สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฏ
อักษรย่อ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.2 ขอบเขตการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กระบวนการผลิตโลหะสังกะสีของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)	6
2.1.1 การสกัดสังกะสีด้วยกรดซัลฟูริค	6
2.1.2 กระบวนการกำจัดเหล็ก	9
2.1.3 การทำสารละลายให้บริสุทธิ์	10
2.1.4 การแยกสังกะสีด้วยไฟฟ้า	11
2.1.5 การหลอมและหล่อโลหะ	12
2.1.6 การผลิตโลหะสังกะสีผสม	12
2.2 ของเสียอันตราย	13
2.2.1 การจำแนกประเภทของเสียอันตราย	13
2.2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิด	15
2.3 การทำให้เป็นก้อนและการทำเสถียรของเสียที่เป็นอันตราย	16
2.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุประสาน	21
2.4.1 ปูนขาว	21
2.4.2 ปูนซีเมนต์	22

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

หน้า

2.4.3 หินปูน 24
2.4.4 ขี้เถ้าลอย 24
2.4.5 ขี้เถ้าลิกไนต์ 25
2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 34
3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 34
3.1.1 กากซิลิโคจาโรไซท์ 34
3.1.2 วัสดุประสาน 34
3.1.3 น้ำที่ใช้ผสมกากซิลิโคจาโรไซท์กับวัสดุประสาน 34
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 38
3.2.1 การทดลองผสมกากซิลิโคจาโรไซท์กับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด 38
3.2.2 การทดสอบการสกัดสาร 38
3.2.3 การทดสอบการชะละลายระยะยาวในหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ 38
3.3 การดำเนินการวิจัย 42
3.3.1 การทดลองที่ 1 : การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น 42
3.3.2 การทดลองที่ 2 : การทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 45
3.3.3 การทดลองที่ 3 : การทดสอบการชะละลายในระยะยาว 48
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล 50
4.1 การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น 50
4.1.1 ความหนาแน่น 50
4.1.2 กำลังรับแรงอัด 52
4.2 การทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสม 56
4.2.1 ความหนาแน่น 57
4.2.2 กำลังรับแรงอัด 58
4.2.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด 61
4.2.4 การประเมินค่าใช้จ่าย 63

หน้า

4.3 การทดสอบการชะละลายในระยะยาว 64
4.3.1 ผลของระยะเวลาการบ่ม 64
4.3.2 การทดสอบกาชะละลายในระยะยาวของหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ 66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 76
เอกสารอ้างอิง 77
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก วิธีการผสมและหล่อก้อนซิลิโคจาโรไซท์ 80
ภาคผนวก ข วิธีการสกัดสารตามหลักเกณฑ์ของกระทรวงอุตสาหกรรม 82
ภาคผนวก ค ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการทำกากซิลิโคจาโรไซท์ให้เป็นก้อน 84
ภาคผนวก ง ความหนาแน่นของก้อนซิลิโคจาโรไซท์ 89
ภาคผนวก จ กำลังรับแรงอัดของก้อนซิลิโคจาโรไซท์ 99
ภาคผนวก ฉ ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด 109
ประวัติผู้เขียน 114

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	องค์ประกอบของกากซิลิโคจาโรไซท์ที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ พ.ศ. 2538	2
1.2	องค์ประกอบของกากซิลิโคจาโรไซท์ที่ได้จากกระบวนการผลิต พ.ศ. 2542	3
1.3	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากกากซิลิโคจาโรไซท์	4
2.1	รายละเอียดของกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธีการต่างๆ	18
2.2	องค์ประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	23
2.3	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากแหล่งต่างๆ	25
2.4	สัดส่วนวัสดุประสานคละที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย	27
3.1	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานต่างๆ	42
3.2	การทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น	43
3.3	การทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	46
4.1	สรุปอัตราส่วนผสมเบื้องต้นที่ทำให้ก้อนซิลิโคจาโรไซท์มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	56
4.2	สรุปอัตราส่วนผสมขั้นต่ำที่ทำให้ก้อนซิลิโคจาโรไซท์มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	61
4.3	ผลวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำสกัดจากกากซิลิโคจาโรไซท์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน	62
4.4	ค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานหรือวัสดุประสานคละ	63
4.5	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากก้อนซิลิโคจาโรไซท์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ	66
4.6	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายจากหลุมฝังกลบซิลิโคจาโรไซท์ที่ยังไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อน และมีการสูบน้ำออกจากหลุมฝังกลบตลอดเวลา	67
4.7	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายจากหลุมฝังกลบซิลิโคจาโรไซท์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน และมีการสูบน้ำออกจากหลุมฝังกลบตลอดเวลา	68
4.8	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายจากหลุมฝังกลบซิลิโคจาโรไซท์ที่ยังไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อน และมีน้ำท่วมขังหลุมฝังกลบตลอดเวลา	71
4.9	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายจากหลุมฝังกลบซิลิโคจาโรไซท์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน และมีน้ำท่วมขังหลุมฝังกลบตลอดเวลา	72

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตโลหะสังกะสีของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)	7
2.2	การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน	17
3.1	กากซิลิโคจาโรไซท์	35
3.2	ปูนขาว	35
3.3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ตราช้าง)	36
3.4	หินปูน	36
3.5	ขี้เถ้าลอย	37
3.6	ขี้เถ้าลิกไนต์	37
3.7	อุปกรณ์การหล่อแท่งตัวอย่าง	39
3.8	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	39
3.9	เครื่องเขย่าแนวราบ	40
3.10	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)	40
3.11	เครื่องอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ICP-AES)	41
3.12	อุปกรณ์ทดสอบการชะละลายในระยะยาวของหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ	41
3.13	ขั้นตอนการทดลองในการทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น	44
3.14	วิธีการสกัดสาร	47
3.15	รายละเอียดของหลุมฝังกลบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ	49
4.1	ความหนาแน่นของก้อนซิลิโคจาโรไซท์จากการทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น	50
4.2	กำลังรับแรงอัดของก้อนซิลิโคจาโรไซท์จากการทดสอบอัตราส่วนผสมเบื้องต้น	52
4.3	ความหนาแน่นของก้อนซิลิโคจาโรไซท์จากการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	57
4.4	กำลังรับแรงอัดของก้อนซิลิโคจาโรไซท์จากการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	59
4.5	กำลังรับแรงอัดของก้อนซิลิโคจาโรไซท์เมื่อแปรผันระยะเวลาบ่มตัว	64
4.6	ความหนาแน่นของก้อนซิลิโคจาโรไซท์เมื่อแปรผันระยะเวลาบ่มตัว	65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

รูป หน้า

4.7 อัตราการชะละลายของโลหะหนักในหลุมฝังกลบจำลองที่มีการสูบน้ำชะละลายออกจากระบบตลอดเวลา 69

4.8 อัตราการชะละลายของโลหะหนักในหลุมฝังกลบจำลองที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา 73

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อ

กก./ตร.ซม.	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ตัน/ลบ.ม	ตันต่อลูกบาศก์เมตร
บมจ. ผาแดงอินดัสทรี	บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)
มก./ล	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./กก.	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
มก./กก.กาก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมกากซิลิโคจาโรไซท์
°ซ	องศาเซลเซียส
ซม.	เซนติเมตร
$A/ม^2$	Ampere ต่อตารางเมตร
mg/l	milligram per liter

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University