สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์หรือตะกอนดิบ

คุณสมบัติด้านเคมี

คุณสมบัติด้านเคมีของตะกอนน้ำเสียนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของตะกอน ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอน และปริมาณโลหะที่ละลายออกมากับน้ำสกัดเมื่อนำตะกอนมาทำการสกัดสารตามวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ซึ่งผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

1. องค์ประกอบของตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

องค์ประกอบของตะกอนทำการวิเคราะห์ในรูปออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ และปริมาณของธาตุแต่ละชนิด ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบของตะกอนในรูปของออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ *

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
$Al_2. O_3$	0.32
$Fe_2 O_3$	1.55
CuO	0.01
ZnO	0.35
CaO	0.36
Mn_2O	1.62
SiO_2	2.29
PbO	0.24
Moisture	3.46
Ignition	13.10

* วิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบของตะกอนในรูปของธาตุต่าง ๆ *

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
Fe	0.65
Cu	0.001
Zn	0.17
Pb	0.15
Ca	0.18
Mn	0.06
SiO_2	2.29
Moisture	3.46
Ignition	13.10

* วิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอนด้วยวิธีการย่อยสลายตะกอนด้วยกรด (ตารางที่ 5.3) พบว่า มีอาร์เซนิคร้อยละ 11.9 แคดเมียมร้อยละ 0.094 โครเมียมร้อยละ 0.0022 ปรอทร้อยละ 0.58 ตะกั่วร้อยละ 0.06 สังกะสีร้อยละ 0.19

3. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

จากการนำตะกอนดิบมาทำการสกัดสารตามวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5.3 พบว่า ตะกอนน้ำเสียจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากความเข้มข้นของอาร์เซนิคสูงเกิน 5 มก./ล. โดยมีความเข้มข้นของอาร์เซนิคประมาณ 192 มก./ล. โลหะหนักชนิดอื่นพบในปริมาณต่ำ จากผลการวัดค่าพีเอชของน้ำสกัดพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 10.50 ถึง 11.02 แสดงว่าตะกอนดิบมีฤทธิ์เป็นด่าง

ตารางที่ 5.3 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอนและโลหะละลายในน้ำสกัดของตะกอนดิบ*

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโลหะละลายในน้ำสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		ตะกอนดิบ	เกณฑ์มาตรฐาน
อาร์เซนิค (As)	11.9	192	< 5.0
แคดเมียม (Cd)	0.094	ND**	< 1.0
โครเมียม (Cr)	0.0022	ND	< 5.0
ปรอท (Hg)	0.58	0.03	< 0.2
ตะกั่ว (Pb)	0.06	0.27	< 5.0
สังกะสี (Zn)	0.19	0.18	-

* ตะกอนดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความชื้นร้อยละ 62.2

** ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือวิเคราะห์ Cd<0.02 mg/l
Cr<0.06 mg/l

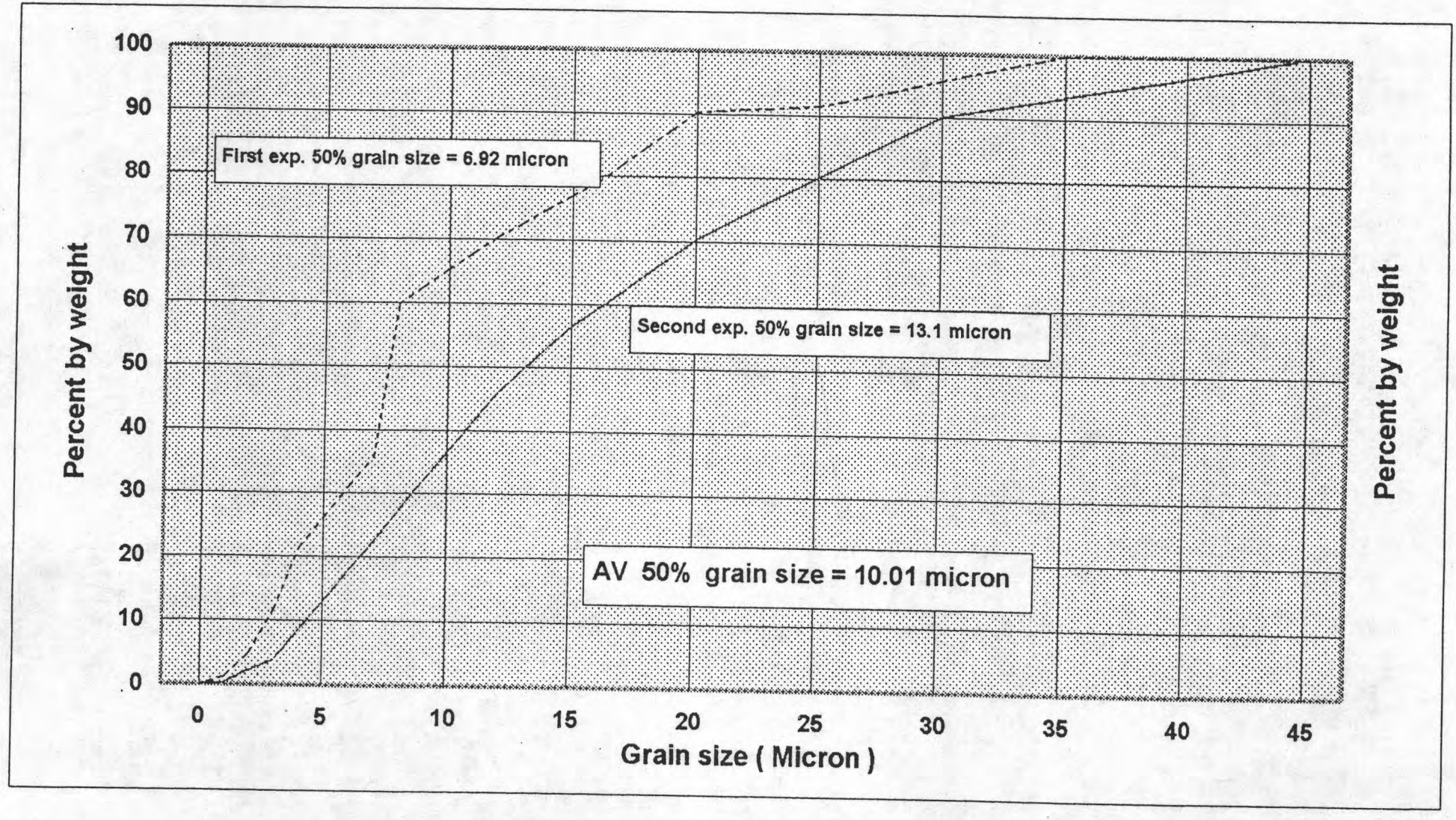
คุณสมบัติด้านกายภาพ

1. การกระจายขนาดคละ

ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดคละด้วยเครื่อง Micron Photo Sizer รุ่น SKC-2000 โดยวิธีการตกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยงที่ศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าตะกอนน้ำเสียนี้มีอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณ 10.01 ไมครอน และมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดไม่เกิน 45 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 5.1

2. ความถ่วงจำเพาะ

ทำการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 854-58 พบว่ามีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.78 และ 2.88 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.83



รูปที่5.1 การกระจายขนาดคละของตะกอนน้ำเสีย

3. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของตะกอนน้ำเสียที่ความชื้นประมาณร้อยละ 62 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.37 และ 1.43 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 ตัน/ลบ.ม.

4. ความชื้นในตะกอน

จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นของตะกอนน้ำเสีย พบว่า มีความชื้นระหว่าง ร้อยละ 61.0 และ 63.4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 62.2 ซึ่งความชื้นนี้จะมีส่วนประกอบของสารละลายของเกลืออนินทรีย์ ได้แก่ NaCl, Na_2SO_4, $CaSO_4$ สารละลายเกลือเหล่านี้จะมีผลต่อต้านปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

5. กำลังรับแรงอัด

ตะกอนน้ำเสียที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 62 จะมีลักษณะคล้ายดินโคลน เมื่อนำมาเทลงในแบบหล่อขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร แล้วบ่มไว้ในที่ชื้นหรือป้องกันไม่ให้น้ำในตะกอนระเหยออกไป ตะกอนจะไม่แข็งตัว แต่ถ้าปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง น้ำในตะกอนระเหยออกไป ตะกอนจะหดตัวและแตกร้าว ลักษณะคล้ายการหดตัวของดินเหนียว หากมีการควบคุมให้น้ำในตะกอนค่อย ๆ ระเหยออกไป เมื่อตะกอนแห้งจะแตกร้าวน้อยกว่าปล่อยให้น้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว นำตะกอนดิบที่แห้งมาทดสอบมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 6.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์นี้เข้าข่ายเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่ระบุไว้ในหมวดสารพิษอื่น ๆ ของบัญชีท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) เนื่องจากเมื่อนำตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์นี้มาทำการสกัดสาร ด้วยวิธีการมาตรฐาน พบว่าในน้ำสกัดมีปริมาณโลหะอาร์เซนิคมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1

ตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาสัดส่วนผสมที่ทำให้ตะกอนแข็งตัว และไม่แสดงความเป็นพิษ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน โดยทำการทดสอบอัตราส่วนผสมค่าละ 1 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 5.4

1.1 ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วนผสมร้อยละ 13 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตะกอนไม่แข็งตัวทดสอบกำลังแรงอัดไม่ได้ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 26 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน ตะกอนยังไม่แข็งตัว ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน ตะกอนแข็งตัวได้เล็กน้อย ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 1.0 กก./ตร.ซม. ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 66 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน ได้เท่ากับ 4.9 กก./ตร.ซม. แต่ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน ก้อนตัวอย่างมีรอยร้าวทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 2.4 กก./ตร.ซม.

1.2 ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วนผสมร้อยละ 13 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตะกอนไม่แข็งตัว ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 26 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน ตะกอนไม่แข็งตัว ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน ตะกอนแข็งตัวได้บ้าง ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 1.8 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 66 ตะกอน จะมีการพัฒนากำลังขึ้นมาก ที่ระยะบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 6.4 และ 9.4 กก./ตร.ซม.

1.3 ใช้ปูนซิเมนต์ซิลิกาเป็นวัสดุประสานและเติมโซเดียมเมตาซิลิเกตร้อยละ 2.6 และร้อยละ 13

ที่อัตราส่วนผสมปูนร้อยละ 13 และ 26 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนไม่แข็งตัว ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 66 พบว่าตะกอนเริ่มแข็งตัวได้ มีการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 6.0 และ 6.9 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 6.2 และ 8.1 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

1.4 ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นวัสดุประสานและเติมน้ำแก้วร้อยละ 2.6

การใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 13 และร้อยละ 2.6 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนไม่แข็งตัว ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 66 พบว่าตะกอนเริ่มแข็งตัวขึ้น โดยที่ระยะบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 7.2 และ 6.9 กก./ตร.ซม.

1.5 ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นวัสดุประสานและเติมน้ำแก้วร้อยละ 13

การเพิ่มปริมาณวัสดุปรุงแต่งมากขึ้นพบว่าตะกอนมีแนวโน้มในการแข็งตัวได้ดีขึ้น โดยที่การใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 13 และร้อยละ 26 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนแข็งตัวได้เล็กน้อย ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 14 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 0.7 และ 1.7 กก./ตร.ซม. ตะกอนมีการพัฒนากำลังขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัว ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 3.6 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสม ตะกอนจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 66 ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 7.0 และ 10.0 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

1.6 ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 1:1 เป็นวัสดุประสาน

การใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน จะให้ผลใกล้เคียงกับวัสดุประสานชนิดอื่น ๆ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 13 และร้อยละ 2.6 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนไม่แข็งตัว ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 66 พบว่าตะกอนเริ่มมีการพัฒนากำลังขึ้นได้โดยที่อายุบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 4.6 และ 8.1 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

1.7 ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสานและเติมน้ำแก้วร้อยละ 2.6

การใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสานและใช้น้ำแก้วเป็นวัสดุปรุงแต่งพบว่าตะกอนจะไม่แข็งตัว ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดไม่ได้ทุกอัตราส่วนผสม

จากการทดสอบผสมตะกอนกับวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ โดยใช้สัดส่วนผสมวัสดุประสานร้อยละ 13 และร้อยละ 26 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนยังไม่แข็งตัว ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุประสานจะถูกยิบซั่มและสารละลายของเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตในตะกอน ต่อต้านปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 66 ตะกอนเริ่มแข็งตัวได้ แต่กำลังรับแรงอัดยังต่ำกว่า 14 กก./ตร.ซม. ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม

ความชื้นของตะกอนที่ใช้ผสมมีค่าประมาณร้อยละ 62 นี้ มีความชื้นมากเกินพอสำหรับทำปฏิกิริยา เนื่องจากเมื่อนำตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสาน และทำการบ่มตัวอย่างครบ 28 วันแล้วมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่าก้อนตัวอย่างตะกอนจะแตกร้าว ที่สัดส่วนผสมต่ำ ๆ จะแตกร้าวมากจนไม่สามารถคงรูปเป็นก้อนอยู่ได้ ที่สัดส่วนผสมสูงขึ้น (ร้อยละ 66) จะแตกร้าวน้อยลง น้ำหนักก้อนตัวอย่างลดลงประมาณร้อยละ 30 ความหนาแน่นก็ลดลงด้วย (ตารางที่ 5.5)

ตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานที่สัดส่วนผสมร้อยละ 13 และร้อยละ 26 เมื่อปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดผลึกเกลือของแคลเซียมซัลเฟตขึ้นที่ผิวก้อนตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าปริมาณวัสดุประสานยังไม่เพียงพอที่จะทำลายฤทธิ์สารประกอบซัลเฟตและคลอไรด์ให้เป็นกลาง จึงทำให้มีเกลือ

ของสารประกอบซัลเฟตขึ้นที่ผิวก้อนตัวอย่าง และไม่มีการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมวัสดุประสานเป็นร้อยละ 66 จะไม่เกิดผลึกเกลือที่ผิวก้อนตัวอย่างและมีการพัฒนากำลังขึ้นเล็กน้อย แต่กำลังรับแรงอัดยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (14 กก./ตร.ซม.)

ตารางที่ 5.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น ชุดที่ 1

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม (ร้อยละ)		ค่ากำลังรับแรงอัด** (กก./ตร.ซม.)		หมายเหตุ
	Dry Basis	Wet Basis	อายุก้อนตัวอย่าง		
			14 วัน	28 วัน	
ตะกอนดิบ	-	-	*	*	1 ก้อนตัวอย่างแตกร้าวมาก
ปูนขาว	13	5	*	*	* ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัวตะกอนที่ใช้มีความชื้นร้อยละ 62.2
	26	10	*	1.0	
	66	25	4.9	2.4	
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	13	5	*	*	** n = 1 ตัวอย่าง
	26	10	*	1.8	
	66	25	6.4	9.4	
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและเติมSodium Meta Silicate ร้อยละ 2.6	13	5	*	*	
	26	10	*	*	
	66	25	6.0	6.2	
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและเติมSodium Meta Silicateร้อยละ 13	13	5	*	*	
	26	10	*	*	
	66	25	6.9	8.1	
ปูนซีเมนต์ซิลิกา เติมน้ำแก้ว ร้อยละ 2.6	13	5	*	*	
	26	10	*	*	
	66	25	7.2	6.9	
ปูนซีเมนต์ซิลิกา เติมน้ำแก้ว ร้อยละ 13	13	5	0.7	3.6	
	26	10	1.7	3.6	
	66	25	7.0	10.0	
ปูนซีเมนต์ซิลิกา ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 1:1	13	5	*	*	
	26	10	*	*	
	66	25	4.6	8.1	
ปูนขาว เติมน้ำแก้ว ร้อยละ 2.6	13	5	*	*	
	26	10	*	*	
	66	25	*	*	

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่ากำลังแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่บ่มตามมาตรฐานกับก้อนตัวอย่างแห้ง (ทิ้งให้แห้งในอากาศต่ออีก 7 วัน)

สัดส่วนผสม 66% (Dry Basis) 25% (Wet Basis)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)		ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	
	ที่ 28 วัน บ่มปกติ	หลังจาก 28 วัน ทิ้งให้แห้ง	ที่ 28 วันบ่ม ปกติ	หลังจาก 28 วัน ทิ้งให้แห้ง
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	1.63	1.08	9.4	10
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ Sodium Meta Silicate 1% Wet Basis	1.59	1.08	6.0	8
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ Sodium Meta Silicate 5% Wet Basis	1.62	1.2	6.9	10
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและน้ำแก้ว 1% Wet Basis	1.6	1.06	7.2	10
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและน้ำแก้ว 5% Wet Basis	1.6	1.08	10	8.8 *

* ก้อนตัวอย่างมีรอยร้าว

2. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด ใช้วิธีการสกัดสารตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การทดสอบกระทำเพื่อพิจารณาว่าตะกอนน้ำเสียที่ทำให้แข็งตัวเป็นก้อนจะเข้าข่ายเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด สำหรับแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer) มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ดังนี้ 0.01 มก./ล. สำหรับแคดเมียม 0.2 มก./ล. สำหรับโครเมียม 0.2 มก./ล. สำหรับตะกั่ว และ 0.1 มก./ล. สำหรับสังกะสี สำหรับอาร์เซนิคและปรอททำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ 0.01 มก./ล. สำหรับอาร์เซนิค และ 0.02 มก./ล. สำหรับปรอท ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

2.1 อาร์เซนิค

การใช้วัสดุประสานทุกชนิดที่สัดส่วนผสมเพียงร้อยละ 13 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งสามารถทำให้อาร์เซนิคลดการละลายลงได้มาก โดยมีค่าระหว่าง 0.19 - 0.25 มก./ล. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 1 วัน และ 14 วัน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละ 26 และ 66 อัตราการละลายของอาร์เซนิคมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยมีความเข้มข้นระหว่าง 0.13 - 0.22 มก./ล. (ตารางที่ 5.6)

2.2 แคดเมียมและโครเมียม

ตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานทุกชนิด เมื่อนำมาทำการสกัดสารแล้ว ตรวจไม่พบแคดเมียมและโครเมียมทุกสัดส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนมีปริมาณแคดเมียมและโครเมียมต่ำ (ตารางที่ 5.6)

2.3 ปรอท

ตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานทุกชนิด เมื่อนำมาทำการสกัดสารแล้วสามารถตรวจพบปรอทระหว่าง 0.01 - 0.03 มก./ล. ทุกสัดส่วนผสม ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำที่สกัดจากตะกอนดิบ ทั้งนี้เนื่องจากปรอทในตะกอนอยู่ในรูปของปรอทซัลไฟด์ ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ดังนั้นเมื่อนำมาสกัดสารจึงตรวจพบปรอทในปริมาณใกล้เคียงกับตะกอนดิบ (ตารางที่ 5.6)

2.4 ตะกั่วและสังกะสี

ตะกั่วและสังกะสีสามารถละลายได้ที่ pH สูง ๆ ทำให้ตรวจพบปริมาณตะกั่วและสังกะสีในปริมาณใกล้เคียงกับน้ำที่สกัดจากตะกอนดิบ แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยมีค่าระหว่าง 0.27 - 0.51 มก./ล. สำหรับตะกั่ว และ 0.12 - 0.23 มก./ล. สำหรับสังกะสี (ตารางที่ 5.6)

ตารางที่ 5.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์จากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 1

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม (%)		ค่า pH และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.) *													
	Dry Basis	Wet Basis	pH		As		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก./ล.)			-		<5		<1		<5		<0.2		<5		-	
อายุก้อนตัวอย่าง (วัน)			1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
ตะกอนดิบ			11.02	10.50	192.0	183.3	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.27	0.03	0.18	0.23
ปูนขาว	13	5	11.16	10.48	0.21	0.22	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.29	0.27	0.15	0.19
	26	10	10.98	10.68	0.19	0.22	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.28	0.32	0.17	0.16
	66	25	10.57	10.38	0.19	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.27	0.33	0.13	0.18
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	13	5	11.83	11.77	0.19	0.19	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.48	0.46	0.17	0.19
	26	10	11.94	11.96	0.18	0.22	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.48	0.49	0.17	0.12
	66	25	12.06	12.01	0.18	0.15	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.51	0.39	0.17	0.17
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ	13	5	11.90	11.68	0.19	0.18	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	0.39	0.30	0.15	0.13
Sodium Meta Silicate	26	10	12.08	11.98	0.19	0.15	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.47	0.37	0.16	0.17
ร้อยละ 1 (Wet Basis)	66	25	12.28	12.12	0.18	0.13	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.47	0.40	0.14	0.15
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ	13	5	11.95	11.79	0.20	0.21	ND	ND	ND	ND	0.01	0.02	0.38	0.31	0.12	0.15
Sodium Meta Silicate	26	10	12.12	12.12	0.17	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.45	0.34	0.12	0.17
ร้อยละ 5 (Wet Basis)	66	25	12.33	12.17	0.18	0.15	ND	ND	ND	ND	0.01	0.03	0.45	0.31	0.15	0.10

* n = 1 ตัวอย่าง

ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ Cd < 0.02 mg/l, Cr < 0.06 mg/l

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์จากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 1

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม (%)		ค่า pH และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.) *													
	Dry Basis	Wet Basis	pH		As		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก./ล.)			-		<5		<1		<5		<0.2		<5		-	
อายุก้อนตัวอย่าง (วัน)			1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ	13	5	11.83	11.56	0.25	0.20	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	0.31	0.29	0.20	0.20
น้ำแก้ว	26	10	11.95	11.83	0.20	0.15	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	0.28	0.20	0.17	0.20
ร้อยละ 1 (Wet Basis)	66	25	12.09	11.99	0.18	0.18	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	0.24	0.27	0.12	0.19
ปูนซีเมนต์ซิลิกาและ	13	5	11.44	11.39	0.19	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.22	0.27	0.23	0.20
น้ำแก้ว	26	10	11.73	11.80	0.18	0.18	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	0.21	0.25	0.17	0.20
ร้อยละ 5 (Wet Basis)	66	25	11.98	12.13	0.18	0.19	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	0.20	0.30	0.18	0.19
ปูนซีเมนต์ซิลิกาผสม	13	5	11.74	11.47	0.20	0.19	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.30	0.37	0.19	0.18
เถ้าลอยลิกไนต์ 1:1	26	10	11.89	11.44	0.17	0.17	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.32	0.28	0.21	0.23
	66	25	12.07	11.72	0.16	0.18	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.24	0.21	0.17	0.19
ปูนขาวและน้ำแก้ว	13	5	12.17	12.22	0.25	0.27	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	0.27	0.26	0.25	0.26
ร้อยละ 1 (Wet Basis)	26	10	12.25	12.25	0.20	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.27	0.28	0.27	0.21
	66	25	12.27	12.24	0.21	0.19	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	0.21	0.23	0.19	0.179

* n = 1 ตัวอย่าง

ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ Cd < 0.02 mg/l, Cr < 0.06 mg/l

3. ความหนาแน่น

ตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานทุกชนิด เมื่อบ่มในที่ชื้นโดยควบคุมไม่ให้น้ำในตะกอนระเหยออกไป ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน พบว่ามีความหนาแน่นระหว่าง 1.5 - 1.6 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าตะกอนดิบ (ความชื้นร้อยละ 62) เมื่อบ่มตัวครบ 28 วัน แล้วนำก้อนตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง น้ำในตะกอนจะระเหยออกไป ที่สัดส่วนผสมต่ำ ๆ (ร้อยละ 13 และร้อยละ 26) ก้อนตัวอย่างจะแตกร้าวมากจนไม่สามารถคงรูปเป็นก้อนอยู่ได้ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 66 จะแตกร้าวน้อยและยังคงรูปเป็นก้อนได้ น้ำหนักจะลดลงประมาณร้อยละ 30 ความหนาแน่นเหลือประมาณ 1.1 - 1.2 ตัน/ลบ.ม. ค่าความหนาแน่นแสดงในตารางที่ 5.7

สรุปผลการทดลองเบื้องต้นชุดที่ 1

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากตารางที่ 5.6 พบว่าปริมาณโลหะหนักทุกชนิดต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าวัสดุประสานที่เลือกใช้มีความสามารถในการลดอัตราการละลายของอาร์เซนิคได้ดี กำลังรับแรงอัดของตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานยังต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากผลของสารประกอบซัลเฟตและคลอไรด์ในตะกอน ดังนั้นกำลังรับแรงอัดจึงเป็นค่าที่จะกำหนดความสำคัญในการเลือกสัดส่วนผสมต่อไป

ปูนซีเมนต์มีแนวโน้มในการทำให้ตะกอนแข็งตัวได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่น ๆ และวัสดุปรุงแต่งไม่ช่วยให้การพัฒนากำลังของตะกอนให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับระยะเวลาบ่มตัว และไม่ช่วยให้อัตราการละลายของโลหะหนักลดลง นอกจากนี้น้ำแก้วและโซเดียมเมตาซิลิเกตมีราคาแพง จึงไม่พิจารณานำมาใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

สัดส่วนผสมที่เลือกใช้ยังต่ำเกินไป เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดเทียบกับสัดส่วนผสมพบว่าที่สัดส่วนผสมสูงขึ้น ค่ากำลังแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้น

ความหนาแน่นของตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสานต่าง ๆ มีค่าได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด (1.04 ตัน/ลบ.ม.) ทุกสัดส่วนผสม

ตารางที่ 5.7 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 1

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ)		ค่าความหนาแน่น* (ตัน/ลบ.ม.)	
	Dry Basis	Wet Basis		
เกณฑ์มาตรฐาน			1.04 ตัน/ลบ.ม.	
อายุก้อนตัวอย่าง			14 วัน	28 วัน
ตะกอนดิบ (ความชื้นร้อยละ 62.2)			1.4	1.4
ปูนขาว	13	5	1.5	1.5
	26	10	1.5	1.5
	66	25	1.5	1.5
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	13	5	1.5	1.5
	26	10	1.5	1.5
	66	25	1.5	1.5
ปูนซีเมนต์ซิลิกา เติม Sodium Meta Silicate ร้อยละ 2.6	13	5	1.5	1.4
	26	10	1.5	1.5
	66	25	1.5	1.5
ปูนซีเมนต์ซิลิกาเติม Sodium Meta Silicate ร้อยละ 13	13	5	1.5	1.4
	26	10	1.5	1.5
	66	25	1.6	1.6
ปูนซีเมนต์ซิลิกาเติมน้ำแก้ว ร้อยละ 2.6	13	5	1.4	1.4
	26	10	1.5	1.4
	66	25	1.5	1.6
ปูนซีเมนต์ซิลิกาเติมน้ำแก้ว ร้อยละ 13	13	5	1.4	1.4
	26	10	1.4	1.5
	66	25	1.5	1.5
ปูนซีเมนต์ซิลิกา ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 1:1	13	5	1.5	1.4
	26	10	1.5	1.4
	66	25	1.5	1.5
ปูนขาวเติมน้ำแก้ว ร้อยละ 2.6	13	5	1.5	1.4
	26	10	1.5	1.4
	66	25	1.5	1.5

* n = 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบเบื้องต้น ชุดที่ 2

จากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 พบว่าปูนซีเมนต์ซิลิกามีแนวโน้มในการทำลายฤทธิ์ตะกอนน้ำเสียได้ดี โดยทำให้ตะกอนแข็งตัวมีกำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าวัสดุประสานชนิดอื่น ๆ และโดยเหตุที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ซิลิกา ดังนั้นในการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 2 จึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสานโดยเลือกใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 79, 106, 132, 158 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง (ร้อยละ 30, 40, 50, 60 เทียบกับน้ำหนักตะกอนเปียก) ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

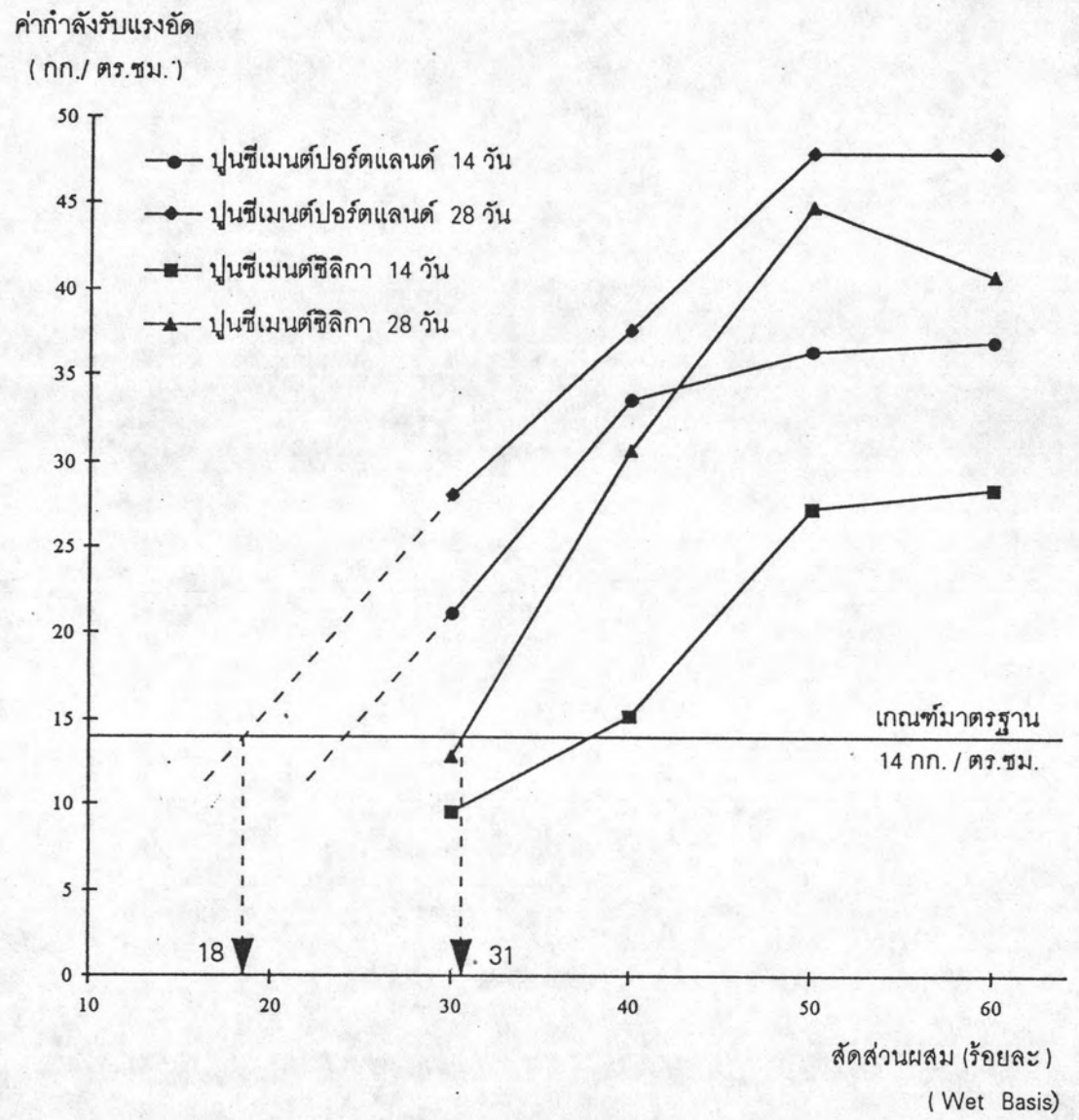
1. **กำลังรับแรงอัด**

การเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์สูงขึ้นมีผลให้ตะกอนแข็งตัวได้เร็วขึ้น มีการพัฒนากำลังตามระยะเวลาบ่มตัวอย่างเห็นได้ชัด จากผลการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทำให้ตะกอนมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ซิลิกาดังแสดงในตารางที่ 5.8 จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ประมาณร้อยละ 18 เทียบกับน้ำหนักตะกอนเปียกสามารถทำให้ตะกอนแข็งตัวมีกำลังรับแรงอัดได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ในขณะที่ต้องใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาถึงร้อยละ 31 แสดงว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีความสามารถทำให้ตะกอนแข็งตัวได้ดี

ตารางที่ 5.8 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 2

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ)		ค่ากำลังรับแรงอัด* (กก./ตร.ซม.)	
	Dry Basis	Wet Basis		
เกณฑ์มาตรฐาน			14 กก./ตร.ซม.	
อายุก้อนตัวอย่าง			14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	79	30	21.2	28.0
	106	40	33.6	37.6
	132	50	36.4	48.0
	158	60	36.9	48.0
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	79	30	9.6	12.8
	106	40	15.2	30.6
	132	50	27.2	44.8
	158	60	28.4	40.8

* n = 1 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง จากการทดสอบเบื้องต้น ชุดที่ 2

2. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด จากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนซีเมนต์ซิลิกา แสดงในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.3 จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในน้ำสกัดมีความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

3. ความหนาแน่น

ตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทั้งสองประเภทพบว่าทำให้มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.6 - 1.7 ตัน/ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.3

สรุปผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด จากตารางที่ 5.9 พบว่าปูนซีเมนต์ซิลิกาและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีประสิทธิภาพในการจับยึดโลหะหนักได้ดีใกล้เคียงกัน ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทำให้ตะกอนมีความแข็งแรงมีกำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา

ปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ผสมกับตะกอนซึ่งคำนวณเทียบกับน้ำหนักตะกอนเปียก (Wet Basis) นั้น ปริมาณวัสดุประสานที่ใช้จะแปรเปลี่ยนตามความชื้นของตะกอน ดังนั้นระหว่างการศึกษาจะต้องทำการควบคุมความชื้นตะกอนให้คงที่ตลอดช่วงการศึกษา (หมายถึง ทั้งการทดสอบเบื้องต้น การทดสอบค่าที่เหมาะสมที่สุด และการทดสอบการชะละลายในระยะยาว ตะกอนน้ำเสียจะต้องมีความชื้นเท่ากันทุกขั้นตอน ผลการศึกษาจึงจะสอดคล้องกัน) การควบคุมให้ตะกอนมีความชื้นคงที่นั้นกระทำได้ยาก ตลอดจนการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในงานจริงก็กระทำได้ยากเช่นกัน เนื่องจากตะกอนน้ำเสียในกระบวนการผลิตจะมีความชื้นไม่คงที่ (ความชื้นของตะกอนจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะต่าง ๆ เช่น สภาพของตะกอน ประสิทธิภาพของเครื่องอัดกรองตะกอน เป็นต้น) การคำนวณปริมาณวัสดุประสานโดยเทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง (Dry Basis) ปริมาณวัสดุประสานที่สัดส่วนผสมหนึ่ง ๆ ของการทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ จะมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการคำนวณหาปริมาณ

วัสดุประสานทุกครั้งจะคำนวณเทียบกับเนื้อตะกอน (ไม่คำนึงถึงความชื้น) ดังนั้นการทดสอบในขั้นตอนต่อไปจะคำนวณปริมาณวัสดุประสานโดยเทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง

ความชื้นตะกอนร้อยละ 62.2 นี้ จะมีปริมาณน้ำมากเกินพอสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สัดส่วนผสมร้อยละ 30 (Wet Basis) (ตารางที่ ผ.3 ส่วนผสม ผสมได้โดยไม่ต้องเติมน้ำ) การที่ตะกอนมีความชื้นมากเกินไปจะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมต่ำ ทำให้สิ้นเปลืองวัสดุประสานจากการประมาณการคาดว่าตะกอนที่เกิดขึ้นตามกระบวนการผลิตจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 ซึ่งต่ำกว่าตะกอนสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะทำการควบคุมความชื้นของตะกอนให้มีความชื้นใกล้เคียงกับตะกอนที่จะเกิดขึ้นจริงมากที่สุด (ขณะผสมกับวัสดุประสาน) โดยให้มีความชื้นเพียงพอเพื่อให้ส่วนผสม ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและเทลงแบบหล่อได้

ตารางที่ 5.9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์จากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 2

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ)		ค่า pH และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.) *													
	Dry Basis	Wet Basis	pH		As		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก/ล.)			-		< 5		< 1		< 5		< 0.2		< 5		-	
อายุก้อนตัวอย่าง (วัน)			1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
ตะกอนดิบ (ความชื้นร้อยละ 62.2)			10.24	10.32	187.3	190.7	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	ND	0.27	0.25
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	79	30	12.29	12.42	0.21	0.11	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	0.30	0.17
	106	40	12.28	12.45	0.19	0.08	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	0.15	0.16
	132	50	12.33	12.47	0.15	0.24	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND	ND	0.18	0.15
	158	60	12.33	12.38	0.18	0.13	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	0.18	0.14
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	79	30	12.20	12.48	0.19	0.11	ND	ND	ND	ND	0.02	0.37	ND	ND	0.20	0.15
ประเภท 1	106	40	12.22	12.38	0.17	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.35	ND	ND	0.16	0.14
	132	50	12.21	12.45	0.11	0.09	ND	ND	ND	ND	0.02	0.42	ND	ND	0.19	0.06
	158	60	12.26	12.42	0.08	0.08	ND	ND	ND	ND	0.02	0.51	ND	ND	0.20	0.15

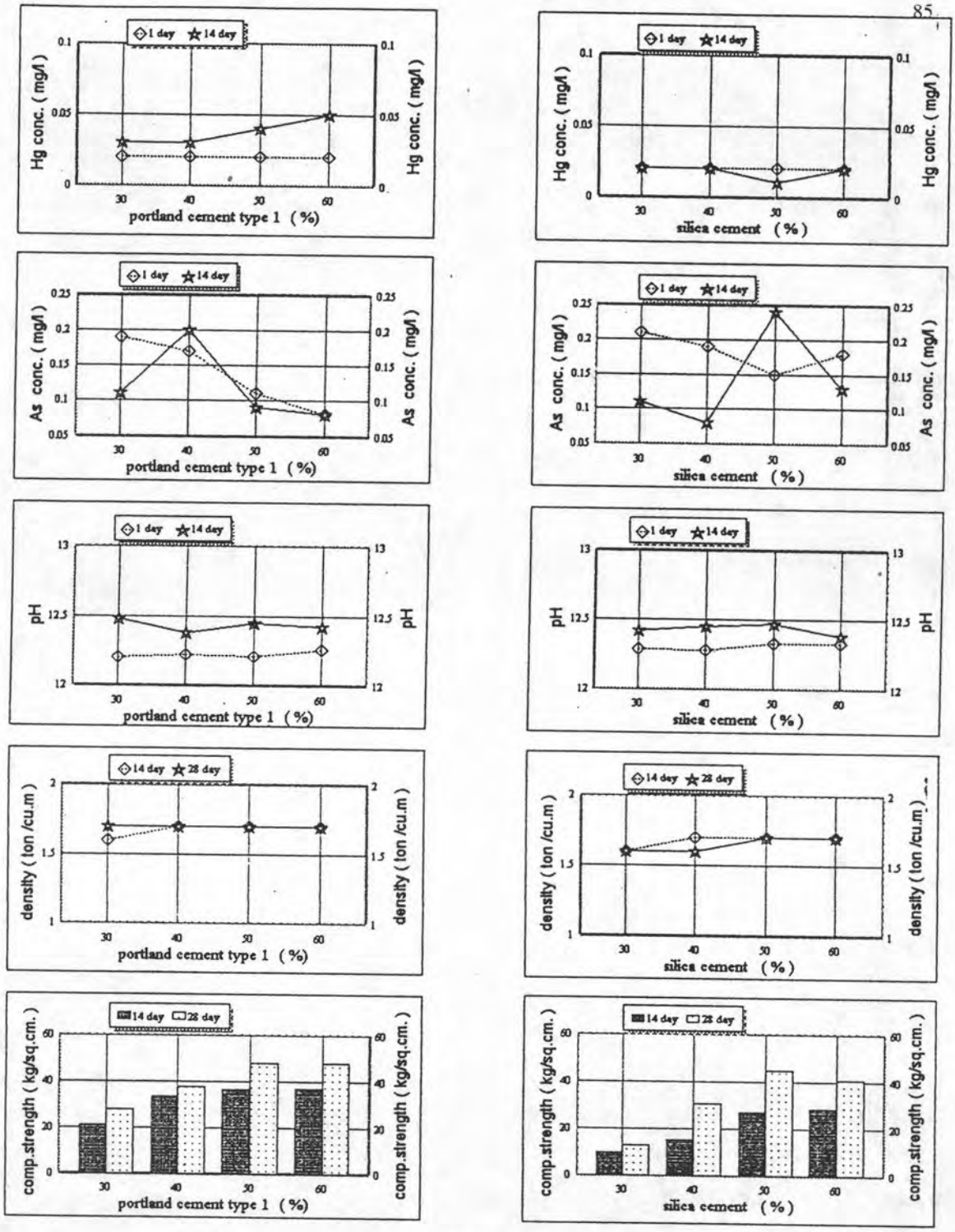
* n = 1 ตัวอย่าง

ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ Cd < 0.02 mg/l, Cr < 0.06 mg/l, Pb < 0.10 mg/l

ตารางที่ 5.10 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 2

วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ)		ค่าความหนาแน่น* (ตัน/ลบ.ม.)	
	Dry Basis	Wet Basis		
เกณฑ์มาตรฐาน			1.04 ตัน./ลบ.ม.	
อายุก้อนตัวอย่าง			14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	79	30	1.6	1.7
	106	40	1.7	1.7
	132	50	1.7	1.7
	158	60	1.7	1.7
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	79	30	1.6	1.6
	106	40	1.7	1.6
	132	50	1.7	1.7
	158	60	1.7	1.7

* n = 1 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 2

หมายเหตุ

Cd ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.02 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

Cr ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.06 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

Pb ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.10 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

เกณฑ์มาตรฐาน

As < 5 mg/l	Hg <0.2 mg/l	Cr < 5 mg/l	density > 1.04 ton/cu.m.
Cd < 1 mg/l	Pb < 5 mg/l		comp. strength > 14 kg/sq.cm.

ผลการทดสอบเบื้องต้น ชุดที่ 3

จากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ตะกอนได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่น ๆ และไม่มีความจำเป็นต้องใช้วัสดุปรุงแต่งใด ๆ เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 และ 2 คำนวณปริมาณวัสดุประสานโดยเทียบกับน้ำหนักตะกอนเปียก (Wet Basis) ผลการทดสอบในขั้นต่อไปอาจเบี่ยงเบนได้ง่าย การทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 3 จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสาน ใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 20, 30, 40, 50 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง (Dry Basis) และควบคุมความชื้นของตะกอนผสมกับปูนซีเมนต์ ทั้งนี้การควบคุมความชื้นตะกอนกระทำ 2 วิธี คือ

1. อบตะกอนให้แห้งสนิทก่อนการผสม เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ตามสัดส่วนต่าง ๆ ให้ส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว จึงเติมน้ำลงในส่วนผสม ปริมาณน้ำที่เติมลงในส่วนผสมนั้นเพียงเพื่อให้ส่วนผสมมีความชื้นพอเหมาะกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเทลงในแบบหล่อได้

2. ผึ่งตะกอนให้ความชื้ นลดลงเหลือความชื้นใกล้เคียงกับตะกอนที่จะเกิดขึ้นจริง โดยกำหนดให้ผึ่งตะกอนจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 50 ± 5 นำตะกอนที่ผึ่งแล้วมาผสมกับปูนซีเมนต์ถ้าส่วนผสมแห้งเกินไป ให้เติมน้ำจนกระทั่งสามารถผสมให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและเทลงแบบหล่อได้ ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

1.1 ตะกอนที่อบแห้งก่อนการผสม

ตะกอนที่อบแห้งจะเป็นก้อนแข็งคล้ายดินเหนียวอบแห้ง ก่อนการผสมต้องนำไปบดให้ละเอียดเมื่อผสมกับปูนซิเมนต์แล้วจึงเติมน้ำ ปริมาณน้ำที่เติมลงในส่วนผสม เมื่อคำนวณแล้วจะได้ความชื้นตะกอนประมาณร้อยละ 42-45 (ตาราง ผ3) ก็เพียงพอในการผสม ค่ากำลังรับแรงอัดค่อนข้างสูงเนื่องจากผสมได้ง่ายส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด ที่สัดส่วนผสมเพียงร้อยละ 20 (เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง) ก้อนตัวอย่างรับแรงอัดได้ประมาณ 34.6 กก/ตร.ซม. (ตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.4)

1.2 ตะกอนที่ผึ่งให้ความชื้นลดลง

ตะกอนดิบ ความชื้นร้อยละ 62.2 นั้นจะมีลักษณะเป็นกึ่งของไหลคล้ายโคลนเมื่อนำมาผึ่งให้ความชื้นลดลงเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 50 จะจับตัวกันเป็นเม็ดเล็ก ๆ ผสมกับปูนซีเมนต์ได้ยากหากผสมไม่ดีส่วนผสมอาจไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อผสมกับปูนซิเมนต์แล้วต้องเติมน้ำเพิ่มในส่วนผสมอีก พบว่าตะกอนต้องมีความชื้นขณะผสมประมาณร้อยละ 50-52 (ตาราง ผ3) จึงสามารถผสมให้ส่วนผสมเข้ากันได้ ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างต่ำกว่าตะกอนที่อบแห้งมาก ต้องใช้ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 40-50 จึงจะทำให้ตัวอย่างรับแรงอัดได้ตามมาตรฐาน (ตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.4)

ตารางที่ 5.11 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 3

วัสดุประสาน	อบตะกอนให้แห้งที่ 103°C ก่อนผสม		ผึ่งตะกอนให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 50 ± 5	
	ค่าการรับแรงอัด * (กก./ตร.ซม.)		ค่าการรับแรงอัด * (กก./ตร.ซม)	
เกณฑ์มาตรฐาน	14 กก./ตร.ซม.		14 กก./ตร.ซม.	
อายุก้อนตัวอย่าง	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ตะกอนดิบ	7.1	7.4	6.0	7.2
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1.				
ร้อยละ 20	32.0	34.6	12.9	13.7
30	42.0	44.0	9.2	9.2
40	56.0	61.9	13.2	13.7
50	60.0	68.4	22.5	20.0

* n = 1 ตัวอย่าง

2. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

จากการทดสอบพบว่า ตะกอนที่ยังไม่ได้ผสมกับปูนซีเมนต์ เมื่อนำมาสกัดสาร พบว่า น้ำที่สกัดจากตะกอนที่อบแห้งจะมีสารหนูในน้ำสกัดสูงกว่าน้ำที่สกัดจากตะกอนเปียก ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนแห้งมีเนื้อตะกอนมากกว่าตะกอนเปียก

การอบตะกอนแห้งก่อนการผสมไม่มีผลต่อการจับยึดโลหะหนัก ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองตัวอย่าง โลหะหนักทุกชนิดในน้ำสกัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.12 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 3

			ค่า pH และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)*													
			pH		As		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก./ล)			-		<5		<1		<5		<0.2		<5		-	
อายุก้อนตัวอย่าง (วัน)			1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
อบตะกอนแห้งที่ 103°C																
ตะกอนดิบ			9.92	10.07	348.5	370.6	ND	ND	ND	ND	0.05	0.06	ND	ND	0.22	0.27
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1																
	ร้อยละ	20	11.74	11.54	0.22	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND	ND	0.26	0.02
		30	11.94	11.70	0.19	0.18	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND	ND	0.28	0.07
		40	12.03	11.83	0.19	0.19	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND	ND	0.26	0.04
		50	12.08	11.92	0.17	0.16	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND	ND	0.47	0.06
ผึ่งตะกอนให้ความชื้นลดลง																
ตะกอนดิบ			10.18	10.10	200.8	199.8	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	ND	ND	0.22	0.28
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	ร้อยละ	20	12.17	12.22	0.25	0.27	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	ND	0.42	0.04
		30	12.25	12.25	0.20	0.20	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	ND	ND	0.10	0.08
		40	12.27	12.24	0.21	0.19	ND	ND	ND	ND	0.02	0.03	ND	ND	0.10	0.56
		50	12.10	12.11	0.09	0.08	ND	ND	ND	ND	0.09	0.04	ND	ND	0.19	0.11

* n = 1 ตัวอย่าง

ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ Cd < 0.02 mg/l, Cr < 0.06 mg/l, Pb < 0.10 mg/l

3. ค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น ชุดที่ 3 มีค่าระหว่าง 1.5-1.8 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ตะกอนที่อบแห้งก่อนการผสม ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงกว่าตะกอนเปียกเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.4

สรุปผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบเบื้องต้นทั้ง 3 ชุด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ตะกอนน้ำเสียได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ และไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุปรุงแต่งใด ๆ

2. ปริมาณความชื้นตะกอนมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัด ถ้าตะกอนมีความชื้นที่พอเหมาะจะทำให้ผสมให้ส่วนผสมเข้ากันได้สะดวก และมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

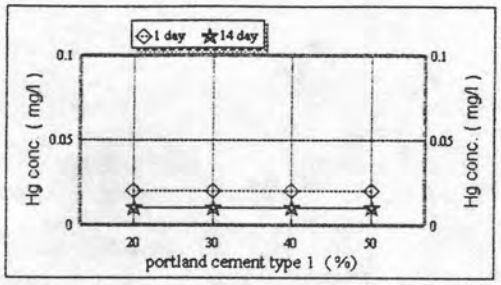
3. สัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ที่ทำให้ตะกอนแข็งตัวรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานมีค่าประมาณร้อยละ 40-45 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง

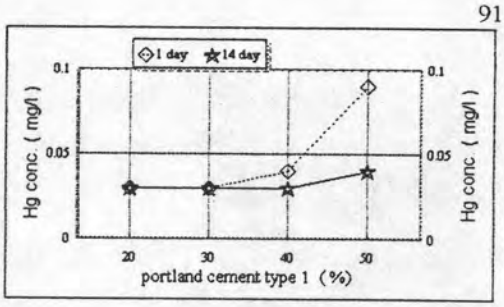
4. การอบตะกอนให้แห้งก่อนการผสมกับปูนซีเมนต์ถึงแม้จะทำการผสมได้สะดวก ส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัดสูง ใช้วัสดุประสานน้อย แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้ และก่อนการผสมจะต้องนำมาบดให้ละเอียด ซึ่งจะทำให้ฝุ่นตะกอนฟุ้งกระจาย เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

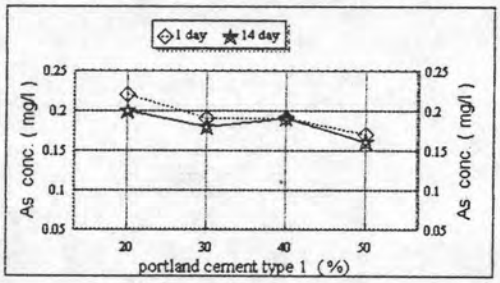
ตารางที่ 5.13 ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้น (Trial Test) ชุดที่ 3

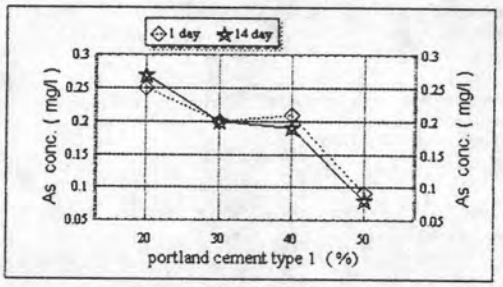
วัสดุประสาน	อบตะกอนให้แห้งที่ 103°C ก่อนผสม		ผึ่งตะกอนให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 50 ± 5	
	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)*		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)*	
เกณฑ์มาตรฐาน	1.04 ตัน/ลบ.ม.)		1.04 ตัน/ลบ.ม.)	
อายุก้อนตัวอย่าง	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ตะกอนดิบ	1.6	1.5	1.5	1.5
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1				
ร้อยละ 20	1.8	1.7	1.6	1.6
30	1.8	1.7	1.5	1.4
40	1.8	1.7	1.5	1.5
50	1.8	1.7	1.6	1.6

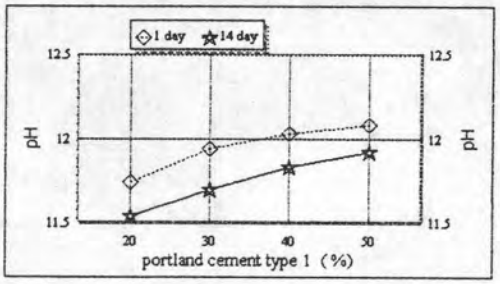
* n = 1 ตัวอย่าง

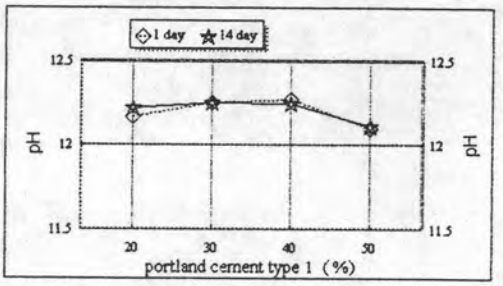


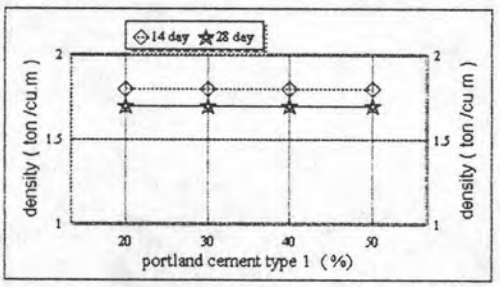


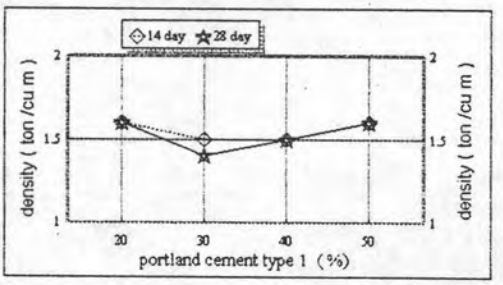


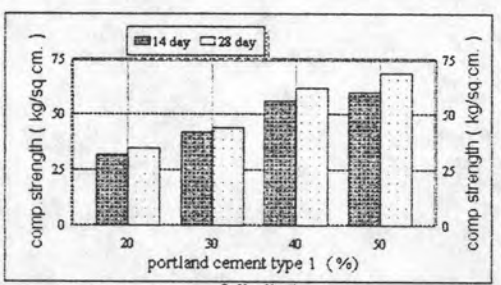




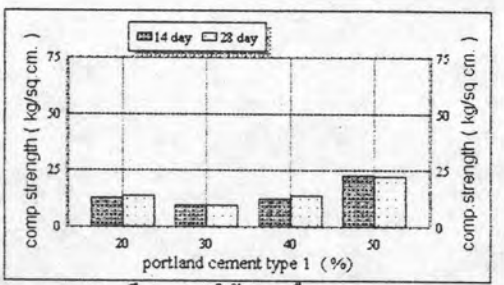








อบตะกอนให้แห้งที่ 103 C



ผึ่งตะกอนให้ความชื้นลดลง

รูปที่ 5.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 3

หมายเหตุ

Cd ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.02 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

Cr ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.06 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

Pb ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.10 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งตะกอนดิบ

เกณฑ์มาตรฐาน

As < 5 mg/l	Hg <0.2 mg/l	Cr < 5 mg/l	density > 1.04 ton/cu.m.
Cd < 1 mg/l	Pb < 5 mg/l		comp. strength > 14 kg/sq.cm.

ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ผลจากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ตะกอนได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่น ๆ ในการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดนี้ กำหนดสัดส่วนผสมร้อยละ 40, 45, 50, 55 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง

โดยเหตุที่ตะกอนน้ำเสียมีสารประกอบซัลเฟตและคลอไรด์ ซึ่งจะมีผลต่อต้านปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงได้ทดลองใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อสารประกอบซัลเฟต เพื่อศึกษาผลของกำลังแรงอัดเทียบกับการใช้ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ด้วย โดยกำหนดสัดส่วนผสมร้อยละ 40, 45, 50 และ 55 เช่นเดียวกัน ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20.0 กก./ตร.ซม. เมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้นจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ย 28.4 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมให้สูงขึ้น ตะกอนมีกำลังอัดสูงขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 55 ตะกอนมีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33.6 กก./ตร.ซม. และ 41.6 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.14

ตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 พบว่ากำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เล็กน้อย โดยที่สัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ตะกอนจะมีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ย 14.0 กก./ตร.ซม. และ 17.0 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมมากขึ้น ตะกอนจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 55 จะทำให้ตะกอนมีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ย 31.4 กก./ตร.ซม. และ 36.9 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.14

จากลักษณะการแข็งตัวของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์จะเห็นว่าตะกอนจะมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณสัดส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น และจะแข็งตัวมากขึ้นตามระยะเวลาของการบ่มตัว ซึ่งมีลักษณะการพัฒนากำลังสอดคล้องกับการแข็งตัวของคอนกรีตแสดงว่า การใช้ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง จะมีปริมาณปูนซีเมนต์มากเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในการต่อต้านสารประกอบซัลเฟตและคลอไรด์ ตลอดจนทำให้ตะกอนแข็งตัวเป็นก้อน มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์กำหนดในการนำไปฝังกลบ

จากการศึกษาการแข็งตัวของตะกอนน้ำเสีย โดยการผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และประเภท 5 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน และ 28 วัน พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีผลให้ตะกอนมีกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 (ที่สัดส่วนผสมและระยะเวลาบ่มตัวเดียวกัน) สารประกอบคลอไรด์และซัลเฟตในตะกอนไม่แสดงผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 5.14 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจากการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุประสาน	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)*	
เกณฑ์มาตรฐาน	14 กก./ตร.ซม.	
อายุก้อนตัวอย่าง	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1		
ซีเมนต์	271.1	288.8
·ส่วนผสมร้อยละ 40	20.0	28.4
ส่วนผสมร้อยละ 45	22.0	30.0
ส่วนผสมร้อยละ 50	26.0	40.0
ส่วนผสมร้อยละ 55	33.6	41.6
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 5		
ซีเมนต์	241.0	334.0
ส่วนผสมร้อยละ 40	14.0	17.0
ส่วนผสมร้อยละ 45	31.0	30.9
ส่วนผสมร้อยละ 50	25.4	36.7
ส่วนผสมร้อยละ 55	31.4	36.9

* n = 2 ตัวอย่าง

2. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

น้ำสกัดที่สกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์จะนำมาทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติดังนี้คือ pH และความเข้มข้นของโลหะหนักละลาย สำหรับแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี วัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบกราไฟต์ (Graphite Furnace) สำหรับอาร์เซนิค และปรอทวัดด้วยวิธี Vapor Generation ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.5

2.1 pH

pH ของน้ำสกัดของตะกอนผสมกับปูนซีเมนต์มีค่าระหว่าง 12.0 และ 12.20 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 40, 45, 50, 55 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง น้ำสกัดมีค่า pH สูงเนื่องจากเกิดการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จากตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าค่า pH จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น

2.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักละลาย

2.2.1 อาร์เซนิค

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 และ 0.10 มก./ล. การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นไม่มีผลให้ความเข้มข้นของอาร์เซนิคลดลง และที่ระยะเวลาบ่มตัว 1 วัน และ 14 วัน ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัด ดังแสดงในตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.5

2.2.2 แคดเมียม

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทุกอัตราส่วนผสมพบว่า ต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนดิบมีปริมาณแคดเมียมอยู่น้อยมาก

2.2.3 โครเมียม

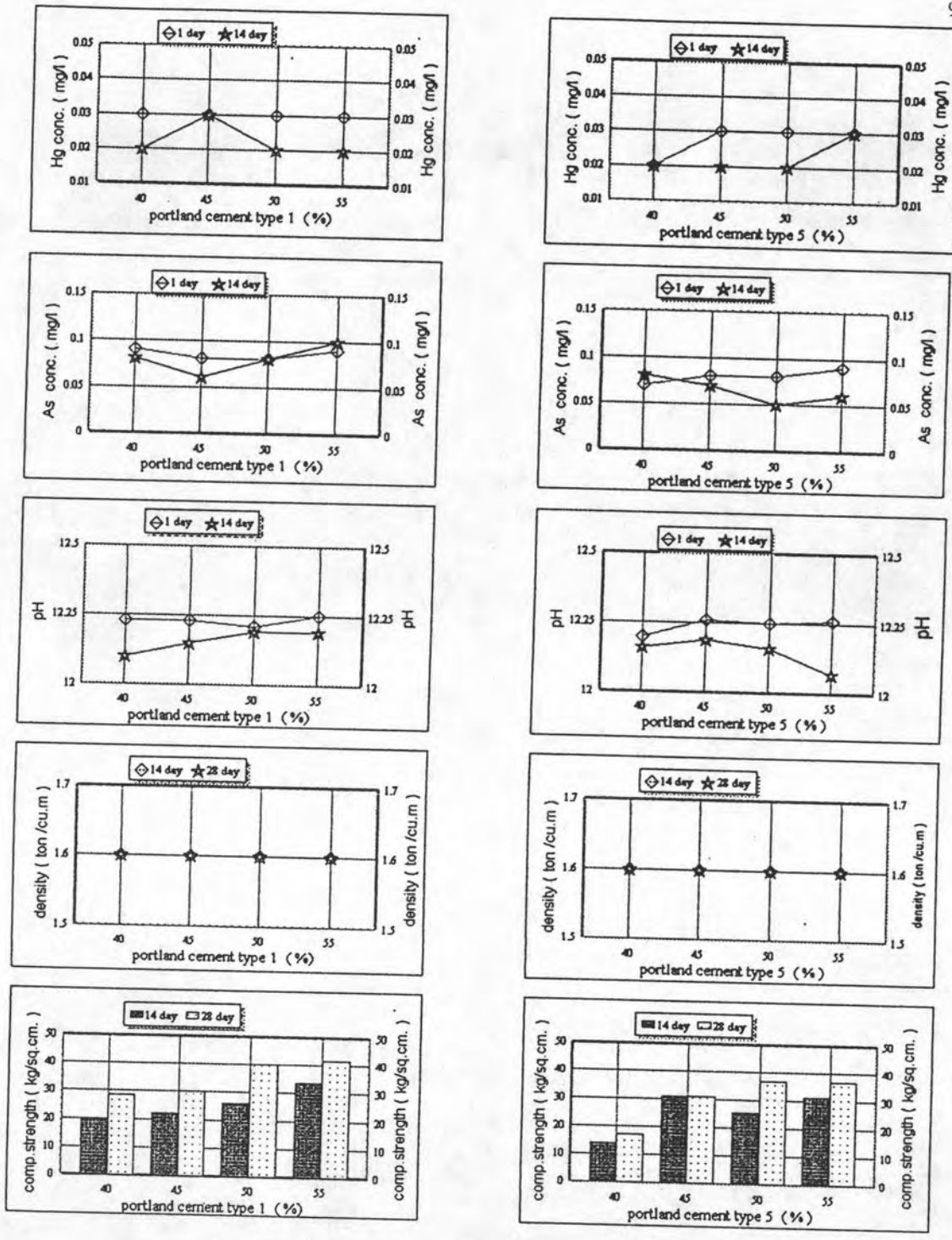
ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด จากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทุกอัตราส่วนผสมพบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.06 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนดิบมีปริมาณโครเมียมอยู่น้อยมาก เช่นกัน

ตารางที่ 5.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์ จากการทดสอบหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Test)

	ค่า pH และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (mg/l)**													
	pH		As		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
เกณฑ์มาตรฐาน (mg/l)	-		5		1		5		0.2		5		-	
อายุก้อนตัวอย่าง (วัน)	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
สารละลายสำหรับการสกัด	5.83	5.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02
ตะกอนดิบ	9.90	9.95	267.3	303.0	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	ND	0.18	0.23
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1														
ซีเมนต์ล้วน	12.52	12.40	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.06
ร้อยละ 40	12.23	12.10	0.09	0.08	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	ND	ND	0.15	0.10
45	12.23	12.15	0.08	0.06	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	ND	0.20	0.14
50	12.21	12.19	0.08	0.08	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	ND	ND	0.12	0.13
55	12.25	12.19	0.09	0.10	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	ND	ND	0.10	0.12
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5														
ซีเมนต์ล้วน	12.26	12.41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06	0.07
ร้อยละ 40	12.20	12.16	0.07	0.08	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	0.13	0.10
45	12.26	12.19	0.08	0.07	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	ND	ND	0.15	0.09
50	12.25	12.16	0.08	0.05	ND	ND	ND	ND	0.03	0.02	ND	ND	0.10	0.18
55	12.26	12.07	0.09	0.06	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	ND	0.09	0.11

* ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ : As < 0.01 mg/l, Cd < 0.02 mg/l, Cr < 0.06 mg/l
Hg < 0.02 mg/l, Pb < 0.005 mg/l, Zn < 0.01 mg/l

** n = 2 ตัวอย่าง



รูปที่ 5.5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด

ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จากการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

หมายเหตุ

Cd ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.02 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งคะกอนดิบ

Cr ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.06 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งคะกอนดิบ

Pb ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ (<0.10 mg/l) ทุกตัวอย่างรวมทั้งคะกอนดิบ

เกณฑ์มาตรฐาน

As < 5 mg/l Hg <0.2 mg/l Cr < 5 mg/l density > 1.04 ton/cu.m.

Cd < 1 mg/l Pb < 5 mg/l comp. strength > 14 kg/sq.cm.

2.2.4 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 และ 0.03 มก./ล. ทุกอัตราส่วนผสม ระยะเวลาบ่มตัวไม่มีผลต่อปริมาณปรอทในน้ำสกัด ปริมาณปรอทในน้ำสกัดจากตะกอนดิบมีค่าใกล้เคียงกับตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากปรอทเป็นโลหะที่มักไม่ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ดังนั้นเมื่อนำตะกอนมาผสมกับซีเมนต์ ปรอทจะถูกจับยึดไว้ภายในช่องว่างระหว่างผลึกของซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อนำมาทำการสกัดสาร ปรอทจึงละลายออกมาใกล้เคียงกับตะกอนดิบ

2.2.5 ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตะกอนผสมซีเมนต์ทุกอัตราส่วนผสมมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.005 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนดิบมีปริมาณตะกั่วอยู่น้อย

2.2.6 สังกะสี

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากตะกอนผสมซีเมนต์ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10 และ 0.20 มก./ล. จากตารางที่ 5.15 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มากขึ้น ความเข้มข้นของสังกะสีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ระยะเวลาบ่มตัวไม่มีผลให้ความเข้มข้นของสังกะสีลดลง

3. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์พบว่ามีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.6 ตัน/ลบ.ม. ทุกอัตราส่วนผสม การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมจากร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 55 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ดังแสดงในตารางที่ 5.16 และรูปที่ 5.5

4. สรุปผลการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์จะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของตะกอนอย่างมาก กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ลงในส่วนผสม กำลังรับแรงอัดของตะกอนจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ปริมาณปูนซีเมนต์จะไม่มีผลต่อการจับยึดโลหะหนักมากนัก ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำสกัดมีคุณสมบัติเป็นด่าง ค่า pH ประมาณ 12 ที่ pH สูง ๆ เช่นนี้ จะทำให้สภาพการละลายได้ของโลหะหนักต่ำ และโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่

ไม่ละลาย ยังผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าแตกต่างกันไม่มาก เมื่อแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีแนวโน้มทำให้ตะกอนแข็งตัวมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 และในช่วงการทดสอบไม่พบผลกระทบของสารประกอบของซัลเฟตและคลอไรด์ต่อตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 การใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ทำให้ตะกอนแข็งตัวมีกำลังรับแรงอัดได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ตะกอนที่ใช้ผสมมีความชื้นประมาณร้อยละ 50

จากการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจึงกำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง

ตารางที่ 5.16 ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุประสาน	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)*	
เกณฑ์มาตรฐาน	1.04 ตัน/ลบ.ม.	
อายุก้อนตัวอย่าง	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1		
ซีเมนต์	1.7	1.8
ส่วนผสมร้อยละ 40	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 45	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 50	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 55	1.6	1.6
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 5		
ซีเมนต์	1.8	1.9
ส่วนผสมร้อยละ 40	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 45	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 50	1.6	1.6
ส่วนผสมร้อยละ 55	1.6	1.6

* n = 2 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

จากการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุดพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 สามารถทำลายฤทธิ์ตะกอนน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพในการศึกษาขั้นตอนนี้จึงทำการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัว โดยกำหนดอัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 1, 7, 28 และ 90 วัน และทำการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักเป็นเวลา 90 วัน เพื่อศึกษาการชะละลายของโลหะหนัก

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดดของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7, 14, 28 และ 90 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.17 มีค่าอยู่ระหว่าง 13.2 ถึง 25.6 กก./ตร.ซม. จะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนจะสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัว ตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งนี้จะสามารถทำให้ตะกอนแข็งตัวมีการพัฒนากำลังตามระยะเวลาบ่มตัว สอดคล้องกับการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ แสดงว่าในอัตราส่วนผสมนี้มีปริมาณปูนซีเมนต์มากเพียงพอที่จะต่อต้านผลของสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์ และสามารถทำให้ตะกอนแข็งตัวได้

1.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 7, 14, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.65 ถึง 1.82 ดังแสดงในตารางที่ 5.17 จะพบว่า เมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียปริมาณความชื้นในก้อนตัวอย่าง

1.3 อัตราความซึมน้ำ

อัตราความซึมน้ำของตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 7, 14 และ 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.68×10^{-7} ถึง 3.74×10^{-8} ดังแสดงในตารางที่ 5.17 จะเห็นว่าก้อนตัวอย่างมีอัตราความซึมน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และเมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น ค่าอัตราความซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง

2. คุณสมบัติของน้ำสกัด

คุณสมบัติของน้ำสกัดจากตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง แสดงในตารางที่ 5.17 ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

2.1 pH

pH ของน้ำสกัดจากตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 1, 7, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 12.05 ถึง 12.46 ดังแสดงในตารางที่ 5.17 จะเห็นว่า ค่า pH มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น สาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมที่ทำให้ส่วนผสมแข็งตัวมากขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัว

2.2 อาร์เซนิค

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำสกัดที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 1, 7, 28 และ 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.003 และ 0.105 มก./ล. จากตารางที่ 5.17 พบว่าที่อายุบ่มตัว 1 วัน ตรวจพบอาร์เซนิคในปริมาณต่ำเพียง 0.003 มก./ล. เมื่อระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน ตรวจพบอาร์เซนิคสูงขึ้นวัดได้ 0.096 มก./ล. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน และ 90 วัน ตรวจพบอาร์เซนิคในปริมาณใกล้เคียงกับที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน

2.3 แคดเมียม

น้ำสกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง พบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่า ความสามารถของเครื่องมือวิเคราะห์หรือต่ำกว่า 0.001 มก./ล. ตลอดระยะเวลาบ่มตัว

2.4 โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.003 มก./ล. ถึง 0.010 มก./ล. จากตารางที่ 5.17 จะพบว่าที่ระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น โลหะโครเมียมจะละลายออกมาน้อยลง

ตารางที่ 5.17 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น อัตราค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อายุต่าง ๆ จากการทดสอบขั้น (Long-Term Leaching Test)

ตะกอนผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 สัดส่วนผสมร้อยละ 40 Dry Basis		pH	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)						ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	อัตราค่าความซึมน้ำ** (Permeability) (ซม./วินาที)
			As	Cd	Cr	Hg	Pb	Zn			
เกณฑ์มาตรฐาน		-	5.0	1.0	5.0	0.2	5.0	-	14	1.04	$1x10^{-6}$
อายุตัวอย่าง	1 วัน	12.37	0.003	ND*	0.010	0.023	0.07	0.153	-	-	-
	7 วัน	12.34	0.096	ND	0.005	0.024	ND	0.146	13.2	1.73	1.68×20^{-7}
	14 วัน	12.33	0.105	ND	0.007	0.033	ND	0.245	16.7	1.82	12.5×10^{-7}
	28 วัน	12.46	0.089	ND	0.005	0.020	ND	0.127	20.2	1.77	3.74×10^{-8}
	90 วัน	12.05	0.082	ND	0.003	0.012	ND	0.118	25.6	1.65	

* ND = ค่าความเข้มข้นต่ำกว่าความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์ : Pb < 0.005 ppm

: Cd < 0.001 ppm

** ตะกอนดิบมีอัตราค่าความซึมน้ำ = 1.24×10^{-7}

2.5 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดจากตะกอนผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.012 ถึง 0.033 มก./ล. จากตารางที่ 5.17 จะพบว่า ปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าใกล้เคียงกันทุก ๆ ระยะเวลาบ่มตัว

2.6 ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง แสดงในตารางที่ 5.17 จะเห็นว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 1 วัน พบปริมาณปรอท 0.007 มก./ล. เมื่อระยะเวลาบ่มตัวนานขึ้น พบว่าตะกั่วมีการละลายน้อยลง ตรวจพบตะกั่วน้อยกว่า 0.005 มก./ล.

2.7 สังกะสี

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัด จากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งแสดงในตารางที่ 5.17 พบว่ามีความเข้มข้นของสังกะสีระหว่าง 0.118-0.245 มก./ล.

3. คุณสมบัติของน้ำชะละลาย

นำตะกอนน้ำเสียที่ความชื้นประมาณร้อยละ 50 มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งล่มก่อนตัวอย่างครบ 28 วัน แล้วนำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ประมาณ 20.2 กก./ตร.ซม. วัดความหนาแน่นได้ 1.77 ตัน/ลบ.ม. วัดความชื้นของตัวอย่างได้ร้อยละ 39.44 จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาบด ร่อนผ่านตะแกรง คัดขนาดระหว่าง 0.5 ถึง 5.0 มม. นำตัวอย่างบรรจุลงในภาชนะรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ความหนาของชั้นตัวอย่าง 10 ซม. โดยใช้ปริมาณตัวอย่างทั้งสิ้น 1,580 กรัม ทำการทดลองโดยใช้น้ำประปาที่ปรับสภาพให้มีค่า pH ระหว่าง 5-8-6.3 ไหลซึมผ่านชั้นตัวอย่าง โดยกำหนดให้อัตราการซึมเท่ากับค่าความซึมน้ำของชั้นทรายละเอียด (1×10^{-5} เมตร/วินาที) หรือประมาณ 8 ลิตร/วัน การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบจำนวน 1 คอลัมน์ และได้ติดตั้งคอลัมน์ซึ่งบรรจุทรายเพียงอย่างเดียวเป็นคอลัมน์ควบคุม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะละลายแบบผสมที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการทดสอบ

1 วัน 7 วัน 28 วัน และ 90 วัน เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ค่า pH และค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่อไป

ก่อนการทำการทดสอบการชะละลาย ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบพบว่า มีปริมาณอาร์เซนิคเท่ากับร้อยละ 7.06 โดยน้ำหนักปริมาณ ปรอท ร้อยละ 0.28 และมีโลหะอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

โลหะหนัก	ความเข้มข้นในน้ำย่อยสลาย (มก./ล.)	ปริมาณโลหะหนัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตัวอย่าง 1,580 ก. (กรัม)
สารหนู	105.0	7.06	111.68
แคดเมียม	0.893	0.06	0.95
โครเมียม	0.015	0.001	0.016
ปรอท	4.24	0.28	4.51
ตะกั่ว	0.592	0.04	0.63
สังกะสี	1.41	0.95	1.50

หมายเหตุ ตัวอย่าง 0.2971 กรัม ย่อยสลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตร

3.1 ค่า pH

ค่า pH ของน้ำชะละลายจากตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 9.80 ถึง 12.30 ในช่วงเวลาชะละลาย 90 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.6 พบว่าค่า pH จะลดลงอย่างช้า ๆ ตลอดช่วงการทดสอบ 90 วัน เนื่องจากสภาพความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ถูกชะละลายออกมาจึงทำให้ pH ลดลงอย่างต่อเนื่อง

3.2 อาร์เซนิค

ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำชะละลายในช่วง 28 วันแรกของการทดสอบพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.140 ถึง 0.185 มก./ล. จากนั้นอาร์เซนิคในน้ำชะละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลาในการทดสอบโดยมีความเข้มข้นของอาร์เซนิคที่ระยะเวลาชะละลาย 90 วัน เท่ากับ

ตารางที่ 5.19 ปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างน้ำที่ซึมผ่านตะกอน (ที่ทำลายฤทธิ์ด้วยปูนซีเมนต์แล้ว) จากการทดสอบขั้น (Long-Term Leaching Test)

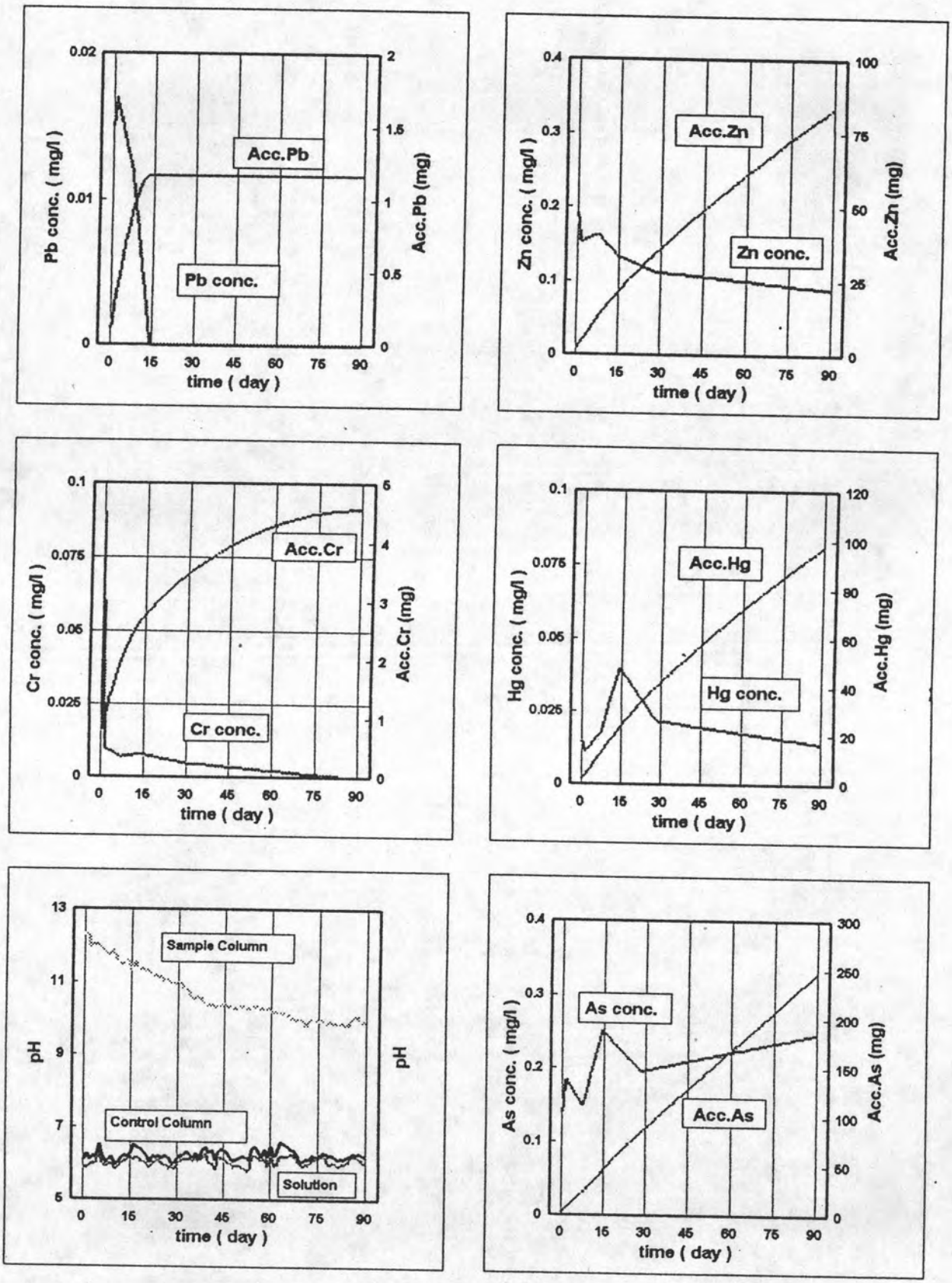
เวลา (วัน)	pH			อัตราการไหล	ปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างน้ำที่ซึมผ่านตะกอน (มก./ล.)											
	*	**	***		AS		Cd		Cr		Hg		Pb		Zn	
	สารละลาย	Control	Sample	(ลิตร/วัน)	Control	Sample	Control	Sample	Control	Sample	Control	Sample	Control	Sample	Control	Sample
เริ่มต้น	5.89	6.16	12.30	-	0.006	0.140	ND	ND	ND	0.090	0.0178	0.015	ND	0.015	0.124	0.192
1	5.93	6.10	12.28	6.8	0.001	0.185	ND	ND	ND	0.010	0.0037	0.011	ND	.017	0.117	0.153
7	5.97	6.10	11.80	8.3	ND	0.148	ND	ND	ND	0.007	ND	0.018	ND	0.012	0.122	0.164
14	6.19	6.76	11.62	6.7	ND	0.251	ND	ND	ND	0.008	ND	0.040	ND	ND	0.097	0.135
28	5.83	6.01	11.02	8.6	ND	0.196	ND	ND	ND	0.005	ND	0.022	ND	ND	0.091	0.113
90	6.03	6.17	9.91	7.9	ND	0.247	ND	ND	ND	ND	ND	0.014	ND	ND	0.073	0.089

* น้ำประปาผสม HCl

** Control = ตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Control Column

*** Sample = ตัวอย่างน้ำที่ซึมผ่านตัวอย่างตะกอน

ND = Cr < 0.005 mg/l
Cd < 0.001 mg/l
Pb < 0.005 mg/l
As < 0.005 mg/l
Hg < 0.005 mg/l



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายเทียบกับเวลา (LONG TERM LEACHING TEST)

หมายเหตุ:- ตรวจไม่พบ Cd. ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นตัวอย่าง

Acc.=ความเข้มข้นสะสม

0.247 มก./ลิตร จากรูปที่ 5.6 พบว่าอาร์เซนิคถูกชะละลายออกมาตลอดช่วงเวลาการทดสอบ ประมาณ 2.48 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.22 ของปริมาณอาร์เซนิคทั้งหมดในตัวอย่าง

สาเหตุที่อาร์เซนิคมีแนวโน้มที่ละลายออกมามากขึ้น เมื่อถูกชะละลายเป็นเวลานาน อาจเนื่องมาจากการที่อาร์เซนิคเป็นโลหะที่อาจอยู่ในรูปของประจุลบซึ่งจะมีผลให้การจับยึดระหว่างปูนซีเมนต์ไม่ดีพอ จึงถูกชะละลายออกมามากขึ้น

3.3 แคดเมียม

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะละลายพบว่ามีปริมาณต่ำกว่า 0.001 มก./ล. ตลอดช่วงเวลาการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนน้ำเสียนี้มีปริมาณแคดเมียมในปริมาณต่ำ และแคดเมียมสามารถถูกจับยึดไว้ด้วยซีเมนต์ได้ดี

3.4 โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายมีค่าสูงสุดประมาณ 0.09 มก./ล. ที่ช่วงเริ่มแรกของการทดสอบ และปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายจะลดลงอย่างมาก เมื่อทำการทดสอบครบ 1 วัน พบว่า ปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายวัดได้ 0.01 มก./ล. ปริมาณโครเมียมจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อทำการทดสอบครบ 90 วัน พบว่า ปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่า 0.005 มก./ล. จากรูปที่ 5.6 พบว่าปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่ถูกชะละลายตลอด 90 วัน มีค่าประมาณ 4.57 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 28.56 ของปริมาณโครเมียมทั้งหมดในตัวอย่าง

3.5 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายมีค่าอยู่ระหว่าง 0.014 ถึง 0.04 มก./ล. โดยในช่วง 14 วัน แรกของการทดสอบพบว่าปริมาณปรอทในน้ำชะละลายมีการแกว่งตัวเล็กน้อย โดยมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 0.04 มก./ล. จากนั้นปริมาณปรอทในน้ำชะละลายมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ที่ระยะเวลาการทดสอบ 90 วัน พบปริมาณปรอทในน้ำชะละลาย เท่ากับ 0.014 มก./ล. จากรูปที่ 5.6 พบว่าตลอดช่วงการทดสอบการชะละลายนี้ ปรอทถูกชะละลายออกมาประมาณ 97.8 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 2.17 ของปริมาณปรอททั้งหมดในตะกอน

3.6 ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายมีค่าอยู่ระหว่าง 0.012 ถึง 0.017 มก./ล. โดยที่จะพบว่าตะกั่วมีการละลายออกมาในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นการทดสอบถึงระยะเวลาการชะ

ละลาย 7 วัน หลังจากนั้นปริมาณตะกั่วจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากการชะละลายที่นานกว่า 14 วัน จะตรวจไม่พบตะกั่วในน้ำชะละลาย จากรูปที่ 5.6 พบว่า ตลอดช่วงการทดสอบการชะละลาย 90 วัน ตะกั่วถูกชะละลายออกมาประมาณ 1.17 มิลลิรัม หรือเท่ากับร้อยละ 0.18 ของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในตัวอย่าง

3.7 สังกะสี

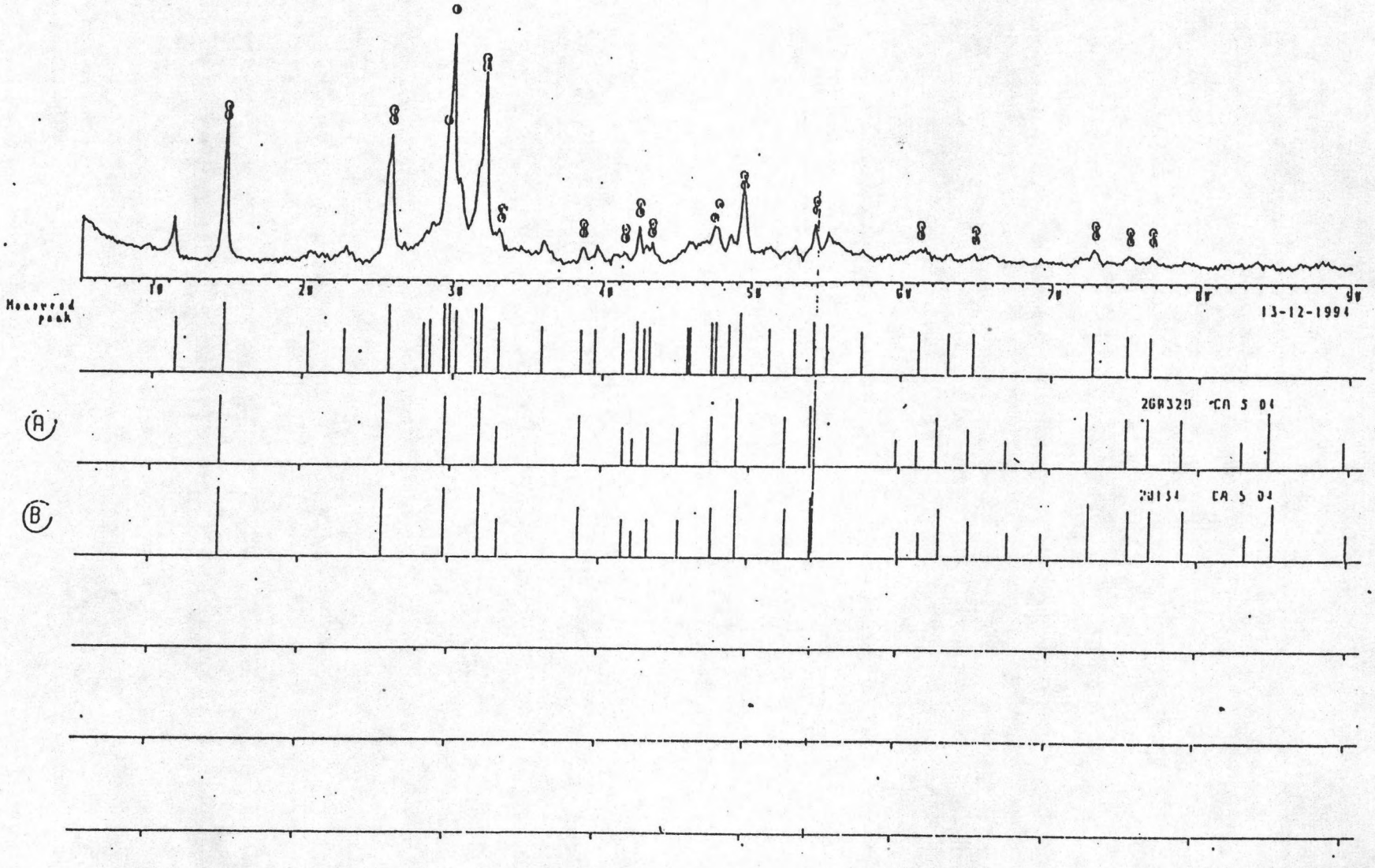
ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายมีการแกว่งตัวตลอดช่วงการทดสอบ 90 วัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.089 ถึง 0.192 มก./ล. การที่ตรวจพบสังกะสีในน้ำชะละลายค่อนข้างสูงตลอดช่วงการทดสอบ อาจเนื่องจากน้ำที่ใช้ในการชะละลายมีสังกะสีปนอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 5.19 จากรูปที่ 5.6 พบว่า ตลอดช่วงการทดสอบ 90 วัน สังกะสีที่ถูกชะละลายทั้งหมดเท่ากับ 83.5 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นร้อละ 5.5 ของสังกะสีทั้งหมด

4. ผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน

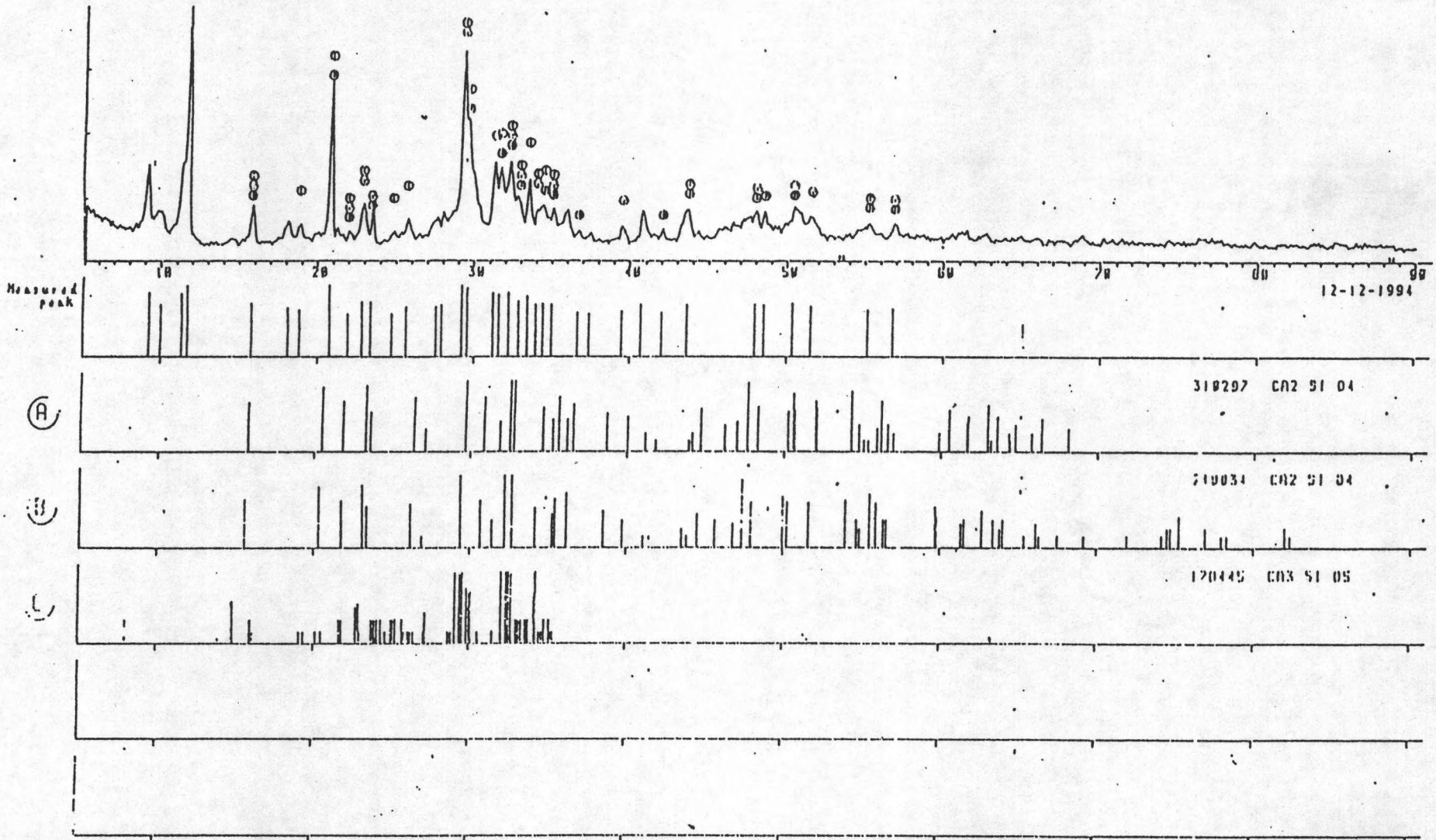
การศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง ทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายในด้วย X-ray Diffraction และภาพถ่ายจุลทรรศน์อีเลคตรอน

4.1 X-ray diffraction

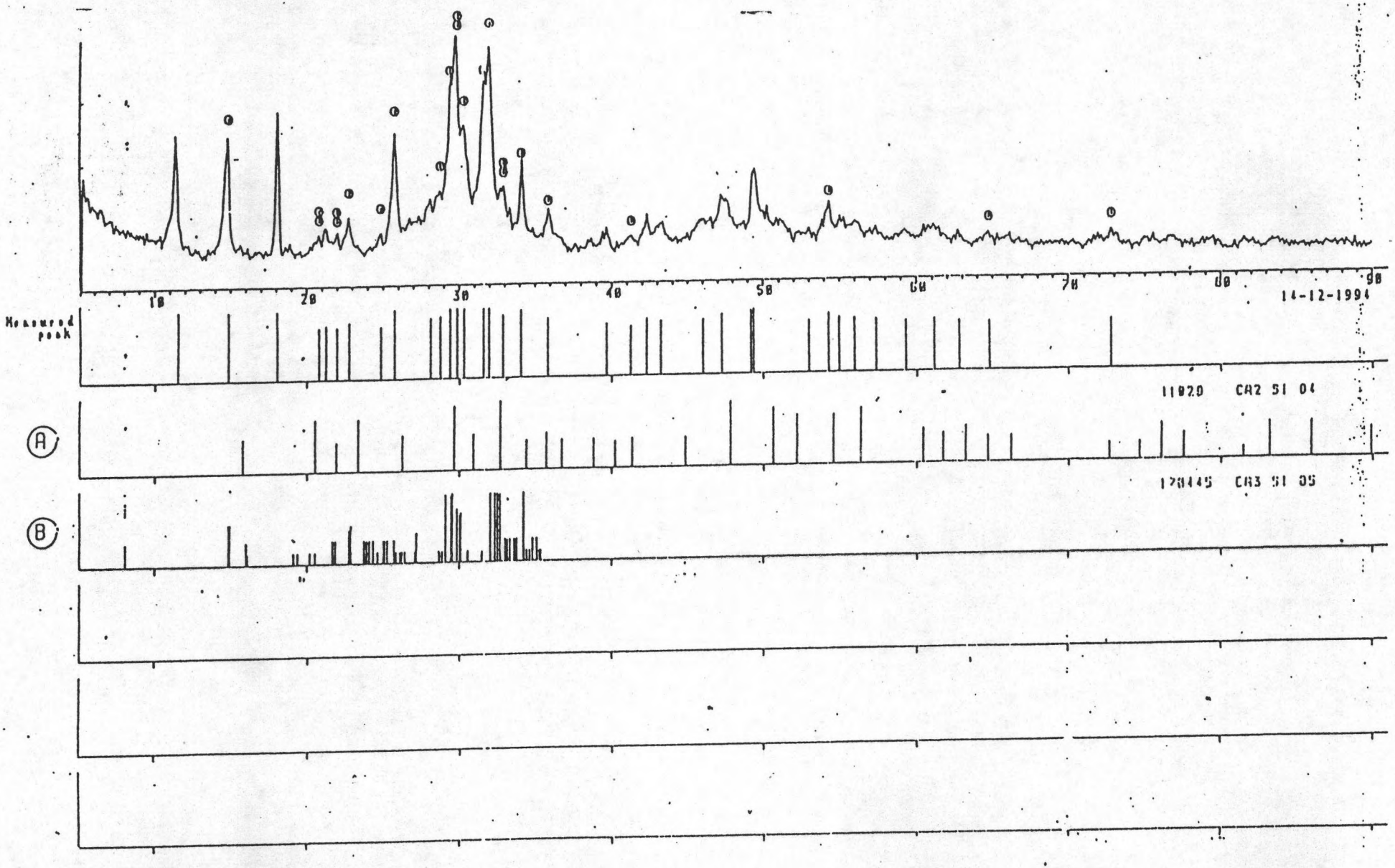
X-ray diffraction diagram ของตะกอนน้ำเสียจะพบสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต $CaSO_4$ เป็นส่วนใหญ่ และไม่พบธาตุอื่นเป็นสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่ระยะเวลาบ่มตัว 1, 7, 14 และ 28 วัน จะพบสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตค่อนข้างเด่นชัด ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบในซีเมนต์มอร์ต้า โดยที่สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ส่วนผสมแข็งตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.8, 5.9, 5.10 และ 5.11



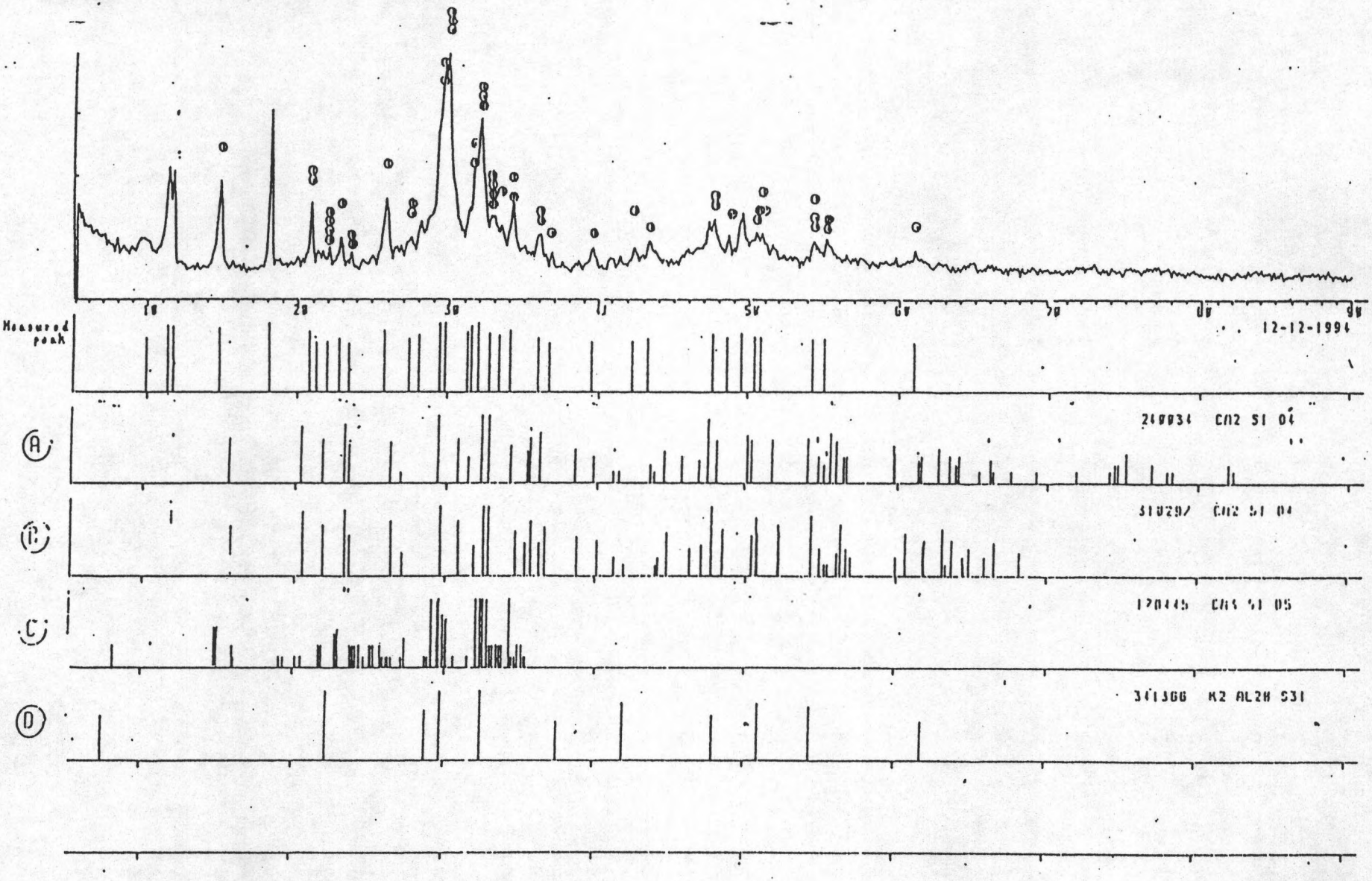
รูปที่ 5.7 X-ray diffraction diagram ของตะกอนดิบ



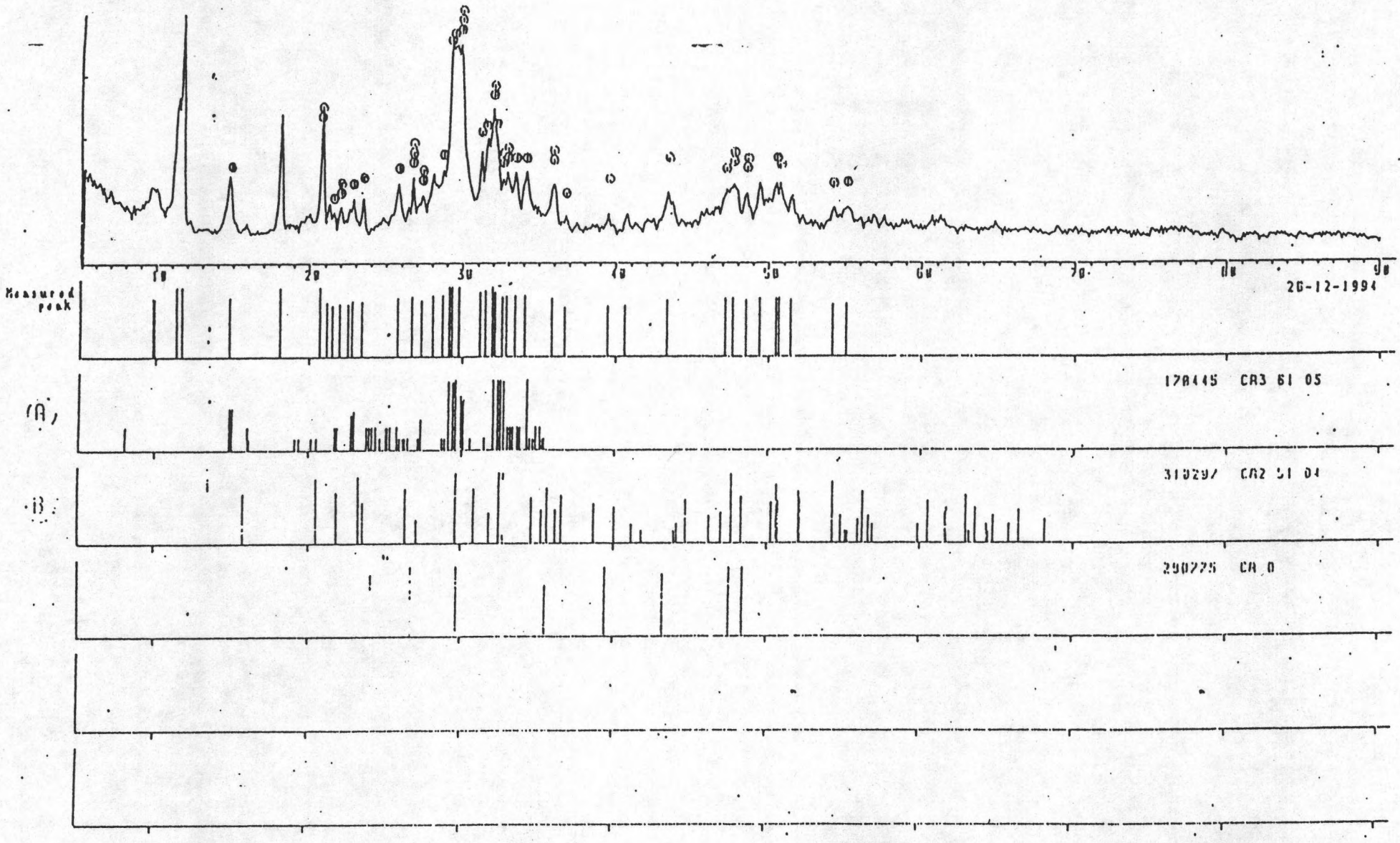
รูปที่ 5.8 X-ray diffraction diagram ของตะกอนผสมซีเมนต์ อายุ 1 วัน



รูปที่ 5.9 X-ray diffraction diagram ของตะกอนผสมซีเมนต์ อายุ 7 วัน



รูปที่ 5.10 X-ray diffraction diagram ของตะกอนผสมซีเมนต์ อายุ 14 วัน



รูปที่ 5.11 X-ray diffraction diagram ของตะกอนผสมซีเมนต์ อายุ 28 วัน

ลักษณะทางกายภาพโดยใช้ภาพถ่ายจุลทรรศน์อีเล็กตรอน

ลักษณะทางกายภาพของตะกอนน้ำเสียโดยใช้ภาพถ่ายจุลทรรศน์อีเล็กตรอนกำลังขยาย 5,000 เท่า และ 9,000 เท่า จะพบว่าอนุภาคของตะกอนน้ำเสียมีลักษณะเป็นผลึกขนาดต่าง ๆ และมีรูปร่างไม่แน่นอน รวมตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 5.12 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งที่กำลังขยาย 2,700 เท่า พบว่า มีลักษณะเป็นผลึกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นผลึกเป็นแท่งยาวประสานกันอยู่ในโครงสร้างของก้อนตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ผลึกเหล่านี้คาดว่าเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเป็นผลึกที่ทำให้ตะกอนมีความแข็งแรงจับตัวกันเป็นก้อนอยู่ได้ จากภาพจะพบว่ามีช่องว่างระหว่างผลึกค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในตะกอนมีความชื้นสูง

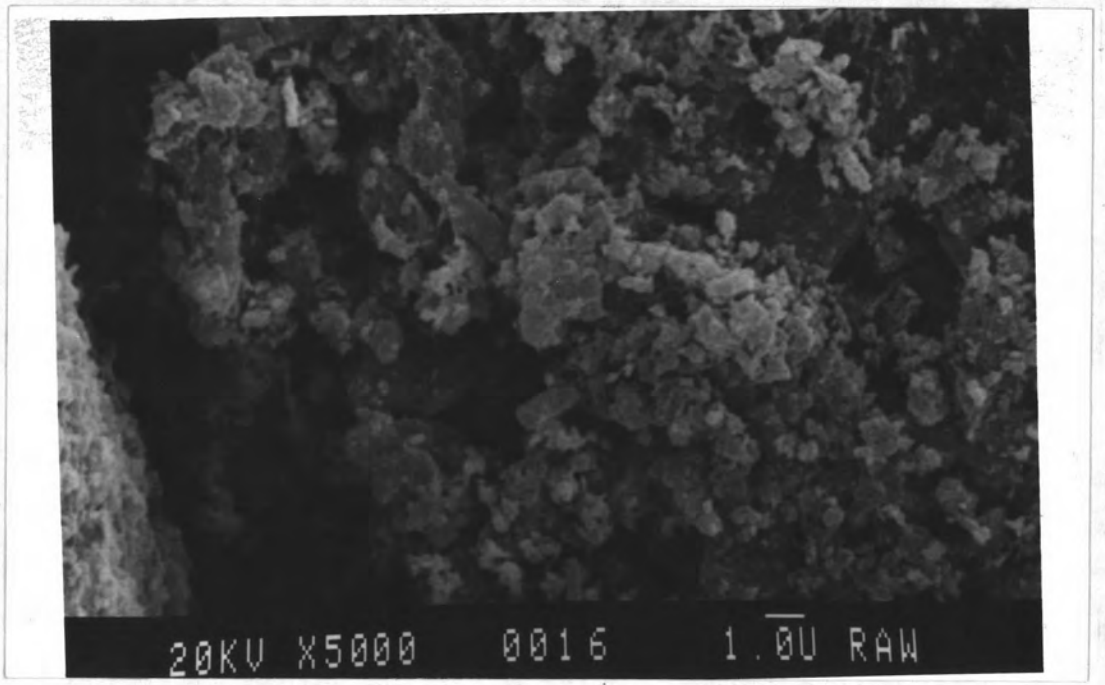
5. สรุปผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

5.1 กำลังรับแรงอัดของตะกอนน้ำเสียที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัว โดยจะมีการพัฒนากำลังคล้ายกับซีเมนต์มอร์ต้า

5.2 ความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มตัวมากขึ้น สำหรับอาร์เซนิค ปรอท และสังกะสี ระยะเวลาบ่มตัวไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด

5.3 ความเข้มข้นของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (แคดเมียม > 0.03 มก./ล. โครเมียม > 0.5 มก./ล. ตะกั่ว > 0.02 มก./ล.) ตลอดช่วงการทดสอบและจะถูกชะละลายออกมาน้อยลงตามระยะเวลาการชะละลายที่นานขึ้น

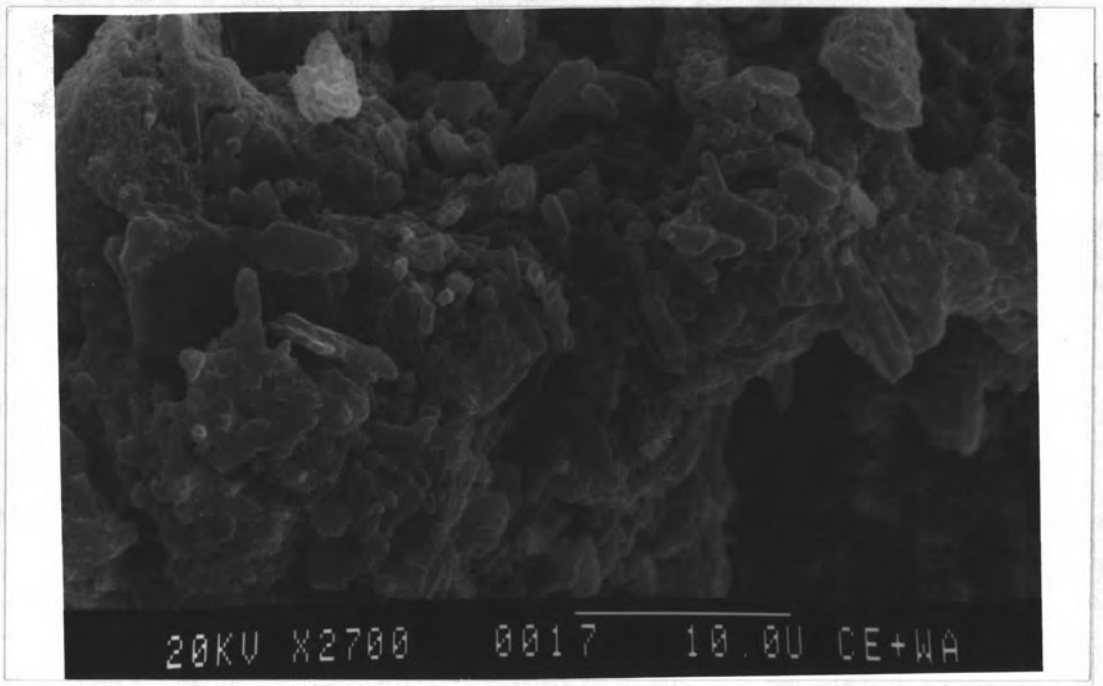
5.4 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคในน้ำชะละลาย ตลอดช่วงการทดสอบ 90 วัน มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (> 0.25 มก./ล.) แต่จากรูปแบบของการชะละลายของอาร์เซนิค มีแนวโน้มจะถูกชะละลายออกมามากขึ้นตามระยะเวลาของการชะละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่อาร์เซนิคอาจอยู่ในรูปประจุลบซึ่งกลไกการจับยึดโลหะหนักด้วยปูนซีเมนต์จะจับยึดโลหะหนักประจุลบได้ไม่ดี



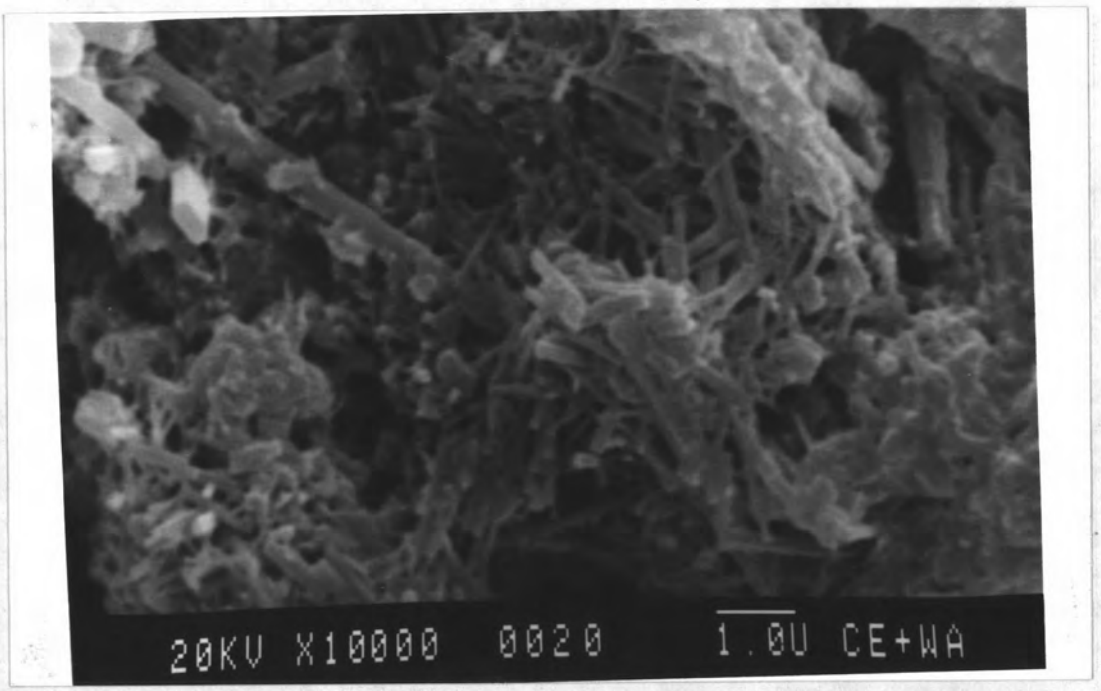
ตะกอนน้ำเสีย กำลังขยาย 5,000 เท่า

ตะกอนน้ำเสีย กำลังขยาย 9,000 เท่า

รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อีเล็กตรอนของตะกอนน้ำเสีย



. ตะกอนผสมปูนซีเมนต์ กำลังขยาย 2,700 เท่า



ตะกอนน้ำเสียผสมปูนซีเมนต์ กำลังขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 5.13 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อีเล็กตรอน ของตะกอนผสมปูนซีเมนต์

5.5 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.02 มก./ล. และมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงการทดสอบ 90 วัน จะเห็นว่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายนี้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณปรอทในน้ำสกัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากปรอทในตะกอนน้ำเสียอยู่ในรูปของปรอทซัลไฟด์ ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ดังนั้นเมื่อนำตะกอนมาทำให้แข็งตัวเป็นก้อนโดยผสมกับปูนซีเมนต์แล้ว ปรอทในตะกอนจะแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของโครงสร้างก้อนตะกอนที่แข็งตัว เมื่อนำตะกอนที่แข็งตัวแล้วมาทำการทดสอบการชะละลายโดยบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลง น้ำชะละลายจึงมีโอกาสพัดพาปรอทออกมากับน้ำชะละลายได้ โดยเหตุที่ตะกอนที่แข็งตัวแล้วมีค่าอัตราความซึมน้ำต่ำ น้ำจะซึมผ่านก้อนตะกอนที่แข็งตัวแล้วได้ช้ามาก ดังนั้นโอกาสที่น้ำจะชะละลายปรอทออกจากก้อนตัวอย่างจึงมีน้อย

การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสียโรงย่างแร่สังกะสี

ในการกำจัดตะกอนน้ำเสียโรงย่างแร่สังกะสีมีค่าใช้จ่ายดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการทำให้ตะกอนแข็งตัวเป็นก้อน
2. ค่าขนย้ายตะกอนจากโรงผสมตะกอนไปยังหลุมฝังกลบ
3. ค่าดำเนินการฝังกลบ

ข้อมูลที่ใช้ในการคิดค่าใช้จ่าย

โรงย่างแร่สังกะสีนี้มีกำลังผลิต Calcine ประมาณ 425 ตันต่อวัน หรือประมาณ 425 x 330 = 140,250 ตันต่อปี หรือเทียบเท่า 140,000 ตันต่อปี ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 2,700 ตัน/ปี (ความชื้นประมาณ 50%)

1. ค่าใช้จ่ายในการทำให้ตะกอนแข็งตัวเป็นก้อน ประกอบด้วยค่าวัสดุและค่าดำเนินการ

จากผลการศึกษาพบว่าจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งในการทำให้ตะกอนแข็งตัวเป็นก้อน ที่ความชื้นตะกอนร้อยละ 50 ดังนั้นในการทำตะกอนน้ำเสีย 1 ตัน ให้แข็งตัวเป็นก้อนต้องใช้ปูนซีเมนต์เท่ากับ 1 x 0.5 x 0.40 = 0.20 ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามท้องตลาดกำหนดตันละ 1,850 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่าย = 0.20 x 1,850 = 370 บาทต่อตะกอนน้ำเสีย 1 ตัน

กำหนดให้ค่าดำเนินการคิดเป็นร้อยละ 30 ของค่าวัสดุ

ดังนั้นค่าดำเนินการ = 370 x 0.3 = 111 บาท ต่อตะกอน 1 ตัน

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทำให้ตะกอนแข็งตัวเป็นก้อน

จึงเท่ากับ 370+111 = 481 บาท ต่อตะกอนน้ำเสีย 1 ตัน

= 480 บาท ต่อตะกอนน้ำเสีย 1 ตัน

2. งานค่าขนส่งจากโรงงานผสมตะกอนไปยังหลุมฝังกลบ

เนื่องจากโรงผสมตะกอนและหลุมฝังกลบอยู่ภายในบริเวณโรงย่างแร่ ระยะทางขนส่งไป-กลับ ประมาณ 1 กิโลเมตร ราคาค่าขนย้ายตะกอนประมาณ 45 บาทต่อ 1 ตันตะกอนดิบ (ข้อมูลจากโรงย่างแร่)

3. ค่าดำเนินการฝังกลบ

เนื่องจากทางโรงงานใช้ที่ดินของโรงงานที่มีอยู่เดิมเป็นสถานที่ฝังกลบ ดังนั้นการคิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ประกอบด้วยค่าขุดดินเตรียมหลุมฝัง และค่าปูแผ่นพีวีซีกันน้ำซึมก้นหลุม ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ประมาณ 250 บาท ต่อ 1 ตันตะกอนดิบ

4. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสีย = 480+45+250 บาท ต่อ 1 ตันตะกอนดิบ

= 775 บาท ต่อ 1 ตันตะกอนดิบ

= 2,029,500 บาท ต่อปี

= 2,092,500 / 140,000

= 14.95 บาท ต่อ 1 ตัน Calcine

= 15 บาท

ในการผลิต Calcine 1 ตัน จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย 15 บาท

ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสียโรงย่างแร่สังกะสี

ค่าใช้จ่าย	บาท / ปี	บาท/ ตันตะกอน	บาท / ตัน Calcine
ค่าทำให้ตะกอนแข็งเป็นก้อน	1,296,000	4.80	9.26
ค่าขนย้าย	121,500	45	0.87
ค่าดำเนินการฝังกลบ	675,000	250	4.82
รวม	2,092,500	775	14.95 = 15