

การรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่เตรียม โดยการกระตุ้นเถ้าแกลบด้วยด่าง

Leaching of Heavy Metals from the Solidified Wastes made by Alkali Activation of Black Rice Husk Ash

สายสุนีย์ จารัส^[1], สุวิมล อัสวพิชญ์^[2]

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทรศัพท์: 0-2470-8695-99 ต่อ 416, 0-2470-8652 โทรสาร: 0-2470-8660 E-mail: ^[2]suwimol.asa@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียโดยใช้เถ้าแกลบผสมปูนขาวเป็นวัสดุยึดประสาน ด้วยอัตราส่วนเท่ากับ 55:45 สารละลายโซเดียมซิลิเกต ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) ที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง SiO_2 และ Na_2O เท่ากับ 3.0 ถูกใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานในอัตราร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักวัสดุยึดประสาน และทำการเติมกากตะกอนโลหะหนักร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด การรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียทดสอบโดยการสกัดด้วยสารละลายฟลักตสังเคราะห์ที่มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 และทำการสกัดจำนวน 10 ครั้ง พบว่าในการสกัดแต่ละครั้งพีเอชของสารละลายฟลักตสังเคราะห์มีค่าสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วง 12.44 - 11.68 และ 12.42 - 11.47 สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีและมีการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการรั่วไหลของโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักในก้อนหล่อแข็งของเสียเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นสะสมของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมที่รั่วไหลจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่มีการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต และมีกากตะกอนโลหะหนักอยู่ร้อยละ 30 และ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 0.22, 2.10, 1.13, 0.54 มก./ล. และ 0.29, 2.13, 1.20 และ 0.68 มก./ล. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นสะสมของโลหะหนักในสารละลายกรดที่ทำการสกัดทั้ง 10 รอบจากทุกตัวอย่างมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

Abstract

This paper investigated leaching of heavy metals from the solidified wastes using black rice husk ash and hydrated lime as solidification binders at the ration of 55:45. Sodium silicate solution containing SiO_2 and Na_2O at the mass ratio of 3.0 was used to activate

the pozzolanic reactions at 1.5 wt.% of the binders. Heavy metal sludge was added at 0, 30 and 50% by weight of total solid. Release of heavy metals from the solidified wastes was done by extraction with synthetic acid rain having an initial pH of 3.0 and extracted for 10 times. Experimental results showed that pH of the synthetic acid rain after each extraction from the solidified wastes without and with sodium silicate solution increases to be in the range of 12.44 - 11.68 and 12.42 - 11.47, respectively. In addition, heavy metals release was found to increase when the amounts of heavy metal sludge in the solidified wastes increase. Cumulative concentrations of Cu, Fe, Pb and Cr released from the solidified wastes activated with sodium silicate solution and containing 30 and 50 wt.% of total solid were 0.22, 2.10, 1.13, 0.54 mg/L and 0.29, 2.13, 1.20 และ 0.68 mg/L, respectively. However, the cumulative concentrations of heavy metals in the leachate extracted from all samples for 10 times were not exceeding the regulatory limit of the Ministry of Industry.

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดการของเสียอันตรายที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆทั่วประเทศ เช่น อุตสาหกรรม ชุมชน พาณิชยกรรมและการบริการ โรงพยาบาลและห้องปฏิบัติการ เกษตรกรรมและกิจกรรมอื่นๆได้กลายเป็นปัญหาที่จะต้องดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ของเสียอันตรายที่เหลืบางส่วนได้ถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกับมูลฝอยชุมชน โดยไม่มีการบำบัดและกำจัดหรือมีการจัดการไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ทำให้เกิดการรั่วไหลหรือแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและเกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอด

กระบวนการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง (Stabilization/Solidification Processes) เป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักปนเปื้อน โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนของการปรับเสถียรโลหะหนักต่างๆที่อยู่ในน้ำเสีย โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียเพื่อลดความสามารถในการละลายของโลหะหนักต่างๆที่อยู่ในน้ำเสียเพื่อให้เกิดการตกตะกอนทางเคมี จากนั้นจึงนำกากตะกอนโลหะหนักเหล่านั้นมาทำเป็นก้อนแข็ง โดยทำการผสมกับวัสดุยึดประสานหลายชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรืออาจนำวัสดุปอชโซลานมาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือใช้ร่วมกับปูนขาว เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวทำให้โลหะหนักต่างๆที่อยู่ในกากตะกอนถูกกักเก็บอยู่ภายในโครงสร้างของวัสดุยึดประสาน ซึ่งช่วยลดการรั่วไหลของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงสามารถทำการกำจัดทิ้งในแหล่งฝังกลบได้อย่างปลอดภัย

การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุยึดประสานเพียงอย่างเดียวทำให้ก้อนหล่อแข็งของเสียมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากของเสียอันตรายประเภทโลหะหนักส่วนมากประกอบด้วยโลหะหนักหลายชนิดปนกันอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกันและโลหะหนักเหล่านี้ส่วนมากมีความสามารถในการละลายได้สูงในสภาวะที่เป็นด่างในระหว่างปฏิกิริยาไฮดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงส่งผลให้โลหะไฮดรอกไซด์ที่เป็นแอมโฟเทอริก (amphoteric) บางตัวละลายกลับออกมาอีก โลหะหนักที่ละลายออกมาเหล่านี้เป็นอันตรายสำคัญที่ไปรบกวนการไฮดรชันของซีเมนต์ ส่งผลให้ความแข็งแรงของก้อนหล่อแข็งของเสียลดลงและการชะละลายเพิ่มมากขึ้น [1-4] นอกจากนี้การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุยึดประสานเพียงอย่างเดียวมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง จึงได้มีการพัฒนาโดยการนำกากของเสียหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตซึ่งมีสมบัติปอชโซลาน เช่น เถ้าแกลบหรือเถ้าลอยอีกในค้มาใช้ในการบำบัดกากตะกอนโลหะหนักโดยการทำเป็นก้อนแข็ง พบว่าสามารถลดการแทรกสอดของโลหะหนักต่อปฏิกิริยาไฮดรชันของวัสดุยึดประสาน [5-8]

อย่างไรก็ตามการนำวัสดุปอชโซลานมาใช้เป็นวัสดุยึดประสานในการบำบัดกากตะกอนโลหะหนักโดยการทำเป็นก้อนแข็งนั้นมิใช่ว่าจะดี เนื่องจากวัสดุปอชโซลานส่วนมากเกิดปฏิกิริยาได้ช้าเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [9-12] ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนย้ายก้อนหล่อแข็งของเสียไปกำจัดทิ้งในแหล่งฝังกลบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำเถ้าแกลบซึ่งเป็นกากของเสียจากการนำเถ้าแกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งข้าวมาใช้ในการบำบัดกากตะกอนโลหะหนักปนเปื้อนในกากตะกอนโลหะหนักจากศูนย์บำบัดรวม โดยทำการกระตุ้นปฏิกิริยาปอชโซลานระหว่างเถ้าแกลบและปูนขาวด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต จากนั้นทำการทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่มีอายุ 28 วัน โดยทำการสกัดด้วยสารละลายฟลักซ์

สังเคราะห์ที่มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 จำนวน 10 ครั้ง และทำการศึกษาพฤติกรรมการรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียโดยทำการวัดพีเอชและความเข้มข้นของสารละลายที่ผ่านการสกัดในแต่ละครั้ง

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1) ปูนขาว

เกรดการค้า ชนิดไฮดรตไลม์ (Hydrated lime; Ca(OH)_2)

2) เถ้าแกลบคั่ว

จากโรงสีข้าวในจังหวัดอยุธยา ซึ่งเป็นเถ้าแกลบที่เกิดจากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งข้าว โดยแกลบถูกเผาที่อุณหภูมิ 650-850 องศาเซลเซียสใน cyclone burner เป็นเวลา 1 วินาที

3) กากตะกอนโลหะหนัก

กากตะกอนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มาจากศูนย์บำบัดรวม ซึ่งกรองผ่านเครื่องกรองอัดตะกอน กากตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีความชื้นสูงประมาณ 40 % จึงต้องนำไปอบแห้งก่อนใช้

4) สารกระตุ้นปฏิกิริยา

สารเคมีที่ใช้กระตุ้นปฏิกิริยาคือสารละลายโซเดียมซัลเฟตจากบริษัท ช. เหมไทย จำกัด ซึ่งมีความเข้มข้นของ Na_2O เท่ากับ 10.18 % และ SiO_2 เท่ากับ 31.45 %

5) สารละลายฟลักซ์สังเคราะห์

สารละลายฟลักซ์สังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสีย เป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายกรดซัลฟิวริกและไนตริกในอัตราส่วน 60 : 40

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 การเตรียมกากตะกอนโลหะหนัก

นำกากตะกอนโลหะหนักไปประเหยน้ำให้แห้ง โดยอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยการย่อยกากตะกอนด้วยสารละลายกรดไนไตริก ไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักด้วย Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอนแสดงดังตารางที่ 2.1 พบว่ากากตะกอนโลหะหนักมีปริมาณเหล็กสูงสุดเท่ากับ 252 ก./กก.ของกากตะกอนแห้ง เนื่องจากในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของศูนย์บำบัดรวมใช้การตกตะกอนโลหะหนักทางเคมีด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) รองลงมา ได้แก่ โคโรเมียม ทองแดง และตะกั่ว ตามลำดับ

2.2.2 การเตรียมเส้นใยแก้ว

นำเส้นใยที่ได้จากโรงสีที่ใช้เส้นใยเป็นเชื้อเพลิงในการอบข้าวเปลือกมาบดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion Machine โดยใช้ลูกเหล็กจำนวน 12 ลูก ความเร็วรอบ 30-33 รอบ/นาที น้ำหนักรวม 2500 ± 10 กก. นาน 5 ชั่วโมงจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 45 ไมครอน โดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยใช้การร่อนแบบเปียกมีเปอร์เซ็นต์คั่งค้างบนตะแกรงไม่เกิน 34 % ตามมาตรฐาน ASTM C 618-91 และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแก้วด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอนจากศูนย์บำบัดกากอุตสาหกรรม

โลหะหนัก	ปริมาณ (กรัม/กิโลกรัมกากตะกอนแห้ง)
ทองแดง (Cu)	2.98
ตะกั่ว (Pb)	0.39
โครเมียม (Cr)	10.2
เหล็ก (Fe)	252

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแก้ว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ซิลิกอนออกไซด์	94.5
อะลูมิเนียมออกไซด์	<0.01
ไอรอนออกไซด์	0.14
แคลเซียมออกไซด์	0.80
แมกนีเซียมออกไซด์	0.26
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.04
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI)	2.45

2.2.3. ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอัตราส่วนผสม

ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับแต่ละส่วนผสมจะถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาปอลิเมอร์ ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ต้องมีเพียงพอความต้องการปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับแต่ละส่วนผสมหาได้จาก การประยุกต์วิธีทดสอบความชื้นเหลวปกติ (Normal Consistency) โดยใช้ชุดเครื่องทดสอบไวเคต ตามมาตรฐาน ASTM C187

2.2.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมซิลิเกต

สารกระตุ้นปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษานี้คือ สารละลายโซเดียมซิลิเกต ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) ที่มีอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง SiO_2 และ Na_2O เท่ากับ 3.0 โดยเติมลงในส่วนผสมทุกอัตราส่วนร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของวัสดุยึดประสาน

2.2.5 การเตรียมตัวอย่างก้อนหล่อแข็งของเสีย

เตรียมตัวอย่างก้อนหล่อแข็งของเสียจากเส้นใยแก้วและปูนขาวในอัตราส่วน 55:45 และผสมกากตะกอนโลหะหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด (ตารางที่ 2.3 และ 2.4) ลงในเครื่องกวนผสม กวนอย่างช้าๆเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นทำการกวนต่ออย่างรวดเร็วเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทลงในแบบหล่อที่ทำด้วยท่อพลาสติกพีวีซีรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 28 วัน

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมของก้อนหล่อแข็งของเสียชุดควบคุม

วัสดุยึดประสาน		กากตะกอน (กรัม)	อัตราส่วนน้ำ / ของแข็ง (โดยน้ำหนัก)
เส้นใยแก้ว (กรัม)	ปูนขาว (กรัม)		
165	135	0	0.59
115.5	94.5	90	0.60
82.5	67.5	150	0.60

ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมของก้อนหล่อแข็งของเสียที่มีการเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต

วัสดุยึดประสาน		กากตะกอน (กรัม)	สารละลาย โซเดียมซิลิเกต (กรัม)	อัตราส่วน น้ำ/ของแข็ง (โดยน้ำหนัก)
เส้นใยแก้ว (กรัม)	ปูนขาว (กรัม)			
165	135	0	4.50	0.56
115.5	94.5	90	3.15	0.58
82.5	67.5	150	2.25	0.59

2.3 การทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนัก

นำตัวอย่างก้อนหล่อแข็งของเสียมาทำการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดเท่ากับ 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการคัดขนาดใส่ในขวดที่มีน้ำฝนกรดสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายกรดซัลฟิวริกและไนตริกในอัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนักและใช้น้ำกลั่นเจือ

จากงานพีเอชมีค่าเท่ากับ 3.0 โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักตัวอย่างต่อปริมาตรสารละลายเท่ากับ 1:20 จากนั้นปิดฝาเข้าเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองที่มีขนาดรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน จากนั้นวัดพีเอชและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธี AAS นำของแข็งที่ได้จากการกรองกลับไปเข้าเครื่องเขย่าต่อ [6] จนครบ 10 รอบ โดยทำการเปลี่ยนสารละลายทุกรอบของการสกัด

3. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

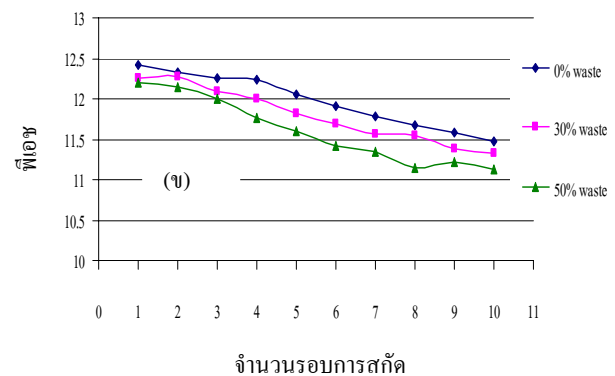
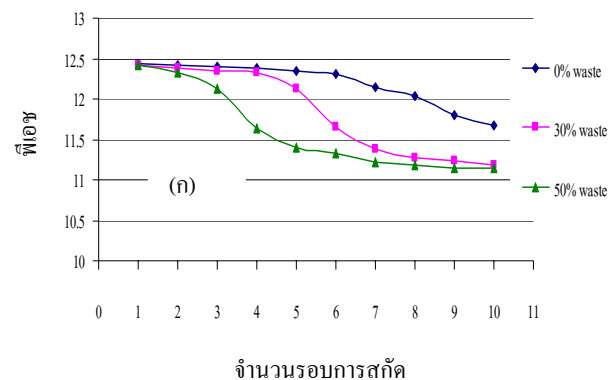
3.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลาย

เนื่องจากกากตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยโลหะหนักหลายชนิดปนกันอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกันและโลหะหนักเหล่านี้ส่วนมากมีความสามารถในการละลายได้สูงขึ้นในสภาวะที่เป็นด่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายรูปที่ 3.1 ก และ ข แสดงค่าพีเอชของสารละลายหลังการสกัดด้วยสารละลายฟลักตสังเคราะห์ที่สัมผัสกับก้อนหล่อแข็งของเสียที่ใช้แฉกและปูนขาวเป็นวัสดุยึดประสาน พบว่าพีเอชของสารละลายหลังจากการสกัดรอบแรกของตัวอย่างทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 12.20-12.44 ซึ่งสูงกว่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายฟลักตสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.0 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เกิดจากการแตกตัวของสารละลายกรดซัลฟิวริกและไนตริกในสารละลายฟลักตสังเคราะห์แพร่ผ่านบริเวณผิวหน้าของก้อนหล่อแข็งของเสียที่ใช้ในการทดสอบเข้าไปในโพรงช่องว่างภายในโครงสร้างของก้อนหล่อแข็งของเสียทำให้เกิดการละลายของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของปูนขาวและแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) โดยสารประกอบทั้ง 2 ชนิดมีสมบัติเป็นด่างจึงทำหน้าที่สะเทินกรดส่งผลให้พีเอชของสารละลายหลังจากการสกัดในรอบแรกมีค่าเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือสารละลายหลังการสกัดในสภาวะที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายจากพีเอช 3.0 เป็น 12.44 - 11.68 และ 12.42 - 11.47 ตามลำดับ โดยที่จำนวนรอบการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนสารละลายใหม่ในแต่ละรอบนั้น ทำให้ความเป็นด่างของก้อนหล่อแข็งของเสียถูกสะเทินด้วยสารละลายที่มีความเป็นกรดอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความสามารถในการสะเทินกรดของก้อนหล่อแข็งของเสียลดลง [13]

นอกจากนี้เมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักที่เติมลงในก้อนหล่อแข็งของเสียเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 30 และ 50 % โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด พบว่าพีเอชของสารละลายหลังจากสัมผัสกับก้อนหล่อแข็งของเสียจำนวน 10 ครั้งมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นในช่วง

12.44 - 11.68, 12.42 - 11.19 และ 12.41 - 11.15 ตามลำดับ (รูป 3.1 ก) สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชอยู่ในช่วง 12.42 - 11.47, 12.26-11.32 และ 12.2 - 11.13 ตามลำดับ (รูป 3.1 ข) สำหรับตัวอย่างที่มีการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต จะสังเกตเห็นว่าเมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักในก้อนหล่อแข็งของเสียเพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของแฉกและปูนขาวในก้อนหล่อแข็งของเสียลดลง เนื่องจากถูกแทนที่โดยกากตะกอนโลหะหนัก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการสะเทินกรดของก้อนหล่อแข็งของเสียลดลง [9] ดังนั้นพีเอชในสารละลายจึงมีแนวโน้มลดลงด้วย



รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายหลังจากสัมผัสกับก้อนหล่อแข็งของเสีย ก) ไม่มีสารละลายโซเดียมซิลิเกต ข) มีสารละลายโซเดียมซิลิเกต

3.2 การรั่วไหลของโลหะหนัก

การรั่วไหลของโลหะหนัก 4 ชนิดคือ ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่ทำการทดสอบการชะละลายโดยการสกัดด้วยฟลักตสังเคราะห์ จำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีการรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกากตะกอนโลหะหนัก (รูปที่

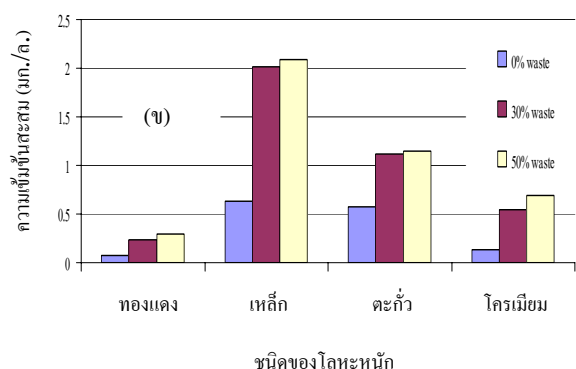
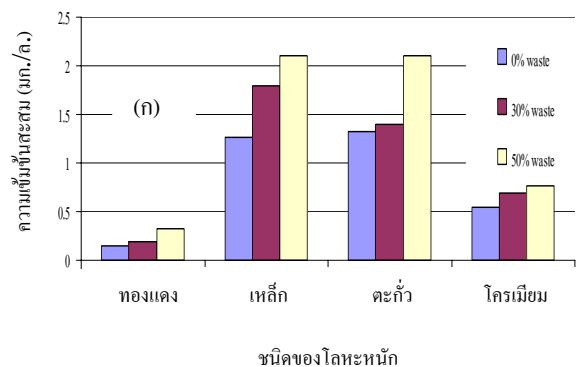
3.2 ก และ ข) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของเถ้าแกลบดำ และปูนขาวที่นำมาใช้เป็นวัสดุยึดประสาน จากการทดลองพบว่าโดยส่วนใหญ่ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่รั่วไหลออกมาจากชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าก่อนหล่อแข็งของเสียที่มีสารละลายโซเดียมซัลเฟต โดยเมื่อเติมกากตะกอนในก้อนหล่อแข็งของเสียร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด พบว่าในชุดควบคุมปริมาณการรั่วไหลของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียม เท่ากับ 0.33, 2.10, 2.10 และ 0.76 มก./ล. ตามลำดับ (รูป 3.2 ก) สำหรับในชุดที่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต ปริมาณการรั่วไหลของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียม เท่ากับ 0.30, 2.09, 1.14 และ 0.69 มก./ล. ตามลำดับ (รูป 3.2 ข) นั่นคือตัวอย่างที่เติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต ปริมาณการรั่วไหลของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายโซเดียมซัลเฟตคิดเป็นร้อยละ 9.09, 0.48, 45.71 และ 9.21 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตทำให้ปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ระหว่างเถ้าแกลบดำ และปูนขาวเกิดได้ดี ทำให้โลหะหนักถูกตรึงอยู่ในก้อนหล่อแข็งได้มากขึ้น ดังนั้นโลหะหนักจึงรั่วไหลออกมาน้อยกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการรั่วไหลของโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักในก้อนหล่อแข็งของเสียเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นสะสมของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมที่รั่วไหลจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่มีการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต และมีการกากตะกอนโลหะหนักอยู่ร้อยละ 30 และ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 0.22, 2.10, 1.13, 0.54 มก./ล. และ 0.29, 2.13, 1.20 และ 0.68 มก./ล. ตามลำดับ (รูป 3.2 ข) นั่นคือตัวอย่างที่มีการกากตะกอนโลหะหนักอยู่ร้อยละ 50 ปริมาณการรั่วไหลของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่มีการกากตะกอนโลหะหนักอยู่ร้อยละ 30 คิดเป็นร้อยละ 24.14, 1.41, 5.83 และ 20.59 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเถ้าแกลบดำและปูนขาวถูกแทนที่โดยกากตะกอนทำให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในระบบลดลง ความสามารถในการสะเทินกรดของก้อนหล่อแข็งของเสียลดลงทำให้ไฮโดรเจนไอออนแทรกซึมเข้าสู่ก้อนหล่อแข็งของเสียได้มากขึ้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าการรั่วไหลของโลหะหนักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรั่วไหลของโลหะหนักมากที่สุดได้แก่พีเอชของสารละลาย เนื่องจากโลหะไฮดรอกไซด์ส่วนมากสามารถละลายได้ดีขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายมีความเป็นกรดหรือด่างสูงขึ้น อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าถึงแม้ค่าพีเอชของฝนกรดสังเคราะห์ หลังจากการสัมผัสกับตัวอย่างทุกรอบการสกัดจะมีค่าพีเอชสูงขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 11.0 - 12.5 ก็ตาม ปริมาณโลหะหนักที่รั่วไหลออกมาจากตัวอย่างก็ยังคงมีค่าต่ำอยู่ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก H^+ จากสารละลายกรดแพร่เข้าไปในก้อนหล่อแข็งของเสียตามช่องเปิดต่างๆในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่สะเทินด่างที่อยู่ภายในก้อนหล่อแข็งของเสีย ทำให้ความเป็นด่างของก้อนหล่อแข็งของเสียลดลง โดยพีเอชที่บริเวณกึ่งกลางของก้อนหล่อ

แข็งของเสียจะมีค่าสูงสุด และลดลงมาตามลำดับจนถึงบริเวณผิวหน้าของก้อนหล่อแข็งของเสีย เมื่อโลหะหนักที่ละลายจากก้อนหล่อแข็งของเสียเคลื่อนตัวโดยการแพร่มาตามช่องเปิด เมื่อเคลื่อนตัวมาถึงบริเวณที่มีพีเอชเหมาะสมก็จะเกิดการตกตะกอนใหม่อีกครั้งภายในก้อนหล่อแข็งของเสีย ส่งผลให้โลหะหนักเคลื่อนตัวออกจากก้อนหล่อแข็งสู่สารละลายน้อย [14]

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ความเข้มข้นของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว โครเมียมในสารละลายที่ทำการสกัดทั้ง 10 รอบมีค่าสะสมไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดให้ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของสารอันตรายที่ปะปนในสารละลายจากการทดสอบการถูกชะล้างตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 สำหรับโครเมียมและตะกั่วกำหนดให้มีปริมาณสูงสุดไม่เกิน 5.0 มก./ล. ส่วนทองแดงและเหล็กนั้นมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมไม่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 3.2 ความเข้มข้นสะสมของโลหะหนักในน้ำชะที่ทำการสกัดจำนวน 10 ครั้ง ก) ไม่มีสารละลายโซเดียมซัลเฟต ข) มีสารละลายโซเดียมซัลเฟต

4. สรุปผลการศึกษา

กระบวนการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้เถ้าแกลบดำผสมปูนขาวเป็นวัสดุยึดประสานโดยการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานด้วยโซเดียมซัลเฟตสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

4.1 ถ้าแลกค่าจากโรงสีข้าวสามารถนำมาใช้ร่วมกับปูนขาวในอัตราส่วน 55:45 เพื่อเป็นวัสดุยึดประสานในการบำบัดกากตะกอนโลหะหนักโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งได้ โดยสามารถกักเก็บกากตะกอนโลหะหนักได้สูงถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

4.2 พิเศษของสารชะละลายหลังจากสัมผัสกับก้อนหล่อแข็งของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเป็นด่างสูงของก้อนหล่อแข็งของเสียทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับก้อนหล่อแข็งของเสีย อย่างไรก็ตามเมื่อก้อนหล่อแข็งของเสียสัมผัสกับสารชะละลายฝนกรดสังเคราะห์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเป็นด่างของระบบลดลง ดังนั้นความสามารถในการสะเทินกรดของก้อนหล่อแข็งของเสียจึงลดลง ส่งผลให้พิษของสารชะละลายมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนรอบในการสกัดเพิ่มขึ้น

4.3 การรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด คือ ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว และโครเมียม ในสารชะละลายที่ทำการสกัดทั้ง 10 ครั้งมีค่าต่ำกว่า 2.5 มก/ล. และไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

4.4 ก้อนหล่อแข็งของเสียที่กระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกตมีการรั่วไหลของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดน้อยกว่าก้อนหล่อแข็งของเสียที่ไม่มีการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบขอบคุณโรงสีข้าวในจังหวัดอุบลราชธานีเพื่อแลกแลกค่า เจ้าของพื้นที่ประจำห้องปฏิบัติการคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] I. Fernández, E. Chacon, A. Irabien, "Influence of Lead, Zinc, Iron (III) and Chromium (III) Oxides on The Setting Time and Strength Development of Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp.1213-1219.

[2] X.D. Li, C.S. Poon, H. Sun, I.M.C. Lo and D.W. Kirk, "Heavy Metal Speciation and Leaching Behaviors in Cement based Solidified/Stabilized Waste Materials", Journal of Hazardous Material A82, 2001, pp.215-230.

[3] J.N. Diet, P. Moszkowicz and D. Sorrentino, "Behavior of Ordinary Portland Cement during The Stabilization/Solidification of Synthetic Heavy Metal Sludge: Macroscopic and Microscopic Aspects", Waste Management, Vol. 18, 1998, pp. 17-24.

[4] S. Asavapisit, G. Fowler and C.R. Cheeseman, "Solution Chemistry during Cement Hydration in The Presence of Metal Hydroxide Waste", Cement and Concrete Research, Vol. 27, 1997, pp. 1249-1260.

[5] S. Asavapisit, W. Nanthamontry and C. Polprasert, "Influence of Condensed Silica Fume on The Properties of Cement-based Solidified Wastes", Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp. 1147-1152.

[6] S. Asavapisit, and N. Ruengrit, "The Role of RHA-blended Cement in Stabilizing Metal-containing Wastes, Cement and Concrete Composites", Vol. 27, 2005, pp. 782-787.

[7] A. Roy, H.C. Eaton, F.K. Cartledge, M.E. Tittlebaum, "Solidification/Stabilization of A Heavy Metal Sludge by A Portland Cement/Fly Ash Binding Mixture", Hazardous Waste and Hazardous Material, Vol. 8, 1991, pp. 33-41.

[8] J.H. Boy, T.D. Race, K.A. Reinbold, J. Bukowski and X. Zhu, "Chromium Stabilization Chemistry of Paint Removal Wastes in Portland Cement and Blast Furnace Slag", Hazardous Waste and Hazardous Material, Vol. 12, 1995, pp. 83-95.

[9] G. Qian, D.D. Sun and J.H. Tay, "Characterization of Mercury-and Zinc Doped Alkali-activated Slag Matrix Part II. Zinc", Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, pp.1257-1262.

[10] J. Deja, "Immobilization of Cr^{6+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} in Alkali-Activated Slag Binders", Cement and Concrete Research, Vol.32, 2002, pp. 349-353.

[11] S. Asavapisit and D. Chotklang, "Solidification of Electroplating Sludge using Alkali-Activated Pulverized Fuel Ash as Cementitious Binder", Cement and Concrete Research, vol.34, 2004, pp. 349-353.

[12] S. Asavapisit, and D.E. Macphee, "Immobilization of Metal-Containing Waste in Alkali-activated Lime-RHA Cementitious Matrices, Cement and Concrete Research, vol.37, 2007, pp. 776-780.

[13] C.S. Poon and K.W. Lio, "The Limitation of The Toxicity Characteristic Leaching Procedure for Evaluating Cement Based Solidified/Stabilized Waste Forms", Waste Management, Vol. 17, No.1, 1997, pp.15-23.

[14] M. Hinsenveld and P.L. Bishop, "Use of The Shrinking Core/Exposure Model to Describe The leachability from Cement Stabilized Wastes, Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes, ASTMTP 1240, Gilliam, T. and Wiles, C.C. (Eds.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994.

