

การหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบโครเมียม ด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำ

เฉลิมราช วันทวิน¹ และ พิณชูกรณ์ ชอบเที่ยงธรรม²

Abstract

Wantawin, C.¹ and Chobthiangtham, P.²

Using cement, lignite fly ash and baghouse filter waste for solidification of chromium electroplating treatment sludge

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(Suppl. 1) : 77-84

The objective of the study is to use baghouse filter waste as a binder mixed with cement and lignite fly ash to solidify sludge from chromium electroplating wastewater treatment. To save cost of solidification, reducing cement in binder and increasing sludge in the cube were focused on. Minimum percent cement in binder of 20 for solidification of chromium sludge was found when controlling lignite fly ash to baghouse filter waste at the ratio of 30:70, sludge to binder ratio of 0.5, water to mixer ratio of 0.3 and curing time of 7 days. Increase of sludge to binder ratio from 0.5 to 0.75 and 1 resulted in increase in the minimum percent cement in binder up to 30 percent in both ratios. With the minimum percent cement in binder, the calculated cement to sludge ratios for samples with sludge to binder ratios of 0.5, 0.75 and 1 were 0.4, 0.4 and 0.3 respectively. Leaching chromium and compressive strength of the samples with these ratios could achieve the solidified waste standard by the Ministry of Industry. For solidification of chromium sludge at sludge to

¹National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHWM), Chulalongkorn University, Phaya Thai, Bangkok 10330 Thailand. ²Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140 Thailand.

¹D.Eng. (Environmental Engineering), ผู้ช่วยศาสตราจารย์, โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พญาไท กรุงเทพฯ 10330 ²นักศึกษาหลักสูตรวศ.ม. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Corresponding e-mail: chalemraj.wan@kmutt.ac.th

รับต้นฉบับ 3 มีนาคม 2547 รับลงพิมพ์ 20 เมษายน 2547

binder ratio of 1, the lowest cost binder ratio of cement to lignite fly ash and baghouse filter waste in this study was 30:21:49. The cost of binder in this ratio was 718 baht per ton dry sludge.

Keywords : solidification, chromium sludge, cement, lignite fly ash, baghouse filter waste

บทคัดย่อ

เฉลิมราช วันทวิน และ พิณชุกรณ์ ขอบเที่ยงธรรม
การหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบโครเมียม
ด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำ
ว.สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(ฉบับพิเศษ 1) : 77-84

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่เป็นวัสดุประสานโดยใช้สารทดแทนเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ฝุ่นทรายดำ และเถ้าลอยลิกไนต์ในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงบำบัดน้ำเสียของกระบวนการชุบโครเมียม อีกทั้งยังศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนกากตะกอนโครเมียมต่อวัสดุประสานเพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการหล่อแข็ง จากการทดลองเมื่อทำการหล่อก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสาน 0.5, อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมทั้งหมด 0.3, สัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อฝุ่นทรายดำในวัสดุประสานทดแทน 30:70 และบ่มเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานได้มากถึง 80% หรือคิดเป็นอัตราส่วนเฉพาะซีเมนต์ต่อกากตะกอน 0.4 ซึ่งยังคงทำให้ก้อนหล่อแข็งมีกำลังอัดและควบคุมการชะละลายโครเมียมจากกากตะกอนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานจาก 0.5 เป็น 0.75 และ 1 พบว่าที่อัตราส่วน 0.75 และ 1 ใช้ซีเมนต์ในวัสดุประสานได้ต่ำสุด 30% เหมือนกัน แต่เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนซีเมนต์ต่อกากตะกอนจะได้ 0.4 และ 0.3 ตามลำดับนั้นแสดงว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานสูงสุดในการทดลองนี้คือ 1 และใช้วัสดุประสานที่ประกอบด้วยซีเมนต์ 30% เถ้าลอยลิกไนต์ 21% และฝุ่นทรายดำ 49% ทำให้ก้อนหล่อแข็งมีปริมาณกากตะกอนสูงสุดและใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุด คิดเป็นค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการหล่อแข็งทั้งสิ้น 718 บาท/ตันของกากตะกอนโลหะโครเมียมแห้ง

กากตะกอนโลหะหนักที่มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงชุบโครเมียมจัดเป็นของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดไม่จำเพาะประเภทหรือไม่จำเพาะชนิด (Non-Specific Sources) จึงจำเป็นจะต้องทำการปรับเสถียรก่อนดำเนินการกำจัดตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

การหล่อแข็งเพื่อตรึงกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวิธีการปรับเสถียรวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน นฤมิตร (2538) ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำมาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็งพบว่าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในสัดส่วน 1:1 เป็นวัสดุประสานที่ดีกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ในการลดการชะละลายโลหะหนักซึ่งเป็นโครเมียมเป็นส่วนใหญ่จากกาก

ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียของการวิเคราะห์ซีโอดี และให้ค่าความสามารถรับกำลังอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด วราภรณ์ และคณะ (2542) ได้ใช้ฝุ่นทรายดำเป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็งกากตะกอนเดียวกันพบว่า ค่าความสามารถรับกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มนานขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นทรายดำมากขึ้น ค่าความสามารถรับกำลังอัดจะลดลง แต่สามารถตรึงกากตะกอนได้สูงถึง 50.29 ไมโครกรัม/กรัมก้อนหล่อแข็งเมื่อใช้สัดส่วนฝุ่นทรายดำ/ปูนซีเมนต์ 80:20 จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักโครเมียมที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียของการวิเคราะห์ซีโอดี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโครเมียมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยพยายามใช้ต้นทุนในการหล่อแข็งน้อยที่สุด ซึ่งการทดลองจะประกอบไปด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฝุ่นทรายดำมาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์เพื่อใช้ในการหล่อแข็ง โดยฝุ่นทรายดำและเถ้าลอยลิกไนต์ต่างก็เป็นกากของเสียเหลือใช้ ซึ่งถ้าเราสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้อีกวิธีหนึ่ง และเพื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการหล่อแข็งได้อีกด้วย จากนั้นจึงทำการศึกษาหาอัตราส่วนกากตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเพื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนในก้อนหล่อแข็งให้ได้มากที่สุด และทำการประเมินราคาค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานจากกระบวนการดังกล่าว

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้

ในการทดลองจะใช้วัสดุประสานร่วมกันสามชนิดคือ ฝุ่นทรายดำ (baghouse filter waste, BFW) เถ้าลอยลิกไนต์ (lignite fly ash, LFA) และปูนซีเมนต์ (cement, C) โดย ฝุ่นทรายดำ ได้มาจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรองของโรงงานอุตสาหกรรมหล่อลอมอุปกรณ์รถยนต์ เถ้าลอยลิกไนต์มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

วิธีการทดลอง

การทดลองเบื้องต้นของส่วนผสมในวัสดุประสานเมื่อยังไม่ผสมกากตะกอนโลหะหนักซึ่งประกอบด้วย ซีเมนต์และวัสดุประสานทดแทน เพื่อใช้ซีเมนต์น้อยที่สุดและใช้ฝุ่นทรายดำมากที่สุด พบว่าเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ต่ำสุดในวัสดุประสานที่ยังสามารถรับกำลังอัดได้มีค่าเท่ากับ 5 และสัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อฝุ่นทรายดำในวัสดุประสานทดแทนต่ำสุดที่ก้อนหล่อแข็งขึ้นรูปได้เท่ากับ 30:70 (ไม่ได้แสดงผลในที่นี้) จากนั้นจึงทำการศึกษาหาปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำสุดในวัสดุประสานในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบโครเมียมโดยทำการหล่อก้อนตัวอย่าง

ที่คงที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมทั้งหมดเป็น 0.3 คงที่สัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อฝุ่นทรายดำในวัสดุประสานทดแทนเป็น 30:70 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นดังกล่าว และคงที่ระยะเวลาบ่มเป็น 7 วันตลอดการทดลอง แต่จะเพิ่มซีเมนต์ในวัสดุประสานครั้งละ 5% โดยเริ่มต้นซีเมนต์ในวัสดุประสาน 5% และใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเริ่มต้นที่ 0.5 ซึ่งเป็นอัตราส่วนสูงสุดที่ได้จากการทดลองของนฤมิตร (2538) แล้วจึงเพิ่มจาก 0.5 เป็น 0.75 และ 1 ตามลำดับ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ต่ำสุดในแต่ละอัตราส่วนที่สามารถรับกำลังอัดและให้ค่าการชะละลายโครเมียมผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) คือสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่า 3.5 กก./ซม.² และค่าการชะละลายโครเมียมไม่เกิน 5 มก./ล ในการหล่อก้อนตัวอย่างแบบมอร์ตาร์ (ขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.) โดยทุกอัตราส่วนดังแสดงรายละเอียดใน Table 1 จะทำการหล่อซ้ำ 3 ก้อนเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวิเคราะห์โครเมียมใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการตรวจวิเคราะห์วัสดุประสานทั้งสาม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ และฝุ่นทรายดำ มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงใน Table 2 พบว่าฝุ่นทรายดำที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับเถ้าลอย Class F ตามมาตรฐาน ASTM C618-91

จากผลการทดลองเมื่อใส่กากตะกอนโลหะหนักในส่วนผสมที่อัตราส่วนต่างกัน โดยมุ่งเน้นที่จะลดปริมาณซีเมนต์ในวัสดุประสานและเพิ่มปริมาณกากตะกอนในก้อนหล่อแข็ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการหล่อแข็งเนื่องจากราคาปูนซีเมนต์ ทำให้ได้ผลการทดลองดังแสดงใน Table 3

จาก Table 3 พบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.5 และ 0.75 ก้อนตัวอย่างหล่อแข็งที่มีเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ในวัสดุประสานเป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 ไม่สามารถนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด และการชะละลายได้ เนื่องจากก้อนหล่อแข็งเกิดการสลายออกจากกัน

Table 1. Preparation for mixer and ratio selection.

Sample	S/B	Mixer (g)				LFA:BFW	Water (g)	W/M Ratio (g)
		S	C	LFA	BFW			
Number 1 (5% C)	0.5	333.33	33.33	190	443.34	30 : 70	300	0.3
Number 2 (10% C)		333.33	66.67	180	420	30 : 70	300	0.3
Number 3 (15% C)		333.33	100	170	396.67	30 : 70	300	0.3
Number 4 (20% C)		333.33	133.33	160	373.34	30 : 70	300	0.3
Number 5 (20% C)	0.75	428.57	114.29	137.14	320	30 : 70	300	0.3
Number 6 (25% C)		428.57	142.86	128.57	300	30 : 70	300	0.3
Number 7 (30% C)		428.57	171.43	120	280	30 : 70	300	0.3
Number 8 (30% C)	1	500	150	105	245	30 : 70	300	0.3
Number 9 (35% C)		500	175	97.5	227.5	30 : 70	300	0.3
Number 10 (40% C)		500	200	90	210	30 : 70	300	0.3

* S = Sludge, B = Binder, C = Cement, LFA = Lignite Fly Ash, BFW = Baghouse Filter Waste, W = Water, M = Mixer

Table 2. Chemical compounds in baghouse filter waste, lignite fly ash and cement.

Sample	Oxide Compound (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O
BFW	76.07	4.00	14.12	0.10	0.68	1.20	0.54	0.46
LFA	44.53	16.60	7.07	1.44	0.63	20.10	1.74	2.12
C	22.00	5.10	3.20	1.60	na**	65.00	1.40	na**

** na = not available

เมื่อนำไปบ่มในน้ำ ที่เป็นเช่นนี้น้ำจะเกิดจากปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่น้อยเกินไป จนกระทั่งเพิ่มปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานเป็น 20% และ 30% จึงทำให้ก้อนตัวอย่าง

หล่อแข็งสามารถนำไปบ่มและนำมาทดสอบค่าความสามารถรับกำลังอัดได้เป็น 32 และ 85 กก./ซม.² ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และเมื่อนำไปหาค่า

Table 3. Compressive strength and leached chromium of samples with LFA:BFW ratio of 30:70, W/M ratio of 0.3 and curing period at 7 days.

S/B	Sample Number	% C	Compressive Strength (kg/cm ²)	Leached Cr (mg/l)
0.5	1, 2, 3	5, 10, 15	-	-
	4	20	32	0.078
0.75	5, 6	20, 25	-	-
	7	30	85	0.082
1	8	30	39	0.063
	9	35	68	0.138
	10	40	87	0.161

การชะละลายโครเมียม พบว่ามีโครเมียมละลายออกมาเพียง 0.078 และ 0.082 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้มาก

ดังนั้นก่อนหล่อแข็งที่มีอัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.5 สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานด้วยเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำ ในสัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อฝุ่นทรายดำ 30:70 ได้มากที่สุดถึง 80% ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อภาคตะกอนจะเท่ากับ 0.4 และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของนฤมิตร (2538) ที่ทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวในการหล่อแข็งภาคตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีไอดี พบว่าที่อัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.5 เถ้าลอยลิกไนต์สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้มากที่สุดเพียง 50% หรือคิดเป็นอัตราส่วนซีเมนต์ต่อภาคตะกอนสูงถึง 1 ส่วนก่อนหล่อแข็งที่มีอัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.75 สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานด้วยเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำ ในสัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์: ฝุ่นทรายดำ 30:70 ได้มากที่สุด 70% ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อภาคตะกอนจะเท่ากับ 0.4

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 ดังแสดงใน Table 3 พบว่าก้อนตัวอย่างหล่อแข็งสามารถรับกำลังอัดได้เป็น 39, 68 และ 87 กก/ซม.² เมื่อเพิ่มปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานเป็น 30%, 35% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถรับกำลังอัดที่วัดได้นี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ และค่าการชะละลายโครเมียมที่วัดได้

เป็น 0.063, 0.138 และ 0.161 มก./ล. ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นก่อนหล่อแข็งที่มีอัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานด้วยเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำในสัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์: ฝุ่นทรายดำ 30:70 ได้มากที่สุด 70% ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อภาคตะกอนจะเท่ากับ 0.3

เมื่อพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณปูนซีเมนต์ต่อความสามารถรับกำลังอัดและค่าการชะละลายโครเมียมของก้อนตัวอย่างหล่อแข็งที่มีอัตราส่วนภาคตะกอนต่อวัสดุประสานเท่ากันคือเท่ากับ 1 พบว่า ก้อนตัวอย่างหล่อแข็งมีค่าความสามารถรับกำลังอัดต่ำลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าวัสดุประสานทดแทนโดยเฉพาะฝุ่นทรายดำมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์แสดงใน Table 2 ซึ่งสารประกอบแคลเซียมออกไซด์มีบทบาทในการหล่อแข็ง เพราะหลังปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรตซึ่งมีคุณสมบัติในการเชื่อมเกาะเพิ่มขึ้น และทำให้ก้อนตัวอย่างหล่อแข็งมีกำลังรับแรงอัดดีขึ้น ในทางตรงข้ามพบว่าเมื่อปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานลดลง ก้อนตัวอย่างหล่อแข็งมีค่าการชะละลายโครเมียมต่ำลงซึ่งเป็นผลดี ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในวัสดุประสานทดแทนมีปริมาณออกไซด์ของซิลิกอน เหล็ก และอะลูมิเนียมสูง พบว่ามีอยู่ในฝุ่นทรายดำมากกว่า 70% และในเถ้าลอยลิกไนต์มากกว่า 50% ดังแสดงใน Table 2

ซึ่ง Cheng และ Bishop (1992) ได้ศึกษาถึง ซิลิกอน เหล็ก และอะลูมิเนียมที่มีอยู่ในซีเมนต์ พบว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับและดูดติดผิวได้ดี จึงช่วยป้องกันการชะละลายของโครเมียมได้ ดังนั้นการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยฝุ่นทรายดำและเถ้าลอยลิกไนต์จึงไปช่วยทำให้การชะละลายของโครเมียมของก้อนตัวอย่างหล่อแข็งมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนกากตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานต่อความสามารถรับกำลังอัดและการชะละลายของก้อนตัวอย่างหล่อแข็งที่มีอัตราส่วนซีเมนต์ต่อกากตะกอนเท่ากันที่ 0.4 ดังแสดงใน Table 4 แล้ว ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 ตามลำดับ

จาก Figure 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานสูงขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างหล่อแข็งสูงขึ้นด้วย เพราะสัดส่วนของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเทียบปริมาณส่วนผสมทั้งหมดเป็น 1 กก. น้ำหนักแห้ง พบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.5, 0.75 และ 1 มีปริมาณปูนซีเมนต์เป็น 0.13, 0.17 และ 0.20 กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จึงทำให้มีแคลเซียมออกไซด์เพื่อไปทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมเกาะเพิ่มขึ้น แล้วทำให้ก้อนหล่อแข็งรับกำลังอัดได้สูงขึ้น

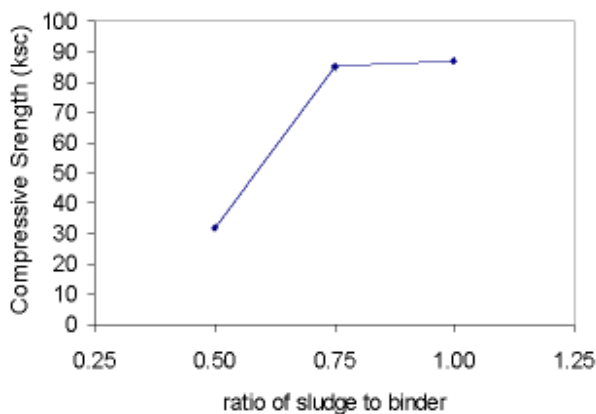


Figure 1. Relationship between S/B ratio and compressive strength of samples with C/S ratio of 0.4.

ใน Figure 2 แสดงให้เห็นว่าก้อนตัวอย่างหล่อแข็งมีค่าการชะละลายโครเมียมสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานสูงขึ้น เพราะสัดส่วนของฝุ่นทรายดำและเถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมทั้งหมดมีปริมาณลดลงโดยเมื่อเทียบปริมาณส่วนผสมทั้งหมดเป็น 1 กก. น้ำหนักแห้ง พบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 0.5, 0.75 และ 1 มีปริมาณฝุ่นทรายดำและเถ้าลอยลิกไนต์เป็น 0.53, 0.40 และ 0.30 กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จึงทำให้มีซิลิกอน เหล็ก และอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ และดูดติดผิวลดลง แล้วทำให้โครเมียมถูกชะละลายออกมาได้มากขึ้นเมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักในก้อนตัวอย่างหล่อแข็งเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้นทำให้ทราบว่าที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 เป็นอัตราส่วนที่สามารถตรึงกากตะกอนได้มากในขณะที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และวัสดุประสานอื่นๆ น้อยที่สุด คือกากตะกอนหนึ่งตันจะใช้ปูนซีเมนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ และฝุ่นทรายดำเพียง 0.3, 0.21 และ 0.49 ตัน ตามลำดับ และเมื่อนำสัดส่วนนี้มาประมาณราคาค่าใช้จ่าย จะได้ผลดังแสดงใน Table 5 โดยใช้ราคาวัสดุประสานคือ ปูนซีเมนต์ตันละ 2,100 บาท ซึ่งเป็นราคาท้องตลาดในปัจจุบัน และเถ้าลอยลิกไนต์ตันละ 420 บาท (ไกรวุฒิ, 2546) ส่วนฝุ่นทรายดำยังจัดว่าเป็นของเสีย

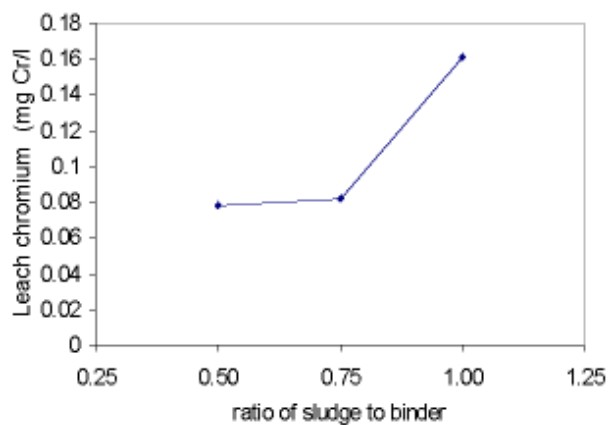


Figure 2. Relationship between S/B ratio and leached chromium of samples with C/S ratio of 0.4.

Table 4. Compressive strength and leached chromium of samples with different ratios of S/B and C/S ratio of 0.4.

Sample Number	S/B	Mixer 1 kg*			Compressive Strength (kg/cm ²)	Leached Cr (mg/l)
		S (kg*)	C (kg*)	LFA + BFW (kg*)		
4	0.50	0.33	0.13	0.53	32	0.078
7	0.75	0.43	0.17	0.40	85	0.082
10	1.00	0.50	0.20	0.30	87	0.161

* Dry Weight

Table 5. Cost estimation of binders in solidification for 1 ton sludge.

Binder	Price (Baht/Ton)	Weight (Ton)	Cost (Baht)
C	2,100	0.30	630
LFA	420	0.21	88
BFW	-	0.49	-
Total		1	718

เหลือใช้ที่ถูกล้างมากองทิ้งไว้และยังไม่มีการจัดจำหน่าย ดังนั้นการนำฝุ่นทรายดำมาใช้เป็นวัสดุประสานในการหล่อแข็งจึงเป็นวิธีหนึ่งในการกำจัดฝุ่นทรายดำด้วย

จาก Table 5 แสดงว่าค่าใช้จ่ายในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบโครเมียม ที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 โดยในวัสดุประสานใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และฝุ่นทรายดำ 30% 21% และ 49% ตามลำดับ มีค่าประมาณ 720 บาท/ตันของกากตะกอนโลหะหนักเป็นสัดส่วนที่คุ้มทุนที่สุด เพราะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยที่สุด และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ นฤมิตร (2538) ที่ทำการหล่อแข็งกากตะกอนซีโอดี ซึ่งถือว่าเป็นกากตะกอนที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับกากตะกอนจากโรงชุบโครเมียมที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าในกรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวเป็นวัสดุประสาน อัตราส่วนกากตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานสูงที่สุดคือ 0.25 นั่นคือกากตะกอน 1 ตันต้องใช้ปูนซีเมนต์ถึง 4 ตันในการหล่อแข็ง ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงถึง 8,400 บาท/ตันของกาก

ตะกอนโลหะหนัก ดังนั้นผลจากการศึกษาในครั้งนี้จึงแสดงว่าการนำฝุ่นทรายดำและเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักช่วยลดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 7,680 บาท/ตันของกากตะกอนโลหะหนัก (8,400-720 = 7,680)

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนหล่อแข็งที่สัดส่วนนี้ พบว่าที่ระยะเวลาบ่มเพียง 7 วันก็สามารถรับกำลังอัดได้ถึง 39 กก./ซม.² ซึ่งสูงกว่า 3.5 กก./ซม.² ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และถ้าเพิ่มระยะเวลาบ่มนานขึ้น ค่าความสามารถรับกำลังอัดก็จะสูงมากขึ้นด้วย จึงทำให้สัดส่วนนี้น่าจะเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาในด้านของการรับกำลังในงานก่อสร้างได้เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาบ่มให้นานขึ้น อีกทั้งเมื่อพิจารณาในด้านของการกำจัดกากของเสียโดยรวมแล้ว พบว่าที่สัดส่วนที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ค่าวัสดุประสาน 720 บาท สามารถหล่อแข็งเพื่อตรึงของเสียไว้ได้ถึง 1.49 ตัน คือ ตรึงกากตะกอนโลหะหนักได้ 1 ตัน และฝุ่นทรายดำอีก 0.49 ตัน จึงทำให้เป็นสัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนที่คุ้มทุนที่สุด

บทสรุป

เนื่องจากฝุ่นทรายดำที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับเถ้าลอย Class F ซึ่งมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมไดออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ รวมกันมากกว่า 70% ทำให้มีการดูดซับและดูดติดผิวโลหะหนักได้ดี ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นทรายดำสูงขึ้นจึงทำให้ค่าการชะละลายโครเมียมลดลง และเมื่อหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักจากโรงชุบโครเมียมที่อัตราส่วนกากตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 โดยในวัสดุประสานใช้ปูนซีเมนต์ ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และฝุ่นทรายดำ 30% 21% และ 49% ตามลำดับ เป็นสัดส่วนที่ใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุดและมีปริมาณกากตะกอนสูงสุด พบว่าการชะละลายโครเมียมและความสามารถรับกำลังอัดของก้อนหล่อแข็งมีค่า 0.063 มก./ล. และ 39 กก./ซม.² ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และคิดเป็นค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการหล่อแข็งประมาณ 720 บาท/ตันของกากตะกอนโลหะหนักแห้ง

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม, การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, ฉบับที่ 6, 2540.
- ไกรวุฒิ เกียรติโกมล. 2546. เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีต, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องการนำเถ้าถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต กรุงเทพฯ ประเทศไทย 29 เมษายน 2546. หน้า 4.
- นฤมิต คินนิมาน. 2538. การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์ให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วารภรณ์ กิจชัยนุกูล ศศิธร พุทธวงษ์ และภาวิณี ชัยประเสริฐ 2542. การนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง ว.วิจัยและพัฒนา มจร. 22(2): 79-93
- American Society for Testing and Materials, ASTM C618-91 1991: Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp.303-305.
- Cheng, K.Y. and Bishop, P.L. 1992. Metals Distribution in Solidified/Stabilized Waste Forms After Leaching, Hazardous Waste & Hazardous Materials, 9(2): 163-312.