

ชื่อวิทยานิพนธ์ การหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุ
ทดแทนปูนซีเมนต์

ผู้วิจัย นายยุทธพงษ์ พิจาร โขติ **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี (2) รองศาสตราจารย์สราวุธ
สุธรรมมาสา **ปีการศึกษา** 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งที่ใช้
เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (2) ศึกษาความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก
ของก้อนหล่อแข็งที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (3) ศึกษาก้อนหล่อแข็งที่
ผ่านการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถเก็บกักโลหะหนักแล้ว ฝังกลบที่หลุม
ฝังกลบอย่างปลอดภัย

การวิจัยเชิงทดลอง นี้ทำโดยการนำเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก
และ กากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก แล้วทำการหล่อแข็ง
ในแบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 5.0 เซนติเมตร สำหรับทดสอบหา
ความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็ง และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5
เซนติเมตร สำหรับทดสอบหาความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง จากนั้นทำการบ่ม
ที่ระยะเวลา 3, 7 และ 14 วัน เมื่อบ่มก้อนหล่อแข็งตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำมาทดสอบความสามารถ
ในการรับแรงอัด เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา
และ ทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวง
อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

ผลการวิจัยมีดังนี้ (1) ความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา ทุกอัตราส่วนที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุ
ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (2) ความสามารถเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ยกเว้น ก้อน
หล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
เป็นวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (3) สามารถนำก้อนหล่อแข็งที่ผ่านการทดสอบความสามารถในการรับ
แรงอัดและความสามารถเก็บกักโลหะหนักแล้ว ฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย

คำสำคัญ การหล่อแข็ง กากตะกอนสังกะสี เถ้าลอยลิกไนต์ การรับแรงอัด การเก็บกักโลหะหนัก

Thesis title: Solidification of Zinc Sludge from Electroplating Factory by Using Lignite Fly Ash as Ordinary Portland Cement Replacement Material
Researcher: Mr. Yuthapong Pijarachod; **Degree:** Master of Public Health (Industrial Environment Management); **Thesis advisor:** (1) Peti Punchaisri Associate Professor; (2) Saravudh Sutummasa Associate Professor; **Academic year:** 2006

ABSTRACT

The objectives of this research were: (1) to determine the capacity of unconfined compressive strength of solidified waste by using lignite fly ash as Ordinary Portland Cement replacement material ; (2) to determine the capacity of leaching of solidified waste by using lignite fly ash as Ordinary Portland Cement replacement material ; and (3) to securely disposed solidified waste after testing of unconfined compressive strength and leaching capacity at landfill.

This experimental research was performed by using lignite fly as Ordinary Portland Cement replacement material at 10% 20% and 30% by weight and Zinc sludge from electroplating factory at 10% 20% and 30% by weight. The solidification was conducted in cylinder mold with diameter of 2.5 centimeters, 5.0 centimeters high for unconfined compressive strength test and diameter of 2.5 centimeters, 2.5 centimeters high for leaching test at 3, 7 and 14 days of curing. The unconfined compressive strength test of solidified waste was compared with the US.EPA Standard and the leaching test with the Notification of Ministry of Industry on Industrial Waste Disposal B.E. 2548 after mentioned curing,

The results of the research were : (1) the capacity of unconfined compressive strength of solidified waste had passed the US.EPA Standard at all ratio of lignite fly ash used as Ordinary Portland Cement replacement material ; (2) the capacity of leaching of solidified waste had passed the Notification of Ministry of Industry on Industrial Waste Disposal B.E. 2548 except the solidified waste with Zinc sludge at 30% by weight and lignite fly ash as Ordinary Portland Cement replacement material at 30% by weight ; and (3) the solidified waste was securely disposed solidified waste after testing of unconfined compressive strength and leaching capacity at landfill.

Keywords: Solidification, Sludge, Lignite fly ash, Unconfined compressive strength, Leaching

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความเอาใจใส่และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ปิติ พูนไชยศรี ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ สราวุธ สุธรรมมาสา ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และคอยติดตามอย่างสม่ำเสมอ จนทำให้วิทยานิพนธ์ ถูกต้องและสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้บริหารบริษัท โพรเฟสชันแนล เวสต์ เทคโนโลยี (1999) จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาคตะกอนสังกะสีมาทำการวิจัย และอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ ห้องปฏิบัติการทดลองของฝ่ายห้องปฏิบัติการทดลองเพื่อทำการวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายห้องปฏิบัติการทดลอง บริษัท โพรเฟสชันแนล เวสต์ เทคโนโลยี (1999) จำกัด (มหาชน) ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ภรรยาและเพื่อนๆ แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิชาเอก การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้สนใจที่ต้องการศึกษาทั้งหมด

ยุทธพงษ์ พิจาร โชติ

ตุลาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
การชုပ်ผิวโลหะด้วยสังกะสี.....	6
การทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง.....	8
เทคโนโลยีการทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง.....	10
การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด.....	18
การทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก.....	19
การฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย.....	21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	33
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	35
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	37
วิธีการทดลอง.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	50
ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนสังกะสี.....	50
ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในเล้าลอยลิกไนต์.....	51
ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนสังกะสี.....	51
การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด.....	52
การทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก.....	57
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	62
สรุปผลการวิจัย.....	62
ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	72
ประวัติผู้วิจัย.....	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณของเสียอันตรายแบ่งตามประเภทและภูมิภาค ปี 2546..... 1
ตารางที่ 1.2	ปริมาณของเสียอันตรายแบ่งตามประเภทและภูมิภาค ปี 2547..... 2
ตารางที่ 2.1	สัดส่วนของออกไซด์ชนิดต่างๆ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 11
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบของถ้ำลอยลิกไนต์..... 14
ตารางที่ 2.3	สรุปความเหมาะสมและข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ ที่ทำให้ของเสียคงตัว..... 17
ตารางที่ 2.4	ปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548) 20
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้ำลอยลิกไนต์ และกาก ตะกอนสังกะสี..... 39
ตารางที่ 4.1	ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนสังกะสี..... 50
ตารางที่ 4.2	แสดงปริมาณ โลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำลอยลิกไนต์ 51
ตารางที่ 4.3	แสดงปริมาณ โลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนสังกะสี..... 51
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด..... 52
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก..... 61
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสี..... 66

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย..... 4
ภาพที่ 2.1	แสดงการเกิดกากตะกอนน้ำเสีย (Wastewater Sludge)..... 7
ภาพที่ 2.2	ของเสียอินทรีย์ (น้ำมัน) ถูกจับไว้ด้วยตัวประสาน (Fly Ash ปูนขาวและ ปูนซีเมนต์)..... 8
ภาพที่ 2.3	ของเสียอินทรีย์บนดินดัดแปลงอินทรีย์..... 9
ภาพที่ 2.4	เซลล์สำหรับฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย..... 23
ภาพที่ 2.5	โครงสร้างระบบกันซึมของหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย..... 23
ภาพที่ 2.6	ภาพทั่วไปสำหรับการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย..... 24
ภาพที่ 2.7	แสดงการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายด้วยวัสดุต่างๆ.... 25
ภาพที่ 2.8	แสดงการออกแบบการปิดชั้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม..... 26
ภาพที่ 2.9	แสดงการปลูกพืชบนพื้นที่หลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม..... 27
ภาพที่ 3.1	แสดงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 33
ภาพที่ 3.2	แสดงเด้าลอยลิกไนต์..... 34
ภาพที่ 3.3	แสดงกากตะกอน..... 34
ภาพที่ 3.4	แสดงเครื่องทดสอบรับแรงอัด..... 36
ภาพที่ 3.5	แสดงเครื่องเขย่าแบบหมุน..... 36
ภาพที่ 3.6	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก..... 36
ภาพที่ 3.7	แสดงก้อนหล่อแข็งสำหรับการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและเก็บ กักโลหะหนัก..... 49
ภาพที่ 4.1	แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเด้าลอยลิกไนต์ 0% โดยน้ำหนัก และกากตะกอนสังกะสี 53
ภาพที่ 4.2	แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเด้าลอยลิกไนต์ 10% โดยน้ำหนักและกากตะกอนสังกะสี 54
ภาพที่ 4.3	แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเด้าลอยลิกไนต์ 20% โดยน้ำหนักและกากตะกอนสังกะสี 55
ภาพที่ 4.4	แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเด้าลอยลิกไนต์ 30% โดยน้ำหนักและกากตะกอนสังกะสี 56

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แนวโน้มการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้น ทำให้กรมควบคุมมลพิษได้ประมาณการปริมาณของเสียอันตรายทั้งหมดในปี 2546 ประมาณ 1.8 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2545 คิดเป็นร้อยละ 1.5 ปริมาณของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.7 หรือประมาณ 10,000 ตัน และปริมาณของเสียอันตรายจากชุมชน มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 หรือประมาณ 13,000 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณของเสียอันตรายแบ่งตามประเภทและภูมิภาค ปี 2546

พื้นที่	อุตสาหกรรม (ล้านตันต่อปี)	ชุมชน (ล้านตันต่อปี)	รวม (ร้อยละ)
กทม. และปริมณฑล	0.921	0.138	58.8
ภาคกลาง	0.108	0.068	9.8
ภาคตะวันออก	0.111	0.020	7.3
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.043	0.079	6.8
ภาคเหนือ	0.116	0.051	9.3
ภาคใต้	0.101	0.044	8.0
รวม	1.4	0.4	100

การจัดการของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรมโดยการรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรมของหน่วยงานกำกับดูแล ได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ฯลฯ พบว่า ปริมาณของเสียอันตรายที่ส่งเข้ากำจัดมีประมาณร้อยละ 44 (625,000 ตัน) ของปริมาณของเสียอันตรายทั้งหมด หรือเพิ่มขึ้นจากปีที่แล้ว ประมาณ 406,100 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ในปี 2547 มีประมาณ 1.808 ล้านตัน โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2546 ประมาณ 8,000 ตัน แบ่งออกเป็นของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม 1.405 ล้านตัน เพิ่มขึ้นประมาณ 5,000 ตัน และปริมาณของเสียอันตรายจากชุมชน 0.403 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 3,000 ตัน ซึ่งได้รวมมูลฝอยติดเชื้อ 0.02 ล้านตันแล้ว โดยของเสียอันตรายส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 59 ของปริมาณที่เกิดขึ้นหรือประมาณ 1.06 ล้านตันเกิดขึ้นในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณของเสียอันตรายแบ่งตามประเภทและภูมิภาค ปี 2547

พื้นที่	อุตสาหกรรม (ล้านตันต่อปี)	ชุมชน (ล้านตันต่อปี)	รวม (ร้อยละ)
กทม. และปริมณฑล	0.930	0.136	58.96
ภาคกลาง	0.099	0.066	9.13
ภาคตะวันออก	0.117	0.028	8.02
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.048	0.081	7.13
ภาคเหนือ	0.115	0.049	9.07
ภาคใต้	0.096	0.043	7.69
รวม	1.405	0.403	100

การจัดการของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม ซึ่งเกิดขึ้นในเขตกรุงเทพและปริมณฑลมากที่สุด แต่มีการส่งเข้ากำจัดเพียงร้อยละ 50 ของปริมาณที่เกิดขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากความคุ้มค่าทางธุรกิจ โดยผู้ประกอบการบางส่วนเลือกดำเนินการจัดการด้วยตัวเอง หรือบางส่วนต้องการรวบรวมของเสียให้มีปริมาณที่มากพอก่อนจัดส่งไปกำจัด เพื่อลดต้นทุน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

การหล่อแข็ง เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดของเสียอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนโลหะหนัก โดยใช้ตัวประสานชนิดต่างๆที่จริงของเสียอันตราย โดยสารอันตรายจะถูกเก็บไว้ในโครงสร้างของวัสดุยึดประสานด้วยพันธะเคมีและทำให้สารอันตรายอยู่ในสภาพคงตัว วัสดุยึดประสานที่ใช้มากได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร่วมกับวัสดุปอชโซลาน เช่น ซีเมนต์กลบ เถ้าลอยลิกไนต์ ผุ่นซิลิกา และกากซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนการบำบัด

เถ้าลอยลิกไนต์เป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ร้อยละ 15-35 โดยน้ำหนัก สามารถใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้โดยใช้ผสมกับ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้เพิ่มความสามารถในการรับแรงอัด เพิ่มความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก และป้องกันการรั่วไหลของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ โดยการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง เพื่อนำก้อนหล่อแข็งไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

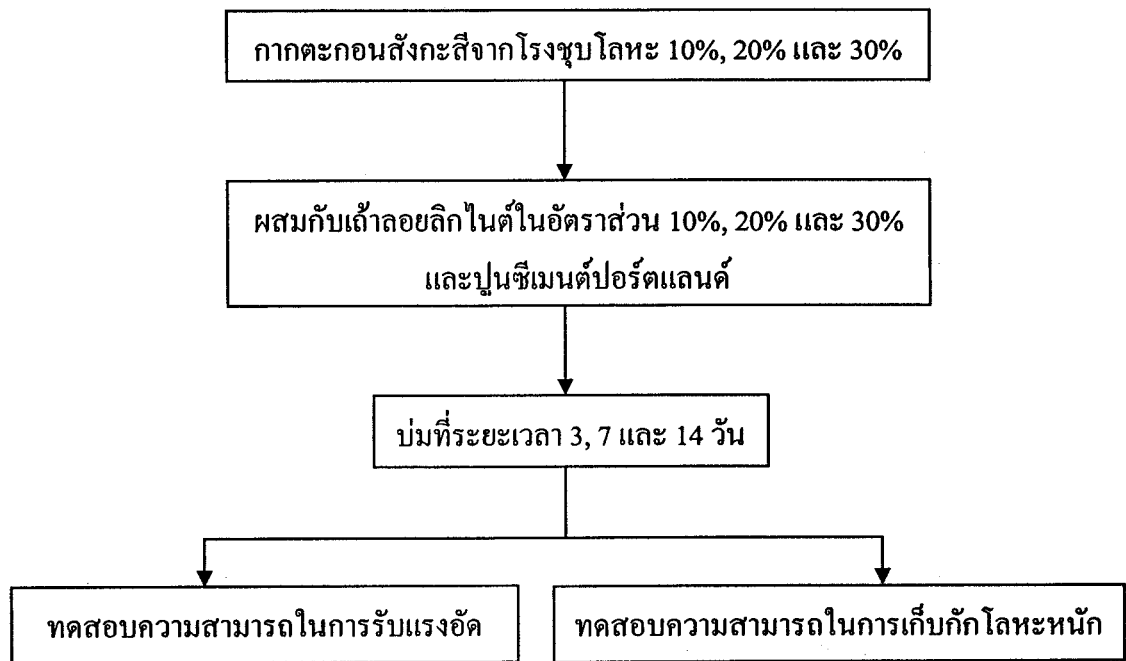
2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.2 เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็งที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.3 เพื่อนำก้อนหล่อแข็งที่ผ่านการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักแล้ว ฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secured Landfill)

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการนำกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะมากำจัดด้วยวิธีการหล่อแข็งให้เป็นก้อน โดยการนำกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ 10%, 20% และ 30% ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 10%, 20% และ 30% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน บ่มที่ระยะเวลา 3, 7 และ 14 วัน จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. ขอบเขตการวิจัย

4.1 ศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ ใช้กากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ ในปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก

4.2 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะต่อคุณภาพของก้อนหล่อแข็งได้แก่ ความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 การหล่อแข็ง (Solidification) หมายถึง กระบวนการที่มีการเติมวัสดุที่ทำให้เกิดการแข็งตัว เข้าไปผสมกับกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย เพื่อให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง มีอัตราการปลดปล่อยสารอันตรายน้อยลง และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

5.2 ความสามารถในการรับแรงอัด (Unconfined compressive strength test) หมายถึง การทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบกดทับที่ก้อนหล่อแข็งเพื่อใช้ประเมินผลการรับแรงอัด

5.3 ความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก (Waste Extraction Test) หมายถึง การทดสอบหาปริมาณสารมลพิษที่สามารถแพร่ซึมออกมากจากก้อนหล่อแข็งได้

5.4 กากตะกอนสังกะสี (Zinc sludge) หมายถึง กากตะกอนที่มีโลหะหนักสังกะสีจากกระบวนการชุบโลหะเป็นองค์ประกอบหลัก

5.5 เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash) หมายถึง เถ้าลอยที่เหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานไฟฟ้า

5.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ลดต้นทุนในการหล่อแข็ง (Solidification) กากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ

6.2 เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ

6.3 สามารถลดปัญหาด้านการจัดเก็บกากของเสียอันตรายและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

6.4 เป็นการจัดการเถ้าลอยลิกไนต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดผลอย่างคุ้มค่าโดยการนำกลับมาใช้ใหม่

6.5 ลดปัญหาพื้นที่ฝังกลบในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมที่ไม่เป็นอันตรายไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)

6.6 สามารถนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้กับกากตะกอนประเภทอื่นได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

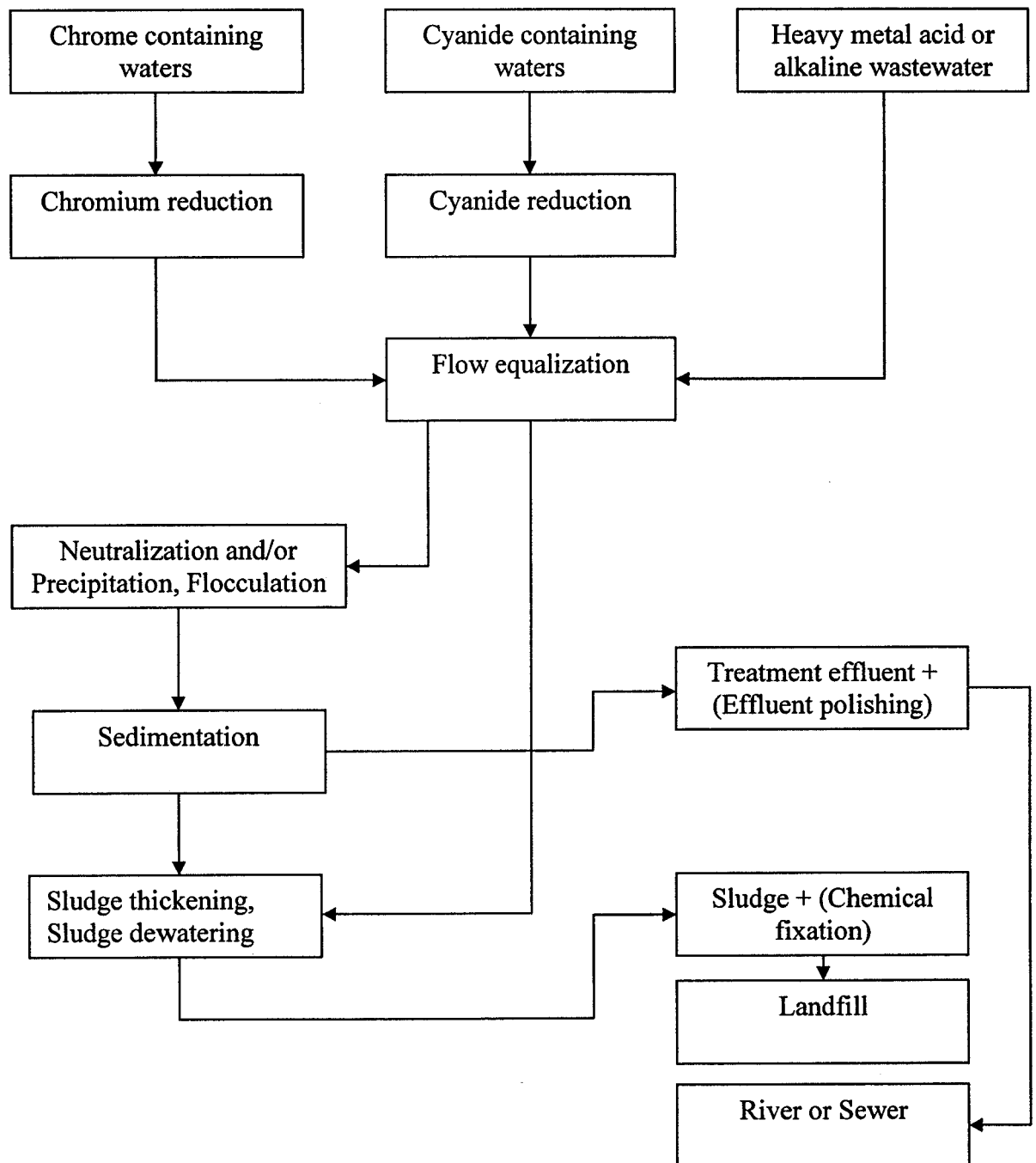
1. การชุบผิวโลหะด้วยสังกะสี (Zinc Plating)

การชุบผิวโลหะด้วยสังกะสีมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันสนิมหรือการผุกร่อน สังกะสีที่ได้จากการชุบนั้นผิวจะเงามากและทนทานต่อการเกิดสนิม

คุณสมบัติของโลหะสังกะสีคือ สังกะสีเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีสีขาว – เทา ชัดใ้เงาได้ แต่เปราะ โลหะสังกะสีสามารถใช้งานด้านชุบและยังสามารถใช้ผสมกับโลหะชนิดอื่นแล้วอัดออกหรือฉีดออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เป็นเครื่องใช้เครื่องประดับ เพอร์เนเจอร์ต่าง ๆ แต่จะต้องนำไปชุบโครเมียมหรือชุบทองเหลือง ทองแดง รมดำก่อนนำไปใช้งาน

การชุบสังกะสีนั้นเป็นการทำให้สังกะสีเกาะจับบนชิ้นงาน โดยใช้เคมีและไฟฟ้า เพื่อป้องกันสนิมบนชิ้นงานเหล็ก ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการชุบสังกะสีจะเป็นซิงออกไซด์ (Zinc Oxide) และซิงไซยาไนด์ (Zinc Cyanide) น้ำยาชุบสังกะสีชนิดไซยาไนด์นั้นเป็นน้ำยาที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในอุตสาหกรรมชุบสังกะสี เพราะไซยาไนด์จะช่วยให้สังกะสีไปเกาะชิ้นงานได้ดี แน่นและเรียบเป็นเงางาม ช่วยควบคุมประสิทธิภาพของขั้วลบ อุดหนุน และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้มีความสัมพันธ์กัน และยังช่วยให้ขั้วบวกละลายได้ดี แต่มีข้อเสียคือ จำเป็นต้องใช้ไซยาไนด์เป็นสารละลาย ซึ่งไซยาไนด์นั้นเป็นสารที่มีพิษที่มีอันตรายมาก

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการชุบโลหะนั้น จะมีโลหะหนักต่างๆ ที่อันตรายเช่น ไซยาไนด์ โครเมียม สังกะสี นิเกิล สารทำความสะอาดชนิดต่าง ๆ ไขมันและน้ำมันเป็นต้น แต่เนื่องจากกระบวนการชุบโลหะมีปริมาณและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ควรแยกน้ำทิ้งแต่ละประเภทออกจากกัน เพื่อแยกการบำบัดและมีประสิทธิภาพการกำจัดสูง การบำบัดน้ำทิ้งสามารถกำจัดได้หลายวิธี (บุญยง, 2536) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการเกิดกากตะกอนน้ำเสียจากการชุบโลหะ (Wastewater Sludge)

จากภาพจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการบำบัดน้ำทิ้งแล้วนั้น จะเหลือกากตะกอนออกมา ซึ่งจะต้องปรับสภาพและกักเก็บกากตะกอนก่อนที่จะนำไปทิ้งที่แหล่งฝังกลบเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้โลหะที่ปะปนกับกากตะกอนรั่วซึมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบ

2. การทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง (Stabilization/Solidification, S/S)

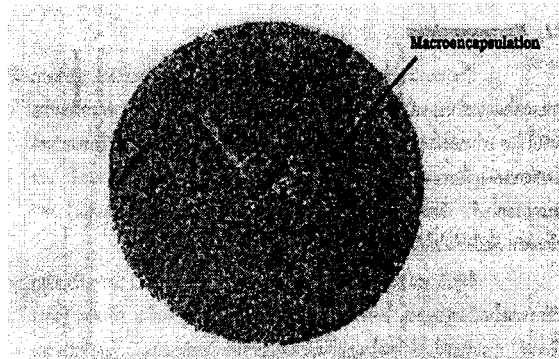
การหล่อแข็ง เป็นกระบวนการที่นำมาใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายในด้านต่างๆ ได้แก่ การบำบัดของเสียอุตสาหกรรม การบำบัดของเสียก่อนนำไปฝังกลบ การบำบัดเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน (มัลลิกา, 2549)

วัตถุประสงค์ของการหล่อแข็งคือเพื่อลดความเป็นพิษของสาร ลดอัตราการเคลื่อนตัวของสารอันตราย (migration) ลดอัตราการละลาย (solubility) การชะล้างสารอันตราย (leaching) ออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรง การรับแรงอัด และลดการซึมผ่านของแข็งที่จะนำไปฝังกลบ และยังเป็น การลดพื้นที่ผิวที่ของเสียสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม เป็นการลดโอกาสที่ของเสียจะกระจายสู่สิ่งแวดล้อม หลักการทำให้คงตัวคือการเติมสารที่สามารถเกาะยึดกับของเสีย ทำให้เกิดโครงสร้างที่ของเสียถูกจับยึดไว้ เป็นผลให้ของเสียนั้นมีการละลาย การถูกชะล้าง และการเคลื่อนตัวลดลง

2.1 กลไกการหล่อแข็ง

2.1.1 แมโครเอนแคปซูลชัน (Macroencapsulation)

เป็นกลไกที่องค์ประกอบของของเสียอันตรายจะถูกจับไว้ในช่องว่างเล็กๆ ภายในก้อนวัสดุที่ผ่านการปรับเสถียรแล้ว การจับลักษณะเช่นนี้เป็นการจับทางกายภาพ ซึ่งต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนทานต่อการแตกหักของวัสดุเนื่องจากแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สภาวะเปียก แห้ง การเกิดน้ำแข็ง และการละลายของน้ำแข็ง อันจะทำให้เกิดการไหลซึมของของเหลว และแรงกระทำจากความเค้นเนื่องจากน้ำหนักกดทับ เพื่อป้องกันไม่ให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่สู่สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการทำให้ของเสียปนเปื้อนน้ำมันคงตัวโดยการเติมถ้ำลอย ปูนขาว และซีเมนต์ โดยส่วนที่เป็นก้อนกลมเข้มคือน้ำมันที่ถูกจับด้วยถ้ำลอย ปูนขาว และซีเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ของเสียอินทรีย์ (น้ำมัน) ถูกจับไว้ด้วยตัวประสาน (ถ้ำลอยลิกไนต์ ปูนขาวและปูนซีเมนต์)

2.1.2 ไมโครเอ็นแคปซูลชัน (Microencapsulation)

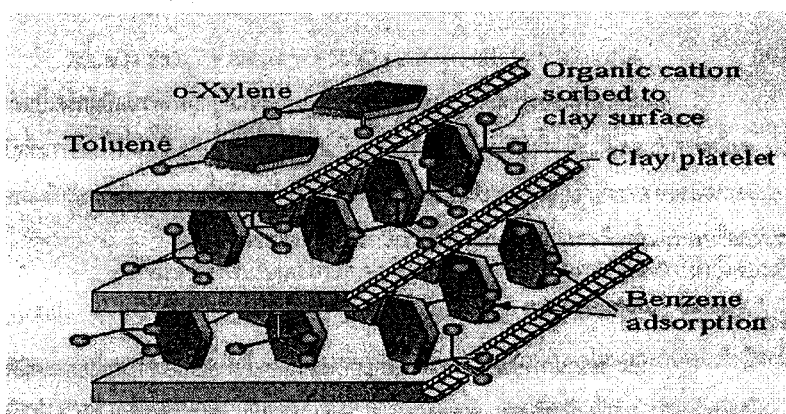
เป็นกลไกที่ของเสียอันตรายจะถูกจับไว้ในผลึกของวัสดุทำให้คงตัวด้วยแรงทางกายภาพ (ไม่เกิดแรงทางเคมี) เนื่องจากของเสียถูกจับไว้ในโครงสร้างผลึก ดังนั้นถึงแม้เกิดการแตกหักของก้อนวัสดุของเสียที่ถูกจับไว้ก็จะเกิดการเคลื่อนตัวออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่ากรณีแรก อย่างไรก็ตามถ้าเกิดการแตกหักเป็นก้อนเล็กลงเท่าใดของเสียจะเกิดการเคลื่อนตัวออกมาได้มากขึ้นเท่านั้น

2.1.3 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมเป็นการใช้วัสดุที่เป็นของแข็งเป็นตัวดูดซึมของเหลวในของเสียที่มีของเหลวเป็นองค์ประกอบ เพื่อปรับสภาพของเสียให้อยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งมากขึ้น ตัวอย่างวัสดุดูดซึมได้แก่ ดิน ถ่านลอย ฝุ่นจากเตาเผาซีเมนต์ ฝุ่นปูนขาว ขี้เลื่อย ฟางข้าว และวัสดุเคลย์ (Clay) เช่น เบนโทไนต์ (bentonite) เกาลีไนต์ (kaolinite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และซีโอไลต์ (zeolite)

2.1.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกลไกที่ของเสียยึดเกาะกับตัวดูดซับที่พื้นที่ผิวด้วยแรงทางไฟฟ้า (Electrochemical interaction) เกิดการยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ การเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีนี้ทำให้ของเสียมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่าเกิดเฉพาะแรงทางกายภาพ จึงมีความคงทนมากกว่ากรณีแมโครเอ็นแคปซูลชันและไมโครเอ็นแคปซูลชัน ตัวอย่างการดูดซับได้แก่ การทำให้ของเสียอินทรีย์คงตัวโดยการดูดซับด้วยดินดัดแปลงอินทรีย์ (Organically modified clay) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ของเสียอินทรีย์บนดินดัดแปลงอินทรีย์ (Organically modified clay)

2.1.5 การตกตะกอน (Precipitation)

การตกตะกอนสารปนเปื้อนจากของเสียจัดเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพ สารในกลุ่มของไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต คาร์บอเนต จะถูกเก็บไว้ในเนื้อของสารปนเปื้อนที่ผ่านกระบวนการปรับเสถียรและกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง กระบวนการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้กับของเสียนินทรีย์ ได้แก่ ตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ สำหรับการปนเปื้อนของโลหะการดูดซับจะขึ้นกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

2.1.6 การลดความเป็นพิษ (Detoxification)

เป็นกระบวนการซึ่งเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีจากเดิมไปเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่เป็นพิษเลย ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยน โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Cr^{6+}) ไปเป็น โครเมียมไตรวาเลนซ์ (Cr^{3+}) ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่าด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายซีเมนต์ เฟอร์รัสซัลเฟต สารประกอบเฟอร์รัสซัลเฟต และ โซเดียมซัลเฟตเป็นสารเคมีที่นำมาใช้ในการลดความเป็นพิษของโครเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โอกาสที่จะเกิดการชะของโครเมียมไตรวาเลนซ์สู่สิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นน้อยกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

3. เทคโนโลยีการทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง

3.1 การใช้ปูนซีเมนต์ (Cement – based Technique)

ปูนซีเมนต์ได้จากการเผาวัตถุดิบ ได้แก่ สารออกไซด์ของแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก ให้รวมตัวเป็นปูนเม็ด เมื่อเย็นลงแล้วผสมกับขี้ปซัม แบ่งได้เป็น 5 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน (ศิริภัทร์, 2545) ดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นชนิดมาตรฐาน เหมาะสำหรับการใช้งานก่อสร้างทั่วไป โดยเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ในงานอาคาร สะพาน ผิวถนน ลานบินและอื่นๆ

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นที่ผลิตขึ้นเพื่อต้านทานเกลือซัลเฟต เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydration) จะเกิดความร้อนต่ำและเพิ่มขึ้นช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แรงอัดสูง (High-Early Strength Portland Cement) เป็นชนิดของปูนซีเมนต์ที่ทำให้แรงอัดรวดเร็ว ในช่วงอายุ 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงของคอนกรีตเท่าที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 อายุ 3 วัน และอายุ 7 วันเท่ากับปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 อายุ 28 วัน เป็นต้น จึงเหมาะสมกับที่จะนำมาใช้กับงานเร่งด่วน เช่น ถนนที่มีการสัญจรของรถบรรทุก

สนามบินที่จะต้องเปิดใช้ และนอกจากนี้ยังเหมาะที่จะนำมาใช้ในช่วงที่มีอากาศหนาว เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวได้เร็วก่อนที่น้ำที่ใช้ผสมจะแข็งตัวก่อน

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีอัตราความร้อนต่ำและกำลังเพิ่มขึ้นช้า ๆ เหมาะที่จะใช้กับงานสร้างเขื่อนใหญ่

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulfate-Resistance Portland Cement) เป็นการจงใจที่จะให้ด้านทานสารพวกเกลือ เช่น การสร้างในบริเวณใกล้ทะเล หรือมีฉนวนก็อยู่ในบริเวณที่มีดินเค็ม

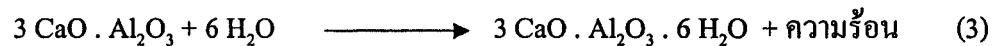
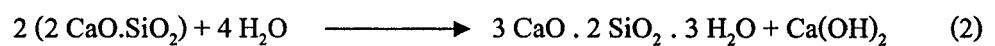
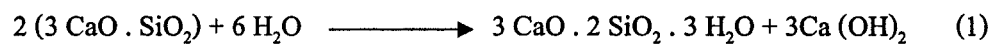
ปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้ในการทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปซึ่งไม่ได้อยู่ในสภาวะอากาศที่รุนแรงหรือในที่ที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เมื่อปูนซีเมนต์ชนิดนี้รวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับที่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย

สารประกอบสำคัญ 4 ชนิดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate, $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite, $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ปูนซีเมนต์มีปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันเป็นปริมาณถึงร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนัก สัดส่วนของออกไซด์หลักชนิดต่างๆ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆ ในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไททานเนียมออกไซด์ (TiO_2) ไคแมงกานีสไตรออกไซด์ (Mn_2O_3) ไคโปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของออกไซด์ชนิดต่างๆ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์ชนิดต่างๆ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	60-65
SiO ₂	20-24
Al ₂ O ₃	4-8
Fe ₂ O ₃	2-5

สัดส่วนระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์ (Water / Cement) เป็นปัจจัยหลักที่ผลต่อความแข็งแรง (strength) และความเป็นรูพรุน (porosity) ของคอนกรีต โดยทั่วไปใช้ค่าสัดส่วนระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.3-0.8 เมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมน้ำจะเกิดกระบวนการไฮเดรชัน (hydration) ได้โครงสร้าง แคลเซียม อลูมิโนซิลิเกต (calcium aluminosilicate) เรียกว่า คอนกรีต ดังแสดงในสมการที่ (1)-(3)



สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ($3 \text{ CaO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$) ทำให้ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) เกิดเป็นวุ้น (gel) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัว ยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม มีผลอย่างมากต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต สารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณลักษณะเป็นด่าง และอาจทำปฏิกิริยาต่อไปกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบ เช่น วัสดุปอซโซลาน ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) มีผลต่อการรับแรงอัดในระยะแรกเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อการรับแรงอัดในระยะยาว

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ธรรมดา กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยหมดจากซีเมนต์เพสต์แล้ว นอกจากนั้นสมการที่ 1 และ 2 เป็นสมการที่เกิดอย่างช้าๆ ส่วนสมการที่ 3 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นต้องทำการบ่มคอนกรีต (Curing) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ความร้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา กับน้ำ (heat of hydration) ประมาณ 85-100 แคลอรีต่อกรัม ถ้าความร้อนนี้ไม่ถูกระบายออกจากเนื้อคอนกรีตแต่เก็บอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรง และอาจเกิดการแตกร้าวได้

การทำให้คงตัวโดยการใช้ปูนซีเมนต์นิยมใช้มาก โดยเฉพาะกับภาคตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก เนื่องจากเนื้อซีเมนต์มีพีเอชสูงสามารถทำให้โลหะในรูปไอออนอิสระ (Free metal ion) เปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์หรือโลหะคาร์บอเนตซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้ลดการถูกชะล้างได้ นอกจากนี้โลหะบางชนิด อาทิ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ดีบุก และแคลเซียม ถูกทำให้คงตัวในคอนกรีตโดยการยึดเกาะทางเคมี (Chemical fixation) และเกิดเป็นสารประกอบซึ่งไม่ละลายน้ำ

ตัวอย่างของเสี้ยนนำมาทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง ด้วยกระบวนการนี้ ได้แก่ กากตะกอนและดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก

ข้อดีของวิธีนี้ ได้แก่

- 1) สามารถใช้ได้กับของเสี้ยนเกือบทุกประเภท
- 2) สามารถลดการถูกชะล้างของของเสี้ยนได้ดี
- 3) การใช้ปูนซีเมนต์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทำให้วัสดุและอุปกรณ์มีราคาถูก มีผู้ซึ่งมีความรู้ความชำนาญอยู่มาก
- 4) คุณสมบัติที่เป็นต่างของคอนกรีตสามารถทำให้ของเสี้ยนที่เป็นกรดเปลี่ยนสภาพเป็นกลางได้

ข้อเสียของวิธีนี้ ได้แก่

- 1) กากตะกอนซึ่งจะต้องนำไปทำการฝังกลบมีน้ำหนักและปริมาตรมาก
- 2) ถ้าผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้องแล้ว ก้อนของเสี้ยนได้อาจเกิดการแตกร้าวทำให้สารอันตรายถูกชะล้างออกมาได้
- 3) ถ้าของเสี้ยนปนด้วยสารบางชนิด อาทิ สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ซิลต์ (silt) หรือเคลย์ (clay) คอนกรีตอาจไม่แข็งตัวหรือแข็งตัวได้ช้า เพราะสารเหล่านี้ขัดขวางกระบวนการไฮเดรชันของซีเมนต์ และคอนกรีตที่ได้ยังมีความแข็งแรงต่ำเนื่องจากไม่เกิดโครงสร้างผลึก (crystalline structure) แต่จะเกิดเป็นรูปอะมอร์ฟัส (amorphous) ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย

3.2 วัสดุพอซโซลาน (Pozzolans)

พอซโซลานเป็นวัสดุซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมิเนียม สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ได้เป็นวัสดุคล้ายซีเมนต์ เรียกว่า พอซโซลานิกคอนกรีต (pozzolanic concrete) ตัวอย่างของวัสดุพอซโซลาน ได้แก่ เถ้าลอย ตะกรันเตา เถ้าจากเตาเผาปูนซีเมนต์

เถ้าลอยเป็นวัสดุพอซโซลานที่นิยมนำมาใช้ในการทำให้คงตัวและแข็งตัว (Stabilization/Solidification) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับของเสี้ยนอินทรีย์โดยเฉพาะโลหะหนัก แต่การใช้เถ้าลอยยังมีข้อดีอีกประการหนึ่งคือ คาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดในเถ้าลอยยังช่วยในการดูดซับสารอินทรีย์ในของเสี้ยนได้ด้วย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2548)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
SiO ₂	39.38
Al ₂ O ₃	27.38
Fe ₂ O ₃	3.08
CaO	14.66
TiO ₂	2.54
MgO	1.65
Na ₂ O	0.96
K ₂ O	0.62
P ₂ O ₅	0.21
SO ₃	3.03

3.3 ปูนขาว (Lime)

ปูนขาว หรือ ไฮเดรตไลม์ (Hydrated lime) หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) มีการนำไปใช้ในการทำให้คงตัว สำหรับกากตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก กลไกการทำให้คงตัว เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะอิสระเป็น โลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งยังสามารถสะเทินของเสียที่เป็นกรดด้วย นอกจากการเติมปูนขาวโดยตรงแล้ว อาจมีการผสมกับวัสดุอื่น เช่น เถ้าลอย และ เถ้าจากเตาเผาปูนซีเมนต์

3.4 ดินเหนียวดัดแปลงอินทรีย์ (Organically Modified Clay)

ดินเหนียวดัดแปลงอินทรีย์ (organically modified clay) ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทำให้คงตัวและแข็งตัว (Stabilization/Solidification) ของเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ ดินเหนียวแบบดั้งเดิมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่รวมกับสารอินทรีย์ (organophobic nature) การผลิตดินเหนียวดัดแปลงอินทรีย์ (organically modified clay) เป็นการแทนที่แคทไอออนอินทรีย์ที่อยู่บนผิวดินซึ่งเป็นส่วนแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) ด้วยแคทไอออนอินทรีย์ โดยทั่วไปใช้อีออนควอเทอร์นารี แอมโมเนียม (quaternary ammonium ion) ทำให้ดินที่ดัดแปลงขึ้นมาใหม่นี้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในของเสียไว้ด้วยแคทไอออนอินทรีย์ เมื่อสารอินทรีย์ถูกดูดซับไว้แล้วต้องเติมปูนซีเมนต์หรือสารเกาะยึดอื่นๆ เพื่อเพิ่มความคงตัวของเสียจะถูกจับยึดไว้ในช่องว่างเล็กๆ ของคอนกรีตด้วยแรงทางกายภาพ (encapsulation)

3.5 เทอร์โมเซตติงโพลิเมอร์ (Thermosetting Polymer)

เทอร์โมเซตติงเป็นพลาสติกชนิดที่มีรูปทรงถาวรไม่สามารถเปลี่ยนสถานะหรือหลอมละลายกลับมาได้อีก การทำให้แข็งตัวและแข็งตัว (Stabilization/Solidification) โดยการใส่เทอร์โมเซตติงโพลิเมอร์ ทำได้โดยการเติมสารอินทรีย์โมโนเมอร์ (monomer) ลงในของเสียบที่ต้องการทำให้แข็งตัวแล้วผสมให้เข้ากัน ต่อจากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการรวมตัวของโมโนเมอร์กลายเป็นโพลิเมอร์อยู่ในรูปของแข็งซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ มีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (spong-like mass) ของเสียบจะถูกจับไว้ในโครงสร้าง โพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นแบบไมโครเอ็นแคปซูลชัน (microencapsulation)

3.6 เทอร์โมพลาสติกโพลิเมอร์ (Thermoplastic Polymer)

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกชนิดที่สามารถเปลี่ยนสถานะกลับไปมาระหว่างของแข็งและของเหลวเมื่อถูกทำให้เย็นและให้ความร้อน หลักการทำให้แข็งตัวด้วยวิธีนี้คือการผสมสารเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมเหลวกับของเสียบ ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมที่จะนำไปฝังกลบ ทำให้ของผสมเย็นลง เมื่อโพลิเมอร์เย็นจะแข็งตัวหุ้มห่อของเสียบไว้ในโครงสร้างที่แข็งแรง ทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพและป้องกันการชะล้างได้ดี ปกติจะใช้กับกากกัมมันตรังสี ไม่สามารถใช้กับสารอินทรีย์หรือสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง เช่น ไนเตรต (Nitrate) เปอร์คลอเรต (Perchlorate)

ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ได้แก่ แอสฟัลต์ (บิทูเมน) โพลิเอทิลีน โพลิโพรไพลีน ไนลอน

ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถทำให้สารอันตรายที่มีการละลายน้ำได้ดีมีความคงตัวได้
ข้อเสียบ ได้แก่

- 1) เทอร์โมพลาสติกและอุปกรณ์ในการดำเนินการมีราคาแพง (เมื่อเทียบกับวิธีปูนซีเมนต์)
- 2) ต้องมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานในการให้ความร้อนเพื่อให้เทอร์โมพลาสติกหลอมเหลว
- 3) ความร้อนอาจทำให้สารอันตรายบางชนิดเกิดการระเหยได้
- 4) เทอร์โมพลาสติกสามารถติดไฟได้จึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ
- 5) เทอร์โมพลาสติกสามารถเกิดปฏิกิริยารุนแรงกับสารออกซิไดซ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง อาจก่อให้เกิดการลุกไหม้ได้
- 6) ตัวทำละลายอินทรีย์และกรีส (grease) ขัดขวางการแข็งตัวของเทอร์โมพลาสติก

3.7 การทำให้เป็นแก้ว (Glassification หรือ Vitrification)

นำของเสียมาผสมกับซิลิกาหรือทรายแล้วให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงถึง 1,600°C ทำให้เกิดการหลอมตัว แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็น โครงสร้างคล้ายแก้วซึ่งมีความคงตัวสูงมาก ของเสียอันตรายก็จะถูกจับอยู่ในผลึกแก้วและไม่สามารถถูกชะล้างสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสูงและมีราคาแพง จึงใช้สำหรับของเสียที่มีความเป็นอันตรายสูงมาก เช่น ของเสียกัมมันตรังสีที่มีระดับรังสีสูง

สำหรับความเหมาะสมและข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ ที่ทำให้ของเสียคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (LaGrega, M.D., 2001)

ตารางที่ 2.3 สรุปความเหมาะสมและข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ ที่ทำให้ของเสียคงตัว

ชนิดของของเสีย	การใช้ปูนซีเมนต์	การใช้ปูนขาว	สารเทอร์โมเซต คิงโพลีเมอร์	สารเทอร์โม พลาสติกโพลี เมอร์	การทำให้เป็นแก้ว
สารอินทรีย์					
น้ำมันและตัวทำ ละลายอินทรีย์	การแข็งตัวจะเกิด ช้า สารอันตราย อาจระเหยออกมา ได้	การแข็งตัวจะเกิด ช้า สารอันตราย อาจระเหย ออกมาได้	การแข็งตัวจะเกิด ช้า	สารอินทรีย์อาจ ระเหยออกมา เนื่องจากการให้ ความร้อน	สารอินทรีย์อาจ สลายตัวที่ อุณหภูมิสูง
ของแข็งที่เป็น สารอินทรีย์	ใช้ได้แต่การ แข็งตัวจะเกิดช้า บ้าง	ใช้ได้แต่ต้องใช้ ระยะเวลาในการ แข็งตัวนานขึ้น	การแข็งตัวจะเกิด ช้า	ใช้ได้แต่ต้อง เติมสารช่วยใน การเกาะตัว	สารอินทรีย์อาจ สลายตัวที่ อุณหภูมิสูง
สารอนินทรีย์					
ของเสียที่เป็นกรด	ใช้ได้ดีเพราะจะ ทำให้ของเสียมี สภาพเป็นกลาง	ใช้ได้ดี	ใช้ได้ดี	ต้องทำให้ของ เสียมีสภาพเป็น กลางก่อน	ต้องทำให้ของเสีย มีสภาพเป็นกลาง ก่อน
ตัวออกซิไดซ์	ใช้ได้ดี	ใช้ได้ดี	โครงสร้างที่ได้ อาจไม่แข็งแรง แตกร้าวได้ง่าย	โครงสร้างที่ได้ อาจไม่แข็งแรง แตกร้าวได้ง่าย อาจเกิดการติดไฟ	อาจเกิดปฏิกิริยาที่ ไม่สามารถคาด เดาได้ที่อุณหภูมิ สูง
สารประกอบ ซัลเฟต	การแข็งตัวจะช้า นอกจากจะใช้ ซีเมนต์ชนิดพิเศษ	ใช้ได้ดี	ใช้ได้ดี	โครงสร้างจะเกิด การแตกร้าวได้ ง่าย	ใช้ได้ดี
สารประกอบ เฮไลด์	ไม่เหมาะสมเพราะ ของแข็งที่ได้ถูก ชะล้างได้ง่าย การแข็งตัวของ คอนกรีตเกิดช้า	ไม่เหมาะสมเพราะ ของแข็งที่ได้ถูก ชะล้างได้ง่าย การแข็งตัวของ คอนกรีตเกิดช้า	ใช้ได้ดี	โครงสร้าง แตกร้าวได้ง่าย	ใช้ได้ดี
สารกัมมันตรังสี	ใช้ได้ดีมาก	ใช้ได้ดีมาก	ใช้ได้ดีมาก	ใช้ได้ดีมาก	ใช้ได้ดีมาก
โลหะหนัก	ใช้ได้ดี	ใช้ได้ดี	ใช้ได้ดี	ต้องควบคุม pH ให้เหมาะสม เพื่อ ป้องกันการ ละลายของ โลหะไฮดรอก ไซด์	ใช้ได้ดี

4. การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (Unconfined Compressive Strength Test)

เป็นการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของวัสดุ ใช้ในการทดสอบได้ตั้งแต่ดินอ่อนไปจนถึงคอนกรีต สำหรับกรณีของเสียอันตรายค่านี้เป็นค่าที่ทดสอบความสามารถรับน้ำหนักกดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบได้อย่างปลอดภัย

เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้ซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีลักษณะเป็นวุ้นเหลว มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานสามารถรวมตัวยึดแน่นกับวัสดุยึดประสานต่างๆ เมื่อซีเมนต์เพสต์เกิดการแข็งตัว (Hardening) จะสามารถรับน้ำหนักหรือแรงกระทำจากภายนอกได้ ความสามารถในการรับแรงอัดเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อความทนทานของซีเมนต์เพสต์

การประยุกต์ใช้สารปอซโซลานร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัด โดยอนุภาคของวัสดุปอซโซลานซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์เมื่อแพร่กระจายเข้าไปในเพสต์แล้วจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาโลนิก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต แทรกตามอนุภาคของเม็ดปูนซีเมนต์ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เพสต์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากขึ้นและเพิ่มความหนาแน่นของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต นอกเหนือจากปฏิกิริยาปอซโซลาโลนิกแล้วยังเกิดการแทรกซึมของสารปอซโซลาน (Filler effect) โดยอนุภาคของสารปอซโซลานที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาเข้าไปในรูพรุน

ความสามารถในการรับแรงอัดหาได้จาก น้ำหนักกดหรือแรงอัดสูงสุดที่ได้ (P_{max}) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่รับแรงอัด (A) ดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการรับแรงอัด} = P_{max}/A$$

หน่วยที่ใช้ : กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2)

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานในการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดในการหล่อแข็งกากของเสีย สำหรับการฝังกลบ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (US.EPA, 1992)

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัด

- 1) องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของแต่ละตัวในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะแตกต่างกัน ดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันจะมีการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดที่แตกต่างกัน ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ได้มาจากไตรแคลเซียมซิลิเกตหรือไดแคลเซียมซิลิเกต โดยไตรแคลเซียมซิลิเกตจะให้กำลังสูงในระยะแรก ส่วนไดแคลเซียมซิลิเกตให้กำลังในช่วงหลัง
- 2) ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความละเอียดสูงจะเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำได้มากส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้เร็ว
- 3) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้าน้ำปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่างในโพรงของซีเมนต์เพสต์มาก (Capillary pore) ทำให้เกิดความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง ในทางทฤษฎีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.42 ก็เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์
- 4) การหล่อและอายุ การเตรียมตัวอย่างถ้าการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นพออาจเกิดโพรงในเนื้อเพสต์เป็นเหตุให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง อายุที่มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น
- 5) อุณหภูมิ การบ่มซีเมนต์ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว

5. การทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก (Waste Extraction Test)

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548) กำหนดให้ทำการทดสอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วก่อนนำไปกำจัด โดยวิธีฝังกลบ ด้วยวิธีการสกัดสาร (Waste Extraction Test, WET) นำผลการวิเคราะห์ที่ได้เปรียบเทียบกับปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัด ตามประกาศกระทรวง
อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548)

ชนิดของสาร	ความเข้มข้นในน้ำสกัด (มก./ล.)
สารหนู และ/หรือ สารประกอบของสารหนู	5.0
แบเรียม และ/หรือ สารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต)	100
เบริลเลียม และ/หรือ สารประกอบเบริลเลียม	0.75
แคดเมียม และ/หรือ สารประกอบแคดเมียม	1.0
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์	5
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบโครเมียมไตรวาเลนต์	5
โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของ โคบอลต์	80
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง	25
สารประกอบเกลือฟลูออไรด์	180
ตะกั่ว และ/หรือ สารประกอบตะกั่ว	5.0
ปรอท และ/หรือ สารประกอบปรอท	0.2
โมลิบดีนัม และ/หรือ สารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวมโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์)	350
นิกเกิล และ/หรือ สารประกอบนิกเกิล	20
ซิลิเนียม และ/หรือ สารประกอบซิลิเนียม	1.0
เงิน และ/หรือ สารประกอบเงิน	5
ซาลเลียม และ/หรือสารประกอบซาลเลียม	7.0
วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม	24
สังกะสี และ/หรือ สารประกอบสังกะสี	250

6. การฝึกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

การกำจัดกากอุตสาหกรรมโดยวิธีการฝึกลบเป็นวิธีการที่สำคัญและมีความจำเป็นในการกำจัดกากอุตสาหกรรมอย่างยิ่งเพราะการกำจัดกากอุตสาหกรรมด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเผาไหม้ หรือการปรับเสถียรจะมีกากของเสียเกิดขึ้นจากการบำบัด ซึ่งจำเป็นจะต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายด้วยการฝึกลบ อย่างไรก็ตามกากอุตสาหกรรมที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้วนั้นเมื่อนำไปฝึกลบอาจเกิดการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมหากมีการฝึกลบที่ไม่ถูกวิธีและส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อให้การฝึกลบกากอุตสาหกรรมเป็นวิธีการที่สามารถกำจัดกากอุตสาหกรรมได้อย่างปลอดภัย จำเป็นจะต้องทราบถึงองค์ประกอบโดยรวมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การคัดเลือกพื้นที่ฝึกลบและ โครงสร้างของระบบฝึกลบกากอุตสาหกรรมสำหรับกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

6.1 หลักเกณฑ์ในการเลือกที่ตั้งของหลุมฝึกลบอย่างปลอดภัย

หลักเกณฑ์ในการเลือกที่ตั้งของหลุมฝึกลบอย่างปลอดภัย มีดังนี้

- 1) มีพื้นที่เพียงพอที่จะฝึกลบของเสียซึ่งมีปริมาณตามที่ประมาณการไว้
- 2) ต้องไม่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดหรือบริเวณที่ทำการบำบัดของเสียอันตรายมากนัก เพื่อจะได้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสีย
- 3) เป็นบริเวณที่มีการคมนาคมสะดวก สามารถเข้า-ออก ได้ทุกฤดูกาล
- 4) ต้องอยู่ห่างไกลจากชุมชน
- 5) เป็นบริเวณที่มีฝนตกน้อย และไม่อยู่ในแนวพัดผ่านของลมพายุ
- 6) เป็นบริเวณที่มีการระบายน้ำได้ดี ไม่เคยเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วม
- 7) เป็นที่ราบมีความลาดชันของพื้นที่ต่ำกว่า 5% เพื่อป้องกันน้ำไหลบ่าหน้าดินผ่านบริเวณหลุมฝึกลบ
- 8) ไม่อยู่ในบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ไม่อยู่ในแนวที่เกิดแผ่นดินไหว
- 9) เป็นบริเวณที่เกิดการชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion) น้อย
- 10) ดินบริเวณนั้นควรมีอัตราการซึมน้ำต่ำ เช่น ดินเหนียว สามารถใช้ดินบริเวณนั้นมาบดอัดกันซึมที่กันหลุม หรือปิดปากหลุมได้
- 11) มีระดับน้ำใต้ดินต่ำ เมื่อขุดหลุมฝึกลบแล้วกันหลุมจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินในฤดูฝนอย่างน้อย 1-2 เมตร

12) ไม่เป็นบริเวณที่สมควรอนุรักษ์ อาทิ พื้นที่ป่าสมบูรณ์ แหล่งประวัติศาสตร์ แหล่งท่องเที่ยว

6.2 ระบบฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

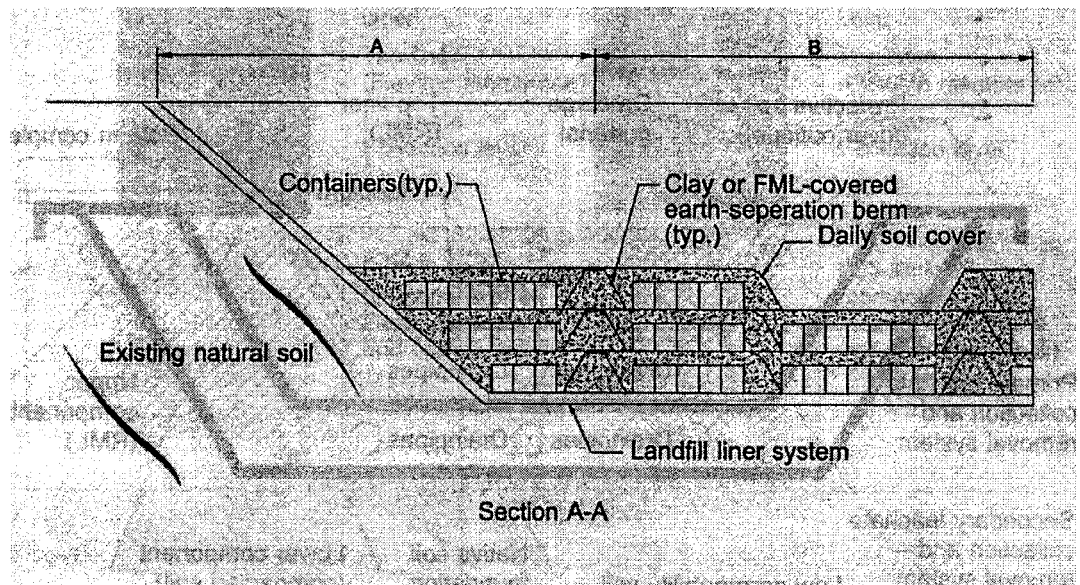
การฝังกลบเป็นวิธีทางกายภาพที่ใช้สำหรับการกำจัดกากของเสียขั้นสุดท้าย (Final Disposal) กากอุตสาหกรรมที่ผ่านการทำลายฤทธิ์แล้วเลือกใช้วิธีการกำจัดแบบการฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)

6.2.1 องค์ประกอบหลักของระบบฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

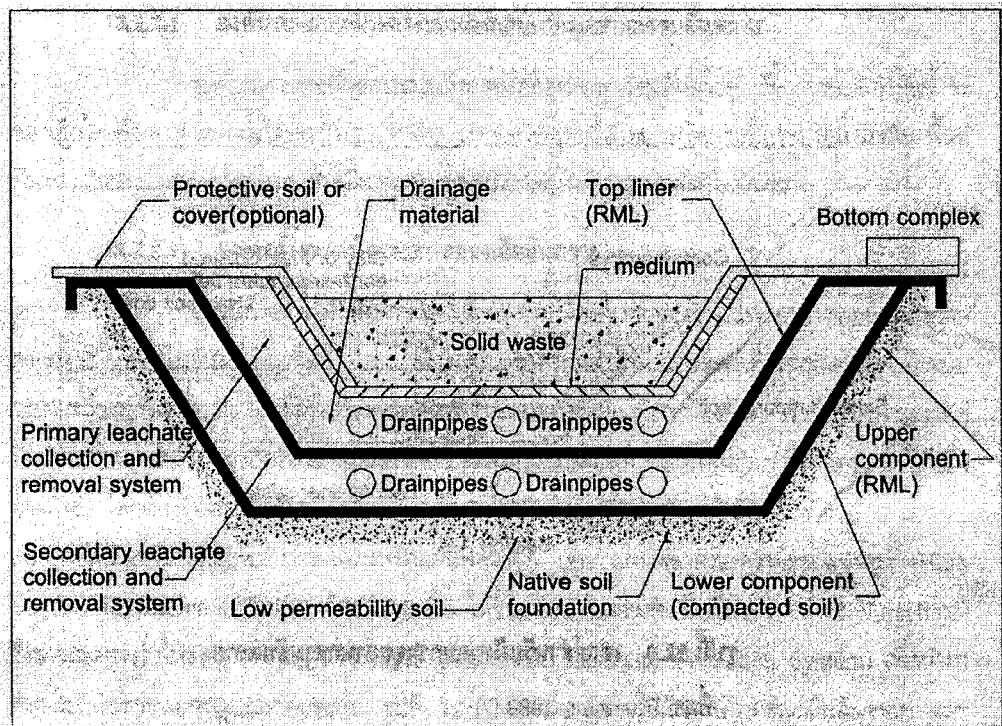
องค์ประกอบหลักของระบบฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย คือ ระบบป้องกันน้ำชะของเสียไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (ระบบกันซึม) ระบบควบคุมการระบายก๊าซ ระบบระบายน้ำผิวดิน พื้นที่กันชน และระบบสาธารณสุขปก

6.2.2 โครงสร้างหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

โครงสร้างหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย มีองค์ประกอบทั่วไปไม่แตกต่างจากหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่ไม่อันตรายมากนัก เช่น มีการกบดทับด้วยหน้าดินในแต่ละชั้นที่มีการฝังกลบ มีระบบระบายน้ำชะมูลฝอย แต่โครงสร้างของหลุมฝังกลบแบบนี้จะต้องมีระบบป้องกันการรั่วซึมของน้ำและสารอันตรายต่างๆ อย่างรัดกุมมากที่กั้นหลุมและด้านข้างหลุมมีการบดอัดด้วยดินเหนียว ซึ่งมีอัตราการไหลซึมของน้ำต่ำ โดยต้องมีอัตราการซึม (Permeability) ไม่เกิน 1×10^{-7} เซนติเมตร/วินาที หรือ 0.03 เมตร/ปี ต่อจากชั้นดินเหนียวจะปูทับด้วยแผ่นยางหรือแผ่นพลาสติก เช่น แผ่นพลาสติกความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) จำนวน 2 ชั้น ได้แผ่นยางแต่ละชั้นเป็นชั้นระบายน้ำชะ (Leachate) ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลลงมา น้ำเหล่านี้จะไหลเข้าสู่ท่อรวบรวม (Leachate Collection System) เพื่อนำมาทำการบำบัดภายนอกหลุมฝังกลบต่อไป ภาพที่ 2.4 แสดงเซลล์สำหรับฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย และภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างระบบกันซึมของหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย



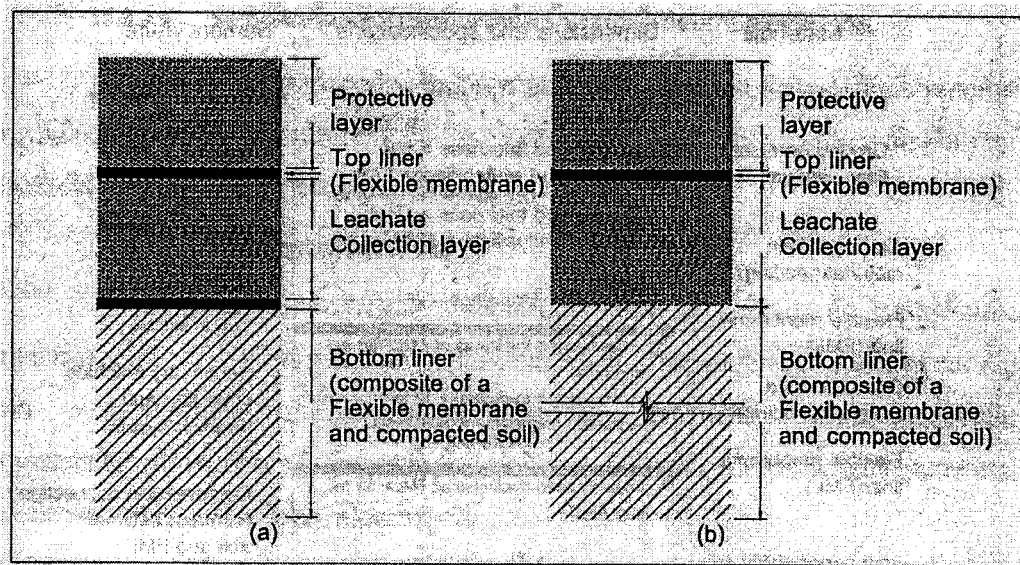
ภาพที่ 2.4 เซลล์สำหรับฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย



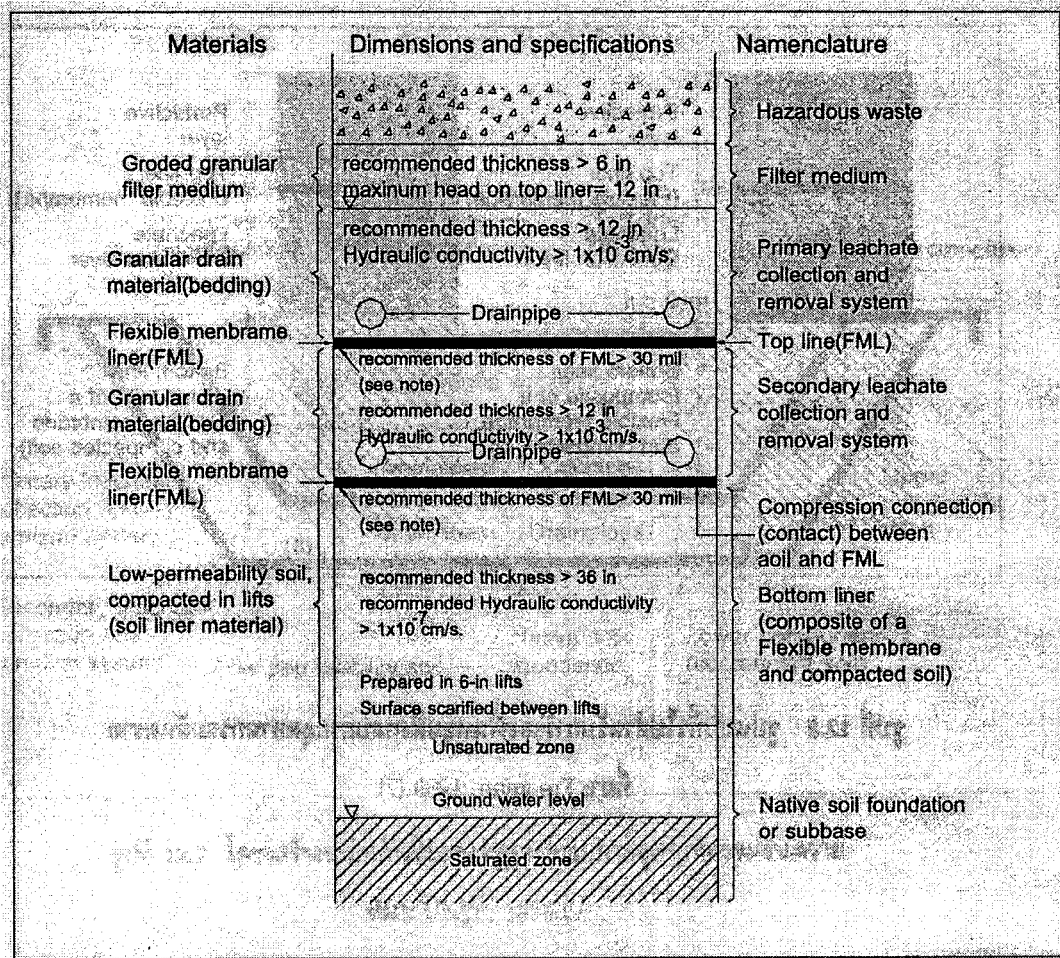
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างระบบกันซึมของหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

6.2.3 วัสดุที่ใช้ในการฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย

วัสดุที่ใช้ในงานฝังกลบของเสียอันตรายมีใช้กันอย่างแพร่หลาย อาจใช้ปูบริเวณส่วนบนของของเสียอันตรายหรือปูบริเวณส่วนล่างของของเสียอันตราย ซึ่งวัสดุที่ใช้มาจากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์ขึ้นมีหลายแบบ เช่น แผ่นใยธรณี (Geomembrane) สิ่งทอธรณี (Geotextiles) ดินเหนียวอัด (Compacted Clays) ดินเหนียวดัดแปลง (Modified Clays) ถ้ำลอย (Fly Ash) เบนโทไนต์ (Bentonite) และซีโอไลต์ (Zeolite) ภาพที่ 2.6 แสดงรูปทั่วไปสำหรับการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย ภาพที่ 2.7 แสดงการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายด้วยวัสดุต่างๆ



ภาพที่ 2. 6 ภาพทั่วไปสำหรับการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย



ภาพที่ 2.7 แสดงการรองพื้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายด้วยวัสดุต่างๆ

6.2.4 การปิดทับหลุมฝังกลบ

หลังจากมีการใช้งานหลุมฝังกลบจนเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการปิดทับหลุมฝังกลบของเสีย ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากหลุมฝังกลบแห่งนี้จะไม่มีเปิดขึ้นมาใหม่เพื่อรองรับของเสียเพิ่มอีกแล้ว โดยหลุมฝังกลบจำเป็นต้องดำเนินการปกคลุมให้มีอายุทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ยาวนานเท่ากับอายุของของเสียอันตรายที่อยู่ภายในบ่อฝังกลบ สำหรับแนวทางในการพิจารณาโดยทั่วไป คือ

1. การควบคุมการไหลของน้ำในบ่อฝังกลบเพื่อลดปริมาณน้ำชะของเสีย
2. การควบคุมก๊าซให้กระจายออกอย่างเหมาะสม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ต่อสิ่งแวดล้อม

3. การป้องกันการกัดเซาะและการชะ

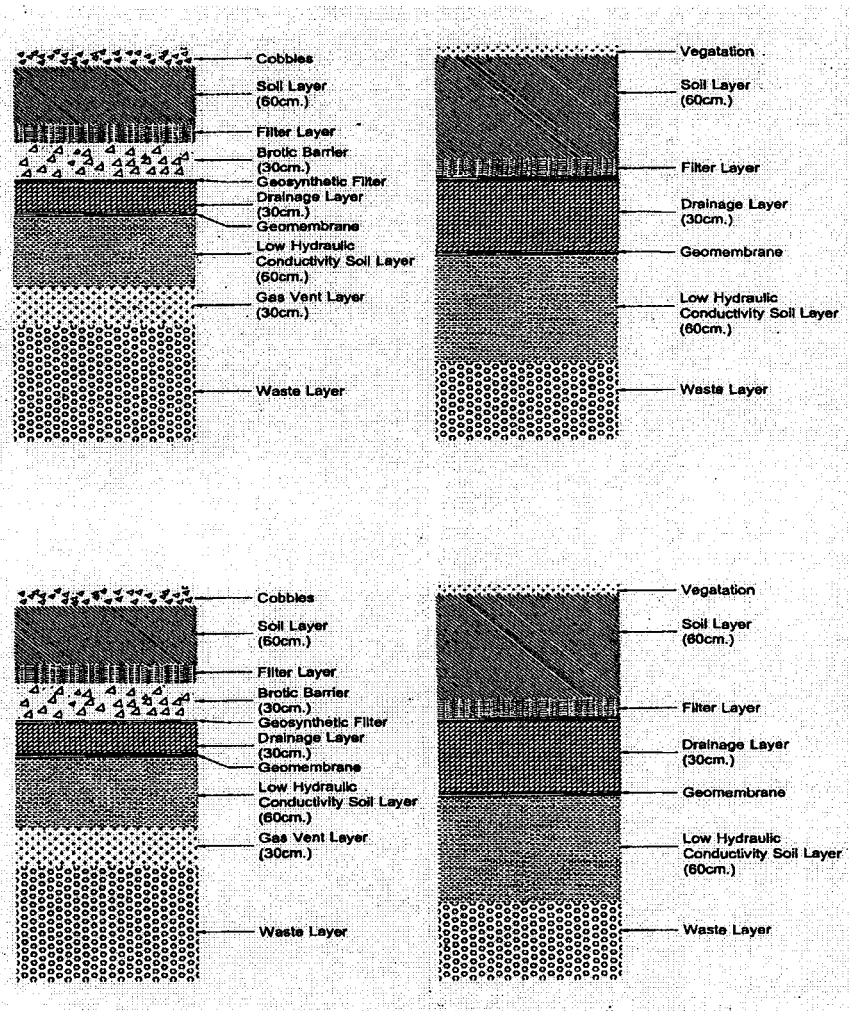
4. การป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพของความลาดชันดิน

5. การป้องกันไม่ให้น้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

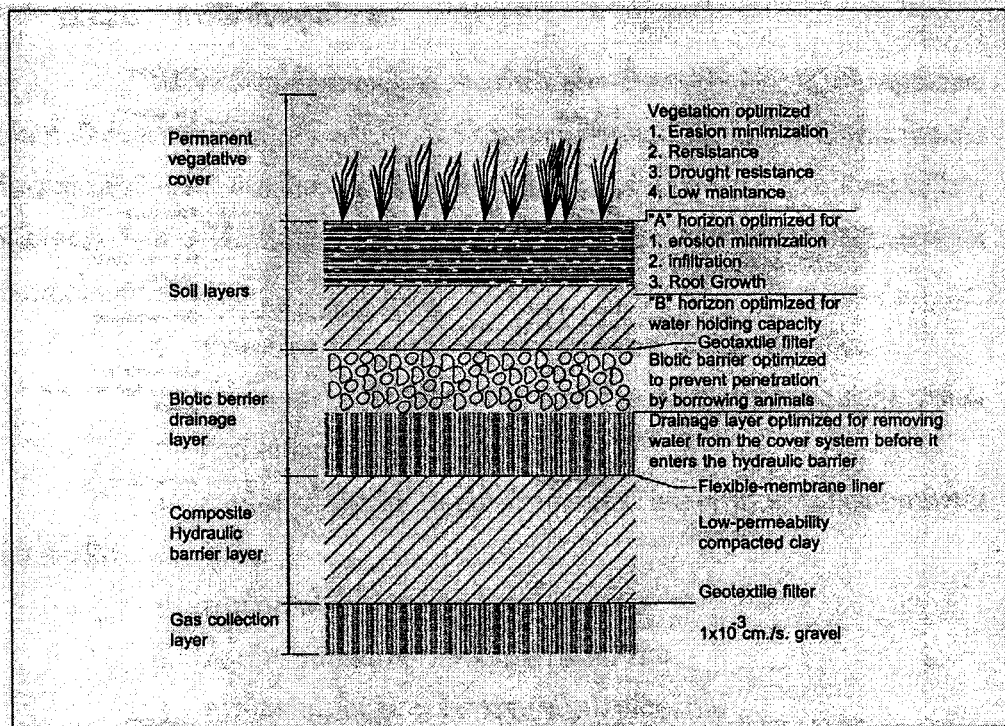
6. ต้องทำการปรับสภาพทิวทัศน์ให้มีความเหมาะสม

7. การป้องกันไม่ให้ฝุ่นกระจายหรือพัดปลิวออกไป

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการปกคลุมหลุมฝังกลบโดยทั่วไปคือ หญ้าหรือพืชอื่นๆ ดินปุ๋ย แผ่นทอธรณี (Geotextile Filter) แผ่นใยธรณี (Remembrance) ดินเหนียวอัดแน่น ชั้นกรวดและทราย ภาพที่ 2.8 แสดงการออกแบบการปิดชั้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม และภาพที่ 2.9 แสดงการปลูกพืชบนพื้นที่หลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.8 แสดงการออกแบบการปิดชั้นหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.9 แสดงการปลูกพืชบนพื้นที่หลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Albino และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักที่ถูกหล่อแข็งในโครงสร้าง 2 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็ก (Blast furnace slag) ผสมยิปซัม และโครงสร้างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย ผสมยิปซัมผสมปูนขาว โดยมีโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี สำหรับตัวทำละลายที่ใช้สัปดาห์ 3 ชนิดคือ น้ำกลั่น สารละลายบัฟเฟอร์ กรดอะซิติก ที่มีค่า พีเอช 4.74 และสารละลายกรดไนตริก ที่ควบคุมค่าพีเอชที่ 4 ตามลำดับ ผลการศึกษาได้ดังนี้

1. จากการทดสอบการชะละลายทางจลศาสตร์ (Dynamic leaching test) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวชะละลาย พบว่า ความสามารถในการชะละลาย (Leachate) ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของโลหะหนัก ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มแรก และลักษณะของโครงสร้างที่หล่อแข็ง การชะละลายของทองแดงขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างที่หล่อแข็ง และความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มแรก ส่วน

การชะละลายของตะกั่ว ขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่หล่อแข็งเพียงอย่างเดียว โดยโครงสร้างที่มีภาคตะกรัน เหล็กผสมจะมีโลหะทั้งสองชนิดถูกชะละลายออกมาน้อยกว่าโครงสร้างที่มีแก้วเคลือบผสม

2. โครงสร้างทั้งสองประเภท สามารถนำไปพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพได้ สำหรับผลการชะละลายด้วยสารละลายกรดไนตริก พีเอช 4 พบว่ามีเพียงทองแดงและนิกเกิลจากโครงสร้างทั้งสองประเภท ที่ผลการทดสอบยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

3. โครงสร้างที่มีตะกรันเหล็ก ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าโครงสร้างที่มีแก้วลอย กล่าวคือน้ำสกัดจากโครงสร้างผสมตะกรันเหล็กมีปริมาณโลหะหนักน้อยกว่าน้ำสกัดจากโครงสร้างผสมแก้วลอย ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างผสมตะกรันเหล็กมีอัตราส่วนระหว่างซิลิกาไฮดรต และแคลเซียมไตรซัลโฟลูมิเนตไฮดรตที่สูงกว่าในโครงสร้างผสมแก้วลอย

Diet และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งภาคตะกอนโครเมียม / สังกะสีไฮดรอกไซด์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยได้ทำการศึกษาระดับมหภาค (macroscopic) และจุลภาค (microscopic) โดยทดสอบระยะเวลาการก่อตัว และการชะละลาย (Leachate) สำหรับภาคตะกอนสังกะสีไฮดรอกไซด์ นั้น ส่งผลทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) หยดเพียงไม่กี่นาที หลังจากผสม สำหรับภาคตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์นั้น พบว่าอัตราส่วนในการผสมภาคตะกอนต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อยู่ในช่วง 2-3: 1 นั้น โครเมียมจะเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดี

ประเสริฐ (2541) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรภาคตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียที่เน้นเฉพาะค่าซีไอดี และภาคหลุดฟลูออเรสเซนซ์ โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนการทำเสถียร โดยใช้ปูนซีเมนต์ และของเสี่ยซิลิกา - อลูมินา ในการทดลองนี้แสดงถึงผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อการทำเสถียร และแสดงสมบัติทางกายภาพของตะกอนที่ผ่านการทำเสถียรคือ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการซึมได้ของน้ำ นอกจากนี้มีการทดสอบการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของปรอท โครเมียมและ เหล็ก

ผลการทดลองจากการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียที่เน้นเฉพาะค่าซีไอดีมาทำเสถียร โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมของเสี่ยซิลิกา - อลูมินา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อของเสี่ยซิลิกา - อลูมินา เท่ากับ 1: 0.6 อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอท และ โครเมียมคงตัวเท่ากับ 88.39 และ 82.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดนี้ประมาณ 5,110 บาทต่อตัน ของตะกอนแห้ง

ผลการทดลองการนำภาคหลุดฟลูออเรสเซนซ์มาทำเสถียร โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมของเสี่ยซิลิกา - อลูมินา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุ

ประสานเท่ากับ 0.75 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อของเสียมซิลิกา – อลูมินา เท่ากับ 1:1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.50 ใช้ปริมาณ โซเดียมซิลไฟด์ 1.75 เท่าของปริมาณทาง ทฤษฎี ใช้ระยะเวลาบ่ม 3 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้โปรท และ โครเมียมคงตัวเท่ากับ 82.17 เปอร์เซนต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดนี้ประมาณ 5,620 บาทต่อตัน ของตะกอนแห้ง

อรวรรณ (2541) ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดและการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิล จากกากตะกอนโลหะหนักที่ทำให้เป็นก้อนหล่อแข็ง โดยใช้ปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ กากตะกอน โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษาเป็นกากตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะ โดยทำการทดลองที่ สภาวะต่างๆดังนี้คือ อัตราส่วนผสมของกากตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานเท่ากับ 0.3, 0.65 และ 1.0 กำหนดระยะเวลาการบ่มซีเมนต์ 3 ระดับคือ 3, 7 และ 14 วันและกำหนดค่าพีเอชของสารละลาย ที่ใช้การสกัด 3 ระดับคือ 5, 7 และ 9 ผลการศึกษาได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของกากตะกอนโลหะหนักต่อตัว ประสานเพิ่มขึ้น และการเพิ่มระยะเวลาบ่มซีเมนต์จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้น โดยอัตรา ส่วนผสมของกากตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานที่เหมาะสมของการทำให้เป็นก้อนหล่อแข็ง เท่ากับ 1.0 ค่ากำลังรับแรงอัดของทุกอัตราส่วนผสม เป็นไปตามมาตรฐานขั้นต่ำของกระทรวง อุตสาหกรรม

2. การชะละลายของตะกั่วและนิกเกิล พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของกากตะกอน โลหะหนักต่อตัวประสานมีผลทำให้ ปริมาณการชะละลายของตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการ บ่มซีเมนต์ ในขณะที่เดียวกัน การลดค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้ในการสกัดจะมีผลทำให้ปริมาณการ ชะละลายของตะกั่วเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณการชะละลายของนิกเกิลพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนผสม ของกากตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานมีผลทำให้ ปริมาณการชะละลายของนิกเกิลมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันปริมาณการชะละลายของนิกเกิลจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มซีเมนต์

ประกฤต (2542) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง สองประเภทคือ กากตะกรันดำและกากตะกรันขาว โดยใช้วัสดุยึดประสานชนิดต่างๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต เพื่อพิจารณาวัสดุยึดประสานที่มี ประสิทธิภาพในการทำเสถียรและประหยัดค่าใช้จ่าย ผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการทำเสถียรให้กากตะกรัน จากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าเป็นก้อนได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่นที่ใช้ในการศึกษา โดยใช้สัดส่วน ผสมทั้งกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนัก กากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างมีสมบัติผ่าน เกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ด้านกำลังรับแรงอัด และน้ำสกัด

2. การใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวเป็นวัสดุประสานในการทำกาตะกรันจากเตาหลอม เหล็กๆ ไฟฟ้าทั้งสองชนิดให้เป็นก้อนแข็ง ทำก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ส่วนความหนาแน่นและปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวเป็นวัสดุประสาน มีค่าใกล้เคียงกัน

3. ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างสูงขึ้น และมีผลทำให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดลดลง

4. การทำกาตะกรันทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกาตะกรัน พบว่า ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 96.18 % และ 96.18 % ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัวเท่ากับ 97.77 % และ 96.87% ตามลำดับ

5. การทำกาตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกาตะกรัน พบว่า ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 97.70 % และ 97.70 % ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัวเท่ากับ 87.51 % และ 87.88 % ตามลำดับ

นฤมล (2543) ได้ทำการศึกษาการการหล่อแข็งกาตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยวัสดุประสาน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้ากลบ เถ้าลอย ลิกไนต์และทราย ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อหาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุประสาน โดยโลหะหนักที่ศึกษาคือ ตะกั่ว

ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการรับแรงอัดและปริมาณการชะละลายของตะกั่วแปรผันตามชนิดของวัสดุประสาน ปริมาณกาตะกอน และระยะเวลาในการบ่ม โดยค่าความสามารถในการรับแรงอัดและการชะละลายของตะกั่วจะแตกต่างกันเมื่อใช้วัสดุประสานที่ต่างชนิดกัน โดยวัสดุประสานที่เหมาะสมได้แก่ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ผสมทราย ที่อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 2 โดยเมื่อเพิ่มปริมาณกาตะกอน ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะลดลงและการชะละลายของตะกั่วจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่ม ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นและการชะละลายจะลดลง โดยอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อปริมาณตะกอนที่เหมาะสมคือ 1 : 0.025 ที่ระยะเวลาในการบ่มตั้งแต่ 14 วันขึ้นไป

ชนินทร์ (2545) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งกาตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของ โรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ฝุ่นทรายดำและซีเมนต์ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และกาตะกอน ชุดที่ 2 ใช้ปูนซีเมนต์ ฝุ่นทรายดำ น้ำ และกาตะกอน

ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างทั้งสองชุดมีค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน หลังจากผ่านการบ่มที่ระยะเวลา 7 วัน ส่วนค่าการชะละลายของตะกั่วพบว่า ชุดที่ 1 ที่มีกากตะกอน 10, 20 และ 30 กรัมที่ระยะเวลาการบ่ม 7-28 วัน 14-28 วัน และ 14-28 วัน ตามลำดับ มีค่าการชะละลายตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ชุดที่ 2 ที่มีกากตะกอน 50, 60, 70, 80 และ 90 กรัม ที่ระยะเวลาการบ่ม 7-28 วัน, 14-28 วัน, 14-28 วัน, 21-28 วัน และ 14-28 วัน ตามลำดับ มีค่าการชะละลายตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

นิตยา (2545) ได้ทำการศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงอัด ระยะเวลาก่อตัว และการรั่วไหลของโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสีย โดยนำซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยามาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อหล่อแข็งกากตะกอนโรงชุบโลหะประเภทสังกะสี - ไชยาไนต์ โดยนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยทดแทนในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ในการหล่อแข็งกากตะกอนโลหะในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยามาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดมากกว่าซีเมนต์เพสต์ชุดควบคุมที่อายุบ่มตั้งแต่อายุ 7 วัน สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ทุกอายุการบ่ม มีค่าการกำลังอัดเกินมาตรฐานสำหรับการฝังกลบอย่างปลอดภัย ยกเว้นก้อนหล่อแข็งของเสียที่มีกากตะกอนโลหะในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ส่วนการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักโดยวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (TCLP) นั้น การรั่วไหลของสังกะสี เหล็ก และโครเมียมไม่เกินค่ามาตรฐาน

ศิริภัทร์ (2545) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งกากตะกอนโรงชุบโลหะประเภทสังกะสี - ไชยาไนต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุยึดประสาน ใช้กากตะกอนโรงชุบโลหะในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และเถ้าลอยลิกไนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อของแข็งเท่ากับ 0.5 ตลอดจนทดลอง

ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยเถ้าลอยลิกไนต์พบว่า ความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งจะมีค่าต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ในระยะต้นและเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงกว่า หลังจากบ่มเป็นเวลา 57 วัน สำหรับก้อนหล่อแข็งของเสียจะมีความสามารถในการรับแรงอัดต่ำมาก เมื่อเทียบกับก้อนควบคุมและความสามารถในการรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณกากตะกอนโรงชุบเพิ่มขึ้น สำหรับผลการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (TCLP) พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมียมในสารละลายกรดอะซิติกจะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

โดย US. EPA นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าสังกะสีและเหล็กที่ละลายออกจากก้อนหล่อแข็งต่ำกว่าจากกากตะกอนโรงชุบโลหะมาก ความทนทานต่อการกัดกร่อนโดยสารละลายกรดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ กรดซัลฟูริก > กรดไนตริก > กรดอะซิติก และเมื่ออัตราส่วนผสมของกากตะกอนโรงชุบโลหะเพิ่มขึ้นความทนทานต่อสถานะแวดล้อมรุนแรงจะลดลง

อานนท์ (2547) ได้ทำการศึกษาการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของโรงงาน เมลานีน-ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, และ 1:10 และผสมด้วยน้ำประปาในอัตราส่วนที่ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้บล็อกประสานที่มีขนาด 12.5 x 12.5 x 10 เซนติเมตร บ่มที่ระยะเวลา 14 วัน ผลการทดลองพบว่า บล็อกประสานที่ทำจากเมลานีน-ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ทั้ง 10 สูตร มีความต้านทานรับแรงอัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานของ มอก. 58-2530

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

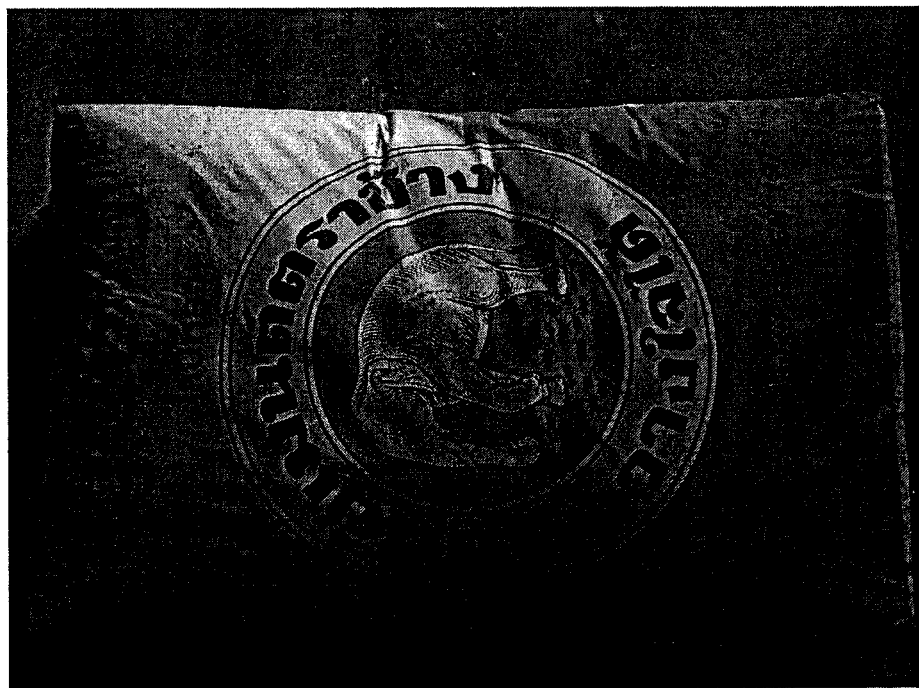
1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement; OPC) โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง (ดังภาพที่ 3.1)

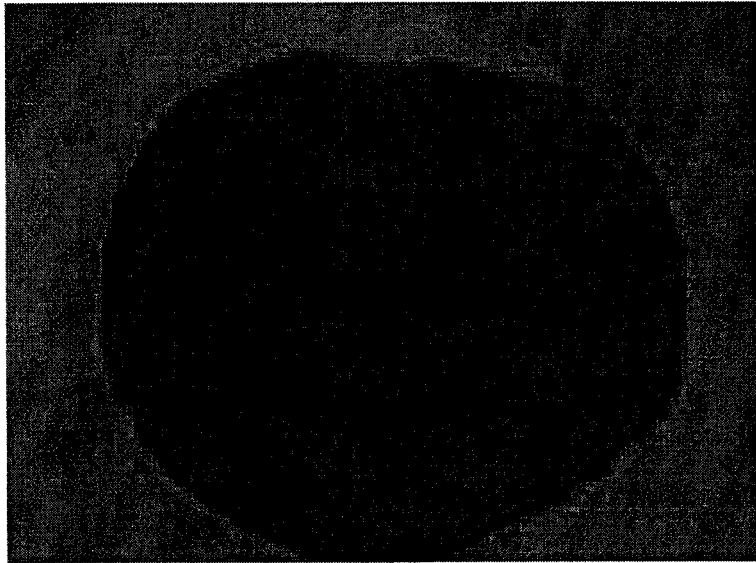
1.2 เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash; FA) จัดจำหน่ายโดยบริษัท ทอร์ส พอชโซลานซ์ จำกัด (ดังภาพที่ 3.2)

1.3 กากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะที่ใช้ในการทดลองได้จากบริษัทเออีวิทยา จำกัด (มหาชน) (ดังภาพที่ 3.3)

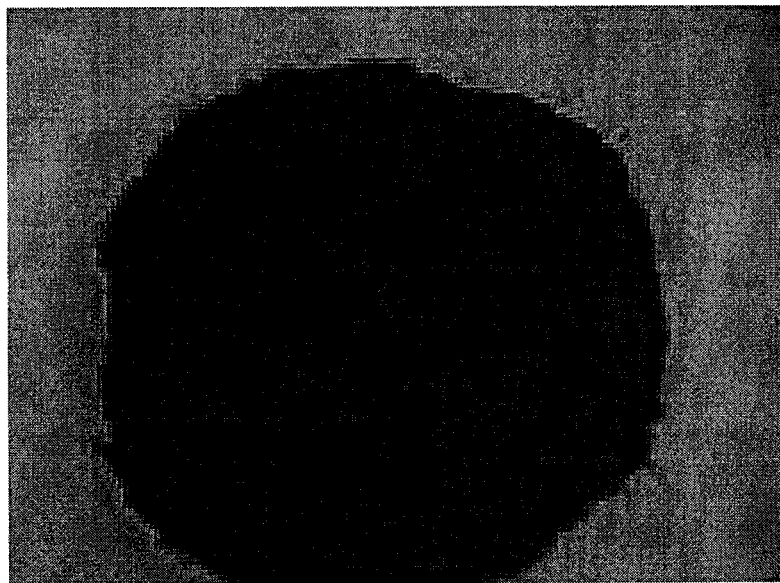
1.4 น้ำ ใช้น้ำประปาในการผสมการหล่อแข็ง



ภาพที่ 3.1 แสดงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



ภาพที่ 3.2 แสดงถ้ำลอยลิกไนต์



ภาพที่ 3.3 แสดงกากตะกอนสังกะสี

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 2) ครกหิน
- 3) แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 5.0 เซนติเมตร
- 4) เครื่องฉาบปูนซีเมนต์
- 5) เครื่องทดสอบรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) (ดังภาพที่ 3.4)
- 6) เครื่องปั่นผสม

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

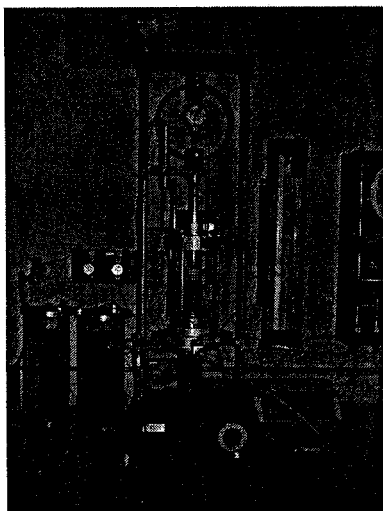
- 1) แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3) ตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูร่อน 9.5 มิลลิเมตร
- 4) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร และ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 5) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 6) ขวดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 7) ขวดพลาสติก ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 8) เต้าไฟฟ้า
- 9) เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที (ดังภาพที่

3.5)

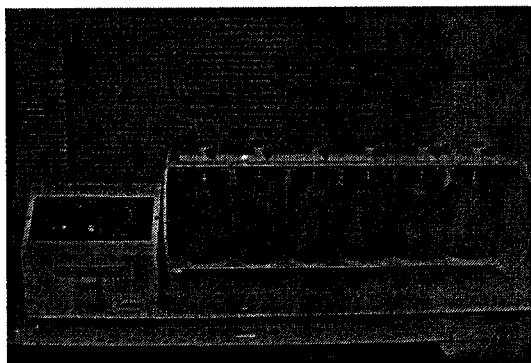
- 10) กระดาษกรองใยแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 0.45 ไมครอน
- 11) กระดาษกรองเบอร์ 42
- 12) เครื่องกรองสุญญากาศ
- 13) ปิเปต ขนาด 5, 10 และ 100 มิลลิลิตร
- 14) เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- 15) เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS)

(ดังภาพที่ 3.6)

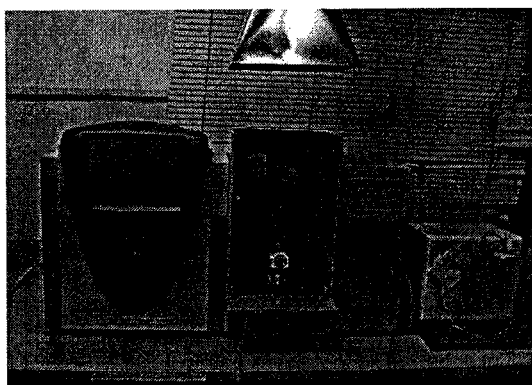
- 16) กรวยกรอง



ภาพที่ 3.4 แสดงเครื่องทดสอบรับแรงอัด (Unconfined compressive strength)



ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator)



ภาพที่ 3.6 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) กรดไนตริกเข้มข้น (HNO₃ conc.)
- 2) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl conc.)
- 3) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 % (H₂O₂ 30%)
- 4) กรดซिटริก
- 5) โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 6) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) ชนิดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- 7) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ชนิดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- 8) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ชนิดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- 9) สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ชนิดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- 10) สารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu) ชนิดสำเร็จรูป ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- 11) น้ำกลั่น

4. วิธีการทดลอง

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง ไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูร่อน 9.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร่อนได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

4.1.2 เถ้าลอยลิกไนต์

นำเถ้าลอยลิกไนต์ไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูร่อน 9.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำเถ้าลอยลิกไนต์ที่ร่อนได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

4.1.3 กากตะกอนสังกะสี

นำกากตะกอนสังกะสี มาใส่ถาดและตากให้แห้ง จากนั้นนำไปบดด้วยครกหินและร่อนผ่านตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูร่อน 9.5 มิลลิเมตร นำกากตะกอนจากโรงชุบโลหะที่ร่อนได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

4.1.4 ตัวอย่างวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งหมดของสารโลหะหนัก ที่เป็นองค์ประกอบในเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนสังกะสี โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
- 2) เติมกรดไนตริก (1:1) 10 มล.
- 3) นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้เดือด ยกออกจากเตา และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 4) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าประมาณ 30 นาที ถ้าเกิดควันสีน้ำตาลให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. นำไปย่อยต่อจนไม่มีควันสีน้ำตาล แสดงว่าการย่อยสมบูรณ์ ให้เหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 5) เติมน้ำกลั่น 2 มล. และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 3 มล.
- 6) นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าจนฟองที่เกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 7) เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 1 มล. (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% เติมได้ไม่เกิน 10 มล.) นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าจนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ระวังอย่าให้เดือด
- 8) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 9) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. แล้วปรับปริมาตรครบ 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น
- 10) เทลงในขวดพลาสติกขนาด 100 มล. รอกการวิเคราะห์

4.1.5 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ตามอัตราส่วนน้ำหนักที่กำหนดไว้ ใส่ในเครื่องปั่นผสมที่เตรียมไว้ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับของแข็งตามที่กำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ผสมให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที นำส่วนผสมที่ได้เทลงแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 5.0 เซนติเมตร ปาดส่วนผสมที่เกินออกจากแบบหล่อและปิดแบบหล่อให้เรียบร้อย เพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศและความชื้น บ่มก้อนหล่อแข็งที่อุณหภูมิห้อง บ่มที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 3, 7 และ 14 วัน

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนสังกะสี

ตัวอย่าง	OPC (% โดยน้ำหนัก)	FA (% โดยน้ำหนัก)	S (% โดยน้ำหนัก)	Water : Solids
OPC	100	0	0	0.45
OPC10S	90	0	10	0.50
OPC20S	80	0	20	0.50
OPC30S	70	0	30	0.60
OPC10FA10S	80	10	10	0.60
OPC10FA20S	70	10	20	0.60
OPC10FA30S	60	10	30	0.60
OPC20FA10S	70	20	10	0.60
OPC20FA20S	60	20	20	0.60
OPC20FA30S	50	20	30	0.60
OPC30FA10S	60	30	10	0.60
OPC30FA20S	50	30	20	0.60
OPC30FA30S	40	30	30	0.60

หมายเหตุ : OPC = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

FA = เถ้าลอยลิกไนต์

S = กากตะกอน

Solids = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ + เถ้าลอยลิกไนต์ + กากตะกอน

4.1.6 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

1) การเตรียมก้อนหล่อแข็ง

นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนที่ซังน้ำหนักแล้ว ตามอัตราส่วนน้ำหนักที่กำหนดไว้ใส่ในเครื่องปั่นผสมที่เตรียมไว้ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับของแข็งตามที่กำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ผสมให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที นำส่วนผสมที่ได้เทลงแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ปาดส่วนผสมที่เกินออกจากแบบหล่อและปิด

แบบหล่อให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศและความชื้น ป่มก้อนหล่อแข็งที่อุณหภูมิห้อง บ่มที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 3, 7 และ 14 วัน

2) การสกัดสาร

นำก้อนหล่อแข็งอัตราส่วนต่างๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ กันดังนี้ คือ 3, 7 และ 14 วัน ไปทำการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักโดยในแต่ละอัตราส่วน โดยใช้วิธีการสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Waste Extraction Test; WET) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ลงในขวดพลาสติกประเภท โพลีเอทิลีน
- (2) เติมน้ำสกัด 500 มล. ลงในขวดสกัด นำของผสมไปใส่อากาศด้วย ก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที แล้วปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว
- (3) นำไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าแบบหมุน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ควบคุม อุณหภูมิระหว่าง 20-40°C
- (4) นำของผสมไปกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.45

ไมครอน

- (5) ถ่ายสารละลายที่กรองได้ลงในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนเพื่อนำไป วิเคราะห์สารปนเปื้อนต่อไป

หมายเหตุ น้ำสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ สารละลายโซเดียมซัลเฟต 0.2 M ที่พีเอช 5.0 ± 0.1 ยกเว้น การวิเคราะห์เฮกซาวาเลนซ์โครเมียมใช้น้ำบริสุทธิ์ (deionized) ในการ สกัดสาร

3) ตัวอย่างวิเคราะห์สังกะสี

การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานของสังกะสี 1000 มก./ล. ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.00 มก./ล.

- (1) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 100 มก./ล. : ปิเปิดสารละลาย มาตรฐานสังกะสี (Zn) 1000 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับ ปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1.00 %
- (2) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 10 มก./ล. : ปิเปิดสารละลาย มาตรฐานสังกะสี (Zn) 100 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับ ปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(3) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 1.00 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 100 มก./ล. ปริมาตร 1 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(4) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 0.05 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 1.00 มก./ล. ปริมาตร 5 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1.00%

(5) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 0.10, 0.20, 0.50 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) 10.00 มก./ล. ปริมาตร 1, 2, 5 มล. ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. อย่างละ 1 ใบ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 มก./ล. ตามลำดับ

การเตรียมแบล็งค์ (Blank) วิเคราะห์สังกะสี

(1) ปิเปตกรดไนตริก 1% สำหรับตัวอย่างน้ำเสียและน้ำสกัด และใช้น้ำกลั่นสำหรับตัวอย่างกากตะกอน จำนวน 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใสในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยกรดไนตริก 1.00% แล้วนำไปวัดปริมาณสังกะสีโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

การเตรียมตัวอย่างสปีก (Spike Sample) วิเคราะห์สังกะสี

(1) สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 50 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี 1000 มก./ล. ปริมาตร 5 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(2) ตัวอย่างสปีก (Spiked sample) ความเข้มข้น 0.50 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 50 มก./ล. ปริมาตร 1 มล. ลงในตัวอย่าง 100 มล.

(3) นำไปเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำสกัด การเตรียมตัวอย่างน้ำสกัดในการวิเคราะห์สังกะสี

(1) ผสมตัวอย่างน้ำสกัดให้เข้ากัน ปิเปตตัวอย่างน้ำ 100 มล. ใส่ในขวด รูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่า ให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่า ให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยกรดไนตริก 1% แล้วนำไปวัดปริมาณสังกะสีโดยใช้เครื่องมือ วิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

4) การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์โครเมียม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานของโครเมียม 1000 มก./ล. ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50, 1.00, 2.00 มก./ล.

(1) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 100 มก./ล.: ปิเปตสารละลาย มาตรฐานโครเมียม (Cr) 1000 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับ ปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1.00 %

(2) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 10 มก./ล. : ปิเปตสารละลาย มาตรฐานโครเมียม (Cr) 100 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับ ปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(3) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 0.10, 0.20, 0.50 มก./ล. : ปิเปต สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 10 มก./ล. ปริมาตร 1, 2 และ 5 มล. ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มล. อย่างละ 1 ใบ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ความเข้มข้น 0.10, 0.20 และ 0.50 มก./ล. ตามลำดับ

(4) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 1.00, 2.00 มก./ล. : ปิเปต สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 100 มก./ล. ปริมาตร 1 และ 2 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด

100 มล. อย่างละ 1 ใบ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ความเข้มข้น 1.00, 2.00 มก./ล. ตามลำดับ

การเตรียมแบล็งค์ (Blank) วิเคราะห์โครเมียม

(1) ปิเปตกรดไนตริก 1% สำหรับตัวอย่างน้ำเสียและน้ำสกัดสาร และใช้น้ำกลั่นสำหรับตัวอย่างกากตะกอน จำนวน 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ลงจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. ไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใสในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยกรดไนตริก 1% แล้วนำไปวัดปริมาณโครเมียมโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

การเตรียมตัวอย่างสไปค์ (Spike Sample) วิเคราะห์โครเมียม

(1) เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 100 มก./ล.: ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) 1000 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1.00%

(2) ตัวอย่างสไปค์ (Spiked sample) ความเข้มข้น 1.00 มก./ล.: ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ความเข้มข้น 100 มก./ล. ปริมาตร 1 มล. ลงในตัวอย่าง 100 มล.

(3) นำไปเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างน้ำสกัด

การเตรียมตัวอย่างน้ำสกัดในการวิเคราะห์โครเมียม

(1) ผสมตัวอย่างน้ำสกัดให้เข้ากัน ปิเปตตัวอย่างน้ำ 100 มล. ใสในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริก 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริก 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระวังอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ยกออกจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% นำไปวัดปริมาณครีเมียมโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

5) การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ตะกั่ว

การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมจากสารละลายมาตรฐานของตะกั่ว 1000 มก./ล. ที่ความเข้มข้น 0.20, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00 มก./ล.

(1) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 100 มก./ล.: ปิเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 1000 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(2) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 10 มก./ล.: ปิเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 100 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(3) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 0.20, 0.50 มก./ล.: ปิเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 10 มก./ล. ปริมาตร 2 และ 5 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. อย่างละ 1 ใบ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 0.20 และ 0.50 มก./ล. ตามลำดับ

(4) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 1.00, 2.00, 4.00 มก./ล.: ปิเปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 100 มก./ล. ปริมาตร 1, 2 และ 4 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. อย่างละ 1 ใบ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 1.00, 2.00, 4.00 มก./ล. ตามลำดับ

การเตรียมแบล็งค์ (Blank) วิเคราะห์ตะกั่ว

(1) ปิเปิดกรดไนตริก 1% สำหรับตัวอย่างน้ำสกัด และใช้น้ำกลั่นสำหรับตัวอย่างกากตะกอน จำนวน 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระงับอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกลงจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระงับอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ยกลงจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มล. ด้วยกรดไนตริก 1% นำไปวัดปริมาณตะกั่วโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

การเตรียมตัวอย่างสไปค์ (Spike Sample) วิเคราะห์ตะกั่ว

(1) เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 100 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) 1000 มก./ล. ปริมาตร 10 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

(2) ตัวอย่างสไปค์ (Spiked sample) ความเข้มข้น 2.00 มก./ล. : ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 100 มก./ล. ปริมาตร 2 มล. ลงในตัวอย่าง 100 มล.

(3) นำไปเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนการเตรียมน้ำสกัด

การเตรียมตัวอย่างน้ำสกัดในการวิเคราะห์ตะกั่ว

(1) ผสมตัวอย่างน้ำสกัดให้เข้ากัน ปิเปตตัวอย่างน้ำ 100 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

(2) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อน ระงับอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 5 มล. ยกลงจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้ร้อนระงับอย่าให้เดือด จนเหลือปริมาตรประมาณ 3 มล. ยกลงจากเตาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (หากการย่อยไม่สมบูรณ์ ให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าให้สารละลายใส ไม่มีตะกอน หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น)

(4) เติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) 10 มล. นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ใสลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1% นำไปวัดปริมาณตะกั่วโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (AAS)

4.2 การทดลอง

4.2.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

นำก้อนหล่อแข็งอัตราส่วนต่างๆ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 5.0 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้จากข้อ 4.1.5 ไปทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบรับแรงอัด โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำก้อนหล่อแข็งวางบนแท่นของเครื่องมือบริเวณกึ่งกลางของก้อน
- 2) กดน้ำหนักลงบนก้อนหล่อแข็ง โดยใช้อัตราการเพิ่มน้ำหนักคงที่ 20 ± 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
- 3) อ่านค่าน้ำหนักที่กดลงสู่ก้อนหล่อแข็งที่ตำแหน่งเข็มแสดงค่าสูงสุดที่ค้างอยู่บริเวณหน้าปัดแสดงผลของเครื่องทดสอบรับแรงอัด
- 4) บันทึกผลน้ำหนักของแรงกดสูงสุดที่อ่านได้
- 5) นำผลของน้ำหนักที่อ่านค่าได้คำนวณความสามารถในการรับแรงอัดดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการรับแรงอัด} = \frac{\text{น้ำหนักที่ลดลง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

หน่วยที่ใช้แสดงผล คือ กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร

ในการทดสอบจะทำซ้ำ 3 ตัวอย่างของแต่ละอัตราส่วน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการทดลอง

4.2.2 การทดสอบความเข้มข้นทั้งหมดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งหมดของสารโลหะหนัก ที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำลอยลิกไนต์และกากตะกอนสังกะสี (สารละลายที่เตรียมไว้จากข้อ 4.1.4) และน้ำสกัดของก้อนหล่อแข็งอัตราส่วนต่างๆ ที่เตรียมไว้จากข้อ 4.1.6 ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีองค์ประกอบหลักคือ สังกะสี (Zn), โครเมียม (Cr) และ ตะกั่ว (Pb) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS) รุ่น NovAA 300

ในการวิเคราะห์จะทำซ้ำ 3 ตัวอย่างของแต่ละอัตราส่วน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการทดลอง

1) การวิเคราะห์สังกะสี

วัดค่าปริมาณสังกะสี (Zn) โดยเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS) รุ่น NovAA 300

- (1) เปิดเครื่อง
- (2) สร้างกราฟมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.00 มก./ล. ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร

(3) วัดค่าปริมาณสังกะสีจากกราฟมาตรฐาน โดยเรียงลำดับในแต่ละชุด (Batch) ตัวอย่าง ดังนี้

- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) มีขั้นตอนการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน
- แบล็งค์ (Blank)
- ตัวอย่าง (Sample) และการทำซ้ำ (Duplicate sample) จำนวนไม่เกิน 10 ตัวอย่าง กรณีเกิน 10 ตัวอย่าง ให้นำไปวัดในรอบการวัดข้อ 3.1 – 3.5 รอบต่อไป
- ตัวอย่างสปีก์ (Spiked sample)
- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) (สารตัวเดียวกับที่วัดเริ่มต้น) หลังจากการวัดค่าสารละลายมาตรฐานลำดับสุดท้าย ให้ล้างท่อ (Tubing capillary) ด้วยกรดไนตริก 1% ประมาณ 50 มล. ตามด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 – 100 มล.

2) การวิเคราะห์โครเมียม

วัดค่าปริมาณโครเมียม (Cr) โดยเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS) รุ่น NovAA 300

- (1) เปิดเครื่อง
- (2) สร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50, 1.00, 2.00 มก./ล. ที่ความยาวคลื่น 357.9 นาโนเมตร

(3) วัดค่าปริมาณโครเมียมจากกราฟมาตรฐาน โดยเรียงลำดับในแต่ละชุด (Batch) ตัวอย่าง ดังนี้

- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) มีขั้นตอนการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน
- แบล็งค์ (Blank)

- ตัวอย่าง (Sample) และการทำซ้ำ (Duplicate sample) จำนวนไม่เกิน 10 ตัวอย่าง กรณีเกิน 10 ตัวอย่าง ให้นำไปวัดในรอบการวัดข้อ 3.1 – 3.5 รอบต่อไป

- ตัวอย่างสปีก (Spiked sample)

- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) (สารตัวเดียวกับที่วัดเริ่มต้น) หลังจากการวัดค่าสารละลายมาตรฐานลำดับสุดท้าย ให้ล้างท่อ (Tubing capillary) ด้วยกรดไนตริก 1% ประมาณ 50 ml ตามด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 – 100 มล.

3) การวิเคราะห์ตะกั่ว

วัดค่าปริมาณตะกั่ว (Pb) โดยเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer ; AAS) รุ่น NovAA 300

(1) เปิดเครื่อง

(2) สร้างกราฟมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ที่ความเข้มข้น 0.20, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00 มก./ล. ที่ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร

(3) วัดหาปริมาณตะกั่วจากกราฟมาตรฐาน โดยเรียงลำดับในแต่ละชุด (Batch) ตัวอย่าง ดังนี้

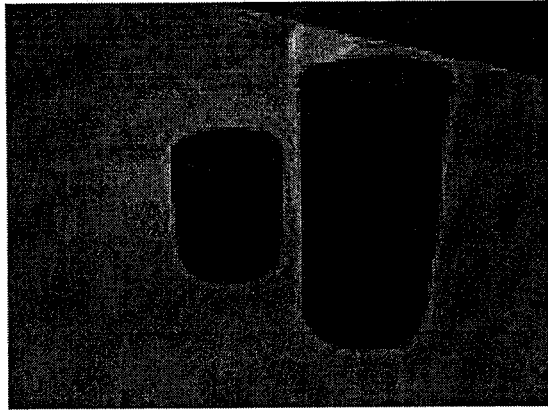
- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) มีขั้นตอนการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

- แบล็งค์ (Blank)

- ตัวอย่าง (Sample) และการทำซ้ำ (Duplicate sample) จำนวนไม่เกิน 10 ตัวอย่าง กรณีเกิน 10 ตัวอย่าง ให้นำไปวัดในรอบการวัดข้อ 3.1 – 3.5 รอบต่อไป

- ตัวอย่างสปีก (Spiked sample)

- สารละลายมาตรฐานสำหรับการตรวจเช็ค (Standard check) (สารตัวเดียวกับที่วัดเริ่มต้น) หลังจากการวัดค่าสารละลายมาตรฐานลำดับสุดท้าย ให้ล้างท่อ (Tubing capillary) ด้วยกรดไนตริก 1% ประมาณ 50 ml ตามด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 – 100 มล.



ภาพที่ 3.7 แสดงก้อนหล่อแข็งสำหรับการทดสอบความสามารถ
ในการรับแรงอัดและเก็บกัก โลหะหนัก

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การหล่อแข็งในงานวิจัยนี้เป็นการนำกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะมาทำการหล่อแข็งโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน 10% 20% และ 30% โดยน้ำหนักและใช้กากตะกอนสังกะสี ในอัตราส่วน 10% 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ทำการบ่มในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ 3, 7 และ 14 วันตามลำดับ จากนั้นจึงนำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก โดยมีวิธีการทดลอง วิธีการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนสังกะสี

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนสังกะสีจากโรง

องค์ประกอบ	
สี	น้ำตาล
พีเอช	6.17
ปริมาณของแข็ง (%)	87.64
ปริมาณความชื้น (%)	12.36

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนสังกะสี พบว่า มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ค่าพีเอช เท่ากับ 6.17 มีปริมาณของแข็ง เท่ากับ 87.64% และมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 12.36%

2. ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำลอยลิกไนต์

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำลอยลิกไนต์

โลหะหนัก	ปริมาณ (มก/กก. ของน้ำหนักแห้ง)	ค่ามาตรฐาน (มก/กก.)
สังกะสี (Zn)	16.76	5,000
โครเมียม (Cr ⁺⁶)	< 0.05	500
ตะกั่ว (Pb)	< 0.10	1,000

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในถ้ำลอยลิกไนต์ พบว่ามีปริมาณสังกะสี โครเมียม และ ตะกั่ว เท่ากับ 16.76, น้อยกว่า 0.05, และน้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

3. ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนสังกะสี

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนสังกะสี

โลหะหนัก	ปริมาณ (มก. /กก. ของน้ำหนักแห้ง)
สังกะสี (Zn)	172,080
โครเมียม (Cr ⁺⁶)	46,925
ตะกั่ว (Pb)	1,860

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในกากตะกอนสังกะสี พบว่ามีปริมาณสังกะสี โครเมียม และ ตะกั่ว เท่ากับ 172,080, 46,925 และ 1,860 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4. การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

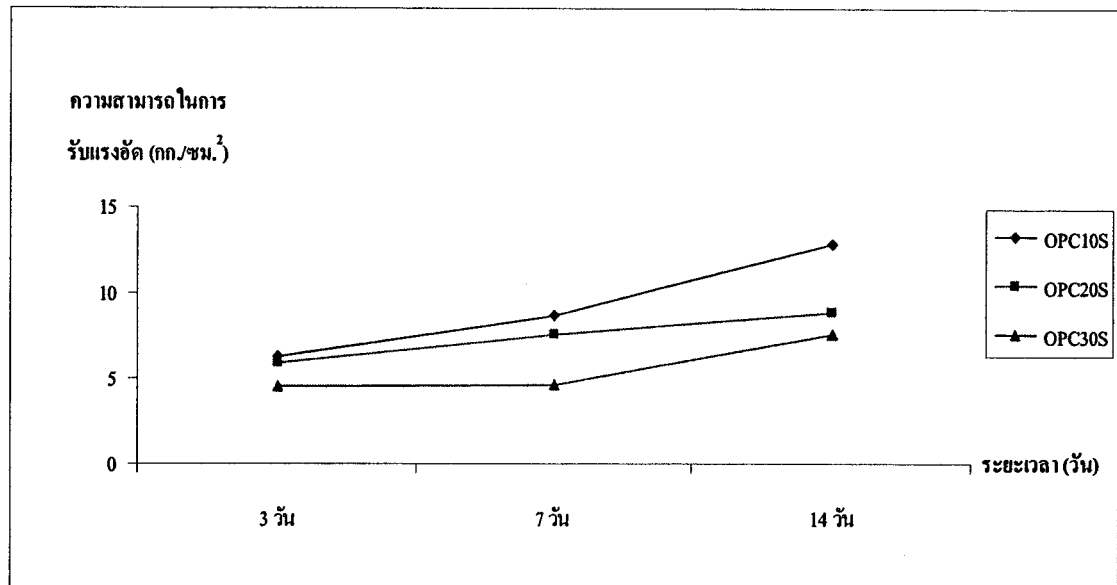
ตัวอย่าง	ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด (กก./ซม. ²)			ค่ามาตรฐาน (กก./ซม. ²)
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	
OPC	125.66	211.80	246.63	3.5
OPC10S	6.34	8.74	12.86	3.5
OPC20S	5.97	7.62	8.92	3.5
OPC30S	4.58	4.63	7.62	3.5
OPC10FA10S	5.34	8.94	11.96	3.5
OPC10FA20S	5.21	7.45	9.10	3.5
OPC10FA30S	4.98	4.58	10.18	3.5
OPC20FA10S	4.67	8.52	13.22	3.5
OPC20FA20S	4.12	8.14	9.01	3.5
OPC20FA30S	4.45	4.12	8.95	3.5
OPC30FA10S	3.62	7.18	13.19	3.5
OPC30FA20S	4.21	5.67	7.64	3.5
OPC30FA30S	2.88	3.56	6.72	3.5

สรุปผลการทดสอบ ได้ดังนี้

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดที่มีระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 125.66, 211.80 และ 246.63 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝั้กกลบอย่างปลอดภัย ของ US.EPA พบว่า ได้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดเท่ากับ 6.34, 5.97 และ 4.58 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 14 วัน ค่าความสามารถในการรับแรงอัด เพิ่มขึ้นเป็น 8.74, 7.62, 4.63 และ 12.84, 8.92, 7.62 กิโลกรัม

ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.1) ซึ่งได้ต่ำกว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการแทรกสอด (Interference) ของโลหะหนักทำให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของปูนซีเมนต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่างปลอดภัย ของ US.EPA พบว่า ได้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม



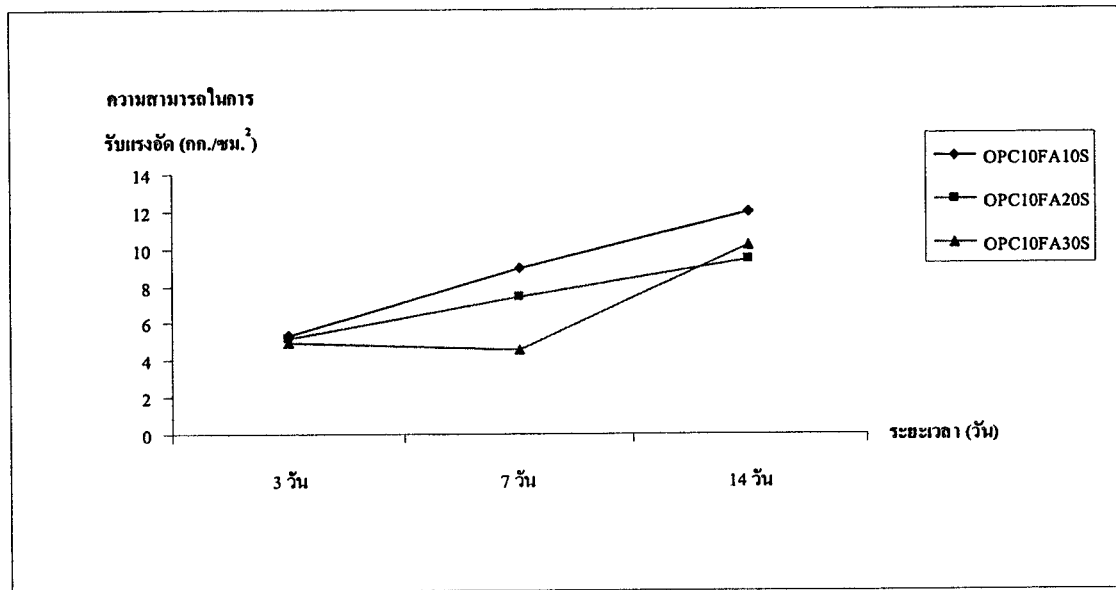
ภาพที่ 4.1 แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ 0% โดยน้ำหนัก และกากตะกอนสังกะสี

OPC10S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก

OPC20S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก

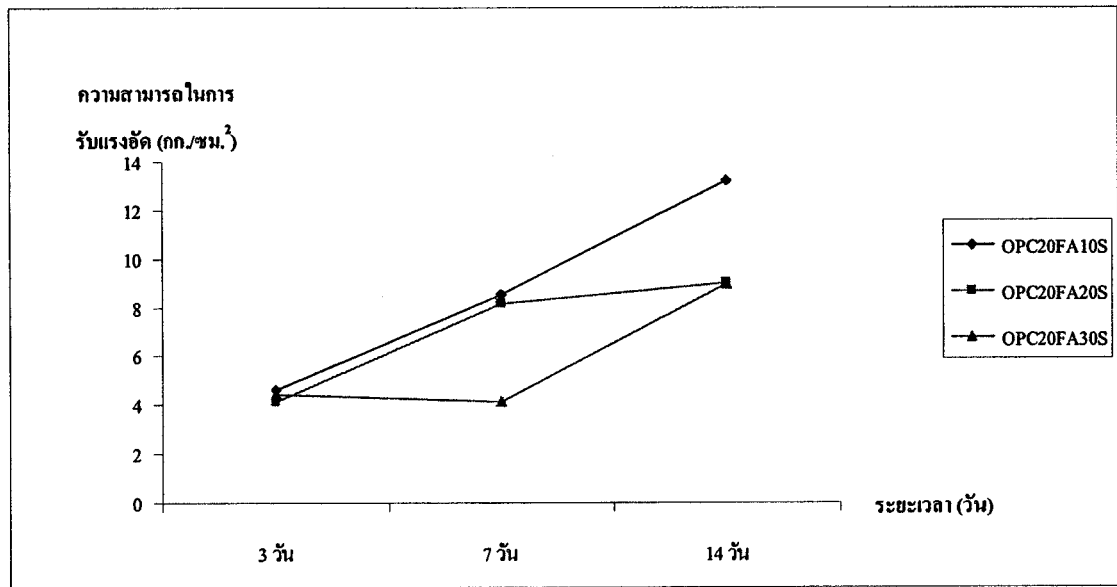
OPC30S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดเท่ากับ 5.34, 5.21 และ 4.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน และ 14 วัน ค่าความสามารถในการรับแรงอัด เพิ่มขึ้นเป็น 8.94, 7.45, 4.58 และ 11.96, 9.10, 10.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.2) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่างปลอดภัย ของ US.EPA พบว่า ได้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม



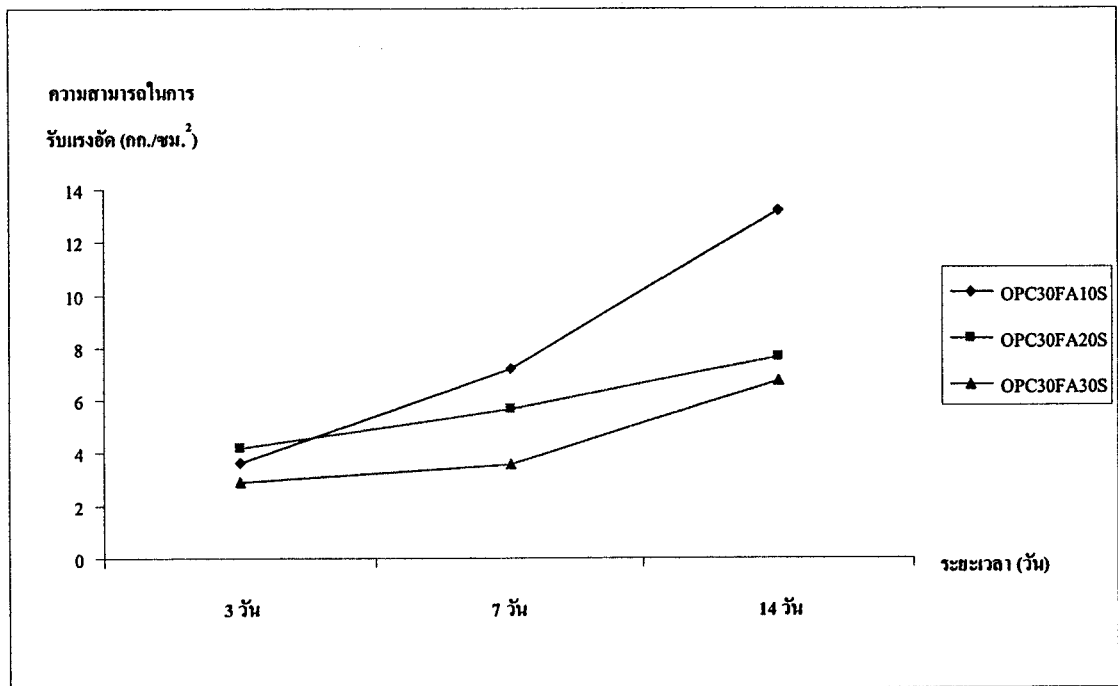
ภาพที่ 4.2 แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ 10% โดยน้ำหนัก และกากตะกอนสังกะสี
 OPC10FA10S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก
 OPC10FA 20S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 20% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก
 OPC10FA 30S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 30% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก
 และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก พบว่า จะให้ค่า
 ความสามารถในการรับแรงอัดเท่ากับ 4.67, 4.12 และ 4.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ
 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน และ 14 วัน ค่า
 ความสามารถในการรับแรงอัด เพิ่มขึ้นเป็น 8.52, 8.14, 4.12 และ 13.22, 9.01, 8.95 กิโลกรัมต่อ
 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.3) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่าง
 ปลอดภัย ของ US.EPA พบว่า ได้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม



ภาพที่ 4.3 แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ 20% โดยน้ำหนัก และกากตะกอนสังกะสี
 OPC20FA10S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก
 OPC20FA 20S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 20% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก
 OPC20FA 30S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 30% โดยน้ำหนักและ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก
 และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า จะให้ค่า
 ความสามารถในการรับแรงอัดเท่ากับ 3.62, 4.21 และ 2.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ
 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 7 วัน และ 14 วัน ค่า
 ความสามารถในการรับแรงอัด เพิ่มขึ้นเป็น 7.18, 5.67, 3.56 และ 13.19, 7.64, 6.72 กิโลกรัมต่อ
 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่าง
 ปลอดภัย ของ US.EPA พบว่า ได้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม ยกเว้น
 ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสี 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30%
 โดยน้ำหนัก เพียงชุดเดียวที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด



ภาพที่ 4.4 แสดงก้อนหล่อแข็งที่มีเส้นลอยลิกไนต์ 30% โดยน้ำหนัก และกากตะกอนสังกะสี

OPC30FA10S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10% โดยน้ำหนักและแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเส้นลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก

OPC30FA 20S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 20% โดยน้ำหนักและแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเส้นลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก

OPC30FA 30S = ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 30% โดยน้ำหนักและแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเส้นลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งทุกอัตราส่วนมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ยกเว้น ในอัตราส่วนที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเส้นลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน

5. การทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

จากตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก ได้ดังนี้ สำหรับก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 14 วัน เท่ากับ น้อยกว่า 0.01, น้อยกว่า 0.01 และ น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.24, 1.84, 2.58, 0.41, 0.55, 0.85, 0.14, 0.68 และ 0.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.42, 2.38, 2.74, 0.25, 0.44, 0.70, 0.20, 0.29 และ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.86, 2.53, 3.05, 0.17, 0.55, 0.85, 0.09, 0.43 และ 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 2.38, 3.46, 3.76, 0.49, 0.56, 0.92, 0.32, 0.47 และ 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05 และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ น้อยกว่า 0.05, 0.98, 1.19, น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05, 0.99, น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05 และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.10, 1.10, 1.58, 0.06, 0.10, 0.12, น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05 และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝักรวมอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.20, 1.46, 1.64, 0.09, 0.14, 0.22, น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05 และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝึกลบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.32, 1.98, 1.75, 0.16, 0.23, 0.28, น้อยกว่า 0.05, น้อยกว่า 0.05 และ น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝึกลบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ ตะกั่ว (Pb) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10 และ น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝึกลบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ ตะกั่ว (Pb) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 0.36, 2.09, 2.83, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10 และ น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝึกลบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ ตะกั่ว (Pb) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 0.96, 2.68, 3.14, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10 และ น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝึกลบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ ตะกั่ว (Pb) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.13, 2.72, 3.57, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10 และ น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

สำหรับก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ ตะกั่ว (Pb) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 1.42, 2.91, 3.06, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10, น้อยกว่า 0.10 และ น้อยกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝังกบอย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่า ได้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก													
	สังกะสี (mg/L)			ค่ามาตรฐาน			โครเมียม (+6) (mg/L)			ค่ามาตรฐาน				
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน		
OPC	<0.01	<0.01	<0.01	250	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC10S	1.24	0.41	0.14	250	<0.05	<0.05	<0.05	0.36	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC20S	1.84	0.55	0.68	250	0.98	<0.05	<0.05	2.09	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC30S	2.58	0.85	0.64	250	1.19	0.99	<0.05	2.83	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC10FA10S	1.42	0.25	0.20	250	1.10	0.06	<0.05	0.96	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC10FA20S	2.38	0.44	0.29	250	1.34	0.10	<0.05	2.68	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC10FA30S	2.74	0.70	0.45	250	1.58	0.12	<0.05	3.14	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC20FA10S	1.86	0.17	0.09	250	1.20	0.09	<0.05	1.13	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC20FA20S	2.53	0.55	0.43	250	1.46	0.14	<0.05	2.72	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC20FA30S	3.05	0.85	0.66	250	1.64	0.22	<0.05	3.57	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC30FA10S	2.38	0.49	0.32	250	1.32	0.16	<0.05	1.42	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC30FA20S	3.46	0.56	0.47	250	1.98	0.23	<0.05	2.91	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5
OPC30FA30S	3.76	0.92	0.58	250	1.75	0.28	<0.05	3.06	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่อง “การหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์” โดยมีวัตถุประสงค์ของการในครั้งนี่คือ 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 2) เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็งที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3) เพื่อนำก้อนหล่อแข็งที่ผ่านการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถเก็บกักโลหะหนักแล้ว ฝังกลบที่หุ้มฝังกลบอย่างปลอดภัย เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในระดับ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ ใช้กากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ ในระดับ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก แล้วทำการหล่อแข็งในแบบหล่อทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 5.0 เซนติเมตร สำหรับทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็ง และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร สำหรับทดสอบหาความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง จากนั้นทำการบ่มที่ระยะเวลา 3, 7 และ 14 วัน เมื่อบ่มก้อนหล่อแข็งตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ US.EPA และ ทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด สรุปผลได้ดังนี้

ก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ของ US.EPA ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า

ความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ของ US.EPA ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ของ US.EPA ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ของ US.EPA ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ของ US.EPA ทุกระยะเวลาในการบ่ม ยกเว้น ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสี 30% โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก เพียงชุดเดียวที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

การทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนัก สรุปผลได้ดังนี้

ก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุดควบคุม ทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวง

อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม
 ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถ
 ในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ
 พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวง
 อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถ
 ในการเก็บกักโลหะหนักของ สังกะสี (Zn) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ
 พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวง
 อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้กากตะกอนร่วมด้วย เพื่อเป็นชุด
 ควบคุม ทดสอบความสามารถในการเก็บกัก โลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม
 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์
 มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.
 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ทดสอบ
 ความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน
 ผลการทดสอบ พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศ
 กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาใน
 การบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถ
 ในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ
 พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวง
 อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม

ก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอนสังกะสีปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และ
 แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ทดสอบความสามารถ
 ในการเก็บกักโลหะหนักของ โครเมียม (Cr^{+6}) ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3, 7 และ 14 วัน ผลการทดสอบ
 พบว่า ค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวง

อุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ทุกระยะเวลาในการบ่ม สามารถนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ในการหล่อแข็ง กากตะกอนสังกะสีจาก โรงชุบ โลหะได้ โดยผลการทดสอบทั้งความสามารถในการรับแรงอัดและ ความสามารถเก็บกัก โลหะหนักของก้อนหล่อแข็ง เป็นไปตามมาตรฐาน สามารถนำก้อนหล่อแข็ง ไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย

เมื่อพิจารณาจากเหตุผลในด้านต่างๆคือ ผลที่ได้จากการทดสอบ และในด้าน เศรษฐศาสตร์แล้ว จะเห็นว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสีจาก โรงชุบโลหะโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คือ อัตราส่วนที่ใช้เถ้าลอย ลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 30% โดยน้ำหนัก และมีกากตะกอนสังกะสี 20% โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสีจาก โรงชุบโลหะประกอบไป ด้วย ค่าใช้จ่ายในการหล่อแข็ง ค่าแรงงาน และค่าฝังกลบโดยเปรียบเทียบระหว่าง ไม่ใช้เถ้าลอย ลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสี

อัตราส่วน (%) ต่อ น้ำหนักกากตะกอน	ค่าใช้จ่ายในการหล่อแข็ง (บาท/ตัน)			ค่าฝังกลบ(d) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด (บาท/ตัน)
	ค่าสารเคมี (บาท/ตัน)		ค่าแรงงาน(c) (บาท/ตัน)		
	ปูนซีเมนต์(a)	เถ้าลอยลิกไนต์(b)			
ปูนซีเมนต์ 80%	2,096	-	209.6	450	2,755.6
ปูนซีเมนต์ 50% และ เถ้าลอยลิกไนต์ 30%	1,310	135	144.5	450	2,039.5

(a) = ปูนซีเมนต์ ราคาตันละ 2,620 บาท; (b) = เถ้าลอยลิกไนต์ ราคาตันละ 450 บาท

(c) = ค่าแรงงานที่ใช้ในการผสมร้อยละ 10 ของค่าสารเคมี

(d) = ค่าฝังกลบกากตะกอนสังกะสีที่ผ่านการหล่อแข็งแล้วของบริษัทฯ

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในหล่อแข็งกากตะกอนสังกะสี จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ จะสามารถลดต้นทุนในการบำบัดกากตะกอนได้ถึง 716.1 บาท/ตัน

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 จากผลการศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนสังกะสี พบว่า กากตะกอนมีปริมาณสังกะสีสูงถึง 172,080 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของน้ำหนักแห้ง นอกจากการกำจัดโดยวิธีการหล่อแข็งกากตะกอนด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แล้ว ควรพิจารณาทางเลือกอื่นในการจัดการกากตะกอนสังกะสีจากโรงชุบโลหะ เช่น การนำสังกะสีกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี

2.2 จากการศึกษาพบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ อัตราส่วนปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก และใช้กากตะกอนสังกะสี ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่มตั้งแต่ 3 วัน ขึ้นไป ทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ US.EPA และค่าความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้งานจริง กากตะกอนสังกะสีที่นำมาหล่อแข็งอาจใช้เวลาในการบ่มเพียง 3 วัน ก็สามารถนำไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยได้

2.3 ควรศึกษาการเปรียบเทียบการนำวัสดุปอซโซลานชนิดอื่นๆ เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์เพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมที่สุด

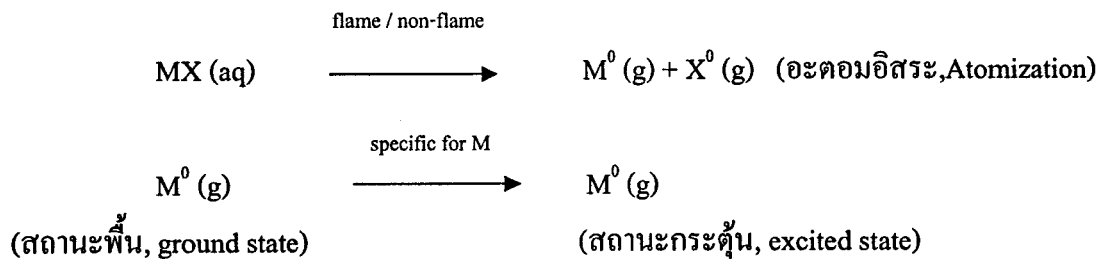
2.4 ควรศึกษาการนำก้อนหล่อแข็งที่ได้จากขบวนการการหล่อแข็ง มาใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น นำมาทำเป็นอิฐบล็อก หรือการใช้แทนวัสดุก่อสร้างบางประเภท

ภาคผนวก

หลักการของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(Atomic Absorption Spectrophotometer : AAS)

(มัลลิกา, 2549) โลหะหนักต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายจะถูกเผาด้วยความร้อนสูงจากระบบเปลวไฟ (Flame) หรือระบบที่ไม่ใช้เปลวไฟ (Non-flame) จนแตกตัว กลายเป็นอะตอมอิสระ (Atomization) และอะตอมอิสระเหล่านี้จะดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉพาะตัว ซึ่งพลังงานแสงที่ดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณอะตอมของโลหะหนักนั้นๆ โดยโลหะแต่ละชนิดจะดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นแตกต่างกัน



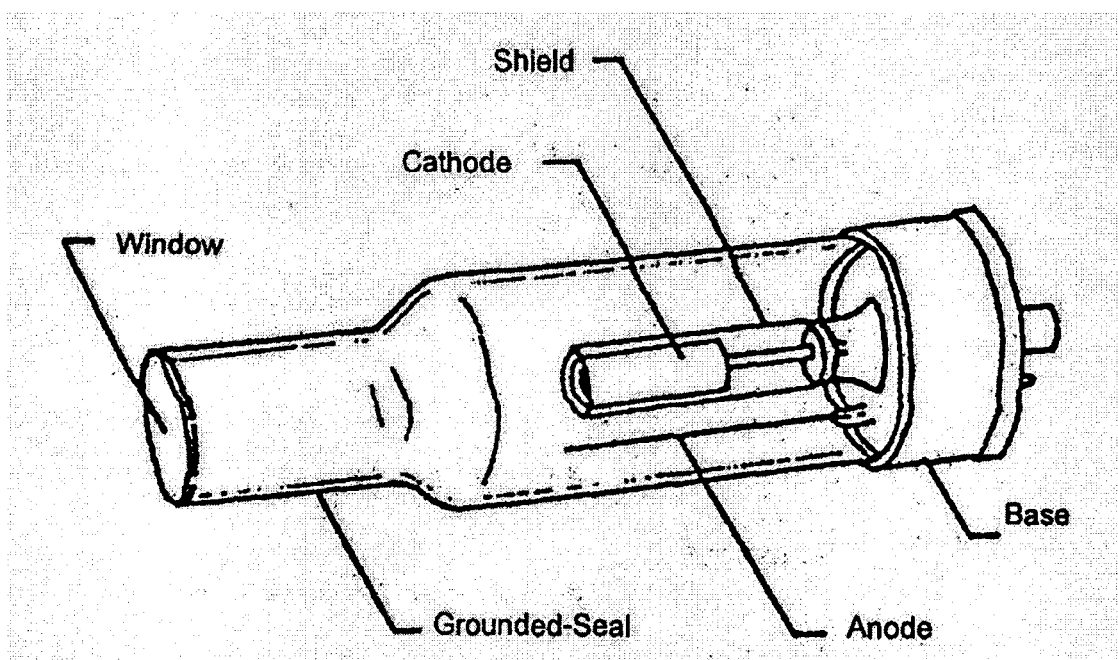
จากสมการข้างบน สิ่งสำคัญของการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ก็คือ

- 1) กระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ
- 2) พลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้เกิดอะตอมอิสระ ซึ่งอาจเป็นเปลวไฟหรือไม่ใช้เปลวไฟ
- 3) คลื่นแสงเฉพาะธาตุ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

- 1) แหล่งกำเนิดแสงเฉพาะธาตุ (Light source)

โดยทั่วไปนิยมใช้หลอดขอลโลแคโทด (Hallow Cathode Lamp, HCL) เพื่อให้แสงที่มีความเข้มสูง เมื่อใช้งานต้องอุ่นหลอด (warm up) เป็นเวลา 5 – 10 นาทีเสมอ เพื่อให้ได้แสงที่ออกมาคงที่



ภาพที่ ก-1 ลักษณะของหลอดซอลโลแคโทด (Halo Cathode Lamp, HCL)

ลักษณะของหลอดซอลโลแคโทดจะประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลวง ผนังด้านในฉาบด้วยโลหะ (หรือสารประกอบของโลหะ) ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยทั่วไปนิยมใช้โลหะหนึ่งชนิดต่อตัวหลอดซอลโลแคโทด 1 หลอด

2) อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (Atomizer)

การวิเคราะห์ด้วยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) จะประสบความสำเร็จอย่างดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณอะตอมอิสระ (Free Atom) ของธาตุที่ทำให้เกิดขึ้น ดังนั้น ความสำคัญจึงอยู่ที่ทำอะไรจึงจะทำให้ธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แตกตัวเป็นอะตอมอิสระได้มากๆ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

2.1) กระบวนการที่ทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization Process) สำหรับกระบวนการนี้สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ สามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

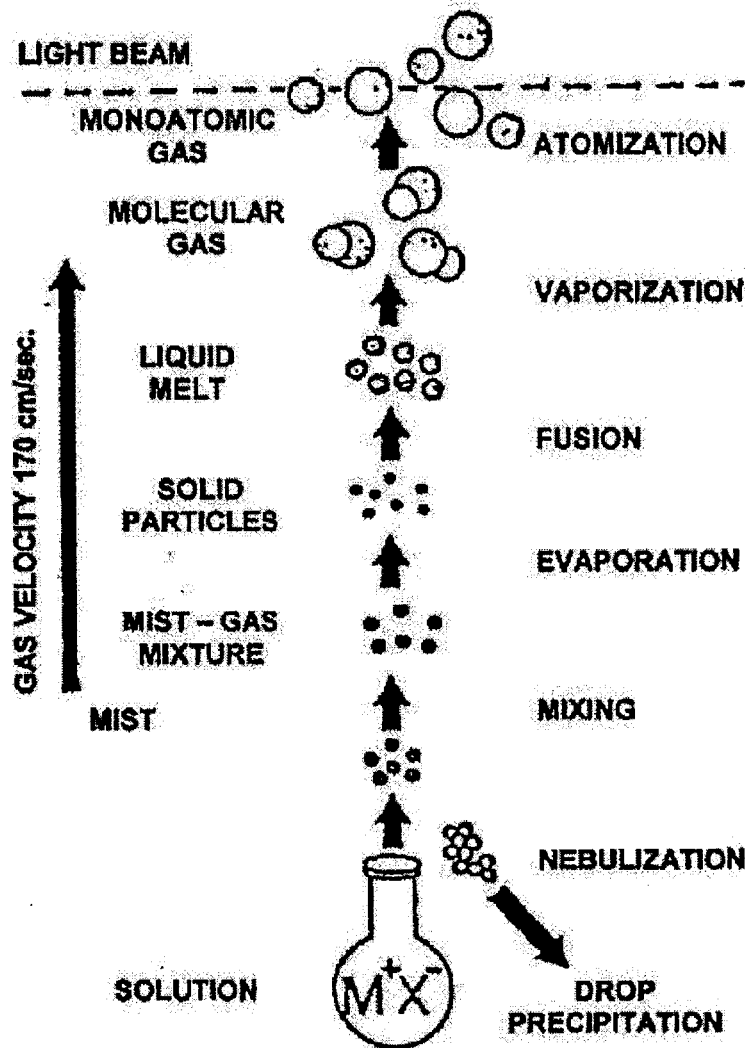
2.1.1) กระบวนการเปลี่ยนแปลงของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ (Nebulization) ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าทอสเปร์ย์ (Nebulizer)

2.1.2) กระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายขนาดใหญ่ (Droplet Precipitation) โดยไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (Drain)

2.1.3) กระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายเกิดผสมกับเชื้อเพลิงและออกซิเจน (Mixing) ในห้องฉีดพ่นละอองฝอย (Spray Chamber) ของท่อสเปร์ย์ (Nebulizer)

2.1.4) กระบวนการที่ตัวทำละลาย ซึ่งอยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ (Desolvation) กระบวนการนี้เกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

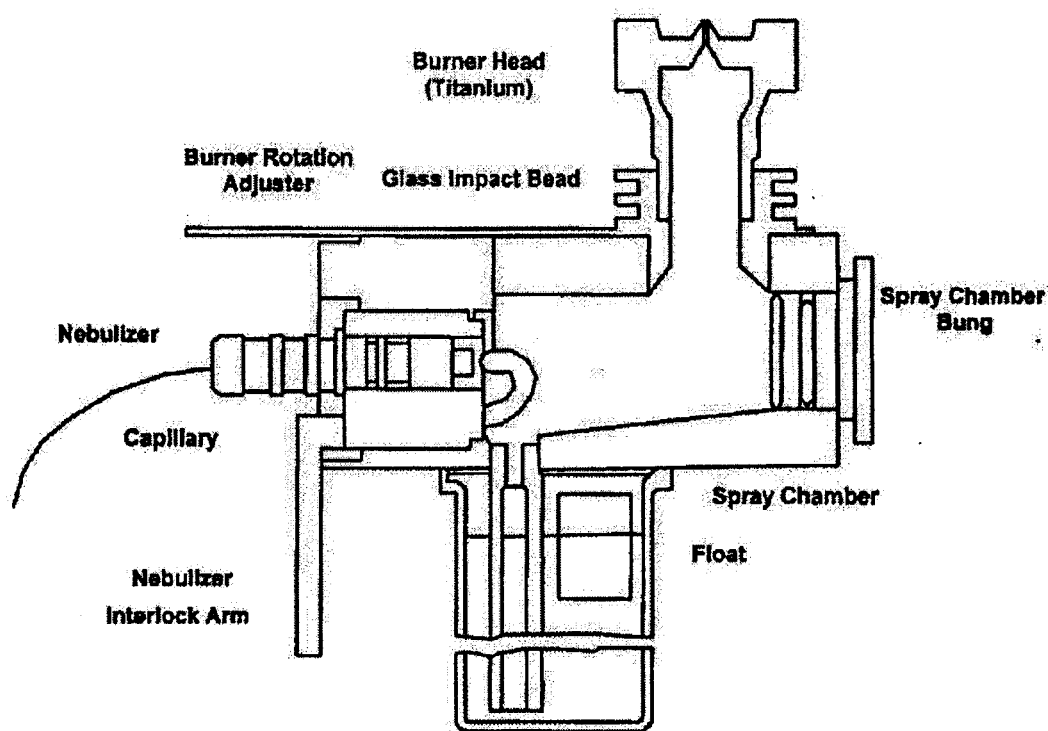
2.1.5) กระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (Compound Decomposition)



ภาพที่ ก-2 กระบวนการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ

โดยทั่วไปเมื่อเวลาใช้เครื่อง ก๊าซที่เป็นเชื้อเพลิงและออกซิเจนที่จะไหลผ่านเข้าไปในท่อสเปร์ย์ (Nebulizer) ไปออกตรงปลาย ซึ่งเป็นท่อเล็กๆ ทำให้ความดันลดลง เป็นผลให้สารละลายถูกดูดเข้าไปด้วยอัตราเร็วระหว่าง 1 - 4 มล./นาที จากนั้นสารละลายถูกกระแทกด้วยอากาศจนแตก

กระจายเป็นละอองเล็กๆ เรียกว่า แอโรซอล ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงไปชนแกลสบีส (Glass Bead) ใน ห้องฉีดพ่นละอองฝอย (Spray Chamber) ทำให้หยดสารละลายขนาดใหญ่แตกกระจาย เป็นละอองขนาดเล็กอย่างสม่ำเสมอ โดยละอองเล็กๆ เหล่านี้จะไปผสมกับเชื้อเพลิงและออกซิเจนใน ห้องฉีดพ่นละอองฝอย (Spray Chamber) แล้วไหลเข้าไปยังเปลวไฟ ความร้อนจากเปลวไฟกำจัด ตัวทำละลายออกไปทำให้สารที่จะวิเคราะห์ห้อยู่ในสถานะที่แห้งและเป็นก๊าซซึ่งจะสลายตัวเป็น อะตอมอิสระของธาตุ



ภาพที่ ก-3 แสดงท่อหัวฉีด (Nebulizer Spray Chamber)

ในการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) นั้น การเลือกใช้เตาเผา (Burner) และชนิดของเปลวไฟเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเตาเผาแต่ละแบบมีการใช้งานแตกต่างกันออกไป เช่น เตาเผาที่ใช้กับอากาศ/ก๊าซอะเซทิลีน (Air/Acetylene) หรือก๊าซไนตรัสออกไซด์/ก๊าซอะเซทิลีน (Nitrous Oxide/Acetylene) เป็นต้น ส่วนชนิดของเปลวไฟก็มีด้วยกันหลายชนิด การเลือกเปลวไฟในการทำให้เกิดอะตอมอิสระ ต้องเลือกให้เหมาะสม เพราะเปลวไฟแต่ละชนิดให้อุณหภูมิสูงต่ำแตกต่างกันคือ

เปลวไฟที่เกิดจากอากาศกับก๊าซอะเซทิลีน (Air/Acetylene Flame) เป็นเปลวไฟที่ใช้กันมาก ให้อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 2,300°ซ และใช้ในวิเคราะห์ธาตุได้ประมาณ 30 ธาตุ

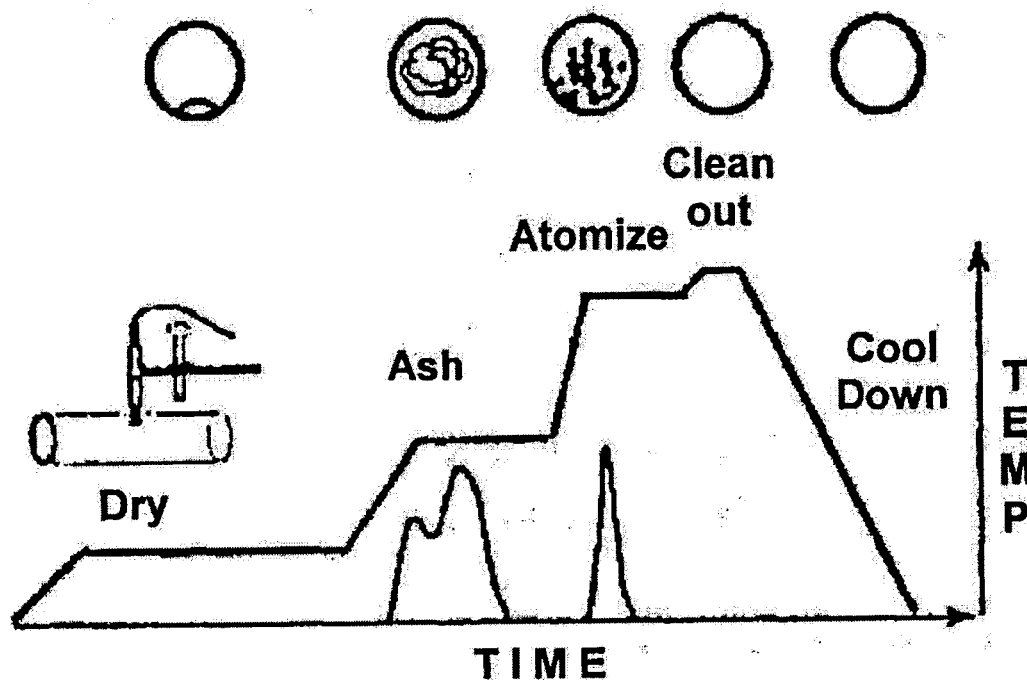
เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซไนตรัสออกไซด์กับก๊าซอะเซทิลีน (Nitrous Oxide/Acetylene Flame) ให้อุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุดประมาณ $3,000^{\circ}\text{C}$ เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ธาตุที่เสถียรภาพมาก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น

2.2) กระบวนการที่ทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า กระบวนการนี้เกิดขึ้นจากการให้พลังงานความร้อนแก่ ท่อกราฟไฟต์ (Graphite Tube) ซึ่งความร้อนจะทำให้ตัวทำละลายหรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างระเหยออกไป เหลือไว้เฉพาะธาตุที่เราสนใจ โดยกระบวนการเกิดอะตอมอิสระแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนที่สามารถโปรแกรมทั้งอุณหภูมิและเวลา คือ

2.2.1) ขั้นทำให้แห้ง (Drying Stage) เป็นขั้นตอนที่สารตัวอย่างจะค่อยๆ ถูกความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายให้ออกไปก่อน โดยปกติใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C

2.2.2) ขั้นเผาให้เป็นเถ้า (Ashing Stage) เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้นอาจถึง $1,500^{\circ}\text{C}$ เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกไปจากสารตัวอย่าง เหลือแต่เฉพาะสารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น

2.2.3) ขั้นทำให้เกิดเป็นอะตอม (Atomization Stage) เป็นขั้นตอนของสารที่เหลืออยู่ ถูกเผาที่อุณหภูมิอาจถึง $3,000^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้สลายเกิดอะตอมอิสระขึ้นในช่องทางที่แสงผ่าน ซึ่งวัดสัญญาณการดูดกลืนแสงได้ออกมาเป็นพีกแหลม (Sharp Peak) และความสูงของพีกจะแปรผันตรงกับปริมาณของธาตุในสารละลายตัวอย่างนั้น



ภาพที่ ก-4 แสดงขั้นการให้ความร้อนด้วยเฟอร์เนส (Furnace Thermal Stages)

3) อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น (Wavelength Selector)

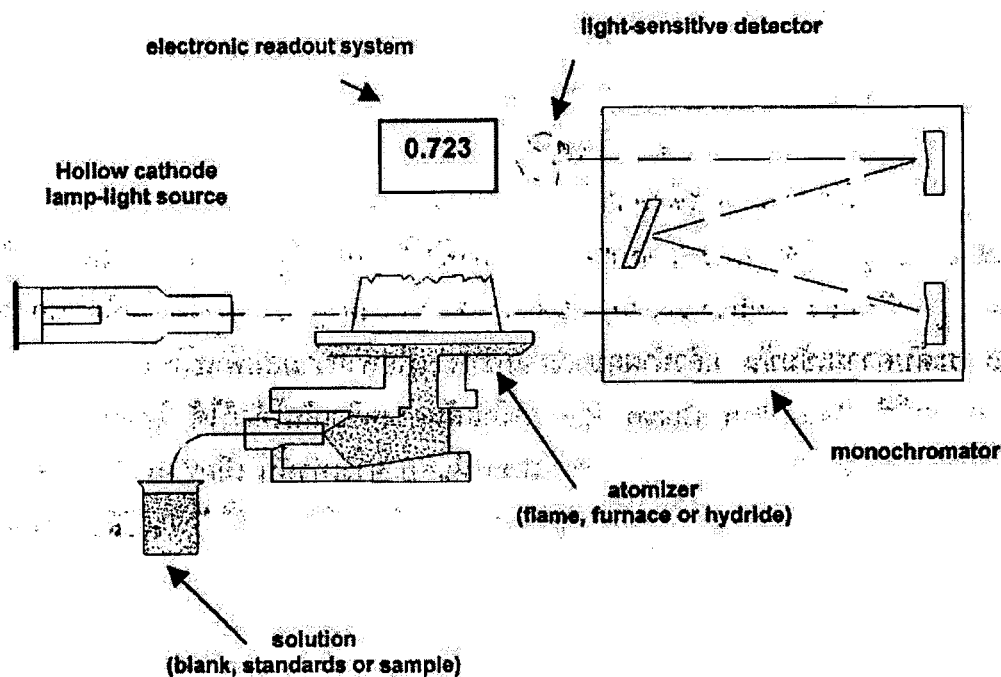
มักใช้กับเครื่องมือที่เรียกว่า โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) ซึ่งมีความสามารถในการแยกความยาวคลื่น ระหว่างเส้นสเปกตรัม Non-absorbing Line กับเส้นสเปกตรัม Analytical Line ของธาตุส่วนใหญ่ได้ โดยการวิเคราะห์ธาตุแต่ละธาตุนั้น ต้องการความสามารถในการแยกของ โมโนโครเมเตอร์ที่ต่างกันด้วย

4) เครื่องวัดความเข้มแสง (Detector)

เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความเข้มของรังสีให้เป็นค่าทางไฟฟ้า

5) ระบบประมวลผลข้อมูล

ในปัจจุบันเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) โดยทั่วไปจะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ควบคุมการทำงานและให้ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อคอยให้ความช่วยเหลือ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เก็บข้อมูล คำนวณผล และพิมพ์รายงานผลให้อีกด้วย ซึ่งนับสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นในการวิเคราะห์



ภาพที่ ก-5 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

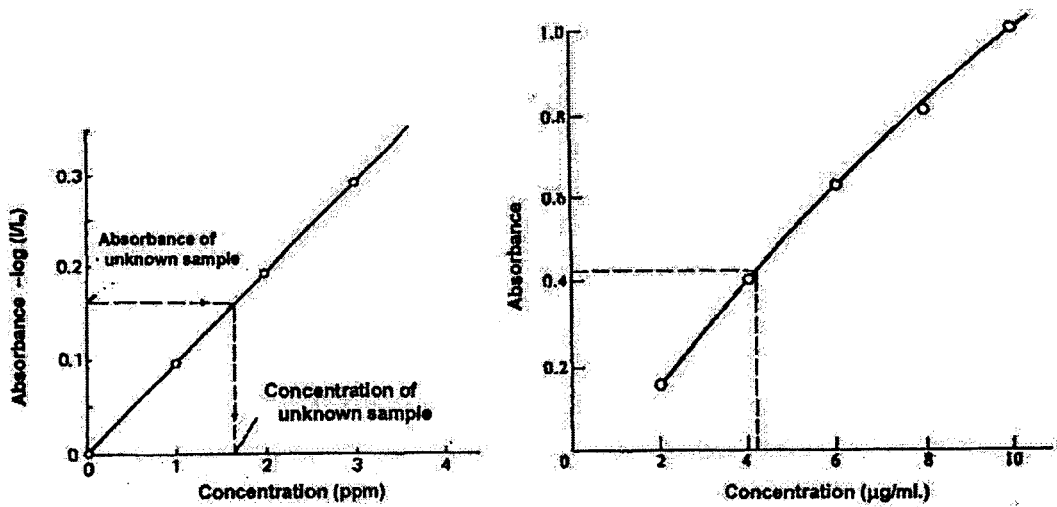
เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

1. เฟลม อะตอมไมเซชัน เทคนิค (Flame Atomization Technique) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟที่เหมาะสม
2. นอน-เฟลม อะตอมไมเซชัน เทคนิค (Non-Flame Atomization Technique) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆ กันและใช้เวลาต่างๆ กันได้
3. ไฮไดรด์ เจเนอเรชัน เทคนิค (Hydride Generation Technique) เนื่องจากมีธาตุบางชนิดไม่สามารถเปลี่ยนให้เป็นอะตอมได้โดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 จำเป็นต้องวิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจน ของธาตุเหล่านี้ ดังนั้นเทคนิคนี้จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เห็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์ผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน (H_2) ซึ่งความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจน (H_2) จะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุสารหนู ซีลีเนียม เป็นต้น
4. โคลด์ เวปอร์ เจเนอเรชัน เทคนิค (Cold Vapor Generation Technique) เทคนิคนี้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ธาตุที่สามารถเปลี่ยนให้กลายเป็นไอได้ง่ายๆ เช่น การวิเคราะห์หาลปรอท

การทำปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1. วิธีการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Calibration Method)

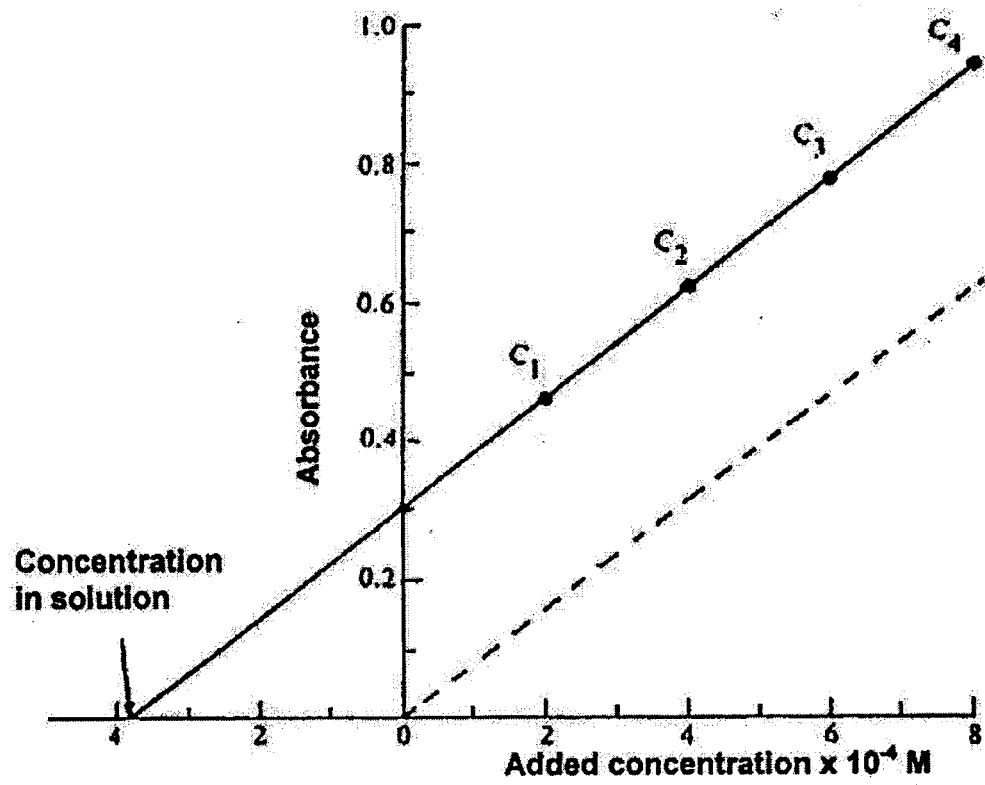
ใช้ในกรณีที่สารตัวอย่างไม่ค่อยมีสารแทรกสอด (Interference) วิเคราะห์โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว โดยปรับสัญญาณแบลิ่งค์ (Blank) ให้มีค่าเป็นศูนย์ แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสง ของสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันประมาณ 4 – 5 ระดับความเข้มข้น แล้วนำผลมาเขียนกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน จะได้กราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ซึ่งอาจเห็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งก็ได้ โดยสิ่งสำคัญต้องไม่ลืมว่ากราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ที่ได้นั้นจะใช้ได้กับการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ครั้งใหม่จะต้องทำกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ใหม่ด้วยทุกครั้ง ทั้งนี้เพราะพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้



ภาพที่ ก-6 การหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยวิธีการใช้กราฟมาตรฐาน
(Calibration Curve)

2. วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Stand Addition Method)

เป็นวิธีแก้ปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบของเมทริกซ์ (Matrix) และการแทรกสอดในสารตัวอย่าง โดยเติมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันลงไป ด้วยปริมาณเท่ากัน และนำสารละลายส่วนสุดท้ายมาเติมเฉพาะตัวทำละลายให้มีปริมาณเท่ากันทั้งหมด จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำมาเขียนกราฟ โดยที่แกนตั้ง (Y) เป็นค่าการดูดกลืนแสง ส่วนแกนนอน (X) เป็นระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไปในสารละลายตัวอย่าง และค่าที่จุดตัดของกราฟที่แกนนอน (X) จะเป็นความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง



ภาพที่ ก-7 การหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Stand Addition)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2548) “รายงานผลการวิเคราะห์ห้วงอวกาศประกอบทางเคมีของถ้ำ
ลอยลิกไนต์” (รายงานผลการวิเคราะห์)
- กรมควบคุมมลพิษ (2546) รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย กรุงเทพมหานคร สีห์
_____ (2547) รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย กรุงเทพมหานคร สีห์
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2548) ดำราระบบการจัดการมลพิษจากอุตสาหกรรม นนทบุรี
สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
- บุญยง โลหังศ์วัฒน์ (2536) หลักการบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบด้วยไฟฟ้า เอกสารประกอบการ
สัมมนา เรื่อง การกำจัดปัญหามลพิษจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ วันที่ 1-2 มิถุนายน
2536
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (2548)
(2549, 25 มกราคม) ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนพิเศษ 11 ง หน้า 14-19
- พจนีย์ ขุมมงคล, สิริรินทร์เทพ เต่าประยูร (2539) “การบำบัดโลหะหนักโดยวิธีการหล่อแข็ง”
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชูชัย เทียวประสงค์ 2539) “การหล่อแข็งจากตะกอนโครเมียมโดยใช้ซีเมนต์ผสมถ้ำลอย”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มัลลิกา ปัญญาอะโป (2549) การจัดการของเสียอันตราย กรุงเทพมหานคร ภาควิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- ชัชวาล เศรษฐบุตร (2539) คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพมหานคร วัสดุก่อสร้าง
- นฤมิตร กนิมาน (2537) “การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย COD ให้เป็นก้อน
ด้วยซีเมนต์และถ้ำลอยลิกไนต์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ (2541) “การนำของเสียซิลิกา-อลูมินา และปรอทซัลไฟด์มาทำเป็น
ก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ประภุต ฉัตรแสงอุทัย (2542) “การทำเสถียรกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วยปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์และ/หรือปูนขาว” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- นฤมล สราภักขยานิช (2543) “การหล่อแข็งกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่
ด้วยวัสดุประสาน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
การบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- ชนินทร์ เลิศคณาวณิชกุล (2545) “การหล่อแข็งกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิต
แบตเตอรี่ โดยใช้ฝุ่นทรายดำ และซีเมนต์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- นิตยา เรืองฤทธิ์ (2545) “การหล่อแข็งกากตะกอนโรงชุบโลหะโดยใช้ซีเมนต์และเถ้ากลบที่ไวต่อการทำ
ปฏิกิริยาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี
- ศิริภัทร์ นาคศรีชุ่ม (2545) “การหล่อแข็งกากตะกอนโรงชุบโลหะด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุยึดประสาน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี
- อานนท์ แก้วคง (2547) “การนำกากตะกอนจากบ่อดักตะกอนขั้นต้นของระบบบำบัดน้ำเสีย
โรงงานผลิตเมลานิน-ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์มาอัดเป็นบล็อกประสาน กรณีศึกษา บริษัท
ไทย เค เค อุตสาหกรรม จำกัด” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ แขนงวิชาสาธาณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
- อรรวรรณ มานูญวงศ์ (2541) “กำลังอัดและการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิลจากกากตะกอนโลหะ
หนักที่ทำให้เป็นก้อนหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์และเถ้ากลบ” วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล

- Albino, V, Cioffi, R., De vita, B., and Samtoro. L. (1996). Evaluation of Solid Waste Stabilization Procurer by Means of Leaching Tests. **Environmental Technology**. pp. 309-315
- American Society for Testing and Materials. (1997). **Standard Testing Method for Ordinary Portland Cement**. ASTM C150-97. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.01. Philladephia.
- Asavapisit, S. (1998). "Solidification System for Metal Containing Hazardous Wastes" Thesis, Doctor of Philosophy of Engineering, Department of Civil Engineering, Imperial Collage of Science, Technology and Medicine.
- Cornor, J.R. (1990). **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Waste**. New York; Van Nostrand Reinhold.
- Jackman, A.P. and Powell, R.L. (1991) **Chemical Fixation and Solidification Hazardous Waste Treatment Technologies: biological treatment, wet air fixation, chemical fixation, chemical oxidation**. New Jersey.
- J – N Diet, P.Moszkowicz, D.Sorrentino. (1998). Behavior of ordinary portland cement during the stabilization/solidification of synthetic heavy metal study: macroscopic and microscopic aspects, **Waste Management**. pp 17-24
- LaGrega, M.D., et al. (2001). **Hazardous Waste Management**. 2nd Edition. McGraw-Hill. Washington, D.C.
- US.EPA. (1992). **Code of federal regulation 40**. Parts 2600 to 299. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นาย ยุทธพงษ์ พิจาร โชติ
วัน เดือน ปีเกิด	18 กันยายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอกระนวน จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
สถานที่ทำงาน	บริษัท โปรเฟสชั่นแนล เวสต์ เทคโนโลยี (1999) จำกัด (มหาชน) ศูนย์บริหารการจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อม จังหวัดสระแก้ว 159 หมู่ 5 ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว 27160
ตำแหน่ง	ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการทดลอง