

Scov

การใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะเป็นวัสดุ
ผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

นายอนนท์ ป้อมประสิทธิ์

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2551

**Utilization of Copper Slag from Metal Surface Abrasive Blast Cleaning Process
as Aggregate in Interlocking Concrete Paving Blocks Making**

Mr. Anon Pomprasit

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management

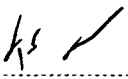
School of Health Science


Sukhothai Thammathirat Open University

2008

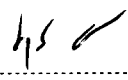
หัวข้อการศึกษาคั่นคว่ำอิสระ การใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะเป็นวัสดุผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
ชื่อและนามสกุล นายอนนท์ ป้อมประสิทธิ์
แขนงวิชา วิศวกรรมสุขศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ

คณะกรรมการสอบการศึกษาคั่นคว่ำอิสระได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาคั่นคว่ำอิสระฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ อนุมัติให้รับการศึกษาคั่นคว่ำอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตแขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วันที่ 30 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2552

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการฟื้นทำความสะอาดผิวโลหะเป็น
วัสดุผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ผู้ศึกษา นายอนนท์ ป้อมประสิทธิ์ **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ **ปีการศึกษา** 2551

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้เพื่อ (1) ศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดงจาก
กระบวนการฟื้นทำความสะอาดผิวโลหะ (2) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ตะกรันทองแดง
จากกระบวนการฟื้นทำความสะอาดผิวโลหะมาเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปู
พื้น (3) เปรียบเทียบ ค่าความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นกับค่ามาตรฐาน
(4) เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่าง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ทำจากตะกรันทองแดงกับ
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของ ตะกรัน
ทองแดง โดย XRF และศึกษาการชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดงด้วยวิธีที่กำหนด ตาม
ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 จากนั้นนำ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มาผสมกับตะกรันทองแดงและน้ำ โดยใช้ อัตราส่วนปูนซีเมนต์
ต่อตะกรันทองแดง 20 : 80, 25:75, 30:70 และ 35:65 ตามลำดับ นำมาผสมกับน้ำประปาในสัดส่วน
ที่เหมาะสมโดยน้ำหนัก และหล่อแบบรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร จำนวนสูตรละ
6 ก้อน รวมทั้งหมด 24 ก้อน ทดสอบความต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตาม
มาตรฐาน ASTM C 109 หลังจากนั้นผลิตเป็นบล็อกประสานปูพื้นขนาด 210 x 295 x 60 มิลลิเมตร
ทั้ง 4 สูตร จำนวนสูตรละ 10 ก้อน รวมทั้งหมด 40 ก้อน และทดสอบความต้านแรงอัดตาม
มาตรฐาน มอก. 827

ผลการวิจัยพบว่า (1) องค์ประกอบทางเคมี มีสมบัติเป็นวัสดุพอซโซลาน class F
สมบัติทางกายภาพ มีขนาดของอนุภาคหลายขนาดปนกันอยู่ใกล้เคียงกับทรายทั่วไป มีความ
ถ่วงจำเพาะสูง และน้ำชะละลายของตะกรันทองแดง มีปริมาณ โลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน (2)
คอนกรีตมอร์ตาร์ที่ผสมตะกรันทองแดงอายุบ่ม 7 และ 28 วัน สูตรที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อ
ตะกรันทองแดง 30:70 และ 35:65 ค่าความต้านแรงอัดสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งกำหนดไม่น้อยกว่า 40
เมกะพาสคัล มีความเหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (3) ค่าความต้านแรงอัดของ
ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผลิตได้ ที่อายุบ่ม 7 วัน ทั้งสี่สูตรมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน
สำหรับอายุบ่ม 28 วัน สูตรที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกรันทองแดง 35:65 เท่านั้นที่ค่าความต้าน
แรงอัดสูงกว่ามาตรฐาน (4) เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ทำจาก
ตะกรันทองแดงพบว่าราคาต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป

คำสำคัญ ตะกรันทองแดง คอนกรีต บล็อกประสานปูพื้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนรายงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพที่ได้ให้ความรู้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และเพื่อนนักศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ทำงาน ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนส่งเสริมช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัท สตาร์ ปีโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด และคุณสุวรรณ สุวรรณน้อย ที่อนุเคราะห์ ให้ข้อมูลและตระกรันทองแดงที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อนำมาเป็นวัสดุในการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย หวังเป็นอย่างยิ่งว่า การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้คงมีประโยชน์ต่อผู้อ่านบ้างไม่มากก็น้อย

อนนท์ ป้อมประสิทธิ์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
สมมติฐานการวิจัย	8
ขอบเขตของการวิจัย	8
ประเด็นปัญหาการวิจัย	8
นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	11
โลหะหนัก	11
ของเสียอันตราย	15
กากของเสียอุตสาหกรรม	16
ตะกรันทองแดง (copper slag)	18
การลดปริมาณของเสีย (Waste Minimization)	21
การกำจัดของเสียอันตราย	23
เทคโนโลยีคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	53
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	53
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	53
วิธีการทดลอง	54
การวิเคราะห์ข้อมูล	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
ผลการศึกษาคูณสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดง.....	61
ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกรันทองแดง.....	63
ผลการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากตะกรันทองแดง.....	67
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	75
สรุปผลการวิจัย.....	75
อภิปรายผล.....	76
ข้อเสนอแนะ.....	78
บรรณานุกรม.....	80
ภาคผนวก.....	83
ก หลักการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเอกซ-เรย์	
สเปกโทรสโคปี(X-ray Spectroscopy).....	84
ข ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	87
ประวัติผู้ศึกษา.....	101

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงปริมาณการผลิต Copper Slag จากแหล่งต่างๆ..... 1
ตารางที่ 1.2	สมบัติทางฟิสิกส์ของ Ordinary Portland cement, Copper Slag และCement by-pass dust..... 2
ตารางที่ 1.3	องค์ประกอบทางเคมีของ Ordinary Portland cement, Copper Slag และCement by-pass dust..... 3
ตารางที่ 2.1	ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในน้ำสกัด..... 17
ตารางที่ 2.2	ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 33
ตารางที่ 2.3	สมบัติของสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 34
ตารางที่ 2.4	การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C618 – 96..... 37
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดง..... 61
ตารางที่ 4.2	ขนาดคละของตะกรันทองแดง..... 62
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักของตะกรันทองแดง..... 63
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดลองหาอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดง และน้ำที่เหมาะสมสำหรับอายุบ่ม 7 วัน..... 64
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดลองหาอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดง และน้ำที่เหมาะสมสำหรับอายุบ่ม 28 วัน..... 65
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ที่อัตราส่วนตะกรันทองแดงต่างๆ สำหรับอายุบ่ม 7 วัน..... 67
ตารางที่ 4.7	แสดงผลการทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ที่อัตราส่วนตะกรันทองแดงต่างๆ สำหรับอายุบ่ม 28 วัน..... 69
ตารางที่ 4.8	น้ำหนักส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ต่อก่อน..... 72
ตารางที่ 4.9	ค่าใช้จ่ายของวัสดุ ค่าแรง และค่าไฟฟ้า ที่ใช้ในการผลิต คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น..... 73
ตารางที่ 4.10	การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและคุณสมบัติ ของคอนกรีต บล็อกประสานปูพื้น..... 74

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวถังน้ำมันและเหล็ก โครงสร้าง โดยการพ่น ตะกรันทองแดง.....	4
ภาพที่ 1.2 กระบวนการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	6
ภาพที่ 1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาการใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำ ความสะอาดผิวโลหะเป็นวัสดุผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	7
ภาพที่ 2.1 ตะกรันทองแดง.....	18
ภาพที่ 2.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	32
ภาพที่ 3.1 แสดงการใส่ส่วนผสมในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสาน.....	57
ภาพที่ 3.2 แสดงการอัดบล็อกประสาน.....	57
ภาพที่ 3.3 แสดงการบ่มบล็อกประสานในสภาพอากาศปกติ 3 วัน.....	58
ภาพที่ 3.4 แสดงการทดสอบความต้านทานแรงอัด.....	59
ภาพที่ 4.1 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมอร์ตาร์ อายุบ่ม 7 วัน.....	64
ภาพที่ 4.2 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมอร์ตาร์ อายุบ่ม 28 วัน.....	65
ภาพที่ 4.3 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 7 วัน.....	68
ภาพที่ 4.4 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 28 วัน.....	70
ภาพที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 7 วันและอายุบ่ม 28 วัน.....	70

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลกปัจจุบันกำลังตื่นตัวกับกระแสการอนุรักษ์และปกป้องสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง จึงเป็นเหตุให้หลายประเทศต่างออกกฎหมาย กฏระเบียบ ข้อบังคับต่างๆเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มงวดมากขึ้น การอนุญาตให้ใช้เทคโนโลยีการกำจัดของเสียแบบดั้งเดิมลดลง สาเหตุมาจากปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม ที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ โดยเฉพาะปัญหาอากาศของเสียอันตรายและผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By product) ที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ

ซึ่งของเสียอันตราย หมายถึงสารหรือวัตถุที่ไม่ใช้หรือใช้ไม่ได้ที่มีส่วนประกอบหรือเจือปนด้วยสารไวไฟ สารกัดกร่อน สารพิษ สารที่สามารถชะล้างได้ สารกัมมันตรังสี และ/หรือสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรม ชุมชน เกษตรกรรม ซึ่งก่อให้เกิดทั้งของเสียที่ไม่อันตราย (Non-hazardous waste) และของเสียอันตราย (Hazardous waste) และผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตหลัก เช่น เถ้าลอย (Fly ash) Silica fume ตะกรันทองแดง (Copper Slag) ฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ ฯลฯ เป็นต้น

การนำของเสียและผลิตภัณฑ์พลอยได้กลับมาใช้หมุนเวียน เป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณา องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental protection agencies, EPA) และรัฐบาล มีเป้าหมายหลักในการลดปริมาณผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เหล่านี้ ซึ่งนับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ยกตัวอย่าง เช่น ตะกรันทองแดง ปริมาณการผลิตทั่วโลก รวมกันทั้งหมดประมาณ ปีละ 24.6 ล้านตัน ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการผลิตตะกรันทองแดงจากแหล่งต่างๆ

แหล่งที่มา	ปริมาณตะกรันทองแดงล้านตัน/ปี
เอเชีย	7.26
อเมริกาเหนือ	5.90
ยุโรป	5.56
อเมริกาใต้	4.18
แอฟริกา	1.23
โอเชียเนีย	0.45

ที่มา: Bipra Gorai, R.K. Jana *, (2002)

EPA และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้พยายามแสวงหาวิธีที่จะลดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัด และอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของตะกรันทองแดงนับเป็นเวลานานหลายปี ในแต่ละปีประเทศอเมริกาจะผลิตตะกรันทองแดงประมาณ 800,000 ตัน ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด ทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางการจัดการในปัจจุบันคือการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาตะกรันทองแดงมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงอัด (compressive strength) เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และด่าง ใช้เป็นวัสดุทดแทนทราย และปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีต นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้งานมากในอุตสาหกรรมพ่นสี เพื่อกำจัดสนิม ชัดผิว ทำความสะอาดก่อนพ่นสี ทำให้สีติดทนทานมากขึ้น ป้องกันการเกิดสนิม แหล่งกำเนิดของตะกรันทองแดงจะแสดงถึงคุณสมบัติ ความเป็นพิษของตะกรันทองแดงด้วย ดังนั้นการที่จะนำเอาตะกรันทองแดงมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จึงต้องมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติอื่น ๆ เป็นกรณี ๆ ไป เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะมีลักษณะคล้ายโลหะ สีดำมันวาว ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 4.75 มิลลิเมตร และ 0.075 มิลลิเมตร (แรงขนาด 200 เมช) ความถ่วงจำเพาะ 3.45 ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบหลัก มีความแข็งและคม องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยเหล็กออกไซด์ประมาณร้อยละ 53.45 ซิลิกอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 33.05 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดงเทียบกับ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และ ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตซีเมนต์แสดงในตารางที่ 1.2. และ 1.3 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 1.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของ Ordinary Portland cement, Copper Slag และ Cement by-pass dust

Test Type	Material		
	Ordinary Portland cement	Copper Slag	Cement by-pass dust
Fineness (cm ² /g)	3357	1261	4824
Specific gravity	3.15	3.45	2.4
Initial setting time (min)	110	250	150

ที่มา: Al-Jabri and others (2006)

ตารางที่ 1.3 องค์ประกอบทางเคมีของ Ordinary Portland cement, Copper Slag และ Cement by-pass dust

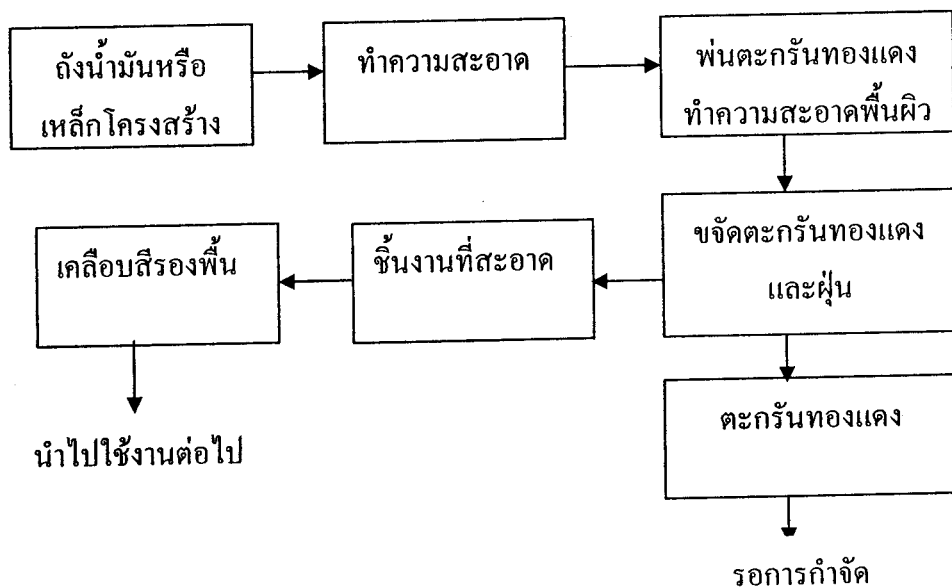
องค์ประกอบทางเคมี	Material		
	Ordinary Portland cement	Copper Slag	Cement by-pass dust
SiO ₂ %	20.85	33.05	15.84
Al ₂ O ₃ %	4.78	2.79	3.57
Fe ₂ O ₃ %	3.51	53.45	2.76
CaO%	63.06	6.06	63.76
MgO%	2.32	1.56	1.93
SO ₃ %	2.48	1.89	1.65
K ₂ O%	0.55	0.61	2.99
Na ₂ O%	0.24	0.28	0.33
TiO ₂ %	0.25	0	0.48
Mn ₂ O ₃ %	0.05	0.06	0.07
Chloride%	0.01	0.01	1.09
Loss on ignition%	1.75	0	5.38
Insoluble Residue%	0.21	0	0
CuO%	0	0.46	0
Al ₂ O ₃ % + SiO ₂ % + Fe ₂ O ₃ %	29.14	89.29	22.17

ที่มา: Al-Jabri and others (2006)

ตะกรันทองแดงที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน บริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด จะมีปริมาณโลหะหนักเช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สารหนู ปรอท เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด จึงต้องนำมากำจัดทิ้งโดยวิธีการบำบัดกากของเสียอันตรายประเภทโลหะหนักในขั้นสุดท้ายที่นิยมใช้และรู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ กระบวนการทำให้เสถียร และทำให้เป็นก้อน (Stabilization/Solidification) (อรรวรรณ มนูญวงศ์, 2542) เพื่อสร้างมวลของแข็งเนื้อเดียวที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้น้อย มีโครงสร้างมั่นคงแข็งแรง และก้อนหล่อแข็งที่ได้ต้องเป็นไป ตามมาตรฐานมีสมบัติเป็นตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ออกตามความในพระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้

กระบวนการทำให้เป็นก้อนแบ่งเป็นหลายประเภทด้วยกัน ควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของของเสียและคุณลักษณะเฉพาะของประเภทของของเสีย หลังจากที่ถูกของเสียผ่านกระบวนการหล่อแข็งแล้วจะถูกนำไปทดสอบค่าการชะละลายของโลหะในน้ำสกัด ความสามารถรับกำลังอัดและอื่น ๆ จนมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานก้อนหล่อแข็ง จึงสามารถนำก้อนหล่อแข็งเหล่านั้นไปดำเนินการฝังกลบอย่างปลอดภัยด้วยวิธีพิเศษที่เรียกว่าการฝังกลบที่ปลอดภัยโดยใช้ซีเมนต์ (Secure landfill cement based) หรืออาจนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง เช่นการผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เป็นต้น

บริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด ได้นำเข้าตะกรันทองแดงเพื่อมาใช้ในกระบวนการทำความสะอาดผิวถังบรรจุน้ำมันและเหล็กโครงสร้าง ในโรงกลั่นน้ำมันของบริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด ณ จังหวัดระยอง จากกระบวนการทำความสะอาดผิวดังกล่าวทำให้เกิดตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้วจำนวนมาก ซึ่งในแต่ละวันจะมีปริมาณมากถึง 400 ตัน เดือนละมากกว่า 1000 ตัน ซึ่งนับวันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้วเป็นของเสียที่มีปริมาณมากมายนมหาศาล หากไม่มีการบริหารจัดการที่ดี ย่อมจะก่อให้เกิดปัญหาในการนำไปกำจัดเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กระบวนการในการทำความสะอาดผิวถังน้ำมันและเหล็กโครงสร้าง เริ่มจากการทำความสะอาดถังน้ำมันและเหล็กโครงสร้าง เพื่อขจัดคราบไขมัน น้ำมัน และสิ่งสกปรกอื่น ๆ โดยการใช้น้ำแรงดันสูง จากนั้นทำความสะอาดโดยการพ่นตะกรันทองแดง จากนั้นขจัดตะกรันทองแดงและผงฝุ่นด้วย เครื่องดูด เครื่องเป่า หรือใช้แปรงปัด และนำชิ้นงานที่สะอาดแล้วไปเคลือบสีรองพื้น ขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานทำความสะอาดผิวถังน้ำมันและเหล็กโครงสร้างโดยการพ่นตะกรันทองแดง

การนำตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้วมาใช้ประโยชน์เป็นการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เสียแล้วมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง ด้วยภาวะความจำเป็นในการดำรงชีวิตทำให้มนุษย์มีความจำเป็นต้องนำทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ มาใช้อย่างมากมาย สิ่งก็ตามมาจากการใช้ทรัพยากร คือ ปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านมลภาวะทางน้ำ มลภาวะทางอากาศ และเศษวัสดุเหลือใช้ต่างๆ ซึ่งมีทั้งที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย ปัจจุบันมีหน่วยงานหลายๆ หน่วย ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐ หรือภาคเอกชน ต่างเล็งเห็นความสำคัญและพยายามที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น ความพยายามอย่างหนึ่งในการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมก็คือ การลดปริมาณของเสีย (Waste minimization) ซึ่งสามารถทำได้หลายแนวทางด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการหันมาใช้เทคโนโลยีสะอาด (Clean technology) การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำของเสียต่างๆ กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Utilization) เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ต้นเหตุอย่างแท้จริง

จากรายงานการวิจัยหลายฉบับพบว่ามีการประยุกต์ใช้งาน ตะกรันทองแดงในหลายประเภท เช่น การก่อสร้างอาคาร ถนนหนทาง วัสดุทดแทนซีเมนต์ ทดแทนทรายและหินเกร็ดในงานคอนกรีต เพื่อเพิ่มความทนทานของคอนกรีตเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วน ตะกรันทองแดงถูกนำมาใช้ในงานขัดผิวพื้นทราย ผิวโลหะเพิ่มคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์เกี่ยวกับการตัด การขัด วัสดุขัดผิวโลหะ กระเบื้อง กระจก ฯลฯ ในอนาคต ตะกรันทองแดงมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทดแทนทรายและหินในคอนกรีต และเป็นส่วนผสมของยางมะตอยสำหรับเทพื้นถนน

ดังนั้นการศึกษาแนวโน้มการนำ ตะกรันทองแดงที่ผ่านการใช้งานแล้วซึ่งเป็นกากของเสียจากกระบวนการทำความสะอาดผิวโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ จะก่อให้เกิดประโยชน์ แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องในด้านองค์ความรู้ที่เหมาะสม และเป็นอีกความพยายามอย่างหนึ่งในการร่วมมือกันลดปริมาณของเสีย ซึ่งเป็นอีกแนวทางในการแก้ไขปัญหาสถานะแวดล้อม การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เริ่มจากการศึกษาถึงสมบัติของตะกรันทองแดงพบว่า นอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ในการผสมร่วมกับปูนซีเมนต์เพื่อหล่อแข็งกากของเสียอันตรายที่มีปัญหาด้านโลหะหนักแล้ว ยังมีความเป็นไปได้ในการนำ ตะกรันทองแดงนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านงานก่อสร้างอีกด้วย ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาทดลองโดยนำ ตะกรันทองแดงดังกล่าวมาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หากทำได้จะสามารถลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นลง อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเพิ่มคุณค่า และลดต้นทุนการผลิตในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของตะกรันทองแดงอีกด้วย การนำตะกรันทองแดงมาใช้ประโยชน์ ซึ่งนอกจากจะทำให้สามารถป้องกันปัญหามลพิษทางด้าน

สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังได้ประโยชน์ในด้านเศรษฐกิจ สังคม และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดจะนำตะกรันทองแดงมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

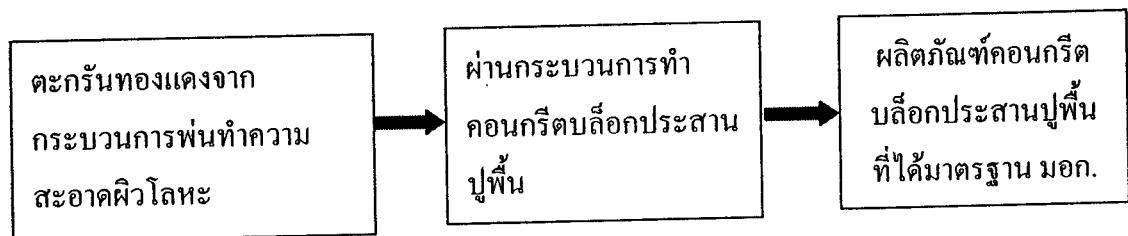
2.1 เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดงซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะ

2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะเป็น ส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

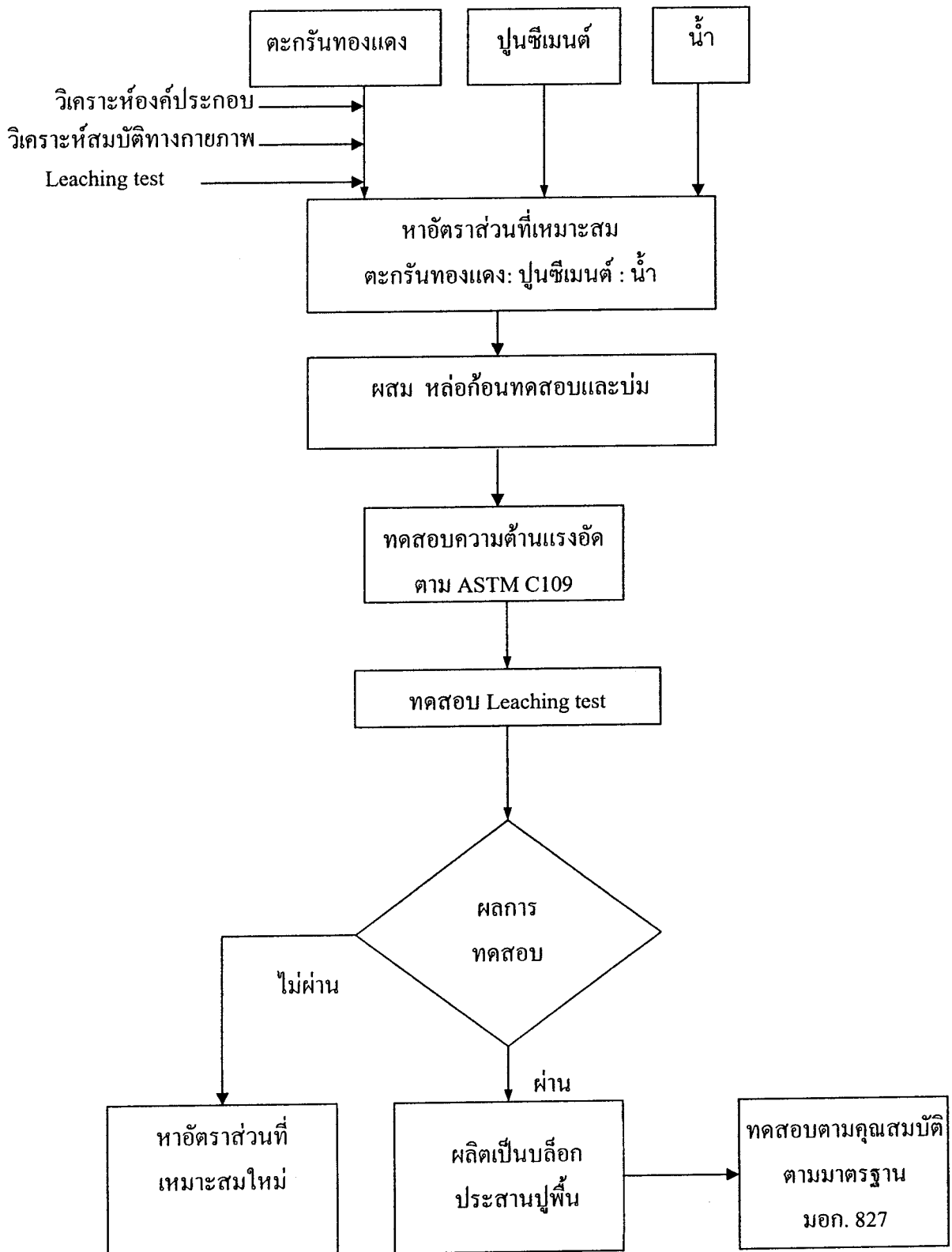
2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ได้มาตรฐาน

2.4 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่าง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ทำจากตะกรันทองแดงกับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ทั่วไป

3. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.2 กระบวนการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น



ภาพที่ 1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาการใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่น
ทำความสะอาดผิวโลหะเป็นวัสดุผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

4. สมมติฐานการวิจัย

ตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้ว เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์สำเร็จรูป และน้ำ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายและหินเกล็ด ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้

5. ขอบเขตของการวิจัย

- 5.1 ศึกษาตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้วจาก งานเตรียมพื้นผิว ในงานซ่อมบำรุง และงานก่อสร้าง ของ โรงกลั่นน้ำมัน บริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด
- 5.2 ทดสอบความสามารถรับกำลังอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน ผลผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- 5.3 ขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากตะกรันทองแดง เป็นไปตามขนาดมาตรฐาน ผลผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827

6. ประเด็นปัญหาการวิจัย

- 6.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกรันทองแดงที่เป็นของเสียอันตรายโดยการทำเป็นก้อนหล่อแข็ง
- 6.2 ค่าความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจาก ตะกรันทองแดง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน
- 6.3 ต้นทุนการผลิตระหว่าง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจาก ตะกรันทองแดงกับ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป

7. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

7.1 ของเสียอันตราย ของเสียอันตรายตามคำจำกัดความของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกล่าวไว้ว่า เป็นของเสียหรือสิ่งเจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้น หรือมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีหรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วยทั้งที่รักษาได้และไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกักขนส่ง และกำจัดของเสียอันตราย

7.2 บล็อกประสานปูนพื้น (Inter lock block) หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่ได้จากการนำ ตะกรันทองแดง ผสมกับปูนซีเมนต์สำเร็จรูป และน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ

7.3 ปูนซีเมนต์ หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราที่พีไอ ผลิตโดยบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)

7.4 ตะกรันทองแดง หมายถึง วัสดุ สำหรับใช้ในการขัดผิวพื้นผิวโลหะ เพื่อกำจัดสนิม สีและสิ่งสกปรก ในการเตรียมพื้นผิวก่อนที่จะทาสี หรือทาคัด้วยวัสดุเคลือบผิว

7.5 คอนกรีต หมายถึง วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจน ปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา และคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีตผสมกับ วัสดุผสม อันได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงแบบหล่อ ที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้ มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

7.6 ผุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement by-pass product dust, CBPD) หมายถึง ผุ่น ซึ่ง เป็นผลพลอยได้จากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเกิดขึ้นในขบวนการเผาปูนซีเมนต์ใน เตาเผา มีองค์ประกอบหลักเป็นไลม์ (CaO) มากกว่าร้อยละ 60 และมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีก เช่น ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก โปแตสเซียม โซเดียม เป็นต้น

7.7 ปอซโซลาน หมายถึง วัสดุที่มีซิลิกา อลูมินาเป็นสารประกอบหลักซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานตัววัสดุเอง (Cementitious) แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และเกิดเป็นสารเชื่อมประสานได้ โดยสารปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติเกิดเป็นสารประกอบที่มีสมบัติเชื่อมประสานซึ่งก็คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต

7.8 Isasmelt เป็นกระบวนการถลุงแร่ความเข้มข้นสูง สามารถใช้ทั้งการทำงาน แบบต่อเนื่องและกึ่งต่อเนื่อง

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

8.1 เป็นการลดปริมาณกากของเสีย ตะกรันทองแดงโดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์

8.2 เป็นแนวทางในการนำกลับกากของเสียประเภทอื่นมาใช้ประโยชน์ด้านงาน ก่อสร้าง

8.3 ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน สำหรับการวิจัยพัฒนาการผลิตคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก เพื่อพัฒนาคุณภาพให้ได้ตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน

**8.4 สามารถลดปริมาณการใช้ทรายในคอนกรีตบดล็อกและยังเป็นการอนุรักษ์
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. โลหะหนัก

โลหะหนักหมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไปและมีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดีเป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียว และนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า โลหะหนักสามารถรวมตัวกับ สารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้ โลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ (ชุติมา วงศ์สุขสิน, 2540) ได้แก่

1.1 แคดเมียม เป็นโลหะอยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 112.4 มีวาเลนซ์ 2 จุดหลอมเหลว 320.7 °C จุดเดือด 767 °C ความหนาแน่น 8.6 กรัม/มิลลิลิตร สามารถระเหิดเป็นไอด้วยความร้อนได้ง่าย และพบว่าแคดเมียมเป็นธาตุที่หายาก และมีอยู่น้อยในธรรมชาติ ส่วนที่พบเป็นปริมาณมากมักเกิดปนอยู่กับแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดงและดีบุก ในธรรมชาติมักรวมตัวกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งมีสีเหลืองอยู่ในแร่ Grunockite และมักปนอยู่กับแร่สังกะสีซัลไฟด์ และสำ หรับในโรงงานถลุงสังกะสีพบว่าแคดเมียมเป็นผลพลอยได้ เนื่องจากมีแคดเมียมปะปนอยู่ในแร่ที่นำ มาถลุงแคดเมียมเป็นโลหะที่ใช้ทำ หลอดไฟ หัวเจาะ หัวโม้อุตสาหกรรมผลิต แก้วสี ฝ้าย แบตเตอรี่ เชื่อมโลหะใช้ผสมกับซิลิเนียมในการผลิตสี ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก ซึ่งแคดเมียมที่เข้าไปอยู่ในสถานะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิด เช่น แคดเมียมเข้าไปอยู่ในอากาศมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานถลุงสังกะสี ตะกั่วและทองแดง จากการเผาไหม้ของพลาสติก สีชนิดต่างๆ นิเกิล-แคดเมียมแบตเตอรี่ น้ำมันเครื่อง ผลิตภัณฑ์ยาง และจากควันทนุหรี และแคดเมียมที่เข้าไปอยู่ในแหล่งน้ำเกิดจากการระบายน้ำเสียจากโรงงานบางประเภทลงสู่แม่น้ำ ลำ คลอง เช่น โรงงานทำ โลหะผสม ชุบโลหะ และจากการละลายเหล็กที่เคลือบด้วยสังกะสีที่มีแคดเมียมปนอยู่ในปัจจุบันมีการใช้โลหะแคดเมียมมาใช้แทนอลูมิเนียม เหล็ก สแตนเลส และสังกะสีในการฉาบอุปกรณ์ที่เป็นโลหะต่างๆ อีกด้วย การสะสมของแคดเมียมในร่างกายในปริมาณสูงทำ ให้คนเป็น

หมันและเป็นมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ทำลายตับ ไตและกระดูก ดังเช่นกรณีชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณ ริมฝั่งแม่น้ำจันทบุรี ประเทศญี่ปุ่นเกิดอาการสายตาคิดปกติ ปวดกระดูกตามน่อง ซึ่งโครงและสันหลัง ซึ่งชาวญี่ปุ่น เรียกโรคนี้ว่า อีไต-อีไต ผู้หญิงที่มีบุตรหลายคนและหลังจากหมดประจำ เดือนแล้วจะเป็น โรคนี้มากและหนักที่สุด

1.2 โครเมียม เป็นธาตุในหมู่ VI B ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลว 1,875 °C จุดเดือด 2,665 °C ความหนาแน่น 7.19 กรัม/มิลลิลิตร ในปัจจุบันมีการนำโครเมียมมาใช้ในโรงงานชุบโลหะฟอกหนังสัตว์ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน-สีพลาสติก แบตเตอรี่ น้ำมันทาไม้ ชลैंด แล็กเกอร์ ฟอกหนังสัตว์ กาว จักรยาน และจักรยานยนต์ เป็นต้น เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเนื้องอกในปอด และอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้โครเมียมยังทำความระคายเคืองต่อทางเดินอาหารเมื่อรับประทานเข้าไป

1.3 ทองแดง เป็นธาตุในหมู่ IB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 63.54 จุดหลอมเหลว 1,083 °C จุดเดือด 2,595 °C ความหนาแน่น 8.96 กรัม/มิลลิลิตร ทองแดงที่พบในสภาวะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิด มาจากโรงงานชุบ โลหะ การหลอม เชื้ออม หรือ บัดกรีโลหะและมาจากภาชนะบรรจุอาหาร เป็นต้น ทองแดงเป็น ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายมากเพราะช่วยในการสร้างฮีโมโกลบินและจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์ แต่ต้องการในปริมาณน้อยคือ ร่างกายต้องการทองแดงเพียงวันละ 2.0 มิลลิกรัม เกลือของทองแดงมีส่วนในการควบคุมการเติบโตของร่างกาย และเป็นตัวเร่งในการออกซิไดซ์เมกานีส ถ้าร่างกายขาดทองแดงจะเป็นอันตรายต่อตับได้ แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปทำให้เกิดโรคโลหิตจางได้

1.4 เหล็ก เป็น ธาตุในหมู่ VIII B ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 55.847 จุดหลอมเหลว 1,536 °C จุดเดือด 3,000 °C ความหนาแน่น 7.86 กรัม/มิลลิลิตร เหล็กที่พบในสภาวะแวดล้อม แหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ และจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานชุบโลหะ เชื้ออมโลหะ และทำโลหะผสม เป็นต้น เหล็กเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกาย เพราะเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินซึ่งอยู่ภายในเม็ดเลือดแดงร่างกายต้องการ ประมาณ วัน ละ 10.0 –30.0 มิลลิกรัม และนอกจากนี้ยังพบว่า มีส่วนในการควบคุมระบบการหายใจของสัตว์น้ำ อีกด้วย ถ้าร่างกายขาดเหล็ก ทำให้เป็นโรคโลหิตจางซึ่งมีผลต่อสุขภาพโดยเฉพาะเด็กๆ จะมีความต้านทานต่อโรคน้อย ทำให้ติดเชื้อได้ง่าย มีผลกระทบต่อพัฒนาการเรียนรู้ ความเฉลียวฉลาด ความว่องไวและความตั้งใจแต่ถ้าร่างกายได้รับเหล็กในปริมาณที่สูงๆอาจจะเป็นโรคโฮโมโครมาโตซิส (Homochromotosis) ได้ โดยเฉพาะในคนที่เป็โรคทางกรรมพันธุ์ที่ไม่สามารถควบคุมการดูดซึมจึงได้รับเหล็กมากเกินไปทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมเหล็ก เช่น ที่ตับ ตับจะใหญ่ ผิวมีสีเขียว ขนตามตัวร่วงและติดเชื้อได้ง่าย

1.5 ตะกั่ว เป็น ธาตุในหมู่ IVA ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 207.19 จุดหลอมเหลว 327.4 °C จุดเดือด 1,725 °C ความหนาแน่น 11.4 กรัม/มิลลิลิตร เป็น โลหะหนักอีกชนิดหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเชื่อมโลหะ หรือบัดกรี ผลิตพลาสติก หล่อตัวอักษรสำหรับพิมพ์ สี แบตเตอรี่รถยนต์เพื่อเป็นสารกันน้ำออก หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ และทำให้ค่าออกเทนของน้ำมันสูงขึ้น ซึ่งตะกั่วที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าวสร้างปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนด้วยการเพิ่มปริมาณตะกั่วตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อมคือ ในอากาศ ในดิน ในน้ำ ในพืช และในสัตว์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพราะทั้งน้ำ พืช และสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารมักปนเปื้อนด้วยตะกั่ว ซึ่งมาจากอุตสาหกรรมดังกล่าว เมื่อตะกั่วเข้าไปในร่างกายจะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสเลือด จากนั้นนำไปเก็บสะสมที่ตับ ไต และกระดูก ตะกั่วบางส่วนจะถูกขับออกทางน้ำดี และอุจจาระ ตะกั่วสามารถไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือดแดงของไขกระดูกทำให้เกิดโรคโลหิตจาง และเมื่อสะสมที่ไตจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของไตลดลงจนเกิดอาการไตวายได้ และยังพบอีกว่าตะกั่วจะเข้าไปทำลายเซลล์สมอง และประสาททำให้เกิดอาการต่างๆ ทางสมอง เช่น เกิดภาพหลอน เวียนศีรษะ คลุ้มคลั่งชัก เป็นอัมพาต ปวดท้องอย่างรุนแรงแต่ตำแหน่งไม่แน่นอน อ่อนเพลีย หมดสติ และตายในที่สุด ดังเช่นในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2518 ประชาชนที่อาศัยอยู่ในอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เกิดการเจ็บป่วยด้วยอาการพิษของตะกั่ว เนื่องจากมีการนำแบตเตอรี่ที่เลิกใช้แล้ว ไปถมถนนเข้าหมู่บ้าน ทำให้น้ำใช้อุปโภคบริโภค ผักบุ้ง ผักกะเฉด และสัตว์น้ำมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ประชาชนได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายเป็นโรคโลหิตจาง และโรคประสาท จนบางรายถึงแก่ชีวิต

1.6 แมงกานีส เป็นธาตุในหมู่ VIIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 54.938 จุดหลอมเหลว 1,245 °C จุดเดือด 2,150 °C ความหนาแน่น 7.43 กรัม/มิลลิลิตร แมงกานีสที่พบในสถานะแวดล้อมเกิดจากโรงงานผลิต ซ่อมประกอบแบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย โลหะผสม เชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า และอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นต้น แมงกานีสเป็นส่วนประกอบทางโครงสร้างของกระดูก และของเอนไซม์ โดยทั่วไปร่างกายต้องการแมงกานีสประมาณวันละ 3.0-4.0 มิลลิกรัม แต่ถ้าวร่างกายได้รับแมงกานีสในปริมาณสูงๆ จะทำให้ทางเดินอาหาร และผิวหนัง อักเสบ ปวดศีรษะ ประสาทส่วนกลางถูกทำลาย และเป็นอัมพาต

1.7 พรอท เป็นโลหะสีชาวล้ำเงิน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายอยู่ในกลุ่ม II B ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 200.61 จุดหลอมเหลว -38.4 °C จุดเดือด 857 °C ความหนาแน่น 13.6 กรัม/มิลลิลิตร สามารถแตกตัวเป็นไอออนบวกได้ 2 แบบคือ Hg^+ (เมอร์คิวริส) และ Hg^{2+} (เมอร์คิวริก) ไอออนของพรอทสามารถรวมได้กับทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ พรอทที่ก่อให้เกิดมลพิษ แก่สิ่งแวดล้อมมีต้นกำเนิดมาจากธรรมชาติและจากโรงงาน

อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผลิตก๊าซคลอรีน และโซดาไฟ เขื่อกระดาษ พลาสติก แก๊สซังค์ สี่ต่างๆ ไวนิลคลอไรด์ หลอมโลหะ จากสารประกอบของปรอทที่ใช้เป็นยาฆ่า จักเชื้อรา จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ชำรุด จากเซลล์แบตเตอรี่ชนิดแห้งและจากปรอทผสม (Amalgam) ที่ใช้อุดฟันและในบรรดาอุตสาหกรรมดังกล่าวพบว่าโรงงานผลิตก๊าซคลอรีนและโซดาไฟ กับโรงงานผลิตเขื่อกระดาษจะใช้ปรอทเป็นจำนวนมากและมักจะปล่อยสารปรอทออกมากับน้ำทิ้งหรือน้ำเสียเมื่อร่างกายได้รับสารปรอทโดยเฉพาะเมทิลเมอร์คิวรี (Methyl mercury; CH_3Hg^+) จะดูดซึมเข้าสู่ลำไส้ได้ถึงร้อยละ 95 ซึ่งจะทำให้เกิดอาการต่างๆ เช่น การบีบตัวของทางเดินอาหาร ภาวะลำไส้ทำให้ปวดท้อง อาเจียน ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ และยังอาจมีผลให้เป็นอัมพาต หมดสติ และตายได้ดังเช่นในประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ.2493 ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณอ่าวมินามะตะ เสียชีวิตจำนวนมากเนื่องจากบริโภคปลา และหอยที่มีสารเมทิลเมอร์คิวรีสูงซึ่งมีสาเหตุจากโรงงานผลิตไวนิลคลอไรด์ของบริษัทชินโซ ปล่อยสารปรอทในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีคลอไรด์ (Methyl mercury chloride; CH_3HgCl) ลงสู่ม่าน้ำทำให้ปรอทเข้าไปสะสมในสัตว์น้ำ เมื่อคนรับประทานสัตว์น้ำทำให้เกิดโรคปรอทเป็นพิษ (หรือ เรียกว่าโรค มินามะตะ)

1.8 ซีลีเนียม อยู่ในกลุ่ม VI B ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 78.96 จุดหลอมเหลว 217 °C จุดเดือด 685 °C ความหนาแน่น 4.79 กรัม/มิลลิลิตร ซีลีเนียมที่พบในสิ่งแวดล้อมมีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมผลิตสี ถลุงแร่ทองแดง เหล็กกล้า เครื่องเคลือบ การถ่ายภาพ เป็นต้น ซีลีเนียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพราะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ Glutathione peroxide โดยทั่วไปร่างกายต้องการรับซีลีเนียมประมาณวันละ 0.01-0.20 มิลลิกรัม แต่ถ้าร่างกายสะสมซีลีเนียมในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดเป็นพิษอย่างรุนแรง และยังพบว่าเป็นธาตุที่ก่อมะเร็งได้ อาการพิษของซีลีเนียมได้แก่ ฟันผุ ผิวหนังซีดเหลือง ผิวหนังลอกออก โรคปวดไขข้อ ระบบการย่อยอาหารผิดปกติ ผมร่วง

1.9 สังกะสี อยู่ในหมู่ II B ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 65.37 จุดหลอมเหลว 9.5 °C จุดเดือด 906 °C ความหนาแน่น 7.14 g/ml สังกะสีที่พบในสภาวะแวดล้อมเกิดจากโรงงานชุบโลหะผลิต ซ่อมและประกอบแบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย กระดาษพิมพ์เขียว เป็นต้น สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพราะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด หากขาดธาตุนี้จะมีผลทำให้สัตว์ชะงักการเจริญเติบโต ขนหรือผมร่วง อวัยวะและระบบการสืบพันธุ์ผิดปกติ แต่ถ้าร่างกายได้รับธาตุนี้มากเกินไปจะทำให้เกิดการผิดปกติเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารและระบบประสาทโลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท แคดเมียม อาร์เซนิก ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีพิษถาวรซึ่งนอกจากจะไม่เปลี่ยนรูปไปตามกาลเวลาแล้ว ยังสามารถสะสมในร่างกาย

มนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำ เป็นต้องกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย น้ำเสีย หรือตะกอนเพื่อป้องกันไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่วัฏจักรของน้ำ หรือผ่านไปทางห่วงโซ่อาหาร U.S.EPA ได้กำหนด โลหะที่มีพิษ 13 ชนิด ที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสีย ได้แก่ แบลเลียม แคดเมียม โครเมียม (ทองแดง) นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เงิน อาร์เซนิก แอนติโมนี เซเลเนียม เทลเลียม และปรอท

2. ของเสียอันตราย (Hazardous Waste)

ของเสียอันตรายตามคำจำกัดความของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กล่าวไว้ว่า เป็นของเสียหรือสิ่งเจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้น หรือมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีหรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วยทั้งที่รักษาได้และไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกักขนส่ง และกำจัดของเสียอันตราย ประกอบไปด้วยสาร หรือมีลักษณะดังต่อไปนี้

- ไวไฟหรือติดไฟง่าย (Ignitibility) ได้แก่ของเสียที่เกิดการติดไฟได้ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้

- เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactivity) หรือเกิดการระเบิดได้ (Explosiveness) ได้แก่ของเสียที่สามารถทำ ปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น ทำปฏิกิริยากับน้ำที่สภาวะที่เหมาะสมอาจทำให้เกิดแก๊สพิษ ชนิดต่างๆ หรืออาจเกิดการระเบิดขึ้นได้

- การกัดกร่อน (Corrosivity) ได้แก่ ของเสียที่สามารถทำ ปฏิกิริยาเกิดการกัดกร่อนของโลหะ ได้เช่น ของเสียที่เป็นกรดหรือด่าง

- เป็นพิษ (toxicity) ได้แก่ ของเสียที่มีความเป็นพิษในตัวเองสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ของเสียที่ประกอบด้วยโลหะหนัก

- ถูกชะละลายได้ (Leachability) ได้แก่ ของเสียที่ ถูกชะละลายโดยน้ำ ให้ปลดปล่อยสารที่เป็นอันตรายออกมา ซึ่งสามารถไหลปะปนในแหล่งน้ำต่างๆ

- ทำให้เกิดโรค (Pathogenicity) ได้แก่ของเสียที่มีจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส ปะปนอยู่ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ อาจทำให้เกิดโรคได้ ถ้าสัมผัสหรือเข้าสู่ร่างกาย

ทั้งนี้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้แบ่งประเภทของเสียอันตรายไว้เป็น 14 ประเภท ได้แก่ น้ำมันต่างๆ เศษเหลือของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของเหลว กากตะกอนของสารอินทรีย์ กากตะกอนของสารอนินทรีย์ กากตะกอนโลหะหนัก สารทำ ละลายต่างๆ ของเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ของเสียที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาผิดแบบ รวมทั้งวัตถุบิ่นที่ไม่ได้มาตรฐาน

polychlorinated biphenyls (PCBs) เศษเหลือของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย ของเสียจากการล้างรูปภาพ ของเสียดัดเชื้อและของเสียชุมชนนอกจากนี้ผู้ให้ความหมายของของเสียอันตรายไว้ต่างๆ กัน โดยที่ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้คำ นิยามโดย Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) กล่าวไว้ว่าของเสียอันตรายคือ ของเสียที่เป็นของแข็งหรือเป็นส่วนผสมของเสียที่เป็นของแข็งหลายชนิดซึ่งปริมาณความเข้มข้น หรือลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีหรือทางการติดเชื้อของของเสียนั้นอาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังนี้

1) ทำให้เกิดการขยายการตายหรือการติดเชื้อที่ร้ายแรงที่ไม่สามารถรักษาได้หรือรักษาได้เพิ่มขึ้น

2) เป็นอันตรายอย่างปัจจุบันทันด่วน หรือมีแนวโน้มที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อทำ การบำบัด การเก็บ การขนส่ง การทิ้งหรือมีการจัดการอย่างไม่เหมาะสม

ทั้งนี้ ความหมายของของแข็งนั้นรวมทั้ง ของกึ่งของแข็ง ของเหลว และ แก๊สที่ถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ใดๆด้วย

นอกจากนี้ The U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA.) ได้ให้คำ นิยามเพิ่มเติมไว้ว่าของเสียอันตรายคือ ของเสียที่มีลักษณะเป็นอันตรายจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมของกฎหมายต้องมีลักษณะตรงกับข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อรวมกันดังนี้

-แสดงถึงลักษณะที่สามารถจุดติดไฟได้ง่าย มีฤทธิ์กัดกร่อน เกิดปฏิกิริยากับวัสดุอื่นได้ง่าย หรือมีความเป็นพิษ

- เป็นของเสียที่ไม่สามารถระบุที่มาได้ (มักเกิดจากกระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ)

- เป็นของเสียเฉพาะจากอุตสาหกรรมบางประเภท

- เป็นผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่ได้จากสารเคมีที่ใช้ในการพาณิชย์กรรมบางประเภท

- เป็นส่วนผสมของสารที่ถูกกำหนดว่าเป็นของเสียอันตราย

- เป็นวัสดุที่ไม่ถูกกำหนดไว้ในบทบัญญัติของ The Resource Conservation and

Recovery Act, Subtitle C

3. กากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม ที่กฎหมายโรงงานเรียกว่า สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น หมายถึงของเสียหรือสิ่งที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน ตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบ การผลิต การตรวจสอบคุณภาพ การบำบัดมลพิษ การซ่อมบำรุงเครื่องจักร/อุปกรณ์ การรื้อถอน/ก่อสร้างอาคารภายในบริเวณโรงงาน รวมทั้งกากตะกอน หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ทั้งนี้

อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ทั้งนี้รวมถึงของเสียอันตรายที่เกิดจากอาคารสำนักงาน และที่พนักงานที่อยู่ภายในบริเวณโรงงาน ยกเว้นของเสียไม่อันตรายที่เกิดจากอาคารสำนักงาน และบ้านพักพนักงาน เช่น หนังสือพิมพ์ เศษอาหาร ขยะมูลฝอยทั่วไป เป็นต้น

การจัดประเภทกากของเสียว่าเป็นกากของเสียทั่วไปหรือกากของเสียอันตราย โดยทำการทดสอบและจัดประเภทกากของเสีย โดยทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยวิธีของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม แล้วทำการตรวจสอบหาปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ดังนี้ คือ อาร์เซนิก (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้จากกากของเสียตัวอย่างกับค่ามาตรฐานตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในน้ำสกัด

ลำดับ	ชื่อสาร	ค่ามาตรฐาน	
		US EPA	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
1.	อาร์เซนิก (As)	5.0	5.0
2.	แบเรียม (Ba)	100.0	-
3.	แคดเมียม (Cd)	1.0	1.0
4.	โครเมียม (Cr)	5.0	5.0
5.	ตะกั่ว (Pb)	5.0	5.0
6.	ปรอท (Hg)	0.2	0.2
7.	ซีลีเนียม (Se)	1.0	-
8.	ซิลเวอร์ (Ag)	10.0	-

ถ้าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกากของเสียน้อยกว่าค่ามาตรฐาน แสดงว่า กากของเสียเป็นกากของเสียทั่วไป (Non-hazardous waste) แต่ถ้าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกากของเสียมากกว่าค่ามาตรฐาน แสดงว่าเป็นกากของเสียอันตราย (Hazardous waste)

สาเหตุที่โลหะหนักถูกกำหนดได้ค่าการชะละลายเป็นค่ามาตรฐานในการจัดประเภทกากของเสียอุตสาหกรรม เนื่องจากโลหะทั้ง 5 ชนิด คือ อาร์เซนิก (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) มีความเป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

4. ตะกรันทองแดง (Copper Slag)

ตะกรันทองแดง (Copper Slag) เป็นผลพลอยได้จากการถลุงแมทท์ (Matte smelting) เพื่อแปลงแมทท์ (Matte) เป็นโลหะทองแดง ซึ่งเรียกว่า ทองแดงบลิสเตอร์ (Blister Copper) และการแยกทองแดงให้บริสุทธิ์ องค์ประกอบหลักของวัตถุดิบที่ใช้ในการถลุงได้แก่ ซัลไฟด์ และออกไซด์ของเหล็กและทองแดง วัตถุดิบอาจมีออกไซด์ต่อไปนี้อยู่ด้วย เช่น SiO_2 , Al_2O_3 , CaO และ MgO ซึ่งอาจมีอยู่ดั้งเดิมในวัตถุดิบหรือเติมลงไปทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอม ส่วนประกอบที่เป็น ทองแดง ซัลเฟอร์ ออกซิเจน และออกไซด์ของธาตุเหล่านี้ จะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมบัติทางเคมีและกายภาพของระบบการถลุงแร่ ปัจจัยที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน/รีดักชันของแก๊สที่ใช้ในการให้ความร้อนและหลอมวัตถุดิบ จากกระบวนการนี้จะได้แมทท์ที่มีทองแดงสูงและตะกรันทองแดง (ซัลไฟด์) และตะกรันทองแดง (ออกไซด์) เกิดขึ้นเป็นวัฏภาคของเหลวที่แยกกัน 2 วัฏภาค การเติมซิลิการะหว่างกระบวนการถลุงแร่จะทำให้เกิดแหล่งอ็อกซิเจนของซิลิเกต ทำให้เกิดแอนอ็อกซิเจนที่มีพันธะอย่างแรง โดยรวมกับออกไซด์ ปฏิกิริยานี้จะทำให้ได้วัฏภาคที่เป็นทองแดง ในขณะที่ซัลไฟด์จะเกิดวัฏภาคแมทท์ อันเนื่องมาจากมีแนวโน้มต่ำในการเกิดเชิงซ้อนที่เป็นประจุลบ ซิลิกาที่ถูกเติมลงไปโดยตรงสำหรับการแยกทองแดงเกือบสมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นใกล้จุดอิ่มตัวด้วย SiO_2 โครงสร้างของตะกรันจะถูกทำให้เสถียรโดยการเติมโลม์และอะลูมินา ตะกรันทองแดงที่กำลังหลอมเหลวจะถูกนำออกจากเตาที่อุณหภูมิที่ 1,000-1,300 องศาเซลเซียส ตะกรันที่เป็นของเหลวจะถูกทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลึกแข็งและมีความหนาแน่น ในขณะที่การทำให้เป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว โดยการเทตะกรันทองแดงที่หลอมเหลวลงในน้ำจะได้ตะกรันทองแดงรูปทรงอสังฐานที่เป็นเม็ด ลักษณะคล้ายโลหะ สีดำ มันวาว ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ตะกรันทองแดง

องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยเหล็กออกไซด์ประมาณร้อยละ 53.45 ซิลิกอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 33.05 เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดรูปผิวโลหะเพื่อกำจัด สนิม สี สิ่งสกปรก ในการเตรียมพื้นผิวก่อนที่จะทาสี หรือทาดัวยวัสดุเคลือบผิว ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไปดังต่อไปนี้

- **ลักษณะทางด้าน กายภาพ และเคมี**

รูปร่าง	:	มีสีดำ , มีเหลี่ยมคม
จุดหลอมเหลว	:	1,000 – 1,250° C
การละลายน้ำ	:	ไม่ละลายน้ำ
ความถ่วงจำเพาะ	:	3.3 – 3.9

- **ลักษณะการติดไฟ และการระเบิด**

ขีดความร้อนที่สามารถลุกเป็นไฟ	:	เป็นของแข็งไม่ติดไฟ
-------------------------------	---	---------------------

- **การเกิดปฏิกิริยา**

เสถียรภาพ	:	ไม่เปลี่ยนแปลง
การทำปฏิกิริยา	:	ไม่ควรสัมผัสกับ HCl , HNO ₃ , H ₂ SO ₄
อันตรายเมื่อถูกความร้อน	:	ไม่มี
การเปลี่ยนสถานะ	:	ไม่เปลี่ยนสถานะ

- **การเป็นอันตรายต่อสุขภาพ**

อันตรายต่อสุขภาพ	:	สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง เกี่ยวกับระบบการหายใจ
การป้องกัน	:	ควรจะหลีกเลี่ยงการสูดดมโดยตรง โดยการใส่เครื่องป้องกัน

ตะกรันทองแดง มีปริมาณของเหล็กสูงและสามารถใช้ทดแทนเหล็กที่เป็นวัสดุในการผลิตปูนเม็ด (Huang, 2001) นอกจากนี้ ตะกรันทองแดง ยังใช้เหมือนสารปอซโซลานซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Al-Jabri, 2006) คุณสมบัติทางฟิสิกส์และองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดงเทียบกับ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตซีเมนต์แสดงในตารางที่ 1.2 และ 1.3

ตะกรันทองแดงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทำความสะอาดพื้นผิวโลหะโดยการพ่นยิง (Abrasive blast cleaning) การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีนี้เป็นการเตรียมและทำความสะอาดพื้นผิวที่ให้ผลดีและคุ้มค่าที่สุดสำหรับพื้นผิวเหล็กและพื้นผิวคอนกรีตที่มีขนาดพื้นที่มาก พื้นผิวที่มีสนิมมาก หรือมีสีเก่าเคลือบอยู่หรือมีสิ่งสกปรก จำเป็นต้องใช้วิธีเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีนี้ การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีนี้มีข้อควรระวังที่สำคัญอันได้แก่ การเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมการเลือกขนาดของหัวยิงที่เหมาะสมกับงาน

การเลือกขนาดของเม็ดทรายที่ให้ผลดีและคุ้มค่าที่สุด โดยที่ ตะกรันทองแดงต้องไม่หยาบเกินไปซึ่งโดยปกติควรมีขนาดประมาณ 18-40 mesh และเพื่อให้ได้ผลดีและคุ้มค่าที่สุดที่สุคนั้นขั้นตอนการเตรียมพื้นก่อนการเคลือบสีที่ดีของกระบวนการนี้ควรประกอบไปด้วย ขั้นตอนต่างๆดังนี้

- 1) ก่อนการยิงตะกรันทองแดงควรต้องขจัดคราบไขมัน คราบน้ำมัน คราบเกลือ เคมิ ผุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่าง โดยใช้สารเคมีก่อน
- 2) ขั้นตอนต่อมาใช้วิธียิงด้วยตะกรันทองแดงตาม
- 3) หลังจากนั้นให้ขจัดตะกรันทองแดง ผงและฝุ่นต่างๆ ด้วยเครื่องดูด , เครื่องเป่าหรือแปรงก่อน การเคลือบสีรองพื้น
- 4) การเคลือบสีรองพื้น ควรกระทำในวันเดียวกันกับการยิงตะกรันเพื่อเป็นการป้องกันการเปื้อน สกปรกอีก

ข้อแตกต่าง ระหว่างการใช้ ตะกรันทองแดงหรือ ทราย ในการการเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน

ข้อดี

- 1) ตะกรันทองแดงมีความคมของเม็ด ทำให้สามารถขัดผิว ทำความสะอาดชิ้นงานได้มากกว่า ทราย ทำให้ผิวชิ้นงานมีความขรุขระมากกว่า ทำให้เกิดการยึดแน่นของวัสดุเคลือบได้ดี
- 2) ตะกรันทองแดงมีความแข็งมากกว่าทราย ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก 1 ครั้ง หรือมากกว่า
- 3) มีฝุ่นน้อยกว่าทราย ขณะทำงาน เนื่องจากมีความแข็งมากกว่า ทำให้มีผลกระทบเกี่ยวกับระบบการหายใจของคนงานน้อยกว่า ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่สุดที่ยินยอมให้ใช้ตะกรันทองแดงแทนทราย

- 4) หาได้ง่าย

ข้อเสีย

- 1) ราคาแพงกว่าทราย

- 2) ต้องส่งไปกำจัดเป็นกากของเสีย ซึ่งมีราคาสูงมากในการกำจัด
- 3) มีน้ำหนักมาก ขนย้ายลำบากกว่าทราย

5. การลดปริมาณของเสีย (Waste Minimization)

การลดปริมาณของเสียคือ เครื่องมือในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณของเสียซึ่งทำให้ผลผลิตเพิ่ม และ/หรือลดการใช้วัตถุดิบ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การป้องกันมลพิษ การลดการใช้พลังงาน การใช้น้ำและทรัพยากรอื่นๆ เป็นการลดการสูญเสีย ตลอดจนการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยงให้น้อยที่สุด โดยเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงหลักแนวคิดจากการแก้ไขไปเป็นการป้องกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์

จากการที่กระบวนการทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นำไปสู่ปัญหามลพิษทางน้ำ อากาศ ขยะ และการปนเปื้อนในดิน การลดปริมาณของเสียจึงเป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับการได้เปรียบเชิงธุรกิจ เพื่อป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น โดยการลดมลพิษและลดของเสียที่แหล่งกำเนิด ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต และสิ่งสำคัญคือช่วยลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิต ทำให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.1 การลดปริมาณของเสีย สามารถ

- 1) ลดค่าใช้จ่ายในการผลิต เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงขึ้น
- 2) ลดของเสียจากวัตถุดิบที่ใช้
- 3) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย
- 4) เพิ่มผลผลิต
- 5) เพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์
- 6) ประหยัดพลังงาน
- 7) ลดความเสี่ยงและอุบัติเหตุ
- 8) เพิ่มภาพพจน์ขององค์กร
- 9) เป็นไปตามกฎหมายควบคุมสิ่งแวดล้อมของทางราชการ

5.2 เทคนิคการลดปริมาณของเสีย

5.2.1 ลดที่แหล่งกำเนิด (Source reduction) : โดยทั่วไปมักมีความคิดว่าการจัดการของเสียเป็นงานของการบำบัดหรือกำจัด ซึ่งจริง ๆ แล้ว การจัดการของเสียที่แท้จริงคือ การพยายามลดของเสียให้มากที่สุด การบำบัดหรือการกำจัดของเสียคืองานที่ปลายทางของกระบวนการผลิตต่าง ๆ แต่การลดปริมาณของเสียจะเกี่ยวข้องกันในทุก ๆ ส่วนของการผลิต นับตั้งแต่การนำวัตถุดิบเข้าโรงงาน การกักเก็บ จนกระทั่งการผลิตในแต่ละขั้นตอน การพยายามลดของเสียในโรงงานจะสำเร็จหรือไม่ขึ้นอยู่กับความรับผิดชอบของผู้จัดการ ตลอดจนพนักงานทุกคนที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งในความเป็นจริงมีจำนวนโรงงานน้อยรายที่จะให้ความสนใจในเรื่องการลดของเสียนี้ โดยหารู้ไม่ว่าการจัดการของเสียเท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของโรงงานนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น การพยายามลดของเสียปัญหาไม่ได้อยู่ที่เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่จะใช้แต่ขึ้นอยู่กับทัศนคติของแต่ละบุคคลในเรื่องการลดของเสีย ซึ่งโดยทั่วไปมักจะคิดว่าเป็นแผนการดำเนินงานในระยะยาว แต่แท้ที่จริงแล้ว บางอย่างสามารถทำได้ทันที หรือบางอุตสาหกรรมมีความเชื่อว่าทำแล้วอาจมีความเสี่ยงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การลดของเสียที่จุดกำเนิดสามารถทำได้โดย

- 1) การเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Product changes) เป็นการปรับปรุงในรายละเอียดของผลิตภัณฑ์เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดการเกิดสารมลพิษ
- 2) การคุมที่แหล่งกำเนิด (Source control) ได้แก่
 - การเปลี่ยนวัตถุดิบ เช่น การใช้วัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบที่เป็นอันตรายหรือก่อมลพิษสูง การใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์หรือคุณภาพดี
 - การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในการผลิต หมายถึง การปรับปรุงวิธีการหรือกลไกในกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต การเปลี่ยนอุปกรณ์ การเพิ่มระบบควบคุมอัตโนมัติ
 - การจัดการที่ดี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินการ รวมถึงการจัดการ การจัดระเบียบขององค์กรและหน้าที่ของบุคคลในสายการผลิต การปรับปรุงขั้นตอนหรือกระบวนการทำงาน ตลอดจนประสิทธิภาพในการทำงานของบุคลากร เพื่อลดข้อผิดพลาดในการทำงานอันเป็นสาเหตุของการเกิดของเสีย เช่น การปรับปรุงแผนการผลิตให้มีความสอดคล้องสัมพันธ์กันในแต่ละหน่วยการผลิต เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินการนี้จะรวมถึง การป้องกันการสูญเสียน (Loss prevention) การจัดการวัตถุดิบที่ใช้ (Material handling improvement) การปรับปรุงตารางกำหนดการ (Production scheduling) การแยก (Wastestream segregation) วัธีปฏิบัติทางด้านบุคลากร (Management practices)

5.2.2 การใช้หมุนเวียน (ในและนอกแหล่งกำเนิด) (Recycling (on site and off site)) ทำได้ โดย

1) การนำไปใช้ใหม่ (Use and reuse) ได้แก่ การนำของเสียกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตเดิม (Return to original process) และการนำของเสียไปใช้เป็นวัตถุดิบในอีกกระบวนการผลิตหนึ่ง (Raw material substitute for another process)

2) การสกัดของมีค่า (Reclamation)

6. การกำจัดของเสียอันตราย

ความเจริญทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นตามความกระแสดังกล่าวของประชากรอย่างไม่หยุดนิ่ง ทำให้เกิดปัญหาเรื่องมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะประเด็นสำคัญ เรื่องกากของเสียอันตรายที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ของเสียอันตราย หมายถึง สารหรือวัตถุที่ไม่ใช้หรือใช้ไม่ได้ที่มีส่วนประกอบหรือเจือปนด้วยสารไวไฟ สารกัดกร่อน สารพิษ สารที่สามารถชะล้างได้ สารกัมมันตรังสี และ/หรือสิ่งทำให้เกิดโรค ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมชุมชน เกษตรกรรม ซึ่งก่อให้เกิดทั้งของเสียที่ไม่อันตราย (Non-hazardous waste) และของเสียอันตราย (Hazardous waste)

การบำบัดกากของเสียอันตรายประเภทโลหะหนักในขั้นสุดท้ายที่นิยมใช้และรู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ กระบวนการทำให้เสถียร และทำให้เป็นก้อน (Stabilization/Solidification) เพื่อสร้างมวลของแข็งเนื้อเดียวที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ น้อย มีโครงสร้างมั่นคงแข็งแรง และก้อนหล่อแข็งที่ได้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานต้องมีสมบัติเป็นตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้

กระบวนการทำให้เป็นก้อนแบ่งเป็นหลายประเภทด้วยกัน ควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของของเสียและคุณลักษณะเฉพาะของประเภทของของเสีย หลังจากกากของเสียผ่านกระบวนการหล่อแข็งแล้วจะถูกนำไปทดสอบค่าการชะละลายของโลหะในน้ำสกัด ความสามารถรับกำลังอัดและอื่น ๆ จนมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานก้อนหล่อแข็ง จึงสามารถนำก้อนหล่อแข็งเหล่านั้นไปดำเนินการฝังกลบอย่างปลอดภัยด้วยวิธีพิเศษที่เรียกว่า Secure landfill cement

6.1 ทัศนวิสัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับของเสียอันตราย

(อ้างอิง พรบ. วัตถุอันตราย พรบ. โรงงาน และพรบ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม)

หลักการ “ผู้ก่อให้เกิดมลพิษคือผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle : PPP) ซึ่งเป็นหลักการที่ทางเศรษฐศาสตร์เห็นว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อให้การจัดการมลพิษภาคอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สำหรับหลักการที่เหมาะสมของนโยบายสิ่งแวดล้อมนั้นจะได้ศึกษาจากหลักการของทฤษฎีเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม ซึ่งเนื้อหาทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมนั้นเกี่ยวข้องกับ การหาสัดส่วนที่เหมาะสมทางสังคม (Social Optimum Combination) ของการใช้ขีดจำกัดความสามารถของสภาพแวดล้อมในการรับรองผลกระทบจากการพัฒนา รวมทั้งการใช้เงินทุนและแรงงานเพื่อการสร้างเครื่องมือกำจัดของเสียดังกล่าวซึ่งจุดที่เหมาะสมดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกำลังความสามารถในการผลิตของระบบเศรษฐกิจ ดังนั้นปัญหาทางด้านเศรษฐศาสตร์จึงเป็นปัญหาในเรื่องของกระบวนการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น คุณภาพน้ำ คุณภาพอากาศ ฯลฯ และค้นหาวิธีที่ใช้ต้นทุนน้อยที่สุดในการบริหารจัดการส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อให้บรรลุตามมาตรฐานเหล่านั้น

หลักการ “ผู้ก่อให้เกิดมลพิษคือผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle, PPP) หมายถึงการกำหนดให้ผู้ก่อให้เกิดมลพิษเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการบำบัดมลพิษด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้ควรเก็บจากผู้ก่อให้เกิดมลพิษตามปริมาณ ประเภทและความยากลำบากในการบำบัดมลพิษนั้นๆ และค่าใช้จ่ายดังกล่าวควรครอบคลุมต้นทุนทุกประเภท และทุกขั้นตอนของการประกอบอุตสาหกรรมด้วย ซึ่งหลักการ PPP นี้จะต้องมีการกำหนดมาตรการเพื่อบังคับใช้ โดยมาตรการภายใต้หลักการ PPP จะต้องเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้โดยไม่มีข้อจำกัดของระบบเศรษฐกิจและเป็นมาตรการที่คำนึงถึงความเสมอภาค เพราะการเก็บค่าใช้จ่ายจากผู้ก่อให้เกิดมลพิษนั้นในทางปฏิบัติจะเป็นการเก็บทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคในระบบเศรษฐกิจ การเก็บค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) โดยเก็บจากโรงงานที่ปล่อยมลพิษ หากในกรณีที่มีการปล่อยมลพิษมากก็เก็บในสัดส่วนสูง โรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางจะเก็บในอัตราคงที่หรือเหมาจ่ายเป็นรายเดือนหรือรายปี ส่วนโรงงานขนาดใหญ่เก็บตามปริมาณมลพิษที่โรงงานก่อให้เกิดขึ้นจริง

มาตรการต่าง ๆ ภายใต้หลักการ “ผู้ก่อให้เกิดมลพิษคือผู้จ่าย” ที่มีทฤษฎีกล่าวถึงไว้และมีการบังคับใช้ในบางประเทศแล้วได้ผลดี มาตรการหรือวิธีการต่าง ๆ ที่ได้มีการนำมาใช้ในการกำหนดนโยบายสิ่งแวดล้อมได้แก่

6.1.1 การกำหนดต้นทุนทางธุรกิจด้านสิ่งแวดล้อม วิธีที่ดีที่สุดแต่ทำได้ยากที่สุดสำหรับมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ คือ การจัดตั้งระบบกรรมสิทธิ์หรือตั้งราคาทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยการผลิตทั้งหมด โดยหากสามารถกำหนดราคาที่เหมาะสมได้จะทำให้เกิดต้นทุนในการใช้ทรัพยากร แต่ด้วยเหตุที่ต้นทุนในการกระทำดังกล่าวสูงมากดังนั้นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดความแตกต่างระหว่างต้นทุนเอกชนและต้นทุนของสังคมจึงไม่อาจแก้ไข

ด้วยวิธีดังกล่าว (สุธาวัลย์ เสถียรไทย และเรณู สุขารมณ 2535) อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงในปัจจุบันทำให้ผู้ประกอบการมีภาระหน้าที่ที่จะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นการลงทุนในเครื่องมือและอุปกรณ์ในการกำจัดของเสีย การนำเทคโนโลยีที่สะอาดมาใช้เป็นต้น

6.1.2 การเก็บภาษีสิ่งแวดล้อม การเก็บภาษีจากอุตสาหกรรมที่ขั้นตอนการผลิตก่อให้เกิดของเสียและถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วมาตรการจัดเก็บภาษีจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในการนำมาใช้นี้มาใช้ควบคุมอย่างละเอียดถูกต้องมากขึ้นเท่าไรค่าใช้จ่ายในการบริหารก็มักจะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัวเสมอ โดยเฉพาะการประมาณราคาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการเก็บภาษีจะต้องเก็บโดยการประมาณความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อให้เกิดของเสียหรืออาจเริ่มเก็บตั้งแต่ตัวสินค้าที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

6.1.3 การออกข้อกำหนดควบคุมโดยตรงเป็นการควบคุมโดยตรงคือควบคุมให้ปฏิบัติตามกฎหมายทั้งนี้ต้องมีการจัดทำมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น มาตรฐานคุณภาพอากาศ มาตรฐานคุณภาพน้ำ มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณของเสียที่แต่ละโรงงานจะทิ้งได้ข้อกำหนดควบคุมปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ ในสินค้าขั้นสุดท้าย เป็นต้น เพื่อเอาไว้เป็นหลักและควบคุมให้ปฏิบัติตามมาตรฐานนั้น

6.1.4 การเก็บค่าบำบัดมลพิษ (Pollution Charge) เป็นมาตรการที่มุ่งจะให้เกิดระดับคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งระบบที่เหมาะสม (Overall Emission Standard) เป็นวิธีที่ผู้ปล่อยมลพิษจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียของตน ในรูปของค่าบริการหรือค่าธรรมเนียมโดยค่าบริการหรือค่าธรรมเนียมที่เรียกเก็บ ต้องครอบคลุมต้นทุนทุกประเภทและทุกขั้นตอนนับตั้งแต่การก่อสร้างระบบบำบัดส่วนกลาง การเก็บขน การขนส่ง การบำบัด และการกำจัดขั้นสุดท้ายซึ่งหากอัตราค่าธรรมเนียมดังกล่าวเป็นจำนวนเงินที่สูงแล้ว ผู้ประกอบการก็มีทางเลือกที่จะยอมจ่ายค่าธรรมเนียมที่สูงนั้นต่อไป หรือจะเลือกวิธีลดปริมาณสารพิษของตน (Waste Minimization) โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีที่สะอาด (Clean Technology) ปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือเปลี่ยนแปลงประเภทวัตถุดิบที่ใช้เพื่อให้เกิดสารมลพิษน้อยที่สุดอันเป็นการลงทุนเพื่อสิ่งแวดล้อมโดยทางอ้อม แต่หากระดับการปล่อยของเสียต่ำมาก ๆ การเลือกจ่ายค่าปรับหรือค่าบริการอาจจะคุ้มค่ากว่าการลงทุนกำจัดของเสียเอง

6.1.5 การจัดตั้งกองทุนสิ่งแวดล้อม มาตรการนี้เป็นมาตรการที่เป็นรูปธรรมในการบริหารจัดการเงิน โดยหลักการของมาตรการกองทุนสิ่งแวดล้อมนี้คือการนำเงินที่เก็บจากผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในรูปค่าธรรมเนียมหรือค่าบริการเป็นรายปีหรือทุกระยะเวลาที่กำหนดรวมทั้งค่าปรับจากแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษมาเป็นเงินกองทุน เพื่อนำเงินกองทุนมาใช้ในการ

ก่อสร้างและดำเนินการระบบบำบัดมลพิษส่วนกลางหรือเป็นแหล่งเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำแก่ผู้ประกอบการขนาดเล็กหรือขนาดกลางที่มีได้ใช้บริการของระบบบำบัดมลพิษส่วนกลางซึ่งจุดประสงค์ของการจัดตั้งกองทุนนั้นเพื่อให้อุตสาหกรรมทุกประเภทมีความสามารถในการดำเนินการบำบัดและกำจัดของเสีย โดยการช่วยเหลือทางการเงินและการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมลดปริมาณสารพิษรวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมนำเทคโนโลยีที่สะอาดมาใช้ด้วย (TDRI 2534)

6.1.6 การออกพันธบัตรร่วมทุน (Bond) เป็นมาตรการที่ใช้วิธีเรียกขายพันธบัตรตามส่วนของของเสียจากผู้ประกอบการแล้วนำเงินมาลงทุนจัดตั้งบริษัทเพื่อดำเนินการบำบัดและกำจัดมลพิษโดยตรงซึ่งมาตรการนี้มีผลดีในด้านจิตวิทยาเนื่องจากผู้ประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรมจะเกิดความรู้สึกว่า การซื้อพันธบัตรดังกล่าวเป็นการลงทุนที่เขามีโอกาสถอนคืนได้ ดังนั้นมาตรการนี้จึงเป็นมาตรการหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น (TDRI 2534)

มาตรการทั้ง 6 มาตรการที่กล่าวถึงข้างต้นล้วนเป็นมาตรการที่สามารถก่อให้เกิดการลดปริมาณมลพิษจากการอุตสาหกรรมได้ทั้งสิ้นเนื่องจากเป็นมาตรการที่ผู้ก่อให้เกิดมลพิษจะต้องรับผิดชอบในการหาทางจัดการกับของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิตของตนดังนั้นในการตัดสินใจนำมาตรการต่าง ๆ มาใช้จึงต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมของแต่ละมาตรการกับสภาพแวดล้อมด้านต่าง ๆ ของประเทศเพื่อให้ประโยชน์สูงสุดจากการนำมาใช้นั้นเอง

6.2 แนวทางในการจัดการของเสียอันตราย

6.2.1 การเก็บรวบรวมที่แหล่งกำเนิด

การเก็บรวบรวมที่แหล่งกำเนิดมีจุดประสงค์เพื่อให้มีปริมาณของเสียอันตรายมากพอที่จะนำไปบำบัดและ กำจัดหรือเก็บรวบรวมไว้เพื่อรอการขนย้ายและกำจัดภายนอกโรงงาน การเก็บรวบรวมของเสียอันตรายมี แนวทางดังนี้ เก็บของเสียแต่ละชนิดให้อยู่ในภาชนะที่เหมาะสม ทนทานต่อการกัดกร่อนมีฝาปิดมิดชิด แยกของเสียที่อาจทำปฏิกิริยากันได้ออกจากกัน ติดเครื่องหมาย แสดงชนิดของของเสียอันตรายที่ภาชนะบรรจุ และเก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศดี

6.2.2 การขนย้าย (Transportation)

ในกรณีที่ต้องนำของเสียอันตรายไปทำการบำบัดหรือกำจัดภายนอกแหล่งกำเนิดเมื่อเก็บรวบรวมของเสียอันตรายได้แล้ว จะต้องทำการขนย้ายด้วยพาหนะที่ปลอดภัย มีการป้องกันการรั่วไหลได้เป็นอย่างดี ด้านข้างพาหนะจะต้องแสดงเครื่องหมายแสดงชนิดของของเสียอันตรายที่กำลังทำการขนย้ายด้วย

6.2.3 การบำบัด (Treatment) และการกำจัด (Disposal)

การบำบัดและการกำจัดสามารถทำได้ 5 วิธี คือ การบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมี การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ การปรับเสถียร (Stabilization/solidification) การเผา และการฝังกลบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมี

มีจุดประสงค์เพื่อให้ของเสียอันตรายลดความอันตรายลง มีความสามารถในการละลายต่ำลง มีความคงตัวมากขึ้น ตัวอย่างกระบวนการทางกายภาพและเคมีที่นำมาใช้ได้แก่ การทำให้สารละลายกรดและด่างมีสภาพเป็นกลาง การแยกโลหะหนักออกจากน้ำด้วยการตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) แล้วนำตะกอนไปทำการฝังกลบ แนวทางการจัดการของเสียอันตราย

- การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อให้ของเสียอันตรายอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง

- การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

- การผสมของเสียอันตรายกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้ของเสียอันตรายนั้นละลายน้ำได้น้อยลง เพื่อจะได้ถูกชะล้างน้อยลง

2) การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ใช้ในการกำจัดของเสียที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดอยู่มากเนื่องจากของเสียอันตรายส่วนมากยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพที่นำมาใช้มีทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน

3) การปรับเสถียร (Stabilization/Solidification)

การปรับเสถียรกากของเสียเป็นการผสมสารเคมีที่เหมาะสมเข้ากับของเสียเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่ของเสียถูกจับไว้ ทำให้ของเสียถูกชะล้างละลายออกมาได้น้อยลง การปรับเสถียรกากของเสียนี้เป็นการเตรียมของเสียเพื่อนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย ตัวอย่างการปรับเสถียรได้แก่การผสมปูนซีเมนต์กับตะกอนโลหะหนักแล้วนำมาหล่อเป็นก้อน ตะกอนที่ผ่านการปรับเสถียรแล้วต้องนำมาทดสอบสมบัติการถูกชะล้าง (Leaching test) ภายใต้สภาวะมาตรฐานก่อนนำไปฝังกลบ สารละลายที่ผ่านการชะล้างของเสียแล้วจะต้องมีสารปนเปื้อนต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้

4) การเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Incineration)

การบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมีไม่สามารถทำลายของเสียอันตรายบางชนิดได้ เช่น น้ำมัน สารปรอทศัตรูพืชบางชนิด ตัวทำละลายอินทรีย์ สารเคมีที่เสื่อมคุณภาพ จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดโดยการนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ของเสียเปลี่ยนสภาพเป็น

ถ้าแล้วนำถ่านนี้ไปฝังกลบต่อไปการเผาของเสียอันตรายต้องเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,000-1,200 องศาเซลเซียส และต้องมีส่วนเผาไอก๊าซเข้าเพื่อให้มีมลสารเหลือน้อยที่สุด เตาเผาจะต้องมีการปรับอัตราส่วนเชื้อเพลิงและอากาศที่เหมาะสมนอกจากนี้จะต้องมีเครื่องฟอกอากาศเข้า เช่น เครื่องดักฝุ่น เครื่องกำจัดไอกรดต่าง ก่อนปล่อยอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อม

5) การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure landfill)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมีและการเผา เป็นการเปลี่ยนสภาพของเสียอันตรายให้อยู่ในสภาพที่มีความเป็นอันตรายน้อยลงหรือมีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งอยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำหรือได้จากการเผาไหม้ ต่อจากนั้นนำไปปรับให้เสถียร (solidification/stabilization) ก่อนแล้วจึงนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัยต่อไป โครงสร้างของหลุมฝังกลบนั้นจะต้องมีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำและสารอันตรายอย่างรัดกุมมาก ที่กั้นหลุมและด้านข้างหลุมมีการบดอัดด้วยดินเหนียวซึ่งมีอัตราการไหลซึมของน้ำต่ำ

6) การบำบัดกากของเสียด้วยการทำให้เป็นก้อน

กระบวนการ Stabilization และ Solidification เป็นกระบวนการทางเคมี-กายภาพซึ่งได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการบำบัดของเสียอันตราย กระบวนการนี้สามารถใช้ในการบำบัดของเสียอันตรายที่แหล่งกำเนิด หรือใช้ในการบำบัดของเสียจากที่ผ่านกระบวนการบำบัดอื่นๆ บำบัดมาแล้ว (Residue) กระบวนการ Stabilization เป็นกระบวนการที่มีการผสมสาร Additive (Additive คือสารที่ใช้สำหรับผสมกับของเสียอันตรายเพื่อลดความเป็นพิษหรือความสามารถในการเคลื่อนที่ของของเสียอันตรายลง หรืออาจผสมกับของเสียอันตรายเพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพให้เหมาะสมสำหรับการบำบัดต่อไป) เข้ากับของเสียเพื่อลดอัตราการเคลื่อนที่ของของเสียที่จะไปปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม หรือเพื่อลดความเป็นพิษของของเสียลง ส่วน Solidification เป็นกระบวนการเติมสาร Additive เข้าไปในของเสียที่ผ่านกระบวนการ Stabilization แล้ว เพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบหรือใช้ประโยชน์ต่อไป กลไกพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของสาร Additive ที่ใช้ในการบำบัดด้วยระบบนี้มีดังต่อไปนี้ Macro encapsulation Micro encapsulation Adsorption Adsorption Precipitation และ Detoxification

กระบวนการทำให้เป็นก้อนแบ่งเป็นหลายประเภทด้วยกัน ในการเลือกวิธีการบำบัดของเสียดังกล่าวควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของของเสีย และคุณลักษณะเฉพาะของของเสีย ประเภทของกระบวนการทำให้เป็นก้อนต่างๆ ได้แก่ cement based, pozzolanic (lime based), thermoplastic, organic polymer, Surface encapsulation, self-cementing และ gasification and production of synthetic minerals or ceramics

6.3 ผลการดำเนินงานเกี่ยวกับการกำจัดของเสียอันตรายของประเทศไทย

การจัดการของเสียอันตรายของไทย มีนโยบายชัดเจนตั้งแต่ พ.ศ. 2535 เนื่องจากกฎหมาย 4 ฉบับ ได้แก่ พ.ร.บ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 พ.ร.บ.โรงงาน 2535 พ.ร.บ.สาธารณสุข 2535 พ.ร.บ.วัตถุอันตราย 2535 การจัดการของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม อยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของกระทรวงอุตสาหกรรม และการนิคมอุตสาหกรรม ได้ก่อตั้งศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมเพื่อรับการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรม ขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งมีเงินทุนและบุคลากรไม่เพียงพอที่จะจัดการให้มีระบบบำบัดของเสียของโรงงานเองได้

6.4 ผลกระทบของของเสียอันตราย

ของเสียอันตรายเหล่านี้หากไม่ได้รับการควบคุมดูแลอย่างถูกวิธีแล้วก็จะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมาย ถ้าของเสียเหล่านี้ถูกกองทิ้งในที่ว่างเปล่าโดยปราศจากการดูแลอาจทำให้สารเคมีผสมปนกันจนอาจเกิดการลุกติดไฟเอง เกิดการระเบิด หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นไอหรือควันระเหยออกมาได้ นอกจากนี้ของเสียอันตรายหากหมักหมมทิ้งกองไว้ นานๆเป็นเวลานานอาจจะเกิดการฟูกร่อน ทำให้ถูกลมพัดฟุ้งกระจาย ของเสียบางส่วนจะถูกน้ำฝนชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรือซึมลงสู่พื้นดิน ไปสู่ชั้นน้ำบาดาล ซึ่งอาจนำไปใช้เพื่อการผลิตน้ำประปาหรือการเกษตรกรรม ทำให้เกิดการสะสมของสารเหล่านี้ในห่วงโซ่อาหารได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เป็นตัวอย่างของการทิ้งของเสียอันตรายอย่างไม่ถูกวิธี

จากผลการวิจัยดังกล่าวแสดงว่าการกำจัดของเสียอันตราย (โลหะหนัก) โดยการทำให้เป็นก้อนหล่อแข็งนั้น สามารถลดอันตรายจากการละลาย และรั่วไหลของโลหะหนักที่เป็นของเสียอันตรายสู่สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นการลดปัญหาด้านมลพิษจากสิ่งแวดล้อม แต่ต้องพิจารณาถึงประเภท ชนิด ความเข้มข้น ของของเสียอันตรายที่ต้องการกำจัด การทำให้เป็นก้อนหล่อแข็ง วัสดุที่ใช้ การทดสอบคุณสมบัติของก้อนหล่อแข็ง การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

7. เทคโนโลยีคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

7.1 คอนกรีต

ปัจจุบันคอนกรีตเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง และจำเป็นในงานก่อสร้างทั่วไป คอนกรีตเป็นสารผสมที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งเป็นวัสดุประสาน ททรายและหินเป็นวัสดุเนื้อหยาบ คือไม่มีปฏิกิริยาเคมี มวลทั้งหมดเมื่อผสมแล้ว จะเริ่มก่อตัวในเวลา 1/2 - 2 ชั่วโมง และจะเริ่มแข็งตัวขึ้นเป็นลำดับจนถึงเวลา 28 วัน ซึ่งถือว่าคอนกรีตจะสามารถรับกำลังต่างๆได้เป็นอย่างดี ความแข็งแรงของคอนกรีตเปรียบได้กับศิลาที่ประดิษฐ์ขึ้น มีความแข็งแรง สามารถหล่อได้ในรูปลักษณะต่างๆตามแบบที่กำหนด คอนกรีตมีข้อเสียก็คือ จะต้องอยู่ในแบบหล่อ จนกระทั่งแข็งตัวอยู่ในขั้นที่เหมาะสม สำหรับในโครงสร้างที่ต้องต้านทานแรงดึง คอนกรีตจะต้องได้รับการเสริมกำลังด้วยเหล็ก เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่เกิดจากของผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุผสม (เช่น ทรายหรือกรวด) และน้ำ คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างมากที่สุดในโลกซึ่งมีความแข็งแรงมาก ราคาถูก และทนทาน เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รวมตัวกับน้ำ จะสามารถยึดวัสดุผสมคอนกรีตให้เป็นก้อนเดียวกันได้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นี้ผลิตมาจาก หินปูน และ ซออล์กรวมกับซิลิเกตโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง

เคมีเกี่ยวกับการผลิตในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้แคลเซียม (หินปูนหรือซออล์ค) และซิลิเกตกับ อะลูมินา (เคลย์, เปลือกหอย, ทราย) วัตถุดิบจะถูกบดและผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นจะเผาใน เตาเผาแบบหมุน (rotary cement kiln) จนถึงอุณหภูมิ 1480 °C (2700 °F) ในขบวนการ เผานี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ปฏิกิริยาคือปฏิกิริยาแรกหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไลม์และคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นไลม์จะรวมตัวกับซิลิเกตเป็นไดแคลเซียมอะลูมินา (Dicalcium aluminate) (25%) และไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) (55%) และยังทำ ปฏิกิริยากับอะลูมินาเป็นไตรแคลเซียมอะลูมินา (Tricalcium aluminate) (10 %) เทตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite) (8 %) และอื่นๆ (2 %) ส่วนผสมที่ได้นี้จะถูกทำให้เย็นลงและบดเป็นผงละเอียด และนำมาผสมกับปูนยิปซัม (ใช้ควบคุมความเร็วในการแข็งตัว) ในที่สุดก็จะได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปฏิกิริยาเคมีในการผสม เมื่อเราเติมน้ำลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซิลิเกตจะรวมตัวกับน้ำอย่างรวดเร็วในตอนแรก จากนั้นปฏิกิริยาจะค่อยๆช้าลงแต่ไม่ยุติอย่างสมบูรณ์จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆถ้ายังมีความชื้นอยู่คอนกรีตแข็งตัวภายใน 1 วัน มันจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่า 4 เท่า หลังจากเวลาผ่านไป 1 อาทิตย์ ในเวลา 1 เดือน จะมีความแข็งแรงเป็น 6 เท่า และมีความแข็งแรงมากกว่า 8 เท่าเมื่อคอนกรีตอายุได้ 5 ปี ซิลิเกตทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวถึงในตอนต้น จะเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้

ให้เกิดความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อรวมตัวกับน้ำเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต สามารถทำ ปฏิกิริยากับน้ำได้ เช่นเดียวกันแต่ให้ความแข็งแรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนเทตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ไม่มีผลใด ๆ ต่อปูนซีเมนต์เลย นอกจากเป็นตัวการที่ทำให้ปูนซีเมนต์เป็นสีเทาเท่านั้น ถ้าเรากำ จัดสารประกอบนี้ไปจะได้ปูนซีเมนต์สีขาวโดยไม่ทำให้ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ลดลงเลย ในการผสมคอนกรีตเพื่อทำ กำแพง พื้น ผัง ถนน หรือ บาดวิถี โดยปกติจะผสมปูนซีเมนต์กับวัสดุผสม ก่อนแล้วจึงเติมน้ำตามลงไป อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการก่อสร้าง (ปูนซีเมนต์ : ทราย: หิน) จะแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 1 : 2 : 3 , 1 : 2 : 4 จนถึง 1 : 3 : 5 ในกรณีของมอร์ตาร์สำหรับ ก่ออิฐหรือ คอนกรีตบล็อกมักจะใช้ปูนซีเมนต์และทรายผสมกับ ไลม์ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมนั้นมีความสำคัญมาก ต่อความแข็งแรงของคอนกรีตถ้าปริมาณน้ำยิ่งน้อยคอนกรีตก็จะยิ่งมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยปกติ จะใช้น้ำ 1 – 1.5 เท่า ของปริมาตรคอนกรีต

นอกจากนี้อาจมีการเติมสารผสมเพิ่มอื่นๆ ลงไปด้วย เช่น :

- สารกระจายกักฟองอากาศ (air entraining chemical) เพื่อให้สามารถ

ทำงานได้สะดวกขึ้นและยังป้องกันอันตรายเนื่องจากการแข็งตัว

- ลาเทกซ์สำหรับเพิ่มความแข็งแรง

- เส้นใยพลาสติกสำหรับควบคุมการแตกเนื่องจากการหดตัว

- พลาสติกไซเซอร์ ทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำในการผสมน้อยลงและมี ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

- เหล็กเส้นเสริมแรงหรือตะแกรงเหล็ก ทำ ให้คอนกรีตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

- ใยแก้ว (ชนิดทนด่าง) ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึง

- เม็ดสี สำหรับทำให้คอนกรีตมีสี

ในขณะที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วแข็งตัว จะจับยึดวัสดุผสมและเหล็กเสริมแรงไว้ด้วยกัน ควรรักษาคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาเป็นเวลาหลายวันจนกระทั่งคอนกรีต แข็งตัวเต็มที่คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงมากแต่รับแรงดึงได้น้อย ในขณะที่ เหล็กมีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูง จึงได้มีการนำ เอาวัสดุทั้งสองชนิดมาใช้งานร่วมกันใน การทำสะพาน อาคาร และ โครงสร้างทางวิศวกรรมอื่นๆ แม้แต่ในงานศิลป์ก็มีการใช้ลวดเหล็กและ ตะแกรงเหล็กมาช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยเฉพาะในส่วนที่ยื่นออกมาโดยไม่มีอะไร รองรับ ในส่วนของโครงสร้างที่บาง อาจมีการนำ เอาใยแก้วชนิดทนด่างมาใช้แทนเหล็กเส้นเพื่อ เพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงการแตกร้าวของคอนกรีตจะเกิดมากที่สุดในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้โดยการเติมเส้นใยโพลีโพรพิลีนลงไปในตอนผสมคอนกรีต นอกจากนี้ยัง

สามารถใช้ไขแฉะในการป้องกันการแตกร้าวได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่แข็งแต่มีความสามารถในการรับแรงดึงต่ำ อาจจะทำให้คอนกรีตเปราะและแตกหักได้ง่าย ดังนั้นจึงได้มีการเติมลาเทกซ์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตเหนียวขึ้นและในขณะเดียวกันก็สามารถป้องกันการซึมของน้ำได้อีกด้วย (อนนท์ ป้อมประสิทธิ์, 2548)

7.2 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อก คือ แท่งคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ น้ำ วัสดุผสมพวกทราย กรวด หรือหิน ย่อยผสมเข้าด้วยกันแล้วนำไปอัดขึ้นรูปตามแบบหล่อของบล็อก โดยคอนกรีตบล็อกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง และ คอนกรีตบล็อกสำหรับปูพื้น

7.2.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง

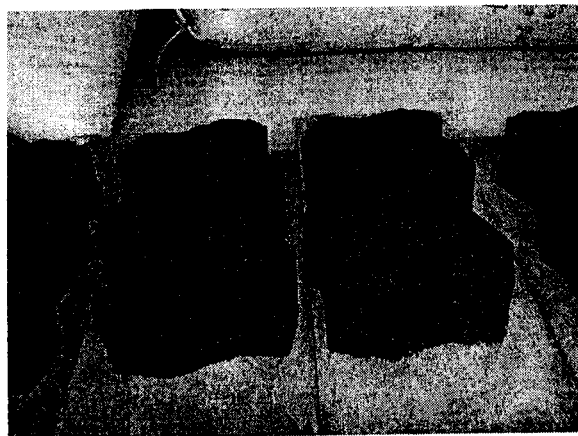
คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) คอนกรีตบล็อกก่อผนังแบบกลวง (Hollow Concrete Block) มี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้นอกจากน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง (Non-load Bearing Block) และชนิดที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ (Load Bearing Block)

2) คอนกรีตบล็อกก่อผนังแบบตัน (Solid Concrete Block) เป็นคอนกรีตบล็อกที่ตันไม่มีรูกลวงตรงกลาง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้นอกจากจะรับน้ำหนักคอนกรีตบล็อกเอง

7.2.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Interlocking Concrete Paving Block)

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นเป็นคอนกรีตบล็อกที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้อย่างต่อเนื่อง ใช้สำหรับปูพื้นถนน ทางเท้า และลานต่างๆ ซึ่งชนิดและขนาดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิต เช่น คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หนา 6 เซนติเมตรสำหรับทางเท้า หนา 10 เซนติเมตรสำหรับถนนสาธารณะ เป็นต้น ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

7.3 วัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

7.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในงานวิศวกรรม โดยเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หิน และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้คอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะทำให้ได้คอนกรีตที่แข็งแรงทนทาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมกันของสารจำพวกแคลเซียมหรือวัสดุจำพวกหินปูนกับดินเหนียว ซิลิกา อลูมินา และสารจำพวกออกไซด์ของเหล็กตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้วนำส่วนผสมต่างๆไปเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,400-1,500 องศาเซลเซียส จนทำปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปบดให้ละเอียด ส่วนประกอบของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ) โดยน้ำหนัก
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6
SO ₃	1-3
MgO	0.1-5.5
K ₂ O + Na ₂ O	0.5-1.3

ที่มา : วิริยา เทวกุล(2546)

เมื่อเผาส่วนประกอบข้างต้นนี้ของปูนซีเมนต์แล้ว ซึ่งได้แก่สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบอยู่ในรูปของผลึกละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ โดยสารประกอบทั้ง 4 ชนิดมีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดังนี้

- ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate, C₃S) เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และทำให้มีกำลังอัดเพิ่มอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม

- ไคแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate, C_2S) เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆและจะเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับกำลังอัดในไตรแคลเซียมซิลิเกต

- ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate, C_3A) จะทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมากก่อให้เกิดการก่อตัวทันที (flash set) และเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม โดยกำลังอัดของไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน ให้กำลังอัดต่ำ และจะไม่เพิ่มขึ้นอีกตามเวลา แต่จะมีประโยชน์ในการช่วยเร่งปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกตให้เร็วขึ้น

- เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite, C_4AF) ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์จะค่อนข้างต่ำอิทธิพลของสารประกอบที่สำคัญเหล่านี้ต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
2. การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังอัดประลัย	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง (500 จูล/กรัม)	น้อย (250 จูล/กรัม)	สูงมาก (850 จูล/กรัม)	ปานกลาง (420 จูล/กรัม)
5. คุณสมบัติอื่น ๆ	-	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ที่มา : วิริยา เทวกุล (2546)

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไคแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) มีผลต่อการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นอย่างมากและเป็นสารประกอบหลักที่มีปริมาณร้อยละ 70 ถึง 80 ของปริมาณทั้งหมด ดังนั้นในการศึกษาโดย X-

RayDiffraction Spectrometer (XRD) จะทำการศึกษารูปประกอบดังกล่าว รวมทั้งสารเชื่อมประสานแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate; CSH) ซึ่งเป็นสารที่เกิดหลังจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมประสานและทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะวัสดุผสม (กฤษณ์ จารุทะวีย์, 2545)

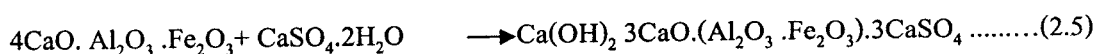
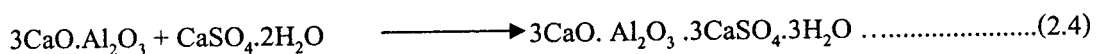
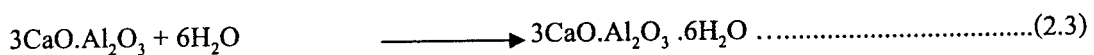
1) ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องดังนี้

ก) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction)

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์ เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ น้ำจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต ให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และความร้อน ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2



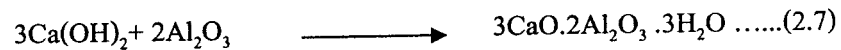
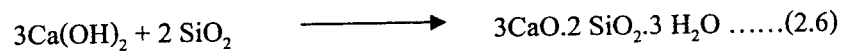
สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกรวมๆว่า ซีเมนต์เจล (Cement Gel) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate; CSH) มีปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 60 โดยปริมาตร และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide; $\text{Ca}(\text{OH})_2$) อีกประมาณร้อยละ 20 ถึง 25 โดยแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) นี้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสานที่มีลักษณะเหนียวคล้ายกาว เกิดการก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกถ้ามีสารที่มีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material) สำหรับสารประกอบไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะทำปฏิกิริยากับน้ำเร็วมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการก่อตัวผิดปกติ (False Setting) จึงต้องมีการผสมยิปซัมลงไปเพื่อหน่วงปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 เติตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์จะทำปฏิกิริยากับยิปซัมในน้ำ โดยยิปซัมจะหน่วงให้ปฏิกิริยาช้าลงมากและจะให้ของแข็งแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตและแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรต์ ดังสมการที่ 2.5 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสมการที่ 2.3 2.4 และ 2.5 รวมเรียกว่า แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (Calciumaluminatehydrate; CAH) ซึ่งจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับ CSH



ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อน้ำที่เติมลงไป ลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำที่มีอยู่ ซึ่งมีความหมายว่าปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อน้ำที่ผสมอย่างน้อยเป็นสองเท่าของน้ำที่ต้องการสำหรับปฏิกิริยาเคมี

ข) ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

ปฏิกิริยาที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) เป็นสารตั้งต้นซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันจากสมการที่ 2.1 และ 2.2 เข้าทำปฏิกิริยากับ ปฏิกิริยาปอซโซลาน คือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์และวัสดุปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ตามสมการที่ 2.6 และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ตามสมการที่ 2.7



2) วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Material)

วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีซิลิกา และ/หรืออลูมินาเป็นสารประกอบหลักซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานตัววัสดุเอง (Cementitious) แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และเกิดเป็นสารเชื่อมประสานได้ โดยสารปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติเกิดเป็นสารประกอบที่มีสมบัติเชื่อมประสานซึ่งก็คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ตามสมการที่ 2.6 และ 2.7

ในอดีตได้มีการค้นพบวัสดุที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมของดินในเมืองปอซซุโอลิ (Pozzuoli) ซึ่งเมื่อนำตะกอนดังกล่าวมาใช้ผสมในปูนซีเมนต์ พบว่ามอร์ตาร์มีคุณภาพที่ดีขึ้น จึงเรียกวัดนี้ว่า ปอซโซลาน (Pozzolan) จากนั้นได้มีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการทนทานต่อสารเคมีการลดอุณหภูมิ และการเพิ่มกำลังรับแรงอัดในระยะปลาย ในซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตให้ดีขึ้นการจำแนกสารประกอบปอซโซลานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามมาตรฐาน ASTM C618-96 แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C618 – 96

คุณสมบัติ		ประเภทของวัสดุผสม		
		N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	ร้อยละต่ำสุด	70	70	50
SO ₃	ร้อยละต่ำสุด	4	5	5
ปริมาณความชื้น	ร้อยละต่ำสุด	3	3	3
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้	ร้อยละต่ำสุด	10	6	6
ดัชนีความเป็นวัสดุปอซโซลาน	ร้อยละต่ำสุด	75	75	75

ที่มา : วิริยา เทวกุล (2546)

ก) Class N คือ สารปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Pozzolans) เช่น วัสดุที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic Tuff) และหินพูน (Pumicite)

ข) Class F คือ สารปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolans) ซึ่งเป็น วัสดุที่ได้จากการผ่านกระบวนการทางความร้อน ได้แก่ การเผาวัตถุดิบพวกดินเหนียว หินเชล (Shale) หินที่มี ซิลิกา เป็นองค์ประกอบ เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินหรือถ่าน และกาก ตะกอนที่เหลือจากการหลอมโลหะ (Slag) เป็นต้น

ค) Class C คือ สารปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolans) ซึ่งผ่าน กระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับ Class F แต่มีสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณ รวมของซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ มากกว่า ร้อยละ 50 แต่ไม่ถึงร้อยละ 70 ของสารประกอบ ออกไซด์ ทั้งหมดของวัสดุ

3) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้จากวัตถุดิบที่มีอยู่ ภายในประเทศ ซึ่งได้แก่

ก) ปูนขาว (Lime) ได้จาก หินปูน ดินสอพอง เปลือกหอย ดินปูนขาว

ข) ซิลิกา (Silica) และอลูมินา (Alumina) ได้จาก ดินเหนียว หินเชล หินชนวน กากเตาถลุงเหล็ก

ค) เหล็ก (Iron) ได้จากสินแร่เหล็ก (Iron Ore) ทั่วไป

ง) ยิปซัม (Gypsum) เป็นตัวควบคุมเวลาของการก่อตัวของปูนซีเมนต์

4) กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ก) นำวัตถุดิบมาบดละเอียด แล้วผสมกับน้ำให้เข้ากันในอัตราส่วนที่

พอเหมาะ

ข) นำส่วนผสมป้อนเข้าเตาเผารูปทรงกระบอก (Rotary Kilns) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเหล็กกลมขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 - 25 ฟุต มีความยาว 300 - 700 ฟุต เตานี้จะวางเอียงลาดประมาณ 1/2 นิ้วต่อความยาว 1 ฟุต เชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ ถ่านหินบด แก๊ส น้ำมัน ฯลฯ อุณหภูมิที่เผาประมาณ 2700° - 3000° ฟ. ขณะเผาเตาเผานี้จะหมุนไปด้วยเพื่อคลุกเคล้าวัตถุดิบให้ทั่ว

ค) วัตถุดิบที่เผาแล้วจะได้ปูนเม็ด (Clinker) ปูนเม็ดที่เย็นตัวแล้วจะถูกนำไปผสมกับยิปซั่ม (Gypsum)

ง) นำปูนเม็ดที่ผสมกับยิปซั่มแล้วเข้าบดละเอียดในโรงบดปูน (Cement Mill) จะได้ปูนซีเมนต์ผงละเอียด นำไปใช้งานต่อไป

5) ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สำหรับปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย บริษัทผู้ผลิตได้ทดสอบ และได้รับตรารับรองจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก. 15 เล่ม 1) และสามารถเทียบได้กับมาตรฐานอเมริกัน (ASTM = The American Society For Testing Material) และมาตรฐานของอังกฤษ (B.S = British Standard) ตามมาตรฐานทั่วไป สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement; OPC) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีการผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา นิยมนำปูนซีเมนต์ชนิดนี้มาใช้เป็นมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆที่ผลิตขึ้นมาภายหลัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว และตราดอกจิก เป็นต้น

ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2 (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความต้านทานพวกเกลือซัลเฟตมากกว่าประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับใช้งานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตปานกลาง เช่น คลองส่งน้ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

ค) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 (High Early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดเร็ว โดยปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังอัดสูงในเวลาอันสั้น คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้ที่เวลา 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 อายุการบ่ม 3 วัน และเท่ากับงานคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2 อายุการบ่ม 28 วัน ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้งานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว หรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น และไม่เหมาะกับการใช้งานคอนกรีตขนาดใหญ่เนื่องจากความ

ร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีค่าสูงมากอาจทำให้โครงสร้างเกิดการแตกร้าวได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราสามเพชร และตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง เป็นต้น

ง) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 4 (Low Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนต่ำ โดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะกับงานคอนกรีตมวล (Mass Concrete) เช่น งานเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ โดยจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับ Pulverized Fuel Ash (PFA) หรือ Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) แทน

จ) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 (Sulphate Resistance Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีไตรแคลเซียมอลูมิเนตต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีต ให้กำลังรับแรงอัดและความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องแช่ในน้ำหรืออยู่ใกล้ทะเล ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราฉลามและตราช้างฟ้า

7.3.2 ทราย

ทรายเป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต และมอร์ต้า (Mortar) ที่นำมาใช้ก่อหรือฉาบ ทรายได้จากการแตกตัวของหินก้อนใหญ่ ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ ทำให้ได้หินเม็ดเล็กๆ เรียกว่า ทราย ปัจจุบันเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บทราย ได้แก่ เรือดูดทราย สามารถนำทรายขึ้นมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว

1) แหล่งที่เกิดของทราย

ทรายธรรมชาติมีแหล่งที่เกิดอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

ก) ทรายบก หรือทรายบ่อ (Pit Sand or Bank Sand) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เกิดจากการแตกแยกเสียหายชำรุดของหินทราย (Sand Stone) จะฝังอยู่ใต้พื้นดินเป็นแหล่งๆ ทรายชนิดนี้นิยมใช้มาก

ลักษณะของทรายบก มีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีแฉกมุมแข็งแรงดี เป็นทรายที่เหมาะสมแก่การผสมคอนกรีต เพราะการแทรกตัวของทรายจะทำให้เกิดช่องว่างของคอนกรีตลดน้อยลง จะได้คอนกรีตที่ดี

ข้อเสีย ทรายบกกนี้มักจะมีดิน ซากพืชซากสัตว์ปะปนอยู่ เวลาจะนำทรายไปใช้งาน จะต้องล้างหรือทำความสะอาดทรายเสียก่อน จะด้วยวิธีใดก็ตาม ปัจจุบันเป็นทรายที่หาได้ยาก

ข) ทรายแม่น้ำ (River Sand) ทรายชนิดนี้ถูกภัยจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติพัดพาหรือนำมาจากที่อื่น รวมตัวกันอยู่ในแถบราบลุ่ม ตามท้องแม่น้ำ ถ้าคลองปัจจุบันใช้ทรายชนิดนี้มาก เพราะหาได้ง่ายกว่าทรายบก

ลักษณะของทรายแม่น้ำ มีลักษณะกลมเกลี้ยงสะอาด เนื่องจากการพัดพาของน้ำ ทำให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับทรายตกหล่นระหว่างทาง นอกจากนี้ขณะที่ถูกพัดพามากับน้ำนั้น เม็ดทรายจะเกิดการเสียดสีกันจนกระทั่งเป็นทรายที่มีลักษณะกลมเกลี้ยง

ข้อเสีย ลักษณะกลมเกลี้ยงของทรายแม่น้ำ ทำให้การประสานกับส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เกิดช่องว่าง

2) ชนิดของทราย

ในวงการก่อสร้างทั่วไป ทรายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น ได้จากทรายแม่น้ำ มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

ก) ทรายหยาบ หรือที่เรียกว่า ทรายราชบุรี เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยมแฉ่งมุมแข็งแรงดี เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้องการต้านทานกำลังสูง เช่น โครงสร้างสะพาน อาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานราก เขื่อนกันดิน เป็นต้น ทรายชนิดนี้จะมีเปลือกหอย และเศษหินปะปนอยู่ เวลาจะใช้ต้องนำไปร่อนด้วยตะแกรงทำความสะอาดเสียก่อน

ข) ทรายกลาง หรือที่เรียกว่า ทรายอ่างทอง เป็นทรายที่มีขนาดปานกลาง ไม่หยาบและไม่ละเอียดนัก เหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป เช่น นำมาเป็นส่วนผสมของปูนก่อสำหรับก่ออิฐ หรือใช้เทพื้นคอนกรีตที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ทรายชนิดนี้เวลาจะใช้จะต้องร่อนเอาเปลือกหอยและสิ่งอื่นๆที่ไม่ต้องการออกเสียก่อน

ค) ทรายละเอียด หรือที่เรียกว่า ทรายอยุธยา เป็นทรายเม็ดละเอียดมาก นำมาใช้กับงานที่ไม่ต้องใช้กำลังมากนัก เหมาะสำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของปูนฉาบผิวหน้า ทำบัว ทำลวดลายต่างๆ ก่อนใช้จะต้องร่อนทรายเพื่อขจัดสิ่งต่างๆที่ไม่ต้องการออก

3) หิน

หินเป็นวัสดุก่อสร้างที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะในงานก่อสร้าง นำหินมาใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงสถานะทางธรรมชาติ

ก) คุณสมบัติของหินที่ใช้ในงานคอนกรีต

- มีความแข็งแรงดีพอ

- มีผิวขรุขระ มีเหลี่ยม เพื่อให้ส่วนผสมที่เป็นปูนซีเมนต์ยึดเกาะและ
แทรกตัวอยู่ได้

- ต้องมีความสะอาด
 - มีขนาดใกล้เคียงกัน
 - มีความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี ทนทานต่อการขูดขีดและการสึกกร่อน
- ข) ขนาดของหินที่ใช้ในงานก่อสร้าง

หินที่นำมาใช้กันมากในงานก่อสร้าง ได้แก่ หินปูน ทั้งนี้เพราะหาได้ง่าย
และราคาถูก ส่วนหินที่มีราคาสูงจะใช้กับงานที่สำคัญ ขนาดของหินในวงการช่างของประเทศไทย
นิยมเรียกเป็นเบอร์ ดังนี้

- หินฝุ่น มีขนาด 1/2 นิ้วลงไป ใช้ทำถนนลาดยาง
- หินเบอร์ 1 มีขนาด 1/2 - 1 นิ้ว ใช้ผสมคอนกรีต
- หินเบอร์ 2 มีขนาด 1 - 2 นิ้ว ใช้ผสมคอนกรีต
- หินเบอร์ 3 มีขนาด 2 - 3 นิ้ว ใช้ผสมคอนกรีต
- หินใหญ่ มีขนาด 4 นิ้วขึ้นไป ใช้ผสมคอนกรีต

4) น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ทำให้เกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เกิดการก่อและแข็งตัว
เป็นคอนกรีตที่มีความแข็งแรงได้ และยังมีอิทธิพลที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง ทั้งเป็นตัวที่
จะทำให้การก่อตัวของคอนกรีตช้าหรือเร็วขึ้นด้วย จึงนับได้ว่า น้ำมีความสำคัญไม่น้อยต่องาน
คอนกรีต

ก) คุณสมบัติของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากจากฝุ่นผง น้ำมัน
กรดต่าง และสารอินทรีย์อื่น สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง น้ำที่ใช้ควรจะเป็น
น้ำจืด หรือน้ำประปา โดยเฉพาะในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ถ้าใช้น้ำเค็มจะทำให้เหล็กเป็นสนิม
เกิดความเสียหายแก่งานได้

ข) หน้าที่ของน้ำในงานคอนกรีต

ในงานคอนกรีตทั่วไป น้ำ มีหน้าที่สำคัญดังนี้ คือ

- ล้างวัสดุผสม เพื่อทำให้วัสดุผสมสะอาด น้ำที่ใช้ควรจะมีสารต่าง ๆ
ที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตผสมอยู่ไม่มากนัก เพราะอาจจะทำให้วัสดุผสมสุกก่อน คอนกรีตแข็งตัว

ช้า หรือกำลังลดลง ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุผสมอยู่บ่อยๆ อย่างปล่อยให้ น้ำดำเป็นโคลน กลับทำให้วัสดุผสมสกปรกขึ้นด้วย

- บ่มคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ น้ำที่มีสารต่าง ๆ เจือปนอยู่ อาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้ ข้อสำคัญน้ำที่ใช้จะต้องไม่ทำให้คอนกรีตเกิดรอยเปื้อน หรือเกิดสีบนผิวของคอนกรีต

- ผสมคอนกรีต น้ำทำหน้าที่เข้าไปผสมกับปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ให้เกิดความเหลวสามารถเทเข้าแบบหล่อได้ และยังเป็นตัวที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์จะกลายเป็นวุ้น ซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างเม็ดของวัสดุ ทำให้ก่อตัวยึดเกาะกันแน่นและแข็งแรงขึ้นเป็นลำดับ

7.4 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ขบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกนั้นมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

7.4.1 ขั้นผสมโดยการนำเอาส่วนผสมซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ และหินย่อย มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ใช้น้ำผสมเพียงเล็กน้อย ถ้าผสมเหลวเกินไปเมื่ออัดเข้าแบบแล้วจะไม่เกิดการก่อตัว ถ้าข้นเกินไปจะร่วนไม่แข็งแรง ปัจจุบันการผสมจะใช้เครื่องจักรผสม ทำให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี

7.4.2 ขั้นขึ้นรูปโดยนำส่วนผสมใส่ในแบบที่เตรียมไว้ อัดส่วนผสมให้แน่น แล้วถอดแบบออกทันทีไม่ต้องรอให้แข็งตัวเหมือนงานคอนกรีต วันหนึ่งสามารถหล่อได้หลายสิบก้อน ถ้าต้องการผลิตจำนวนมากก็ควรสร้างแบบไว้หลายๆ อัน แบบอาจจะทำด้วยไม้หรือเหล็ก ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องจักรขึ้นใช้ ทำให้ผลิตได้เร็วยิ่งขึ้น (โดยใช้เครื่องเป็นตัวอัดส่วนผสมให้แน่นแทน)

7.4.3 จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกที่ถอดออกจากแบบไปผึ่งให้แห้ง ถ้าก้อนใดชำรุดก็สามารถนำไปขึ้นรูปใหม่ได้อีก (ก่อนที่จะแข็งตัว)

7.5 สมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

7.5.1 เกณฑ์กำหนดคุณภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตาม มอก. 827-

2531

1) ลักษณะทั่วไป

บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2) ความได้ฉาก

- บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

- บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

3) ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tixier and others (1997) ได้ศึกษาผลของตะกรันทองแดงที่มีต่อการเกิดไฮเดรชัน ได้มีการใช้ตะกรันทองแดงแทนที่ปูนซีเมนต์ ถึง 15% ศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยใช้ Semiquantitative X-ray diffraction และ TGA/DTA ตัวอย่างตะกรันทองแดงและปูนขาว (ASTM Type S) ถูกใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติในการเป็นปอซโซลานของตะกรัน ตรวจสอบความพรุน โดยใช้ Mercury intrusion porosimetry สังเกตพบว่าความพรุนของคาปิลารี (Capillary porosity) ลดลงในขณะที่ความพรุนของเจล (gel porosity) เพิ่มขึ้น พบว่า ความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่เวลา 1 ปี

Al-Jabri and others (2006) ได้ศึกษาผลของตะกรันทองแดง (Copper slag, CS) และฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement by-pass product dust, CBPD) ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตได้ทำการทดลองส่วนผสมควบคุมและส่วนผสมอีกสองส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยใช้อัตราส่วนของตะกรันทองแดงและฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ ที่แตกต่างกัน ฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ มีหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนผสมที่ 1 ประกอบด้วยตะกรันทองแดงแทนที่ปูนซีเมนต์ 5% อีกส่วนผสมประกอบด้วย ตะกรันทองแดง 13.5% ฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ 1.5% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 85% มีการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) 3 อัตราส่วน ได้แก่ 0.5 0.6 และ 0.7 เตรียมคอนกรีตเป็นรูปลูกบาศก์ ทรงกระบอก และแท่ง และทดสอบความแข็งแรงหลังจากบ่มเป็นเวลา 7 และ 28 วัน มีการพบว่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นแรงของผสมเหล่านี้ด้วย ผลการศึกษาพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยตะกรันทองแดง 5% ให้ค่าความแข็งแรงเท่ากับส่วนผสมควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราส่วน w/b ต่ำๆ (0.5 และ 0.6) ที่อัตราส่วนการแทนที่ตะกรันทองแดงสูงขึ้น (13.5%) ทำให้ความแข็งแรงลดลง ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนด้วย ตะกรันทองแดง และฝุ่นจากการผลิตปูนซีเมนต์ ไม่มีผลกระทบต่อโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแทนที่ในปริมาณต่ำ ๆ

Shanmuganathan and others (2008) ได้ทำการศึกษาความเป็นพิษและความเสถียรระยะยาวของตะกรันที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ กันที่เกิดขึ้นในช่วง 14 อาทิตย์ ในโรงงานทองแดงอินเดียจากขบวนการ Isasmelt โดยใช้ขบวนการชะละลาย (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP) ตรวจสอบความเป็นพิษของ The U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA.) โดยมีวิธีการสกัดหลายครั้ง การชะละลายด้วยกรดกำมะถันและปรับสภาพตะกรันด้วย pH ที่อุณหภูมิ สองค่าที่แตกต่างกัน ผลการทำ TCLP เป็นการทดสอบการชะละลายด้วยกรด และการสกัดหลายครั้ง ของตัวอย่างตะกรันจำนวนมาก ที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันที่ได้มาจากการใช้ทองแดงที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แสดงถึงความยากในการชะละลายโลหะหนักและเป็นการประกันว่ามีความเสถียรภาพในระยะยาว แม้แต่ในบรรยากาศที่รุนแรง การทดสอบการชะละลายตัวอย่างที่กระตุ้นโดยวิธีทางเชิงกลใช้ความคิดเกี่ยวกับความต้านทานต่อการชะละลายของโลหะหนักที่มีผลต่อสภาวะอากาศ การทดสอบการชะละลายแบบ Multiple extraction แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักในตะกรันมีความเสถียรและไม่ค่อยละลายอย่างมีนัยสำคัญ แม้แต่ในการชะละลายภายใต้ฝนกรดในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ

Lea (1980) ได้ทำการศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินดานเผา (Burnt Shale) พบว่าวัสดุดังกล่าว มีความเป็นปอซโซลาน โดยค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกของคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุดังกล่าวมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุปอซโซลานมากขึ้น แต่ค่ากำลังรับแรงอัดช่วงปลายมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นจนใกล้เคียงคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ดังนั้นการพิจารณาลักษณะสมบัติของวัสดุปอซโซลานนั้นควรพิจารณาที่ระยะยาว เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบในปูนซีเมนต์ไม่ใช่วัสดุปอซโซลาน คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานต้องการระยะเวลาบ่มที่ยาวนานกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบ่มในน้ำ หรือสภาพชื้น จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการบ่มในอากาศธรรมดา

อุดม (2532) ทำการศึกษาการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ล้อยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จ.ลำปาง พบว่าคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ล้อยลิกไนต์ที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 15 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก มีการพัฒนากำลังรับแรงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยอัตราส่วนการแทนที่ของซีเมนต์ล้อยลิกไนต์ที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้การพัฒนากำลังในช่วงระยะการบ่มเริ่มต้นต่ำกว่า แต่ในช่วงระยะการบ่มหลัง 28 วันจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ล้วน เมื่อทดสอบค่าความเป็นวัสดุปอซโซลานโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร มีค่าร้อยละ 89.2 ซึ่งจัดเป็นวัสดุปอซโซลานชั้น F เนื่องจากผลรวม ซิลิกา อลูมินา และเหล็กมีมากกว่า ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักตามข้อกำหนด ASTM

C618 และจากการวิเคราะห์หาสารเชื่อมประสานโดย X-Ray Diffraction Spectrometry ให้ผลสอดคล้องกับการพัฒนากำลังรับแรงอัด

Douglas and others (1991) ได้ศึกษาคุณสมบัติความเป็นวัสดุปอชโซลาน Douglas และคณะ (1991) ได้ศึกษาคุณสมบัติความเป็นวัสดุปอชโซลานของตะกรันโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-Ferrous Slags) ได้แก่ ตะกรันทองแดงและตะกรันตะกั่ว แปรค่าความละเอียด 3,000 ตร.ซม./กรัม และ 4,000 ตร.ซม./กรัม เพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนโดยทำการทดสอบหาค่าดัชนีความเป็นปอชโซลานในมอร์ตาร์ ซึ่งการทดลองทำโดยการนำตะกรันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร ผลการศึกษาพบว่า

1. ตะกรันตะกั่วมีค่าดัชนีความเป็นปอชโซลานมากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุแทนที่ซีเมนต์บางส่วนได้ ในขณะที่ตะกรันทองแดงมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 75 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานความเป็นวัสดุปอชโซลาน

2. ขนาดอนุภาคตะกรันที่มีค่าความละเอียด 3,000 ตร.ซม./กรัม ให้กำลังรับแรงอัดน้อยกว่าตะกรันที่มีค่าความละเอียด 4,000 ตร.ซม./กรัม

Nakamura and others (1992) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางโครงสร้าง และคุณสมบัติของคอนกรีตที่เกิดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมกับตะกรันจากเตาถลุงเหล็กในปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของคอนกรีต ในการทดลองมีการแปรค่าความละเอียดของอนุภาคตะกรัน 3 ค่า คือ 453 786 และ 1160 ตร.ม/กก. อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานมีค่าเท่ากับ 0.3 และ 0.4 และมีการผสมสารเติมแต่งคอนกรีต ประเภทสารลดปริมาณน้ำ (High Range Waterreducing Admixture) เพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 160 – 200 มม.

จากการทดลองพบว่า คอนกรีตที่ประกอบด้วยตะกรันที่มีขนาดอนุภาคละเอียดที่สุดจะให้กำลังรับแรงอัดในช่วงแรกสูง โดยที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน จะให้กำลังรับแรงอัดสูงจนเกือบเท่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียว และที่ระยะเวลาบ่มที่ 91 วัน จะให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดในบรรดาคอนกรีตทั้งหมด โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 และ 0.4 จะให้กำลังรับแรงอัดไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนคอนกรีตที่ประกอบด้วยตะกรันที่มีความละเอียดของอนุภาคประมาณ 786 ตร.ม/กก. เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 ก็จะให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าที่ 0.4 ที่ระยะเวลาบ่ม 3 และ 7 วัน คอนกรีตนี้จะให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเพียงอย่างเดียว แต่ที่ระยะเวลา 28 และ 91 วัน จะให้กำลังรับแรงอัดเกือบเท่ากัน

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของโพรงคอนกรีตพบว่า คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเพียงอย่างเดียว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำสูงสุด ในขณะที่คอนกรีตที่ใช้

อนุภาคตะกรันที่มีขนาดละเอียดที่สุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำต่ำที่สุด และความพรุนน้อยที่สุด จากการทดลองของ Nakamura สามารถสรุปได้ว่าเมื่อนำตะกรันจากเตาหลอมเหล็กมาผสมปูนซีเมนต์แล้วสามารถทำให้คอนกรีตที่ได้มีค่ากำลังรับแรงอัดที่สามารถเทียบได้กับคอนกรีตที่เกิดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง โดยคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของอนุภาคตะกรันที่ใช้

Sakai and others (1992) ทำการศึกษาในลักษณะที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Nakamura แต่ในการทดลองนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ประเภทให้ความร้อนปานกลางและมีการแปรปริมาณตะกรันที่ใช้ในงานคอนกรีต โดยการทดลองได้มีการแปรค่าความละเอียดของอนุภาคตะกรัน 4 ค่า คือ 300 400 500 และ 600 ตร.ม/กก. และใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็กในปริมาณร้อยละ 50 60 70 และ 80 ของน้ำหนักคอนกรีต ปริมาณซีเมนต์ต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่ใช้มี 2 ค่าคือ 210 และ 300 กก./ลบ.ม

จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อใช้ตะกรันในปริมาณต่างๆกันในคอนกรีตพบว่าระยะเวลาก่อตัวเริ่มแรกของคอนกรีตทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณตะกรันเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกรันที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อใช้ระยะเวลาบ่ม 3 และ 7 วัน แต่เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 28 และ 91 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณตะกรันที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ปริมาณตะกรันร้อยละ 80 คอนกรีตจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำมาก

เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มสั้น ความละเอียดของอนุภาคตะกรันมีผลไม่มากนักต่อค่ากำลังรับแรงอัด แต่เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มนาน ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคตะกรันที่ใช้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น

Shannag and others (1995) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลานต่อผลกระทบเบื้องต้นของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีต โดยวัสดุปอซโซลานที่ทำการทดลองได้แก่ เถ้าภูเขาไฟในพื้นที่ต่างกันจำนวน 2 ชนิด โดยชนิดที่ 1 มีสัดส่วนของ ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเหล็ก (Fe_2O_3) เท่ากับ 40.1 13.4 และ 12.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ชนิดที่ 2 มีสัดส่วนเท่ากับ 38.5 12.8 และ 11.6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับ ดัชนีความเป็นปอซโซลาน (Pozzolanic Index) ของวัสดุทั้งสองมีค่าเท่ากับร้อยละ 60 และ 83 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าขนาดที่เล็กของวัสดุจะทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น โดยวัสดุชนิดที่ 2 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าชนิดที่ 1 และเมื่อผสมวัสดุชนิดที่ 2 แทนที่ปูนซีเมนต์ลงในคอนกรีตร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 28 และ 90 วัน จะให้ค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน

Zhang and others (1995) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่เรียกว่า Thermally Activated Alumina-silicate ที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยวัสดุดังกล่าวมีลักษณะเป็นผงสีขาวมีส่วนประกอบ ซิลิกา (SiO_2) เท่ากับ ร้อยละ 51.34 และอลูมินา (Al_2O_3)

Lung (1989) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งโลหะหนักด้วยวิธี Cement-Based Techniques โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ เป็นวัสดุเชื่อมประสาน เพื่อหล่อแข็งโลหะหนักที่ประกอบไปด้วย Cr, Cu และ Hg จากการศึกษาพบว่า Cr ที่ถูกหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบมากกว่าการร่วไหลสูงกว่าที่ถูกหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วน Cu และ Hg ที่ถูกหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีปริมาณการร่วไหลสูงกว่าที่ถูกหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ

Shanbhu, Prasad and Rijial (1990) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งโลหะหนักด้วยวิธี Cement-Based Techniques เพื่อหล่อแข็งน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ Asian Institute of Technology ที่มีโลหะหนักประกอบไปด้วย Cr และ Zn ปนเปื้อนอยู่ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์สปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน นำมาผสมเป็นมอร์ตาร์ในอัตราส่วน วัสดุเชื่อมประสาน : ทราย เท่ากับ 1:2 กำหนดค่า Water/Cement Ratio สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ 0.5 และสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ เท่ากับ 0.65 จากการศึกษาได้ผลดังนี้

1. ค่าความสามารถรับกำลังอัดจะลดลงเมื่อ เพิ่มปริมาณของเสียต่อวัสดุเชื่อมประสาน และความสามารถในการรับกำลังอัดเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบแล้วจะสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ

2. การร่วไหลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อปริมาณของเสียต่อวัสดุเชื่อมประสาน ที่ปริมาณของเสียต่อวัสดุเชื่อมประสาน น้อยกว่า 2 การร่วไหลของ Cr ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ แต่เมื่อปริมาณของเสียต่อวัสดุเชื่อมประสานมากกว่า 0.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ จะสามารถมีปริมาณการร่วไหลของ Cr น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วน Zn สามารถยึดตรึงได้ดีในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Youn (1990) ได้ทำการศึกษาการหล่อแข็งโลหะหนักด้วยวิธี Cement-Based Techniques เพื่อหล่อแข็งน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ Asian Institute of Technology ที่อยู่ในรูปของเสีย COD ที่มีโลหะหนักประกอบไปด้วย Cr, Hg, Zn และ Pb ปนเปื้อนอยู่ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนขาวผสมซีเมนต์เถ้าแกลบเป็นวัสดุเชื่อมประสาน นำมาผสมเป็นมอร์ตาร์ในอัตราส่วน วัสดุเชื่อมประสาน : ทราย เท่ากับ 1:2 กำหนดค่า Water/Cement Ratio สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ 0.5 และสำหรับปูนขาวผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ เท่ากับ 0.9 จากการศึกษาพบว่า

1. ปริมาณการรั่วไหลของสารเป็นสัดส่วนกับปริมาณของเสียต่อวัสดุเชื่อมประสาน และแปรผกผันกับระยะเวลาในการบ่ม
2. ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนหล่อแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะดีกว่าปูนขาวผสมซีเมนต์เกรด
3. ก้อนหล่อแข็งด้วยปูนขาวผสมซีเมนต์เกรด มีความสามารถในการตรึงสารได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Hiller and others (1999) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักและสารพิษจากก้อนคอนกรีตมอร์ตาร์ ในระยะเวลาสั้น โดยวิธีการทดสอบการชะละลายที่เรียกว่า "Diffusion" พบว่าหลังจากทำการชะละลายเป็นเวลา 256 วัน มีเพียง วาเนเดียม (Vanadium) เท่านั้นที่สามารถตรวจพบในปริมาณที่มีนัยยะ ส่วนโลหะและสารพิษชนิดอื่นไม่สามารถตรวจพบได้ และการชะละลายจะเป็นเพียงแค่บริเวณผิวของก้อนคอนกรีตเท่านั้น

Marhaba, ธนพล เพ็ญรัตน์ และ มนัสกร ราชากรกิจ (2547) ได้ศึกษาก้อนหล่อแข็งจากกระบวนการหล่อแข็งและปรับเสถียรกากตะกอนที่ปนเปื้อนสารหนูด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาว โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารหนูในน้ำชะละลายของตะกอนปนเปื้อนสารหนูที่ไม่ได้ปรับเสถียรซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำดื่มโดยการโคแอกกูเลชันด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่มีค่าเท่ากับ 20.75 มก/ลิตร กระบวนการหล่อแข็ง และปรับเสถียรโดยใช้ปูนซีเมนต์ และปูนขาวเป็นวัสดุประสาน สามารถลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำชะละลายของกากตะกอน ไปได้ถึง 0.3, 0.58, 1.09, และ 1.85 ที่อัตราส่วน ตะกอน ต่อ วัสดุประสาน เท่ากับ 0.15, 0.25, 0.5, 1 ตามลำดับ

บรรณิตร ฉัตรวีระ และพีรชล สุภัทธรรม (2537) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกล และความทนทานของมอร์ตาร์ผสมซีเมนต์เกรด ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน การหดตัวแบบแห้ง การหดตัวแบบอโตจีเนียส และความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด โดยมีตัวแปร ในการทดลอง คือ อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผง (0.4, 0.5 และ 0.6) และร้อยละของการแทนที่ซีเมนต์ในปูนซีเมนต์ (ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50) ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมซีเมนต์เกรดร้อยละ 20 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด
2. เมื่อร้อยละของการแทนที่ซีเมนต์ในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ความสามารถด้านทนสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด การหดตัวแบบอโตจีเนียส การหดตัวแบบแห้ง และความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันเพิ่มขึ้นด้วย

ศุภชัย อิศรางกูร ณ อยุธยา (2535) ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ژی้เถ้าแกลบ และหินฝุ่น ในอัตราส่วน 1:1:7 ผสมรวมกับน้ำร้อยละ 15 ของน้ำหนักส่วนผสมรวม สามารถบำบัดของเสียอันตรายที่เป็นตะกอนโครเมียม ด้วยการหล่อแข็งในรูปคอนกรีตบล็อก เซิงตันรับน้ำหนัก แบบอินเตอร์ล็อกกึ่งบล็อก โดยการทดแทนตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นร้อยละ 30, 39 โดยปริมาตร สามารถบำบัดปริมาณโครเมียมในตะกอนโครเมียมในปริมาณ 19.231 กรัมโครเมียม ต่อกิโลกรัมปูนซีเมนต์ ژی้เถ้าแกลบ (gCr/kgCRHA) ได้โดยมีกำลังรับแรงอัด 136.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) ซึ่งไม่น้อยกว่า 85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) ตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกเซิงตันรับน้ำหนัก (มอก.60-2516 ชั้นคุณภาพ ค-2) และมีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะล้างออกมา 2.930 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ปริญญา จินดาประเสริฐ และคนอื่นๆ (2529) ได้ทำการศึกษาคอนกรีตอัดที่ำทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ และเถ้าแกลบดำ โดยใช้การทดสอบการบดอัดด้วยวิธี โมดิไฟด์ พรอคเตอร์ (Modified Proctor) ผลการทดสอบพบว่าค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) และความหนาแน่นของคอนกรีตอัด ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบดอัดของส่วนผสม และขนาดผลของมวลรวม และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ การบดอัดและการทำปฏิกิริยาของสารซีเมนต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารซีเมนต์ ทั้งเถ้าลอยและเถ้าแกลบดำสามารถใช้เป็นสารปอซโซลาน ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการผสมทำคอนกรีตอัดได้

อานนท์ แก้วคง (2547) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนจากบ่อดักตะกอนขึ้นต้นของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานผลิตเมลามีน-ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มาอัดเป็นบล็อกประสาน : กรณีศึกษา บริษัท ไทย เค เค อุตสาหกรรม จำกัด โดยศึกษาถึงอัตราการทดแทนกากตะกอนแทนดินลูกรังที่จะผสมกับปูนซีเมนต์โดยปริมาตรที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเป็นบล็อกประสาน และศึกษาคุณสมบัติทางด้านการรับแรงอัดของบล็อกประสานที่ทำจากกากตะกอนน้ำเสียของเมลามีน-ยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ โดยนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้างผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานเมลามีน-ยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9 และ 1:10 และคลุกเคล้าด้วยน้ำประปาในอัตราส่วนที่ 16 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นำมาอัดด้วยเครื่องอัดหินวาม ที่ใช้แรงกดอัด จะได้บล็อกประสานที่มีขนาดมาตรฐาน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร จำนวนสูตรละ 5 ก้อน รวมทั้งหมด 50 ก้อน จากนั้นจึงนำไปบ่มในอากาศเป็นระยะเวลา 14 วัน เมื่อได้ก้อนอิฐที่สมบูรณ์แล้วจึงนำมาทดสอบความต้านทานแรงอัด และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มอก. 58 – 2530 ผลการวิจัยพบว่า บล็อกประสานที่ทำจากกากตะกอนเมลามีน-ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ทั้ง 10 สูตรมีความสามารถต้านทานแรงอัดได้ต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2530

เฉลิมราช วันทวิน และ พิณชุกรณ์ ชอบเที่ยงธรรม (2547) ได้ศึกษาการหล่อแข็งกา กตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโครเมียมด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และฝุ่นทรายดำ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นทรายดำสูงขึ้นจึงทำให้ค่าการชะละลายโครเมียมลดลง และเมื่อหล่อแข็งกาตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโครเมียมที่อัตราส่วนกาตะกอนต่อวัสดุประสานเป็น 1 โดยในวัสดุประสานใช้ปูนซีเมนต์ ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และฝุ่นทรายดำ 30% 21% และ 49% ตามลำดับ เป็นสัดส่วนที่ใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุดและมีปริมาณกาตะกอนสูงสุด พบว่าการชะละลายโครเมียมและความสามารถรับกำลังอัดของก้อนหล่อแข็งมีค่า 0.063 มก./ล. และ 39 กก./ซม.² ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และคิดเป็นค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการหล่อแข็งประมาณ 720 บาท/ตัน ของกาตะกอนโลหะหนักแห้ง

อรวรรณ มานูญวงศ์ และคนอื่นๆ (2542) ได้ศึกษากำลังรับแรงอัดและการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิลจากกาตะกอนโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะที่ทำให้เป็นก้อนหล่อแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าเคลบ ผลการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดจะลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมของกาตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานเพิ่มขึ้น และการเพิ่มระยะเวลาการบ่มซีเมนต์จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้น ในการศึกษาการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิล พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของกาตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานมีผลทำให้ปริมาณการชะละลายของตะกั่วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value=0.185) และปริมาณการชะละลายของตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มซีเมนต์ ในขณะที่เดียวกันการลดค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้ในการสกัดจะมีผลทำให้ปริมาณการชะละลายของตะกั่วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value<0.001) สำหรับปริมาณการชะละลายของนิกเกิล พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของกาตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานมีผลทำให้ปริมาณการชะละลายของนิกเกิลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value<0.001) และในทางกลับกันปริมาณชะละลายของนิกเกิลจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มซีเมนต์และค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้ในการสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value<0.05) ปริมาณการชะละลายของโลหะหนักทั้งสองชนิด ในทุกสภาวะการทดลอง มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (<5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

วิริยา เทวนุกูล (2546) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกรันดีบุกจากกระบวนการถลุงแร่ดีบุกมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน โดยทำการศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันดีบุก การชะละลายโลหะหนักโดยวิธีการสกัดสารตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540) ดัชนีความเป็นวัสดุปอซโซลาน สมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อแทนที่ตะกรันดีบุกในการผสมมอร์ตาร์ การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดกับมอร์ตาร์ปูนขาวผสมตะกรัน

ตีbuk และการศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงอัดโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction Spectrometry) รวมทั้งการนำตะกรันตีbukมาผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ตะกรันตีbukจัดเป็นวัสดุปอซโซลานคุณภาพมาตรฐาน ASTM C618 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด จากการศึกษาผลของขนาดตะกรัน พบว่าเมื่อนำตะกรันตีbukขนาดเล็กลงกว่า 75 ไมครอนมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในการผสมมอร์ตาร์ โดยใช้สัดส่วนวัสดุประสานต่อน้ำ เท่ากับ 1:0.5 ให้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 245 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก.15 สำหรับมอร์ตาร์ ตะกรันตีbukแทนที่ปูนขาวมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐานมาก ในการศึกษาการพัฒนา กำลังรับแรงอัด พบว่าซีเมนต์เพสต์ตะกรันตีbukแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และ 50 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาบ่มหลัง 28 วัน ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาปอซโซลาน สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายต่อหินเกล็ดต่อน้ำ เท่ากับ 1:1,2:1,8:0.5 ปริมาณตะกรันตีbukแทนที่ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีกำลังรับแรงอัดมากกว่ามาตรฐาน มอก.827 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และมีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 2.88 บาทต่อก้อน

ศราวณี นุษยพงศ์ (2547) ได้ศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงที่ไม่ผ่านการบด โดยศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตและคอนกรีตในสภาพที่แข็งตัว ได้แก่ ค่าความชื้นชั้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัว ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 91 วัน รวมทั้งศึกษาความทนทานของคอนกรีต ได้แก่ การหดตัวแบบบอโตจีเนียสและการหดตัวแบบแห้ง ความสามารถในการดูดซับคลอไรด์ และการวัดค่าความคงตัวด้วยวิธีฮอโตเพลล์ โดยมีอัตราส่วนผสมของตะกรันเตาถลุงที่จะใช้แทนปูนซีเมนต์ (ร้อยละของการแทนที่ด้วยตะกรันเตาถลุงเท่ากับ 0, 30 และ 60) และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเป็นตัวแปรหลัก

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้ปริมาณตะกรันเตาถลุงแทนปูนซีเมนต์มากขึ้น ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้น การหดแบบบอโตจีเนียสน้อยกว่าของซีเมนต์เพสต์ ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง การพัฒนา กำลังจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และยังทำให้ความสามารถในการดูดซับคลอไรด์ของซีเมนต์เพสต์ลดลงด้วย เนื่องจากตะกรันเตาถลุงมีลักษณะเป็นวัสดุที่ไม่ไวในการทำปฏิกิริยาทางเคมี ส่วนค่าความคงตัวนั้นไม่สามารถทำการวัดแห่งทดสอบเนื่องจากการขยายตัวมาก

สุวรรณ สุวรรณน้อย (2551) ได้ศึกษาการใช้ตะกรันทองแดงเป็นวัสดุอัดแทรกในงานคอนกรีตเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีต โครงสร้าง การวิจัยเชิงทดลองนี้ ทำโดยนำตะกรันทองแดง ปริมาณ ร้อยละ 10, 30 โดยน้ำหนักมาทดแทนทรายในส่วนผสมของคอนกรีต แล้วทำการหล่อแข็ง

ในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จากนั้นทำการบ่มที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน เมื่อบ่มก้อนหล่อแข็งตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำมาทดสอบหาความสามารถในการเทเข้าแบบได้ ทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัด เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของสมาคมอเมริกัน เพื่อการทดสอบวัสดุของประเทศสหรัฐอเมริกา และทดสอบหาค่าความเป็นพิษ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 ผลการวิจัยมีดังนี้ (1) ความสามารถในการเทเข้าแบบของก้อนคอนกรีตตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานสมาคมอเมริกันเพื่อการทดสอบวัสดุของประเทศสหรัฐอเมริกาในทุกอัตราส่วนที่ใช้ตะกรันทองแดงเป็นวัสดุทดแทนทรายในส่วนผสมของคอนกรีต (2) ความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมอเมริกันเพื่อการทดสอบวัสดุของประเทศสหรัฐอเมริกา ในทุกอัตราส่วนที่ใช้ตะกรันทองแดงเป็นวัสดุทดแทนทรายในส่วนผสมของคอนกรีต (3) ก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดและความสามารถในการเทเข้าแบบแล้วมีความเป็นพิษเหลืออยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้อย่างปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่ามีกรนำกากของเสียต่าง ๆ จากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาหล่อแข็งด้วยปูนซีเมนต์ และวัสดุประสานอื่น ๆ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการก่อสร้าง และได้มีการศึกษาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานและความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ซึ่งทำให้ได้แนวคิดในการกำจัดกากจากอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ และการเพิ่มมูลค่าของของเสีย ตะกรันทองแดงจัดเป็นของเสียชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการใช้ตะกรันทองแดงจากกระบวนการพ่นทำความสะอาดผิวโลหะเป็นวัสดุผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. วิธีการทดลอง
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1.1 ตะกรันทองแดง ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นของเสีย ที่ผ่านการใช้งานแล้ว จากอุตสาหกรรมพ่นสีถึงน้ำมันปิโตรเลียม

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตรา ทีพีไอ

1.3 น้ำประปา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดง

2.1.1 X-Ray Fluorescence spectrometer , fisons, ARL 8410

2.1.2 Inductive coupled plasma spectrophotometer

2.1.3 เครื่องชั่งขนาด 30 กิโลกรัม ความละเอียด 0.1 กรัม, Mettler Toledo

2.1.4 เครื่องชั่งขนาด 300 กรัม ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม, Oerting

2.1.5 ตะแกรงร่อน, Retsch

2.1.6 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน, Retsch

2.1.7 Pycnometer

2.1.8 เครื่องเขย่า rotary extractor

2.1.9 ทรายกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมโครเมตร

2.1.10 เครื่องกรองสุญญากาศ

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกรันทองแดง

2.2.1 เครื่องชั่งขนาด 30 กิโลกรัม ความละเอียด 0.1 กรัม, Mettler Toledo

- 2.2.2 เครื่องผสมมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ ขนาด 5 ลิตร , Hobart
- 2.2.3 อุปกรณ์ทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์
- 2.2.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น, Termaks series 6000
- 2.2.5 เครื่องทดสอบความต้านแรงอัดของปูนซีเมนต์ Toni Technik ขนาด 300

กิโลนิวตัน

- 2.2.6 แบบหล่อปูนซีเมนต์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร
- 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
 - 2.3.1 เครื่องเตรียมคอนกรีตบล็อก
 - 2.3.2 เครื่องทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีต ขนาด 600,000 ปอนด์, Avery
 - 2.3.3 แผ่นกด
 - 2.3.4 วัสดุช่วยกด
 - 2.3.5 วัสดุรองกด
 - 2.3.6 อ่างน้ำสำหรับบ่มแช่คอนกรีตบล็อก

3. วิธีการทดลอง

- 3.1 การศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดง
- 3.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกรันทองแดง
- 3.3 การศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
- 3.4 การศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

3.1 การศึกษาสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดง

- 3.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดง ด้วยเครื่อง X-Ray

Fluorescence spectrometer

- 3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตะกรันทองแดง

- 1) หาขนาดคละของตะกรันทองแดงโดยการผ่านร่งตามวิธี

ASTM C136

- 2) หาความถ่วงจำเพาะ โดยวิธี Pycnometer

- 3.1.3 ศึกษาการชะละลาย (Leaching test) ของตะกรันทองแดง

วิเคราะห์การชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดงตามประกาศกระทรวง

อุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548 ดังต่อไปนี้

1) นำตะกรันทองแดงมาบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 9.5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้ และร่อนไม่ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ และเป็นวัสดุที่ปนเปื้อนมาไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ให้แยกออกแล้วทิ้งเสีย ส่วนที่เหลือของตัวอย่างให้นำไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนจะนำไปรวมและผสมกันอย่างทั่วถึงกับส่วนของตัวอย่างที่ไม่ต้องผ่านการบด เพื่อรอการวิเคราะห์ ต่อไป

2) ใช้ สารละลาย 0.2 M sodium citrate ที่ pH 5.0 ± 0.1 เป็นน้ำสกัดที่ใช้ในวิธี WET (WET extraction solution) โดยเตรียมจากการนำสารละลาย citric acid ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วย สารละลาย 4.0 N NaOH สารละลาย citric acid สามารถเตรียมได้โดยนำเอา analytical grade citric acid ไปละลายใน Deionized water

3) สกัดตัวอย่างด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีขั้นตอนดังนี้

(1) นำ 50 กรัม ของตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย) ภาชนะที่ใช้ในการสกัด ควรผ่านการล้าง (Rinsed) อย่างต่อเนื่องด้วยสารละลาย nitric acid ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำเอา nitric acid solution มาผสมกับ Deionized water ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

(2) เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปใส่ในภาชนะด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไป และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในตัวอย่างไม่ให้ทำปฏิกิริยาปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ Table shaker หรือ overhead stirrer หรือ Rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา (Vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

(3) จากนั้นนำเอาของผสมไปกรอง ผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (Membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ Thick-walled suction flask ที่สะอาด

(4) ชนิดของแผ่นกรองที่ใช้ ควรมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ฟลูออไรด์ และสารอินทรีย์ ที่สามารถชะออกมาได้ในปริมาณที่น้อยมาก

(5) อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็น ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน Method 1310 ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, 3rd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1986

(6) ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส

(7) ถ่ายสารละลายที่กรองได้ ลงในขวดโพลีเอทิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกจนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสม (สารละลายที่กรองได้ ผสมกับกรดไนตริก) เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)

(8) วิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนักในน้ำสกัดด้วยเครื่อง Inductive coupled plasma spectrophotometer

3.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกรันทองแดง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment research) โดยนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราทีพีไอ มาผสมกับตะกรันทองแดงในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันทองแดง เท่ากับ 20:80, 25:75, 30:70, และ 35:65 นำส่วนผสมดังกล่าวมาผสมกับน้ำประปา และหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตาม ASTM C109 โดยให้มีค่าการไหลอยู่ในช่วงร้อยละ 110 ± 5 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ : ตะกรันทองแดง : น้ำ ที่หาได้มาหล่อแบบทำเป็นก้อนลูกบาศก์สำหรับทดสอบความต้านแรงอัดขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร อัตราส่วนละ 6 ก้อน บ่มก่อนทดสอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 95 จนครบ 24 ชั่วโมง ถอดแบบออก และบ่มต่อในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ทดสอบความต้านแรงอัดของก้อนทดสอบเมื่อก่อนทดสอบอายุได้ 7 และ 28 วัน โดยใช้ก้อนทดสอบอายุละ 3 ก้อน

3.3 การศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

3.3.1 ขั้นตอนการศึกษา

ทำการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จำนวน 4 อัตราส่วนผสมตามที่ได้จากข้อ 3.2 ทั้งนี้ให้ค่าความต้านแรงอัดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานและต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพื่อยืนยันผลการทดลองในข้อ 3.2 โดยใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผลิตเป็นคอนกรีตบล็อก ประสานปูพื้นขนาดกว้าง x ยาว x หนา 295 x 210 x 60 มิลลิเมตรอัตราส่วนละ 10 ก้อน ฝังไว้ในที่ร่ม 3 วัน และนำไปแช่น้ำต่อจนครบเวลา 7 และ 28 วัน ทดสอบความต้านแรงอัดอายุละ 5 ก้อน และเปรียบเทียบกับค่า ตามมาตรฐาน มอก. 827 และทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

3.3.2 วิธีการอัดบล็อกประสาน และการบ่ม

1) เปิดฝาเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานออก ใส่ส่วนผสมที่ผสมได้ที่แล้วลงในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานให้เต็ม พร้อมกับการใช้มือกดตามมุมต่างๆ แล้วเกลี่ยให้เรียบ



ภาพที่ 3.1 แสดงการใส่ส่วนผสมในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสาน

2) ปิดฝาเครื่องคอนกรีตบล็อกประสาน โยกคานอัดไปด้านตรงข้าม แล้วออกแรงกดลงจนสุด

3) โยกคานอัดกลับคืน พอแค่เปิดฝาเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานได้ และเปิดฝาเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานออก

4) กดคานอัดที่ค้างไว้นั้นลงจนสุด คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจะถูกยกโผล่ขึ้นมาจนหมดทั้งก้อน



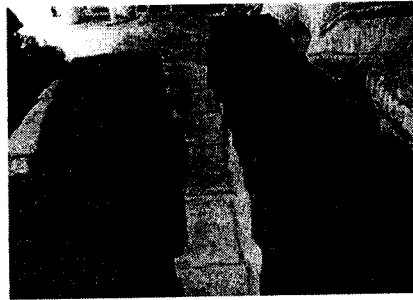
ภาพที่ 3.2 แสดงการอัดบล็อกประสาน

5) ยกคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นออก นำไปผึ่งไว้ในที่ร่ม โดยปฏิบัติดังนี้ ยกคอนกรีตบล็อกออกพร้อมอาคารองไข่แผ่นไม้อัดวางลงบนก้อนคอนกรีตบล็อกคว่ำด้านไม้อัดลง ถอดถาดที่รองออก ระวังอย่าให้เนื้อคอนกรีตติดมากับอาคารอง นำไปวางบนพื้นที่ราบเรียบ

6) เมื่อวางคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแล้ว ไม่ควรเคลื่อนย้ายอีก เพราะจะทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแตกได้

7) ห้ามวางคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซ้อนกันเด็ดขาด เพราะคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นยังไม่แข็งตัว รอจนกว่าจะครบ 3 วัน จึงจะเคลื่อนย้ายได้

8) ต้องผึ่งคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และบ่มในที่ร่มเสมอ ไม่ให้ถูกน้ำ และแสงแดด



ภาพที่ 3.3 แสดงการบ่มบล็อกประสานในสภาพอากาศปกติ 3 วัน

9) หลังจากนั้นนำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผ่านกรรมวิธีบ่มในอากาศแล้วไปบ่มในน้ำต่อจนครบเวลา 7 วัน และ 28 วัน

3.3.3 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นในอัตราส่วนต่างๆ อย่างละ 10 ก้อน จำนวน 4 อัตราส่วน รวมทั้งหมด 40 ก้อน ดังตารางต่อไปนี้

3.3.4 วิธีการทดสอบกำลังด้านแรงอัด

1) การเตรียมก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละสูตรมีอายุการบ่มที่อายุ 7 วัน และ 28 วันในวันที่ทดสอบ เลือกก้อนที่มีรูปร่างสมบูรณ์ จำนวนอัตราส่วนละ 10 ก้อนโดยใช้ทดสอบอายุละ 5 ก้อน

2) การทดสอบแรงอัด วางก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นในแนวนอนให้ ทำการทดสอบด้วยแรงอัดคงที่ โดยใช้เวลา ประมาณ 1 นาที จนได้กำลังสูงสุด และบันทึกผล

3) วิธีคำนวณและการรายงานผล กำลังต้านแรงอัดของก้อนวัสดุก่อคอนกรีต
คำนวณได้จากแรงสูงสุดเป็นนิวตันหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางของก้อนวัดเป็นตารางมิลลิเมตร

$$P = \frac{F \times C}{A}$$

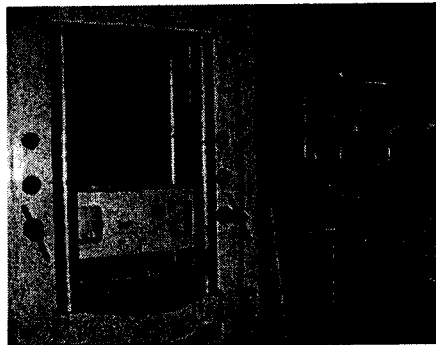
เมื่อ P คือ ความต้านแรงอัด เป็นเมกะพาสคัล

F คือ แรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ เป็นนิวตัน

C คือ ตัวประกอบปรับค่าต้านแรงอัด

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่ได้รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็นตารางมิลลิเมตร

- 4) รายงานผลความต้านทานแรงอัด และค่าเฉลี่ยจากทั้ง 5 ก้อน
เป็นหน่วยเมกะพาสคัล
- 5) เปรียบเทียบคุณภาพบล็อกกับ มอก.827



ภาพที่ 3.4 แสดงการทดสอบความต้านทานแรงอัด

3.4 การศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ศึกษาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตามอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง โดยพิจารณาจากต้นทุนค่าวัสดุ ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน เปรียบเทียบต้นทุนของแต่ละอัตราส่วนกับราคาคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตามประกาศสำนักคชช.นี้เศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้สถิติเชิงวิเคราะห์ T-test และ One-way ANOVA แล้วแปลผลเพื่อหาสูตรของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษานำตะกรันทองแดงซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ผลการศึกษาสสมบัติพื้นฐานของตะกรันทองแดง

1.1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดง

องค์ประกอบทางเคมีของ ตะกรันทองแดงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ ตะกรันทองแดง

องค์ประกอบ	wt%	องค์ประกอบ	wt%
Fe ₂ O ₃	56.8	As ₂ O ₃	0.17
SiO ₂	29.2	PbO	0.15
Al ₂ O ₃	3.04	P ₂ O ₅	0.14
CaO	2.57	SnO ₂	0.14
ZnO	2.10	Cr ₂ O ₃	0.109
CuO	1.29	Sb ₂ O ₃	0.026
K ₂ O	0.94	NiO	0.022
MgO	0.79	Co ₃ O ₄	0.016
TiO ₂	0.63	Br	Not Detected
SO ₃	0.49	CdO	Not Detected
MoO ₃	0.43	Hg	Not Detected
Na ₂ O	0.35	S	0.18

จากผลการวิเคราะห์ทางด้าน XRF ของตะกรันทองแดง พบว่า มีเหล็กและซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนักซึ่งเป็นสารอันตรายในปริมาณที่สูง ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว โครเมียม แอนติโมนี นิกเกิล และโคบอลต์

1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตะกรันทองแดง

1.2.1 การทดลองหาขนาดคละของตะกรันทองแดง

ขนาดคละของตะกรันทองแดงที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการผ่านร่งแสดงในตารางที่

4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดคละของตะกรันทองแดง

ขนาดร่ง	ปริมาณที่ผ่านร่ง, ร้อยละ
9.5 mm	100.00
4.75 mm	100.00
2.36 mm	99.97
1.18 mm	98.44
600 μm	75.32
300 μm	41.35
150 μm	17.53

1.2.2 การทดลองหาความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของตะกรันทองแดงมีค่าเท่ากับ 3.56

จากการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของตะกรันทองแดงพบว่า มีความถ่วงจำเพาะสูงมาก เพราะมีองค์ประกอบของโลหะหนักจำพวกเหล็กอยู่สูง น่าจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตโครงสร้าง หรือฐานรากได้ ส่วนขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็ก สีดำ หลายขนาดปะปนกันอยู่โดยมีขนาดโตสุด 2.36 มิลลิเมตรซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับทรายซึ่งสามารถนำไปใช้แทนทรายในงานก่อสร้างได้

1.3 ศึกษาการชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดง

ผลการทดสอบการชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดง แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดง

โลหะหนัก	เกณฑ์กำหนด (ppm)	ผลการศึกษา (ppm)
As	5	0.0994
Cr	5	0.0366
Cd	1	0.0056
Cu	25	0.706
Pb	5	0.0748
Hg	0.2	<0.20
Zn	250	0.9175
Tl	7	<0.30
V	24	<0.10
Ni	20	0.0115
Ag	5	
Se	1.0	
Be	0.75	
Ba	100	

การทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนัก พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด แสดงว่าตะกรันทองแดงที่ศึกษานี้จัดเป็นของเสียทั่วไป (Non-hazardous waste) ไม่อยู่ในข่ายของของเสียอันตราย

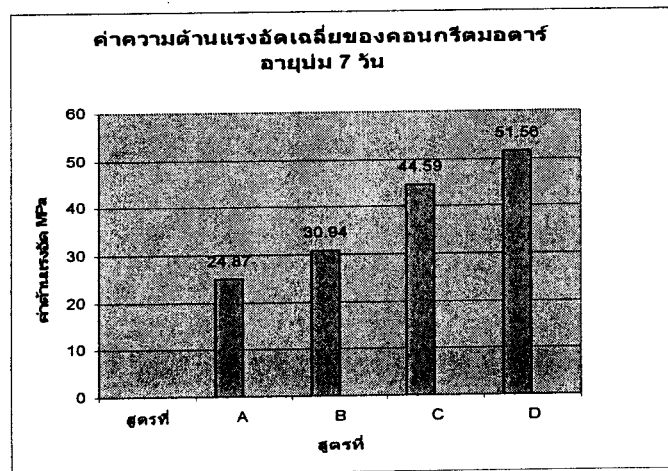
2. ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกรันทองแดง

ผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดงและน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปทำคอนกรีตบดอัดประสานปูพื้น แสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองหาอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดงและน้ำที่เหมาะสม สำหรับอายุบ่ม 7 วัน

การทดลองที่	อัตราส่วนที่ผสม (ร้อยละ)			หมายเลขก่อนทดสอบ	ความต้านแรงอัด (เมกะพาสคัล)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ปูนซีเมนต์	ตะกรันทองแดง	น้ำต่อปูนซีเมนต์				
1	20	80	0.59	A1	25.11	24.87	0.289
2	20	80	0.59	A2	24.96		
3	20	80	0.59	A3	24.55		
4	25	75	0.48	B1	29.91	30.94	1.073
5	25	75	0.48	B2	30.85		
6	25	75	0.48	B3	32.05		
7	30	70	0.41	C1	45.37	44.59	1.026
8	30	70	0.41	C2	44.98		
9	30	70	0.41	C3	43.43		
10	35	65	0.37	D1	52.49	51.56	1.255
11	35	65	0.37	D2	50.13		
12	35	65	0.37	D3	52.05		

ผลจากตารางที่ 4.4 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกรันทองแดงกับค่าต้านแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.1

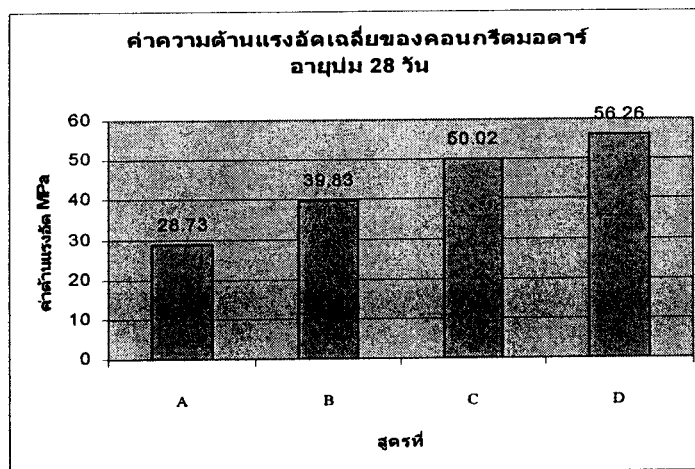


ภาพที่ 4.1 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมอดาร์ อายุบ่ม 7 วัน

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองหาอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดงและน้ำที่เหมาะสม สำหรับอายุบ่ม 28 วัน

การทดลองที่	อัตราส่วนที่ผสม (ร้อยละ)			หมายเลขก่อนทดสอบ	ความต้านแรงอัด (เมกะพาสคัล)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ปูนซีเมนต์	ตะกรันทองแดง	น้ำต่อปูนซีเมนต์				
1	20	80	0.59	A4	26.90	28.73	1.719
2	20	80	0.59	A5	28.98		
3	20	80	0.59	A6	30.31		
4	25	75	0.48	B4	38.44	39.83	1.426
5	25	75	0.48	B5	39.77		
6	25	75	0.48	B6	41.29		
7	30	70	0.41	C4	51.87	50.02	3.227
8	30	70	0.41	C5	51.89		
9	30	70	0.41	C6	46.29		
10	35	65	0.37	D4	51.79	56.26	3.938
11	35	65	0.37	D5	57.77		
12	35	65	0.37	D6	59.22		

ผลจากตารางที่ 4.5 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกรันทองแดงกับค่าความต้านแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมอดาร์ อายุบ่ม 28 วัน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถรับกำลังอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่มีปริมาณตะกรันทองแดงที่แตกต่างกันที่อายุการบ่มในตู้ควบคุมความชื้น 7 วัน และ 28 วัน (ภาคผนวก 1)

จากตาราง Test of Homogeneity of Variances พบว่า P-Value ของ Levene ที่อายุการบ่มในตู้ควบคุมความชื้น 7 วัน และ 28 วัน เท่ากับ 0.242 และ 0.142 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของความสามารถในการรับกำลังอัดของแต่ละสูตรไม่ต่างกัน และจากตารางแสดงผล ANOVA ในส่วนของการทดสอบปริมาณ ตะกรันทองแดงในสูตรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน พบว่า ค่า F-Test ได้เท่ากับ 465.451 และ 56.504 ตามลำดับ ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H_0 สรุปผลการทดสอบว่า มีอย่างน้อย 2 คู่สูตรทดลองที่มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดต่างกัน จึงต้องทดสอบต่อไปว่าคู่สูตรทดลองใดบ้างที่มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดต่างกัน โดยวิธี LSD ซึ่งจากตาราง Multiple Comparisons สรุปได้ว่า ปริมาณของ ตะกรันทองแดงที่ต่างกันในสูตร A กับ B, A กับ C, A กับ D, B กับ D และ C กับ D มีผลทำให้ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนการทดสอบระยะเวลาหรืออายุการบ่มต่างกันในวันนี้ ที่มีผลต่อค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีต จากตาราง Paired Sample Correlations พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.894 ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจากตาราง Paired Sample Test ค่า T-Test ได้เท่ากับ -8.538 , ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H_0 สรุปผลการทดสอบว่า อายุการบ่มที่แตกต่างกัน คือ 7 วัน และ 28 วัน มีผลทำให้ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

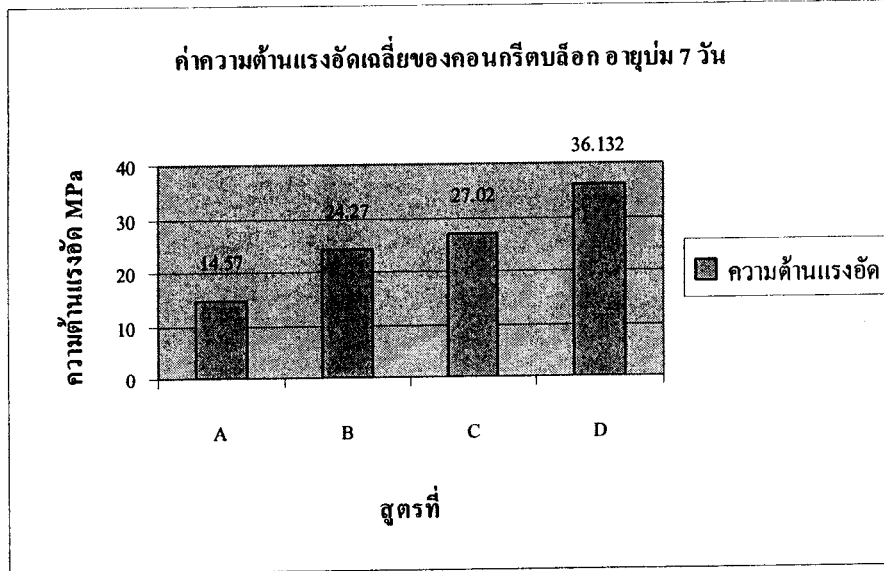
3. ผลการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากตะกรันทองแดง

ผลการทดลองในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากอัตราส่วนของ ปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดง และน้ำ ที่หาได้ตามข้อ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วน ตะกรันทองแดงต่าง ๆ สำหรับอายุการบ่ม 7 วัน

การทดลองที่	อัตราส่วนที่ผสมร้อยละ			หมายเลขก้อนทดสอบ	ความต้านแรงอัด (เมกะพาสกัล)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ปูนซีเมนต์	ตะกรันทองแดง	น้ำต่อปูนซีเมนต์				
1	20	80	0.59	A1	8.88	14.57	3.927
2	20	80	0.59	A3	15.96		
3	20	80	0.59	A5	18.52		
4	20	80	0.59	A7	12.32		
5	20	80	0.59	A9	17.16		
6	25	75	0.48	B1	28.67	24.27	3.506
7	25	75	0.48	B3	22.84		
8	25	75	0.48	B5	20.14		
9	25	75	0.48	B7	27.11		
10	25	75	0.48	B9	22.61		
11	30	70	0.41	C1	26.11	27.02	1.769
12	30	70	0.41	C3	26.25		
13	30	70	0.41	C5	25.81		
14	30	70	0.41	C7	26.83		
15	30	70	0.41	C9	30.19		
16	35	65	0.37	D1	36.85	36.13	2.647
17	35	65	0.37	D3	32.46		
18	35	65	0.37	D5	39.39		
19	35	65	0.37	D7	37.28		
20	35	65	0.37	D9	34.68		

ผลจากตารางที่ 4.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกรันทองแดงกับค่าความต้านแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.3

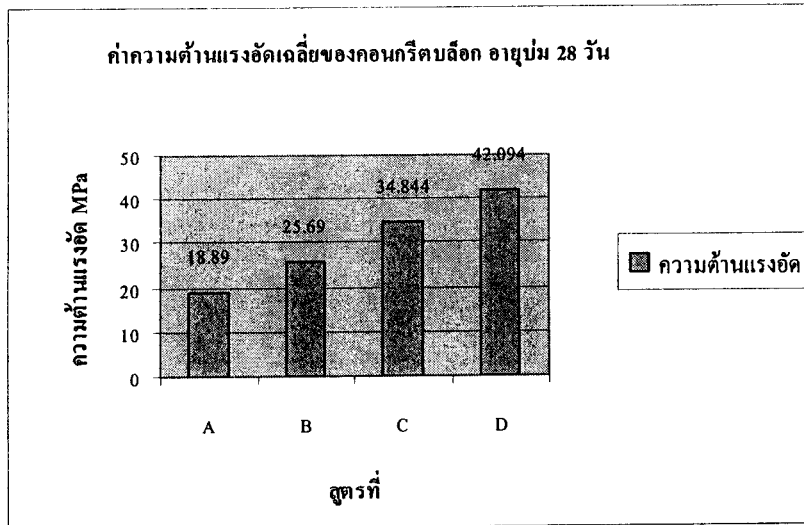


ภาพที่ 4.3 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 7 วัน

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วน
ตะกรันทองแดงต่าง ๆ สำหรับอายุการบ่ม 28 วัน

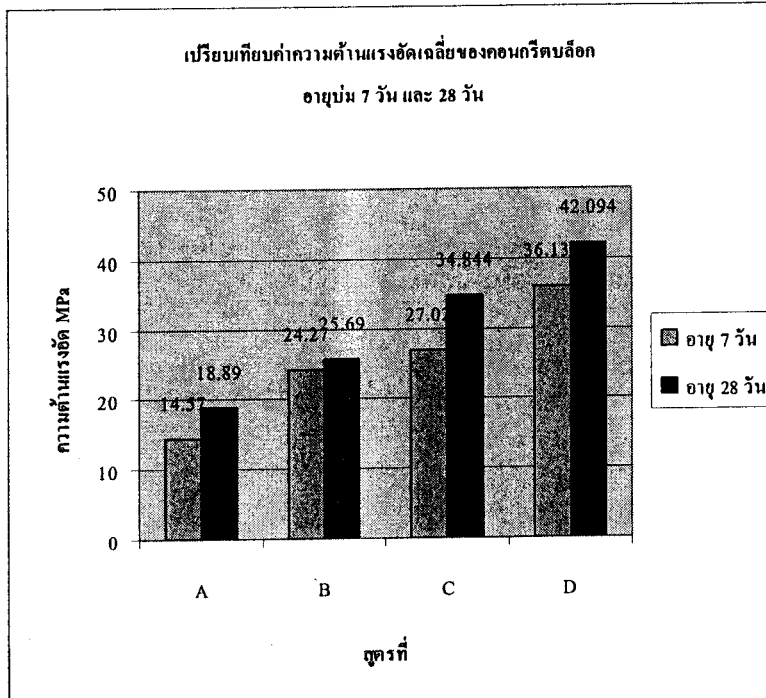
การ ทดลองที่	อัตราส่วนที่ผสม			หมายเลข ก้อนทดสอบ	ความต้านแรงอัด (เมกะพาสคัล)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ร้อยละ						
	ปูนซีเมนต์	ตะกรัน ทองแดง	น้ำต่อ ปูนซีเมนต์				
1	20	80	0.59	A2	13.62	18.89	3.934
2	20	80	0.59	A4	22.52		
3	20	80	0.59	A6	15.79		
4	20	80	0.59	A8	21.38		
5	20	80	0.59	A10	21.16		
6	25	75	0.48	B2	29.92	25.69	3.874
7	25	75	0.48	B4	28.73		
8	25	75	0.48	B6	31.00		
9	25	75	0.48	B8	26.37		
10	25	75	0.48	B10	29.54		
11	30	70	0.41	C2	35.38	34.84	0.467
12	30	70	0.41	C4	34.59		
13	30	70	0.41	C6	34.36		
14	30	70	0.41	C8	35.31		
15	30	70	0.41	C10	34.58		
16	35	65	0.37	D2	42.56	42.09	1.509
17	35	65	0.37	D4	41.59		
18	35	65	0.37	D6	39.86		
19	35	65	0.37	D8	43.96		
20	35	65	0.37	D10	42.50		

ผลจากตารางที่ 4.7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อ
ตะกรันทองแดงกับค่าความต้านแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแท่งแสดงค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 28 วัน

ผลจากตารางที่ 4.6 และ 4.7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อตะกรันทองแดงกับค่าความต้านแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และอายุการบ่ม ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกอายุบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (One-way Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีปริมาณอัตราส่วน ตะกรันทองแดงต่างกัน ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน (ภาคผนวก 2)

จากตาราง Test of Homogeneity of Variances พบว่า p-Value ของ Levene เท่ากับ 0.709 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของความสามารถในการรับกำลังอัดของแต่ละสูตรเท่ากัน และจากตารางแสดงผล ANOVA ในส่วนของการทดสอบปริมาณ ตะกรันทองแดงในสูตรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อก พบว่า ค่า F-Test ได้เท่ากับ 55.784 ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H_0 สรุปผลการทดสอบว่า มีอย่างน้อย 2 คู่สูตรทดลองที่มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดต่างกัน จึงต้องทดสอบต่อไปว่าคู่สูตรทดลองใดบ้างที่มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดต่างกัน โดยวิธี LSD ซึ่งจากตาราง Multiple Comparisons สรุปได้ว่าปริมาณของ ตะกรันทองแดงที่ต่างกันทุกคู่สูตรการทดลองในสูตร A, B, C และ D มีผลทำให้ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนการทดสอบระยะเวลาหรืออายุการบ่มต่างกันในน้ำ ที่มีผลต่อค่าความสามารถรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีต จากตาราง Paired Sample Correlations พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.915 ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจากตาราง Paired Sample Test ค่า T-Test ได้เท่ากับ -5.744 , ค่า p-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธ H_0 สรุปผลการทดสอบว่า อายุการบ่มในน้ำต่างกัน คือ 7 วัน และ 28 วัน มีผลทำให้ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลองเพื่อยืนยันอัตราส่วนที่มีค่าความต้านแรงอัดน้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล ซึ่งได้แก่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ตะกรันทองแดง 20 : 80 และ 25 : 75 ข้อมูลผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ที่อายุ 7 วัน และ 28 วันตามลำดับ เปรียบเทียบกับผลการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ที่อายุ 7 วัน และ 28 วันตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนทั้งสองให้ค่าความต้านแรงอัดน้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล ไม่เหมาะสมที่จะนำอัตราส่วนผสมดังกล่าวมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

4. ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

จากการศึกษาดัชนีทุนและคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ได้จากการทดลองแทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วย ตะกรันทองแดงกับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป ซึ่งน้ำหนักของส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตแสดงในตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายของวัสดุ ค่าแรง ค่าไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต่อก้อน

อัตราส่วนผสม	ปูนซีเมนต์, กิโลกรัม	ตะกรันทองแดง, กิโลกรัม	น้ำ, กิโลกรัม	น้ำหนักคอนกรีต บล็อก, กิโลกรัม
A	0.72	2.86	0.42	4.0
B	0.89	2.68	0.43	3.8
C	1.07	2.49	0.44	3.7
D	1.08	2.01	0.40	3.5

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายของวัสดุ ค่าแรงและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

รายการ	ราคาต่อหน่วย, บาท	หน่วย	ค่าใช้จ่ายของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น, บาท/ก้อน			
			A	B	C	D
ปูนซีเมนต์	2,706*	ตัน	1.94	2.30	2.60	2.93
ตะกรันทองแดง	-	ตัน	-	-	-	-
น้ำ	15.16**	ลูกบาศก์ เมตร	0.01	0.01	0.01	0.01
ค่าแรง	0.10***	ก้อน	0.10	0.10	0.10	0.10
ค่าไฟฟ้า	0.94****	ก้อน	0.94	0.94	0.94	0.94
รวมค่าใช้จ่าย ทั้งหมด, บาท/ก้อน	-	-	2.98	3.34	3.65	3.98

ที่มา * สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ ราคาวัสดุก่อสร้าง
กรุงเทพมหานคร (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) เดือนมกราคม 2552

** การประปานครหลวง

*** กรมแรงงานและสวัสดิการสังคม ค่าแรงขั้นต่ำเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

**** การไฟฟ้านครหลวง

หมายเหตุ 1. การคิดค่าแรงงานคิดจาก กำลังผลิตวันละ 8,000 ก้อน ใช้คนงาน 4 คน ค่าแรงวันละ
203 บาทต่อคน คิดเป็นค่าแรง 0.10 บาท/ก้อน

2. ค่าไฟฟ้าคิดราคา 2.5 บาท/หน่วย เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ได้แก่เครื่องอัดคอนกรีต
กำลังไฟฟ้า 1.5 กิโลวัตต์ ใช้งาน 1 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟ 3,750 บาท และเครื่อง
ผสม กำลังไฟฟ้า 0.75 กิโลวัตต์ ใช้งาน 2 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟ 3,750 รวมเป็น
7,500 บาท กำลังผลิต 8,000 ก้อน/วัน คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.94 บาท/ก้อน

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

รายละเอียด	บล็อกประสานปูพื้น ทั่วไป	บล็อกประสานปูพื้นผสมตะกรัน ทองแดง	หมายเหตุ
ขนาด	210 X 295 X 60 มม.	210 X 295 X 60 มม.	
ราคาต่อก้อน	6 บาท*	สูตรA เท่ากับ 2.98 บาท สูตรB เท่ากับ 3.34 บาท สูตรC เท่ากับ 3.65 บาท สูตรD เท่ากับ 3.98 บาท	
ราคาต่อตาราง เมตร	102 บาท	สูตรA เท่ากับ 50.66 บาท สูตรB เท่ากับ 56.78 บาท สูตรC เท่ากับ 62.05 บาท สูตรD เท่ากับ 67.66 บาท	จำนวน 17 ก้อนต่อ 1 ตารางเมตร
ค่าความต้าน แรงอัด ที่อายุบ่ม 7 วัน	40 เมกะพาสกัล	สูตรA เท่ากับ 14.57 เมกะพาสกัล สูตรB เท่ากับ 24.27 เมกะพาสกัล สูตรC เท่ากับ 27.04 เมกะพาสกัล สูตรD เท่ากับ 36.13 เมกะพาสกัล	ค่าเฉลี่ย 5 ก้อน
ค่าความต้าน แรงอัด อายุบ่ม 28 วัน	40 เมกะพาสกัล	สูตรA เท่ากับ 18.89 เมกะพาสกัล สูตรB เท่ากับ 29.11 เมกะพาสกัล สูตรC เท่ากับ 34.84 เมกะพาสกัล สูตรD เท่ากับ 42.09 เมกะพาสกัล	ค่าเฉลี่ย 5 ก้อน

ที่มา * สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ ราคาวัสดุก่อสร้าง
กรุงเทพมหานคร (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) เดือนมกราคม 2552

จากตารางเปรียบเทียบราคาราคาบล็อกประสานปูพื้นผสม ตะกรันทองแดง มีต้นทุนการ
ผลิตที่ต่ำกว่าบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป และสามารถกำจัด ตะกรันทองแดงโดยใช้เป็นส่วนผสม ได้
ถึงร้อยละ 65 ของน้ำหนัก

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกรันทองแดง ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวถึงนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาเป็นวัสดุทดแทนทรายและหินเกล็ด โดยผลสรุปที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย

1) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันทองแดงในรูปของโลหะออกไซด์โดยวิธี XRF พบว่า มีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน Class F ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการหล่อแข็งได้

2) การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของตะกรันทองแดงพบว่าโดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคหลายขนาดปนกันอยู่ใกล้เคียงกับทรายทั่วไป และมีความถ่วงจำเพาะสูง

3) การศึกษาการทดสอบชะละลาย โลหะหนักของตะกรันทองแดงพบว่าการชะละลายของโลหะหนักต่ำกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ และมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

4) การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ ตะกรันทองแดง และน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่าสูตร C และ D ซึ่งมีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ตะกรันทองแดง เท่ากับ 30 : 70 และ 35 : 65 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน มีความเหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เนื่องจากมีค่าความต้านแรงอัดมากกว่า 40 เมกะพาสคัล

5) การทดลองในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นพบว่า สูตร D ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันทองแดง เท่ากับ 35 : 65 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีความเหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

6) การแทนที่ ตะกรันทองแดงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง

7) ราคาบล็อกประสานปูพื้นผสม ตะกรันทองแดงมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป และสามารถกำจัด ตะกรันทองแดงโดยใช้เป็นส่วนผสมได้ถึงร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก

2. อภิปรายผล

จากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตะกรันทองแดงพบว่าม็องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ซีลีกา อะลูมินา และเหล็กในปริมาณร้อยละ 29.2 3.04 และ 56.8 ตามลำดับและได้ผลรวมของออกไซด์ทั้งสามเท่ากับร้อยละ 89.04 ซึ่งสามารถจัดได้เป็นวัสดุปอซโซลาน class F ซึ่งเป็นปอซโซลานที่ได้จากการสังเคราะห์และต้องมีผลรวมของออกไซด์ทั้ง 3 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 แต่ในการทดลองนี้เป็นการทดลองระยะสั้นและตะกรันทองแดงที่ใช้มีขนาดใหญ่และมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาน้อย ดังนั้นตะกรันทองแดงที่ศึกษาในที่นี้จะยังไม่แสดงความเป็นปอซโซลานเนื่องจากวัสดุปอซโซลานจะค่อย ๆ เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารเชื่อมประสานและให้กำลังอัดอย่างช้า ๆ ซึ่งในตอนแรกจะให้กำลังอัดน้อยและกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในระยะปลายซึ่งอาจต้องใช้เวลาเป็นปี

จากการศึกษาองค์ประกอบในส่วนที่เป็นโลหะหนักพบว่ามีโลหะหนัก As Pb Cr Sb Ni และ Co ในปริมาณที่สูงแต่เมื่อทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้วพบว่ามีโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด ซึ่งจัดได้ว่าตะกรันทองแดงเป็นของเหลือทิ้งที่ไม่เป็นอันตรายสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากตะกรันทองแดงมีความถ่วงจำเพาะสูงและมีโครงสร้างที่แข็งแรงทำให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อน จึงสามารถจับโลหะหนักไว้ได้ดี ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Shanmuganathan ซึ่งได้ศึกษาความเป็นพิษและความเสถียรระยะยาวของตะกรันทองแดงที่มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ กัน พบว่ามีความทนทานต่อการสกัดในสภาวะที่รุนแรงได้แม้แต่ในสภาวะฝนกรดในธรรมชาติได้

จากการศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัดทั้งในขั้นตอนการหาส่วนผสมที่เหมาะสมและการผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นพบว่าการใช้ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นและใช้ตะกรันทองแดงในสัดส่วนที่น้อยลงจะทำให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นนั่นคือคอนกรีตบล็อกที่ได้จะมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นในทางกลับกันถ้าสัดส่วนของปูนซีเมนต์น้อยลงและสัดส่วนของตะกรันทองแดงเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการรับกำลังอัดก็จะลดลงทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกในการรับน้ำหนักลดลง เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสานที่ให้ความแข็งแรงเกิดขึ้นและยังใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงขึ้นก็จะยังทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ส่วนตะกรันทองแดงถึงแม้จะมีสมบัติเป็นปอซโซลานแต่เกิดปฏิกิริยาได้ช้ามากเมื่อใช้ในสัดส่วนที่มากขึ้นก็จะทำให้ความแข็งแรงลดลงได้ ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีต ปริมาณ

น้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากการทดลองปรับปริมาณน้ำที่ใช้จนคอนกรีตมีค่าการไหลแผ่ร้อยละ 110 ± 5 ซึ่งเป็นค่าวัดความชื้นเหลวของคอนกรีตที่มีความชื้นเหลวที่เหมาะสมสะดวกต่อการใช้งาน ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ลดลงจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของคอนกรีตซึ่งเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ลดลงก็จะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตในขั้นตอนการหาส่วนผสมที่เหมาะสมกับขั้นตอนในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่าในขั้นตอนหาส่วนผสมจะให้ค่ารับกำลังอัดที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้เครื่องมือผสมที่ได้มาตรฐานตลอดการทดลอง ส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อกจริงใช้การผสมด้วยมือและใช้เครื่องอัดบล็อก ด้วยแรงคน จึงทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าต่ำกว่าที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ และขนาดและรูปร่างของชิ้นงานก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดแตกต่างกันได้ โดยที่ชิ้นงานที่เป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าชิ้นงานรูปทรงแบนเหมือนคอนกรีตบล็อก อย่างไรก็ตามแนวโน้มในการเพิ่มและลดกำลังอัดตามสัดส่วนต่าง ๆ ก็เป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งอาจปรับปรุงโดยการใช้เครื่องมือช่วยในการผสมคอนกรีตซึ่งจะทำให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น และใช้เครื่องอัดบล็อกชนิดที่เป็นเครื่องอัดโน้มติ ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับการทดลองหาอัตราส่วนในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อการเพิ่มของความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการรับกำลังอัดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ให้ความแข็งแรงเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะมีการเพิ่มความแข็งแรงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นและอัตราการเพิ่มความแข็งแรงช้าลงในช่วงปลายแต่ก็จะยังเพิ่มความแข็งแรงต่อไปอีก ในช่วงแรกสารประกอบไตรแคลเซียมอะลูมิเนต และไดแคลเซียมซลิเกตในปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาให้กำลังรับแรงได้เร็วในระยะต้น ส่วนสารประกอบไดแคลเซียมซลิเกตและสารประกอบเทตระแคลเซียมอะลูมิเนต จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงอัดได้ในระยะหลัง ดังนั้นจะให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่สารประกอบเหล่านี้ยังทำปฏิกิริยาได้อยู่ ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปความสามารถรับกำลังอัดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากผลการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นพบว่าส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ตะกรันทองแดง 35 : 65 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.37 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 42.09 เมกะพาสคัล และค่าความต้านแรงอัดแต่ละก้อนอยู่ระหว่าง 39.86-43.96

เมกะพาสคัล ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ มอก. 827 ที่กำหนดให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ต้องมีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัลและค่าความต้านแรงอัดแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 35 เมกะพาสคัล ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า ตะกรันทองแดงที่ใช้งานแล้ว เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์สำเร็จรูป และน้ำ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายและหินเกล็ด ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้

ในการทดลองนี้ได้มีการนำเอาส่วนผสมที่มีค่าความต้านแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดที่ได้จากขั้นตอนการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม มาทดลองผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นด้วย ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกันคือคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้มีความต้านแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลในขั้นตอนการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ : ตะกรันทองแดงเพื่อผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ทำขึ้นตามอัตราส่วนผสมทั้ง 4 อัตราส่วน กับราคาขายคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของสำนักคัชชีนเศรษฐกิจการค้าสำนักปลัดกระทรวงพาณิชย์ พบว่าต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทุกอัตราส่วนต่ำกว่าราคาขายในท้องตลาด ต้นทุนคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นอัตราส่วนปูนซีเมนต์:ตะกรันทองแดง 35:65 ซึ่งได้มาตรฐานอุตสาหกรรม มีต้นทุนการผลิต 3.98 บาท/ก้อน ราคาขายในท้องตลาดประมาณ 6 บาท/ก้อน ซึ่งราคาถูกกว่าก้อนละ 2.02 บาท แต่ในการผลิตจริงควรนำเอาค่าใช้จ่ายอื่น ๆ มาคำนวณเป็นต้นทุนด้วย เช่น ค่าขนส่งวัสดุ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร เพื่อให้ได้ต้นทุนที่แท้จริง

3. ข้อเสนอแนะ

1) การนำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นไปใช้งานต้องพิจารณา 2 ประเด็นคือ

ก) ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งดูจากการชะละลาย วิธีการเป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมและปริมาณสารพิษที่ชะละลายพบว่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด

ข) ข้อกำหนดทางกายภาพคือความต้านแรงอัด ตาม มอก.827-2531 กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล สำหรับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จากการศึกษาอัตราส่วนของเสียดตะกรันทองแดงต่อปูนซีเมนต์ โดยไม่มี ทรายและหินเกร็ด ที่ร้อยละ 65:35 มีความเหมาะสมที่จะนำไปทำคอนกรีตประสานปูพื้น การศึกษานี้ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมขั้นต้น ผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีขนาดจริงตาม มอก. 827-2531 และมีการตรวจสอบตามข้อกำหนด สามารถนำไปใช้งาน

ได้จริง หากต้องการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ ควรมีการศึกษาทำเพิ่มเติมในเรื่องขนาดวัสดุ และอัตราส่วนที่เหมาะสม

2) เนื่องจากตะกรันทองแดงมีสมบัติเป็นวัสดุพอลิโซลันซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับค่าเช่นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ให้สารประกอบที่สามารถรับกำลังอัดได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษานำตะกรันทองแดงมาบดเป็นผงละเอียดเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของตะกรันทองแดงและใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.
- กัลยา วินิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Window พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540
- ขวัญเรือน ทองไพรวรรณ(2548) “การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานหนังเทียมเพื่อทำอิฐหนังเทียม” วิทยานิพนธ์ ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ(2544) “เทคโนโลยีบำบัดของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม” ประมวลสารระชูดวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยและการจัดการกากของเสียอันตราย หน่วยที่ 12 หน้า 163-235 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
- วินิต ช่อวิเชียร. *คอนกรีตเทคโนโลยี*. กรุงเทพมหานคร : ป. สัมพันธ์ , 2529, หน้า 5-26
- บรรณิศร ฉัตรวีระ และพีรพล สุภัทธรรม. “คุณสมบัติทางกลและความทนทานของมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบ” ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. 10-12 พฤษภาคม 2543 โรงแรมดุสิต รีสอร์ท และโปโลคลับ ชะอำ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2543.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ สมศักดิ์เมตะนันท์ สุรเชษฐ์ มั่งมีศรี และธีรวัฒน์ สิ้นศิริ . “คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและแกลบดำ” ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. 10-12 พฤษภาคม 2543 โรงแรมดุสิต รีสอร์ท และโปโลคลับ ชะอำ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2543.
- สุวรรณ สุวรรณน้อย (2551) “การศึกษาการใช้ตะกรันทองแดงเป็นวัสดุอัดแทรกในงานคอนกรีตเพื่อ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตโครงสร้าง” วิทยานิพนธ์ ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- สำนักงานมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์* เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มอก. 15-2547
- สำนักงานมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น* มอก. 827-2531
- อานนท์ แก้วคง (2547) “การนำกากตะกอนจากบ่อดักตะกอนขั้นต้นของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานผลิตเมลามีน-ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มาอัดเป็นบล็อกประสาน : กรณีศึกษา

- บริษัท ไทย เค เค อุตสาหกรรม” วิทยานิพนธ์ ปริญญาสาธาณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต.
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- อรวรรณ มนูญวงศ์ (2542) “กำลังรับแรงอัดและการชะละลายของตะกั่วและนิกเกิลจากกาก
ตะกอนโลหะหนักที่ทำให้เป็นก้อนหล่อแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบ” วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาสุขภาพสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- American Society for Testing and Material, 1991, ASTM C618-91: *Standard
Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral
Admixture in Portland Cement Concrete*, In 1991 Annual Book of ASTM Standards.
Vol. 04.02 Philadelphia, ASTM. pp 303-305.
- Bipra Gorai, R.K. Jana *, Characteristics and utilisation of copper slag
* a review. Accepted 4 December 2002. (www.sciencedirect.com)
- Hiller,SR, Sangha CM , Plunkett BA and Walden PJ. “Long-term teaching of toxic trace
Metals from Portland cement concrete” *Cement and Concrete research*; 29: 1991
pp. 515-512.
- Lung CC. “Solidification of Heavy metal Using Cement and Rice Husk ASK” Master
of Engineering. Environment Engineering Program, Asian Institute of Technology,
1989
- K.S. Al-Jabri *, R.A. Taha, A. Al-Hashmi, A.S. Al-Harthy. *Effect of copper slag and
cement by-pass dust addition on mechanical properties of concrete*
Available online 8 March 2005. (www.sciencedirect.com)
- P. Shanmuganathan a, P. Lakshmipathiraj a, *Toxicity characterization and long-term
studies on copper slag from the ISASMELT process* Available online 14 September
2007 (www.sciencedirect.com)
- R. Tixier, R. Devaguptapu, and B. Mobasher. “The effect of Copper Slag on the Hydration and
Mechanical Properties of Cementitious Mixtures” (Received March 13, 1997; in final form May
28, 1997)
- United State. Environmental Programs Agency Us. EPA. *Solid Waste and Emergency
response* US. EPA, 2007 (www.sciencedirect.com)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเอกซ-เรย์ สเปกโทรสโคปี
(X-ray Spectroscopy)

ภาคผนวก ก

หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเอกซ์-เรย์ สเปกโทรสโกปี (X-ray Spectroscopy)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRS มีอยู่ 2 ระบบ คือ

ก. ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (Wavelength dispersion system)

ข. ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (Kev) (Energy dispersion system)

ทั้งสองระบบนี้บางส่วนของเครื่องอาจเหมือนกันและบางส่วนอาจแตกต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้ ระบบที่ใช้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเป็นระบบที่วัดเป็นพลังงาน

หลักการทั่วไปของการเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เกิดขึ้นได้จากการระดมยิง (Bombard) วัตถุ เช่น โลหะ หรือสารประกอบ เป็นต้น ด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น ลำอิเล็กตรอน (Electron beam) หรือ โปรตอน หรือ โฟตรอน (รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา) อิเล็กตรอนของอะตอมที่ประกอบอยู่ในวัตถุนั้น เมื่อถูกระดมยิงทำให้อิเล็กตรอนในเชลล์ (Shell) ในหลุดออกไป เมื่อเกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนจากเชลล์นอกที่มีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่

ระบบต่างๆ ในเครื่องรังสีเอกซ์ (X-ray Productions)

ระบบต่างๆ ที่ใช้ผลิตรังสีเอกซ์ที่ใช้กับเทคนิค XRS ได้แก่

1. ใช้หลอดรังสีเอกซ์ (X-ray Tube) โดยที่รังสีเอกซ์เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปทำให้ไส้ (Filament) ของขั้วแคโทด (Cathode) ร้อนขึ้น ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ไส้หลอดนี้อย่างหนาแน่น เมื่อทำให้ขั้วแคโทดและขั้วแอโนด (Anode) มีค่าต่างศักย์ต่างกันมากๆ โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ขนาด 100 kV จะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนขั้วแอโนด รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นให้ผ่านหน้าต่างที่ทำด้วยเบอริลเลียมออกมา หลอดรังสีเอกซ์มีหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ใช้ทำขั้วแอโนด เช่น ทำด้วยโลหะ Mo, W, Cr, Cu, Ag หรือ Rh ก็ได้ เป็นต้น

ลักษณะเฉพาะของรังสีเอกซ์สเปกตรัม ประกอบด้วยสเปกตรัม 2 ชนิด ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุที่ใช้ทำแอโนด คือ สเปกตรัมที่เป็นแถบ (Band) แบบต่อเนื่อง (Continuum) หรือเรียกว่า White radiation ซึ่งเกิดอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ถูกลดพลังงานลงหรือลดความเร็วลงด้วยการชนระหว่างอิเล็กตรอนเองหรือชนกับอิเล็กตรอนในวัตถุ ทำให้มีการเปล่งรังสี

ออกมาเป็นเบรมสตราลุง (Bremsstrahlung) กับสเปกตรัมที่เป็นเส้น (Line spectrum) ทั่วยุ่บนแถบสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

2. รังสีเอกซ์ได้จากธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Sources) ไอโซโทปกัมมันตรังสีเป็นอีกแหล่งหนึ่งที่สามารถใช้ผลิตรังสีเอกซ์ได้ และโดยทั่วไปนิยมใช้ทำให้เกิดฟลูออเรสเซนซ์จากไอโซโทปกัมมันตรังสีนี้เกิดจากอันตรกิริยาของอนุภาคต่างๆ กับสสาร

ในการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคทาง XRS นั้นมีขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดังนี้ คือ ถ้ารังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) ถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้น ให้เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิมเมเตอร์ (collimator) เพื่อทำให้เกิดลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือให้ไปกระทบกับ Analyzing crystal นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆ กันจะถูกความเข้มข้นหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (scan) ของดีเทคเตอร์สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลที่เก็บได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณได้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. อบตัวอย่างที่ 105 องศาเซลเซียส นำไปบดให้มีขนาด 0.4 ไมครอน
2. นำไปหาคู่ประกอบทางเคมีในรูปโลหะด้วยเครื่อง XRF
3. คำนวณค่าในรูปของโลหะออกไซด์จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 2 ทั้งนี้สารประกอบที่พบในรูปอื่นๆ ต้องศึกษาจากสารประกอบที่พบในตัวอย่างตามธรรมชาติ

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของคอนกรีตมอร์ตาร์ อายุบ่ม 7 วัน

Explore

FORMULAR

Case Processing Summary

FORMULAR	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
COMPRESS A	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
B	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
C	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
D	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%

Descriptives

FORMULAR				Statistic	Std. Error
COMPRESS	A	Mean		24.8733	.16737
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	24.1532	
			Upper Bound	25.5934	
		5% Trimmed Mean		.	
		Median		24.9600	
		Variance		.084	
		Std. Deviation		.28989	
		Minimum		24.55	
		Maximum		25.11	
		Range		.56	
		Interquartile Range		.	
		Skewness		-1.225	1.225
		Kurtosis		.	.
			B	Mean	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			28.2721	
	Upper Bound			33.6012	
5% Trimmed Mean				.	
Median				30.8500	
Variance				1.151	
Std. Deviation				1.07263	
Minimum				29.91	
Maximum				32.05	
Range				2.14	
Interquartile Range				.	
Skewness				.361	1.225
Kurtosis				.	.
	C			Mean	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	42.0442	
			Upper Bound	47.1425	
		5% Trimmed Mean		.	
		Median		44.9800	
		Variance		1.053	
		Std. Deviation		1.02617	
		Minimum		43.43	
		Maximum		45.37	
		Range		1.94	
		Interquartile Range		.	
		Skewness		-1.455	1.225
		Kurtosis		.	.
			D	Mean	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			48.4392	
	Upper Bound			54.6742	
5% Trimmed Mean				.	
Median				52.0500	
Variance				1.575	
Std. Deviation				1.25496	
Minimum				50.13	
Maximum				52.49	
Range				2.36	
Interquartile Range				.	
Skewness				-1.496	1.225
Kurtosis				.	.

Extreme Values^a

FORMULAR				Case Number	Value
COMPRESS	A	Highest	1	1	25.11
		Lowest	1	3	24.55
	B	Highest	1	6	32.05
		Lowest	1	4	29.91
	C	Highest	1	7	45.37
		Lowest	1	9	43.43
	D	Highest	1	10	52.49
		Lowest	1	11	50.13

a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.

Tests of Normality

FORMULAR		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COMPRESS	A	.284	3	.	.933	3	.500
	B	.199	3	.	.995	3	.866
	C	.314	3	.	.894	3	.365
	D	.320	3	.	.884	3	.337

a. Lilliefors Significance Correction

Oneway

Descriptives

COMPRESS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
A	3	24.8733	.28989	.16737	24.1532	25.5934	24.55	25.11
B	3	30.9367	1.07263	.61928	28.2721	33.6012	29.91	32.05
C	3	44.5933	1.02617	.59246	42.0442	47.1425	43.43	45.37
D	3	51.5567	1.25496	.72455	48.4392	54.6742	50.13	52.49
Total	12	37.9900	11.10319	3.20522	30.9354	45.0446	24.55	52.49

Test of Homogeneity of Variances

COMPRESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.707	3	8	.242

ANOVA

COMPRESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1348.365	3	449.455	465.451	.000
Within Groups	7.725	8	.966		
Total	1356.090	11			

Post Hoc Tests**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: COMPRESS

LSD

(I) FORMULAR	(J) FORMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-6.0633*	.80234	.000	-7.9135	-4.2131
	C	-19.7200*	.80234	.000	-21.5702	-17.8698
	D	-26.6833*	.80234	.000	-28.5335	-24.8331
B	A	6.0633*	.80234	.000	4.2131	7.9135
	C	-13.6567*	.80234	.000	-15.5069	-11.8065
	D	-20.6200*	.80234	.000	-22.4702	-18.7698
C	A	19.7200*	.80234	.000	17.8698	21.5702
	B	13.6567*	.80234	.000	11.8065	15.5069
	D	-6.9633*	.80234	.000	-8.8135	-5.1131
D	A	26.6833*	.80234	.000	24.8331	28.5335
	B	20.6200*	.80234	.000	18.7698	22.4702
	C	6.9633*	.80234	.000	5.1131	8.8135

*. The mean difference is significant at the .05 level.

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของคอนกรีตมอร์ตาร์ อายุบ่ม 28 วัน**Oneway****Descriptives**

COMPRESS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
A	3	28.7300	1.71869	.99229	24.4605	32.9995	26.90	30.31
B	3	39.8333	1.42606	.82333	36.2908	43.3759	38.44	41.29
C	3	50.0167	3.22740	1.86334	41.9994	58.0340	46.29	51.89
D	3	56.2600	3.93844	2.27386	46.4764	66.0436	51.79	59.22
Total	12	43.7100	11.16792	3.22390	36.6142	50.8058	26.90	59.22

Test of Homogeneity of Variances

COMPRESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.417	3	8	.142

ANOVA

COMPRESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1310.116	3	436.705	56.504	.000
Within Groups	61.830	8	7.729		
Total	1371.946	11			

Post H Oneway**Descriptives**

COMPRESS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
A	3	28.7300	1.71869	.99229	24.4605	32.9995	26.90	30.31
B	3	39.8333	1.42606	.82333	36.2908	43.3759	38.44	41.29
C	3	50.0167	3.22740	1.86334	41.9994	58.0340	46.29	51.89
D	3	56.2600	3.93844	2.27386	46.4764	66.0436	51.79	59.22
Total	12	43.7100	11.16792	3.22390	36.6142	50.8058	26.90	59.22

Test of Homogeneity of Variances

COMPRESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.417	3	8	.142

ANOVA

COMPRESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1310.116	3	436.705	56.504	.000
Within Groups	61.830	8	7.729		
Total	1371.946	11			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: COMPRESS

LSD

(I) FORMULAR	(J) FORMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-11.1033*	2.26991	.001	-16.3378	-5.8689
	C	-21.2867*	2.26991	.000	-26.5211	-16.0522
	D	-27.5300*	2.26991	.000	-32.7644	-22.2956
B	A	11.1033*	2.26991	.001	5.8689	16.3378
	C	-10.1833*	2.26991	.002	-15.4178	-4.9489
	D	-16.4267*	2.26991	.000	-21.6611	-11.1922
C	A	21.2867*	2.26991	.000	16.0522	26.5211
	B	10.1833*	2.26991	.002	4.9489	15.4178
	D	-6.2433*	2.26991	.025	-11.4778	-1.0089
D	A	27.5300*	2.26991	.000	22.2956	32.7644
	B	16.4267*	2.26991	.000	11.1922	21.6611
	C	6.2433*	2.26991	.025	1.0089	11.4778

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Explore

FORMULAR

Case Processing Summary

FORMULAR		Cases					
		Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
COMPRESS	A	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
	B	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
	C	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%
	D	3	100.0%	0	.0%	3	100.0%

Descriptives

FORMULAR			Statistic	Std. Error
COMPRESS	A	Mean	28.7300	.99229
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 24.4605	
			Upper Bound 32.9995	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	28.9800	
		Variance	2.954	
		Std. Deviation	1.71869	
		Minimum	26.90	
		Maximum	30.31	
		Range	3.41	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	-.641	1.225
		Kurtosis	.	.
			B	Mean
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 36.2908			
	Upper Bound 43.3759			
5% Trimmed Mean	.			
Median	39.7700			
Variance	2.034			
Std. Deviation	1.42606			
Minimum	38.44			
Maximum	41.29			
Range	2.85			
Interquartile Range	.			
Skewness	.199			1.225
Kurtosis	.			.
	C			Mean
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 41.9994	
			Upper Bound 58.0340	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	51.8700	
		Variance	10.416	
		Std. Deviation	3.22740	
		Minimum	46.29	
		Maximum	51.89	
		Range	5.60	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	-1.732	1.225
		Kurtosis	.	.
			D	Mean
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 46.4764			
	Upper Bound 66.0436			
5% Trimmed Mean	.			
Median	57.7700			
Variance	15.511			
Std. Deviation	3.93844			
Minimum	51.79			
Maximum	59.22			
Range	7.43			
Interquartile Range	.			
Skewness	-1.472			1.225
Kurtosis	.			.

Extreme Values^a

FORMULAR			Case Number	Value	
COMPRESS	A	Highest	1	3	30.31
		Lowest	1	1	26.90
	B	Highest	1	6	41.29
		Lowest	1	4	38.44
	C	Highest	1	8	51.89
		Lowest	1	9	46.29
	D	Highest	1	12	59.22
		Lowest	1	10	51.79

a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.

Tests of Normality

FORMULAR		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COMPRESS	A	.224	3	.	.984	3	.759
	B	.184	3	.	.999	3	.927
	C	.384	3	.	.753	3	.006
	D	.316	3	.	.890	3	.354

a. Lilliefors Significance Correction

3. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติของกอนกรีตมอร์ตาร์ระหว่าง อายุบ่ม 7 วัน กับ 28 วัน

T-Test**Paired Samples Statistics**

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	DAY7	33.5450	12	4.06466	1.17337
	DAY28	38.2533	12	5.07886	1.46614

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	DAY7 & DAY28	12	.894	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 DAY7 - DAY28	-4.7083	2.32708	.67177	-6.1869	-3.2298	- 8.538	11	.000

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 7 วัน

Oneway

Descriptives

COMPRESS									
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
A	5	14.5680	3.92687	1.75615	9.6921	19.4439	8.88	18.52	
B	5	24.2740	3.50578	1.56783	19.9210	28.6270	20.14	28.66	
C	5	27.0240	1.76997	.79155	24.8263	29.2217	25.81	30.12	
D	5	36.1320	2.64763	1.18406	32.8445	39.4195	32.46	39.39	
Total	20	25.4995	8.37692	1.87314	21.5790	29.4200	8.88	39.39	

Test of Homogeneity of Variances

COMPRESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.998	3	16	.155

ANOVA

COMPRESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1181.868	3	393.956	41.630	.000
Within Groups	151.414	16	9.463		
Total	1333.283	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: COMPRESS

LSD

(I) FORMULAR	(J) FORMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-9.7060*	1.94560	.000	-13.8305	-5.5815
	C	-12.4560*	1.94560	.000	-16.5805	-8.3315
	D	-21.5640*	1.94560	.000	-25.6885	-17.4395
B	A	9.7060*	1.94560	.000	5.5815	13.8305
	C	-2.7500	1.94560	.177	-6.8745	1.3745
	D	-11.8580*	1.94560	.000	-15.9825	-7.7335
C	A	12.4560*	1.94560	.000	8.3315	16.5805
	B	2.7500	1.94560	.177	-1.3745	6.8745
	D	-9.1080*	1.94560	.000	-13.2325	-4.9835
D	A	21.5640*	1.94560	.000	17.4395	25.6885
	B	11.8580*	1.94560	.000	7.7335	15.9825
	C	9.1080*	1.94560	.000	4.9835	13.2325

*. The mean difference is significant at the .05 level.

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของคอนกรีตบล็อก อายุบ่ม 28 วัน

Oneway

Descriptives

COMPRESS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
A	5	18.8940	3.93423	1.75944	14.0090	23.7790	13.62	22.52
B	5	25.6920	3.87439	1.73268	20.8813	30.5027	21.04	29.92
C	5	34.8440	.46715	.20892	34.2640	35.4240	34.36	35.38
D	5	42.0940	1.50903	.67486	40.2203	43.9677	39.86	43.96
Total	20	30.3810	9.42335	2.10713	25.9707	34.7913	13.62	43.96

Test of Homogeneity of Variances

COMPRESS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9.497	3	16	.001

ANOVA

COMPRESS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1555.253	3	518.418	62.868	.000
Within Groups	131.938	16	8.246		
Total	1687.191	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: COMPRESS

LSD

(I) FORMULAR	(J) FORMULAR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-6.7980*	1.81616	.002	-10.6481	-2.9479
	C	-15.9500*	1.81616	.000	-19.8001	-12.0999
	D	-23.2000*	1.81616	.000	-27.0501	-19.3499
B	A	6.7980*	1.81616	.002	2.9479	10.6481
	C	-9.1520*	1.81616	.000	-13.0021	-5.3019
	D	-16.4020*	1.81616	.000	-20.2521	-12.5519
C	A	15.9500*	1.81616	.000	12.0999	19.8001
	B	9.1520*	1.81616	.000	5.3019	13.0021
	D	-7.2500*	1.81616	.001	-11.1001	-3.3999
D	A	23.2000*	1.81616	.000	19.3499	27.0501
	B	16.4020*	1.81616	.000	12.5519	20.2521
	C	7.2500*	1.81616	.001	3.3999	11.1001

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Explore

FORMULAR

Case Processing Summary

FORMULAR	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
COMPRESS A	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%
B	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%
C	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%
D	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%

Descriptives

FORMULAR				Statistic	Std. Error		
COMPRESS	A	Mean		18.8940	1.75944		
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	14.0090			
			Upper Bound	23.7790			
		5% Trimmed Mean		18.9856			
		Median		21.1600			
		Variance		15.478			
		Std. Deviation		3.93423			
		Minimum		13.62			
		Maximum		22.52			
		Range		8.90			
		Interquartile Range		7.2450			
		Skewness		-.697	.913		
		Kurtosis		-2.240	2.000		
		B	B	Mean		25.6920	1.73268
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.8813	
	Upper Bound			30.5027			
5% Trimmed Mean				25.7156			
Median				26.3700			
Variance				15.011			
Std. Deviation				3.87439			
Minimum				21.04			
Maximum				29.92			
Range				8.88			
Interquartile Range				7.6050			
Skewness				-.232	.913		
Kurtosis				-2.504	2.000		
C	C			Mean		34.8440	.20892
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	34.2640	
			Upper Bound	35.4240			
		5% Trimmed Mean		34.8411			
		Median		34.5900			
		Variance		.218			
		Std. Deviation		.46715			
		Minimum		34.36			
		Maximum		35.38			
		Range		1.02			
		Interquartile Range		.8750			
		Skewness		.437	.913		
		Kurtosis		-2.919	2.000		
		D	D	Mean		42.0940	.67486
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	40.2203	
	Upper Bound			43.9677			
5% Trimmed Mean				42.1144			
Median				42.5000			
Variance				2.277			
Std. Deviation				1.50903			
Minimum				39.86			
Maximum				43.96			
Range				4.10			
Interquartile Range				2.5350			
Skewness				-.559	.913		
Kurtosis				.960	2.000		

Extreme Values^a

FORMULAR			Case Number	Value	
COMPRESS	A	Highest	1	2	22.52
			2	4	21.38
		Lowest	1	1	13.62
			2	3	15.79
	B	Highest	1	16	29.92
			2	17	28.73
		Lowest	1	18	21.04
			2	20	22.40
C	Highest	1	6	35.38	
		2	9	35.31	
	Lowest	1	8	34.36	
		2	10	34.58	
D	Highest	1	14	43.96	
		2	11	42.56	
	Lowest	1	13	39.86	
		2	12	41.59	

a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.

6. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติของคอนกรีตบดลือระหว่าง อายุบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

T-Test**Paired Samples Statistics**

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 DAY7	25.4995	20	8.37692	1.87314
DAY28	30.3810	20	9.42335	2.10713

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 DAY7 & DAY28	20	.915	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 DAY7 - DAY28	-4.8815	3.80092	.84991	-6.6604	-3.1026	-5.744	19	.000

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นายอนนท์ ป้อมประสิทธิ์
วัน เดือน ปี	12 พฤศจิกายน 2504
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต วท.บ(เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน
สถานที่ทำงาน	โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ