

การปรับเสถียรเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาลด้วยซีเมนต์

Cement –Based Stabilization of Ash from Hospital Waste Incinerator

ชลอ จารุสุทธิรักษ์ พรเทพ มั่นกตัญญู และวันต์ โพธิ์เต็ง

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ธรรมเรศ เชื้อสาวดี

ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับเสถียรเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาลโดยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้า ด้วยวิธี X-Ray Fluorescence Spectroscopy พบว่าองค์ประกอบหลักของเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาล ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) คลอไรด์ (Cl⁻) และ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 25.4, 14.6, 13.8 และ 12.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และจากการศึกษาปริมาณของโลหะหนัก 3 ชนิดที่มีอยู่ในเถ้ามูลฝอย ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) โดยวิธีการทดสอบการชะละลาย พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายมีค่าอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนด ในการปรับเสถียรเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาลด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและคุณสมบัติการชะละลายของคอนกรีต ได้แก่ อัตราส่วนของเถ้ามูลฝอยต่อซีเมนต์ และระยะเวลาที่ใช้บ่มคอนกรีต พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณเถ้าต่อซีเมนต์ทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลดลง อีกทั้งทำให้การขึ้นรูปของคอนกรีตยากขึ้น โดยปริมาณเถ้าต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมมีค่าร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบการชะละลายของก้อนคอนกรีตพบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายได้เกินค่ามาตรฐานในทุกอัตราส่วนการผสม การเพิ่มระยะเวลาการบ่มตัวของคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย

คำสำคัญ : การทำให้เป็นก้อนแข็ง การปรับเสถียร ซีเมนต์ เถ้าเผามูลฝอยเถ้า มูลฝอยโรงพยาบาล

Abstract

This research was to study the stabilization/solidification (S/S) of ash from hospital waste incinerator using cement-based method. Chemical composition of ash was investigated using X-Ray Fluorescence Spectroscopy. The average percentages of main compositions in the ash, including calcium oxide (CaO), silicon dioxide (SiO₂), chloride (Cl⁻), and sulfur trioxide (SO₃), were 25.4, 14.6, 13.8, and 12.1, respectively. According to the leaching test of the ash, the contents of leached heavy metals, including zinc (Zn), lead (Pb), and copper (Cu), were below the limited values determined by Thai standard. Factors affecting the performance of cement-based S/S of the ash, i.e. compressive strength and

leaching character, were studied. Those factors included the ratio of ash to cement and curing period. The results showed that an increase of the ratio of ash to cement led to a decrease of compressive strength and a difficulty in concrete setting. The optimum ratio was found to be 33%. The leaching properties of all concrete blocks satisfied the standard. An increasing curing period enhanced the compressive strength of concrete blocks, however, no significant difference of leaching character was found.

Keywords: Solidification, Stabilization, Cement, Incinerator, Ash, Hospital waste

1. คำนำ

ปริมาณมูลฝอยจากโรงพยาบาล โดยเฉพาะมูลฝอยอันตรายซึ่งได้แก่ มูลฝอยติดเชื้อและของมีคม เป็นต้น นับวันยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรและกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดมูลฝอย โรงพยาบาลส่วนใหญ่ทำโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากกระบวนการเผาผลาญ (Incineration) สามารถลดปริมาณมูลฝอยได้ถึงร้อยละ 65 ถึง 70 [1,2] อีกทั้งยังเป็นการกำจัดเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ในแฉะมูลฝอยนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากกระบวนการเผาผลาญยังมีวัสดุเหลืออยู่ ที่เรียกว่าแฉะมูลฝอย (Ash) ซึ่งแฉะมูลฝอยจากเตาเผาผลาญโรงพยาบาลจัดเป็นของเสียอันตรายประเภทหนึ่ง ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการกำจัดอย่างถูกวิธี เนื่องจาก ในแฉะมูลฝอยนั้นยังมีโลหะหนักและสารพิษต่าง ๆ ปะปนอยู่ หากนำไปฝังกลบ โดยไม่มีการทำลายฤทธิ์ของสารพิษในแฉะมูลฝอย หรือ ทำให้แฉะมูลฝอยเกิดเสถียรภาพเสียก่อน ก็อาจเกิดการชะละลายของสารพิษหรือโลหะหนักภายในหลุมฝังกลบ [3,4] จนในที่สุดอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน และก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของชุมชนที่อุปโภคบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารพิษและโลหะหนักนั้นๆ นอกจากนี้ สารพิษต่างๆ ยังอาจไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียง ส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำ และผลกระทบต่อระบบนิเวศตามมา

การปรับเสถียรแฉะมูลฝอยโรงพยาบาลและทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ (Cement-based Stabilization/Solidification) เป็นวิธีการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในแฉะมูลฝอยและการปรับเสถียรแฉะมูลฝอยให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ซึ่งนับได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ สามารถใช้กำจัดโลหะหนักได้ด้วยกลไกการยึดจับโลหะหนักของโครงสร้างผลึกคอนกรีต ก้อนคอนกรีตที่ได้จะมีความคงทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติทั้งทางด้านกายภาพและเคมี [5-8] รวมทั้งเป็นวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายทำให้วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย

การปรับเสถียรแฉะจากเตาเผาผลาญโรงพยาบาลโดยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์เป็นการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและเสถียรภาพต่อการชะละลายของแฉะมูลฝอยโรงพยาบาล รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการปรับเสถียรแฉะมูลฝอยโรงพยาบาลและทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ได้แก่ อัตราส่วนของแฉะมูลฝอยโรงพยาบาลต่อซีเมนต์ ระยะเวลาบ่มตัว และการใช้ทรายเป็นวัสดุประสาน โดยทำการทดสอบก้อนคอนกรีตด้วยวิธีการทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบการรับกำลังแรงอัด และด้วยวิธีการทางเคมีโดยการทดสอบการชะละลาย ตามหลักเกณฑ์การจัดตั้งหรือการฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ซึ่งโลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ตัวอย่างได้จากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาล

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเก็บรวบรวมจากเตาเผา มูลฝอยอันตรายโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น โดยทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน เพื่อวิเคราะห์ความหลากหลายของปริมาณองค์ประกอบหลักทางเคมีในเถ้ามูลฝอย

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ามูลฝอย

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ามูลฝอย ใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) รุ่น SRS 3400 บริษัท Bruker AXS ซึ่งแสดงร้อยละขององค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในเถ้ามูลฝอย

2.3 การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งด้วยซีเมนต์

ดำเนินการหล่อก้อนคอนกรีตเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ตามมาตรฐานของ ASTM C1096-86 โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทำการแปรค่าอัตราส่วนของเถ้าต่อซีเมนต์ คือ 0:100, 5:95, 10:90, 20:80, 33:67 และ 50:50 ผสมกับน้ำด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 20 แล้วเทส่วนผสมลงในแบบหล่อขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการบ่มก้อนคอนกรีตเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

2.4 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

ก้อนคอนกรีตตัวอย่างตามระยะเวลาบ่มที่กำหนด ถูกนำไปทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดโดยเครื่อง Compressive Strength Test Machine ตามมาตรฐาน ASTM C140-70

2.5 การทดสอบการชะละลาย

การทดสอบการชะละลายของเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาล ใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย

โลหะหนัก โดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ซึ่งระบุไว้ตามหลักเกณฑ์การจัดทิ้ง หรือการฝังกลบสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) โดยนำตัวอย่างเถ้ามูลฝอยมาบดผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรองขนาด 9.5 มิลลิเมตร และเติมน้ำสกัดที่เตรียมโดยใช้สารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำกลั่น จนค่าพีเอชของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 ปรับปริมาตรของผสมให้เป็น 2,000 มิลลิลิตร ในการทดสอบการชะละลาย ใช้อัตราส่วนของเถ้าต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 20 กรัมต่อมิลลิลิตร เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุนด้วยอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้นนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) โดยโลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu)

3. ผลการทดลอง

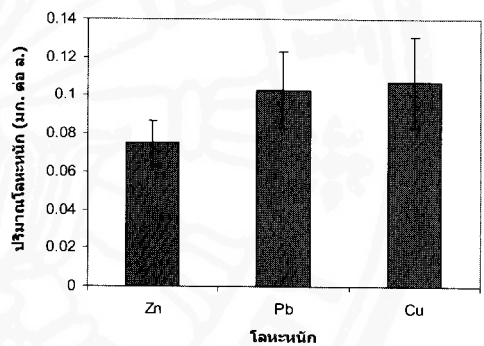
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ามูลฝอยโรงพยาบาล

การศึกษาร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้ามูลฝอยจากโรงพยาบาลพบว่าเถ้ามูลฝอยโรงพยาบาลมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกันในแต่ละตัวอย่าง โดยมีองค์ประกอบที่พบเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เฉลี่ยร้อยละ 25.4 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เฉลี่ยร้อยละ 14.6 คลอไรด์ (Cl) เฉลี่ยร้อยละ 13.8 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เฉลี่ยร้อยละ 12.1 และ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) เฉลี่ยร้อยละ 7.8 (ตารางที่ 3.1) เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุพอลิโพรพิลีน พบว่า เถ้า

มูลฝอยโรงพยาบาลไม่มีคุณสมบัติของวัสดุพิษโซลาน เนื่องจากปริมาณรวมของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียม ออกไซด์ (Al_2O_3) และ ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มากซึ่งกำหนดให้มีปริมาณรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ขององค์ประกอบรวม ส่วนปริมาณคลอไรด์ในมูลฝอยโรงพยาบาลมีปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับได้จากเตาเผามูลฝอยชุมชน [4] เนื่องจากคลอไรด์เป็นธาตุองค์ประกอบของสารที่ถูกใช้เป็นปริมาณมากในโรงพยาบาล เช่น สารฆ่าเชื้อโรค และวัสดุทางการแพทย์อื่น ได้แก่ สายน้ำเกลือและถุงน้ำเกลือ เป็นต้น การที่มีคลอไรด์ในมูลฝอยมากอาจส่งผลเสียต่อการแข็งตัวของก้อนคอนกรีตและอาจทำให้โลหะหนักถูกชะออกมาจากก้อนคอนกรีตได้ง่ายขึ้น [6] นอกจากนี้ยังพบซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (SO_3) ในมูลฝอยเป็นปริมาณมาก คือ ตั้งแต่ร้อยละ 10.3 ถึง 17.5 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดและเวลาในการก่อตัวอีกทั้งมีผลต่อคอนกรีตที่แข็งตัวอีกด้วย [1] กลุ่มโลหะหนักที่พบในมูลฝอยโรงพยาบาลส่วนใหญ่ ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และ ตะกั่ว (Pb)

3.2 การทดสอบการชะละลายมูลฝอยโรงพยาบาล

การชะละลายโลหะหนักจากมูลฝอยโรงพยาบาลซึ่งได้จากการนำเถ้าทั้งหมดมาผสมรวมกัน โดยวิธีการสกัดสาร ตามที่ระบุไว้ตามหลักเกณฑ์การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือ ฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เพื่อศึกษาปริมาณของสังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ในน้ำชะละลายด้วยวิธี Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์จากเถ้าที่ผ่านการทดสอบการชะละลาย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาล

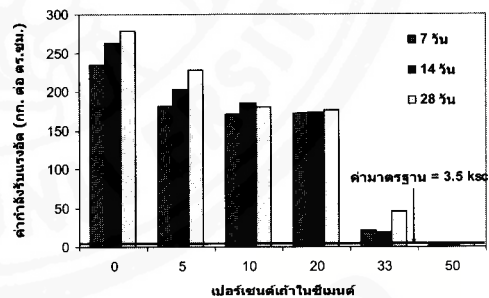
ตัวอย่างที่	ร้อยละขององค์ประกอบ								
	CaO	SiO ₂	Cl ⁻	SO ₃	Al ₂ O ₃	ZnO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO
1	24.00	14.60	12.30	11.80	8.30	5.09	1.80	0.65	0.50
2	23.80	15.00	13.80	10.50	9.80	4.39	0.90	0.56	0.08
3	25.70	10.20	15.90	17.50	5.31	6.90	0.68	0.19	0.06
4	24.20	17.20	13.10	10.70	8.40	5.21	1.08	0.34	0.04
5	25.00	15.20	14.80	10.70	7.82	5.23	1.51	0.23	0.04
6	25.20	13.00	16.20	12.10	7.17	6.01	0.94	0.35	0.03
7	32.00	17.10	9.61	10.30	7.94	4.36	1.09	0.25	0.03
8	24.20	14.50	16.20	10.90	7.56	5.41	0.96	0.31	0.04
9	24.10	14.60	12.10	14.70	7.63	6.88	0.79	0.21	0.03
ค่าเฉลี่ย	25.36	14.60	13.78	12.13	7.77	5.50	1.08	0.34	0.09

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณโลหะหนักทั้ง สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ในน้ำชะมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.07 และ 0.10 และ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ ค่ามาตรฐาน ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ ชะละลายสำหรับตะกั่ว ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ สำหรับทองแดง (ระบุโดย US.EPA.) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร (ไม่พบการระบุค่ามาตรฐานของสังกะสี) พบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

3.3 ผลของปริมาณเถ้ามูลฝอยอันตรายต่อกำลังรับ แรงอัดของก้อนคอนกรีต

เถ้ามูลฝอยโรงพยาบาลที่ผ่านการวิเคราะห์และ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีแล้ว ถูกนำไปทำการหล่อก้อน แข็งด้วยซีเมนต์ตามมาตรฐานของ ASTM C 1096-86 โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนเถ้าต่อซีเมนต์เป็นร้อยละ 0, 5, 10, 20, 33 และ 50 ตามลำดับ ควบคุมปริมาณน้ำต่อ ของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 20 จากนั้นทำการบ่มก้อน คอนกรีตตามระยะเวลาบ่มที่กำหนดและทำการวิเคราะห์

กำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตนั้น ผลการทดสอบกำลัง รับแรงอัด แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่มีอัตราส่วน ของเถ้าต่อซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

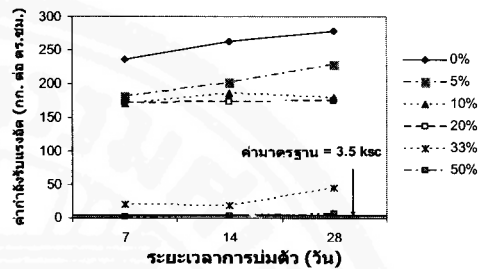
ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตมีค่าลดต่ำลง ตามอัตราส่วนของเถ้าในซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีสาเหตุ มาจากเถ้ามูลฝอยไม่มีคุณสมบัติของซีเมนต์ การเพิ่ม เถ้ามูลฝอยในองค์ประกอบของคอนกรีตมากขึ้นย่อมเป็น

การลดคุณสมบัติของซีเมนต์ กล่าวคือลดความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีที่พบในเถ้ามูลฝอย ได้แก่ คลอไรด์ (Cl) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ยังมีส่วนสำคัญต่อการทำก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ โดยคลอไรด์มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต ก้อนคอนกรีตเกิดการแข็งตัวได้เร็ว แต่มีการเปราะได้ง่าย [6] ในขณะที่ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตมีผลต่อเวลาในการก่อตัวของก้อนคอนกรีต โดยชะลอการแข็งตัว และเป็นสาเหตุให้เกิดการพองตัวในซีเมนต์ที่ทำการปรับเสถียรและทำก้อนแข็งแล้วก่อให้เกิดการแตกร้าวและความแข็งแรงลดลง [1,6] จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเถ้ามูลฝอยที่เหมาะสมในการนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ คือ ประมาณร้อยละ 33 เนื่องจากที่ปริมาณดังกล่าวสามารถกำจัดเถ้าได้ในปริมาณมากโดยที่คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตนั้น ยังอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และหากปริมาณเถ้ามูลฝอยมากกว่านี้อาจทำให้ก้อนคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ได้แก่ 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

3.4 ผลของระยะเวลาบ่มตัวต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต

การบ่มตัวของก้อนคอนกรีตมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของก้อนคอนกรีต เนื่องจากการบ่มจะช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ในการทดสอบทำการบ่มก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มมากขึ้น เนื่องจาก เมื่อระยะเวลาในการบ่มมากขึ้น จะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามพบว่าตั้งแต่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตใน

ทุกอัตราส่วนของเถ้าต่อซีเมนต์ (ยกเว้นที่อัตราส่วนร้อยละ 50) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ทั้งสิ้น (รูปที่ 3)



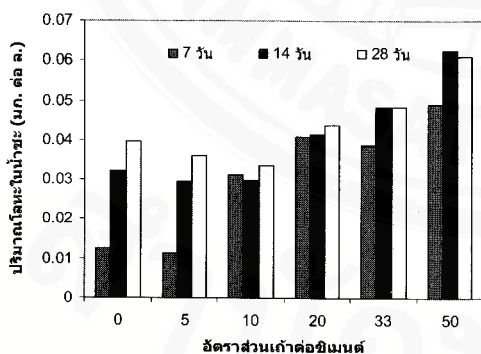
รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาบ่มตัวต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่มีเถ้ามูลฝอยในอัตราส่วนต่างๆ

3.5 การทดสอบการชะละลายของก้อนคอนกรีต

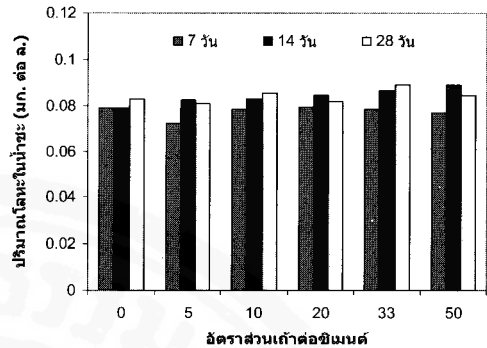
การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก โดยใช้มาตรฐานวิธีการสกัดสารตามหลักเกณฑ์ในท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และทำการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะละลาย ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเถ้ามูลฝอยต่อซีเมนต์ ปริมาณสังกะสี (Zn^{+2}) ในน้ำชะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณสังกะสีที่มีอยู่สูงในเถ้า อีกทั้งการเพิ่มปริมาณเถ้าส่งผลให้ความแข็งแรงของก้อนคอนกรีตลดลงรวมทั้งความสามารถในการจับโลหะหนักของก้อนคอนกรีตลดลง ปริมาณของสังกะสีจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่สำหรับปริมาณของตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) กลับมีแนวโน้มที่คงที่ โดยที่มาตรฐานความเข้มข้นของ สังกะสีและตะกั่ว ในน้ำชะละลาย เป็น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนทองแดง เป็น 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่พบในน้ำชะละลายของโลหะหนักทั้งสามชนิดนั้น ปรากฏว่าไม่มีโลหะหนักชนิดใดที่เกินค่ามาตรฐาน (รูปที่ 4) อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในน้ำชะจากก้อนคอนกรีตมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่พบจากการชะละลายเถ้าแสดงถึงความสามารถในการยึดจับโลหะหนักของซีเมนต์

4. สรุปผลการทดลอง

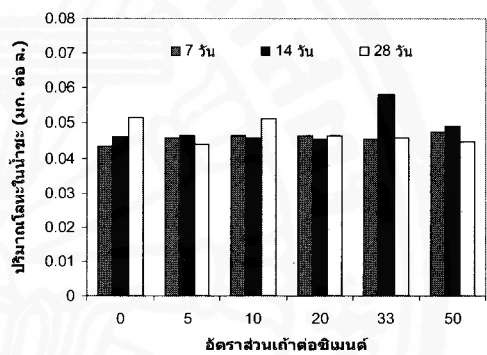
องค์ประกอบทางเคมีหลักที่พบในเถ้าจากเตาเผามูลฝอยอันตรายโรงพยาบาล ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เหลือร้อยละ 25.4 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เหลือร้อยละ 14.6 คลอไรด์ (Cl^-) เหลือร้อยละ 13.8 ซัลเฟอไรต์รอกไซด์ (SO_3) เหลือร้อยละ 12.1 และ อลูมิเนียม (Al_2O_3) เหลือร้อยละ 7.8 ซึ่งแสดงว่าเถ้ามูลฝอยอันตรายโรงพยาบาลที่ศึกษาไม่มีคุณสมบัติของวัสดุพอลิโซลาน ในการปรับเสถียรเถ้ามูลฝอยอันตรายโรงพยาบาลและทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ก่อนการนำไปฝังกลบ พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนเถ้าต่อซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง แต่ยังคงอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง คือร้อยละ 33 นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนเถ้าต่อซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตยังส่งผลให้ปริมาณสังกะสีในน้ำชะมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าการชะละลายของตะกั่วและทองแดง ส่วนระยะเวลาการบ่มตัวของคอนกรีตที่นานขึ้นก่อให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตให้ดีขึ้น



(ก) สังกะสี (Zn)



(ข) ตะกั่ว (Pb)



(ค) ทองแดง (Cu)

รูปที่ 4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายที่อัตราส่วนเถ้าต่อซีเมนต์ต่าง ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อเถ้ามูลฝอยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้ง ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการทดลอง ตลอดจน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์วิจัยการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lombardi, F., Mangialardi, T., Piga, L. and Sirini, P. Mechanical and Leaching Properties of Cement Solidified Hospital Solid Waste Incinerator Fly Ash, *Waste Mgt.*, Vol. 18; pp. 99-106, 1998.
- [2] Idris, A. and Saed, K. Characteristics of Slag Produced from Incinerated Hospital Waste, *J. Haz. Mat.*, Vol. B93; pp. 201-208, 2002.
- [3] Bishop, P.L. Leaching of Inorganic Hazardous Constituents from Stabilized/ Solidified Hazardous Waste, *Haz. Waste*, Vol. 5; pp. 129 –143, 1988.
- [4] Youcai, Z., Lijie, S. and Guojian, L. Chemical Stabilization of MSW Incinerator Fly Ashes, *J. Haz. Mat.*, Vol. B95; pp. 47-63, 2002.
- [5] Fitch, J.R. and Cheeseman, C.R. , Characterization of Environmentally Exposed Cement-Based Stabilized/ Solidified Industrial Waste, *J. Haz. Mat.*, Vol. A101; pp. 239-255, 2003.
- [6] Means, J.L. *et al. The Application of Solidification/ Stabilization to Waste Materials*, CRC Press, FL, USA. 1995.
- [7] Silveira, B.I., Dantas, A.E.M., Blasques, J.E.M., and Santos, R.K.P. , Effectiveness of Cement-Based Systems for Stabilization and Solidification of Spent Pot Liner Inorganic Fraction, *J. Haz. Mat.*, Vol. B98; pp.183-190, 2003.
- [8] Yousuf, M., Mollah, A., Vempati, R.K., Lin, T-C., and Cocke, D.L. , The Interfacial Chemistry of Solidification/ Stabilization of Metals in Cement and Pozzolanic Material Systems, *Waste Mgt.*, Vol. 15(2); pp.137-148, 1995.