

การนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง

วราภรณ์ กิจชัยนุกูล¹

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ศศิธร พุทธวงษ์² และ ภาวิณี ชัยประเสริฐ²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

กากของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่เป็นเหล็กกล้ามีกากของเสียจากการรีดแบบและจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรอง การทดสอบเบื้องต้นถึงการชะละลายโลหะหนักเพื่อจำแนกประเภทกากของเสีย พบว่ากากของเสียทั้งสองชนิดนี้ไม่จัดอยู่ในขायกากของเสียอันตราย มีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน เนื่องจากมีค่าผลรวมของซิลิกอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และเหล็กออกไซด์มากกว่าร้อยละ 70 และมีปริมาณโซเดียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 1.5 กากของเสียจากการรีดแบบส่วนใหญ่จะถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการทำแบบหล่อ ส่วนกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรองจะถูกกองทิ้งไว้ จึงนำกากของเสียส่วนนี้มาใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในการหล่อแข็ง

สัดส่วนของกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่นต่อปูนซีเมนต์ต่อน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการหล่อแข็งเพื่อฝังกลบอยู่ที่ 80 : 20 : 0.27 โดยน้ำหนัก โดยที่มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) ที่อายุการบ่มในน้ำ 28 วัน เป็น 166 กก./ตร.ซม. เมื่อใช้สัดส่วนนี้ในการตริงปรอทจากกากตะกอนน้ำทิ้งที่วิเคราะห์ซีไอดี พบว่าสามารถตริงปรอทจากตะกอนที่มีปรอทได้ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก โดยที่ค่าการชะละลายปรอทไม่เกินมาตรฐานกำหนด

คำสำคัญ : การตริงปรอท / การหล่อแข็ง / ปอซโซลาน / กากของเสีย / อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ

¹ นักวิทยาศาสตร์ 6ว กลุ่มงานสิ่งแวดล้อม กองพิสิิกส์และวิศวกรรม

² อาจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ

Utilization of Solid Waste from Foundries Industry as Cementitious Binder in Solidification

Waraporn Kitchainukul ¹

Department of Science Service

Sasidhorn Buddhawong ² and Pawinee Chaiprasert ²

King Mongkut's University of Technology Thonburi

Abstract

Solid waste from moulding sand and baghouse filter are wastes generated from foundries industry. The preliminary study was carried out in order to classify types of solid waste by testing the leaching of heavy metal. It was found that these wastes are non-hazardous waste. Furthermore, these wastes were pozzolanic materials indicated by the combination of silicon oxide, aluminum oxide, and iron oxide were more than 70% and sodium oxide was less than 1.5%. Normally, solid waste from moulding sand and baghouse filter were recycled back in the moulding process and dumped in open land, respectively. In this study, fine particle of solid waste from baghouse filter was selected to determine its possibility for utilization as cement binding mixture in solidification.

The suitable proportion of fine particle to cement to water for solidification in landfill was 80 : 20 : 0.27 by weight. The compressive strength of solidified material was 166 kg/cm² after the 28th day curing. This proportion was used for solidified mercury obtained from COD analysis sludge. It was found that mercury sludge was stabilized up to 0.8% by weight. The leaching test of mercury did not exceed the criteria standard.

Keywords : Utilization / Mercury stabilization / Solidification / Pozzolan / Fine particle from baghouse filter / Foundries industry

¹ Scientist 6, Environmental Sub-division Physics and Engineering Division

² Lecturer, Division of Environmental Technology, School of Energy and Materials

1. บทนำ

อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่น่าเงินตราเข้าประเทศเป็นจำนวนมาก จากสถิติกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า มีโรงงานหล่อหลอมโลหะในภายในประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2538-2539 จำนวนถึง 336 โรง [1] ในจำนวนนี้แบ่งเป็นอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่เป็นเหล็กกล้า 178 โรง และอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่เป็นเหล็กกล้า 158 โรง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ ชิ้นส่วนปั๊ม น้ำ กะทะเหล็ก ลูกบดวัสดุปูนซีเมนต์ อะไหล่เครื่องจักรต่างๆ อุปกรณ์รถยนต์ อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ วาล์วและข้อต่อต่างๆ เป็นต้น กระบวนการหล่อหลอมโลหะที่ใช้ทรายเป็นแบบหล่อ มีขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไป คือ การหลอมเหล็ก (melting) การเตรียมทรายสำหรับทำแบบหล่อ (sand preparation) การเตรียมแบบการหล่อ (moulding line) การรื้อชิ้นงานออกจากแบบทราย (shake-out) การแยกชิ้นงานออกจากระบบงานหล่อ (breaking) การคัดแยกชิ้นงาน (sorting) การตกแต่งเพื่อความสวยงาม และการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน [2] เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะแล้วจะมีกากของเสียเกิดขึ้นจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรอง (baghouse filter) และจากการรื้อแบบ จากข้อมูลพบว่าในปีหนึ่งๆ กากของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะมีจำนวนถึง 3.4 ล้านตัน การศึกษาเกี่ยวกับกากของเสียนี้ในปัจจุบันยังขาดข้อมูลพื้นฐานอยู่มาก ดังนั้นจึงควรศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีเพื่อให้ทราบข้อมูลที่แน่ชัดอันจะเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นแนวทางในการจัดการกากอุตสาหกรรมดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิชาการ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของกากของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะโดย ทำการทดสอบความเป็นพิษและองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำไปใช้ประโยชน์

2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากของเสีย, ปูนซีเมนต์และปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำกากของเสียไปใช้เป็นวัสดุผสมในการหล่อแข็ง

2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากของเสียเป็นวัสดุผสมในการหล่อแข็งกากตะกอนเมอร์คิวริคัลไฟด์ของน้ำทิ้งที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งในการวิเคราะห์ซีไอดี

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้หล่อแบบทราย กากของเสียจากส่วนหล่อแบบ และกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่น โดยศึกษาความเป็นพิษตามประกาศกรมโรงงาน อุตสาหกรรม [3] และองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence

3.2 นำกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรองมาใช้ประโยชน์ในการหล่อแข็ง โดยศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ต่อกากของเสียและปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ใน

การศึกษาของสัดส่วนปูนซีเมนต์และกากของเสียที่ค่าต่างๆ ในการทำก้อนหล่อแข็งใช้วิธีการวัดค่าการไหล (flow) ตาม ASTM C109-96 [4] โดยที่ใช้แบบในการหล่อเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม. นำก้อนหล่อแข็งที่ได้นำมาทดสอบค่าความสามารถรับกำลังอัด (compressive strength)

3.3 จากข้อ 3.2 เมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมในการทำก้อนหล่อแข็ง จึงนำกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรองมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมในการหล่อแข็งและตั้งเครื่องรีดรีดไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีไอดี ทดสอบค่าความสามารถรับกำลังอัดและค่าการชะละลายของปรอท

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

4.1 เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อโลหะไปใช้เป็นวัสดุผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ในการกำจัดของเสียประเภทอื่นด้วยวิธีการหล่อแข็ง

4.2 เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกแนวทางการใช้ประโยชน์จากกากของเสียนี้ นอกเหนือจากการนำไปใช้ประโยชน์ในการหล่อแข็ง

4.3 เป็นการส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 14000 ในเรื่องการจัดการกากของเสีย อันจะยังผลให้สินค้าที่ผลิตขึ้นภายในประเทศสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้โดยปราศจากข้อขัดแย้ง

5. วิธีการทดลอง

ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

5.1 แหล่งที่มาของตัวอย่าง

บริษัท นวโลหะอุตสาหกรรม จำกัด ตั้งอยู่ที่ 19 หมู่ 3 ถนนสุวรรณศร ตำบลบัวลอย อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

5.2 ตัวอย่างที่นำมาศึกษา

5.2.1 ชุดที่ 1 ตัวอย่างที่เก็บ ได้แก่ วัสดุดิบ, กากของเสียจาก Baghouse Filter และจากแบบหล่อ (เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้น)

5.2.2 ชุดที่ 2 ตัวอย่างที่เก็บ ได้แก่ กากของเสียจาก Baghouse Filter (เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เพื่อยืนยันผลวิเคราะห์ของตัวอย่างในชุดที่ 1 ก่อนนำมาใช้งาน)

5.3 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างบริเวณต่อไปนี้

5.3.1 วัสดุดิบที่นำมาใช้ในการทำแบบหล่อทราย

5.3.2 บริเวณรื้อแบบหล่อ

5.3.3 จากระบบกำจัดฝุ่น Baghouse Filter

5.4 การเตรียมตัวอย่าง

5.4.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาความเป็นพิษตามมาตรฐานวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

5.4.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชม.

5.5 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัตถุติด, กากของเสียจากการรื้อแบบ และกากของเสียจาก Baghouse Filter

5.5.1 วิเคราะห์ค่าการชะละลายของวัตถุติดที่ใช้ในการหล่อแบบทราย, กากของเสียจากการรื้อแบบ และกากของเสียจาก Baghouse Filter ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม

5.5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากของเสียจากการรื้อแบบ และกากของเสียจาก Baghouse Filter กับวัตถุติดที่ใช้ในการหล่อแบบทราย ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence

5.6 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์และสัดส่วนของวัสดุผสมต่อปริมาณน้ำ

5.7 ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปูนซีเมนต์และกากของเสียจาก Baghouse Filter มาใช้ประโยชน์ด้านการหล่อแข็งกาคตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีไอดี

6. ผลการทดลอง

6.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกากของเสียจากส่วนรื้อแบบและกากของเสียจากระบบกำจัดแบบ Baghouse Filter

ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกากของเสียทั้ง 2 ชนิด โดยศึกษาหาค่าความชื้นและการกระจายตัวของอนุภาค ดังในตารางที่ 6.1 ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างขนาด 0.5 มม.- 5.0 มม. ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด คือ ทรายวัตถุติด กากของเสียจากการรื้อแบบ และกากของเสียจาก Baghouse Filter พบว่าอนุภาคของกากของเสียจาก Baghouse Filter ทั้งหมดมีขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ในขณะที่ทรายวัตถุติดและกากของเสียจากการรื้อแบบมีอนุภาคทั้งขนาดใหญ่และเล็กกว่า 0.5 มม. แต่อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ซึ่งพบอยู่ประมาณ 90.75% และ 89.49% ตามลำดับ ส่วนที่เหลือมีขนาด 0.5 มม.- 5.0 มม. ปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. มีปริมาณสูงกว่าขนาดใหญ่ 0.5 มม.- 5.0 มม. ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างทั้ง 2 ขนาดอนุภาค คือ ขนาดตามมาตรฐานประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมขนาด 0.5 มม.- 5.0 มม. และขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.5 มม. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

ตารางที่ 6.1 การกระจายตัวของอนุภาคและปริมาณความชื้นในตัวอย่างจากโรงงานหล่อหลอมโลหะอุปการณ์รถยนต์

ตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
	ขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.	ขนาด 0.5 มม. - 5.0 มม.	
วัตถุดิบ ทราย	90.75	9.25	0.28
กากของเสีย จากการรีบบ	89.49	10.51	0.72
จาก Baghouse Filter	100.00	0.00	0.34

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาในน้ำสกัดของกากของเสียจากการรีบบ ทั้ง 2 ขนาดอนุภาค และกากของเสียจาก Baghouse Filter ที่เก็บตัวอย่าง 2 ครั้งในช่วงเวลาดังกัน 3 เดือน

6.2 การชะละลายของโลหะหนัก

ผลการศึกษาค่าการชะละลายของกากอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมการหล่อหลอมโลหะ แสดงดังตารางที่ 6.2.1-6.2.2 และได้แสดงการเปรียบเทียบค่าการชะละลายของกากของเสียกับค่ามาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม แสดงดังตารางที่ 6.2.3

ตารางที่ 6.2.1 ปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาในน้ำสกัดของกากของเสียจากการรีบบของโรงงานหล่อหลอมโลหะอุปการณ์รถยนต์

พารามิเตอร์	ขนาดอนุภาค		
	<0.5 มม.	0.5 มม. - 5.0 มม.	≤ 5.0 มม.*
ปริมาณโลหะหนัก (mg/L)			
As	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	0.0920	ไม่พบ	0.0820
Hg	0.0303	ไม่พบ	0.0271
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ : Detection Limit of As = 0.1400 mg/L, Cd = 0.001 mg/L, Cr = 0.003 mg/L,

Hg = 0.005 mg/L, Pb = 0.009 mg/L,

* ได้จากการคำนวณ

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างขนาดอนุภาค ≤ 5.0 มม. คำนวณจากค่าที่วิเคราะห์ได้ของกากของเสียจากการรีบบขนาดอนุภาค ≤ 0.5 มม. และ 0.5 มม.-5.0 มม. ซึ่งคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด} = \frac{(P_{0.5} \times L_{0.5}) + (P_{0.5-5.0} \times L_{0.5-5.0})}{100}$$

ขนาดอนุภาค ≤ 5.0 มม. (mg/L)

เมื่อ $P_{0.5}$ = น้ำหนักตัวอย่างขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

$L_{0.5}$ = ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างขนาด ≤ 0.5 มม. (mg/L)

$P_{0.5-5.0}$ = น้ำหนักตัวอย่างขนาด 0.5 มม.-5.0 มม. (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

$L_{0.5-5.0}$ = ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ของตัวอย่างขนาด 0.5 มม.-5.0 มม. (mg/L)

ตารางที่ 6.2.2 ปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาในน้ำสกัดของกากของเสียจาก Baghouse Filter ของโรงงานหล่อหลอมโลหะอุปกรณ์รถยนต์ ที่เก็บตัวอย่างที่เวลาต่างกัน

พารามิเตอร์	ตัวอย่างที่เก็บครั้งที่	
	1	2
ปริมาณโลหะหนัก (mg/L)		
As	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	ไม่พบ	ไม่พบ
Hg	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ: Detection Limit of As = 0.1400 mg/L, Cd = 0.001 mg/L, Cr = 0.003 mg/L,
Hg = 0.005 mg/L, Pb = 0.009 mg/L,

ตารางที่ 6.2.3 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาในน้ำสกัดของกากของเสียจากการรีไซเคิลและกากของเสียจาก Baghouse Filter กับค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

โลหะหนัก (mg/L)	กากของเสีย (mg/L)		ค่ามาตรฐาน (mg/L)
	กากของเสียจากการรีไซเคิล	กากของเสียจาก Baghouse Filter	
As	ไม่พบ	ไม่พบ	5.0
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	1.0
Cr	0.082	ไม่พบ	5.0
Hg	0.0271	ไม่พบ	0.2
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ	5.0

Detection Limit of As = 0.140 mg/L, Cd = 0.001 mg/L, Cr = 0.003 mg/L,
Hg = 0.005 mg/L, Pb = 0.009 mg/L,

จากผลการวิเคราะห์ค่าการชะละลายของกากของเสียเทียบกับค่ามาตรฐานที่แสดงใน ตารางที่ 6.2.3 พบว่ากากของเสียทั้ง 2 ชนิดมีค่าการชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กากของเสียจากการรีบบและกากของเสียจาก Baghouse Filter ที่เป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรม หล่อหลอมโลหะจัดเป็นกากของเสียทั่วไป (non-hazardous waste) ไม่อยู่ในข่ายของเสียอันตราย

6.3 องค์ประกอบของธาตุในรูปออกไซด์

ในการศึกษาองค์ประกอบของธาตุในรูปออกไซด์ของตัวอย่าง Bentonite และ Seacoal ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานในส่วนผสมที่ใช้ทำแบบหล่อ ทรายวัตถุดิบ กากของเสียจากการรีบบ และ กากของเสียจาก Baghouse Filter เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์ ด้านการหล่อแข็ง ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 องค์ประกอบทางเคมีในรูปโลหะออกไซด์ในตัวอย่างวัตถุดิบและกากของเสียจากโรงงานหล่อหลอมโลหะอุปกรณ์รถยนต์

องค์ประกอบ	วัตถุดิบ			กากของเสีย		
	ทราย	Bentonite	Seacoal	กากของเสีย จากการ รีบบ	กากของเสีย จาก Baghouse Filter ชุดที่ 1	กากของเสีย จาก Baghouse Filter ชุดที่ 2
Al ₂ O ₃ (%)	0.67	20.8	18.3	4.50	12.30	18.6
As ₂ O ₃ (µg/g)	< 10	< 80	< 10	< 10	< 10	< 10
CaO (%)	0.105	1.43	2.37	0.32	0.95	1.55
CdO (µg/g)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cr ₂ O ₃ (%)	0.14	< 0.0001	0.016	0.106	0.129	0.038
Fe ₂ O ₃ (%)	1.34	3.88	9.70	1.90	4.29	6.40
K ₂ O (%)	0.31	0.58	1.94	0.23	0.64	0.72
MgO (%)	< 0.0001	2.37	0.80	0.51	1.39	2.14
Na ₂ O (%)	0.027	2.16	0.13	0.45	1.21	1.68
PbO (µg/g)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 20.0	40.0
SiO ₂ (%)	97.17	68.0	44.3	91.40	77.90	67.1
SO ₃ (%)	0.019	0.031	5.40	0.098	0.36	0.70
TiO ₂ (%)	0.094	0.34	4.11	0.121	0.24	0.31
ZnO (%)	0.0012	0.27	0.59	0.0079	0.012	0.022

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในวัตถุดิบและกากของเสีย พบว่าธาตุส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกไซด์ โดยมีซิลิคอนออกไซด์พบเป็นตัวหลักในทราย นอกนั้นพบเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่วัสดุประสาน (Bentonite และ Seacoal) พบออกไซด์ของ อะลูมิเนียม แคลเซียม เหล็ก โปแตสเซียม โซเดียม และซิลิกา เป็นหลัก

กากของเสียจากการรีอบแบบ มีอะลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และซิลิคอนออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลัก และมีแคลเซียมออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ โปแตสเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ และไทเทเนียมออกไซด์เป็นธาตุรอง ที่เหลือพบเพียงเล็กน้อย ได้แก่ อาร์เซนิกออกไซด์ แคดเมียมออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และสังกะสีออกไซด์

กากของเสียจาก Baghouse Filter มีองค์ประกอบธาตุในรูปออกไซด์คล้ายคลึงกับกากของเสียจากการรีอบแบบ แต่มีออกไซด์ที่เป็นธาตุหลักเพิ่มขึ้น คือ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากวัสดุประสาน คือ Bentonite และ Seacoal

จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุในรูปออกไซด์ในตารางที่ 6.3 พบว่าทรายวัตถุดิบมีปริมาณของซิลิคอนออกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบหลักในปริมาณมากที่สุด และมีปริมาณลดลงในกากของเสียจากการรีอบแบบและกากของเสียจากระบบกำจัดแบบถุงกรอง ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อผ่านขั้นตอนกระบวนการผลิตขนาดของทรายเล็กลงและถูกคัดออกไปจากขั้นตอนการผลิต โดยระบบกำจัดฝุ่นแบบถุงกรอง (Baghouse Filter) ซึ่งกากของเสียเหล่านี้มีซิลิคอนออกไซด์ปะปนอยู่ ดังนั้นจึงตรวจพบปริมาณซิลิคอนออกไซด์ในกากของเสียจาก Baghouse Filter ในปริมาณค่อนข้างสูง และทำให้ปริมาณซิลิคอนออกไซด์ในกากของเสียจากการรีอบแบบมีปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับทรายวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าผลรวมของซิลิคอนออกไซด์ในกากของเสียจากการรีอบแบบและกากของเสียจาก Baghouse Filter มีค่ามากกว่าปริมาณซิลิคอนออกไซด์ทรายวัตถุดิบ ปริมาณของซิลิคอนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นนี้มาจาก Bentonite และ Seacoal เนื่องจากในกระบวนการผลิตกากของเสียจากส่วนรีอบแบบมีการนำกลับไปใช้ใหม่ จึงเลือกศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียจาก Baghouse Filter ไปใช้เป็นวัสดุร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง

6.4 ความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียจาก Baghouse Filter เป็นวัสดุร่วมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง

6.4.1 การศึกษาหาสัดส่วนกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม ทำการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์โดยพิจารณาจากค่าความสามารถรับกำลังอัด ผลการศึกษาทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.4

6.4.2 การศึกษาหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การศึกษาหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมศึกษาโดยการวัดค่าการไหลของมอร์ตาร์ ตาม ASTM C 109-96 ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 6.4

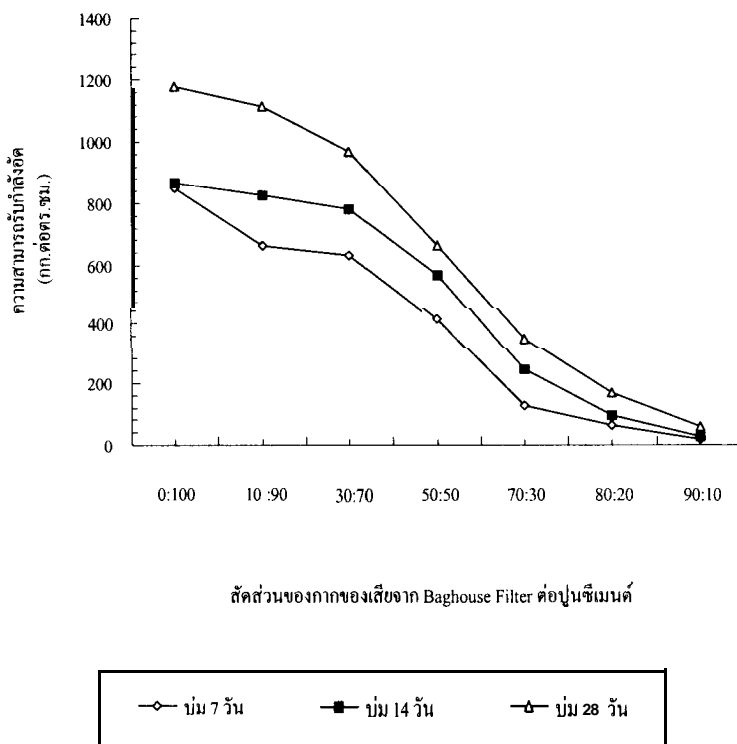
ตารางที่ 6.4 ความสามารถรับกำลังอัดที่เวลาบ่มต่างๆ และปริมาณน้ำที่เหมาะสม

สัดส่วนผสม กากของเสียจาก Baghouse Filter : ปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)	ค่าการไหล ของมอร์ตาร์ (ร้อยละ)	W : C+S (โดยน้ำหนัก)	ความสามารถรับกำลังอัดที่เวลาบ่มต่างๆ (kg/cm ²)		
			7 วัน	14 วัน	28 วัน
0 : 100	108.00	0.26 : 1.0	850.0	868.0	1177.0
10 : 90	108.00	0.26 : 1.0	663.0	829.0	1112.0
30 : 70	107.00	0.26 : 1.0	631.0	783.0	967.0
50 : 50	106.75	0.26 : 1.0	415.0	569.0	663.0
70 : 30	112.50	0.27 : 1.0	126.0	247.0	351.0
80 : 20	107.00	0.27 : 1.0	64.5	96.9	166.0
90 : 10	107.25	0.28 : 1.0	16.3	27.4	57.8
100 : 0	105.00	0.30 : 1.0	*	*	*

หมายเหตุ W : C+S หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณน้ำ (W) ต่อน้ำหนักของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ (C) กับกากของเสียจากระบบกำจัด Baghouse Filter (S)

* หมายถึง ทดสอบความสามารถรับกำลังอัดไม่ได้ เนื่องจากตัวอย่างจับตัวเป็นก้อนไม่ได้และเปราะง่าย ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละสัดส่วนของกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์หาได้จากวัดค่าอัตรา การไหลของส่วนผสมให้มีค่าอยู่ระหว่างค่าร้อยละ 110±5

ในตารางที่ 6.4 พบว่าในแต่ละสัดส่วนของกากของเสียจาก Baghouse Filter และปูนซีเมนต์ ค่าความสามารถรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุบ่มของก้อนหล่อแข็งเพิ่มขึ้นจาก 7 วันเป็น 14 และ 28 วัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงสัปดาห์แรกปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมาก และผลจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์และผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติในการรับแรงกระทำจากภายนอก ได้แก่แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต ซึ่งมีความสามารถดูดติดผิวโลหะได้อย่างดี [5,6] ซึ่งสามารถ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มกับค่าความสามารถรับกำลังอัด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มกับค่าความสามารถรับกำลัังอัด ที่สัดส่วนกากของเสียต่อปูนซีเมนต์ต่างๆ

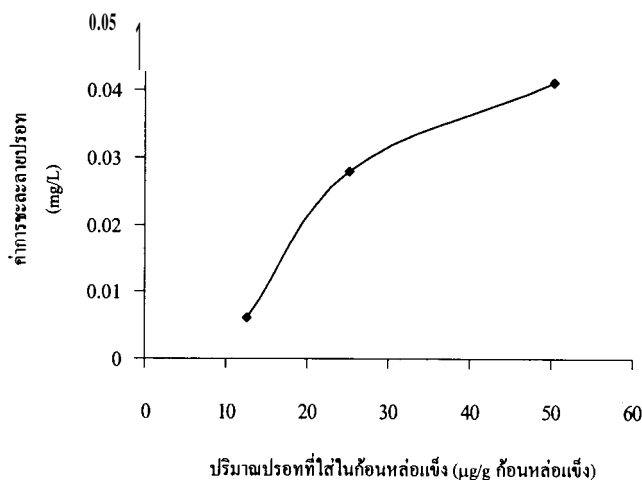
6.5 ความเป็นไปได้ในการหล่อแข็งกากตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์จากการตกตะกอนน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอดี

การทดลองนำสัดส่วนของกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ที่ 80 : 20 ทำการหล่อแข็งกากตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ซีโอดี กากตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ใช้มีปริมาณของปรอทโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6,286 ไมโครกรัมต่อกรัมของตะกอนแห้ง ในการศึกษาได้ทำการตั้งปรอทที่ปริมาณต่างๆ ในสัดส่วนของกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน โดยน้ำหนัก ดังนี้ 80 : 20 : 0, 80 : 20 : 0.2, 80 : 20 : 0.4 และ 80 : 20 : 0.8 ซึ่งคิดเป็นปริมาณปรอทในก้อนหล่อแข็งตัวอย่างเท่ากับ 0, 12.57, 25.14 และ 50.29 ไมโครกรัมต่อกรัมของก้อนหล่อแข็ง จากนั้นนำก้อนหล่อแข็งที่ได้ไปบ่มในน้ำเป็นเวลานาน 28 วัน นำก้อนหล่อแข็งนี้มาวิเคราะห์หาค่าความสามารถรับกำลัังอัดและค่าการชะละลายของก้อนหล่อแข็งที่มีการบดก้อนหล่อแข็งให้มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.0 มม. จากนั้นนำไปสกัดตามวิธีการสกัดสารในประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 1) พ.ศ.2531 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ความสามารถรับกำลังอัดและค่าการชะละลายของปรอทในก้อนหล่อแข็งที่ตึงปรอทในปริมาณต่างๆ ที่อายุบ่ม 28 วัน

อัตราส่วน กากของเสียจาก Baghouse Filter : ปูนซีเมนต์ : กากตะกอน (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณปรอทที่ใส่ใน ก้อนหล่อแข็ง ($\mu\text{g/g}$ ก้อนหล่อแข็ง)	ความสามารถ รับกำลังอัด (kg/cm^2)	ค่าการ ชะละลายปรอท (mg/L)
80 : 20 : 0	0.00	154	ไม่พบ
80 : 20 : 0.2	12.57	140	0.006
80 : 20 : 0.4	25.14	124	0.028
80 : 20 : 0.8	50.29	121	0.041

จากตารางที่ 6.5 พบว่าค่าความสามารถรับกำลังอัดมีค่าลดลงและค่าการชะละลายของปรอทจากก้อนหล่อแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ช่องว่างภายในก้อนหล่อแข็งมีค่าสูงขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการเติมกากตะกอนลงไปในส่วนผสมของกากของเสียจาก Baghouse Filter และปูนซีเมนต์มีผลกระทบต่อสัดส่วนของส่วนผสม กล่าวคือ สัดส่วนของปูนซีเมนต์ในส่วนผสมลดลง ทำให้มีสารตั้งต้นในปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลง ผลคือ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ให้กำลังรับแรงอัดและโครงผลึกซิลิโคนลดลงด้วย ซึ่งการเติมกากตะกอนลงในส่วนผสมมีผลต่อค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนหล่อแข็งเช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณกากของเสียจาก Baghouse Filter ที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.4



รูปที่ 2 ค่าการชะละลายปรอทที่ปริมาณการใส่ปรอทในก้อนหล่อแข็งต่างๆ

ในการศึกษาค่าการชะละลายของปรอทจากก้อนหล่อแข็งที่ผ่านกระบวนการหล่อแข็งโดย Chang [7] กล่าวว่าค่าการชะละลายของโลหะขึ้นอยู่กับกลไกในการยึดเกาะโลหะโดยพบว่าปรอทถูกล้อมอยู่ในรูพรุนหรือติดติดกับผนังรูพรุนของปูนซีเมนต์ และค่าการชะละลายของปรอทนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง (alkalinity) กล่าวคือ ค่าการชะละลายของปรอทมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าความเป็นด่างลดลง ทั้งนี้เพราะในกรณีที่ก้อนหล่อแข็งมีค่าความเป็นด่างสูงจะทำให้สภาวะในการสกัดมีค่าความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากค่าความเป็นด่างจะไปสะเทินกรดในสารละลายผสมทำให้ความสามารถในการชะละลายลดลง

ไปด้วย และค่าความเป็นต่างดังกล่าวนี้เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไฮดรอลิกซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกากตะกอนลงในส่วนผสมซึ่งทำให้สัดส่วนของปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง จึงเป็นสาเหตุของการลดลงของค่าสามารถรับกำลังอัดและเพิ่มค่าการชะละลายของปรอทจากก้อนหล่อแข็งดังได้แสดงผลการทดลองในตารางที่ 6.5

จากการวิจัยของนฤมิตร [8] ศึกษาการกำจัดโครเมียมและปรอทจากกากตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอไซด์ด้วยการหล่อแข็งกากตะกอนดังกล่าวด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุปอซโซลาน พบว่าที่สัดส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน 50 : 50 : 0.25 ซึ่งมีปริมาณปรอท 4.31 ไมโครกรัมต่อกรัมก้อนหล่อแข็งซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้ค่าการชะละลายต่ำสุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.73 มก./ล. จะเห็นว่าค่าการชะละลายของเมอร์คิวริกไฮดรอกไซด์เกินมาตรฐานการทดสอบความเป็นพิษตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนผลการทดลองนี้พบว่าที่สัดส่วนกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนแห้ง 80 : 20 : 0.8 คิดเป็นปริมาณเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ใส่ 50.29 ไมโครกรัมต่อกรัมของก้อนหล่อแข็ง ค่าการชะละลายของเมอร์คิวริกซัลไฟด์จากก้อนหล่อแข็งที่อายุบ่ม 28 วันยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบความเป็นพิษในน้ำสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือไม่เกิน 0.2 mg/L เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจขึ้นกับเกลือของปรอทที่ตกตะกอนที่มีผลต่อค่าการชะละลาย ในการศึกษาของนฤมิตรได้ทำการตกตะกอนปรอทในรูปของเมอร์คิวริกไฮดรอกไซด์ซึ่งมีค่าผลคูณของการละลาย (K_{sp}) เท่ากับ 3.13×10^{-26} แต่ในการทดลองนี้ทำการตกตะกอนปรอทในรูปของเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่มีค่าผลคูณของการละลายที่ต่ำกว่า คือ มีค่าเท่ากับ 2×10^{-32} [9] ทำให้ปริมาณปรอทที่ถูกชะละลายออกมามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการฝังกลบ

ดังนั้นในกำจัดปรอทในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอไซด์ด้วยวิธีการหล่อแข็ง จึงควรตกตะกอนปรอทในรูปของเมอร์คิวริกซัลไฟด์ และใช้สัดส่วนกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ที่ 80 : 20 สัดส่วนของน้ำต่อส่วนผสม (กากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์) เท่ากับ 0.27 : 1.0

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติกากของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะเพื่อพิจารณานำกากของเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในด้านการหล่อแข็งและเสนอแนวทางอื่นๆ ในการนำไปใช้ประโยชน์ จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

7.1.1 การศึกษาสมบัติการชะละลายและสมบัติทางเคมีของตัวอย่างจากโรงงานหล่อหลอมโลหะ

7.1.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการชะละลายของโลหะหนักตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2531 พบว่ากากของเสียทั้ง

2 ตัวอย่าง คือ กากของเสียจากการรีบบและกากของเสียจากระบบกำจัดแบบถูกรอง จัดเป็นของเสียทั่วไป (Non-hazardous waste) ไม่อยู่ในข่ายของเสียอันตราย

- 7.1.1.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปของโลหะออกไซด์ของกากของเสียจากการรีบบและกากของเสียจากระบบกำจัดแบบถูกรอง พบว่าตัวอย่างกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อโลหะ มีสมบัติเป็นวัสดุพอลิซิลิโคน Class F เนื่องจากมีค่าผลรวมของซิลิกอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และเหล็กออกไซด์มากกว่าร้อยละ 70 และมีปริมาณโซเดียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ตาม ASTM C618-91 [10] นำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการหล่อแข็งได้

การศึกษาการนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อโลหะไปใช้ประโยชน์ด้านการหล่อแข็ง ควรเลือกใช้กากของเสียจากระบบกำจัดแบบถูกรอง เนื่องจากกากของเสียจากการรีบบสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการทำแบบหล่อได้อีก

7.1.2 การนำกากของเสียจาก Baghouse Filter ไปใช้ประโยชน์ด้านการหล่อแข็ง

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมใช้ในการหล่อแข็งต่อส่วนผสมของกากของเสียจาก Baghouse Filter และปูนซีเมนต์อยู่ที่ 0.26-0.30 มล.ต่อกรัมของส่วนผสม โดยที่มีร้อยละของกากของเสียจาก Baghouse Filter ตั้งแต่ 10-90 ของส่วนผสมทั้งหมดได้ผลสรุปดังนี้

- ก) ค่าความสามารถรับกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการบ่มนานขึ้น
- ข) ปริมาณกากของเสียจาก Baghouse Filter ในส่วนผสมมากขึ้นค่าความสามารถรับกำลังอัดลดลง
- ค) สัดส่วนกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อปูนซีเมนต์ที่ 80 : 20 เหมาะสมที่นำไปใช้ในการตริงปรอท เนื่องจากที่สัดส่วนนี้ให้ค่าความสามารถรับกำลังอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานการฝึกลบที่กำหนดไว้ที่ 14 kg/cm^2
- ง) ปรอทที่ตริงได้ในการศึกษานี้ได้สูงถึง 50.29 ไมโครกรัมต่อกรัมก้อนหล่อแข็ง

7.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาสมบัติของกากของเสียจาก Baghouse Filter และการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการหล่อแข็งครั้งนี้ ยังมีข้อมูลบางส่วนที่ควรทำการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติม แนวทางที่ควรศึกษา มีดังนี้

7.2.1 การหาปริมาณสูงสุดของกากตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ทำก้อนหล่อแข็งรับได้จากผลการทดลองนำกากของเสียจาก Baghouse Filter ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาประยุกต์ใช้ในการตริงปรอทจากกากตะกอนเมอร์คิวริกซัลไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์

ซีโอดีจะเห็นว่าก่อนหล่อแข็งยังสามารถรับปริมาณกากตะกอนได้อีก เนื่องจากค่าความสามารถรับกำลังอัดและค่าการชะละลายของก้อนหล่อแข็งที่สัดส่วนสูงสุดที่ใช้ในการศึกษา คือสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อกากของเสียจาก Baghouse Filter ต่อกากตะกอนแห้งที่ 20 : 80 : 0.8 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

7.2.2 การทดลองนำกากของเสียจาก Baghouse Filter ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปประยุกต์ใช้ตึกรากตะกอนจากอุตสาหกรรมประเภทอื่น

ในการทดลองตึกรากจากกากตะกอนเมอร์คิวริคัลไฟต์ซึ่งให้ค่าการชะละลายผ่านเกณฑ์มาตรฐานของก้อนหล่อแข็งเพื่อการฝังกลบอย่างปลอดภัย จึงเห็นว่ากากของเสียจาก Baghouse Filter น่าจะมีศักยภาพเพียงพอในการนำไปประยุกต์ใช้ในการหล่อแข็งกากตะกอนจากอุตสาหกรรมประเภทอื่นได้ ทั้งในแง่ของทฤษฎีการหล่อแข็งและปริมาณกากของเสียจาก Baghouse Filter ที่จะนำไปใช้

7.2.3 การใช้ประโยชน์ด้านงานเซรามิก

กากของเสียจาก Baghouse Filter ซึ่งเป็นกากของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านเซรามิก ทั้งนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาของเสียจาก Baghouse Filter ปริมาณของผลผลิตที่ได้ รวมถึงสมบัติอื่นๆ ที่จำเป็นต้องงานด้านนี้ เป็นต้น

7.2.4 การนำอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าในตัวอย่างกากของเสียจาก Baghouse Filter มีปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์เฉลี่ยอยู่ถึงร้อยละ 15.45 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อนำอะลูมิเนียมนี้กลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากอะลูมิเนียมมีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก เป็นต้น โดยควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ คือปริมาณของอะลูมิเนียมที่นำกลับมาใช้ได้เทียบกับค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปว่าคุ้มทุนมากน้อยเพียงไร

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2537, บัญชีที่ 59 และ 60 รายชื่อโรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่เป็นเหล็กกล้าและที่ไม่ใช่เหล็กกล้า, 80 หน้า.
2. หริส สุตะบุตร และ เคนยิ จิยอิวา, 2517, หล่อโลหะ, สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, หน้า 1-2.
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2531, ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ฉบับที่ 1), 7 หน้า.

4. American Society for Testing and Materials, 1996, "ASTM C109 - 96 : Standard Method of Testing for Compressive Strength of Hydraulic Cement," *In 1996 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, pp. 59-63.
5. กฤษณา ผากานนท์, 2537, การกำจัดกากตะกอนนิกเกิลจากกระบวนการชุบโลหะ โดยวิธี Solidification, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
6. ประทีป เลียงเพชร, 2538, การหล่อแข็งกากตะกอนตะกั่วโดยใช้ปูนซีเมนต์ ซีเมนต์และซีเมนต์ละลาย, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
7. Chang, C.L., 1989, Solidification of Heavy Metals using Cement and Rice Husk Ash, Master *Thesis of* Engineering, Environmental Engineering Programme, Asian Institute of Technology.
8. นฤมิต คินีมาน, 2538, การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, หน้า 1-107.
9. David, R.L., 1995-1996, *Handbook of Chemistry and Physics*, 76th ed., Boca, CRC Press Inc., pp. 8-58.
10. American Society for Testing and Materials, 199 1, "ASTM C6 18- 9 1 : Standard Specification for Ply Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," *In 1991 Annual Book of ASTM Standards*, Vol.04.01, Philadelphia, ASTM, p.5.