บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจาโรไซต์

กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นกากตะกอนสังเคราะห์ที่ได้จากบริษัทผาแดงอินดัสตรี จำกัด(มหาชน) ซึ่งเป็นกากตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนผลึกเหล็กจากกระบวนการสกัดสังกะสีออกไซด์ ซึ่งสมบัติต่าง ๆมีดังนี้

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งสมบัติต่างๆที่วิเคราะห์ ได้แก่

1.1 ปริมาณน้ำบรรจุ

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2216-80 โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่ากากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ได้รับและใช้ในการทำวิจัย มีปริมาณน้ำบรรจุอยู่ระหว่างร้อยละ 29 ถึง 31 โดยน้ำหนักและกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีปริมาณน้ำบรรจุอยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 54 โดยน้ำหนัก สำหรับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ก่อนทำให้เป็นก้อนได้ลดปริมาณน้ำบรรจุในกากตะกอนเหลือประมาณร้อยละ 40 โดยการนำไปผึ่งแดด

1.2 ความถ่วงจำเพาะ

การทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 854-58 โดยทำการทดสอบ 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยพบว่า กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.22 และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62

ตารางที่ 5.1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์

สมบัติทางด้านกายภาพ	กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์
ปริมาณน้ำบรรจุ (ร้อยละ) **	30	52
ความถ่วงจำเพาะ *	3.22	2.62
ขนาดอนุภาค (ไมครอน) *	6.6	17.94
ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.) **	1.94	1.53
กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.) *	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

**ค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

1.3 <u>การกระจายขนาดคละ</u>

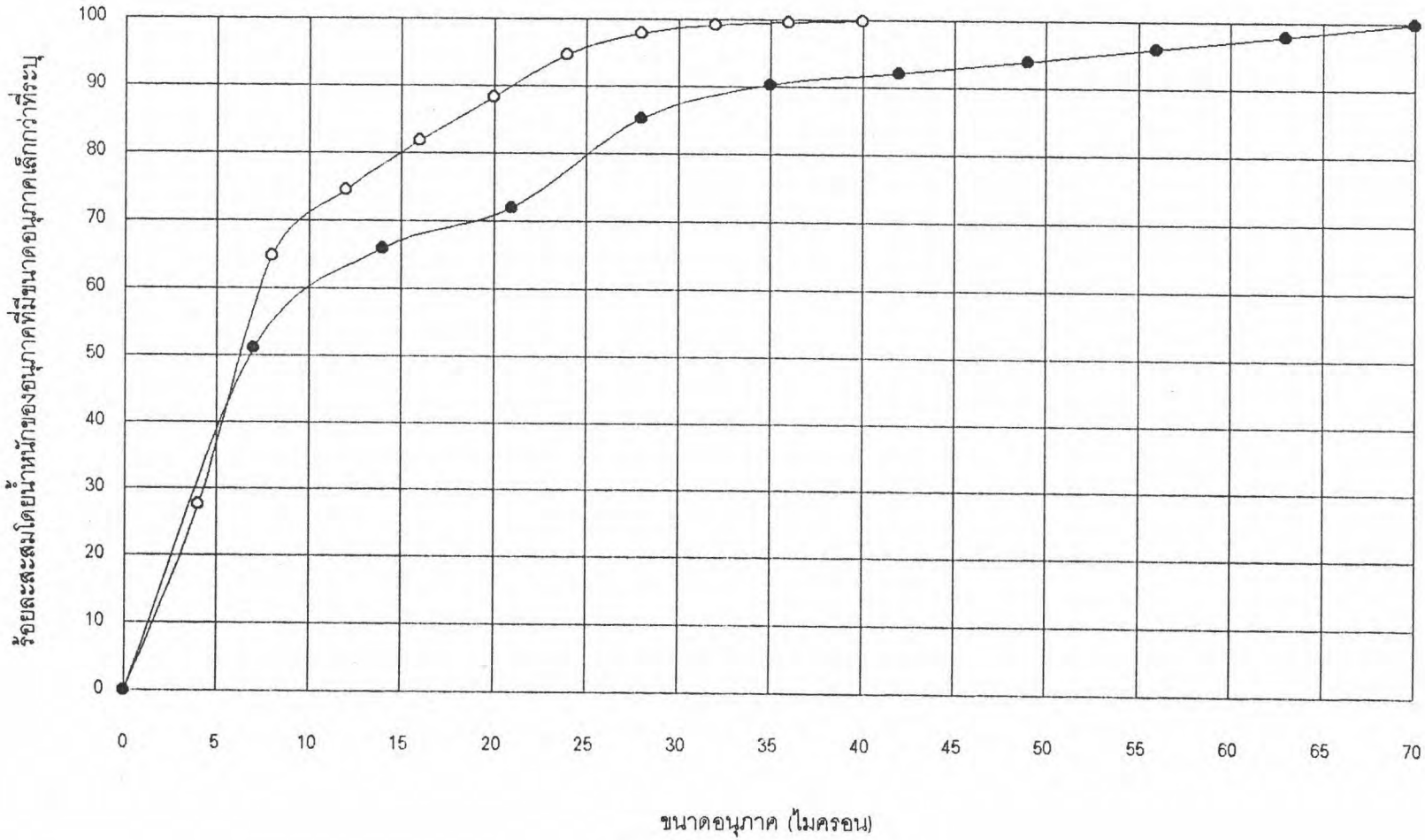
ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Micron Photo Sizer รุ่น SKC-2000 โดยวิธีตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยง ที่ศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลที่ได้พบว่ากากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย(D_{50})เท่ากับ 6.60 ไมครอน โดยมีกราฟการกระจายขนาดคละแสดงดังรูปที่ 5.1 และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{50})เท่ากับ 17.94 ไมครอน โดยมีกราฟการกระจายขนาดคละแสดงในรูปที่ 5.2 สาเหตุที่ขนาดอนุภาคของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา เนื่องจากการที่กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จึงทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า

1.4 <u>ความหนาแน่นรวม</u> (Bulk density)

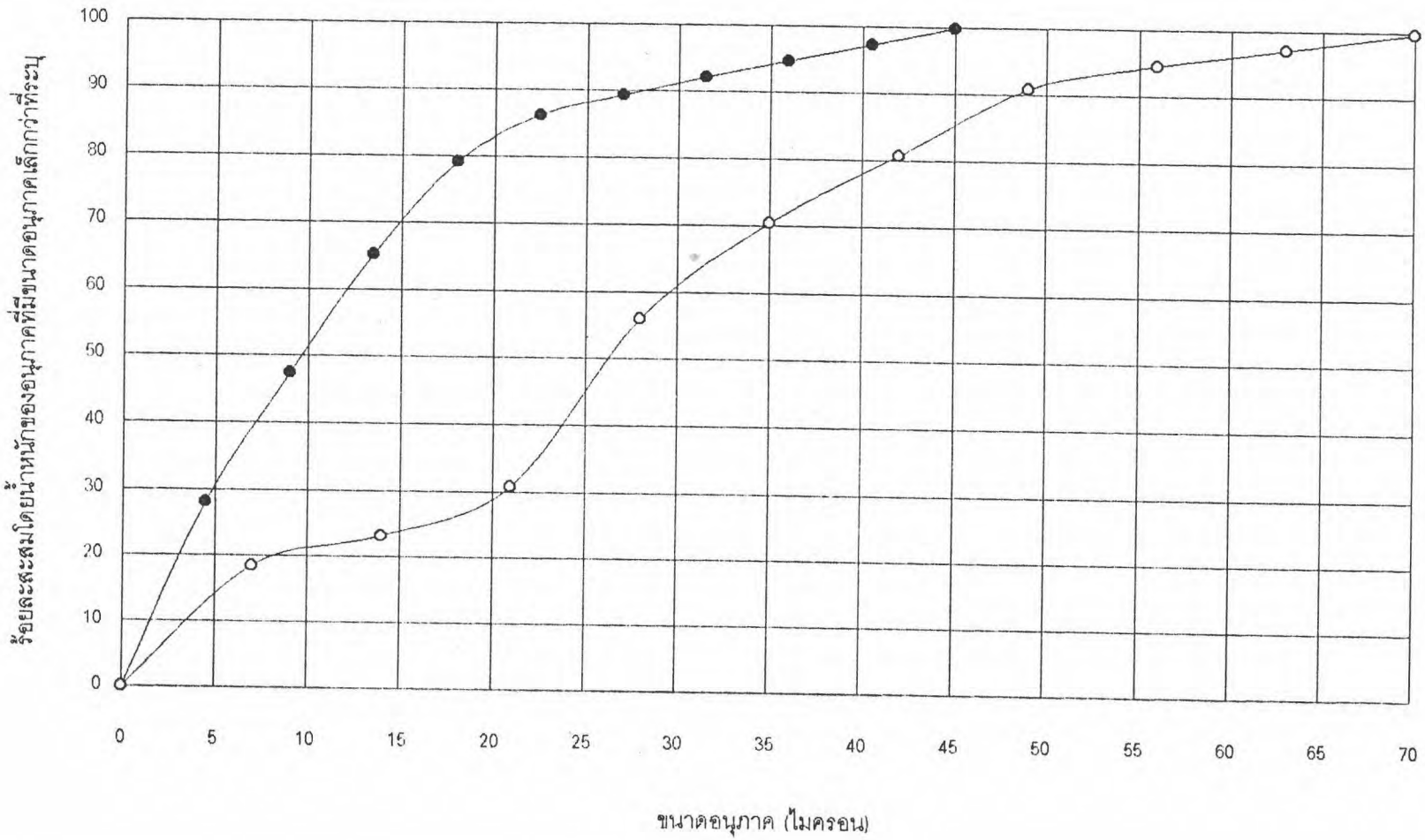
จากการทดสอบ 3 ครั้งพบว่า ความหนาแน่นรวมของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีค่าอยู่ระหว่าง 1.79 และ1.96 ตัน/ลบ.ม. และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 1.52 และ 1.56 ตัน/ลบ.ม.

1.5 <u>กำลังรับแรงอัด</u>

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 109-86 โดยทำการทดสอบ 2 ครั้งพบว่า กากตะกอนดิบทั้ง 2 ประเภท เมื่อบ่มเพื่อรักษาความชื้นไว้ กากตะกอนดิบไม่แข็งตัว แต่ถ้านำมาไว้ในสภาพอากาศทั่วไปเกิดการแข็งตัวคล้ายดินเหนียวและเกิดการหดตัวอย่างเห็นชัด ดังนั้นจึงไม่สามารถนำกากตะกอนดิบไปทดสอบกำลังรับแรงอัดได้



รูปที่ 5.1 กราฟการกระจายขนาดคละของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.2 กราฟการกระจายขนาดคละของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

2. สมบัติทางด้านเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภท และกากแร่สังกะสีซิลิเกต แสดงผลในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ วิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในตารางที่ 5.2 จากผลวิเคราะห์ที่ได้พบว่ากากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณเหล็กออกไซด์(Fe_2O_3)เป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 34.89 และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีปริมาณซิลิกา(SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 43 ในขณะที่กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณซิลิกาเพียงร้อยละ 9 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของกระบวนการผลิต โดยที่กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาได้จากการเติมแร่สังกะสีที่เผาแล้วซึ่งได้จากการย่างแร่สังกะสีซัลไฟด์ลงไปในขั้นตอนการตกตะกอนจาโรไซต์ แต่กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ได้จากการเติมแร่สังกะสีซิลิเกตลงไปในขั้นตอนการตกตะกอนจาโรไซต์

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของธาตุในกากตะกอนจาโรไซต์และกากแร่สังกะสีซิลิเกต

องค์ประกอบของธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบของธาตุ (ร้อยละ) *		
	กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	กากแร่สังกะสีซิลิเกต
Al_2O_3	2.91	7.30	0.64
Fe_2O_3	34.89	20.38	6.12
CuO	0.25	0.04	0.01
ZnO	5.21	1.42	2.03
CaO	1.62	2.47	14.02
MnO_2	0.64	1.39	1.39
SiO_2	9.37	43.22	54.32
PbO_2	7.25	1.54	0.04
Ignition	32.4	18.59	5.73

* วิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยวิธีเผาจนเป็นเถ้าแล้วย่อยด้วยกรด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนดิบ ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด ดังแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่ากากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณโลหะหนักมากกว่ากากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ซึ่งกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภทมีปริมาณสังกะสีและตะกั่วสูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยที่กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณสังกะสีและตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 23,777 มก./กก. และ 1,250 มก./กก. ตามลำดับ และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีปริมาณสังกะสีและตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,860 มก./กก. และ 930 มก./กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจาโรไซต์ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน (มิลลิกรัม/น้ำหนักกิโลกรัมแห้ง) *	
	จาโรไซต์แบบธรรมดา	ซิลิโคจาโรไซต์
อาร์เซนิค (As)	130	5
แคดเมียม (Cd)	516	26
โครเมียม (Cr)	50	40
ปรอท (Hg)	20	4
ตะกั่ว (Pb)	1,250	930
สังกะสี (Zn)	23,777	5,860

*ค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

การสกัดสารตามวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 พบว่ากากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภทจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดสูงเกิน 1 มก./ล. โดยน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 9.1 มก./ล. และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดเท่ากับ 1.62 มก./ล. โดยเฉลี่ย นอกจากนี้กากตะกอนทั้ง 2 ประเภทมีความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดสูงกว่าโลหะชนิดอื่นโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.7 มก./ล.สำหรับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา และ95.3 มก./ล. สำหรับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ส่วนโลหะชนิดอื่นตรวจพบในปริมาณที่ต่ำ จากผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดพบว่ากากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.29 ถึง 4.28 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.15 ถึง 3.69 ซึ่งแสดงว่ากากตะกอนทั้งสองประเภทมีฤทธิ์เป็นกรด ทั้งนี้เป็นผลจากกระบวนการสกัดแร่สังกะสีด้วยกรดซัลฟุริค

ตารางที่ 5.4 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์ดิบ

ลักษณะสมบัติ *	กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	เกณฑ์มาตรฐาน
พีเอช	3.62	3.53	-
อาร์เซนิค (มก./ล.)	<0.01	<0.01	<5
แคดเมียม (มก./ล.)	9.1	1.62	<1
โครเมียม (มก./ล.)	<0.2	<0.2	<5
ปรอท (มก./ล.)	<0.02	<0.02	<0.2
ตะกั่ว (มก./ล.)	3.3	0.37	<5
สังกะสี (มก./ล.)	29.7	95.3	-

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

กากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อน ด้วยอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาสัดส่วนผสมที่เป็นไปได้ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ 28 วัน ของอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาแสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.3

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันและ 28 วัน ของอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์แสดงดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.4

1.1 ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

1.1.1 อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา เท่ากับร้อยละ 7 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันและ 28 วัน ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 14 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน เท่ากับ 23 กก./ตร.ซม.

โดยเฉลี่ยและเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 35 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมากโดยที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันและ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48 กก./ตร.ซม. และ 64 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 5.5)

1.1.2 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ เท่ากับร้อยละ 5 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 10 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นน้อยมากแสดงว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ไม่พอในการทำให้เกิดการยึดประสาน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 25 พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24 กก./ตร.ซม. และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาขึ้นมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.5 กก./ตร.ซม. (ตารางที่ 5.6)

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา (ปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 29)			กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม.) *	
วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกอน		14 วัน	28 วัน
	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก		
ปูนซีเมนต์	7	5	5	8
	14	10	23	24
	35	25	48	64
ปูนขาว	7	5	12	10
	14	10	26	25
	35	25	64	59
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1ต่อ1)โดยน้ำหนัก	7	5	6	10
	14	10	24	32
	35	25	48	49
ปูนซีเมนต์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต (1ต่อ1) โดยน้ำหนัก	7	5	4	2
	14	10	6	3
	35	25	14	11

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

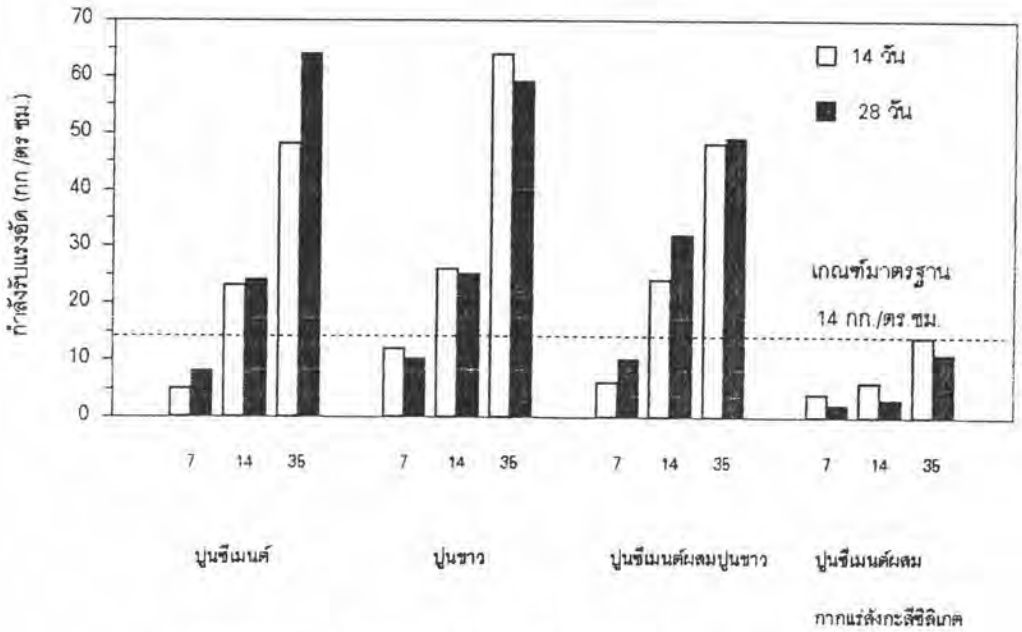
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ (ปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 40)		กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม.) *	
วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	5	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
	10	3	4
	25	24	35.5
ปูนขาว	5	1.5	2
	10	3.5	3
	25	11	14.5
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1ต่อ1)โดยน้ำหนัก	5	2	2
	10	5.5	8
	25	18.5	22

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

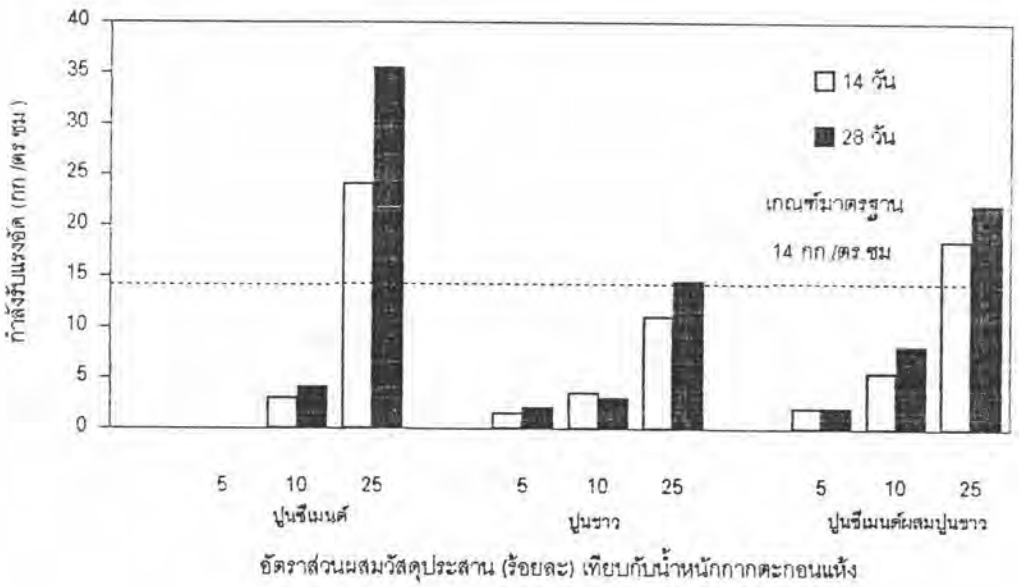
1.2 <u>ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน</u>

1.2.1 กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่อัตราส่วนผสมปูนขาวต่อกากตะกอนเท่ากับร้อยละ 7 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 14 พบว่า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงค่าเดิมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 35 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน มีค่าเฉลี่ย 64 กก./ตร.ซม. และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเหลือประมาณ 59 กก./ตร.ซม. (ตารางที่ 5.5)

1.2.2 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์จากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากถึงแม้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น แสดงว่าปูนขาวเกือบทั้งหมดถูกใช้ในการทำลายฤทธิ์สารประกอบซัลเฟตให้เป็นกลาง จึงไม่เพียงพอที่ก่อให้เกิดการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวเป็นร้อยละ 25 พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน มีค่า



รูปที่ 5.3 กราฟแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น



รูปที่ 5.4 กราฟแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

เฉลี่ยเท่ากับ 11 กก./ตร.ซม.และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันมีค่าเฉลี่ย 14 5 กก./ตร.ซม. (ตารางที่ 5.6)

1.3 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) เป็นวัสดุประสาน

1.3.1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 7 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ 28 วันต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละ 14 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันได้ 24 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันเท่ากับ 32 กก./ตรซม. โดยเฉลี่ย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 35 พบว่า มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันเท่ากับ 48 กก./ตร.ซม. และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาน้อยมากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49 กก./ตร.ซม. (ตารางที่ 5.5)

1.3.2 อัตราส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.5 กก./ตร.ซม.และเมื่อบ่มครบ 28 วันกำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้นเป็น 22 กก./ตร.ซม. เมื่อลดอัตราส่วนผสมตั้งแต่ร้อยละ 15 ลงมา กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในการฝังกลบ (ตารางที่ 5.6)

1 4 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต (1ต่อ1โดยน้ำหนัก) เป็นวัสดุประสาน

ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมกับกากแร่สังกะสีซิลิเกตต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 7 และร้อยละ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในการฝังกลบ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละ 35 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ประมาณ 14 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเหลือประมาณ 11 กก./ตร.ซม. แสดงว่ากากแร่สังกะสีซิลิเกตที่เติมลงไปในส่วนผสมไม่มีผลในการช่วยพัฒนากำลังรับแรงอัด (ตารางที่ 5.5)

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในน้ำสกัดใช้วิธีการสกัดสารตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การทดสอบกระทำเพื่อพิจารณาว่ากากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อน

จะเข้าข่ายของเสียอันตรายหรือไม่ โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดสำหรับแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) โดยเครื่องมือวิเคราะห์มีขีดจำกัดดังนี้ 0.01มก./ ล. สำหรับแคดเมียม 0.2 มก./ล. สำหรับโครเมียม 0.2 มก./ล. สำหรับตะกั่ว และ 0.1 มก./ล. สำหรับสังกะสี สำหรับอาร์เซนิคและปรอทวิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation ซึ่งมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ คือ 0.01 มก./ ล. สำหรับอาร์เซนิค และ 0.02มก./ ล. สำหรับปรอท

2.1 <u>ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ</u>

2.1.1 พีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 8.53 และ 12.96 แสดงว่า น้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง

2.1.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกอนทุกสัดส่วนผสม มีความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน และ 14 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 5.7 สาเหตุเนื่องจากน้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง สภาพละลายได้(Solubility)ของโลหะมีค่าต่ำ มีผลทำให้โลหะอยู่ในรูปที่ละลายได้น้อยมาก

2.1.3 สำหรับโครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ที่พีเอชสูงๆ โลหะหนักพวกนี้ยังสามารถละลายได้ ทำให้สามารถตรวจพบปริมาณโลหะหนัก แต่ยังจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำโดยมีค่าน้อยกว่า 1 มก./ล

2.1.4 ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณวัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 7 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ก็สามารถมีเสถียรภาพยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนไม่ให้ถูกชะละลายออกมาได้

2.2 <u>ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ</u>

2.2.1 พีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 9.97 และ 12.09 แสดงว่าน้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง

2.2.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกอนทุกสัดส่วนผสมมีความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน และ 14 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 5.8 โดยความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และปรอทในน้ำสกัดต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ สำหรับความเข้มข้นของโครเมียม ตะกั่ว และสังกะสีในน้ำสกัดน้อยกว่า 1 มก./ล

2.2.3 ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณวัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 5 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ก็สามารถเกิดเสถียรภาพยึดเกาะโลหะหนักไม่ให้ถูกชะละลายออกมา

3. <u>สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น</u>

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากตารางที่ 5.7 และ 5.8 แสดงว่ากากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภท สามารถใช้วัสดุประสานทุกชนิดและที่อัตราส่วนผสมต่ำสุด ก็สามารถผ่านเกณฑ์กำหนด ดังนั้นกำลังรับแรงอัดจึงเป็นค่ากำหนดที่สำคัญในการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

3.1 <u>กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา</u>

3.1.1 จากรูปที่ 5.3 อัตราส่วนผสมปูนขาว อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ เท่ากับร้อยละ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง สามารถให้กำลังรับแรงอัดที่สูงเกิน 14 กก./ตร.ซม.

3.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุที่หาง่ายและกลไกของการทำลายฤทธิ์เป็นที่ทราบกันดี ดังนั้นจึงกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกอนเท่ากับร้อยละ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

อัตราส่วนผสมเทียบกับน้ำหนักแห้ง	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)											
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
เกณฑ์มาตรฐาน	-		<5		<1		<5		<0.2		<5		-	
ระยะเวลาบ่ม	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน
ปูนซีเมนต์														
ร้อยละ 7	10.51	8.90	nd	nd	nd	nd	0.29	0.27	nd	nd	0.47	0.32	0.21	0.17
ร้อยละ 14	10.92	10.36	nd	nd	nd	nd	0.30	0.29	nd	nd	0.57	0.29	0.28	0.10
ร้อยละ 35	11.38	11.14	nd	nd	nd	nd	0.32	0.36	nd	nd	0.87	0.38	0.26	0.13
ปูนขาว														
ร้อยละ 7	10.47	9.62	nd	nd	nd	nd	0.26	0.29	nd	nd	0.38	0.38	0.12	0.12
ร้อยละ 14	10.34	10.03	nd	nd	nd	nd	0.27	0.29	nd	nd	0.35	0.38	0.13	0.18
ร้อยละ 35	11.84	11.27	nd	nd	nd	nd	0.28	0.30	nd	nd	0.46	0.62	0.83	0.14
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1)														
ร้อยละ 7	10.61	9.16	nd	nd	nd	nd	0.35	0.32	nd	nd	0.56	0.46	0.19	0.20
ร้อยละ 14	11.23	10.36	nd	nd	nd	nd	0.30	0.34	nd	nd	0.47	0.46	0.20	0.22
ร้อยละ 35	11.96	11.29	nd	nd	nd	nd	0.34	0.34	nd	nd	0.65	0.43	0.45	0.29
ปูนซีเมนต์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต(1 ต่อ 1)														
ร้อยละ 7	9.86	8.53	nd	nd	nd	nd	0.36	0.36	nd	nd	0.44	0.44	0.12	0.13
ร้อยละ 14	10.78	8.92	nd	nd	nd	nd	0.39	0.39	nd	nd	0.59	0.59	0.10	0.15
ร้อยละ 35	11.17	10.28	nd	nd	nd	nd	0.42	0.42	nd	nd	0.83	0.83	0.12	0.17

*จำนวน 1 ตัวอย่าง

nd = not detected : อาร์เซนิค <0.01 มก./ล. ,แคดเมียม <0.01 มก./ล. ,ปรอท <0.02 มก./ล.

ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

อัตราส่วนผสมเทียบกับน้ำหนักแห้ง	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)											
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
เกณฑ์มาตรฐาน	-		<5		<1		<5		<0.2		<5		-	
ระยะเวลาบ่ม	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน	1 วัน	14 วัน
ปูนซีเมนต์														
ร้อยละ 5	10.17	10.08	nd	nd	nd	nd	0.23	0.20	nd	nd	0.37	0.30	0.18	0.15
ร้อยละ 10	10.75	10.84	nd	nd	nd	nd	0.25	0.35	nd	nd	0.33	0.29	0.14	0.11
ร้อยละ 25	11.37	11.79	nd	nd	nd	nd	0.33	0.22	nd	nd	0.33	0.33	0.16	0.13
ปูนขาว														
ร้อยละ 5	10.38	9.97	nd	nd	nd	nd	0.13	0.18	nd	nd	0.35	0.32	0.17	0.10
ร้อยละ 10	11.58	11.42	nd	nd	nd	nd	0.16	0.16	nd	nd	0.33	0.28	0.11	0.15
ร้อยละ 25	12.09	11.79	nd	nd	nd	nd	0.13	0.16	nd	nd	0.35	0.30	0.16	0.15
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1)														
ร้อยละ 5	10.33	10.09	nd	nd	nd	nd	0.30	0.35	nd	nd	0.35	0.33	0.14	0.11
ร้อยละ 10	11.22	10.84	nd	nd	nd	nd	0.24	0.28	nd	nd	0.32	0.34	0.12	0.12
ร้อยละ 25	11.97	11.79	nd	nd	nd	nd	0.36	0.37	nd	nd	0.32	0.31	0.10	0.12

*จำนวน 1 ตัวอย่าง

nd = not detected : อาร์เซนิค <0.01 มก./ล ,แคดเมียม <0.01 มก./ล. ,ปรอท <0.02 มก./ล

3.2 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

3.2.1 การใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์สามารถให้กำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าผสมด้วยปูนขาว หรือผสมด้วยปูนซีเมนต์ปนกับปูนขาว

3.2.2 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงเกิน 14 กก./ตร.ซม. และจากรูปที่ 5.4 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 10 และร้อยละ 25 เพื่อเป็นการประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ จึงกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เป็นค่าอ้างอิงในการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา กำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนที่ร้อยละ 6, 8, 11 และ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ กำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกอนที่ร้อยละ 10, 15, 18 และ20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง พร้อมกันนี้ได้ทดลองใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้าต่อกากตะกอนที่ร้อยละ 10, 15, 18 และ20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งด้วย เพื่อศึกษาผลที่มีต่อกำลังรับแรงอัดเท่านั้น

1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

1.1 กำลังรับแรงอัด

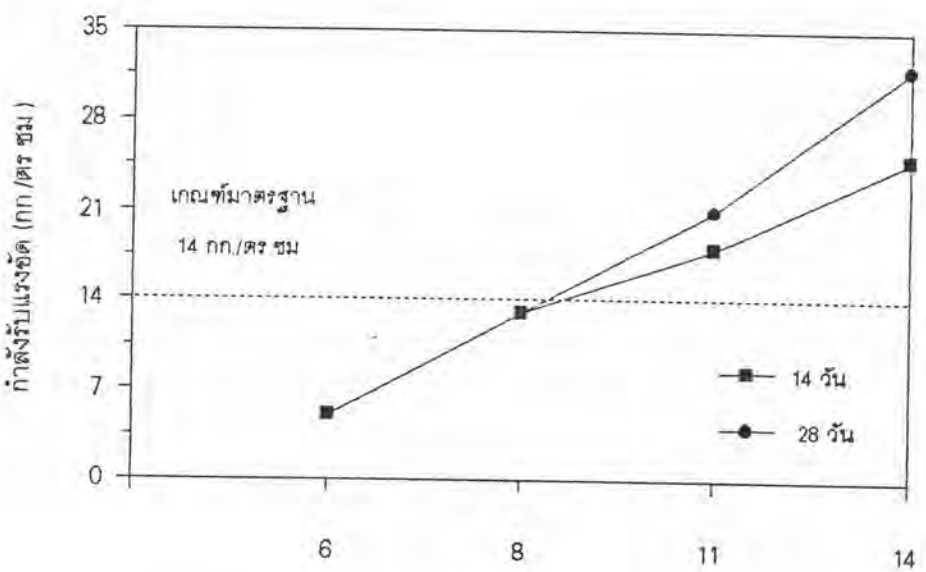
1.1.1 กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 6 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ 28 วันเกือบไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าปริมาณปูนซีเมนต์ดังกล่าวเพียงเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นส่วนใหญ่ ผลของการยึดประสานที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอในการทำให้ส่วนผสมแข็งตัวมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 8 พบว่า กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 5.5

แสดงว่าเป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ และจากตารางที่ 5.9 กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และ28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18 กก./ตร.ซม. และ 21 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดในการฝังกลบ

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
6	5	5	2.0	1.82
8	12	13	1.96	1.94
11	18	21	1.95	1.94
14	25	32	1.96	1.94

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง

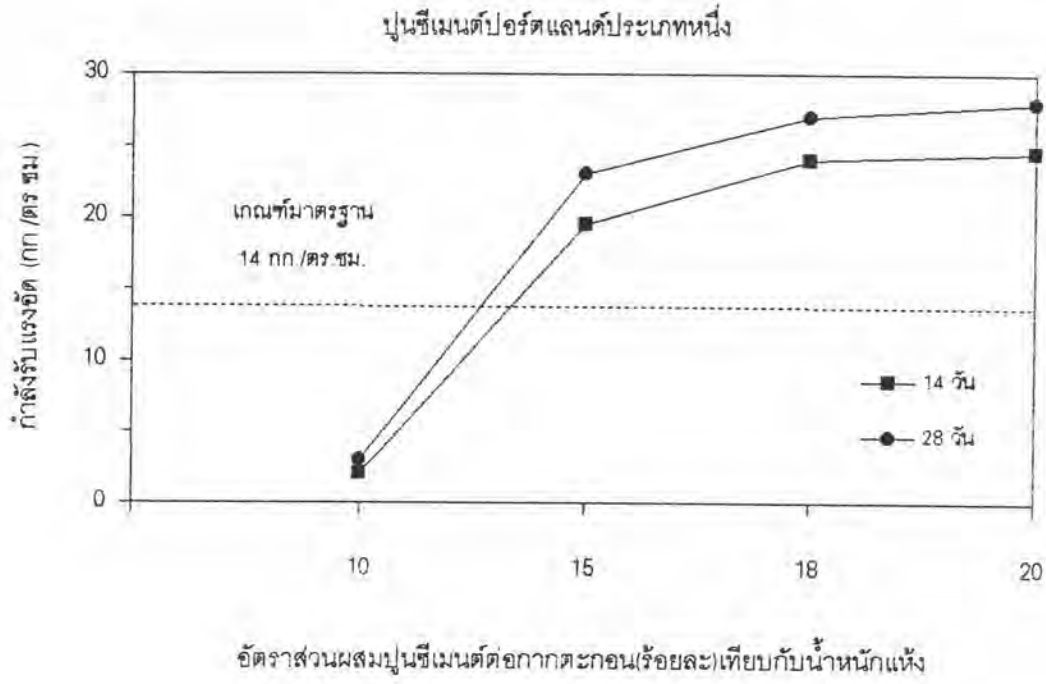
1.1.2 เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักแห้ง กำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำและเปลี่ยนแปลงน้อยมากถึงแม้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 15 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าเกิดการยึดประสานอันเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 18 กำลังรับแรงอัดยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อัตราการเพิ่มลดลงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 18 ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และจากตารางที่ 5.10 กำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันและ 28 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20 และ 23 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดในการฝังกลบ

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งและประเภทห้า

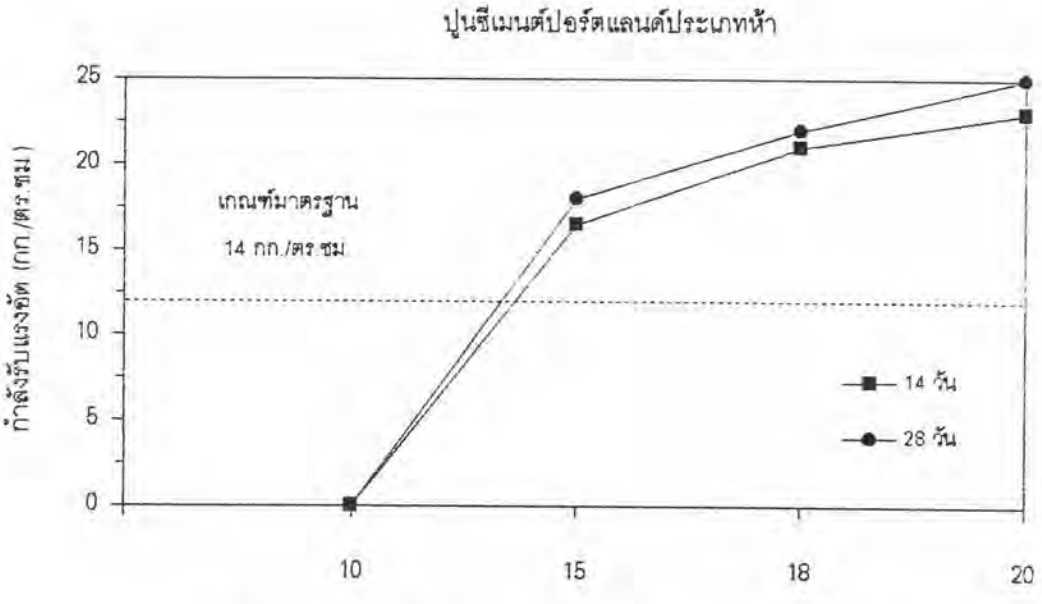
อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ ม.)	
	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง				
10	2	3	1.59	1.58
15	20	23	1.62	1.61
18	24	27	1.66	1.67
20	25	28	1.66	1.64
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า				
10	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	1.58	1.57
15	17	18	1.59	1.59
18	21	22	1.60	1.60
20	23	25	1.60	1.61

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

1.1.3 จากตารางที่ 5.10 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้าต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ซึ่งพบว่า กำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้าต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมปูนซีเมต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเล็กน้อย และที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้าเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัวถึงแม้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 5.7 ลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับรูปที่ 5.6 คือ เมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้ามากกว่าร้อยละ 15 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า

มากกว่าร้อยละ 18 กำลังรับแรงอัดยังคงเพิ่มสูงขึ้นแต่อัตราการเพิ่มลดลงเมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 15 และ 18

1.1.4 ผลการทดลองดังกล่าวได้ศึกษาในระยะเวลาเพียง 28 วันเท่านั้น ทำให้เห็นว่าสามารถใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในการทำเสถียรกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ได้เป็นอย่างดี และซัลเฟตไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ในระยะแรก แต่ในระยะยาวผลกระทบที่เกิดจากซัลเฟตอาจจะมีมากกว่าที่พบก็เป็นไปได้

1.2 <u>ความหนาแน่น</u>

1.2.1 ความหนาแน่นของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีค่าอยู่ระหว่าง1.82 และ 2 ตัน/ลบ.ม. การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึงร้อยละ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอย่างสำคัญ

1.2.2 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง พบว่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.58 และ 1.67 ตัน/ลบ.ม. และเมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า พบว่าความหนาแน่นต่ำกว่าอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.57 และ 1.61 ตัน/ลบ.ม

2. <u>ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด</u>

นำน้ำสกัดมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนักละลาย สำหรับแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี วัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบกราไฟต์ (graphite furnace) สำหรับอาร์เซนิค และปรอท วัดด้วยวิธี Vapor Generation วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 6, 8, 11 และ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งแสดงดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ไมโครกรัม/ลิตร)											
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน
6	10.63	10.03	16	34	nd	nd	22	17	nd	nd	472	19	13	8
8	10.94	10.49	13	22	nd	nd	37	22	nd	nd	500	16	9	8
11	11.31	10.56	13	14	nd	nd	24	22	nd	nd	384	18	10	6
14	11.46	10.68	12	18	nd	nd	34	19	nd	nd	195	nd	10	6

*nd= not detected : แคดเมียม < 2 มคก./ล. ,ปรอท < 2 มคก./ล. ,ตะกั่ว < 5 มคก./ล.

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 10, 15, 18 และ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง แสดงดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ไมโครกรัม/ลิตร)											
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน
10	10.71	10.52	4	3	nd	nd	221	189	nd	nd	nd	nd	20	10
15	11.32	10.97	nd	nd	nd	nd	194	117	nd	nd	nd	nd	21	9
18	11.38	11.26	nd	nd	nd	nd	66	80	nd	nd	nd	nd	12	14
20	11.45	11.35	nd	nd	nd	nd	75	64	nd	nd	nd	nd	15	14

*nd= not detected : อาร์เซนิค < 2 มคก./ล. ,แคดเมียม < 2 มคก./ล. ,ปรอท < 2 มคก./ล. ,ตะกั่ว < 5 มคก./ล

2.1 <u>พีเอช</u>

พีเอชของน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา มีค่าระหว่าง 10.03 และ 11.46 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 6, 8, 11 และ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูงเนื่องจากเกิดการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

ปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน พีเอชมีค่าสูงขึ้น

พีเอชของน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ร้อยละ 10, 15, 18 และ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งมีค่าระหว่าง 10.52 และ11.45 รูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน พีเอชมีค่าสูงขึ้น

2..2 <u>อาร์เซนิค</u>

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 6 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16 มคก./ล. จากรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดลดต่ำลงอย่างไม่สำคัญ และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 14 วันความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระยะเวลาบ่ม 1 วัน

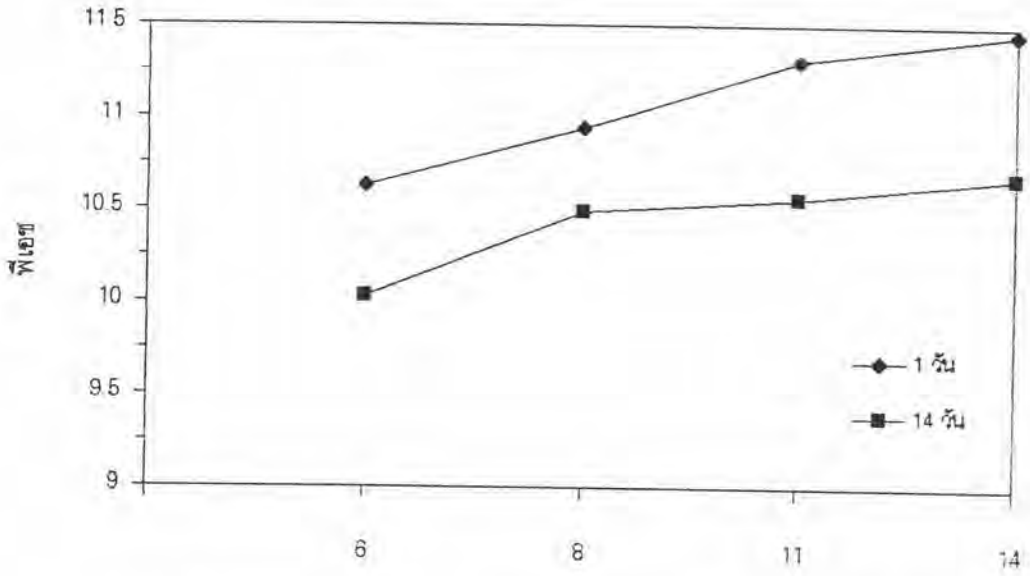
ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่ม 1 วันและ 14 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4 และ 3 มคก./ล. ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 15 เป็นต้นไป ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดต่ำกว่า 2 มคก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 5.11

2.3 <u>แคดเมียม</u>

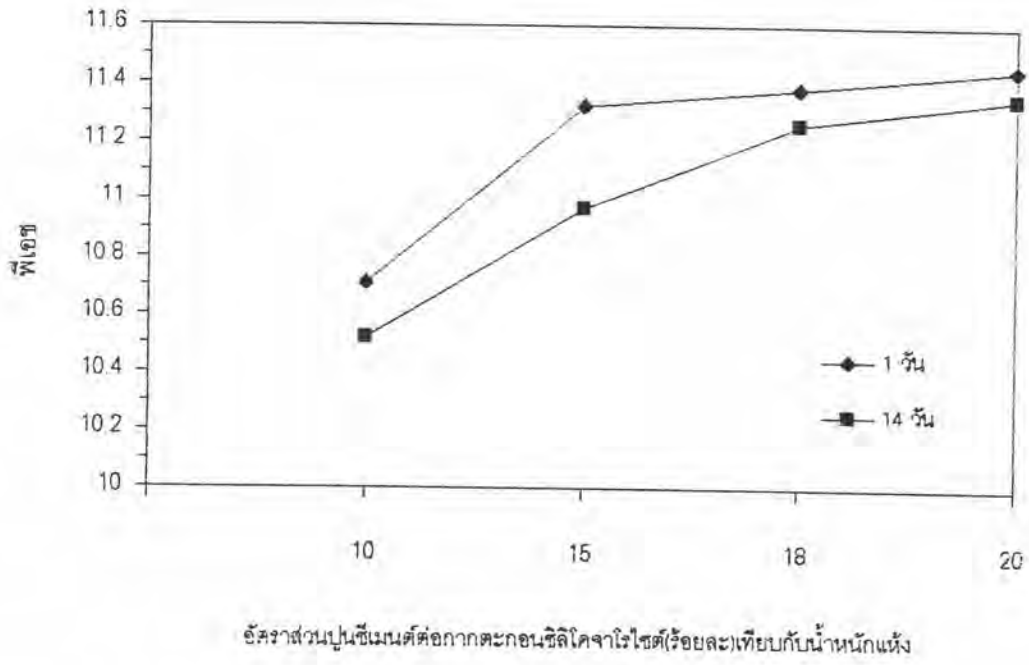
ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภท ทุกอัตราส่วนผสมพบว่า ต่ำกว่า 2 มคก./ล.ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ เนื่องจากพีเอชที่สูงของน้ำสกัด สภาพละลายได้ของแคดเมียมต่ำมีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดต่ำมาก

2.4 <u>โครเมียม</u>

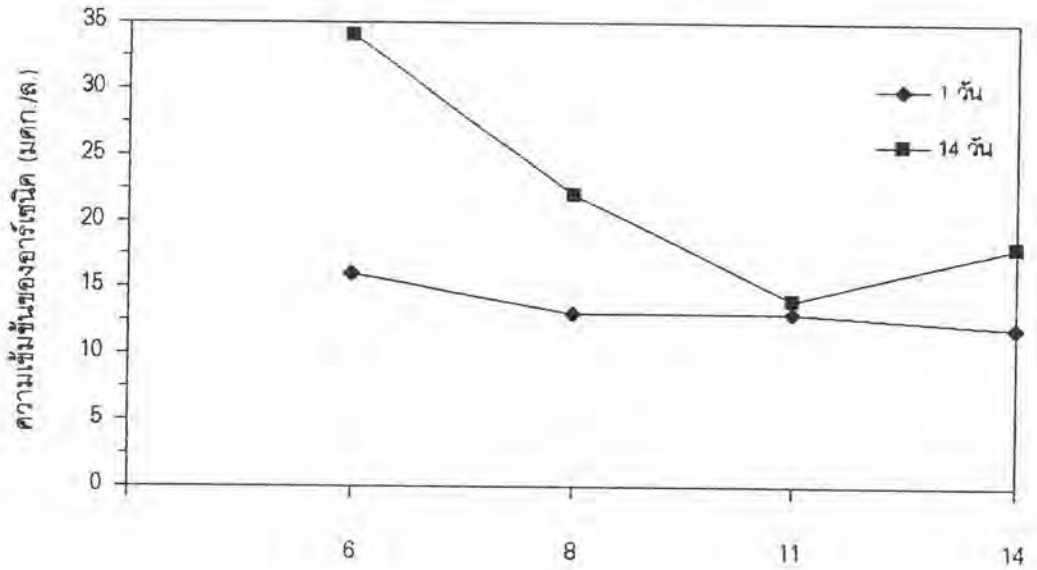
ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 8 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37 มคก./ล. ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน และเมื่อแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึงร้อยละ 14 ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 22 และ 37 มคก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และเมื่อบ่มครบ 14 วัน ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดลดต่ำลงเมื่อเทียบกับที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน



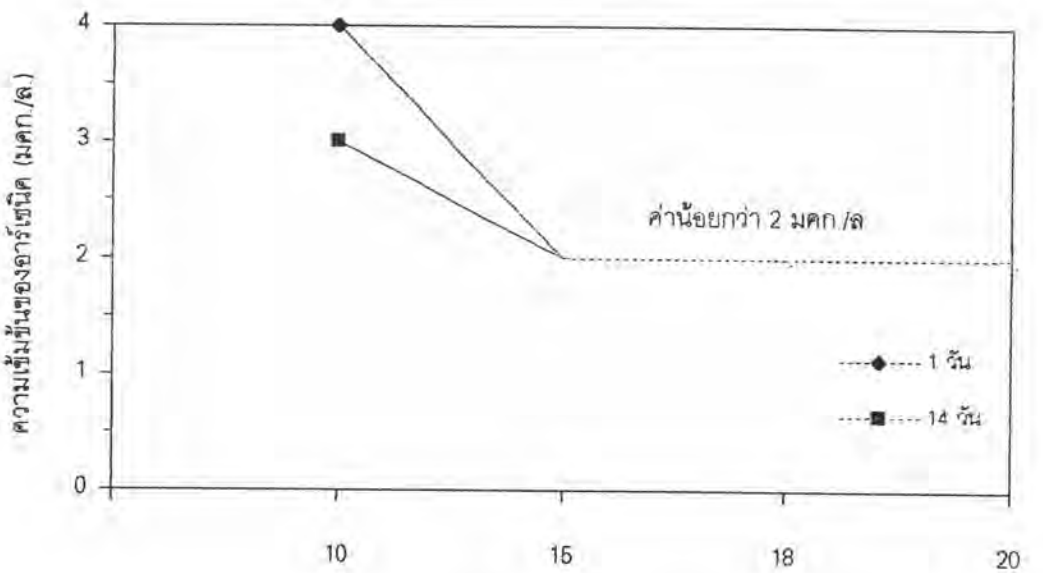
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



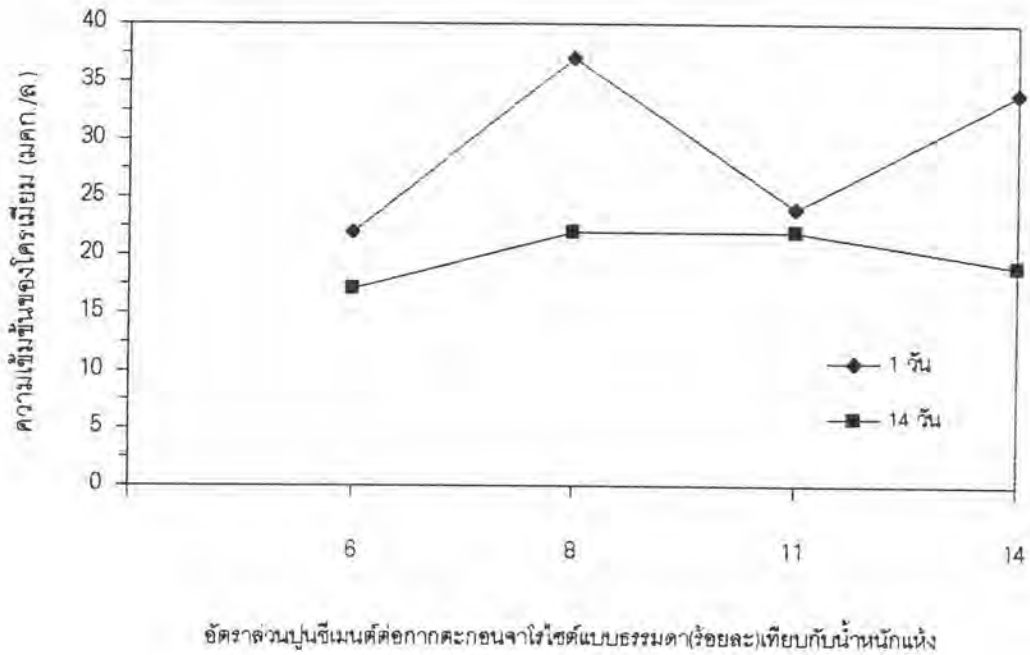
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์



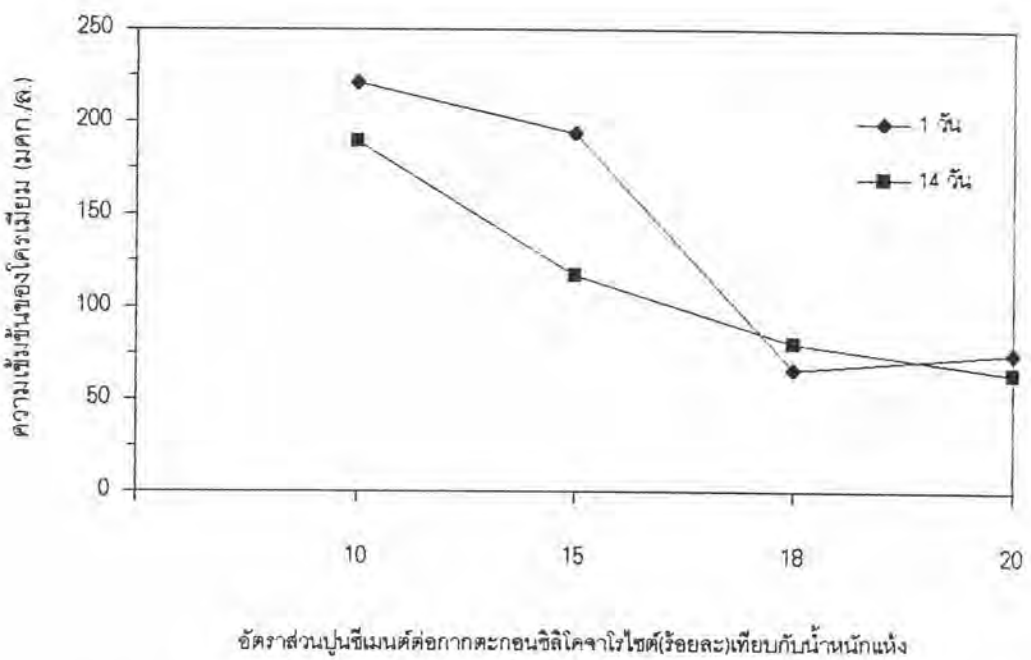
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์มีค่าสูงสุด ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 221 มคก./ล.ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน จากรูปที่ 5.13 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดลดลงอย่างสำคัญ โดยที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 18 มีผลทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมลดลงอย่างมาก

2.5 <u>ปรอท</u>

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภททุกอัตราส่วนผสม น้อยกว่า 2 มคก./ล. สาเหตุเนื่องจากปริมาณปรอทที่มีอยู่น้อยมากในกากตะกอนดิบ

2.6 <u>ตะกั่ว</u>

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 472, 500, 384 และ 195 มคก./ล. จากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนร้อยละ 6, 8, 11 และ 14 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งตามลำดับ จากรูปที่ 5.14 พบว่า ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึงร้อยละ 8 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 11 มีผลทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดลดต่ำลงอย่างสำคัญ และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 14 วัน พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดลดต่ำลงอย่างมากทุกอัตราส่วนผสม โดยมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดอยู่ระหว่าง 5 และ 19 มคก./ล

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ มีค่าต่ำกว่า 2 มคก./ล. ทุกอัตราส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 5.15

2.7 <u>สังกะสี</u>

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 6 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13 มคก./ล. ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน จากรูปที่ 5.16 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 8 ถึง ร้อยละ 14 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21 มคก./ล. โดยเฉลี่ยที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง จากรูปที่ 5.17 ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน การเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 18 มีผลทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดลดลงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์น้อยกว่าร้อยละ 15 และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 14 วันความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดมีค่าน้อยกว่าที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9 และ 14 มคก./ล

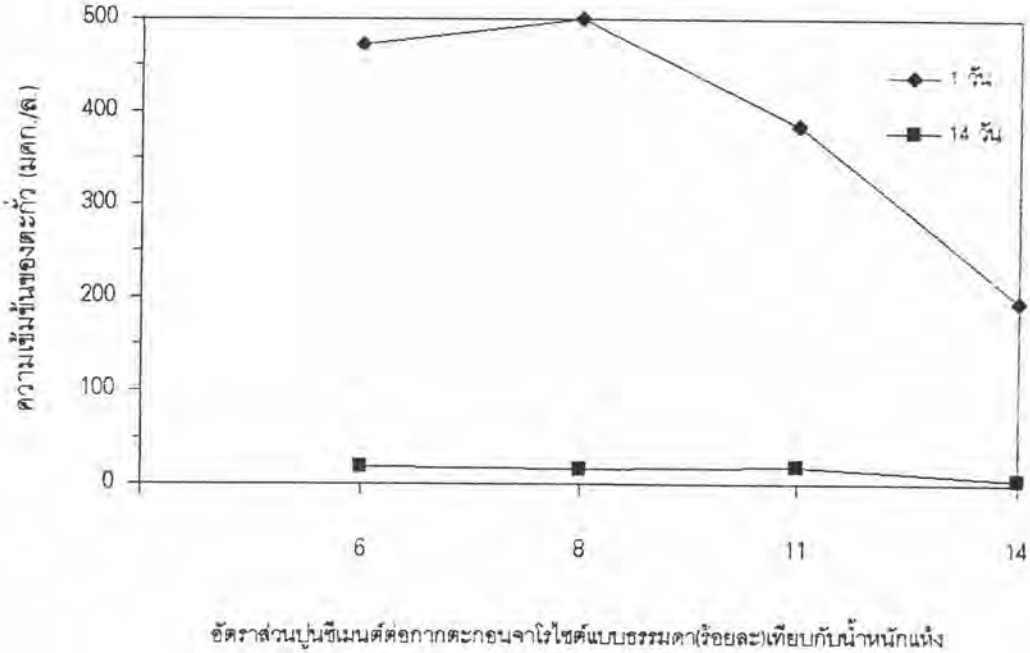
3. <u>สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด</u>

การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มีผลอย่างสำคัญต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง คือ เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่มีผลอย่างไม่สำคัญต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด เนื่องจากทุกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ทำการทดลอง พีเอชของน้ำสกัดมีค่าสูงเกิน 10 ที่พีเอชสูงๆ สภาพละลายได้ของโลหะหนักต่ำ โลหะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่ละลาย มีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดแตกต่างกันไม่มากเมื่อแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์

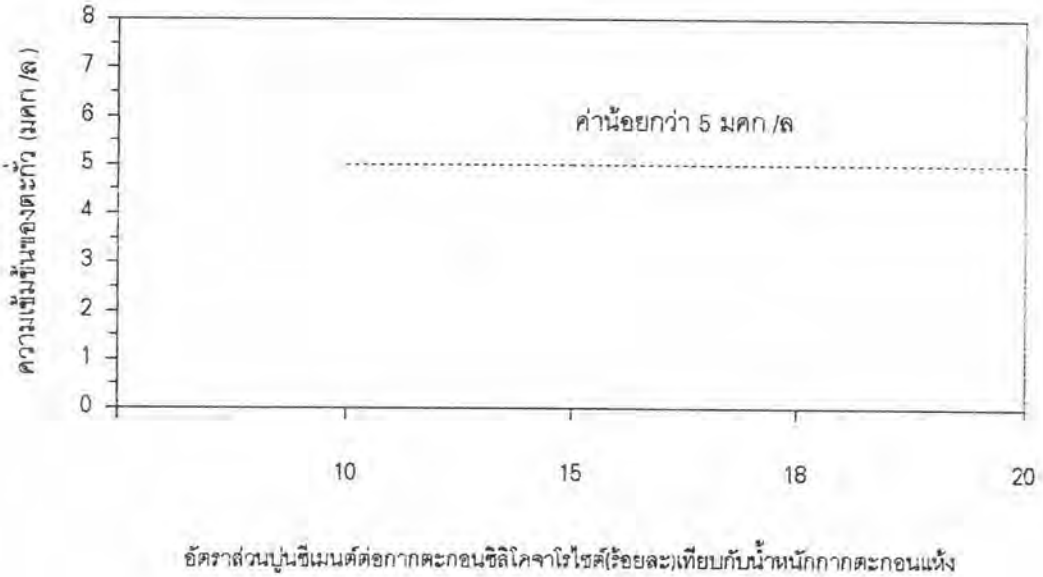
ดังนั้นกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาจึงกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์กำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง เพื่อศึกษาในขั้นตอนการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

<u>ผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว</u>

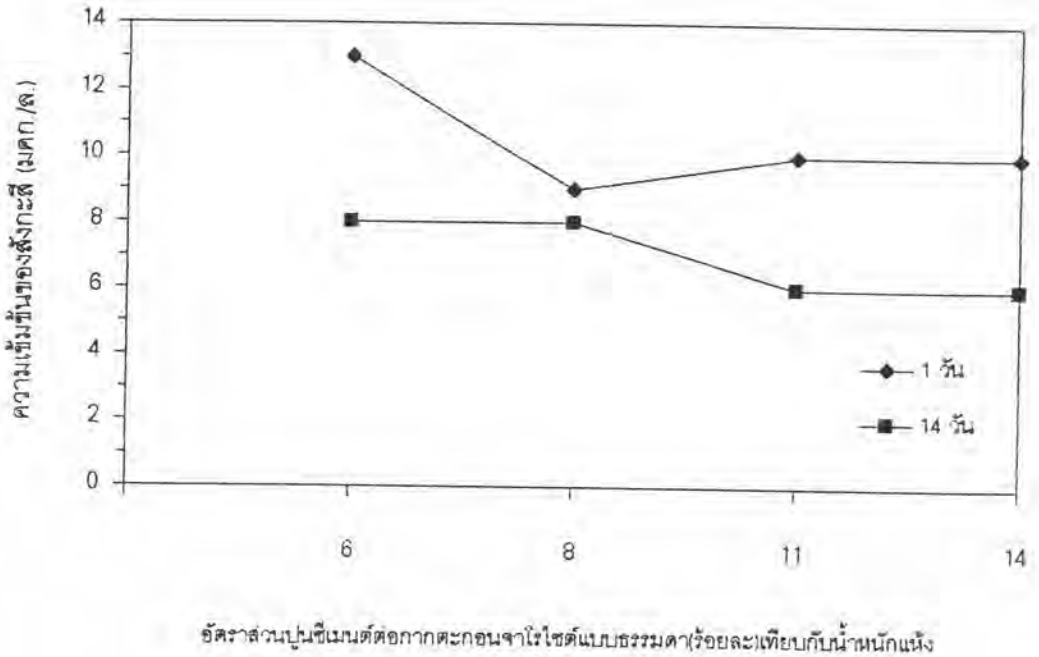
จากผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด พบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งสามารถทำลายฤทธิ์กากตะกอนจาโรไซต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการทดลองขั้นตอนนี้จึงทำการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อนโดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง และกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90วัน และทำการทดลองการชะละลายของโลหะหนักเป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อศึกษารูปแบบการชะละลายของโลหะหนัก โดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง



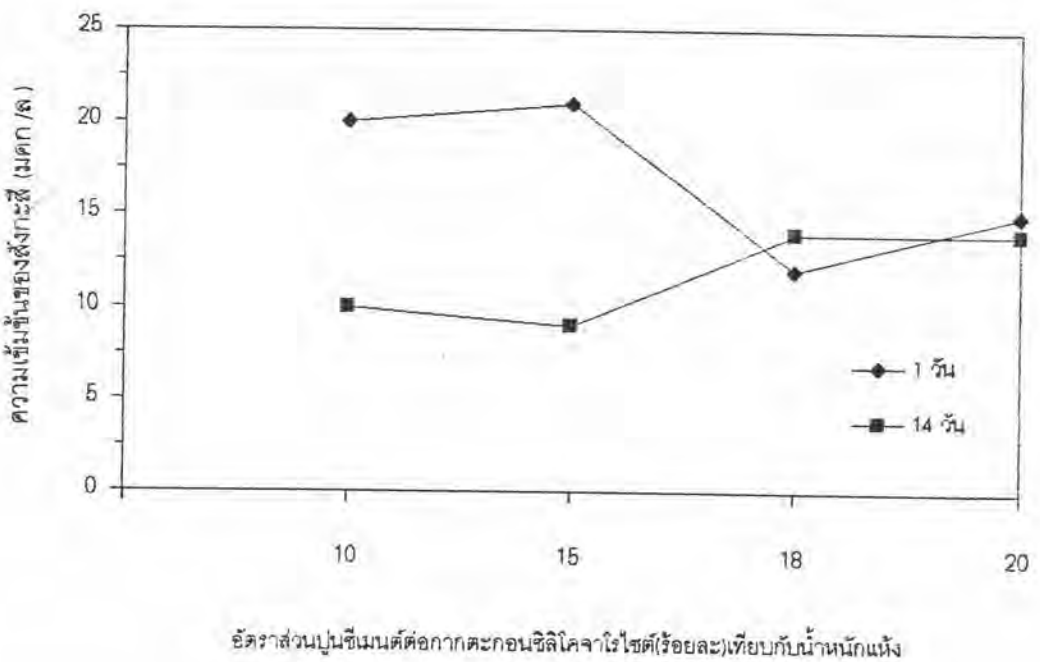
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

และกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง สาเหตุที่เลือกใช้อัตราส่วนผสมนี้ เพื่อศึกษาผลการชะละลายของโลหะหนัก ในกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันต่ำกว่า 14 กก./ตร.ซม.

1. <u>สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์</u>

1.1 <u>กำลังรับแรงอัด</u>

กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28 และ 90 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.13 คือมีค่าอยู่ระหว่าง 15.5 และ 21.7 กก./ตร.ซม. และจากรูปที่ 5.18 พบว่า กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม โดยที่กำลังรับแรงอัดพัฒนาขึ้นในช่วง 28 วัน เมื่อระยะเวลาบ่มมากกว่า 28 วัน กำลังรับแรงอัดยังคงเพิ่มขึ้นแต่ด้วยอัตราการเพิ่มที่น้อยกว่า 28 วันแรก

กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28, และ 90 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.14 คือมีค่าอยู่ระหว่าง 15.3 และ 28.6 กก./ตร.ซม. จากรูปที่ 5.19 พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม โดยที่กำลังรับแรงอัดพัฒนาขึ้นในช่วง 28 วัน เมื่อระยะเวลาบ่มมากกว่า 28 วัน กำลังรับแรงอัดยังคงเพิ่มขึ้นแต่อัตราการเพิ่มลดลงเมื่อเทียบกับในช่วงระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	90 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	90 วัน
11	15.6	16.8	20	21	1.89	1.89	1.87	1.78
	16	16	17.2	22.8	1.89	1.84	1.87	1.90
	14.8	17	21.2	22	1.94	2.0	1.94	1.81
ค่าเฉลี่ย (จาก 3 ตัวอย่าง)	15.5	16.6	19.5	21.9	1.91	1.91	1.89	1.83

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร ซม.)				ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	90 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	90 วัน
15	16.2	20	25.2	30	1.60	1.60	1.60	1.53
	15.2	17.8	29.2	22	1.60	1.60	1.62	1.57
	14.4	23.2	23.2	22	1.61	1.61	1.60	1.52
ค่าเฉลี่ย (จาก 3 ตัวอย่าง)	15.3	20.3	24.5	28.6	1.60	1.60	1.61	1.54

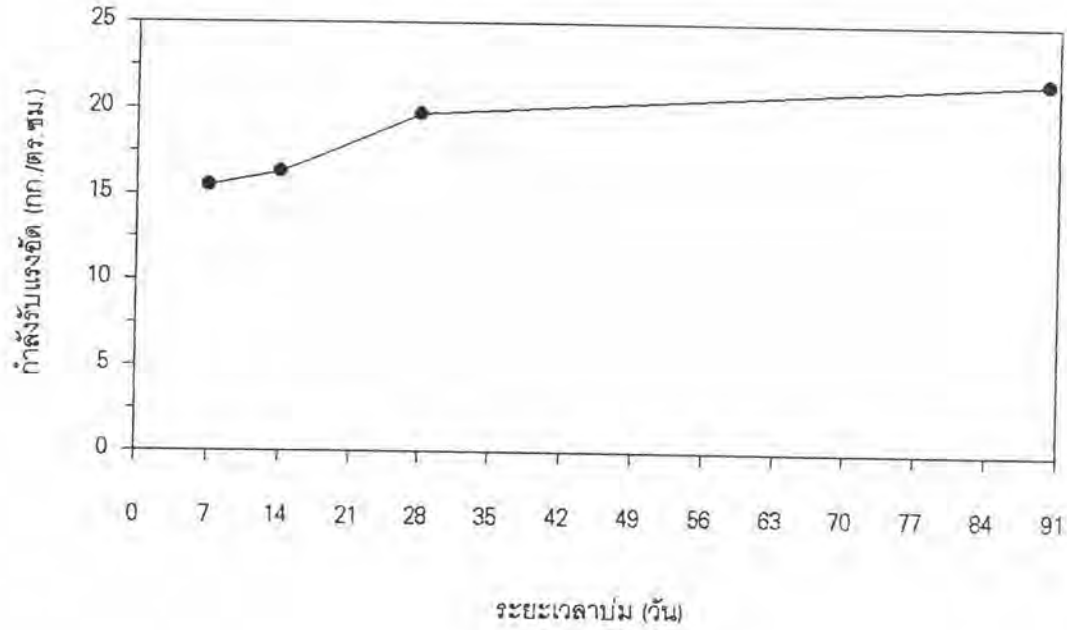
1.2 <u>ความหนาแน่น</u>

ความหนาแน่นของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.83 และ 1.91 ตัน/ลบ.ม. จากตารางที่ 5.12 เมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้นความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียของปริมาณน้ำในก้อนตัวอย่าง

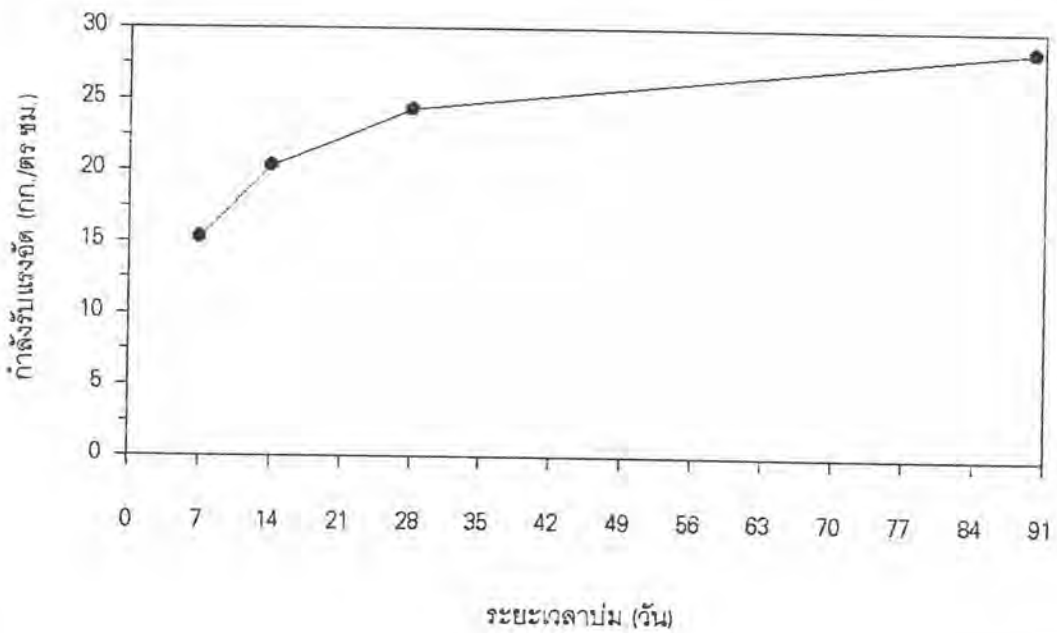
ความหนาแน่นของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.54 และ 1.61 ตัน/ลบ.ม ดังแสดงในตารางที่ 5.13

1.3 <u>ความให้ซึมได้</u>

ความให้ซึมได้ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน จากการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 5.41×10^{-8} และ 1.71×10^{-7} ซม./วินาที ดังแสดงในตารางที่ 5.14 จากรูปที่ 5.20 การแปรเปลี่ยนระยะเวลาบ่มมีผลทำให้ความให้ซึมได้มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง โดยเมื่อระยะเวลาบ่มน้อยกว่า 7 วัน ความให้ซึมได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 14 วัน ความให้ซึมได้มีค่าสูงขึ้น และลดต่ำลงอีกเมื่อระยะเวลาบ่มมากกว่า 14 วัน



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มของอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบความให้ซึมได้ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกาก(ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง	ความให้ซึมได้ (ซม./วินาที) *			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	3	7	14	28
11	7.20×10^{-8} 8.62×10^{-8}	4.39×10^{-8} 6.43×10^{-8}	1.25×10^{-7} 2.16×10^{-7}	1.21×10^{-8} 1.30×10^{-8}
ค่าเฉลี่ย (จาก 2 ตัวอย่าง)	7.91×10^{-8}	5.41×10^{-8}	1.71×10^{-7}	1.26×10^{-8}

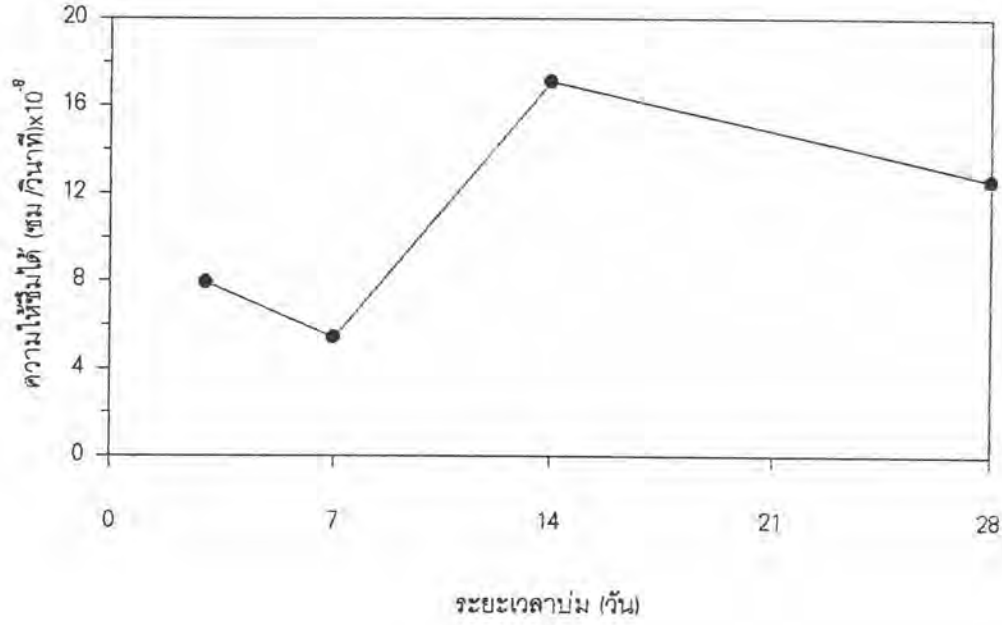
* ทดสอบโดยแผนกปฏพีวิทยา กองธรณีปฏพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ความให้ซึมได้ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน จากการทดสอบ 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 8.38×10^{-9} และ 6.52×10^{-9} ซม./วินาที ดังแสดงในตารางที่ 5.16 จากรูปที่ 5.21 พบว่าการแปรเปลี่ยนระยะเวลาบ่มมีผลทำให้ความให้ซึมได้มีค่าลดลง และหลังจากระยะเวลาบ่มมากกว่า 14 วัน ความให้ซึมได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

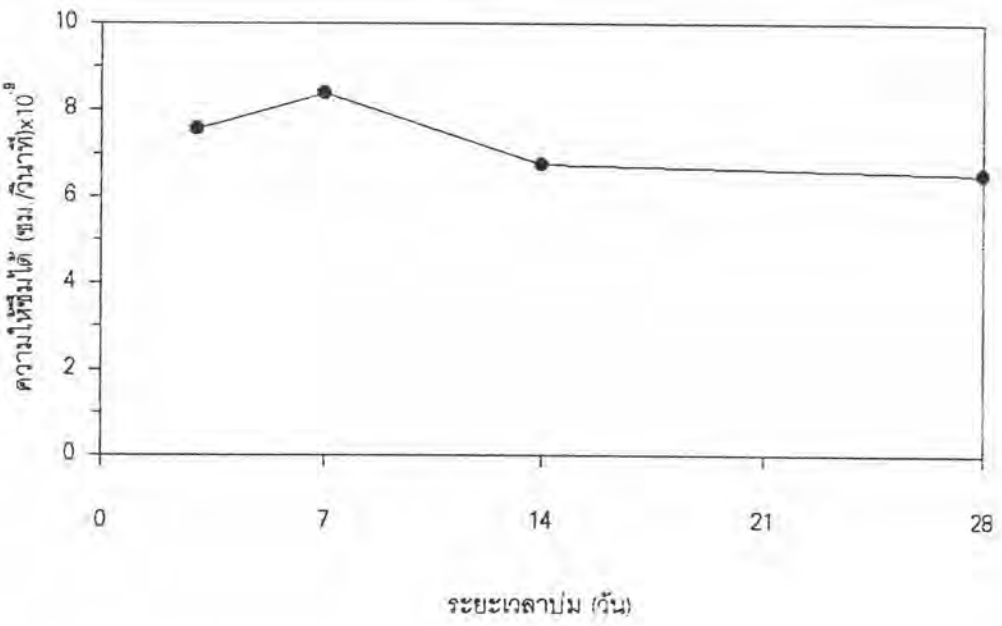
ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบความให้ซึมได้ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกาก(ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง	ความให้ซึมได้ (ซม./วินาที) *			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	3	7	14	28
15	7.76×10^{-9} 7.36×10^{-9}	7.04×10^{-9} 9.71×10^{-9}	5.90×10^{-9} 7.56×10^{-9}	5.35×10^{-9} 7.69×10^{-9}
ค่าเฉลี่ย (จาก 2 ตัวอย่าง)	7.56×10^{-9}	8.38×10^{-9}	6.74×10^{-9}	6.52×10^{-9}

* ทดสอบโดยแผนกปฏพีวิทยา กองธรณีปฏพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความให้ซึมได้ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความให้ซึมได้ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 กับระยะเวลาบ่ม

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
		อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	11.34	15	nd	71	nd	320	11
7	11.12	12	nd	43	nd	55	6
28	10.43	25	nd	22	nd	8	6
90	9.85	67	nd	10	nd	nd	7

*ค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

nd = not detected : แคดเมียม <2 มคก./ล ,ปรอท <2 มคก./ล ,ตะกั่ว <5 มคก./ล

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
		อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	11.36	nd	nd	131	nd	nd	10
7	11.30	nd	nd	111	nd	nd	8
28	11.15	nd	nd	88	nd	nd	7
90	11.06	nd	nd	88	nd	nd	9

*ค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

nd = not detected : อาร์เซนิค < 2 มคก./ล ,แคดเมียม <2 มคก./ล ,ปรอท <2 มคก./ล ,ตะกั่ว <5 มคก./ล

2.1 พีเอช

พีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 9.85 และ 11.34 แสดงดังตารางที่ 5.17 จากรูปที่ 5.22 เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชมีค่าลดลง สาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวตามระยะเวลา

พีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 11.06 และ 11.36 แสดงดังตารางที่ 5.18 รูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชมีค่าลดลง

2.2 อาร์เซนิค

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วันมีค่าอยู่ระหว่าง 15 และ 67 มคก./ล. จากรูปที่ 5.24 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของอาร์เซนิคมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาบ่มน้อยกว่า 7 วันความเข้มข้นของอาร์เซนิคมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่หลังจากระยะเวลาบ่ม 28 วันความเข้มข้นของอาร์เซนิคสูงขึ้นอย่างสำคัญแต่ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการที่อาร์เซนิคอยู่ในรูปประจุลบทำให้ไม่สามารถถูกจับยึดได้ดีเหมือนพวกโลหะประจุบวก และพีเอชในน้ำสกัดที่ลดลงอาจมีผลทำให้อาร์เซนิคละลายได้มากขึ้น

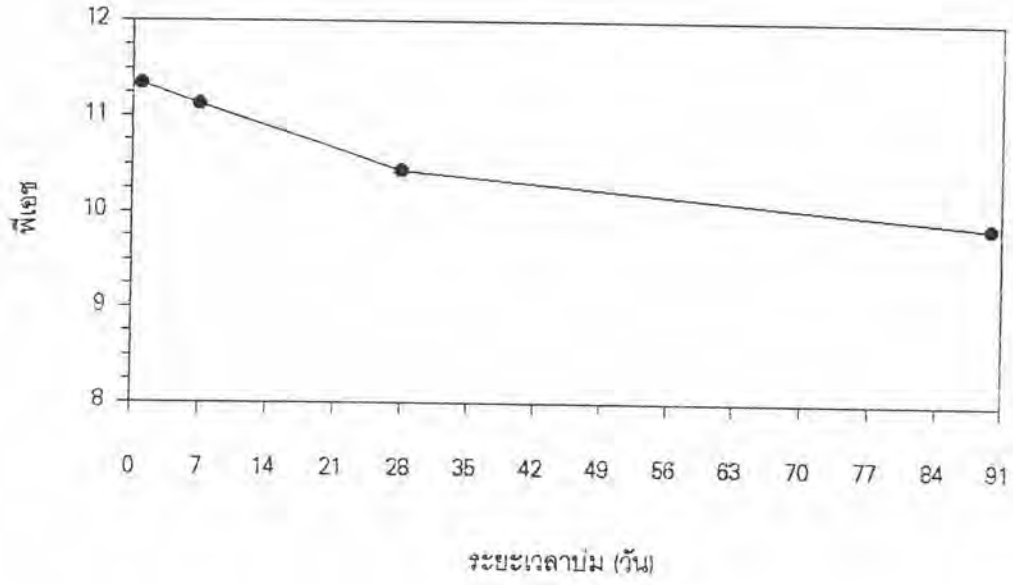
ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วันมีค่าน้อยกว่า 2 มคก./ล.

2.3 แคดเมียม

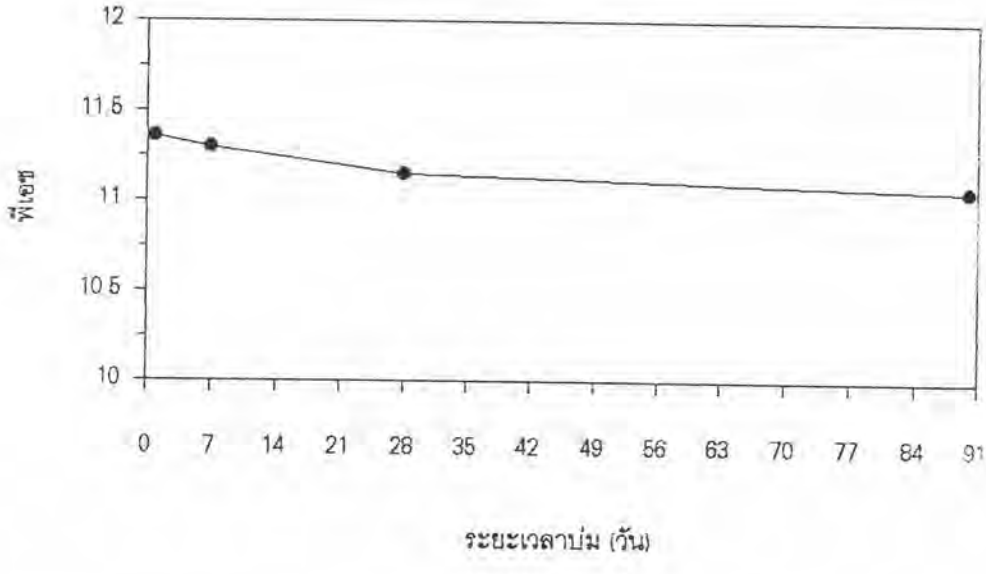
น้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง2 ประเภทที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมน้อยกว่า 2 มคก./ล. ตลอดระยะเวลาบ่ม 90 วัน

2.4 โครเมียม

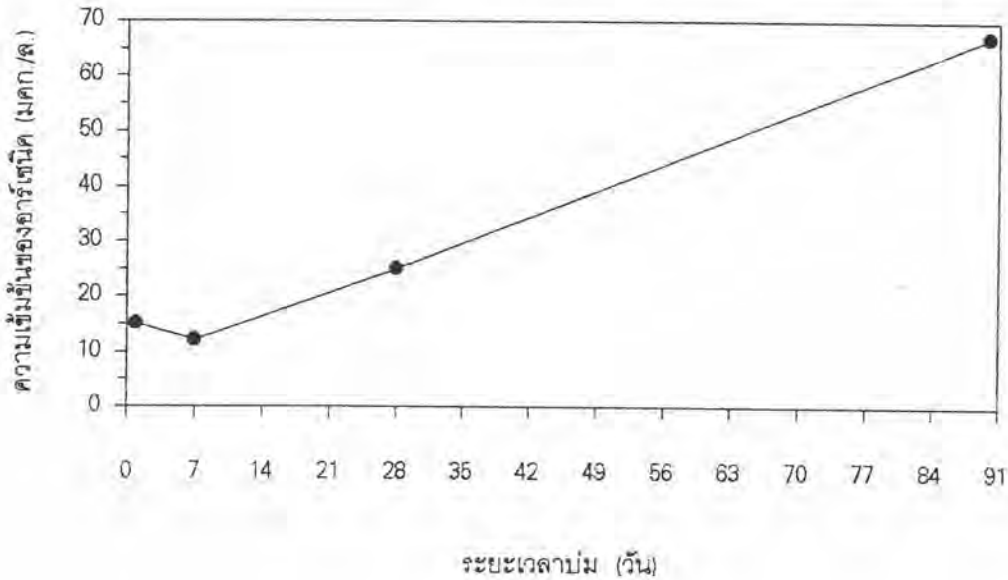
ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28



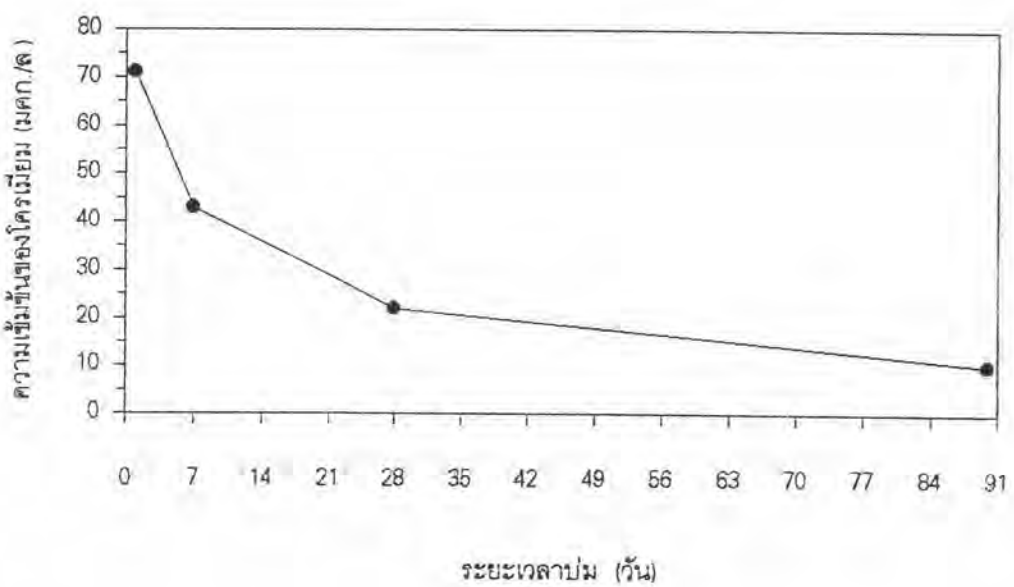
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ11กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ11กับระยะเวลาบ่ม

และ 90 วันมีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 71 มคก./ล. จากรูปที่ 5.25 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโครเมียมลดลง โดยความเข้มข้นของโครเมียมสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71 มคก./ล. ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน หลังจากระยะเวลาบ่ม 7 วัน ความเข้มข้นของโครเมียมได้ลดลงอย่างสำคัญ

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วัน มีค่าระหว่าง 88 และ 131 มคก./ล จากรูปที่ 5.26 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโครเมียมลดต่ำลง โดยความเข้มข้นของโครเมียมมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน เท่ากับ 131 มคก./ล. โดยเฉลี่ย หลังจากระยะเวลาบ่มมากกว่า 28 วัน ความเข้มข้นของโครเมียมไม่แตกต่างอย่างสำคัญ

2.5 <u>ปรอท</u>

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภท ในช่วงระยะเวลาบ่ม 90 วัน พบว่ามีค่าน้อยกว่า 2 มคก./ล. เนื่องจากปริมาณปรอทที่มีอยู่น้อยมากในกากตะกอนดิบ

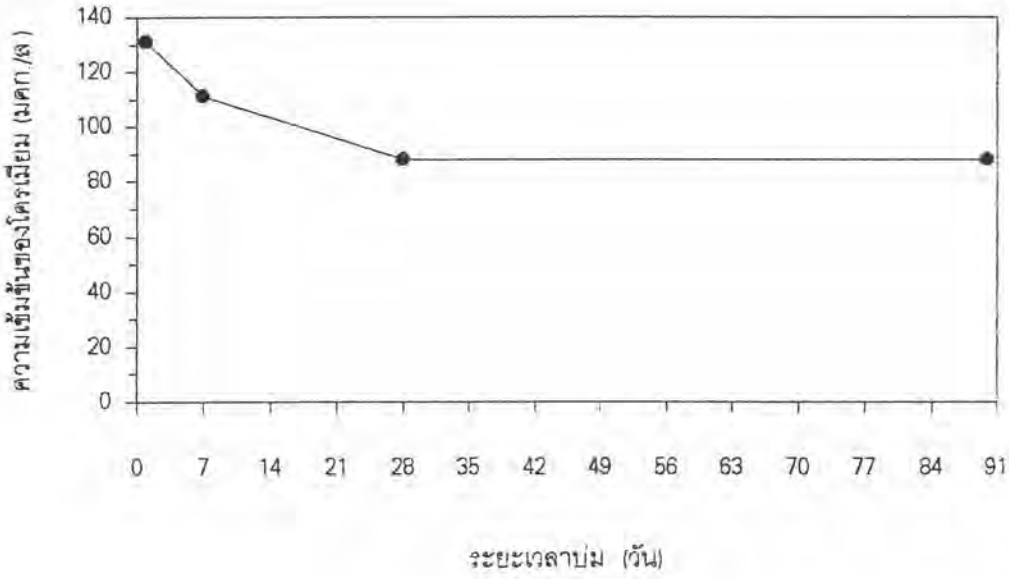
2.6 <u>ตะกั่ว</u>

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วันมีค่าน้อยกว่า 5 จนถึง 320 มคก./ล. จากรูปที่ 5.27 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่ม 1 วัน ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงสุดเท่ากับ 320 มคก./ล. โดยเฉลี่ย หลังจากระยะเวลาบ่ม 7 วัน ความเข้มข้นของตะกั่วลดต่ำลงอย่างสำคัญ และลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น จนเมื่อระยะเวลาบ่ม 90 วันความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มคก./ล.

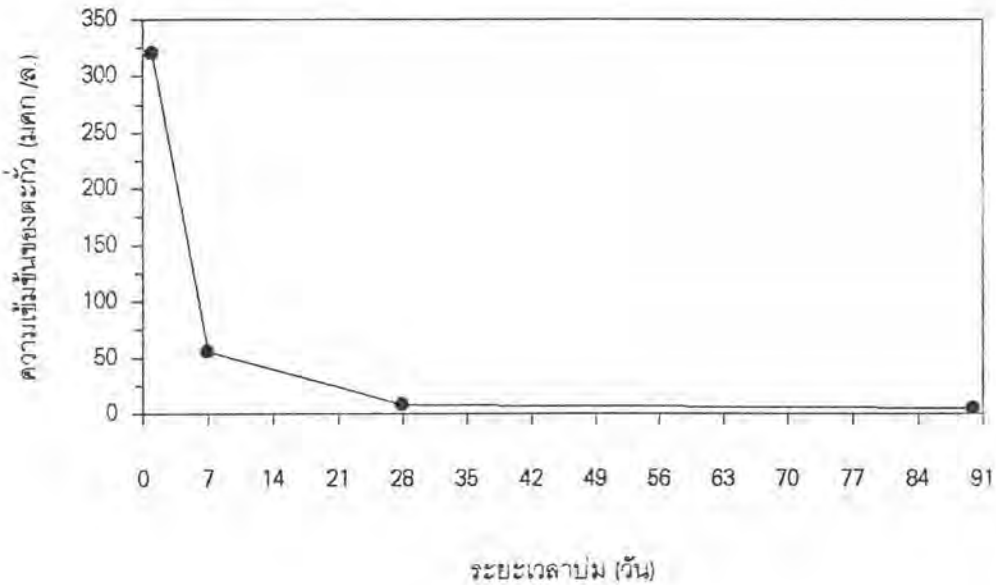
ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ ในช่วงระยะเวลาบ่ม 90 วัน พบว่ามีค่าน้อยกว่า 5 มคก./ล.

2.7 <u>สังกะสี</u>

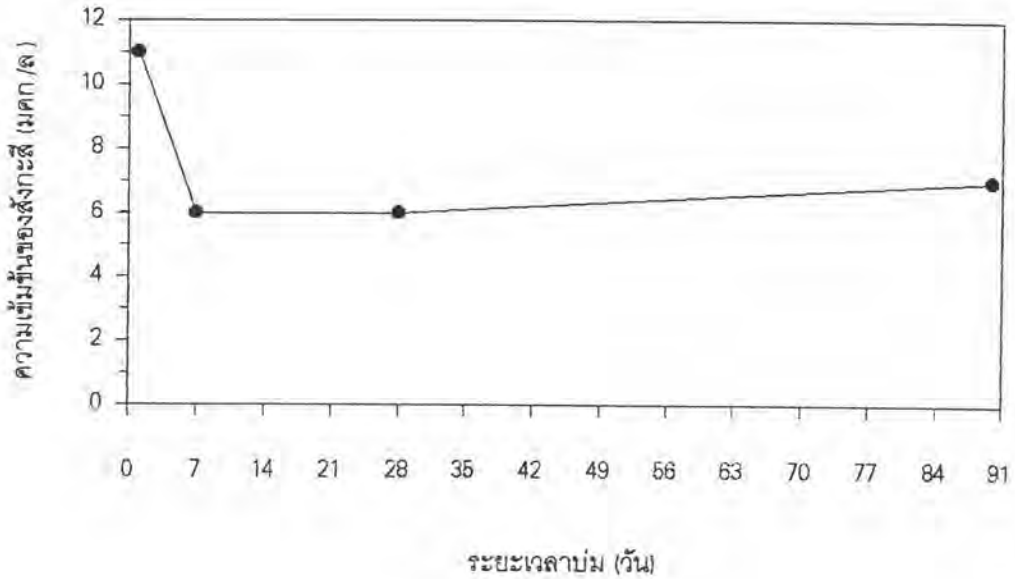
ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วันมีค่าระหว่าง 6 และ 11 มคก./ล. จากรูปที่ 5.28 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสังกะสีลดต่ำลงอย่างไม่สำคัญ โดยมีความเข้มข้นของสังกะสีสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วันเท่ากับ 11 มคก./ล. หลังจากระยะเวลาบ่ม 7 วันความเข้มข้นของสังกะสีค่อนข้างคงที่



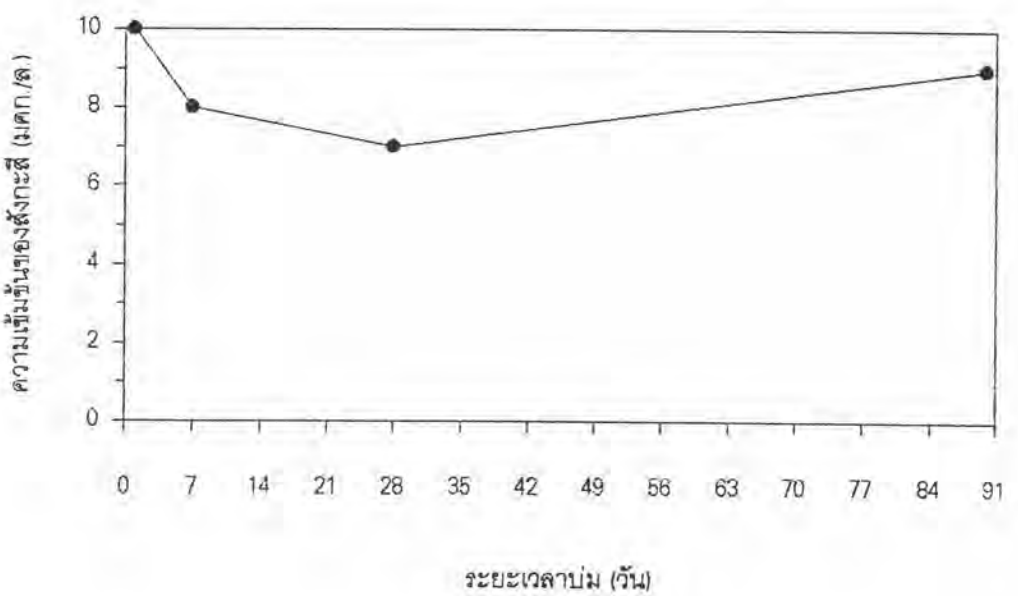
รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ11กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ11กับระยะเวลาบ่ม



รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 กับระยะเวลาบ่ม

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 28 และ 90 วันมีค่าระหว่าง 7 และ 10 มคก./ล. จากรูปที่ 5.29 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของสังกะสีลดต่ำลง โดยมีความเข้มข้นของสังกะสีสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน หลังจากระยะเวลาบ่ม 7 วันความเข้มข้นของสังกะสีไม่แตกต่างกันอย่างสำคัญ

3. <u>ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์</u>

นำกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่บ่มครบ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ประมาณ 12.8 กก./ตร.ซม. มาบดให้มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 5.0 มม. หนัก 1,630 กรัม บรรจุลงคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ทำการทดลองให้น้ำประปา (ปรับให้มีค่าพีเอช 5.8-6.3) ไหลชะผ่าน การทดลองเช่นเดียวกันใช้กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ได้ประมาณ 2 กก./ตร.ซม. บดให้มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 5.0 มม. หนัก 1,320 กรัมบรรจุลงคอลัมน์ โดยทดลองชุดละ 1 คอลัมน์ รวมทั้งทำคอลัมน์บรรจุทรายอย่างเดียวใช้เป็นคอลัมน์ควบคุม แล้วเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวมที่ระยะเวลาเริ่มต้น 1 วัน 7 วัน 14 วัน 28 วัน 63 วัน และ 90 วัน โดยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช ความเป็นด่าง และความเข้มข้นของโลหะหนัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดลองการชะละลายในคอลัมน์ ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายในคอลัมน์ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก(มิลลิกรัม)ในกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนหนัก 1,630 กรัม	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม)ในกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนหนัก 1,320 กรัม
อาร์เซนิค	875.31	9.77
แคดเมียม	272.21	14.19
โครเมียม	23.88	23.56
ปรอท	19.56	2.64
ตะกั่ว	550.94	352.44
สังกะสี	47,237.4	4,746.72

*ค่าเฉลี่ยจาก 2 ตัวอย่าง

ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักแห้งแสดงในตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ10 ที่ระยะเวลาชะละลายต่างๆ

ระยะเวลาชะละลาย		ความเป็นด่าง	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
(วัน)	พีเอช	(มก./ล.)	อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
เวลาเริ่มต้น	9.75	-	51	nd	30	nd	21	50
1	9.73	76	69	nd	17	nd	nd	6
7	9.63	70	28	nd	12	nd	nd	8
14	9.98	86	16	nd	2	nd	nd	32
28	9.51	70	25	nd	nd	nd	nd	40
63	8.89	52	17	nd	nd	nd	7	7
90	8.62	64	6	nd	nd	nd	7	7
มาตรฐานน้ำทิ้ง	5-9	-	<0.25 มก./ล.	<0.03 มก./ล	<0.5 มก./ล.	<0.005 มก./ล.	<0.2 มก./ล.	<5 มก./ล.

*1 ตัวอย่าง

nd= not detected แคดเมียม <2 มคก./ล ,โครเมียม <2 มคก./ล ,ปรอท <2 มคก./ล ,ตะกั่ว <5 มคก./ล

ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งแสดงในตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ที่ระยะเวลาชะละลายต่างๆ

ระยะเวลาชะละลาย		ความเป็นด่าง	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
(วัน)	พีเอช	(มก./ล.)	อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
เวลาเริ่มต้น	9.66	-	4	nd	568	nd	nd	34
1	9.90	134	4	nd	218	nd	nd	6
7	10.00	136	2	nd	35	nd	nd	9
14	9.94	112	nd	nd	27	nd	nd	7
28	9.58	88	nd	nd	13	nd	nd	14
63	8.64	60	nd	nd	8	nd	nd	8
90	8.37	66	nd	nd	5	nd	nd	7
มาตรฐานน้ำทิ้ง	5-9	-	<0.25 มก./ล.	<0.03 มก./ล.	<0.5 มก./ล.	<0.005 มก./ล.	<0.2 มก./ล.	<5 มก./ล.

*1 ตัวอย่าง

nd= not detected แคดเมียม <2 มคก./ล ,โครเมียม <2 มคก./ล ,ปรอท <2 มคก./ล ,ตะกั่ว <5 มคก./ล

ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ควบคุมแสดงในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายในคอลัมน์ควบคุม

ระยะเวลาชะละลาย (วัน)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก./ล.)	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
			อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
เวลาเริ่มต้น	6.95	-	nd	nd	nd	nd	nd	64
1	6.28	26	nd	nd	nd	nd	nd	102
7	6.76	30	nd	nd	nd	nd	nd	73
14	6.53	22	nd	nd	nd	nd	nd	334
28	6.79	44	nd	nd	nd	nd	nd	170
63	6.82	30	nd	nd	nd	nd	nd	190
90	6.46	28	nd	nd	nd	nd	nd	216

*1 ตัวอย่าง

nd= not detected อาร์เซนิค <2 มคก./ล. , แคดเมียม <2 มคก./ล. ,โครเมียม <2 มคก./ล. , ปรอท <2 มคก./ล. ,ตะกั่ว <5 มคก./ล.

ปริมาณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 90 วันของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งแสดงในตารางที่ 5.23 และของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งแสดงในตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.23 ผลคำนวณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ในช่วงระยะเวลาชะละลาย 90 วัน

ระยะเวลาชะละลาย (วัน)	สัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย (ร้อยละ)					
	อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	0.04	na	0.62	na	0.015	0.0004
7	0.22	na	2.53	na	na	0.0008
14	0.33	na	3.94	na	na	0.003
28	0.58	na	na	na	na	0.011
63	0.87	na	na	na	na	0.023
90	1.03	na	na	na	na	0.025

*na = not applicable เนื่องจากความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าขีดจำกัดในการวัดของเครื่องมือวิเคราะห์

ตารางที่ 5.24 ผลคำนวณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ในช่วงระยะเวลาชะละลาย 90 วัน

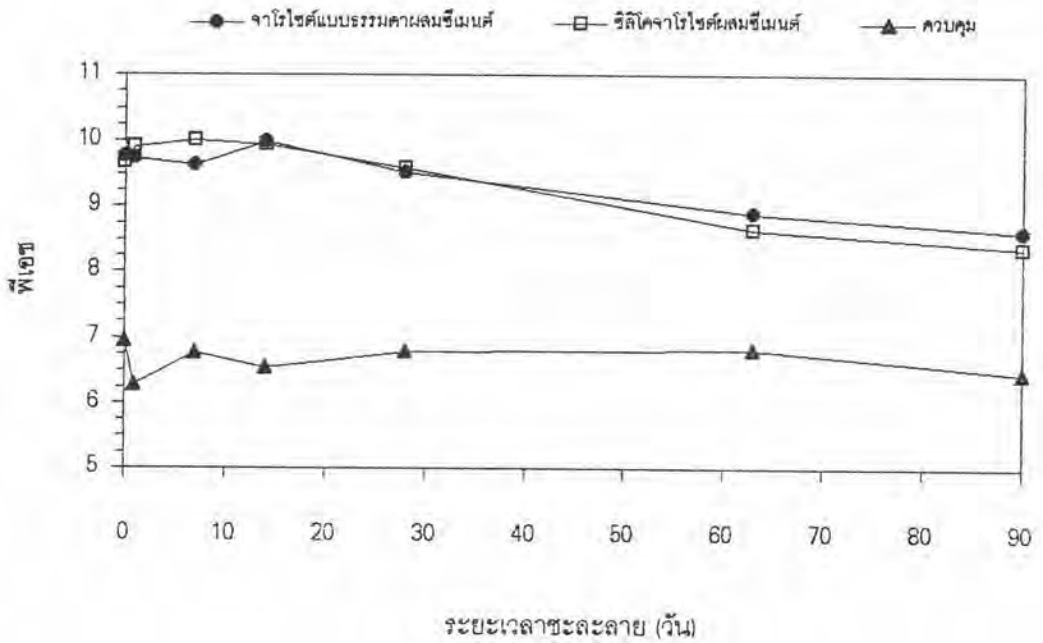
ระยะเวลาชะละลาย (วัน)	สัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย (ร้อยละ)					
	อาร์เซนิค	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	0.24	na	10.84	na	na	0.003
7	1.11	na	27.72	na	na	0.008
14	na	na	33.63	na	na	0.015
28	na	na	42.51	na	na	0.04
63	na	na	53.37	na	na	0.1
90	na	na	56.63	na	na	0.12

*na = not applicable เนื่องจากความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าขีดจำกัดในการวัดของเครื่องมือวิเคราะห์

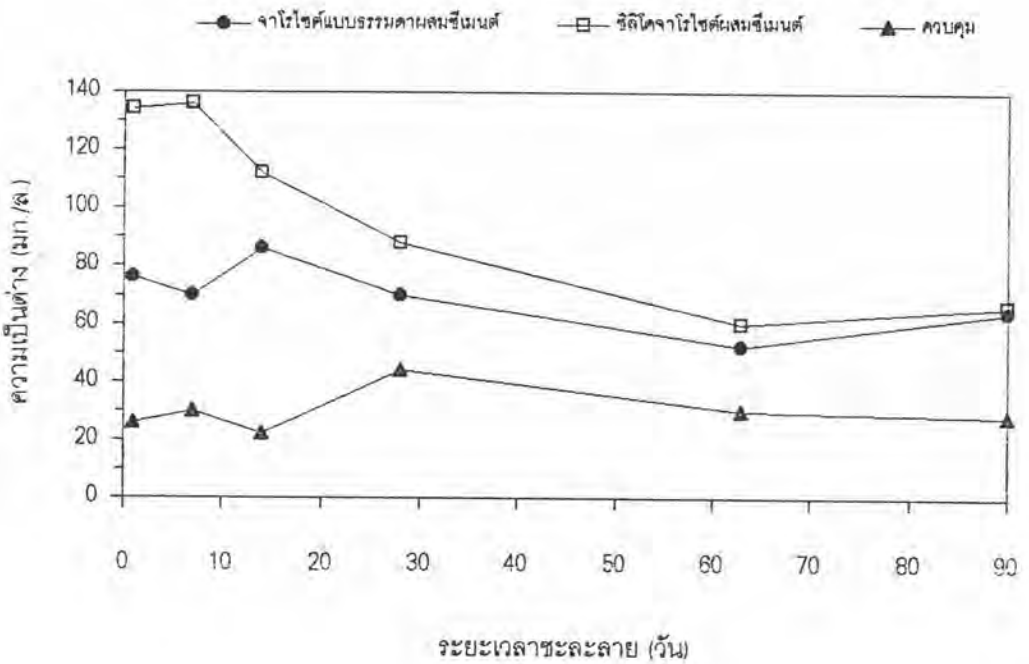
3.1 <u>พีเอช</u>

พีเอชของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 8.62 และ 9.98 ในช่วงระยะเวลาชะละลาย 90 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5.20 และจากรูปที่ 5.30 พบว่ามีการลดลงอย่างช้าๆของพีเอชตลอดช่วงระยะเวลาชะละลาย 90 วัน โดยพีเอชมีค่าสูงในช่วง 14 วันแรกของการชะละลาย หลังจากนั้นพีเอชได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุที่พีเอชสูงในช่วงแรกเกิดจากสภาพด่างขององค์ประกอบในส่วนผสมปูนซีเมนต์ เมื่อระยะเวลาชะละลายเพิ่มขึ้นองค์ประกอบในส่วนผสมปูนซีเมนต์ถูกชะล้างออกมา ทำให้พีเอชมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง

พีเอชของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้งอยู่ระหว่าง 8.37 และ 10.0 ในช่วงระยะเวลาชะละลาย 90 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5.21 และจากรูปที่ 5.30 แสดงให้เห็นว่ามีการลดลงของพีเอชอย่างช้าๆเมื่อระยะเวลาชะละลายเพิ่มขึ้น ในช่วงระยะเวลาชะละลาย 14 วันพีเอชมีค่าไม่แตกต่างกันมากโดยสูงเกิน 9.60 แต่หลังจาก 14 วัน พีเอชมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าประมาณ 8.37 ที่ระยะเวลาชะละลาย 90 วัน



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย

3.2 ความเป็นด่าง

ความเป็นด่างของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าอยู่ระหว่าง 52 และ 86 มก./ล. ในช่วงระยะเวลา 90 วัน จากรูปที่ 5.31 พบว่าความเป็นด่างมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาชะละลายเพิ่มขึ้นและหลังจาก 28 วันความเป็นด่างค่อนข้างคงที่ ความเป็นด่างของน้ำชะละลายไม่สูงมากแสดงว่าคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของความเป็นด่างที่เกิดขึ้น

ความเป็นด่างของน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าสูงสุดที่ช่วงแรกของการชะละลาย โดยมีค่าประมาณ 136 มก./ล. ที่วันที่ 7 ของการชะละลาย หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาชะละลายเพิ่มขึ้นความเป็นด่างลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าประมาณ 66 มก./ล ที่ระยะเวลาชะละลาย 90 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5.31

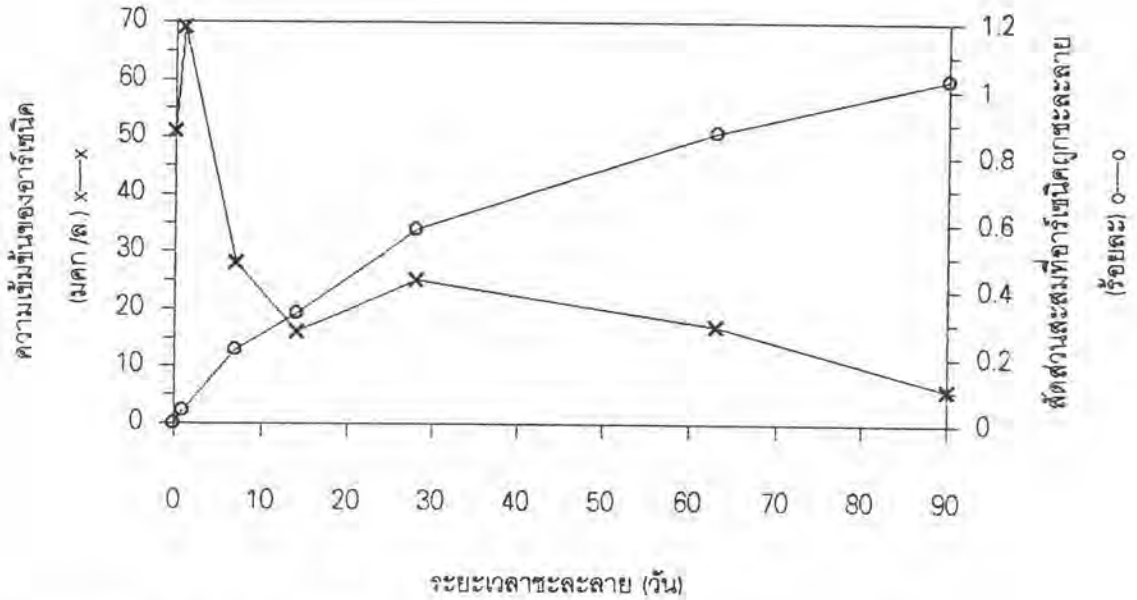
3.3 อาร์เซนิค

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาชะละลายเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.32 โดยความเข้มข้นของอาร์เซนิคมีค่าสูงสุดประมาณ 69 มคก./ล ที่ระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นความเข้มข้นของอาร์เซนิคลดต่ำลงอย่างช้าๆตามระยะเวลาชะละลายที่เพิ่มขึ้น จนลดลงเหลือประมาณ 6 มคก./ล. ที่ระยะเวลาชะละลาย 90 วัน จากตารางที่ 5.23 ปริมาณอาร์เซนิคที่ถูกชะละลายตลอดระยะเวลา 90 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.03 ของปริมาณอาร์เซนิคทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง

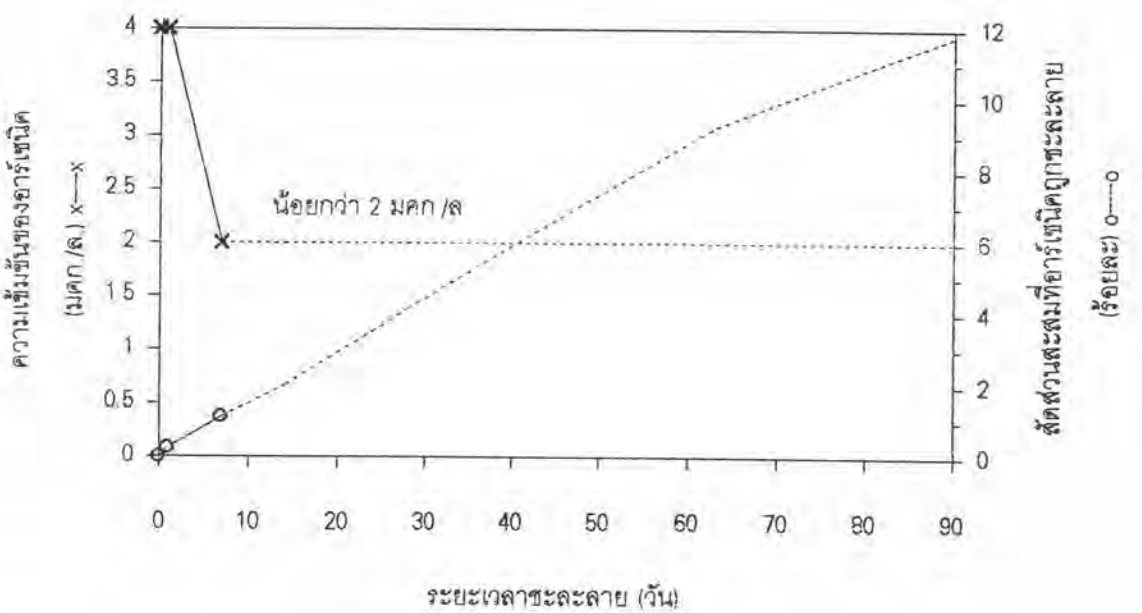
น้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีความเข้มข้นของอาร์เซนิคในปริมาณที่ต่ำ โดยความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 4 มคก./ล. ที่เวลาเริ่มชะละลาย จากนั้นความเข้มข้นของอาร์เซนิคลดต่ำลงตามระยะเวลาชะละลายที่เพิ่มขึ้นจนที่ระยะเวลา 14 วันความเข้มข้นของอาร์เซนิคลดต่ำกว่า 2 มคก./ล. ดังรูปที่ 5.33 ปริมาณอาร์เซนิคที่ถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 7 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.11 ของปริมาณอาร์เซนิคทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 5.24

3.4 แคดเมียม

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า 2 มคก./ล. ตลอดระยะเวลาชะละลายแสดงว่าแคดเมียมสามารถถูกจับยึดอยู่ในโครงสร้างซีเมนต์โดยถูกชะละลายออกมาได้น้อย (ตารางที่ 5.20)



รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่อาร์เซนิคถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่อาร์เซนิคถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ต่ำกว่า 2 มคก./ล. ตลอดระยะเวลาชะละลาย (ตารางที่ 5.21)

3.5 โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าสูงสุดประมาณ 30มคก./ล. ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการชะละลาย จากนั้นความเข้มข้นของโครเมียมลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาชะละลายที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าน้อยกว่า 2 มคก./ล. ที่ระยะเวลาชะละลายตั้งแต่ 28 วันถึง 90 วัน และจากรูปที่ 5.34 พบว่าโครเมียมถูกล้างออกในปริมาณมากที่ช่วงระยะเวลาเริ่มต้น ปริมาณโครเมียมที่ถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 14 วัน ประมาณร้อยละ 3.94 ของปริมาณโครเมียมทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าสูงสุดที่เวลาเริ่มต้นของการชะละลาย ซึ่งประมาณเท่ากับ 568 มคก./ล. เมื่อระยะเวลาชะละลายครบ 1 วันความเข้มข้นของโครเมียมลดต่ำลงอย่างสำคัญ แสดงว่ามีการล้างออกมาในช่วงต้นของการชะละลาย หลังจากนั้นความเข้มข้นของโครเมียมลดลงอย่างช้าๆตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.35 และจากรูปที่ 5.35 พบว่า ปริมาณโครเมียมที่ถูกชะละลายตลอดช่วงเวลา 90 วันประมาณร้อยละ 56 ของปริมาณโครเมียมทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง แสดงว่าโครเมียมสามารถถูกชะออกได้ง่าย

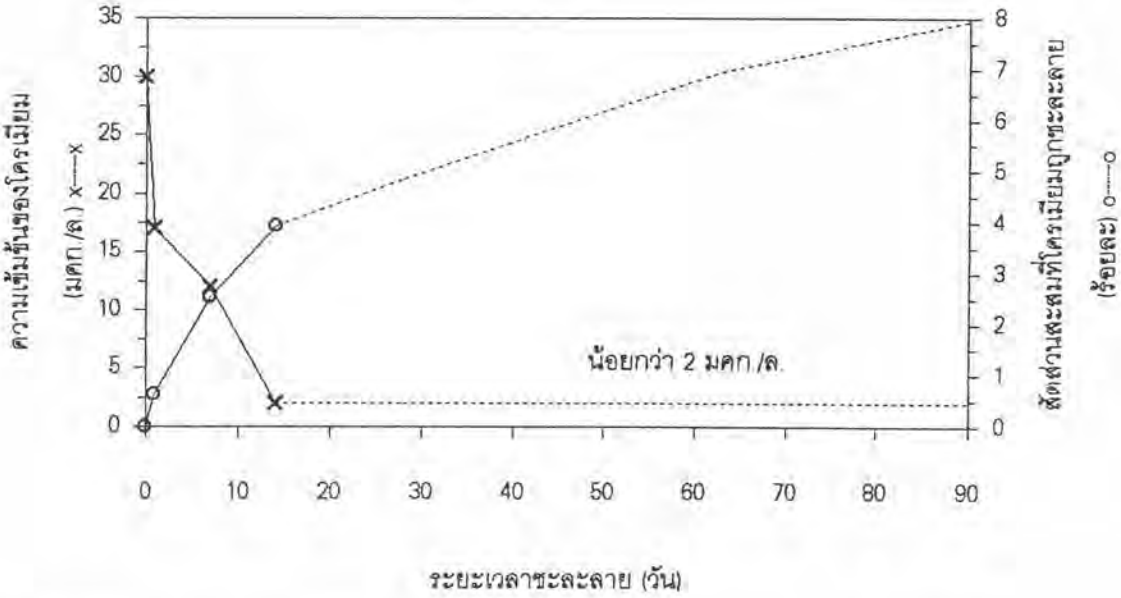
3.6 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาน้อยกว่า 2 มคก./ล. ตลอดช่วงระยะเวลาชะละลาย ดังแสดงในตารางที่ 5.20

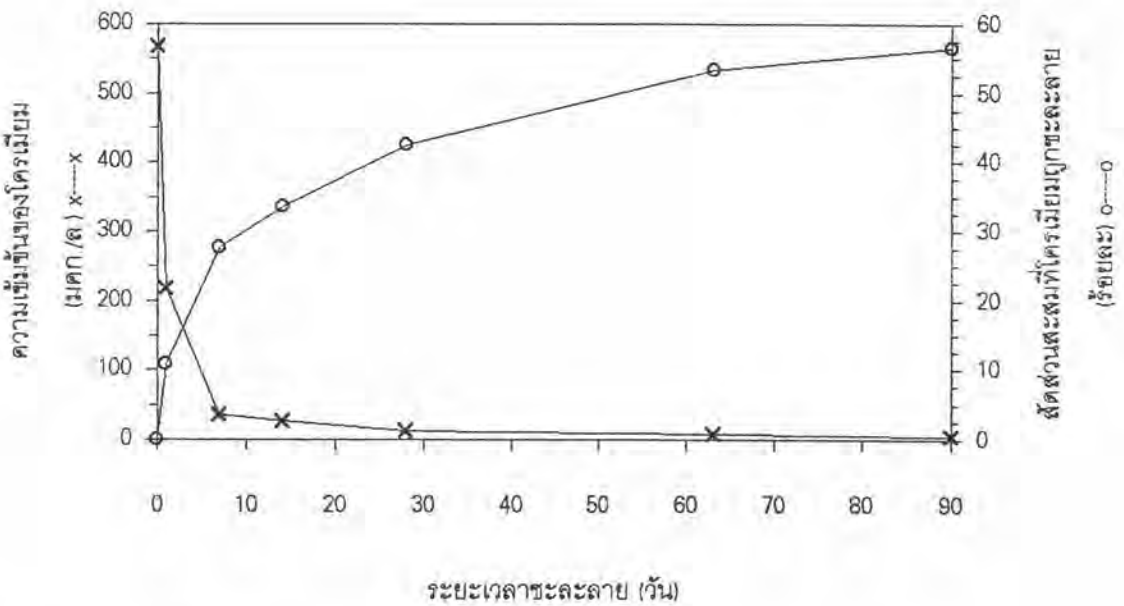
ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 น้อยกว่า 2 มคก./ล. ตลอดช่วงระยะเวลาชะละลาย ดังแสดงในตารางที่ 5.21

3.7 ตะกั่ว

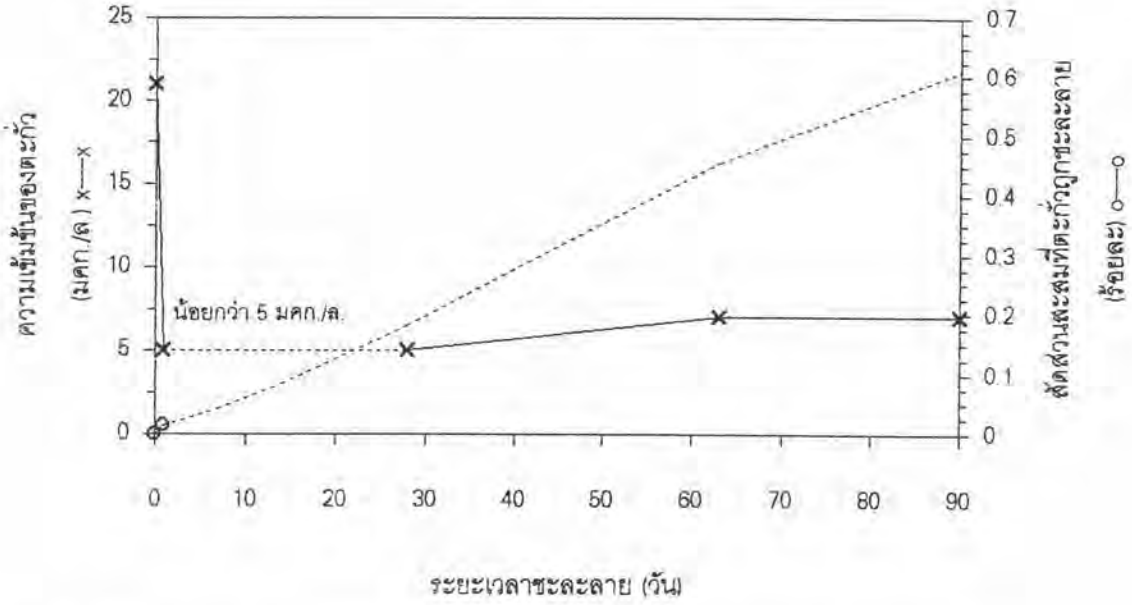
ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าสูงสุดประมาณ 20 มคก./ล. ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการชะละลาย จากนั้นความเข้มข้นของตะกั่วได้ลดลงอย่างมากโดยมีค่า



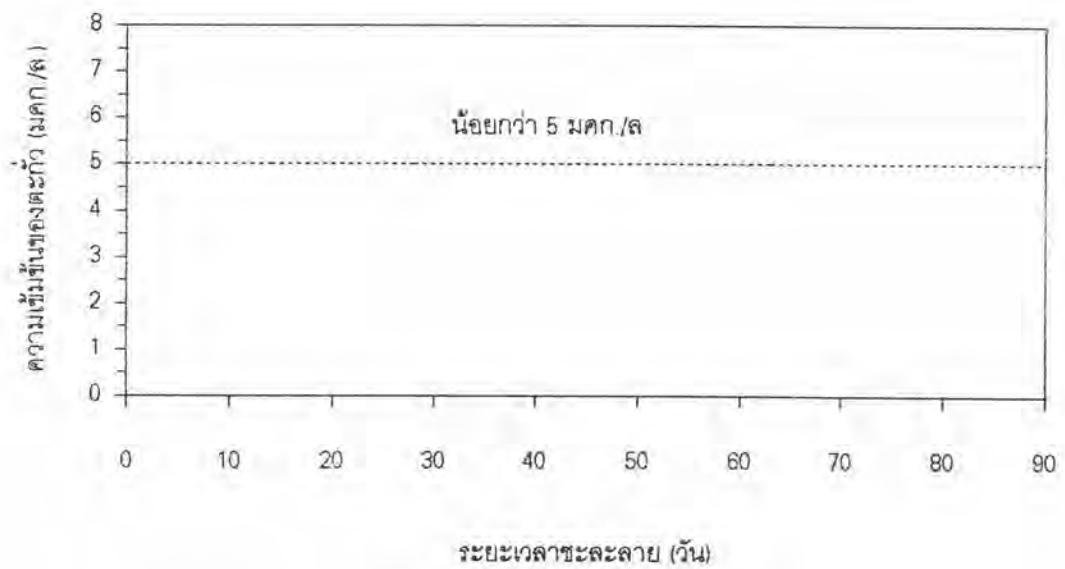
รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่โครเมียมถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่โครเมียมถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่ตะกั่วถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย

ต่ำกว่า 5 มคก./ล. จนถึงระยะเวลาชะละลายเท่ากับ 63 วัน ตรวจพบความเข้มข้นของตะกั่วอีกครั้งและคงที่ตลอดระยะเวลาชะละลาย ดังแสดงในรูปที่ 5.36 และปริมาณตะกั่วที่ถูกชะละลายทั้งหมดคำนวณได้น้อยกว่าร้อยละ 0.61 ของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 น้อยกว่า 5 มคก./ล. ตลอดระยะเวลาชะละลายดังแสดงในรูปที่ 5.37 เนื่องจากปริมาณตะกั่วที่มีอยู่น้อยในกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

3.8 สังกะสี

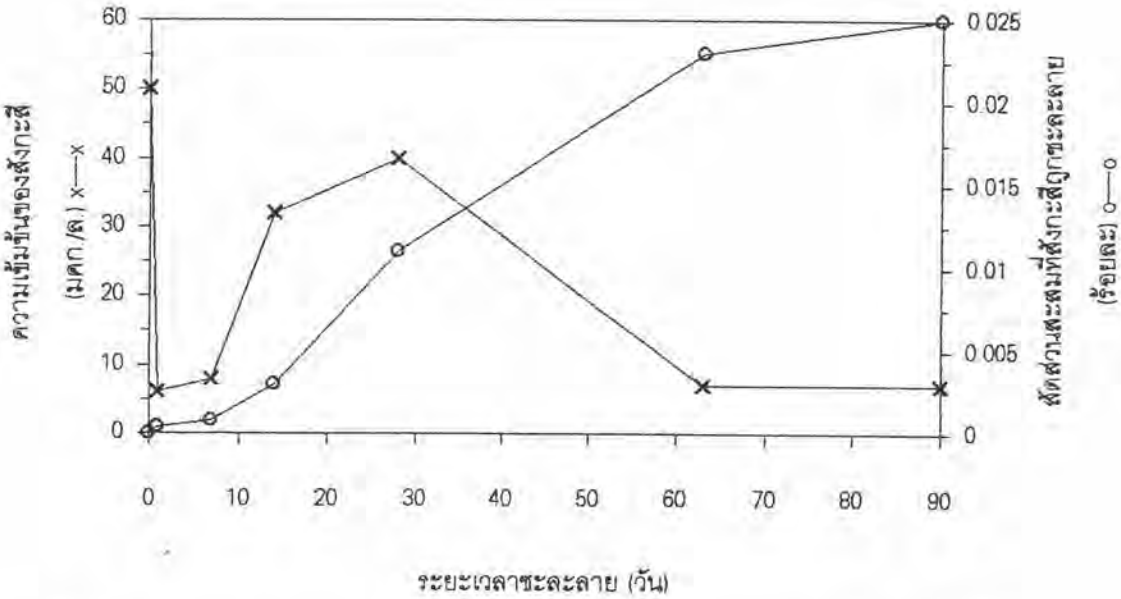
น้ำชะละลายจากคอลัมน์ควบคุมตรวจพบว่ามีปริมาณสังกะสี ดังแสดงในตารางที่ 5.22

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีค่าสูงสุดประมาณ 50 มคก./ล. ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการชะละลาย จากนั้นความเข้มข้นของสังกะสีลดต่ำลงจนเกือบคงที่ ยกเว้นระยะเวลาชะละลายที่ 14 และ 28 วัน ซึ่งมีการแกว่งสูงขึ้นของความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 5.38 สาเหตุเนื่องจากพบปริมาณสังกะสีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำชะละลาย และปริมาณสังกะสีที่ถูกชะละลายทั้งหมดคำนวณได้ประมาณร้อยละ 0.025 ของปริมาณสังกะสีทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง แสดงว่าสังกะสีถูกชะละลายออกมาได้น้อยมาก

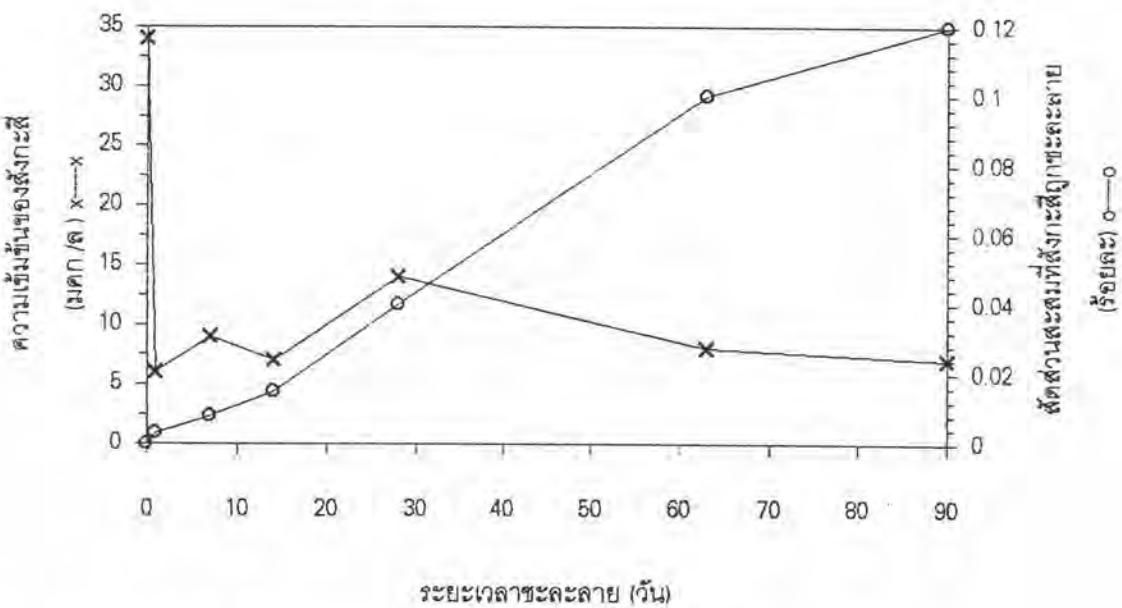
ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าสูงสุดประมาณ 34 มคก./ล. ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการชะละลายและลดต่ำอย่างสำคัญที่ระยะเวลา 1 วัน จากนั้นความเข้มข้นของสังกะสีลดลงอย่างช้าๆตามระยะเวลาชะละลายที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ามีการแกว่งขึ้นลงบ้าง ยกเว้นระยะเวลาชะละลายที่ 28 วัน ซึ่งความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าประมาณ14 มคก./ล อาจเนื่องจากตรวจพบปริมาณสังกะสีเป็นองค์ประกอบในน้ำชะละลาย ดังรูปที่ 5.39 และเมื่อคำนวณสัดส่วนสะสมที่สังกะสีถูกชะละลาย พบว่า ปริมาณสังกะสีที่ถูกชะละลายทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.12 ของปริมาณสังกะสีทั้งหมดในก้อนตัวอย่าง

4. ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างภายใน

การศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาและกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง รวมทั้งกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วย



รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่สังกะสีถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย



รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายและสัดส่วนสะสมที่สังกะสีถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 กับระยะเวลาชะละลาย

ปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง วิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วยวิธี X-ray diffraction และ ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน

4.1 X-ray diffraction

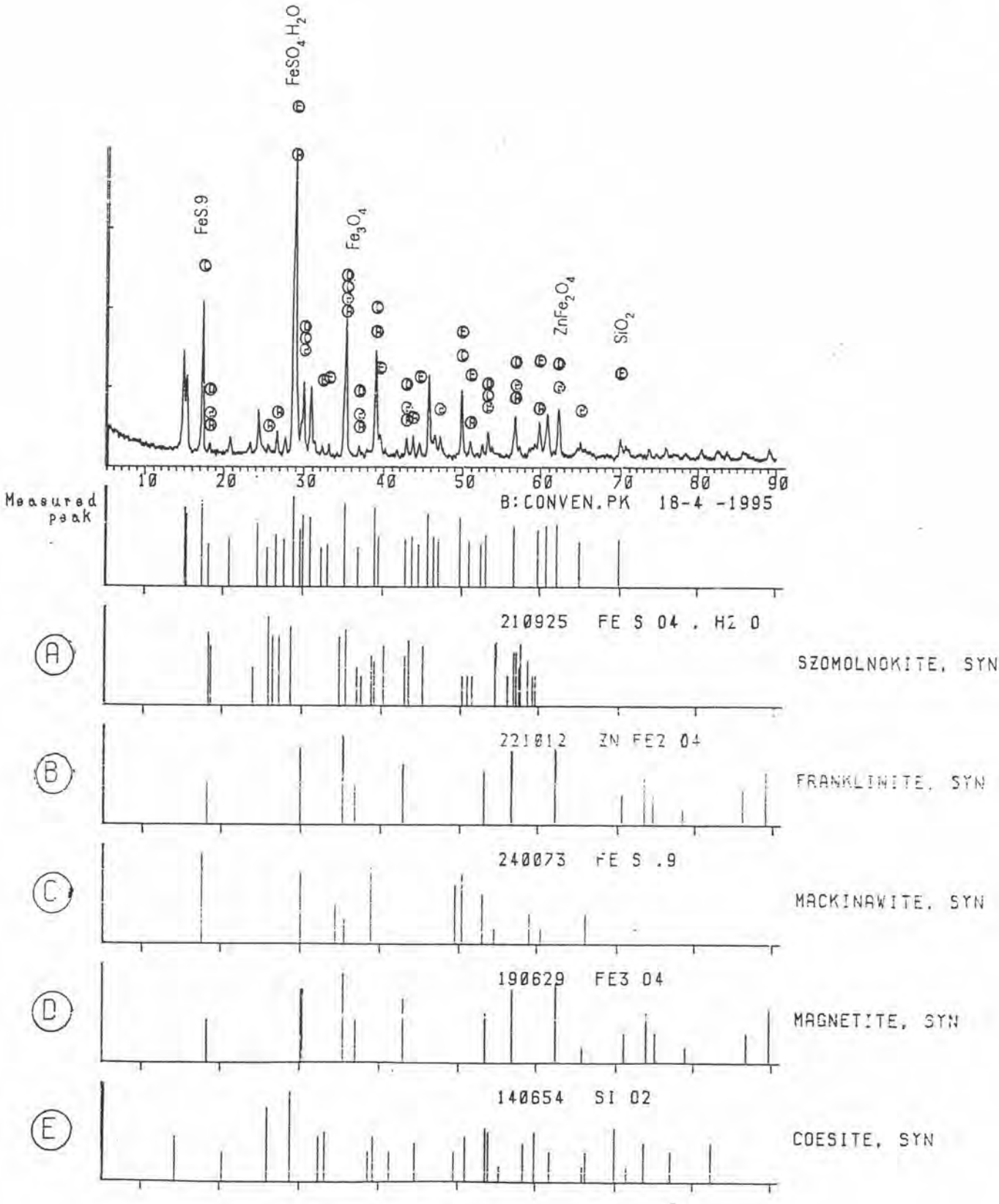
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาพบสารประกอบ $FeSO_4.H_2O$ และ $ZnFe_2O_4$ เป็นส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 5.52 และกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน พบ สารประกอบ $CaSO_3$ และ CaO_2 เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 5.53 และ รูปที่ 5.54 จาก diffraction ที่วัดได้แสดงว่าองค์ประกอบของโครงสร้างซีเมนต์หลักไม่ปรากฏ อาจเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนน้อยเกินไป

กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์พบสารประกอบ SiO_2 เป็นส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 5.55 และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน พบ สารประกอบ SiO_2 อย่างเด่นชัด และพบ $Ca1.5SiO_3.5.xH_2O$ อย่างไม่เด่นชัด ซึ่ง SiO_2 เป็นสารประกอบที่มีอยู่เดิมในกากตะกอน แต่ $Ca1.5SiO_3.5.xH_2O$ เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.56 และ 5.57

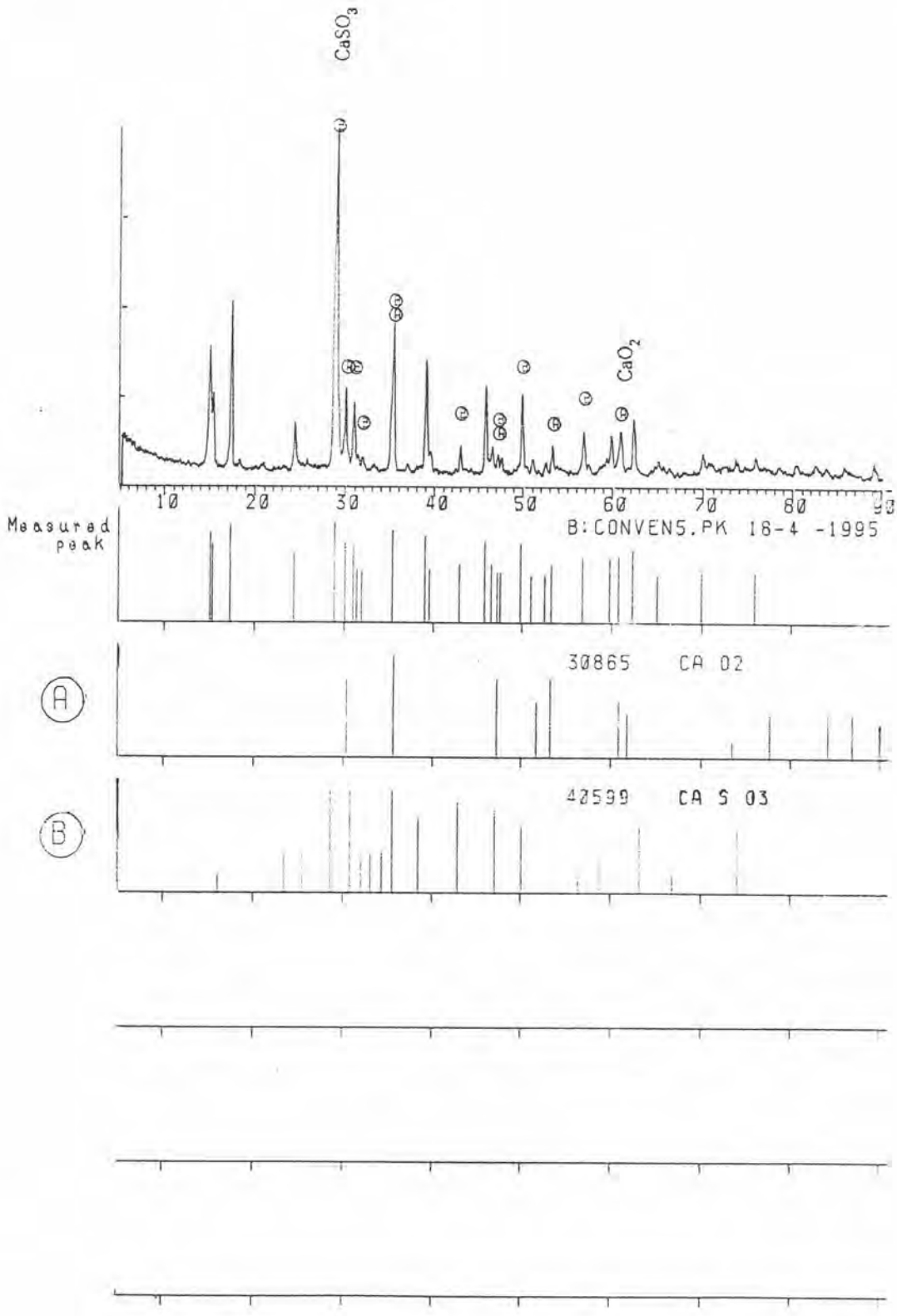
4.2 ลักษณะทางกายภาพโดยใช้ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน

รูปที่ 5.58 แสดงลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ขนาดกำลังขยาย 9,000 เท่า พบว่า อนุภาคของกากตะกอนมีลักษณะเป็นผลึกที่มีขนาดต่างๆ กันและมีรูปร่างไม่แน่นอน รูปที่ 5.59 แสดงลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ที่ขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า มีผลึกแท่งเข็มเกิดขึ้นบนอนุภาคกากตะกอน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

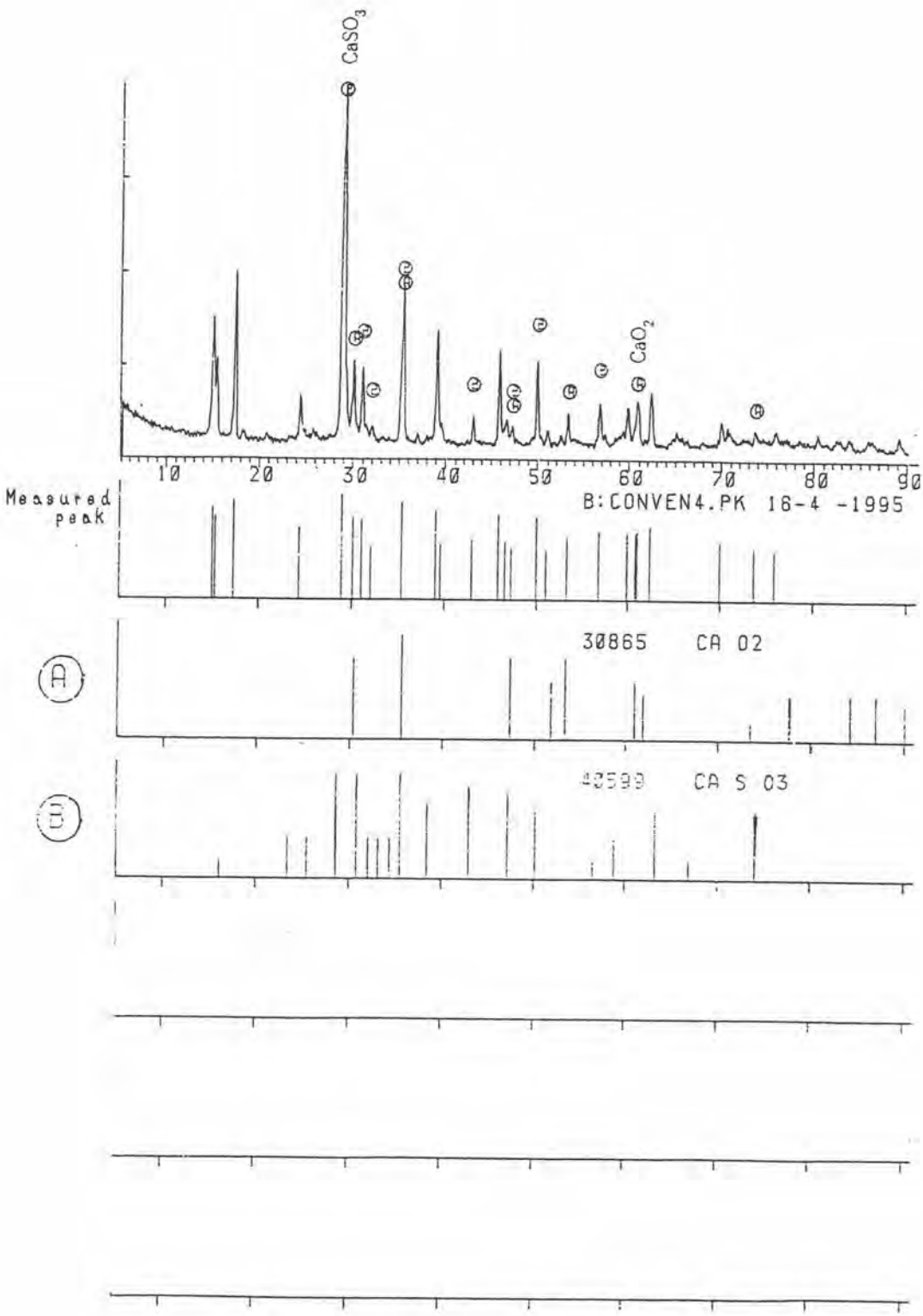
รูปที่ 5.60 แสดงลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ขนาดกำลังขยาย 9,000เท่า พบว่า อนุภาคของกากตะกอนมีลักษณะเป็นผลึกที่มีขนาดต่างๆ กันและมีรูปร่างไม่แน่นอน รูปที่ 5.61 แสดงลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ที่ขนาดกำลังขยาย 9,000เท่า พบว่า ลักษณะส่วนใหญ่ยังเหมือนกากตะกอนดิบแต่มีผลึกแท่งเข็มเกิดขึ้นบนอนุภาคกากตะกอนบางอนุภาค



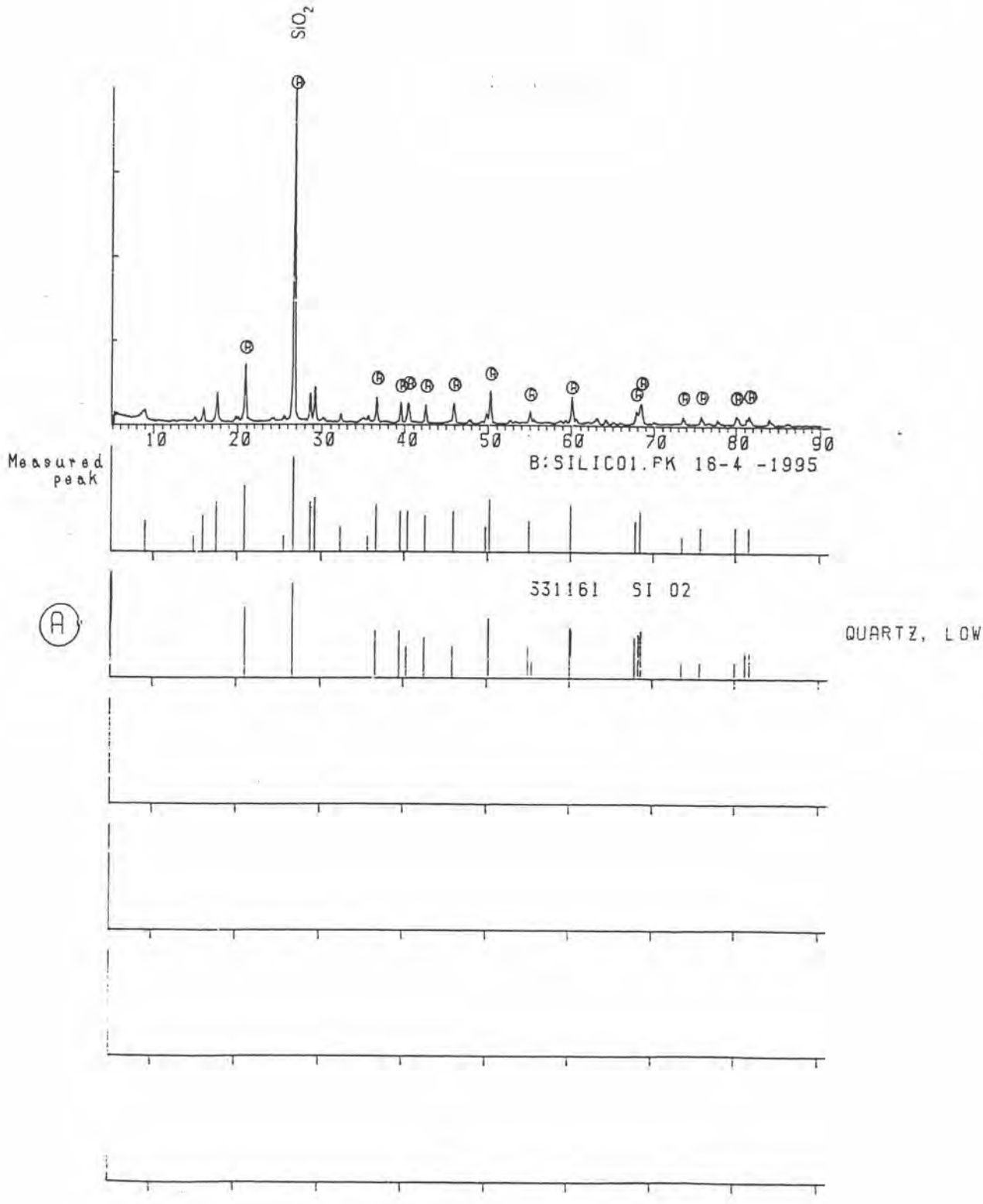
รูปที่ 5.40 X-ray diffraction ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา



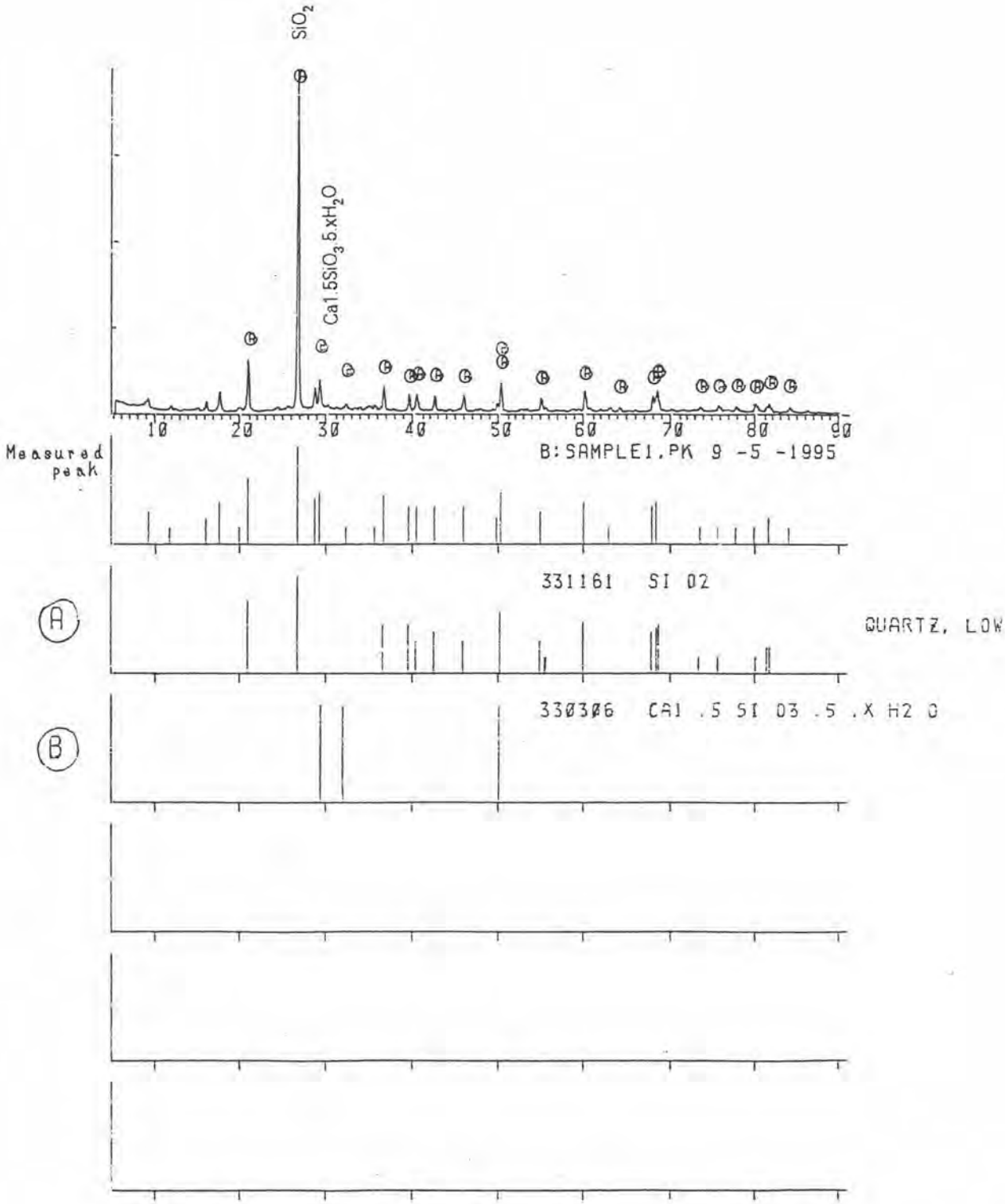
รูปที่ 5.41 X-ray diffraction ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน



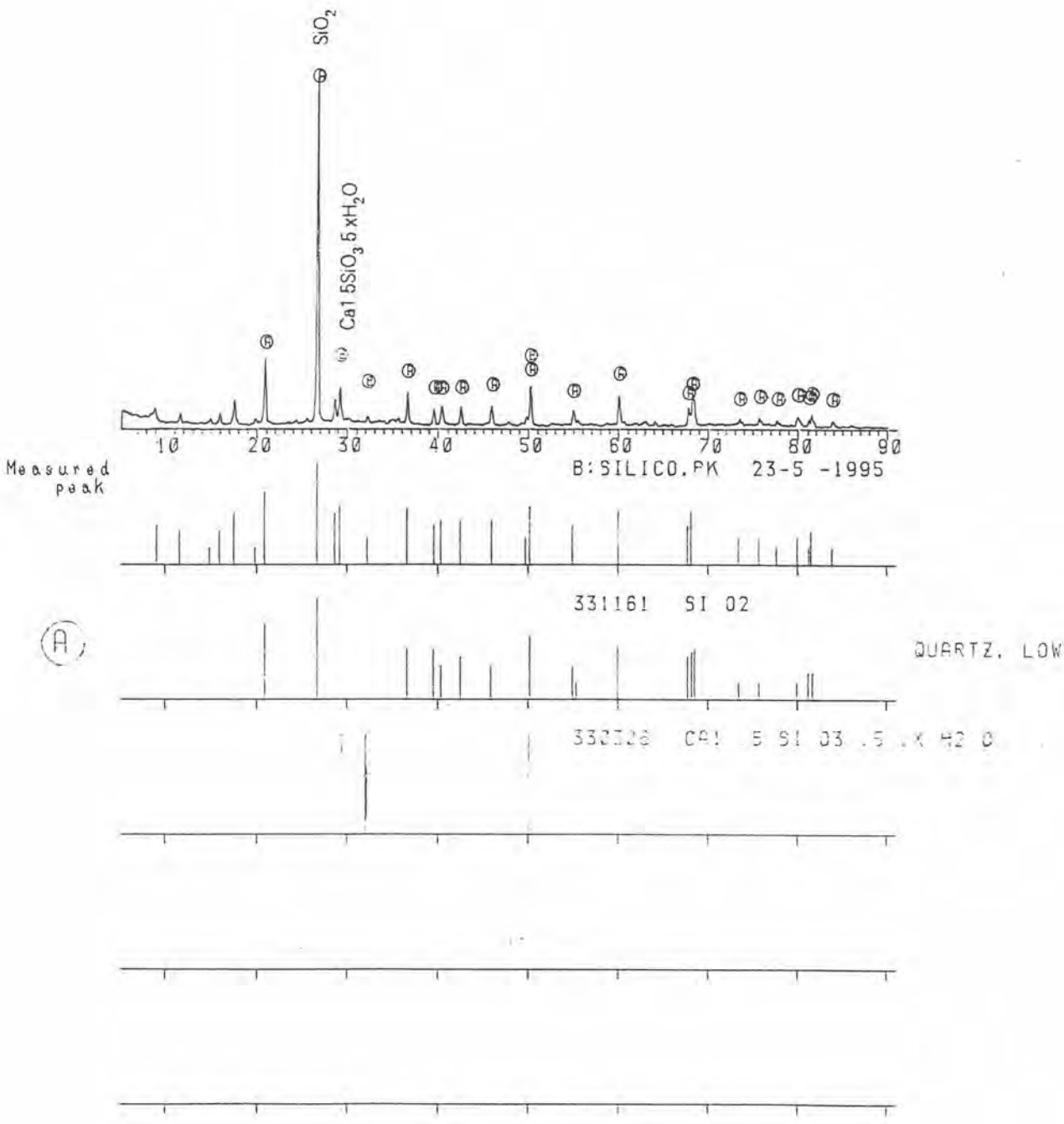
รูปที่ 5.42 X-ray diffraction ของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน



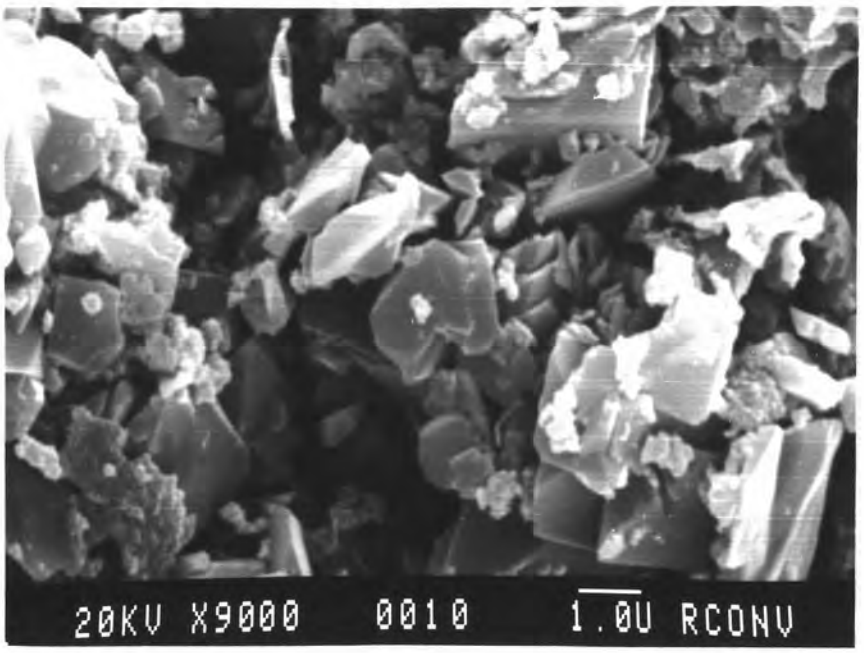
รูปที่ 5.43 X-ray diffraction ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์



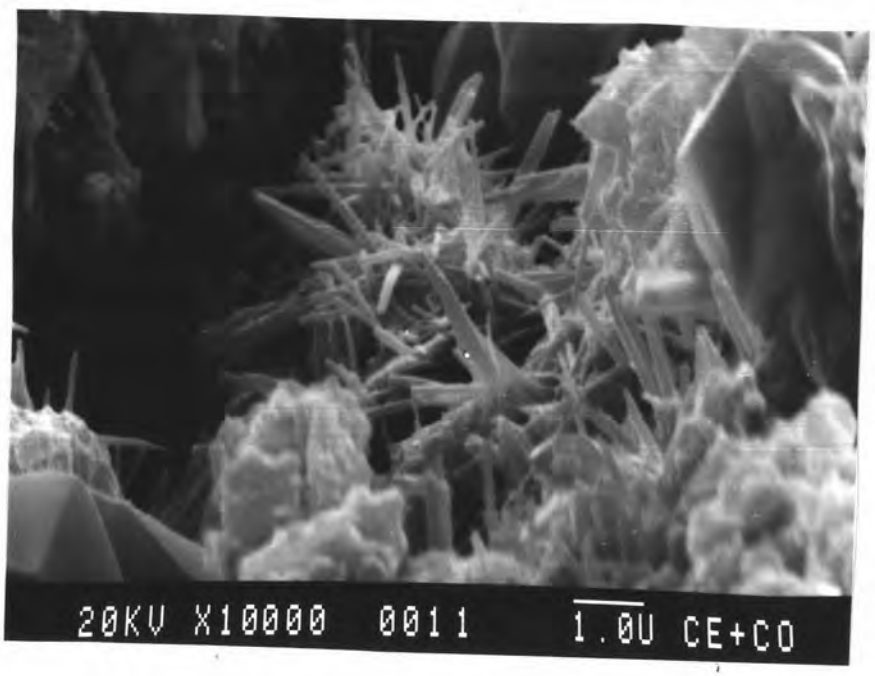
รูปที่ 5.44 X-ray diffraction ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน



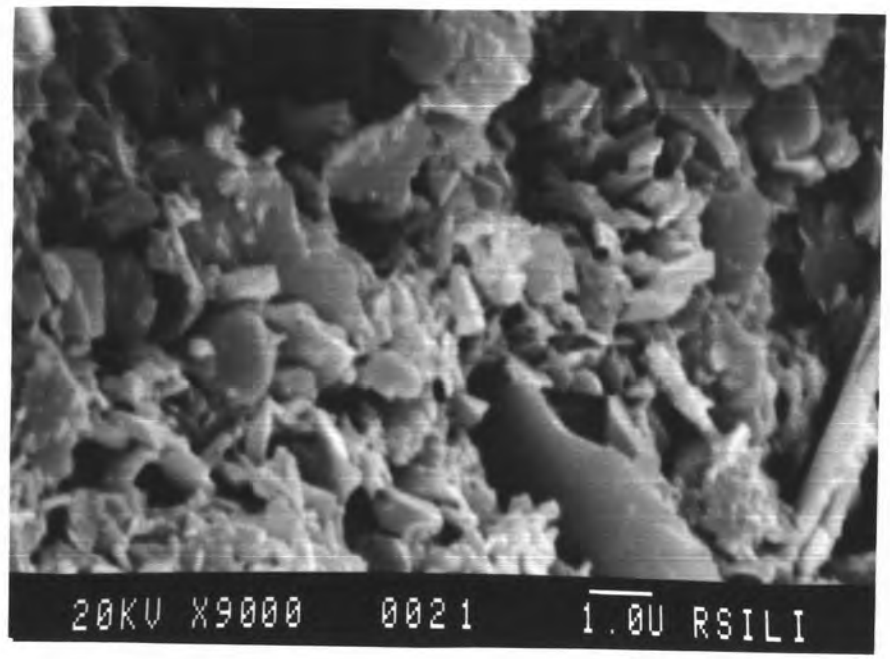
รูปที่ 5.45 X-ray diffraction ของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน



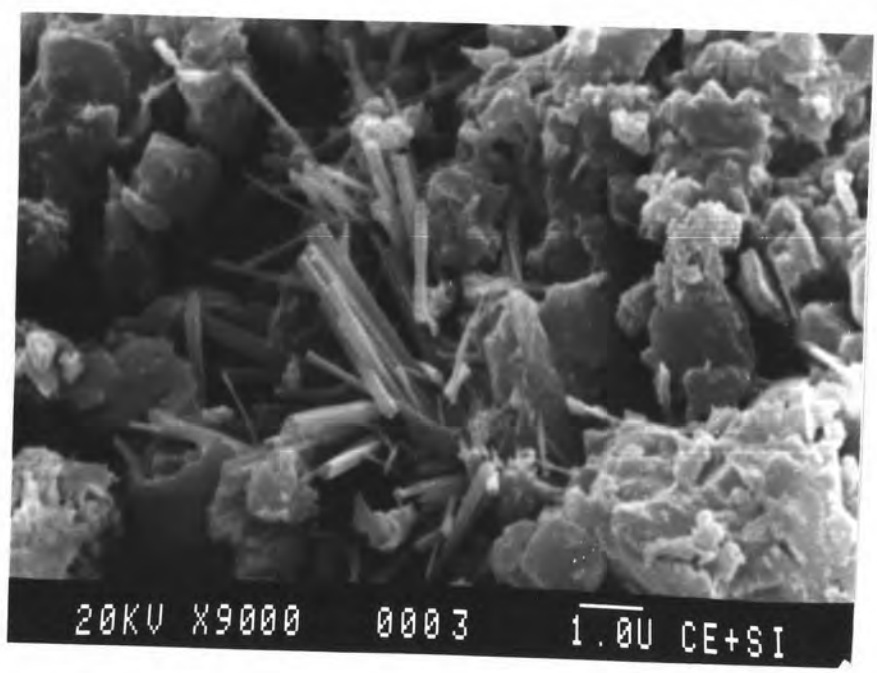
รูปที่ 5.46 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอนของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา ที่ขนาดกำลังขยาย 9,000 เท่า



รูปที่ 5.47 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอนของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ขนาดกำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.48 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอนของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ขนาดกำลังขยาย 9,000 เท่า



รูปที่ 5.49 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอนของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ขนาดกำลังขยาย 9,000 เท่า

5. สรุปผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

5.1 กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนทั้ง2 ประเภทที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดส่วนใหญ่จะพัฒนาในช่วง 28 วันแรก หลังจากนั้นกำลังรับแรงอัดยังคงเพิ่มขึ้นแต่ด้วยอัตราการเพิ่มที่น้อยลง

5.2 เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าลดลงในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก นอกจากตะกั่วที่ระยะเวลาบ่มมีผลอย่างสำคัญ สำหรับอาร์เซนิคเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้นแต่ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

5.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายในคอลัมน์พบว่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากโครเมียมที่ถูกชะออกมาสูงเกินมาตรฐานในระยะเวลาเริ่มต้น และรูปแบบการชะละลายของโลหะหนักที่เกิดขึ้นมีลักษณะดังนี้ คือ โลหะหนักถูกชะละลายมากในช่วงเวลาเริ่มต้นของการชะละลาย จากนั้นโลหะหนักถูกชะละลายอย่างช้าๆตามระยะเวลาชะละลายที่เพิ่มขึ้น

การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์

ในการสกัดสังกะสีออกไซด์ 2 ตัน จะได้โลหะสังกะสีประมาณ 1 ตัน และจะเกิดกากตะกอนจาโรไซต์ประมาณ 0.53 ตัน กำลังการผลิตที่ทางบริษัทกำหนดไว้ในปี พ.ศ. 2538 คือ 74,000 ตันต่อปี และในปีพ.ศ. 2539 จะเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 95,000 ตันต่อปี ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้กำลังการผลิตสังกะสีของปีพ.ศ. 2538 คือ 74,000 ตันต่อปี ดังนั้นจึงเกิดกากตะกอนจาโรไซต์ที่ต้องนำไปกำจัดประมาณ 39,220 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน
2. ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ
3. ค่าฝังกลบ

1. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน สามารถแบ่งได้เป็น ค่าวัสดุในการทำให้เป็นก้อนและค่าแรงงาน

1.1 กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง สามารถทำกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาให้เป็นก้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 11เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ปริมาณน้ำปรรจุของกากตะกอนประมาณร้อยละ 29 ดังนั้นในการทำกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาให้เป็นก้อนเมื่อน้ำหนักกากตะกอนดิบเท่ากับ 1 ตัน ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 1x 0.71x 0.11= 0.0781 ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามท้องตลาดราคาตันละ 1,850 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาให้เป็นก้อนต่อน้ำหนักกากตะกอน 1 ตัน เท่ากับ 0.0781x 1,850 = 145 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

ในงานผสมคอนกรีตสำเร็จรูป ค่าแรงงานที่ใช้ในการผสมประมาณร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 30 ของราคาวัสดุ เนื่องจากการผสมเพื่อทำให้เป็นก้อนไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงนัก ดังนั้นจึงกำหนดค่าแรงประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ค่าแรงในส่วนนี้จึงเท่ากับ 29 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนจึงเท่ากับ 174 บาทต่อน้ำหนักกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา 1 ตัน

1.1 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์สามารถทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ที่ปริมาณน้ำปรรจุของกากตะกอนประมาณร้อยละ 40 ดังนั้นในการทำกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ให้เป็นก้อนปริมาณ 1 ตัน ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 1x 0.60x 0.15 = 0.09 ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามท้องตลาดราคาตันละ 1,850 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ให้เป็นก้อนต่อน้ำหนักกาก 1 ตัน เท่ากับ 0.09 x 1,850 = 167 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

เมื่อกำหนดค่าแรงประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ค่าแรงในส่วนนี้จึงเท่ากับ 33 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการทำให้กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ให้เป็นก้อนจึงเท่ากับ 200 บาทต่อน้ำหนักกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ 1 ตัน

2. ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ

การผลิตสังกะสีทำที่โรงงานในจังหวัดตาก ซึ่งทางโรงงานมีเนื้อที่มากมาย ดังนั้น การฝังกลบจึงฝังกลบในที่ดินของโรงงาน ซึ่งระยะทางในการขนส่งประมาณ 1 กิโลเมตร การคิดราคาในส่วนนี้ทางผู้วิจัยได้สอบถามทางโรงงาน ซึ่งทางโรงงานแจ้งว่า ได้จ้างผู้ขนส่งในราคาประมาณ 45 บาทต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน ซึ่งเป็นราคาที่สมเหตุผลจึงขอกำหนดราคาตามที่ทางโรงงานแจ้งไว้

3. ค่าฝังกลบ

เนื่องจากทางโรงงานมีที่ดินอยู่มากมาย จึงฝังกลบในที่ดินของทางโรงงาน การคิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ จึงคิดแค่ค่าขุดหลุมฝังกลบ โดยไม่คำนึงถึงราคาที่ดิน

ในการคิดค่าขุดหลุมฝังกลบต้องทราบปริมาตรของหลุมฝังกลบที่ต้องการ ซึ่งขนาดของหลุมฝังกลบจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของกากตะกอนที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้ว ในการคำนวณปริมาตรที่เกิดขึ้นของกากตะกอนที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน จะใช้ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change factor) ซึ่งมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$VCF = Ws/Wr \times Dr/Ds$$ โดยที่

VCF = ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

Wr = น้ำหนักของกากตะกอนดิบที่ใช้ (ตัน)

Ws = น้ำหนักของกากตะกอนที่ทำให้เป็นก้อน (Wr + น้ำหนักของวัสดุประสาน) (ตัน)

Dr = ความหนาแน่นรวมของกากตะกอนดิบ (ตัน/ลบ.ม.)

Ds = ความหนาแน่นรวมของกากตะกอนที่ทำให้เป็นก้อน (ตัน/ลบ.ม.)

ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภทแสดงในตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของกากตะกอนจาโรไซต์ทั้ง 2 ประเภท

ประเภทของกากตะกอน	Wr (ตัน)	Ws (ตัน)	Dr (ตัน/ลบ.ม.)	Ds (ตัน/ลบ.ม.)	VCF
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	1	1.0781	1.94	1.89	1.11
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	1	1.09	1.53	1.61	1.04

จากค่าการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไม่มากนัก

3.1 กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา

จากผลการคำนวณปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้เท่ากับ 1.11 แสดงว่า ในการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น 1.11 เท่า และจากอัตราการเกิดกากตะกอน 39,220 ตันต่อปี หรือเท่ากับ 20,217 ลบ.ม.ต่อปี เมื่อนำกากตะกอนมาทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้เกิดปริมาตรเพิ่มเป็น 22,440 ลบ.ม.ต่อปี ดังนั้นจึงต้องเตรียมหลุมฝังกลบที่มีปริมาตรประมาณ 22,440 ลบ.ม.สำหรับฝังกลบในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าต้องการฝังกลบในระดับความลึกประมาณ 5 เมตร ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 1 ปีต้องเตรียมพื้นที่ประมาณเท่ากับ 22,440/5 = 4,488 ตารางเมตร

กำหนดพื้นที่ก้นหลุมเท่ากับ 4,488 ตารางเมตร ให้ขอบหลุมมีความชัน 1 ใน 3 กำหนดหลุมเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้ปากหลุมมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 84 เมตร ดังนั้น พื้นที่ที่ต้องปูแผ่นพีวีซีและทำฐานรองรับทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ก้นหลุม รวมกับพื้นที่ขอบทั้ง 4 ด้าน = 4,488 + 3,020 = 7,508 ตารางเมตร

ราคาของผู้รับเหมาในการขุดดินพร้อมขนย้ายเท่ากับ 45 บาทต่อลบ.ม. และค่าปูแผ่นพีวีซีพร้อมทำฐานรองรับคิดในราคา 220 บาทต่อตารางเมตร

ดังนั้นในการเตรียมหลุมฝังกลบสำหรับระยะเวลาประมาณ 1 ปีต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ (22,440 x 45) + (7,508 x 220) = 2,661,560 บาทต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปีต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 2,661,560/39,220 = 68 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ

3.2 กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์

จากผลการคำนวณปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้เท่ากับ 1.04 แสดงว่า ในการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น 1.04 เท่า และจากอัตราการเกิดกากตะกอน 39,220 ตันต่อปี หรือเท่ากับ 25,634 ลบ.ม.ต่อปี เมื่อนำกากตะกอนมาทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้เกิดปริมาตรเพิ่มเป็น 26,660 ลบ.ม.ต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปีจึงต้องเตรียมหลุมฝังกลบที่มีปริมาตรประมาณ 26,660 ลบ.ม.

ถ้าต้องการฝังกลบในระดับความลึกประมาณ 5 เมตร ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 1 ปีต้องเตรียมพื้นที่ประมาณเท่ากับ 26,660/5 = 5,332 ตารางเมตร

กำหนดพื้นที่ก้นหลุมเท่ากับ 5,332 ตารางเมตร ให้ขอบหลุมมีความชัน 1 ใน 3 กำหนดหลุมเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้ปากหลุมมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 90 เมตร

ดังนั้น พื้นที่ที่ต้องปูแผ่นพีวีซีและทำฐานรองรับทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ก้นหลุม รวมกับพื้นที่ขอบทั้ง 4 ด้าน = 5,332 + 3,260 = 8,592 ตารางเมตร

ราคาของผู้รับเหมาในการขุดดินพร้อมขนย้ายเท่ากับ 45 บาทต่อลบ.ม. และค่าปูแผ่นพีวีซีพร้อมทำฐานรองรับคิดในราคา 220 บาทต่อตารางเมตร

ดังนั้นในการเตรียมหลุมฝังกลบสำหรับระยะเวลาประมาณ 1 ปีต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ (26,660 x 45) + (8,592 x 220) = 3,089,940 บาทต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปีต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณเท่ากับ 3,089,940/39,220 = 79 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ

4. <u>ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์ต่อหน่วยการผลิต</u>

จากผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.26 สามารถนำมาคิดเทียบกับกำลังการผลิตได้ โดยที่การผลิตสังกะสี 1 ตัน เกิดกากตะกอนจาโรไซต์ประมาณ 0.53 ตัน ดังนั้น ในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาต่อกำลังการผลิตสังกะสี 1 ตันจึงเท่ากับ 152 บาทต่อการผลิตสังกะสี 1 ตัน และในการกำจัดกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์เท่ากับ 172 บาทต่อการผลิตสังกะสี 1 ตัน

จากราคาสังกะสีในตลาดโลกซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 24,000 และ 25,000 บาทต่อตัน ถ้ากำหนดราคาสังกะสีเท่ากับ 24,000 บาทต่อตัน และจากกำลังการผลิตของบริษัทฯ ซึ่งเท่ากับ 74,000 ตันต่อปี สามารถเห็นได้ว่า ยอดขายของบริษัทฯประมาณปีละ หนึ่งพันเจ็ดร้อยล้านบาท ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้นประมาณปีละ 12 ล้านบาท ซึ่งเท่ากับร้อยละ 0.7 ของยอดขาย

ตารางที่ 5.26 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจาโรไซต์ต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ

ประเภทของกากตะกอน	ค่าทำให้เป็นก้อน (บาท/ตัน)	ค่าขนส่ง (บาท/ตัน)	ค่าฝังกลบ (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ตัน)
กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา	174	45	68	287
กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์	200	45	79	324