดังนั้นน้ำสกัดที่ได้จะวิเคราะห์เฉพาะค่าแคดเมียม สังกะสี และแมงกานีสเท่านั้น

ตาราง 3.3 การทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

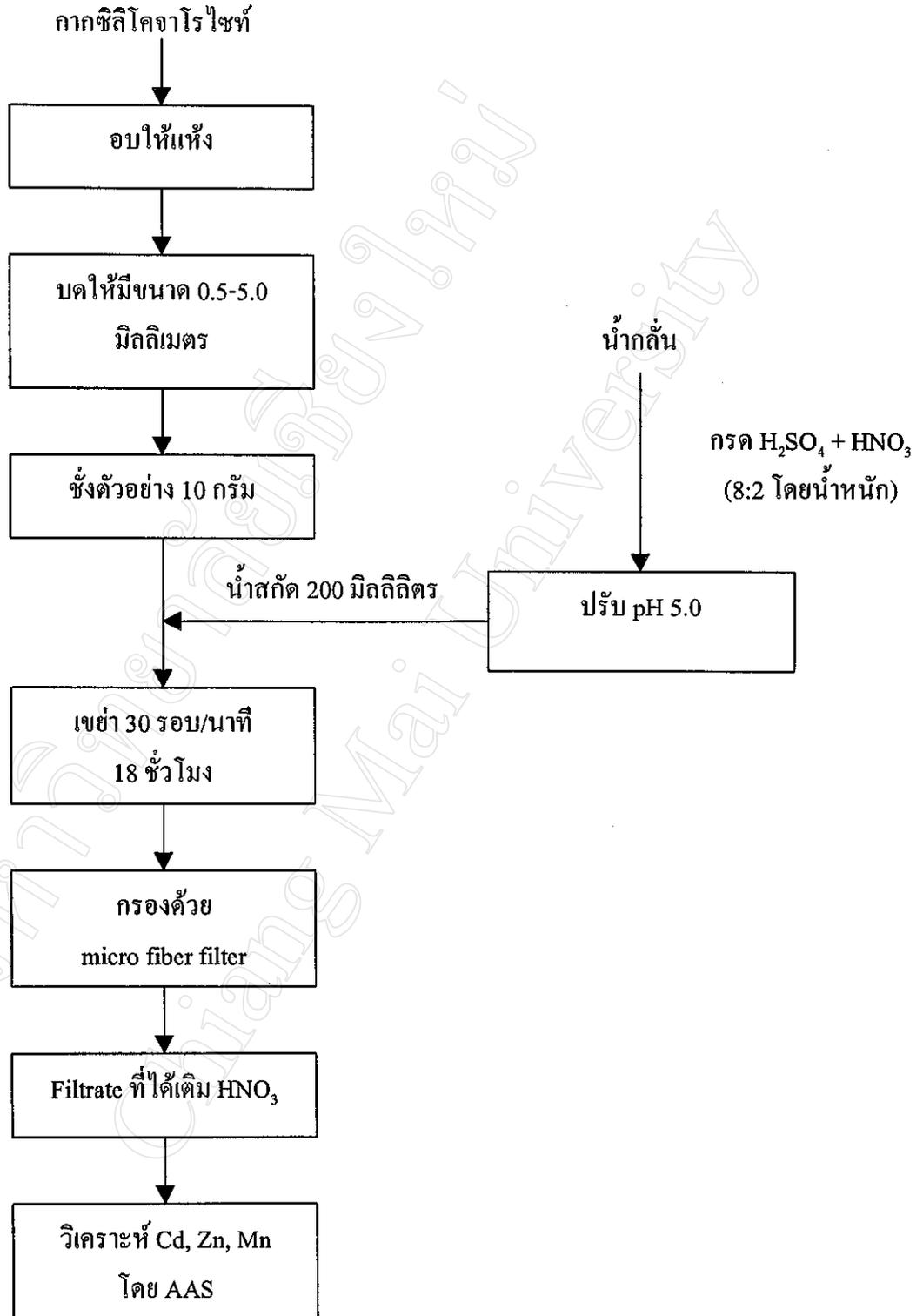
การทดลอง ที่	วัสดุประสาน / วัสดุประสานคละ ⁽¹⁾	อัตราส่วนของวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนัก กากซีลีโคจาโรไลท์แห้ง	อัตราส่วนของน้ำต่อ วัสดุประสาน โดยน้ำหนัก ⁽²⁾
2.1	ปูนขาว	2, 3, 4, 5	13.8 – 33.9
2.2	ปูนซีเมนต์	2, 3, 4, 5	13.8 – 33.9
2.3	ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์	2, 3, 4, 5	13.8 – 33.9
2.4	ปูนขาวผสมหินปูน	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0
2.5	ปูนขาวผสมซีเมนต์	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0
2.6	ปูนขาวผสมซีเมนต์	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0
2.7	ปูนซีเมนต์ผสมหินปูน	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0
2.8	ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0
2.9	ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์	5, 6, 7, 8, 9, 10	3.2 – 14.0

หมายเหตุ (1). วัสดุประสานคละทำโดยการผสมวัสดุประสาน 2 ชนิดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

(2). ปริมาณน้ำที่ใช้เติมคำนวณจาก

น้ำที่เติมทั้งหมด = น้ำจากกากซีลีโคจาโรไลท์ + น้ำจากวัสดุประสาน โดย

- น้ำจากกากซีลีโคจาโรไลท์เติมในปริมาณ 2/3 เท่าของน้ำหนักกากซีลีโคจาโรไลท์แห้ง (คิดจากกากซีลีโคจาโรไลท์ที่มีความชื้นร้อยละ 40)
- น้ำจากวัสดุประสานเติมในปริมาณ 0.4 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวที่ใช้ หรือ 0.2 เท่าของน้ำหนักหินปูน ซีเมนต์ หรือซีเมนต์ที่ใช้



รูป 3.14 วิธีการสกัดสาร

(หมายเหตุ - วิธีการสกัดสารอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540))

3.3.3 การทดลองที่ 3 : การทดสอบการชะละลายในระยะยาว

จากผลจากการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่าการใช้วัสดุประสานคละที่เป็นปูนขาวผสมกับปูนซีเมนต์ (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) เมื่อนำมาผสมกับกากซีลีโคจาโรไซท์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง จะทำให้ก้อนซีลีโคจาโรไซท์ที่ได้มีลักษณะสมบัติเป็นไปตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดโดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด สำหรับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการผสมกากซีลีโคจาโรไซท์กับวัสดุประสานดังกล่าวในอัตราส่วนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อศึกษา

ก) ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อคุณสมบัติของก้อนตัวอย่าง

ในการศึกษานี้จะทดลองแปรผันระยะเวลาบ่มต่างๆ คือ 3 วัน 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 60 วัน ทำการทดลองตามรูป 3.13 แต่หล่อตัวอย่าง 6 ก้อนต่อครั้งที่ทำการบ่ม ก้อนตัวอย่างที่ได้นำมาหาค่าความหนาแน่น ค่ากำลังรับแรงอัด หลังจากนั้นจึงนำมาทำการสกัดสารตามรูปที่ 3.14 เพื่อหาปริมาณแคลเซียม สังกะสี และแมงกานีสในน้ำสกัด

ข) การชะละลายของโลหะหนักในหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ

การทดลองนี้ตั้งบนสมมติฐานว่า กรณีหลุมฝังกลบ Secure Landfill ยังไม่ถูกเปิด จะรับน้ำฝนที่ตกบนพื้นที่ปากหลุมทั้งหมด หลุมฝังกลบจำลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. และสูง 2 เมตร ทำการทดลองโดยให้น้ำฝนไหลซึมผ่านตัวอย่างเป็นเวลา 14 สัปดาห์ (98 วัน) ในการทดลองการชะละลายระยะยาวนี้จะใช้กากซีลีโคจาโรไซท์ที่ยังไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อนเป็นชุดควบคุม เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้กับไม่ใช้วัสดุประสาน การทดลองนี้มีอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.15 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

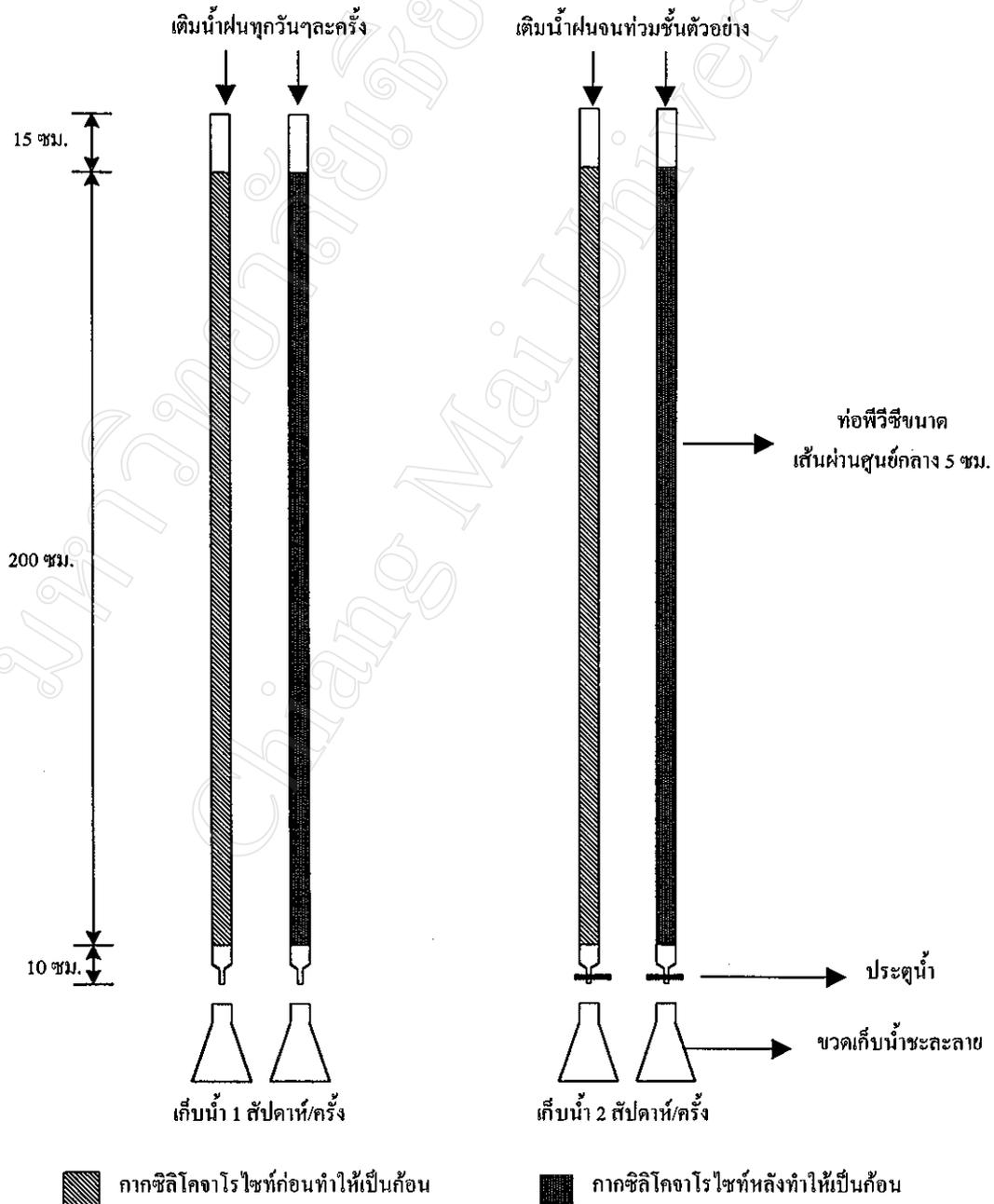
- นำกากซีลีโคจาโรไซท์ที่ยังไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (ชุดควบคุม) และกากซีลีโคจาโรไซท์ที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนโดยใช้วัสดุประสานคละปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1) ในปริมาณรวมร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้งแล้วบ่ม 28 วัน มาบดให้มีขนาดประมาณเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร

- นำกากซีลีโคจาโรไซท์ดังกล่าวบรรจุในท่อพีวีซีจำนวน 4 ท่อ โดยกากซีลีโคจาโรไซท์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนบรรจุในท่อที่ 1 และ 3 ส่วนกากซีลีโคจาโรไซท์ที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนบรรจุในท่อที่ 2 และ 4

- ท่อที่ 1 และ 2 ทำการทดลองโดยปล่อยน้ำฝนไหลซึมผ่านตัวอย่างวันละครั้งๆละ 36 มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 110 เซนติเมตรต่อปี ในเขตจังหวัดตาก ถ้าคิดที่ฝนตก 60 วันต่อปี จะเป็นน้ำฝนเฉลี่ย 1.83 เซนติเมตรต่อวัน ที่พื้นที่หน้าตัดหลุมฝังกลบจำลองขนาด 19.64 ตารางเซนติเมตร จะมีอัตราน้ำฝนที่เติมเท่ากับ 36 มิลลิลิตรต่อวัน) เป็นเวลา 98 วัน โดยไม่มีการปิดประตูน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะละลายจากขวดเก็บตัวอย่างน้ำสัปดาห์ละครั้ง ซึ่งจะเป็น

Composite Sample ของสัปดาห์เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแคดเมียม สังกะสี และแมงกานีส ตลอดระยะเวลาที่ทดลอง 14 สัปดาห์

- ท่อที่ 3 และ 4 เติมน้ำฝนให้ท่วมชั้นตัวอย่าง ปิดประตุน้ำ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 98 วัน แบบจำลองนี้แทนหลุมฝังกลบที่มีน้ำขังหรือไม่มีการระบายน้ำได้หลุมที่ดี ทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะละลายจากท่อทุกๆ 2 สัปดาห์ วิธีเก็บน้ำตัวอย่างจะทำโดยเปิดประตุน้ำ เพื่อให้น้ำตัวอย่างออกจากท่อให้หมด ทำการผสมน้ำทั้งหมดให้เข้ากัน แบ่งน้ำตัวอย่างออกมาประมาณ 25 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าแคดเมียม สังกะสี และแมงกานีส น้ำที่เหลือให้เทคืนสู่ท่อเหมือนเดิม



รูป 3.15 รายละเอียดของหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ