บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

คุณลักษณะของน้ำเสียซีโอดี ตะกอนโลหะหนักและเถ้าลอยลิกไนต์

1. คุณลักษณะของน้ำเสียซีโอดี

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียซีโอดี ซึ่งเก็บตัวอย่างจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย ตามตารางที่ 5.1 พบว่ามีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำ สภาพนำไฟฟ้ามีค่า 38.2 มิลลิซีเมนต์/ซม. ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท โครเมี่ยม และเหล็ก มีค่า 703 492 และ 540 มก./ล. ส่วนปริมาณโลหะหนักอื่น ๆ ได้แก่ ตะกั่ว มีค่า 2.7 มก./ล. อาร์ซินิคและแคดเมี่ยมมีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการศึกษาของ Youn,1990 และพวงรัตน์,2537 พบว่าปริมาณปรอทและโครเมี่ยม มีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Youn แต่มีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาของพวงรัตน์ค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียซีโอดีจากแหล่งต่างกัน มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

2. คุณลักษณะของตะกอนโลหะหนัก

2.1 องค์ประกอบของตะกอนโลหะหนัก

ตะกอนโลหะหนักที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เตรียมจากน้ำเสียซีโอดี โดยการตกตะกอนผลึกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการเตรียมตะกอนโลหะหนัก ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก. พบว่าน้ำเสียซีโอดี 1 ลิตร จะทำให้เกิดตะกอนโลหะหนักมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้ง 120 กรัม ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ตรวจวิเคราะห์ประกอบด้วยปรอท โครเมี่ยม และเหล็ก มีค่า 4.31,4.15 และ 5 มก./ก. ส่วนโลหะหนักอื่น ๆ ได้แก่ อาร์ซินิค แคดเมี่ยม และตะกั่ว ตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก (ตารางที่ 5.2) เมื่อเปรียบเทียบตะกอนโลหะหนัก กับผลการศึกษาของ Youn (1990) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือมีปริมาณของปรอทและโครเมี่ยมในตะกอน 6.6 และ 2.55 มก./ก.

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของน้ำเสียซีโอดีที่ตรวจวัด เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	ค่าที่วัดได้	Youn (1990)	พวงรัตน์ (2537)
พีเอช	0	< 1	0
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	38.2	-	-
ปรอท (Hg)	703	927	1804
โครเมี่ยม (Cr)	492	355	700
เหล็ก (Fe)	540	-	670
ตะกั่ว (Pb)	2.7	0.9	-
อาร์ซินิค (As)	ND	-	-
แคดเมี่ยม (Cd)	ND	-	-

ตารางที่ 5.2 ลักษณะสมบัติของตะกอนโลหะหนักที่ตรวจวัดเปรียบเทียบกับผลการวิจัยที่ผ่านมา

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในตะกอน (มก./ก.)	
	ค่าที่วัดได้	Youn (1990)
ปรอท (Hg)	4.31	6.60
โครเมี่ยม (Cr)	4.15	2.55
เหล็ก (Fe)	5.0	-
อาร์ซินิค (As)	ND	-
แคดเมี่ยม (Cd)	ND	-
ตะกั่ว (Pb)	0.35	-

2.2 การทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนัก

การทดสอบการชะละลายสำหรับการวิจัยนี้ถือตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลายแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ซึ่งประกอบด้วย ค่าพีเอช 7.64 สภาพนำไฟฟ้า 63.2 มิลลิซีเมนต์/ซม. ความเป็นด่าง 53.5 มก/ล. ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท โครเมี่ยม เหล็ก และตะกั่ว มีค่า 7.33,7.22,0.7 และ 0.85 มก./ล. ส่วนอาร์ซินิค และแคดเมี่ยมตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานสารพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว พบว่าปรอทและโครเมี่ยมมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นตะกอนโลหะหนักที่เตรียมจากน้ำเสียซีโอดีจึงจัดอยู่ในข่ายของสารพิษซึ่งจำเป็นต้องนำไปทำลายฤทธิ์โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนต่อไป

3. คุณลักษณะของเถ้าลอยลิกไนต์

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการชะละลายของเถ้าลอยลิกไนต์ และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัด ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 5.3 พบว่าน้ำสกัดมีคุณสมบัติเป็นด่างค่อนข้างสูง มีค่าพีเอช 12.24สภาพนำไฟฟ้า 7.98 มิลลิซีเมนต์/ซม. ความเป็นด่าง 1605 มก./ล. ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ โครเมี่ยม เหล็ก อาร์ซินิคและตะกั่ว มีค่า 0.05, 0.17, 0.005 และ 0.16 ส่วนปรอทและแคดเมี่ยมตรวจไม่พบ จากการเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ พบว่าโลหะหนักทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นเถ้าลอยลิกไนต์จึงไม่จัดอยู่ในข่ายสารมีพิษ

การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการทำลายฤทธิ์ของตะกอนโลหะหนัก โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ โดยศึกษาผลของอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักและ % เถ้าลอยที่ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน ระหว่าง 0-0.5 และแปรค่า %เถ้าลอยฯ ในวัสดุประสานระหว่าง 0-75% ใช้เวลาบ่มตัวอย่าง 7 วัน นำตะกอนโลหะหนักที่เป็นก้อนแล้วไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทดสอบการชะละลายและเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนและมาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลองต่อไป ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	ตะกอนโลหะหนัก	เถ้าลอยลิกไนต์	เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ
พีเอช	7.64	12.24	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	63.2	7.98	-
ความเป็นด่าง	53.5	1605	-
ปรอท (Hg)	7.33	ND	> 0.2
โครเมี่ยม (Cr)	7.22	0.05	> 5
เหล็ก (Fe)	0.7	0.17	-
อาร์ซินิค (As)	ND	0.005	> 5
แคดเมี่ยม (Cd)	ND	ND	> 1
ตะกั่ว (Pb)	0.85	0.16	> 5

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ภาพที่ 5.1และ5.2 แสดงตัวอย่างที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่างๆ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพสรุปได้ดังนี้

1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.4 และกราฟรูปที่ 5.1 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันลดลงตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (%เถ้าลอยฯ = 0) ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงสุด 318 กก./ซม^2 และลดลงเป็น 290,164 และ 116 เมื่อมีตะกอนโลหะหนักผสมในอัตราส่วน 0,0.1,0.25 และ 0.5 ตามลำดับ

สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 25,50 และ 75% ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าสูงขึ้นที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน 0.1 และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็น 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ การเพิ่ม % เถ้าลอยลงในวัสดุประสานจะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง

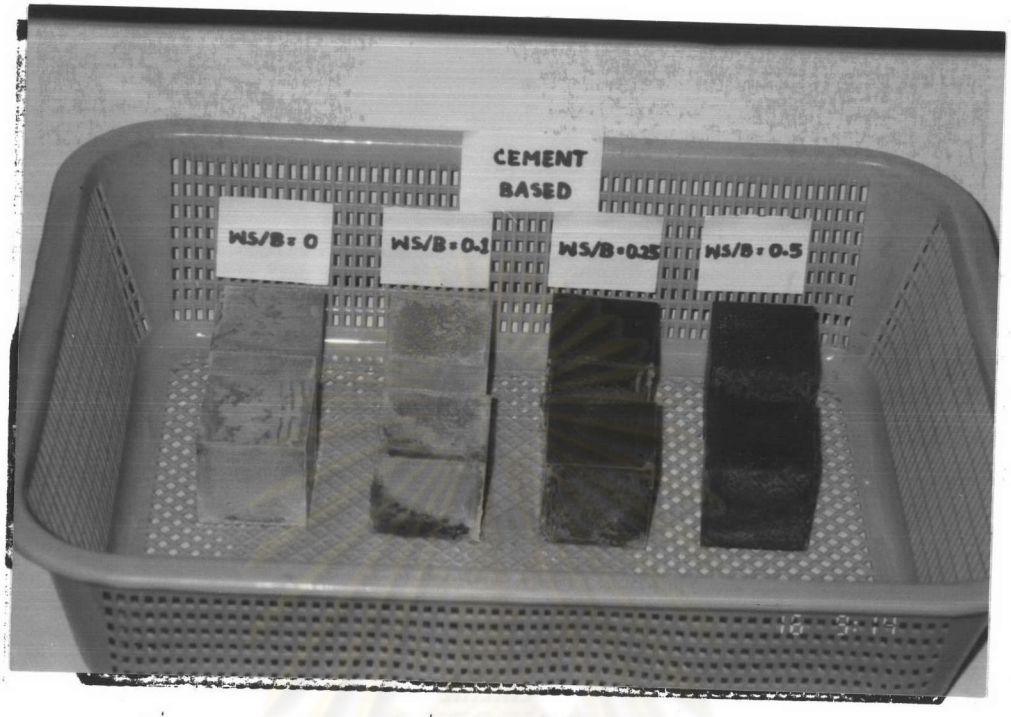
ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในทุก ๆ อัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน กล่าวคือมีค่าสูงกว่า 14 กก./ซม^2

1.2 ความหนาแน่น

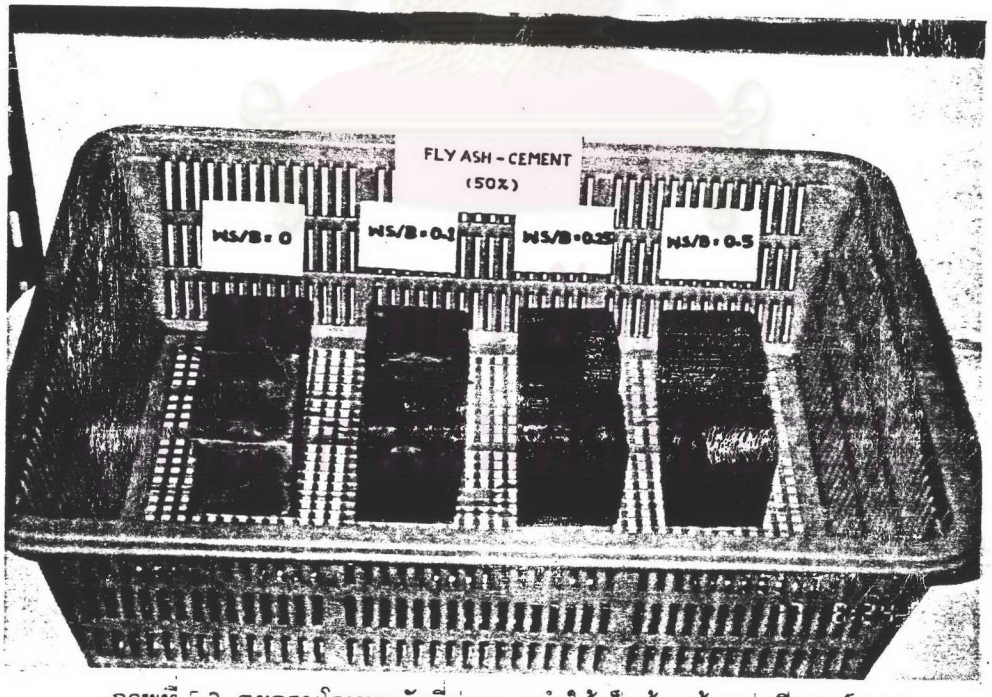
การเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสานจาก 0-0.5 จะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่าสูงขึ้น โดยจะมีค่าระหว่าง 1.75-1.94, 1.91-2.07, 1.98-2.14 และ 2.09-2.25 ตัน/ม^3 ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0,0.1,0.25 และ 0.5 ตามลำดับ ผลของการเพิ่ม % เถ้าลอยในวัสดุประสานจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง (ตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.2) เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนพบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

2. การทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0,25,50 และ 75 แสดงไว้ในตารางที่ 5.6-5.9



ภาพที่ 5.1 ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่างๆ



ภาพที่ 5.2 ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ผสม
เถ้าลอยลิกไนต์ 50% ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

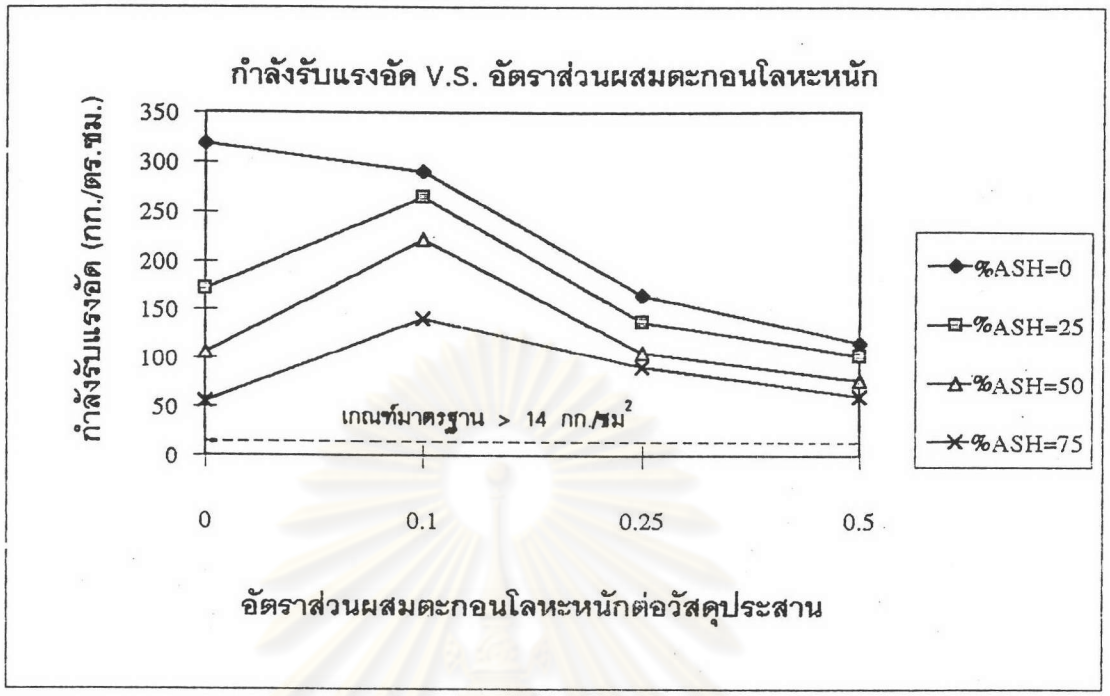
%เถ้าลอยในวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม^2)			
	อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน			
	0	0.1	0.25	0.5
0	318	290	164	116
25	171	264	136	103
50	106	220	105	77
75	56	140	90	61
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 14 กก./ซม^2			

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

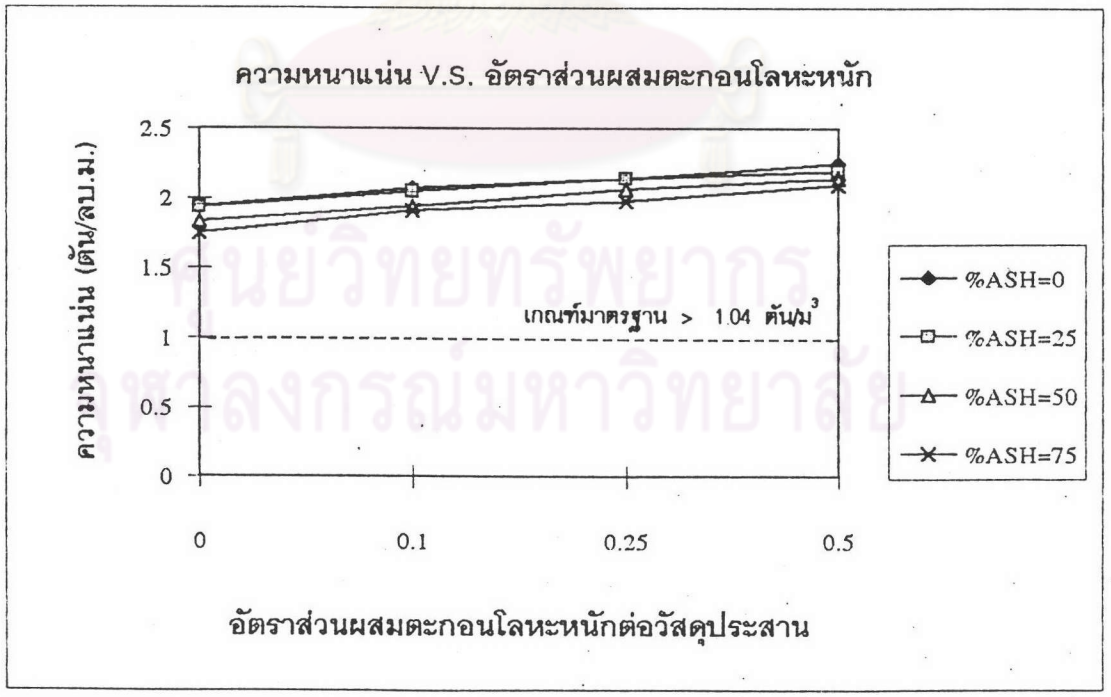
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

%เถ้าลอยในวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (ตัน/ม^3)			
	อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน			
	0	0.1	0.25	0.5
0	1.94	2.07	2.14	2.25
25	1.93	2.05	2.14	2.19
50	1.83	1.94	2.06	2.14
75	1.75	1.91	1.98	2.09
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 1.04 ตัน/ม^3			

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 0)

ลักษณะสมบัติ	อัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	0	0.1	0.25	0.5	
พีเอช	12.42	12.66	12.68	12.58	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	7.5	14.84	22.60	29.90	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	2012	3540	4070	4421	-
ปรอท (มก./ล.)	ND	0.25	0.87	1.48	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	0.12	0.93	3.42	5.86	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.12	0.19	0.27	0.54	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 25)

ลักษณะสมบัติ	อัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	0	0.1	0.25	0.5	
พีเอช	12.35	12.75	12.81	12.85	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	7.42	14.80	21.25	30.45	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	1944	3423	3753	4190	-
ปรอท (มก./ล.)	ND	0.30	1.00	2.25	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	0.1	0.72	2.32	4.15	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.29	0.29	0.34	0.33	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 50)

ลักษณะสมบัติ	อัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	0	0.1	0.25	0.5	
พีเอช	12.48	12.67	12.69	12.64	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	6.74	9.53	18.58	27.75	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	1783	2431	2865	2899	-
ปรอท (มก./ล.)	ND	0.36	1.18	2.52	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	0.15	0.54	1.10	3.20	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.12	0.35	0.42	0.42	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 75)

ลักษณะสมบัติ	อัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	0	0.1	0.25	0.5	
พีเอช	12.27	12.39	12.45	12.46	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	5.22	9.52	16.94	24.8	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	1350	1442	1712	1609	-
ปรอท (มก./ล.)	ND	0.70	1.49	2.71	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	0.07	0.31	1.60	6.16	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.37	0.35	0.35	0.35	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่าระหว่าง 12.27-12.48, 12.39-12.75, 12.45-12.81 และ 12.46-12.85 สำหรับการทดลองที่ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0,0.1,0.25 และ 0.5 ตามลำดับน้ำสกัดมีค่าพีเอชค่อนข้างสูง เนื่องจากการละลายของแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์จากรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน ค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนัก ทั้งนี้เนื่องจากการละลายของไฮดรอกไซด์จากตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

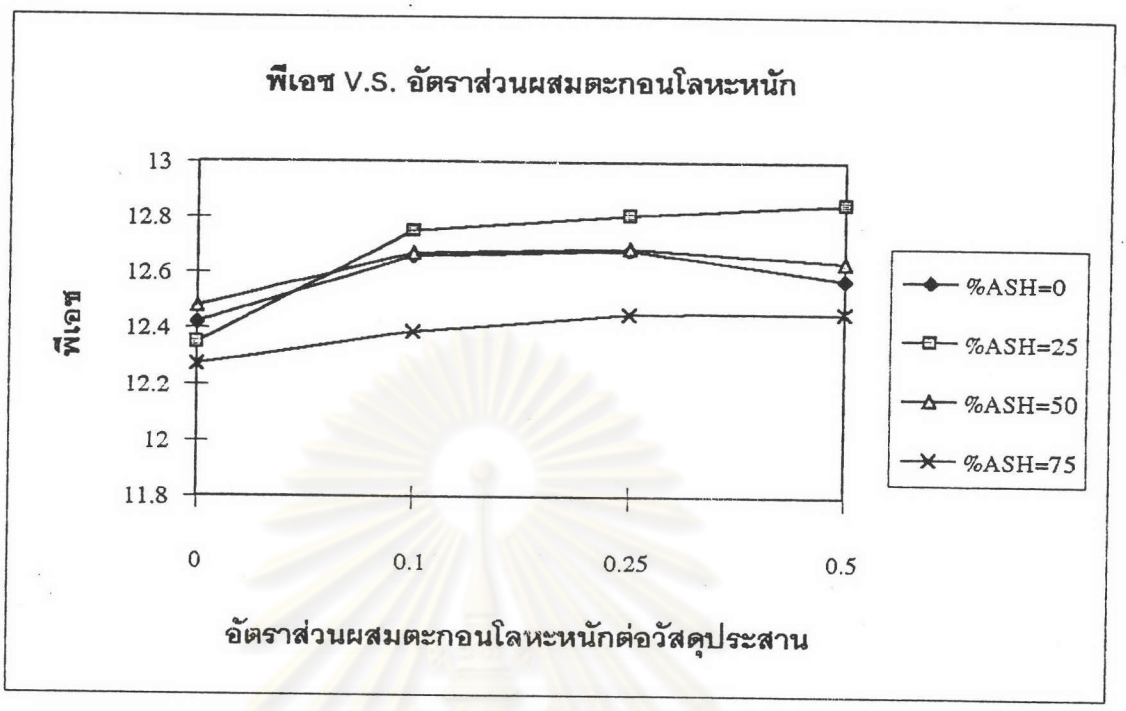
ค่าสภาพนำไฟฟ้าซึ่งแสดงถึงปริมาณของสารที่ละลายในน้ำสกัดมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ระหว่าง 5.22-7.5, 9.52-14.84, 16.94-22.6 และ 24.8-30.45 มิลลิซีเมนต์/ซม. ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0, 0.1, 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.4 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักจาก 0 เป็น 0.1, 0.25 และ 0.5 ค่าสภาพนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการชะละลายของตะกอนโลหะหนักเพิ่มขึ้นและผลของการเพิ่ม %เถ้าลอยลงในวัสดุประสานจะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าลดต่ำลง

2.3 ความเป็นด่าง

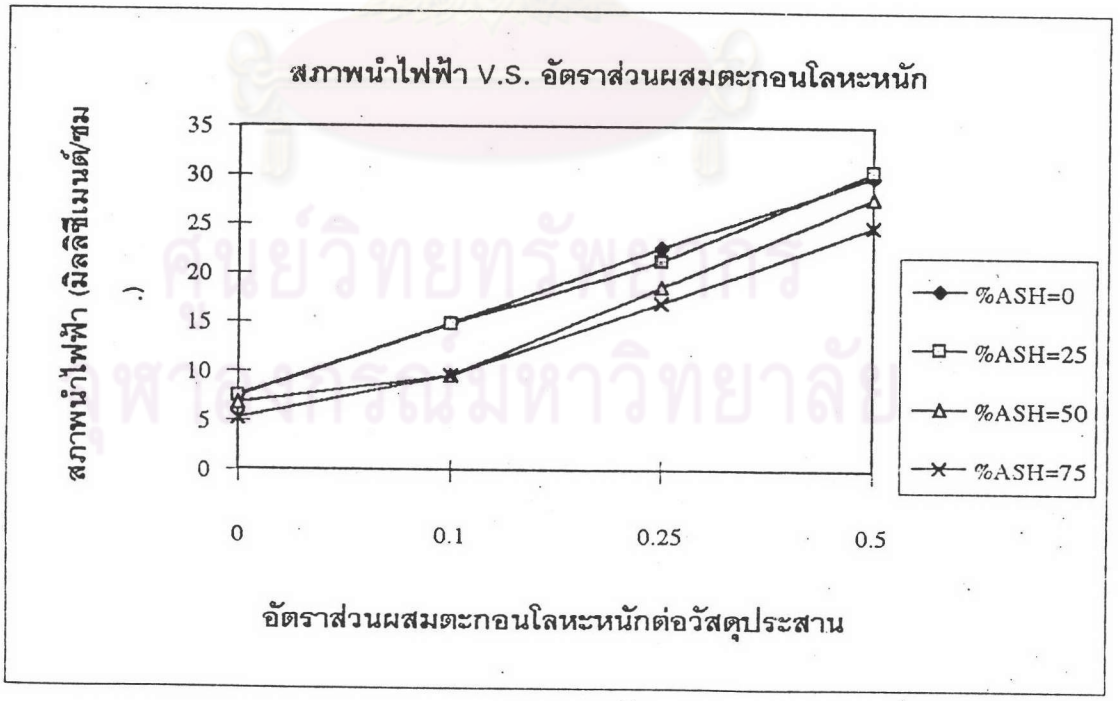
ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดมีค่าระหว่าง 1350-2012, 1442-3540, 1772-4070 และ 1609-4421 มก./ล. (หินปูน) ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0,0.1,0.25 และ 0.5 ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.5 ค่าความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นด่างจากอนุมูลไฮดรอกไซด์ที่ละลายออกมาจากตะกอนโลหะหนัก ผลของการเพิ่ม %เถ้าลอยในวัสดุประสานทำให้ค่าความเป็นด่างลดลง เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานลดน้อยลง ทำให้ความเป็นด่างละลายออกมาน้อยลงด้วย

2.4 ปรอท

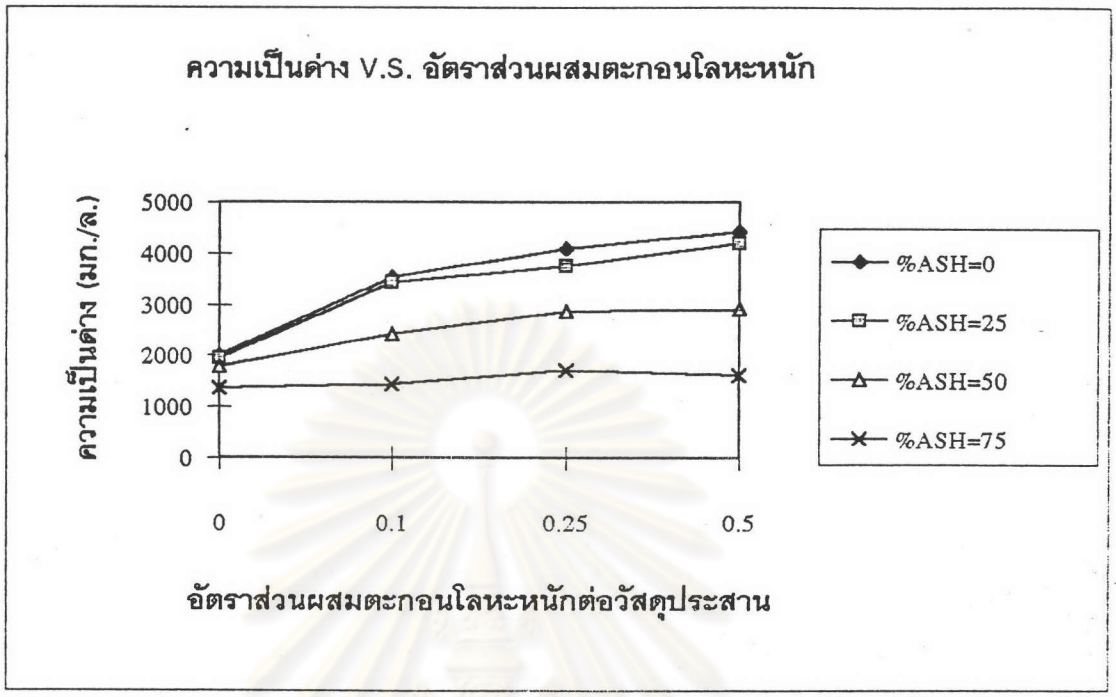
ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่าระหว่าง 0, 0.25-0.7, 0.67-1.49 และ 1.48-2.71 มก./ล. เมื่อใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0, 0.1, 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักลงในส่วนผสมจะทำให้ปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่ม %เถ้าลอยในวัสดุประสานจาก 0 เป็น 25, 50 และ 75 จะมีผลให้ปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้นแสดงว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน ปูนซีเมนต์มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์ปรอทได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้ว พบว่า -



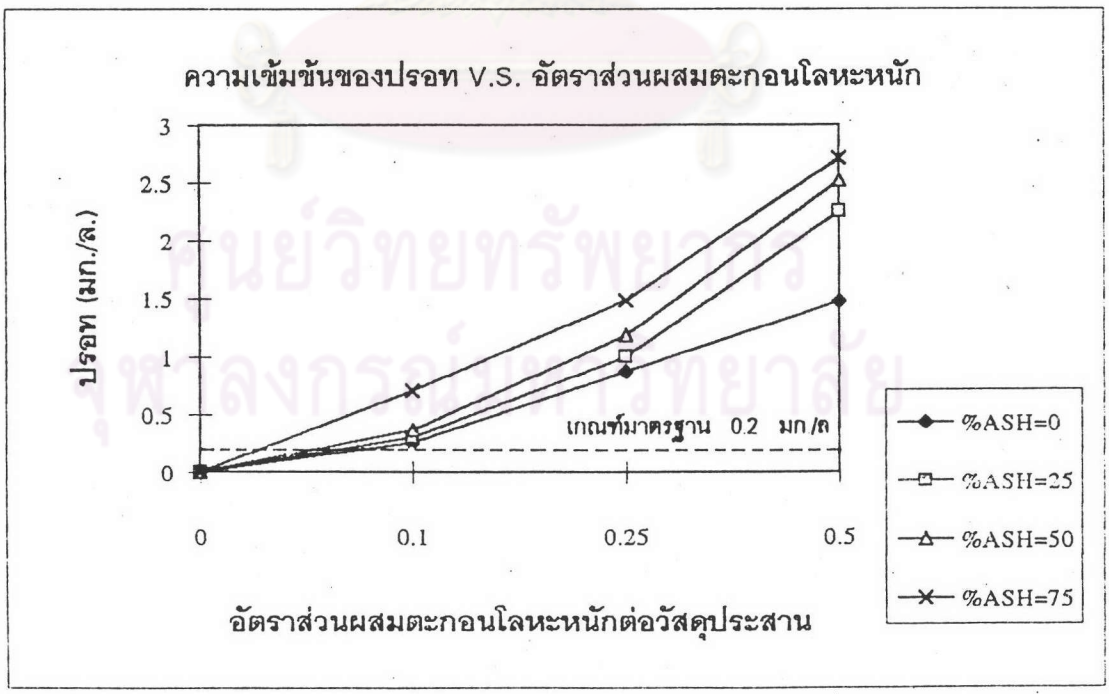
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ทุก ๆ อัตราส่วนผสมมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน

2.5 โครเมี่ยม

ความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดมีค่าระหว่าง 0.07-0.15, 0.31-0.93, 1.6-3.42 และ 3.2-6.16 มก./ล. ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0, 0.1, 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ การเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักลงในส่วนผสมมีผลทำให้ความเข้มข้นของโครเมี่ยมสูงขึ้นเช่นเดียวกับปรอท (รูปที่ 5.7) ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนโลหะหนักมากขึ้น มีผลให้โครเมี่ยมถูกชะละลายมากขึ้น ผลของการเพิ่ม %เถ้าลอยลงในวัสดุประสานให้ผลตรงกันข้ามกับปรอท กล่าวคือเมื่อเพิ่ม %เถ้าลอยในวัสดุประสานจาก 0 เป็น 25, 50 และ 75 จะมีผลให้ปริมาณโครเมี่ยมในน้ำสกัดลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 5 มก./ล. แล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน 0.1 และ 0.25 ที่ %เถ้าลอย 0-75 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0.5 ที่ %เถ้าลอย 0 และ 75 มีค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดสูงเกินมาตรฐาน

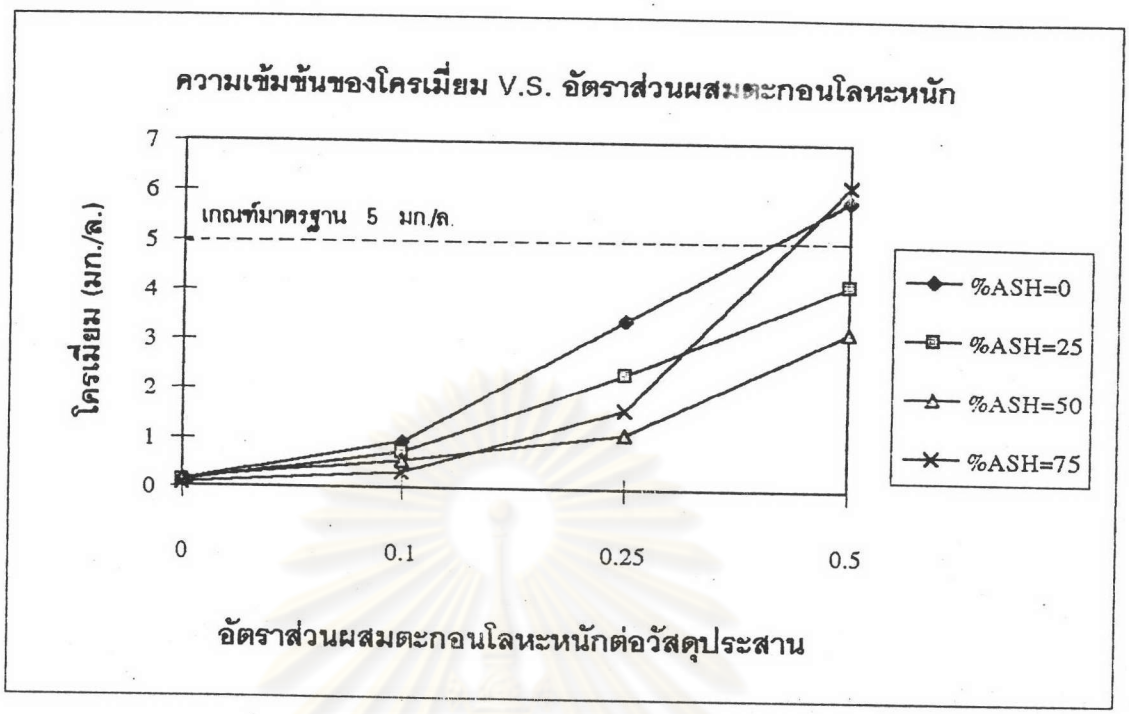
2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่าระหว่าง 0.12-0.37, 0.19-0.35, 0.27-0.42 และ 0.33-0.54 มก./ล. สำหรับตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0, 0.1, 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ ปริมาณเหล็กที่ถูกชะละลายออกมามีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปรอทและโครเมี่ยม ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการละลายของเหล็กมีค่าต่ำมาก ในสภาพพีเอชของน้ำที่เป็นด่าง จากกราฟรูปที่ 5.8 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน จะมีผลให้การชะละลายของเหล็กเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

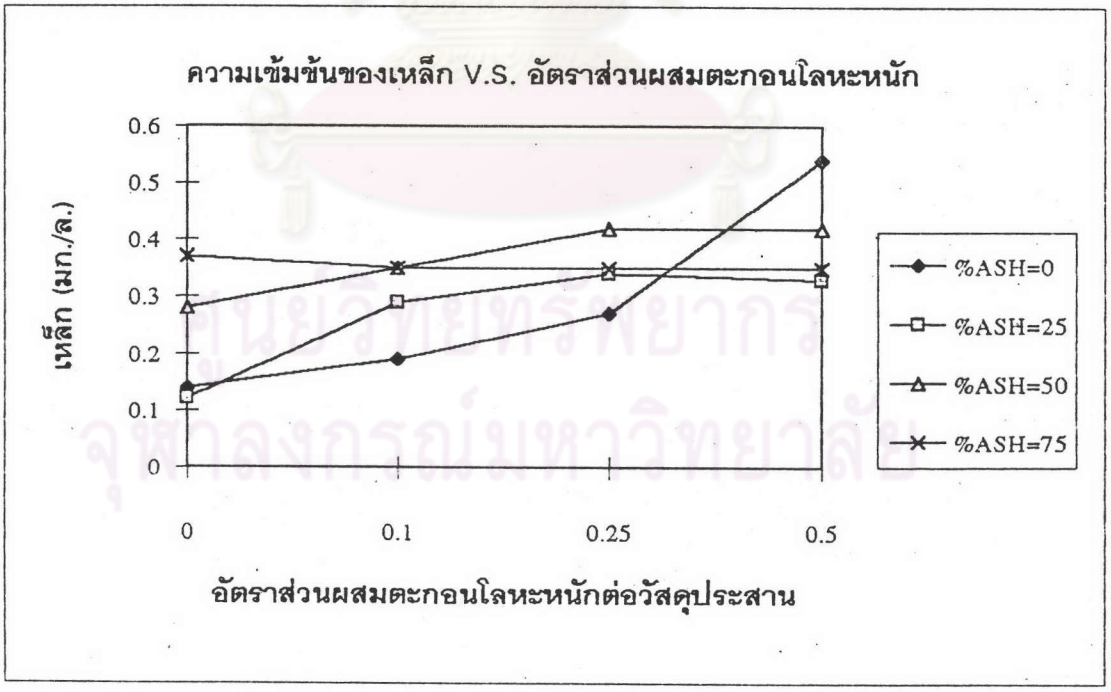
3. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในขั้นต้น

การพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในขั้นต้น จะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ ให้มีกำลังรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 14 กก./ซม^2 และความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตัน/ม^3 และเกณฑ์มาตรฐานสารพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาโลหะหนักเฉพาะปรอทและโครเมี่ยม ซึ่งกำหนดคุณสมบัติของสารพิษจะต้องมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดมากกว่า 0.2 มก./ล. และโครเมี่ยมมีค่ามากกว่า 5 มก./ล.

จากการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน 0-0.5 และใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0-75 % สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

เมื่อพิจารณาถึงผลการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก พบว่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าสูงเกินมาตรฐาน ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0.1 และสูงเพิ่มมากขึ้นที่ 0.25 และ 0.5 ตามลำดับ สำหรับโครเมี่ยมที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก 0.1 และ 0.25 มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน 0.25 เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลองตัวแปรต่อไป เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่สามารถทำลายฤทธิ์โครเมี่ยมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ และมีส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่ไม่ต่ำมากนัก ทำให้ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาได้อย่างชัดเจน

สำหรับการเลือก %เถ้าลอยที่เหมาะสมนั้น พบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก/วัสดุประสาน 0.25 ถ้าใช้ %เถ้าลอย = 0 จะสามารถทำลายฤทธิ์ปรอทได้ดีที่สุด และที่ %เถ้าลอย = 50 จะสามารถทำลายฤทธิ์โครเมี่ยมได้ดีที่สุดเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือก %เถ้าลอย = 0 และ 50 เป็นวัสดุประสานที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาต่อไป

<u>การศึกษาผลของอัตราส่วนผสมน้ำต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อน</u>

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสมน้ำต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อน และหาอัตราส่วนผสมน้ำที่เหมาะสม สำหรับการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก โดยใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 0 และ 50% และมีระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน แปรค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.35-0.7 สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. <u>คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน</u>

1.1 <u>กำลังรับแรงอัด</u>

จากตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.9 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35, 0.5, 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 มีค่า 192, 127, 152 และ 167 กก./ซม^2 และ %เถ้าลอย 50 มีค่า 114, 84, 98 และ 117 ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 มีค่าลดลงเล็กน้อย จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำเป็น 0.6 และ 0.7 วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 หรือปูนซีเมนต์ล้วน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 เมื่อเปรียบเทียบผล-

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมน้ำต่าง ๆ

%เถ้าลอยในวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม^2)			
	อัตราส่วนผสมน้ำ/วัสดุประสาน			
	0.35	0.5	0.6	0.7
0	192	127	152	167
50	114	84	98	117
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 14 กก./ซม^2			

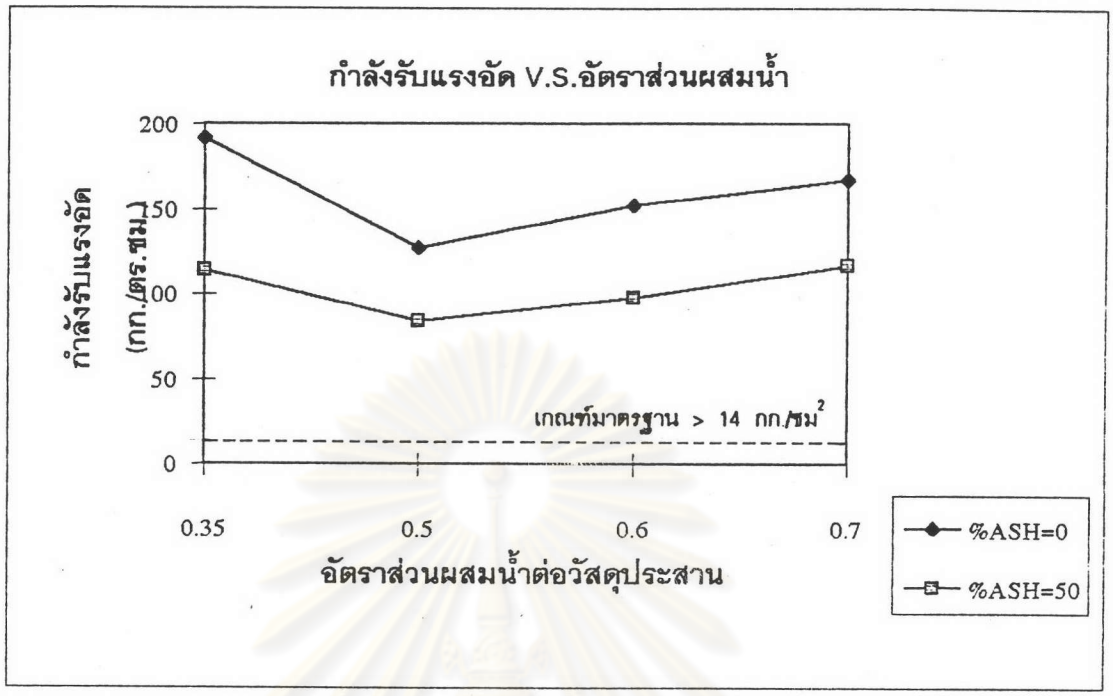
* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

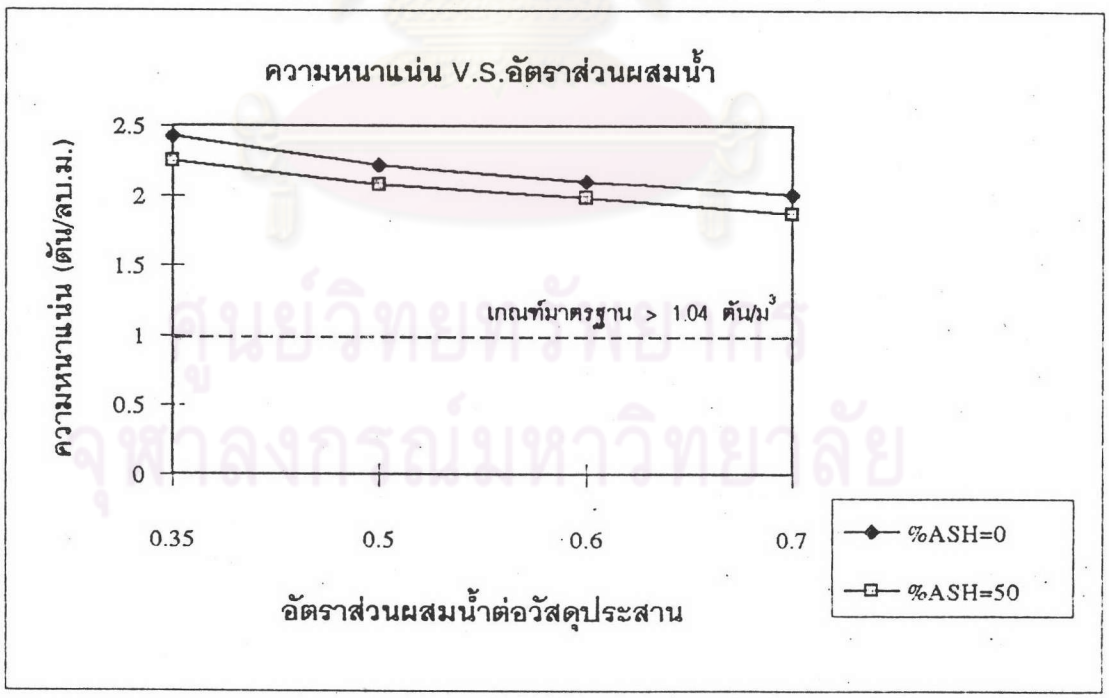
%เถ้าลอยในวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (ตัน/ม^3)			
	อัตราส่วนผสมน้ำ/วัสดุประสาน			
	0.35	0.5	0.6	0.7
0	2.42	2.22	2.10	2.01
50	2.25	2.08	1.99	1.87
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 1.04 ตัน/ม^3			

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมน้ำ

กับเกณฑ์มาตรฐานแล้ว พบว่าทุกค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

1.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ทำให้เป็นก้อนแล้วที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35, 0.5 , 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 มีค่า 2.42, 2.22, 2.10 และ 2.01 ตัน/ม^3 ส่วนวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 มีค่า 2.25,2.08,1.99 และ 1.87 ตัน/ม^3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.11) จากรูปที่ 5.10 จะเห็นว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามอัตราส่วนตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น และวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 หรือปูนซีเมนต์ล้วน จะให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าทุกค่ายังมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2. ผลการทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ผลการทดสอบการชะละลายแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 5.12 และ5.13 สรุปผลได้ดังนี้

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35,0.5, 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 มีค่า 12.74, 12.83, 12.86, และ 13.10 และมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 โดยมีค่าพีเอช 12.87, 12.95, 13.04 และ 13.08 ตามลำดับ (รูปที่ 5.11) ค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมน้ำที่เพิ่มขึ้น

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

สภาพนำไฟฟ้าที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35, 0.5, 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีเถ้าลอย 0 มีค่า 24.3, 22.95, 22.10 และ 20.5 และมีค่าลดลง เมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 โดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้า 23.9, 20.7, 19.85 และ 19.5 ตามลำดับ (รูปที่ 5.12) ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสมน้ำที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 0)

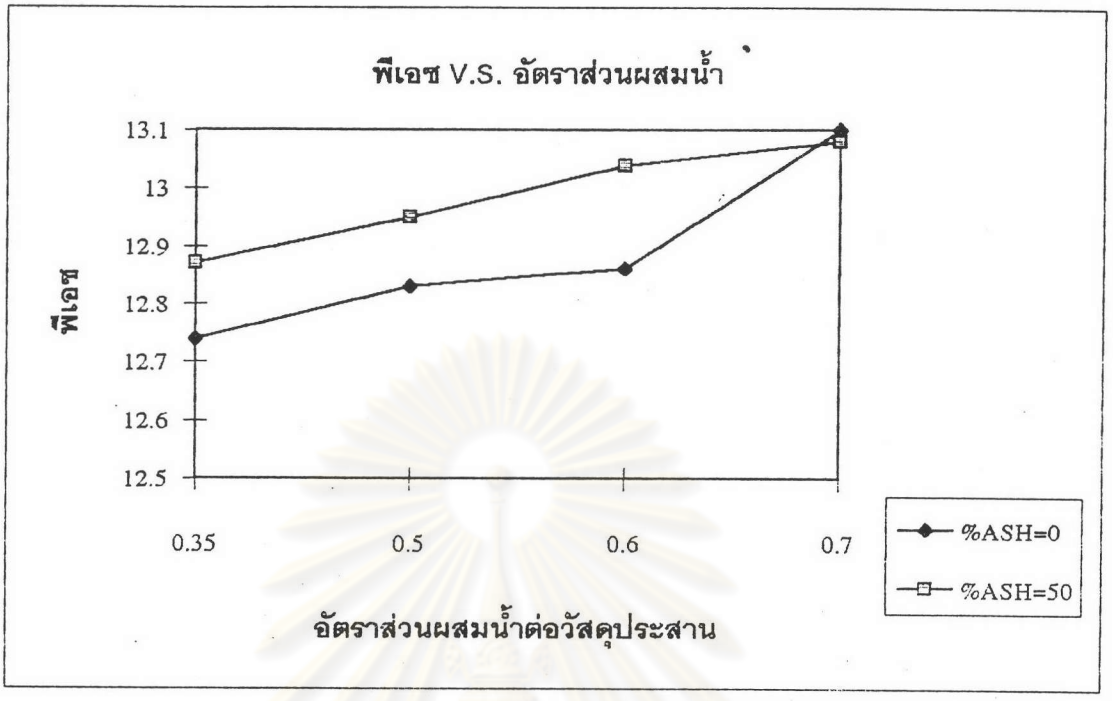
คุณสมบัติของน้ำสกัด	ค่าที่ตรวจวัดได้				เกณฑ์มาตรฐานสารพิษ*
	อัตราส่วนผสมน้ำ/วัสดุประสาน				
	0.35	0.5	0.6	0.7	
พีเอช	12.74	12.83	12.86	13.10	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	24.3	22.95	22.10	20.5	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	3886	4237	3986	3980	-
ปรอท (มก./ล.)	1.42	1.08	1.58	1.43	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	2.67	2.75	2.67	3.15	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.13	0.12	0.1	0.1	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

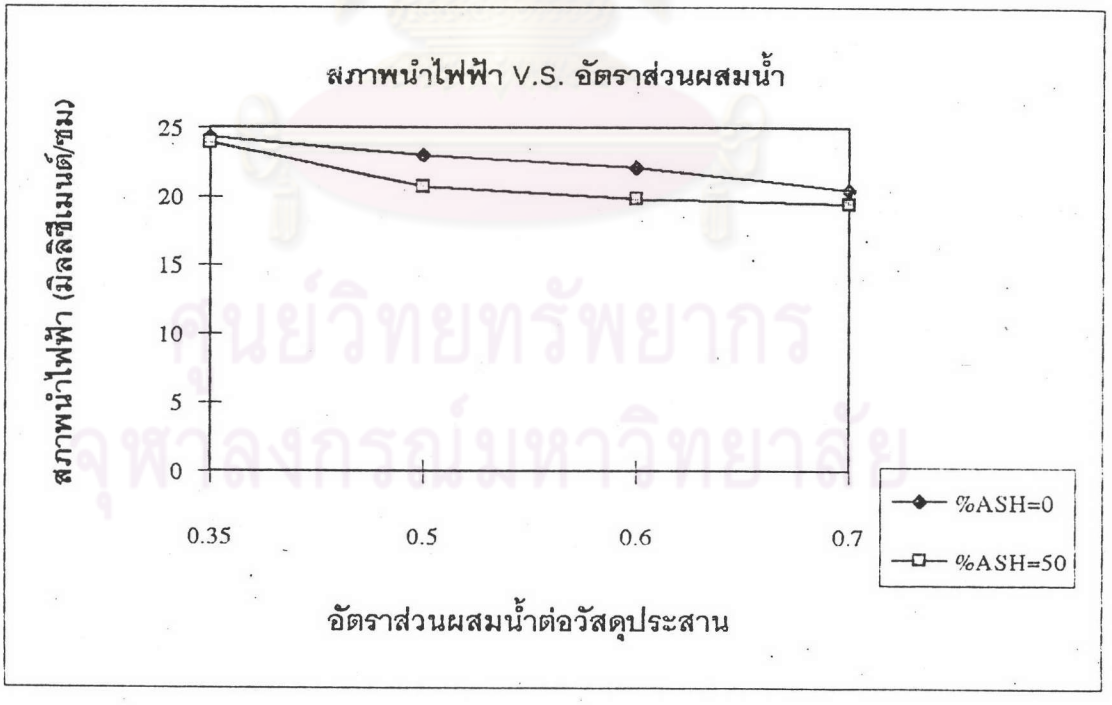
ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย (% เถ้าลอย = 50)

คุณสมบัติของน้ำสกัด	ค่าที่ตรวจวัดได้				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	อัตราส่วนผสมน้ำ/วัสดุประสาน				
	0.35	0.5	0.6	0.7	
พีเอช	12.87	12.95	13.04	13.08	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	23.9	20.7	19.85	19.50	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	3217.	3016	3245	3240	-
ปรอท (มก./ล.)	1.5	1.42	1.65	1.66	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	1.83	1.92	2.70	3.85	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.1	0.1	0.12	0.11	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนผสมน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างที่อัตราส่วนผสมน้ำต่าง ๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับวัสดุประสานแต่ละชนิดตามรูปที่ 5.13 กล่าวคือเมื่อใช้วัสดุประสานที่ %เถ้าลอย 0 จะมีค่า 3886,4237,3986 และ 3980 มก./ล.และเมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 จะมีค่า 3217,3016,3245 และ 3240 มก./ล. ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35,0.5,0.6 และ 0.7 ตามลำดับ วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะให้ค่าความเป็นด่างในน้ำสกัดสูงกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50

2.4 ปรอท

ปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35, 0.5, 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 มีค่า 1.42,1.08,1.58 และ 1.43 มก./ล. โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ซึ่งมีค่า 1.50,1.42,1.65 และ 1.66 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.5 จะให้ค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดต่ำที่สุด ไม่ว่าจะใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 หรือ 50 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษแล้ว ปริมาณปรอทยังมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน

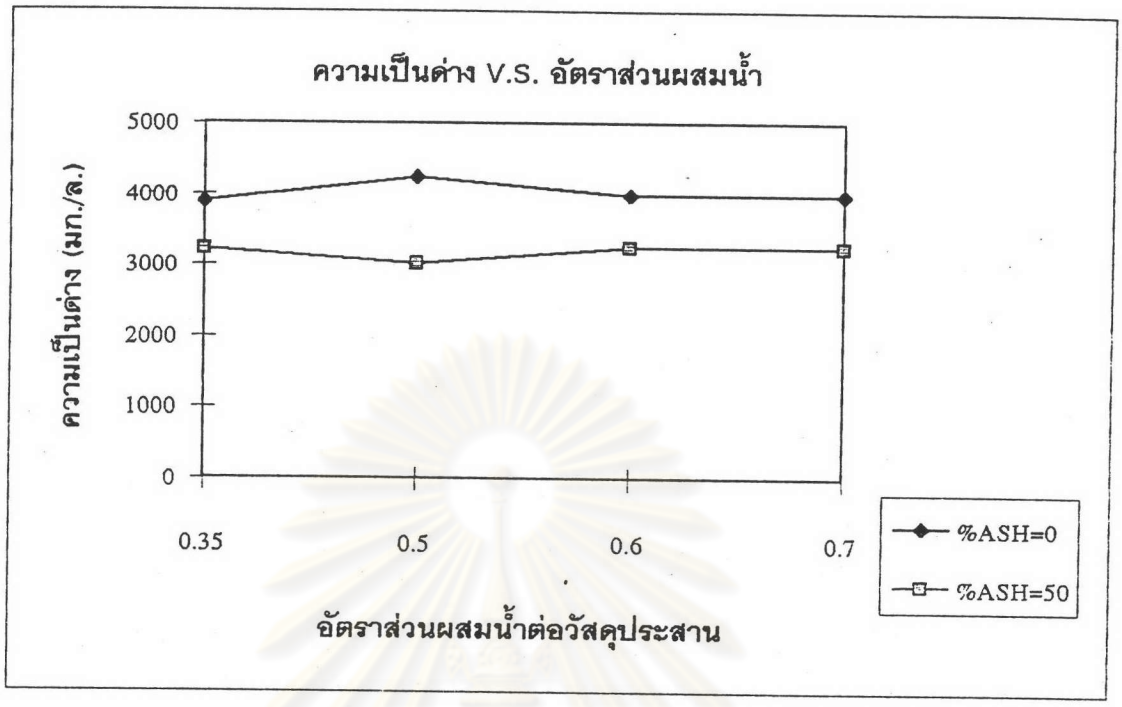
2.5 โครเมี่ยม

จากรูปที่ 5.15 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะมีค่าโครเมี่ยมในน้ำสกัดค่อนข้างคงที่ ที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35, 0.5 และ 0.6 และจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำเป็น 0.7 โดยจะมีค่าโครเมี่ยม 2.67,2.75,2.67 และ 3.15 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 จะให้ค่าโครเมี่ยมในน้ำสกัดต่ำกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 ที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.35,0.5 และ 0.6 ส่วนที่อัตราส่วนผสมน้ำ 0.7 นั้นจะให้ค่าโครเมี่ยมสูงกว่า กล่าวคือมีค่า 1.83,1.92,2.70 และ 3.85 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานสารพิษแล้ว พบว่าอัตราส่วนผสมน้ำทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่อัตราส่วนผสมน้ำที่ให้ค่าโครเมี่ยมต่ำสุด ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 และ 0.5

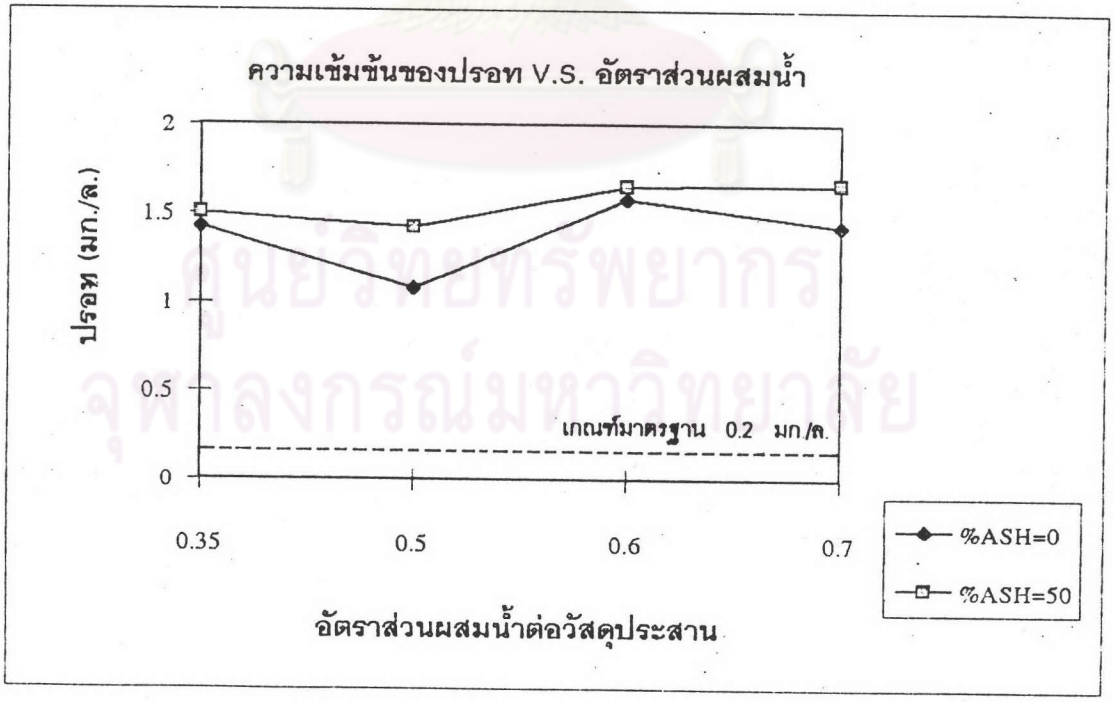
2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่าค่อนข้างต่ำและค่อนข้างคงที่ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่าง ๆ ตามรายละเอียดในรูปที่ 5.16 โดยจะมีค่าระหว่าง 0.1-0.13 และ 0.1-0.12 มก./ล.สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนผสมน้ำข้างต้น สรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำให้เป็นก้อนของตะกอนโลหะหนัก -

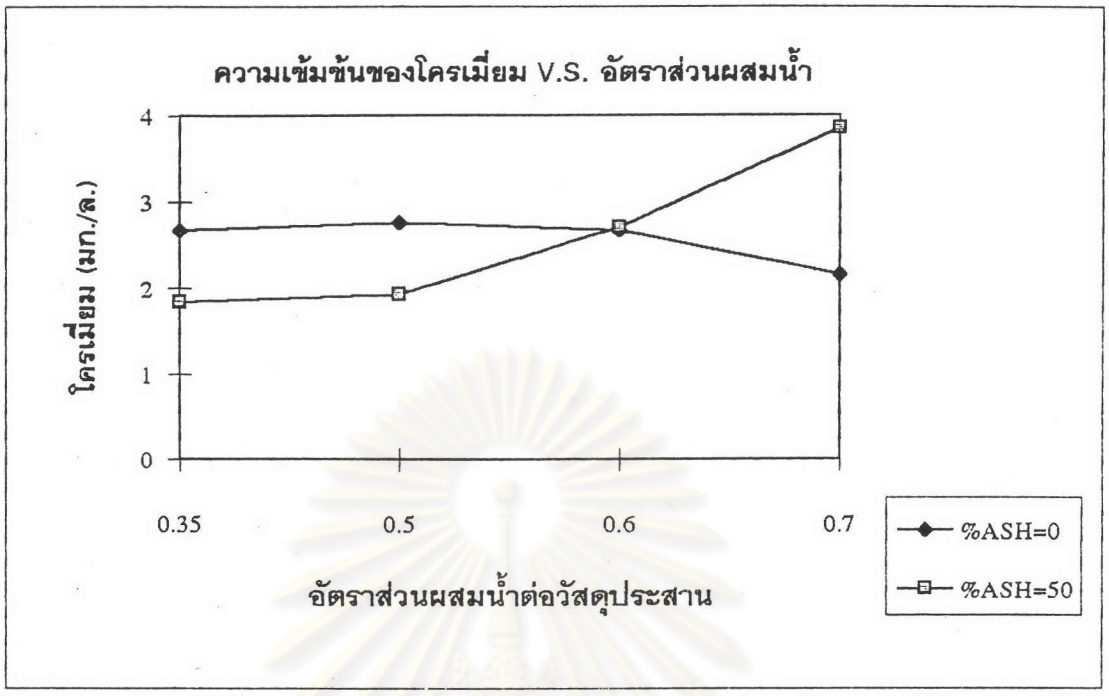


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ

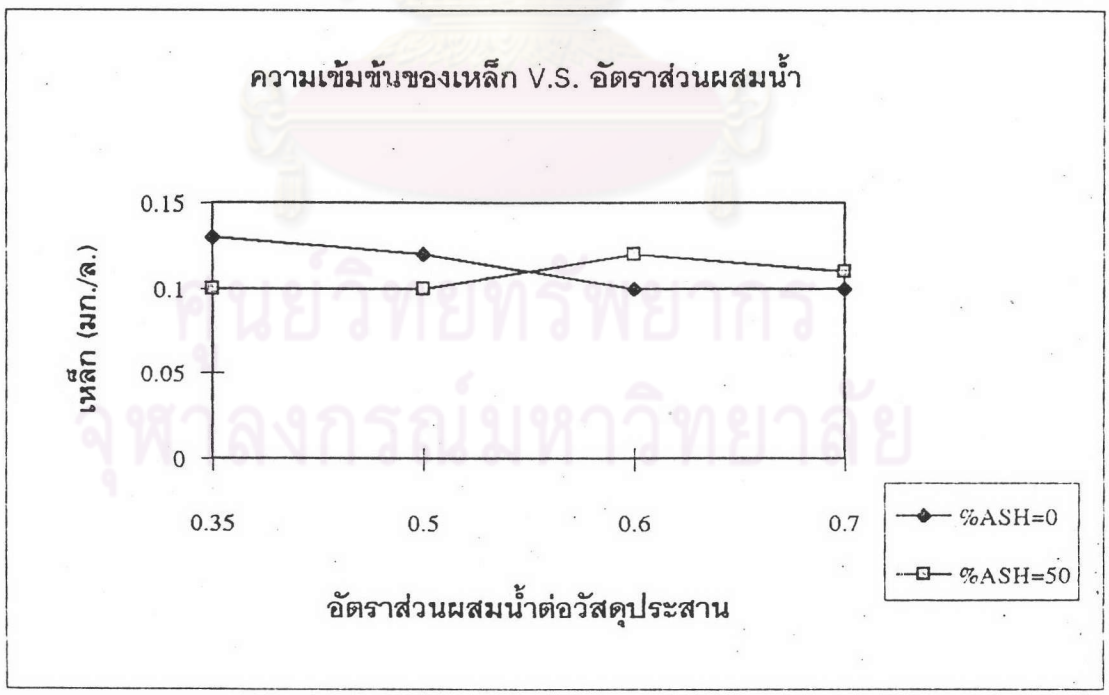


รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมน้ำ

ดังกล่าว เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่ทำให้ปรอทและโครเมี่ยมถูกชะละลายออกมาได้น้อยที่สุด

การศึกษาผลของค่าพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้ทดสอบการชะละลาย

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน โดยใช้น้ำกลั่นที่มีค่าพีเอชระหว่าง 2-10 เพื่อศึกษาความสามารถในการชะละลายที่สภาวะพีเอชต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดแสดงไว้ในตารางที่ 5.14 และ 5.15 สรุปได้ดังนี้

1. พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัดที่พีเอชต่าง ๆ ของน้ำชะละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามพีเอชของน้ำชะละลายที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือมีค่าระหว่าง 12.83-12.90 และ 12.72-12.80 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ (รูปที่ 5.17)

2. สภาพนำไฟฟ้า

ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยตามพีเอชของน้ำชะละลายที่สูงขึ้นมีค่าระหว่าง 21.95 -22.60 และ 20.50-22.00 มิลลิซีเมนต์/ซม. (รูปที่ 5.18) ผลดังกล่าวแสดงว่ามีการชะละลายของตะกอนโลหะหนักมากขึ้น เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของน้ำชะละลาย

3. ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าพีเอชของน้ำชะละลายเช่นเดียวกับค่าพีเอชและสภาพนำไฟฟ้าที่กล่าวแล้ว โดยมีค่าระหว่าง 3000-3290 มก./ล. และ 2798-2910 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ ค่าความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากสภาพความเป็นด่างของน้ำชะละลายเริ่มต้นมีค่าสูงตามค่าพีเอช

4. ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดในสภาวะน้ำชะละลายที่เป็นกรด (พีเอช = 2) มีค่าต่ำกว่าในสภาวะน้ำชะละลายที่เป็นกลางและเป็นด่าง (พีเอช = 6-10) จากรูปที่ 5.20 ปรอทจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชของน้ำชะละลายที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 0.96-1.41 มก./ล. และ 1.2-1.87 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าผลการทดสอบที่พีเอชต่าง ๆ มีค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดเกินมาตรฐาน

ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดที่มีพีเอชของน้ำชะละลายต่าง ๆ (% เถ้าลอย = 0)

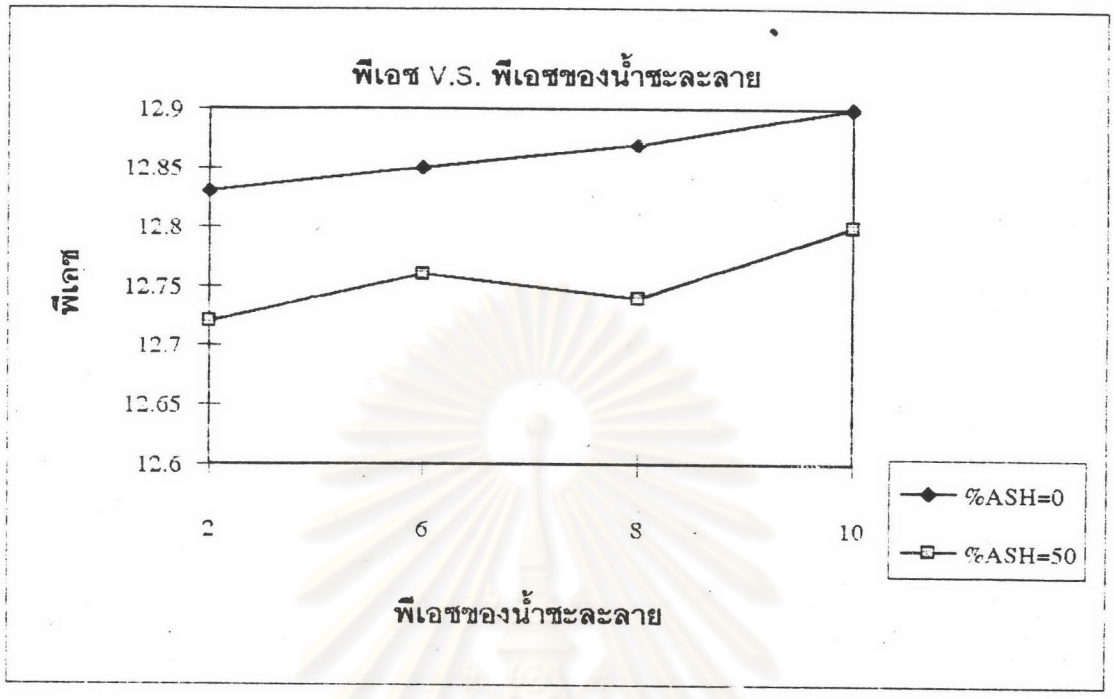
ลักษณะสมบัติ	พีเอชของน้ำชะละลาย				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	2	6	8	10	
พีเอช	12.83	12.85	12.87	12.90	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	21.95	22.35	22.60	22.10	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	3000	3200	3267	3290	-
ปรอท (มก./ล.)	0.96	1.33	1.40	1.41	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	3.42	3.61	3.66	3.61	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.17	0.17	0.18	0.18	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

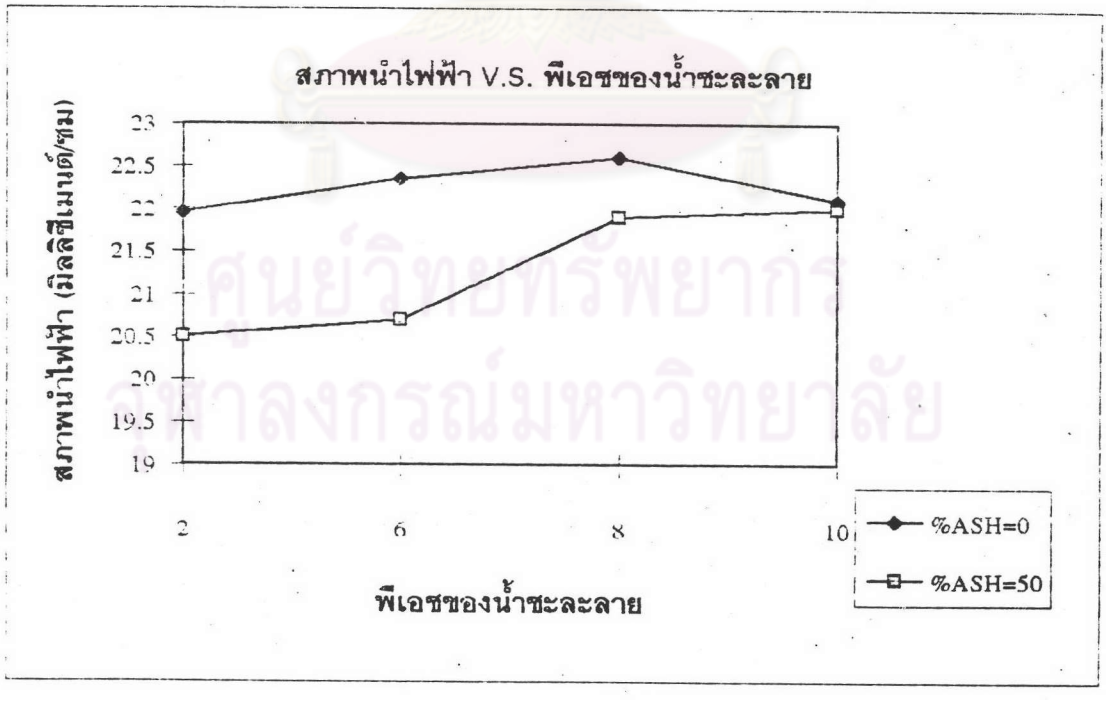
ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดที่มีพีเอชของน้ำชะละลายต่าง ๆ (% เถ้าลอย = 50)

ลักษณะสมบัติ	พีเอชของน้ำชะละลาย				เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	2	6	8	10	
พีเอช	12.72	12.76	12.74	12.80	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	20.5	20.7	21.9	22.0	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	2910	3124	2798	2808	-
ปรอท (มก./ล.)	1.20	1.49	1.78	1.87	0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	2.80	2.85	3.27	3.20	5
เหล็ก (มก./ล.)	0.17	0.14	0.18	0.14	-

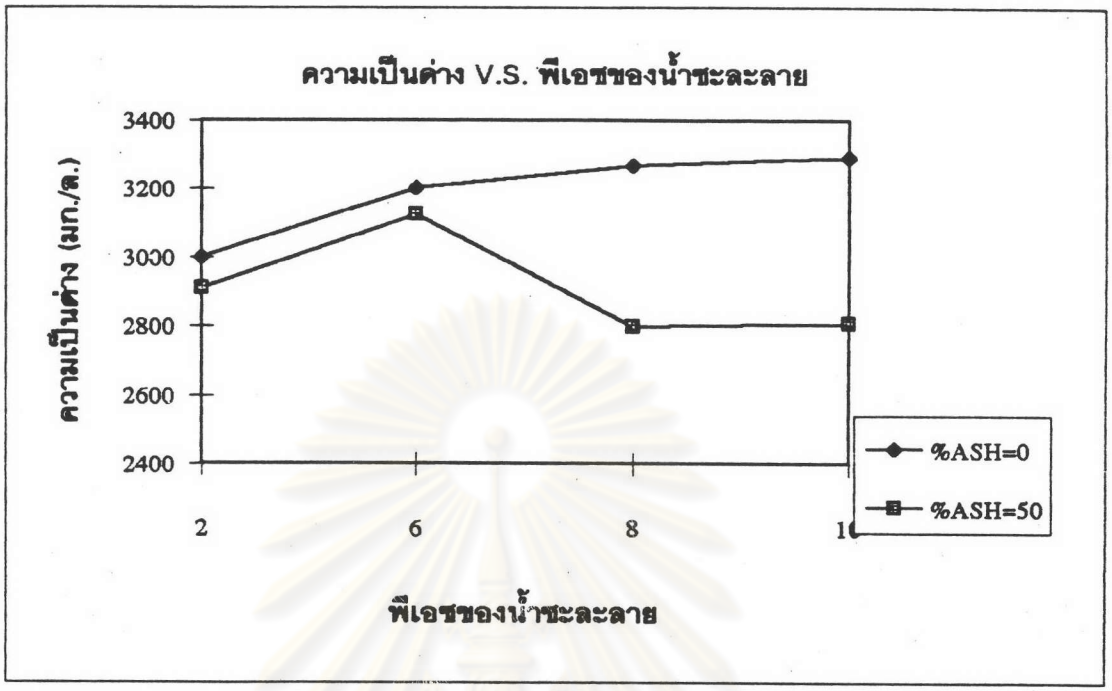
* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



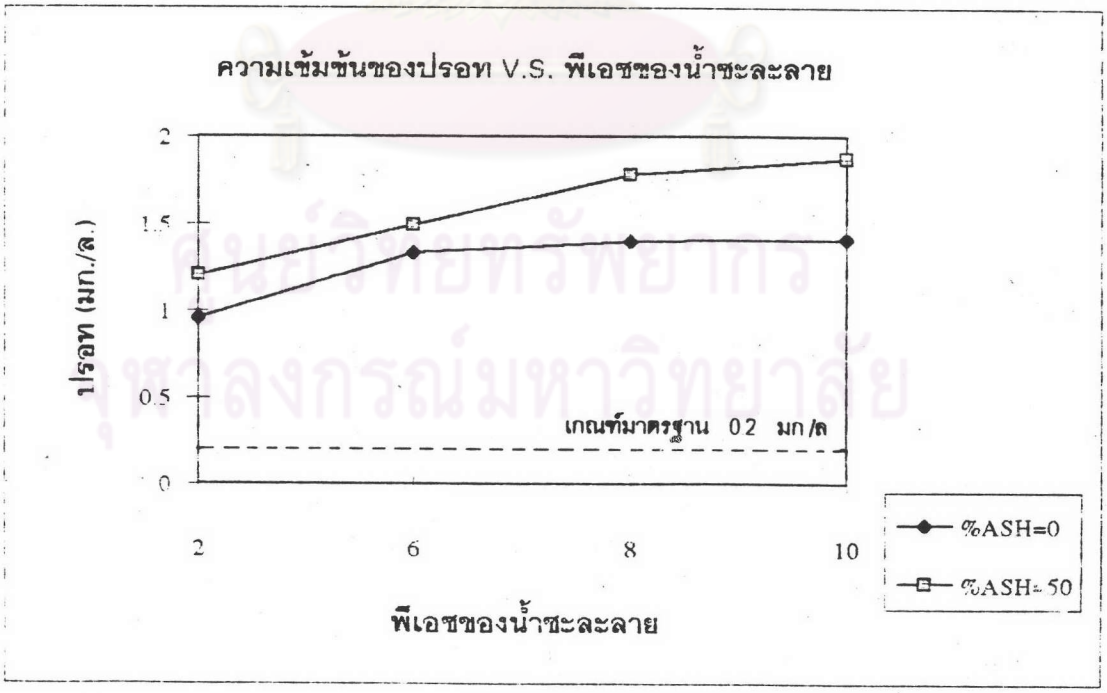
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย

5. โครเมี่ยม

จากรูปที่ 5.21 ความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดที่พีเอชของน้ำชะละลายต่าง ๆ มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยตามค่าพีเอชที่สูงขึ้น มีค่าระหว่าง 3.42-3.66 มก./ล. และ 2.8-3.27 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ ความเข้มข้นของโครเมี่ยมจากวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสารพิษ

6. เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่พีเอชของน้ำชะละลายต่าง ๆ โดยมีค่าระหว่าง 0.17-0.18 มก./ล.และ 0.14-0.18 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ

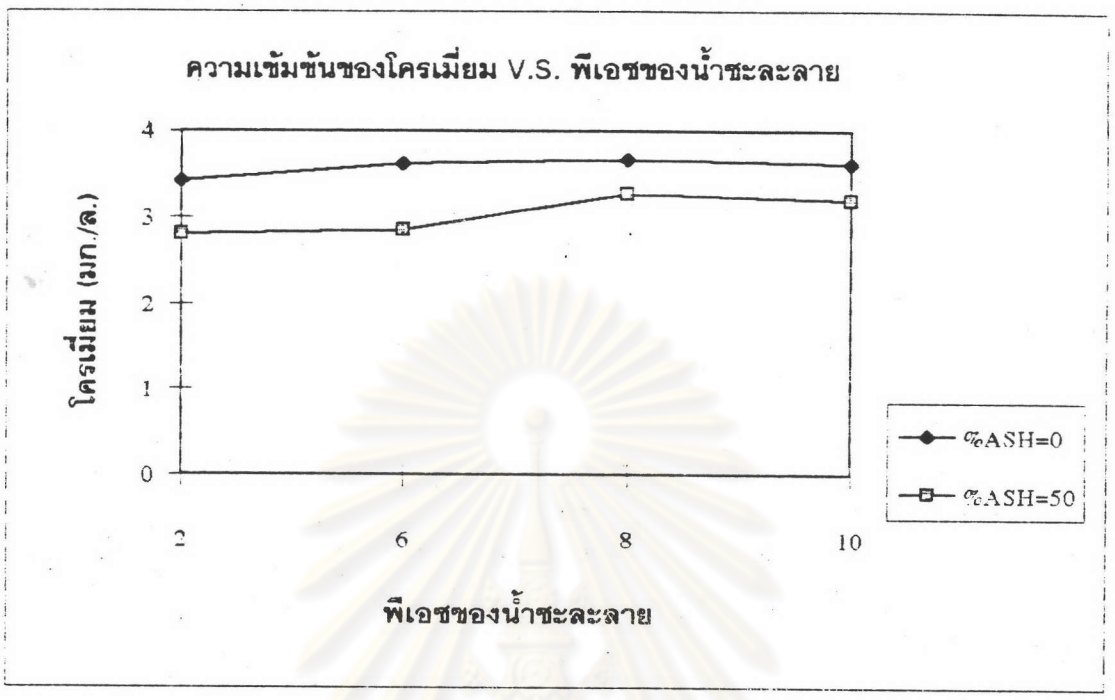
การศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก

การทดลองนี้ได้ดำเนินการศึกษาผลของระยะบ่มตัวต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อน โดยใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 และใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ (%เถ้าลอย=0) และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ (%เถ้าลอย 50) ทดลองแปรค่าระยะเวลาบ่มที่ 1,3,7,14 และ 28 วัน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5.3 นำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทดสอบการชะละลาย ดังสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

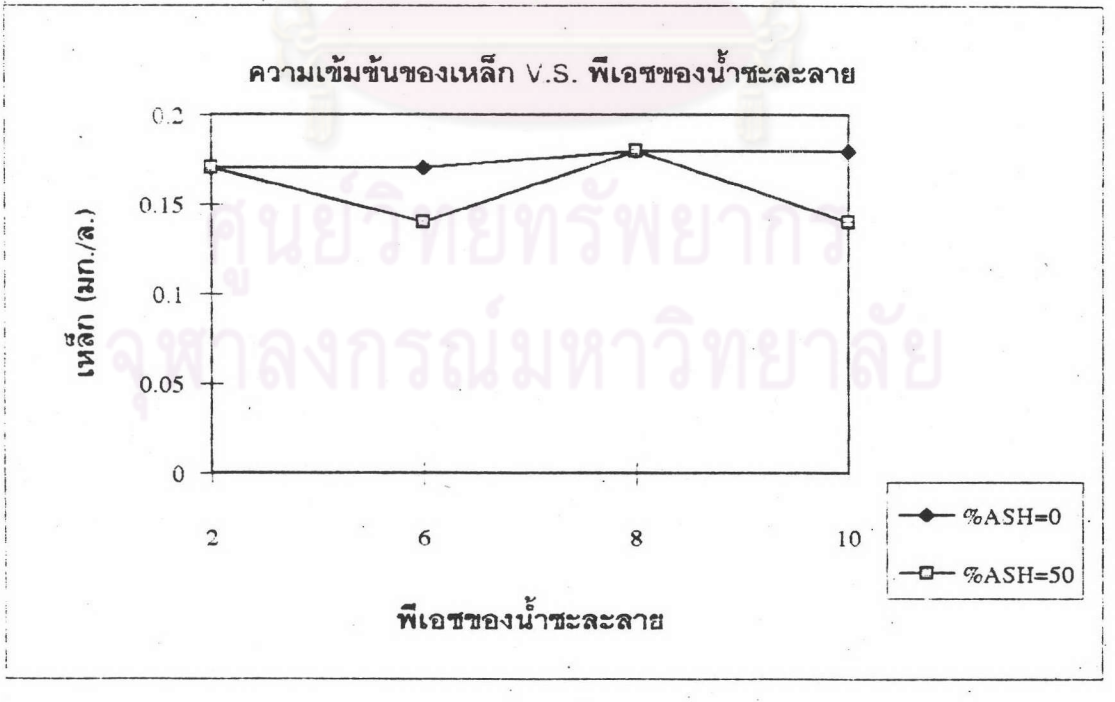
1. คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

1.1 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่มตัว 1,3,7,14 และ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัว กล่าวคือ มีค่า 60,174,178,196, และ 252 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และมีค่า 28,82,146,207 และ 307 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.6) จากรูป 5.23 จะเห็นได้ว่า วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ในช่วงระยะเวลาบ่ม 1-13 วัน หลังจากนั้นจะให้ค่ากำลังแรงอัดต่ำกว่า ค่ากำลังแรงอัดระยะที่เวลาบ่มดังกล่าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

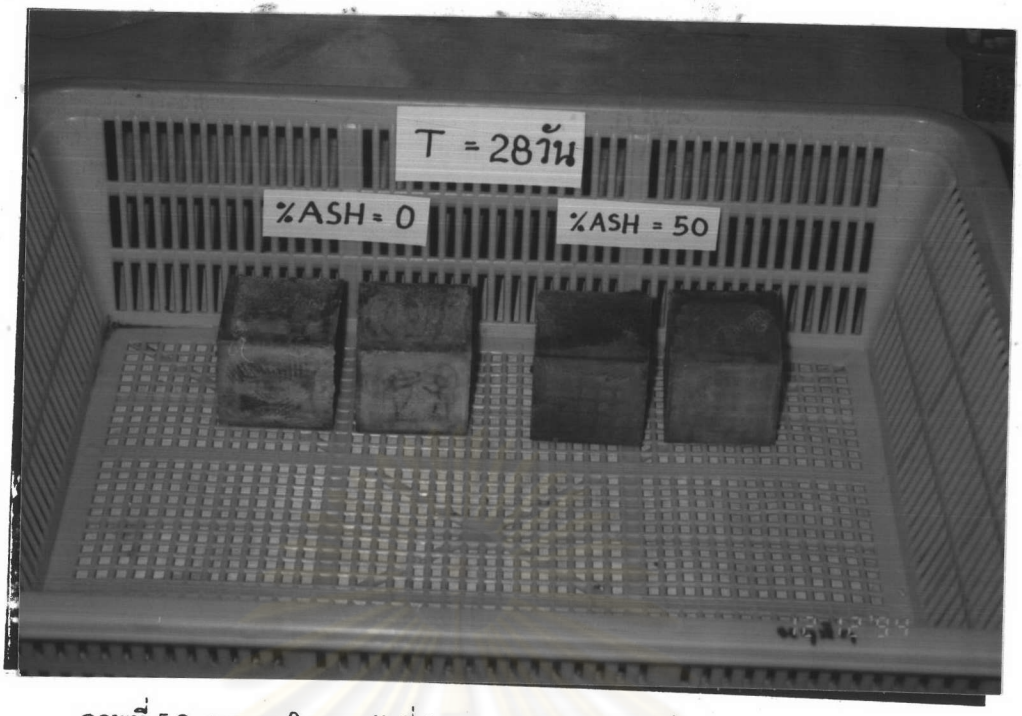


รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย

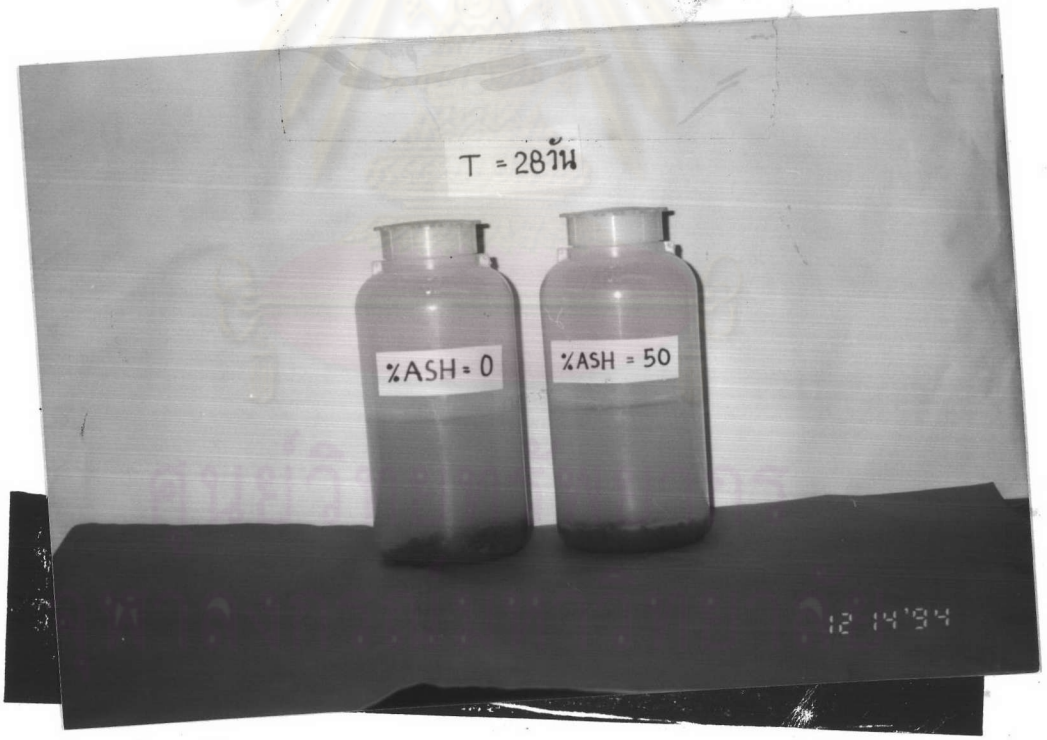


รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดกับค่าพีเอชของน้ำชะละลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.3 ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 5.4 น้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มตัวต่าง ๆ

% เถ้าลอยในวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม^2)				
	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	60	174	178	196	252
50	28	82	146	207	307
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 14 กก./ซม^2				

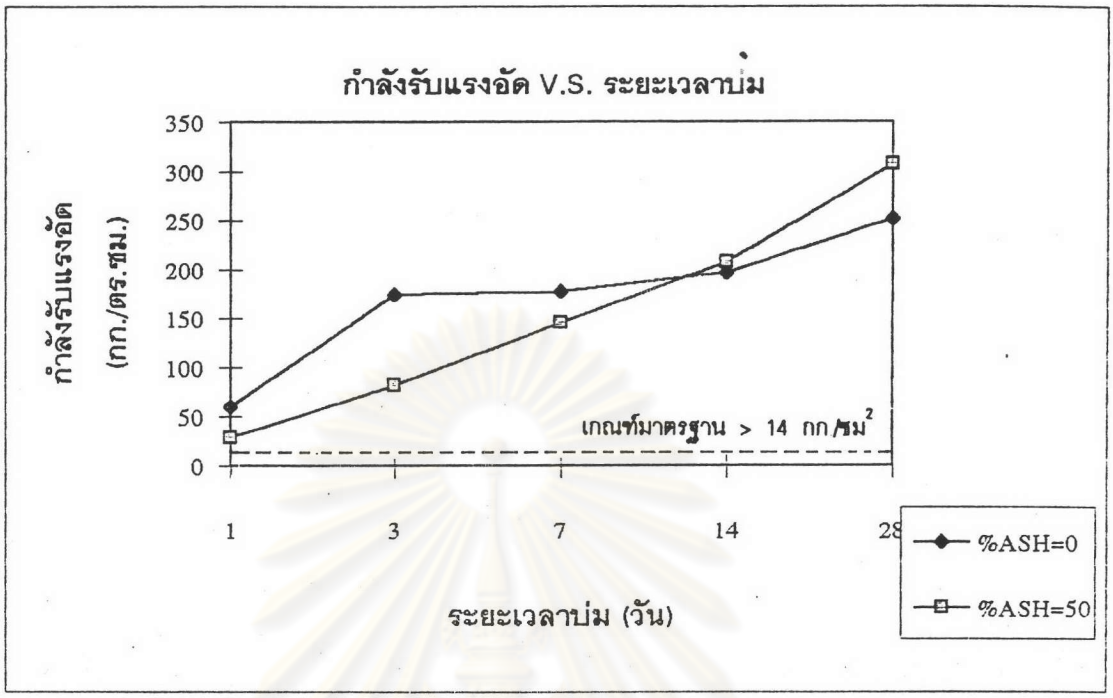
* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มตัวต่าง ๆ

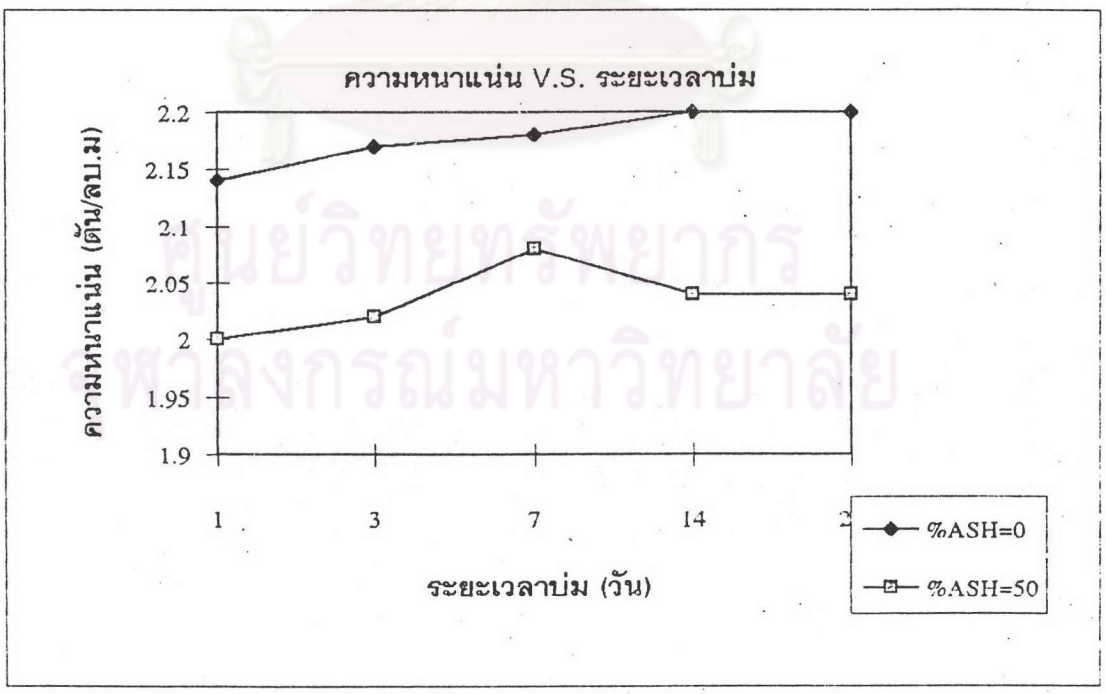
% เถ้าลอยในวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (ตัน/ม^3)				
	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	2.14	2.17	2.18	2.20	2.20
50	2.0	2.02	2.08	2.04	2.04
เกณฑ์มาตรฐาน*	> 1.04 ตัน/ม^3				

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่มตัว

1.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มระยะเวลา 1 วัน เป็น 3,7,14, และ 28 วัน โดยจะมีค่าระหว่าง 2.14-2.2 และ 2.0-2.04 สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.17 และรูปที่ 5.24) ค่าความหนาแน่นที่ใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะสูงกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่าระยะเวลาบ่มตัวดังกล่าว ความหนาแน่นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ความให้ซึมได้ (Permeability)

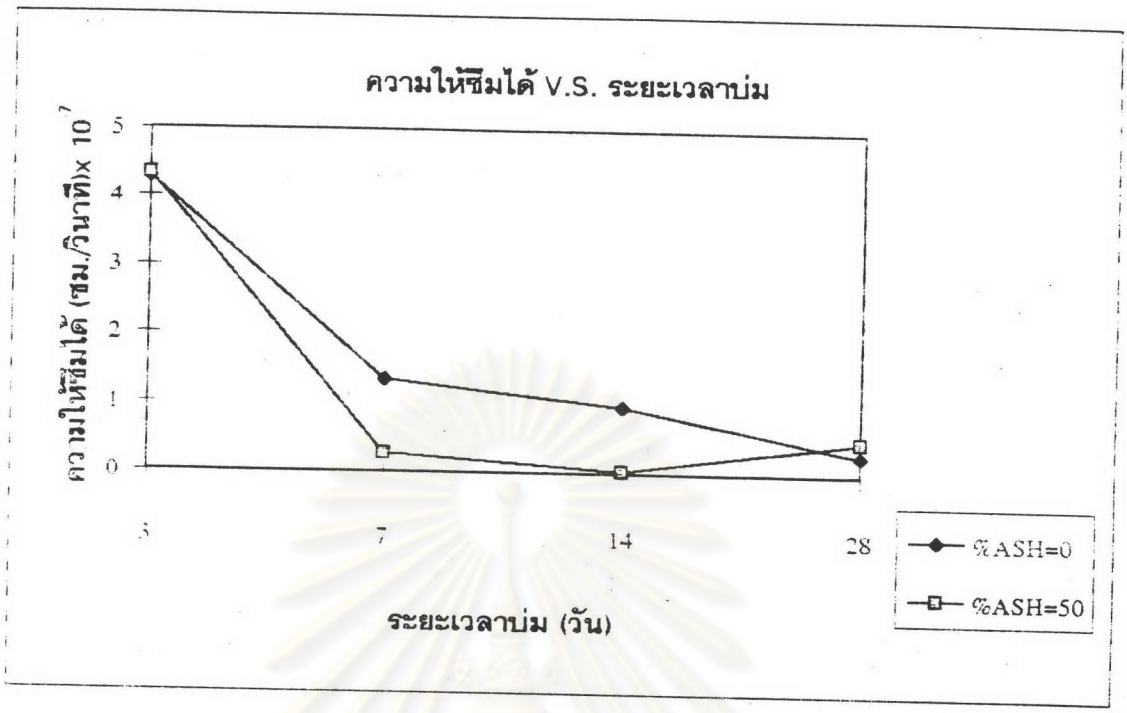
การทดสอบความให้ซึมได้ของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนนั้น ได้รับความอนุเคราะห์จากแผนกปฐพีวิทยา กองธรณีปฐพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในการทดสอบตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 3,7,14, และ 28 วัน และเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุประสานทั้ง 2 ชนิดคือ %เถ้าลอย 0 และ %เถ้าลอย 50 โดยวิธี Various Constant Head Permeability Test ดังแสดงผลการทดสอบในตาราง 5.18 และรูปที่ 5.25 พบว่า วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะมีค่าความให้ซึมได้ที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 2.72×10^{-8} - 4.29×10^{-7} ซม./วินาที โดยมีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่ม ส่วนวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 จะมีค่าความให้ซึมได้ระหว่าง 2.52×10^{-9} - 4.33×10^{-7} ซม./วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานพบว่า ค่าความให้ซึมได้ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยวัสดุประสานทั้งสองดังกล่าวข้างต้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน กล่าวคือมีค่าน้อยกว่า 10^{-6} ซม./วินาที

2. การทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ภาพที่ 5.4 แสดงน้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลายผลการทดสอบแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 5.19 และ 5.20 สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 1,3,7,14 และ 28 วัน สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 มีค่าระหว่าง 12.6-12.78 ค่าพีเอช มีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่มอย่างเห็นได้ชัดเจน (รูปที่ 5.26) การที่ค่าพีเอชมีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่มเนื่องจากปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ และเถ้าลอยลิกไนต์จะเกิดได้ดีที่ระยะเวลาบ่มมาก ๆ และปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะช่วยลดการชะละลายของอนุมูลไฮดรอกไซด์



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความให้ซึมได้กับระยะเวลาบ่มตัว

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบค่าความให้ซึมได้ (Permeability) ของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ

% เถ้าลอยในวัสดุประสาน	ความให้ซึมได้ (ซม /วินาที) *			
	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)			
	3	7	14	28
0	4.29×10^{-7}	1.33×10^{-7}	9.62×10^{-8}	2.72×10^{-8}
50	4.33×10^{-7}	2.66×10^{-8}	2.52×10^{-9}	4.77×10^{-8}
เกณฑ์มาตรฐาน**	$< 1 \times 10^{-6}$ ซม /วินาที			

* ทดสอบโดยแผนกปฐพีวิทยา กองธรณีปฐพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

** กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ(%เถ้าลอย = 0)

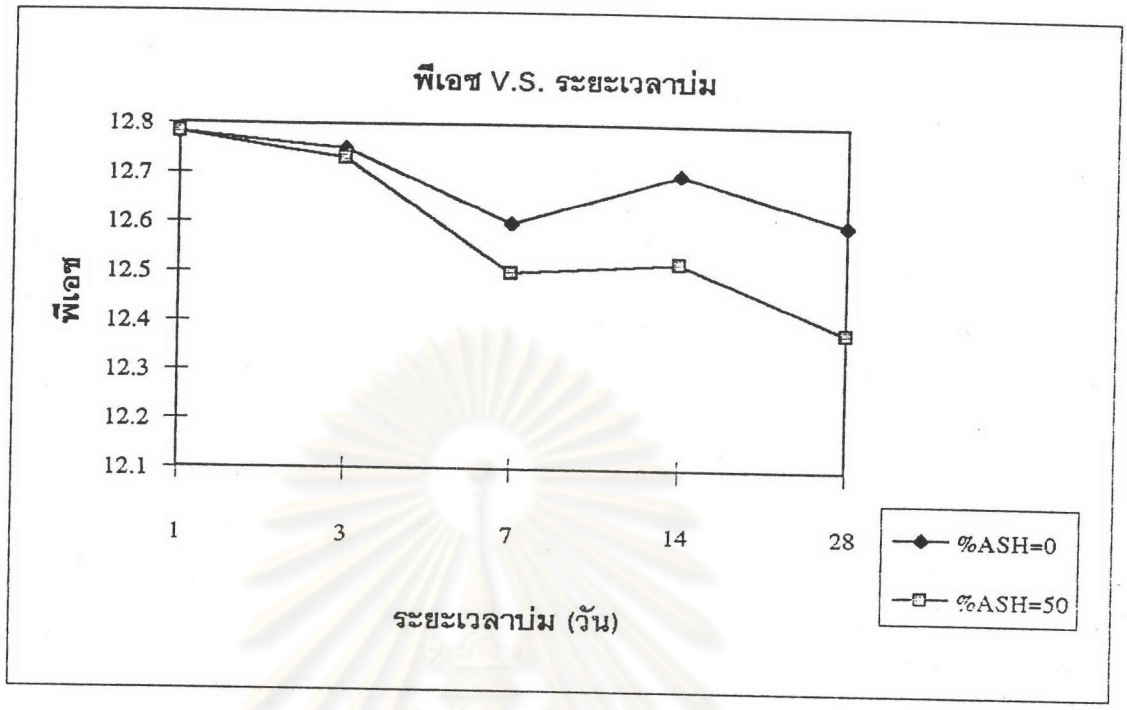
ลักษณะสมบัติ	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)					เกณฑ์มาตรฐาน
	1	3	7	14	28	สารมีพิษ*
พีเอช	12.78	12.75	12.60	12.70	12.60	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	25.70	22.40	22.80	21.60	17.70	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	3595	3627	3638	3745	3172	-
ปรอท (มก./ล.)	2.01	1.50	1.06	0.77	0.70	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	5.60	5.44	3.12	3.05	2.82	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.15	0.15	0.14	0.13	0.14	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

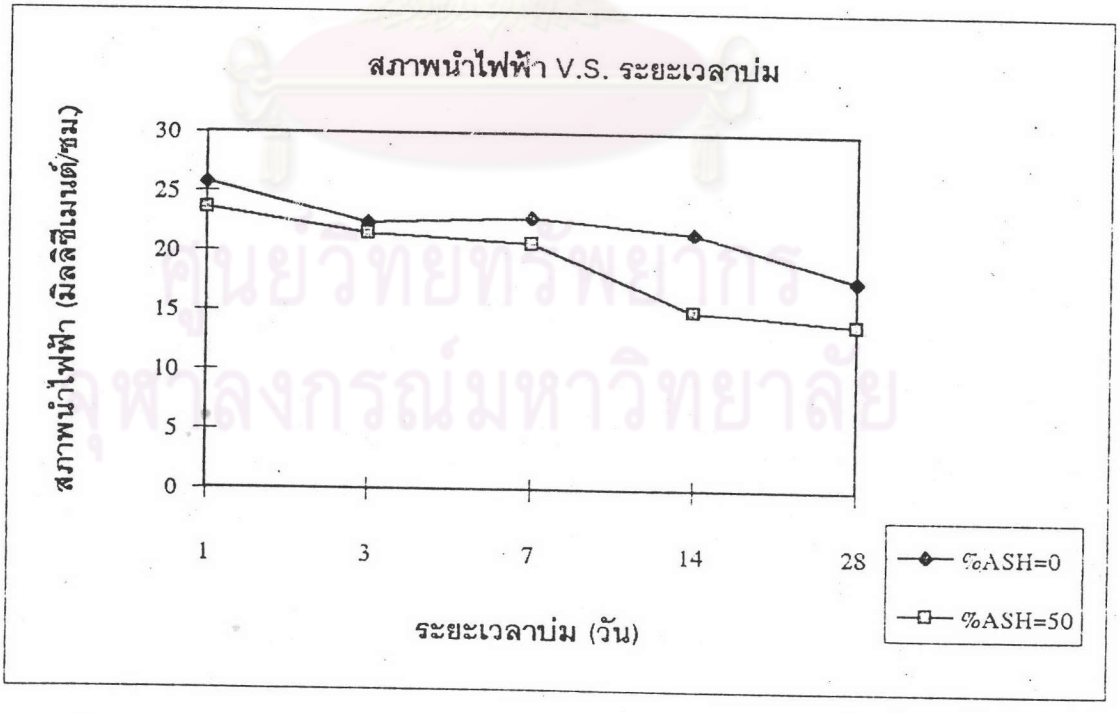
ตารางที่ 5.20 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ (%เถ้าลอย=50)

ลักษณะสมบัติ	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)					เกณฑ์มาตรฐาน
	1	3	7	14	28	สารมีพิษ*
พีเอช	12.78	12.73	12.50	12.52	12.38	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	23.50	21.50	20.70	15.00	13.90	-
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	3591	3344	2916	2252	1648	-
ปรอท (มก./ล.)	3.40	1.87	1.49	0.75	0.73	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล.)	5.55	5.51	1.81	0.80	0.64	> 5
เหล็ก (มก./ล.)	0.16	0.14	0.14	0.13	0.12	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำไฟฟ้ากับระยะเวลาบ่มตัว

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

สภาพนำไฟฟ้ามีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่มตัวสำหรับวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด กล่าวคือจะมีค่าระหว่าง 17.7-25.7 และ 13.9-23.5 มิลลิซีเมนต์ จากรูปที่ 5.27 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่าสภาพนำไฟฟ้า ที่ระยะบ่มตัว 1,3,7,14 และ 28 วัน ซึ่งการลดลงดังกล่าวแสดงถึงการลดลงของสารละลายต่าง ๆ ในน้ำสกัด ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าที่ระยะเวลาบ่มตัวสูงปฏิกิริยาการแข็งตัวของวัสดุประสานดีขึ้น ทำให้สามารถยึดจับตะกอนโลหะหนักได้ดีขึ้น เป็นผลให้การชะละลายของสารต่าง ๆ ออกมาน้อยลง

2.3 ความเป็นด่าง

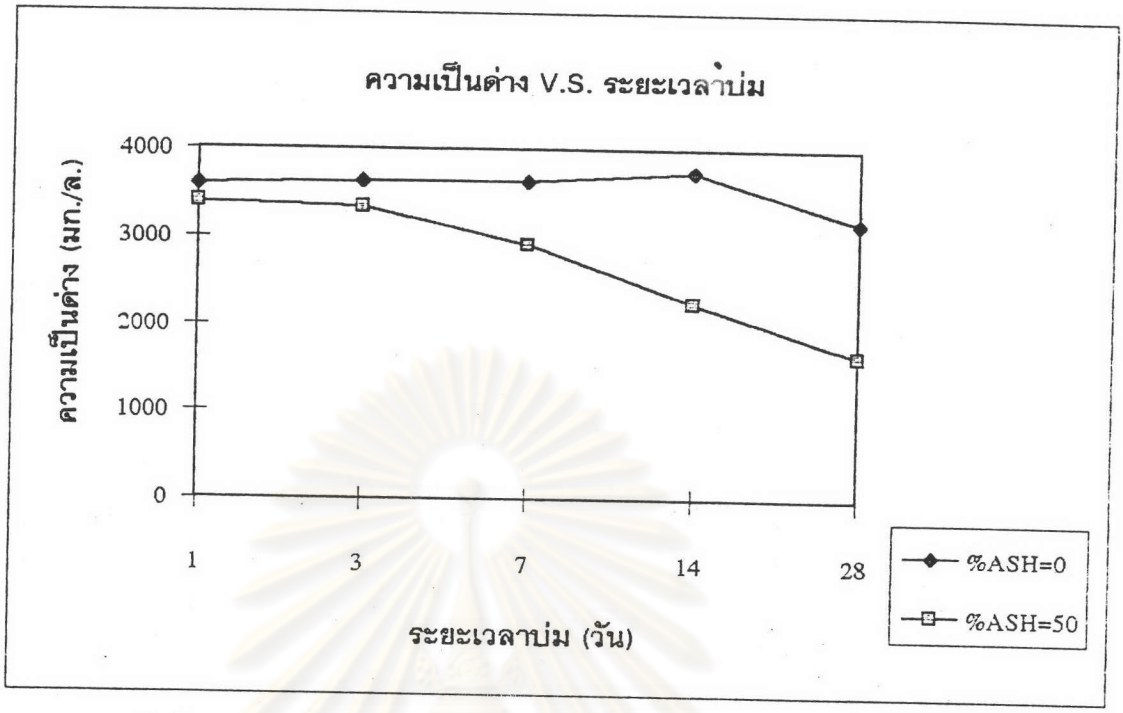
ความเป็นด่างที่ระยะบ่มต่าง ๆ มีค่าระหว่าง 3172-3745 มก./ล.และ 1648-3591 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.28 ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดในกรณีที่ใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงต้น และมีค่าลดลงคงที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ค่าความเป็นด่างมีค่าลดลงโดยตลอดตามระยะเวลาบ่มตัว

2.4 ปรอท

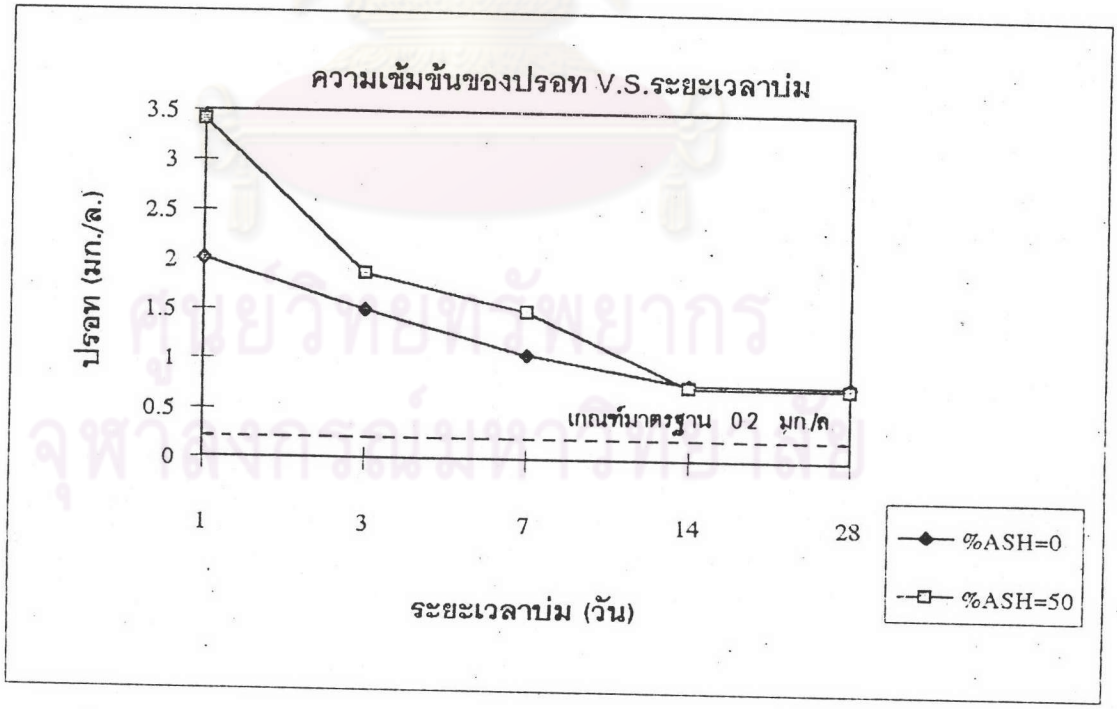
ปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 13,7,14 และ 28 วัน มีค่า 2.01, 1.5, 1.06, 0.77 และ 0.77 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และมีค่า 3.4, 1.87, 1.49, 0.75 และ0.73 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.29 พบว่าระยะเวลาบ่มตัวมากขึ้นสำหรับวัสดุประสานทั้งสองชนิด ปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าลดต่ำลงอย่างมากในช่วงระยะเวลาบ่ม1-3 วัน จากนั้นจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย จนมีค่าเกือบคงที่เมื่อใกล้ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้กับเกณฑ์มาตรฐานพบว่ายังมีค่าสูงเกินมาตรฐาน

2.5 โครเมี่ยม

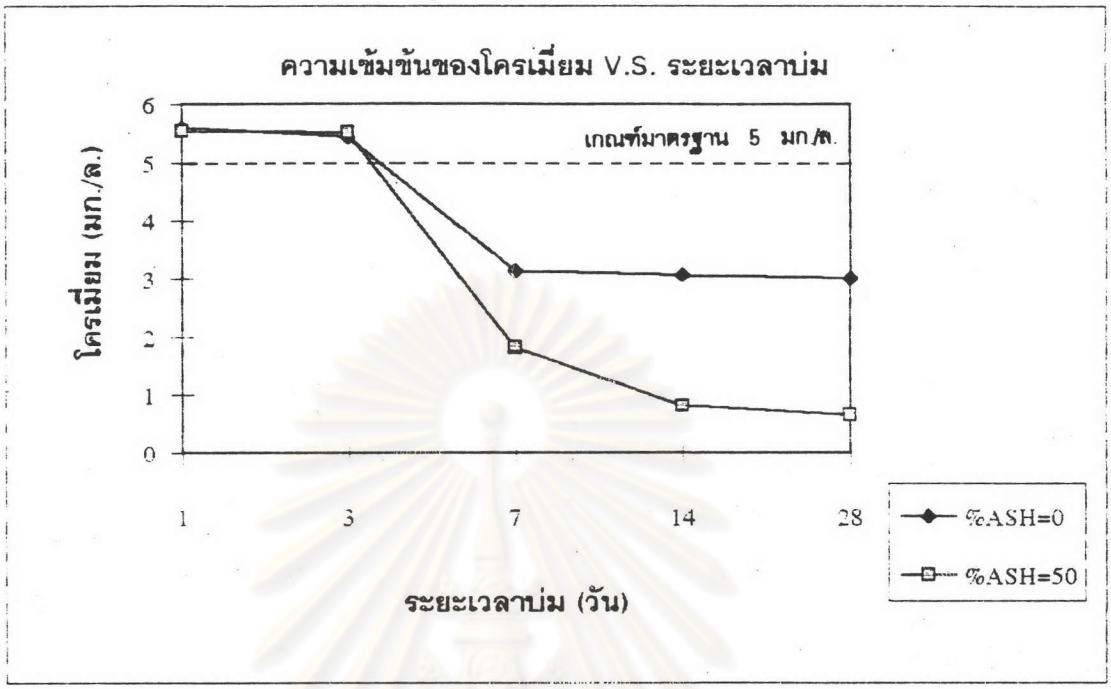
ปริมาณโครเมี่ยมในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว1,3,7,14 และ 28 วัน มีค่า 5.60, 5.44, 3.12, 3.05 และ 3.00 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และมีค่า 5.55, 5.51, 1.81, 0.8 และ0.64 มก./ล.สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.30 ซึ่งแสดงการลดลงของปริมาณโครเมี่ยมในน้ำสกัดตามระยะเวลาบ่มตัว เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำลายฤทธิ์ของโครเมี่ยมระหว่างวัสดุประสาน 2 ชนิด แล้วพบว่าวัสดุประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย 50% สามารถทำลายฤทธิ์ของโครเมี่ยมได้ดีกว่าวัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน ที่ระยะเวลาบ่มตัวตั้งแต่ 3 วันขึ้นไปเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่าระยะเวลาบ่มตัว 1 และ 3 วัน ปริมาณโครเมี่ยมมี



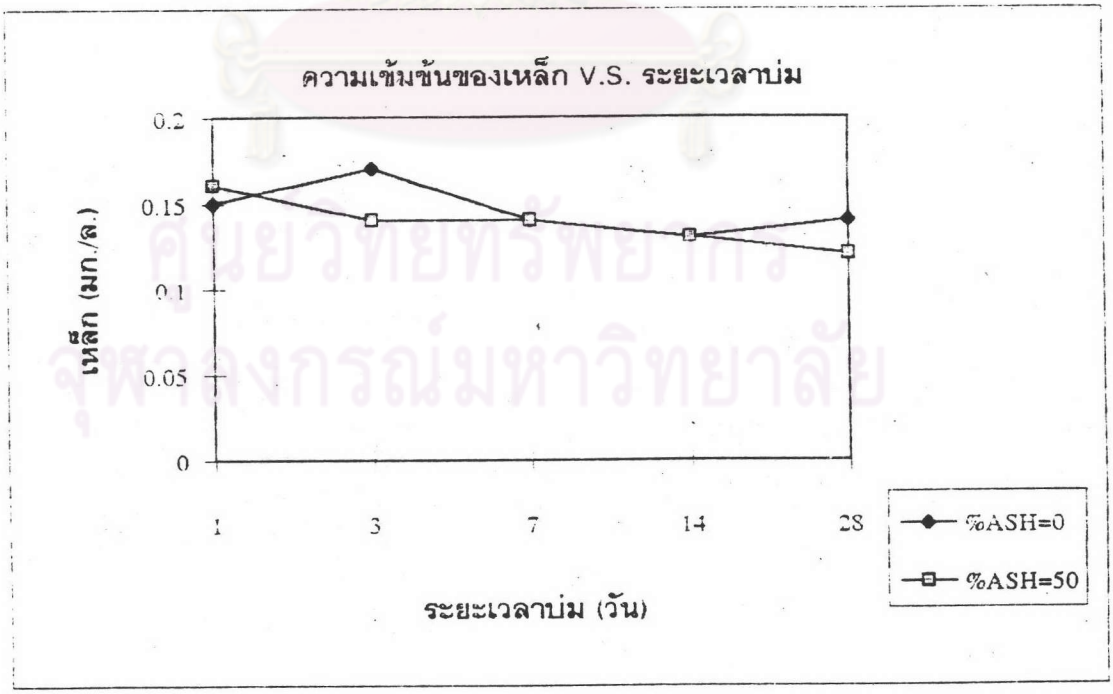
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นด่างของระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว

ค่าเกินมาตรฐาน ส่วนที่ระยะเวลาบ่มตั้งแต่ 7 วันขึ้นไป สำหรับวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด โครเมี่ยมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ มีค่าลดลงเล็กน้อย กล่าวคือ มีค่า 0.14-0.17 และ 0.12-0.16 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ จากรูป 5.31 จะเห็นว่าปริมาณเหล็กที่สกัดจากวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด ที่ค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปรอทและโครเมี่ยม

3. การทดสอบการชะละลายของตัวอย่างที่บ่มตัวในระยะยาว

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักที่มีการบ่มตัวในระยะยาว โดยทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 28,60 และ 240 วัน ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักแสดงไว้ในตารางที่ 5.21 และ 5.22 ดังสรุปได้ดังนี้

3.1 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 28,60 และ 240 วัน มีค่าลดลงน้อยมาก กล่าวคือ มีค่า 0.7-0.77 มก./ล. และ 0.71-0.73 มก./ล. สำหรับตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 % ตามลำดับ (รูปที่ 5.32) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่ายังมีค่าเกินมาตรฐาน แสดงว่าวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของปรอทให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสารพิษได้ แม้ว่าใช้ระยะเวลาบ่มนานถึง 240 วัน

3.2 โครเมี่ยม

ความเข้มข้นของโครเมี่ยมในช่วงระยะเวลาบ่มดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือมีค่าระหว่าง 3.00-4.16 มก./ล. และ 0.64-0.83 มก./ล. สำหรับตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ (รูปที่ 5.33) ความเข้มข้นของโครเมี่ยมมีค่าสูงเมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 เปรียบเทียบกับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 แสดงว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์ของโครเมี่ยมได้ดีกว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 ความเข้มข้นของโครเมี่ยมที่ระยะบ่มดังกล่าวมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสารพิษ

3.3 เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงจากผลการทดสอบในช่วงแรก โดยมีค่าระหว่าง 0.1-0.14 มก./ล. และ 0.1-0.16 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ (รูปที่ 5.34)

ตารางที่ 5.21 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างที่บ่มตัวในระยะยาว (%เถ้าลอย=0)

โลหะหนัก	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)			เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	28	60	240	
ปรอท (มก./ล)	0.77	0.75	0.70	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล)	3.00	3.82	4.16	> 5
เหล็ก (มก./ล)	0.14	0.11	0.10	-

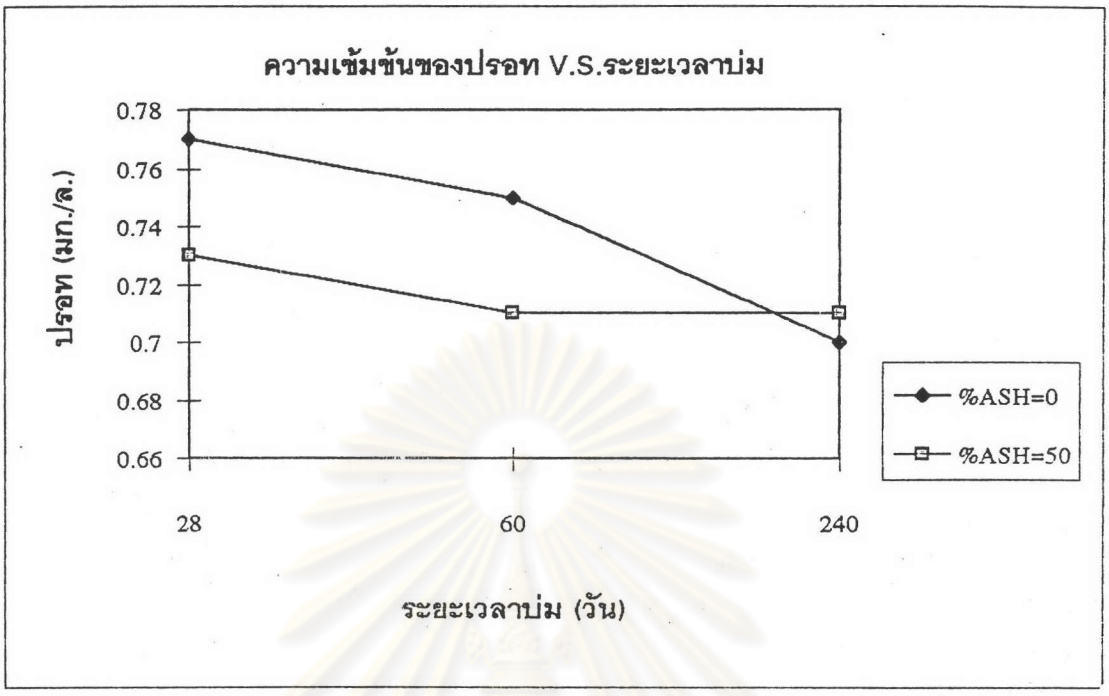
* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างที่บ่มตัวในระยะยาว (%เถ้าลอย=50)

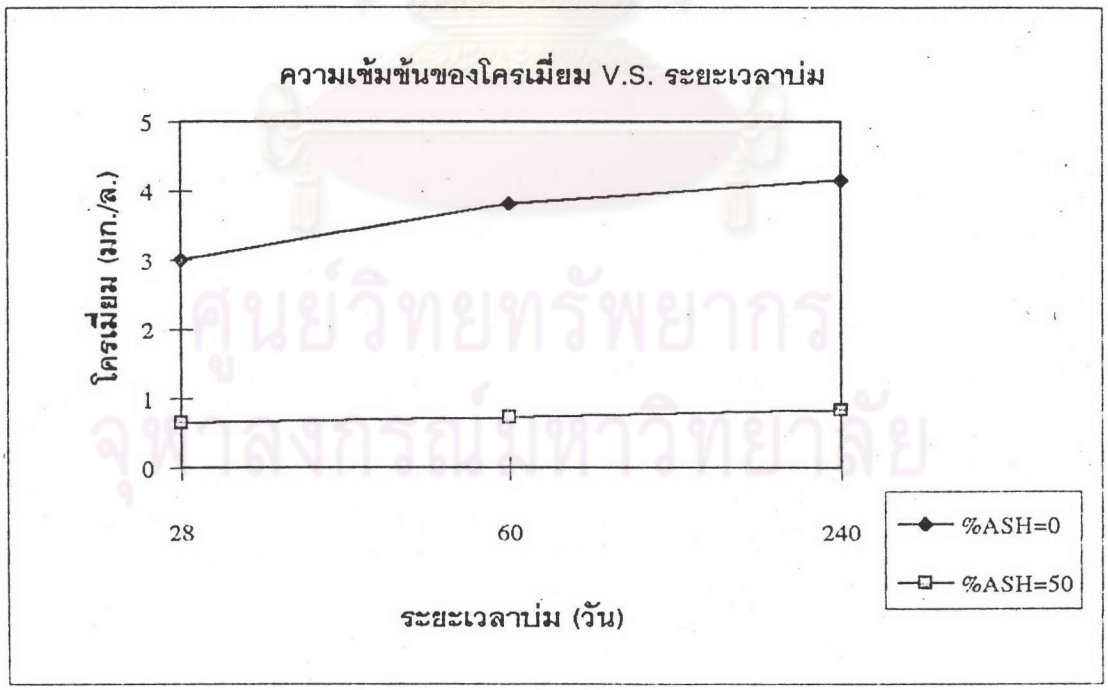
โลหะหนัก	ระยะเวลาบ่มตัว (วัน)			เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ*
	28	60	240	
ปรอท (มก./ล)	0.73	0.71	0.71	> 0.2
โครเมี่ยม (มก./ล)	0.64	0.73	0.83	> 5
เหล็ก (มก./ล)	0.16	0.10	0.10	-

* กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

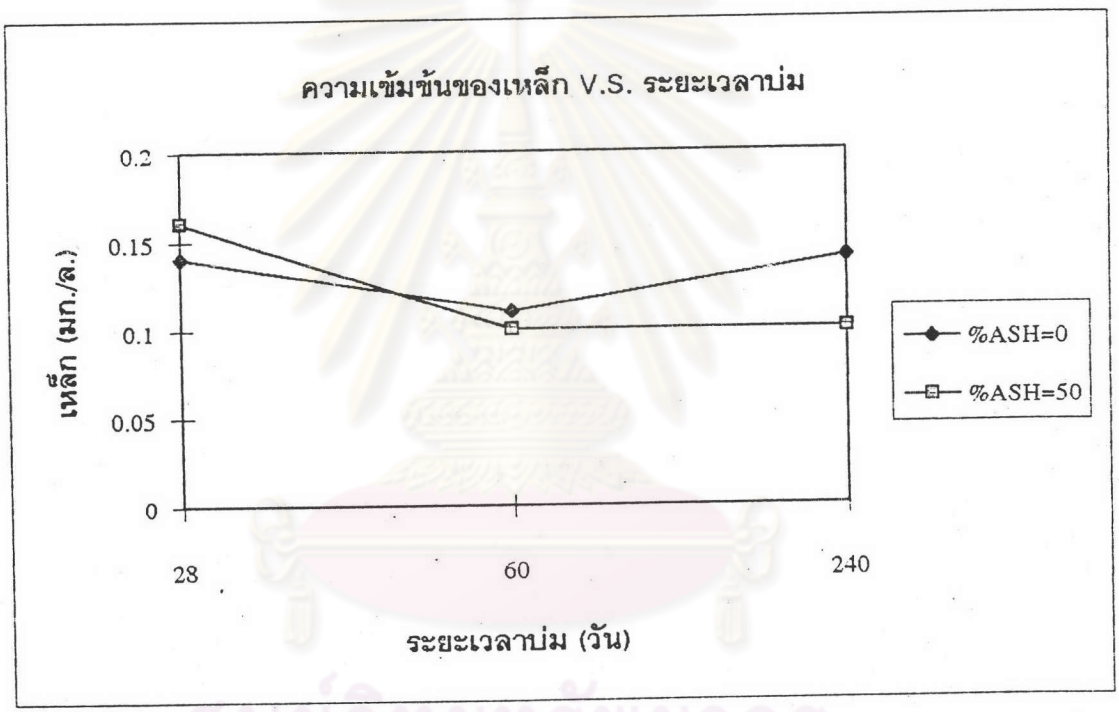
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมี่ยมในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดกับระยะเวลาบ่มตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนัก

1. ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนัก

การหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนัก สำหรับการทดลองนี้จะใช้ค่าความสามารถถูกชะละลาย (Leachability) ซึ่งมีนิยามว่า อัตราส่วนของปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายในน้ำสกัด ต่อปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่าง มีหน่วยเป็น มก./ก. โดยการเปรียบเทียบค่าความสามารถถูกชะละลายของตะกอนโลหะหนัก ก่อนและหลังการทำลายฤทธิ์ด้วยวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด คือ %เถ้าลอย 0 และ %เถ้าลอย 50 ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณค่าความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนักไว้ในภาคผนวก ง ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.23-5.25 ดังสรุปได้ดังนี้

1.1 ปรอท

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการทำลายฤทธิ์ พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของปรอท 17 มก./ก. ในช่วงการทำลายฤทธิ์ที่ระยะเวลาบ่ม 1-7 วัน โดยใช้วัสดุประสานที่ %เถ้าลอย 0 และ 50 พบว่า ค่าความสามารถถูกชะละลายมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดในช่วงเวลาบ่มดังกล่าวจึงมีค่าต่ำมาก เมื่อเพิ่มระยะเวลาบ่มเป็น 14 และ 28 วัน ค่าความสามารถถูกชะละลายมีค่าลดลง เนื่องจากการแข็งตัวของวัสดุประสานจะช่วยยึดจับโลหะหนักไม่ให้ละลายออกมา ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่า 26.4 และ 26.4 % สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และมีค่า 28.8 และ 30.7 % สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 ตามลำดับ

1.2 โครเมี่ยม

ค่าความสามารถถูกชะละลายของโครเมี่ยมในตะกอนโลหะหนัก ก่อนผ่านการทำลายฤทธิ์มีค่า 17.4 มก./ก. ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 (ปูนซีเมนต์ล้วน) ในการทำลายฤทธิ์โดยการทำให้เป็นก้อน จะทำให้ค่าความสามารถถูกชะละลายของโครเมี่ยมมีค่าสูงขึ้นจากเดิมที่ยังไม่ได้มีการทำลายฤทธิ์ ในช่วงระยะเวลาบ่ม 1-28 วัน แสดงว่าปูนซีเมนต์ไม่สามารถจะทำลายฤทธิ์ของโครเมี่ยมในตะกอนโลหะหนักได้ แต่เมื่อใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 พบว่าในช่วงระยะเวลาบ่ม 1-7 วัน ประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของโครเมี่ยมมีค่าต่ำมาก และประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของโครเมี่ยมจะสูงขึ้นเป็น 34.1 และ 50.0 % ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 14 วัน

1.3 เหล็ก

ค่าความสามารถถูกชะละลายของเหล็กก่อนผ่านการทำลายฤทธิ์มีค่า 1.4 มก./ก. และภายหลังผ่านการทำลายฤทธิ์แล้ว จะมีค่าระหว่าง 0.14 - 0.42 และ 0.10 - 0.56 มก./ก. สำหรับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 และ 50 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของเหล็กมีค่าระหว่าง 70-90 และ 60-90 % ตามลำดับ (ตารางที่ 5.25)

ตารางที่ 5.23 ความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของปรอทในตะกอนโลหะหนักที่ระยะบ่มตัวต่าง ๆ

ระยะเวลาบ่ม	ความสามารถถูกชะละลายของปรอท (มก./ก.)		ประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของปรอท (%)		หมายเหตุ
	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	
1	32.64	55.22	*	*	ความสามารถถูกชะละลายปรอทก่อนทำลายฤทธิ์ =17.0 มก./ก.
3	24.37	30.18	*	*	
7	17.22	24.05	*	*	
14	12.51	12.10	26.4	28.8	
28	12.51	11.78	26.4	30.7	

ตารางที่ 5.24 ความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโครเมี่ยมในตะกอนโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่มตัวต่าง ๆ

ระยะเวลาบ่ม	ความสามารถถูกชะละลายของโครเมี่ยม (มก./ก.)		ประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของโครเมี่ยม (%)		หมายเหตุ
	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	
1	92.43	91.59	*	*	ความสามารถถูกชะละลายของโครเมี่ยมก่อนผ่านการทำลายฤทธิ์ =17.4 มก./ก.
3	89.73	90.91	*	*	
7	50.60	28.51	*	*	
14	49.42	11.47	*	34.1	
28	45.54	8.77	*	50.0	

* = ความสามารถถูกชะละลายโลหะหนักหลังผ่านการทำลายฤทธิ์มีค่าสูงกว่าก่อนการทำลายฤทธิ์ด้วยวัสดุประสาน

ตารางที่ 5.25 ความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของเหล็กในตะกอนโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ

ระยะเวลาบ่ม	ความสามารถถูกชะละลายของเหล็ก (มก./ก.)		ประสิทธิภาพการลดการถูกชะละลายของเหล็ก(%)		หมายเหตุ
	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	%เถ้าลอย=0	%เถ้าลอย=50	
1	0.42	0.56	70	60	ความสามารถถูก
3	0.42	0.28	70	80	ชะละลายเหล็ก
7	0.28	0.28	80	80	ก่อนผ่านการ
14	0.14	0.14	90	90	ทำลายฤทธิ์
28	0.28	0.14	80	90	=1.4 มก./ก.

การประมาณค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อน

การประมาณค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานสำหรับการวิจัยนี้ จะใช้ราคาวัสดุประสานซึ่งเป็นราคาท้องตลาด ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2538 สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์ ปัจจุบันอยู่ระหว่างการวิจัยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ กฟผ. ยังไม่มีนโยบายที่จะจำหน่าย อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้จะกำหนดราคาขั้นต่ำของเถ้าลอยลิกไนต์ในราคาตันละ 50 บาท เนื่องจากในอนาคตเถ้าลอยลิกไนต์มีแนวโน้มที่จะเป็นที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน รายละเอียดของราคาและค่าใช้จ่ายของวัสดุประสาน แสดงไว้ในตารางที่ 5.25 จากตารางสรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน โดยใช้วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 (ปูนซีเมนต์) มีค่า 6.8 บาทต่อกิโลกรัมของตะกอนโลหะหนัก (6800 บาทต่อตันตะกอนโลหะหนัก)ส่วนวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 (ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย 1:1) จะมีค่าใช้จ่าย 3.6 บาทต่อกิโลกรัมของตะกอนโลหะหนัก (3600 บาทต่อตันตะกอนโลหะหนัก) ซึ่งมีราคาต่ำกว่าวัสดุประสานชนิดแรกถึง 47 % โดยที่ประสิทธิภาพการทำลายฤทธิ์ดีกว่าวัสดุประสานชนิดแรกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนกับการศึกษาที่ผ่านมา (Youn,1990) พบว่าวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 จะมีราคาต่ำกว่าวัสดุประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมทรายและปูนขาวผสมเถ้าแกลบ ซึ่งมีค่าใช้จ่าย 3.8 และ 4.81 บาทต่อกิโลกรัมของตะกอนโลหะหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 5.26 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อน สำหรับวัสดุประสานต่าง ๆ กับการศึกษาที่ผ่านมา *

		ผลการทดลอง				YOUN (1990)			
วัสดุที่ใช้ **	ราคา **	OPC		OPC-FA		OPC-SAND		LIME-LHA	
	(บาท/กก.)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	น้ำหนัก (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ปูนซีเมนต์	1.7	4	6.80	2	3.40	2	3.40		
ปูนขาว	2							1.33	2.66
เถ้าลอย	0.05			2	0.20				
เถ้าแกลบ	1.5							0.67	1.00
ทราย	0.1					4	0.40	4	0.40
โซเดียมอลูมิเนต	25							0.03	0.75
รวม			6.80		3.60		3.80		4.81

* = คิดค่าใช้จ่ายต่อน้ำหนักของตะกอนโลหะหนัก 1 กก.

** = คิดราคาเดือนกุมภาพันธ์ 2538

OPC = ปูนซีเมนต์อัตราส่วนผสมต่อตะกอนโลหะหนัก = 4 : 1

OPC-FA = ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ (1:1) อัตราส่วนต่อตะกอนโลหะหนัก 4 : 1

OPC-SAND = ปูนซีเมนต์ผสมทราย (1:2) อัตราส่วนต่อตะกอนโลหะหนัก 2 : 1

LIME-LHA = ปูนขาวผสมเถ้าแกลบ (2:1) อัตราส่วนต่อตะกอนโลหะหนัก 2 : 1

การศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน

จากการศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning Electron Microscopy) ที่ขนาดกำลังขยาย 200 และ 2000 เท่า ศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุประสาน ตะกอนโลหะหนักและตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1 วัสดุประสาน

1.1 ปูนซีเมนต์

ภาพที่ ผ.1 และ ผ.2 (ภาคผนวก จ.) แสดงลักษณะทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ใช้เป็นวัสดุประสานในการทดลอง ผงปูนซีเมนต์มีขนาดระหว่าง 0.025 - 0.05 มม. มีรูปร่างไม่แน่นอน

1.2 เถ้าลอยลิกไนต์

ภาพที่ ผ.3 และ ผ.4 (ภาคผนวก จ.) แสดงลักษณะของเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมและพื้นผิวเรียบ มีขนาดที่แตกต่างกันระหว่าง 0.005 - 0.075 มม.

2 ตะกอนโลหะหนัก

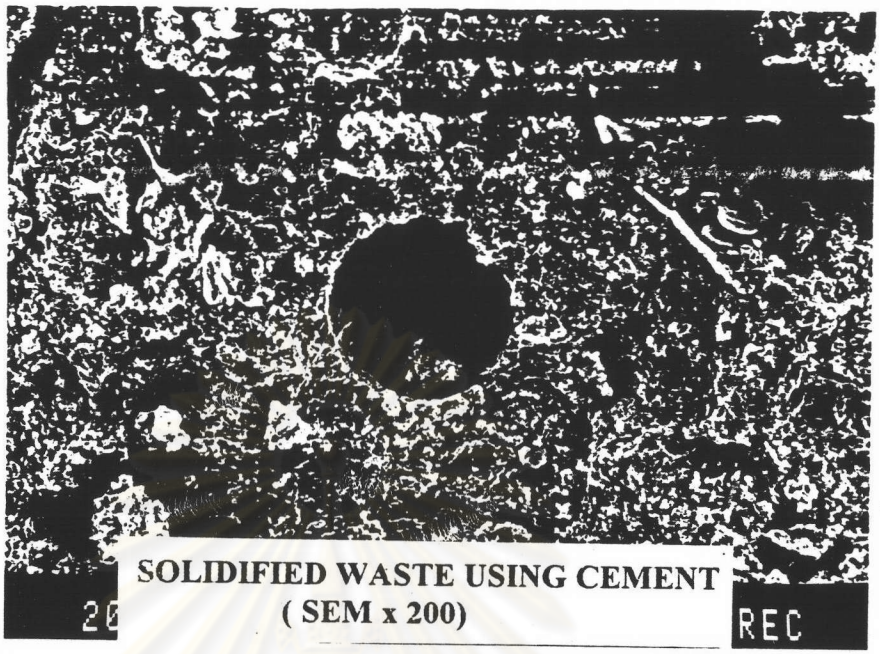
ภาพที่ ผ.5 และ ผ.6 (ภาคผนวก จ.)แสดงรูปร่างของตะกอนโลหะหนักที่มีลักษณะคล้ายผลึกที่มีขนาด แตกต่างกันและมีรูปร่างไม่แน่นอน

3 วัสดุประสานที่แข็งตัว

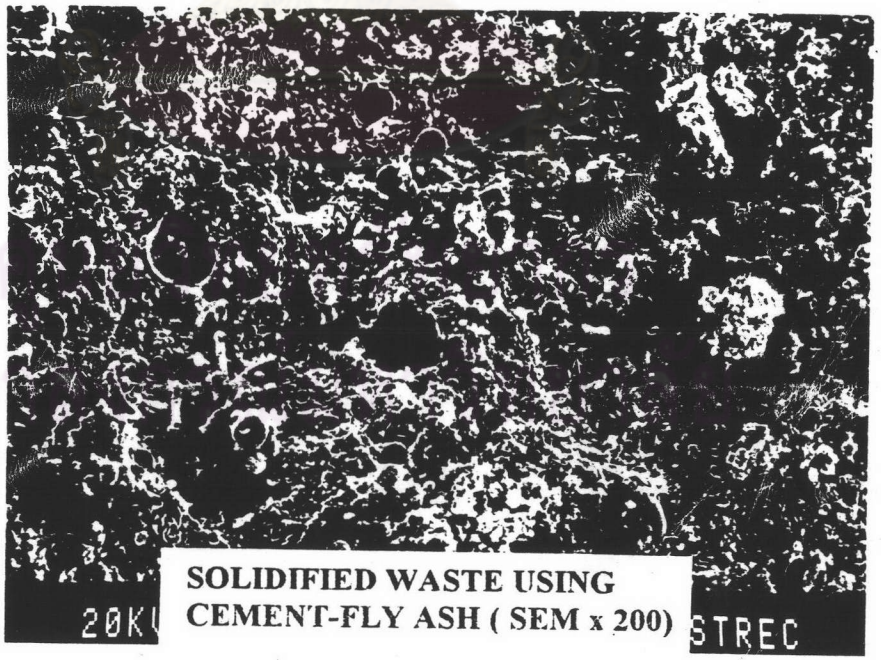
ภาพที่ ผ.7 และ ผ.8 (ภาคผนวก จ.)เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างวัสดุประสาน 2 ชนิดที่แข็งตัวเมื่อผสมน้ำ ได้แก่ วัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 0 (ปูนซีเมนต์) กับวัสดุประสานที่มี %เถ้าลอย 50 (ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย 50%) สำหรับวัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ จะมีรูปร่างลักษณะเป็นผลึกแผ่นเรียบ เกาะยึดตัวกันอย่างหนาแน่น ส่วนวัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์นั้น จะเห็นลักษณะทรงกลมของเถ้าลอยถูกยึดจับด้วยผลึกของปูนซีเมนต์ และมีผลึกที่มีรูปร่างคล้ายเข็มเกิดขึ้นอยู่ทั่วไป

4 ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ภาพที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการฝังตัวของตะกอนโลหะหนักอยู่ในปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ภาพที่ 5.6 แสดงตะกอนโลหะหนักที่ถูกยึดเกาะด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ที่แข็งตัวแล้วซึ่งซึ่งจะสามารถเห็นอนุภาคของเถ้าลอยที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ปะปนอยู่ในโครงสร้างที่ซับซ้อนของปูนซีเมนต์



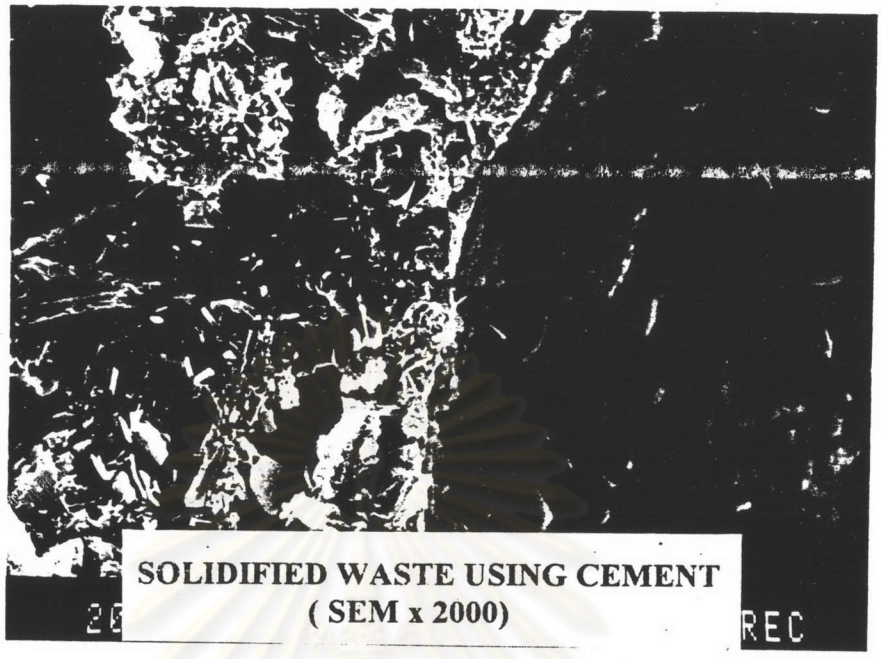
ภาพที่ 5.5 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน (ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า)



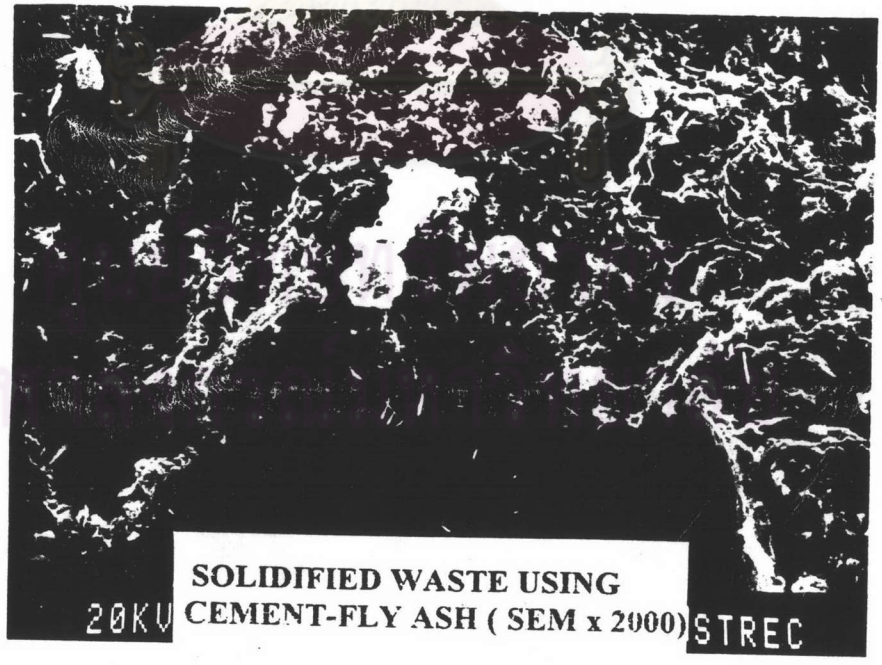
ภาพที่ 5.6 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน (ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า)

ภาพที่ 5.7 ภาพขยายของตะกอนโลหะหนักที่ถูกล้อมด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งแสดงความแตกต่างลักษณะของปูนซีเมนต์แข็งตัว (ด้านซ้าย) และลักษณะของตะกอนโลหะหนัก (ด้านขวา) และภาพที่ 5.8 เป็นภาพขยายของตะกอนโลหะหนักที่ถูกหุ้มด้วยวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์) ภาพด้านบนเป็นลักษณะของวัสดุประสานที่แข็งตัว ส่วนภาพด้านล่างเป็นลักษณะของตะกอนโลหะหนักที่ถูกหุ้มด้วยวัสดุประสาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.7 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน (ขนาดกำลังขยาย 2000)



ภาพที่ 5.8 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน(ขนาดกำลังขยาย2000 เท่า)