

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ของเสียอันตราย (Hazardous Waste)

ตามคำจำกัดความของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ หมายถึง ของเสีย หรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้นหรือคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี หรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย หรือเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม หากไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่งและกำจัด แต่โดยทั่วไปของเสียอันตรายต้องประกอบด้วยสารที่มีลักษณะ คือ เป็นสารไวไฟ เกิดปฏิกิริยาอย่างง่าย มีฤทธิ์กัดกร่อน มีความเป็นพิษ ติดเชื้อได้ง่าย เป็นต้น

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ภาคผนวกที่ 1 แบ่งของเสียอันตรายออกเป็น 4 หมวดใหญ่ๆ ได้แก่

1. หมวด1 คือ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารไวไฟ(Ignitable substances) สารกัดกร่อน (Corrosive substances) สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย(Reactive substances) สารพิษ (Toxic substances) และสารที่ถูกรชะล้างได้ (Leachable substances)

2. หมวด2 คือ ของเสียที่ไม่จำเพาะชนิดจากแหล่งกำเนิดได้แก่ ตัวทำละลาย หรือ เคมีภัณฑ์ต่างๆที่กำหนดรายชื่อไว้แน่นอนไม่ว่าจะนำไปใช้ในกิจการใดๆ ของเสียนั้นย่อมเป็นของเสียอันตราย และ ของเสียที่จำเพาะชนิดจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ ของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมที่ระบุไว้ ซึ่งของเสียที่ออกมาจัดว่าเป็นของเสียอันตรายเช่นกัน

3. หมวด3 คือ ของเสียที่เป็นเคมีภัณฑ์ที่ไม่ใช่แล้วหรือเสื่อมคุณภาพ(Discarded) หรือไม่ได้คุณภาพตามกำหนด (Off-specification) ซึ่งตามประกาศ มีเคมีภัณฑ์ 651 ประเภทเข้าข่ายดังกล่าว

4. หมวด4 คือ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติเป็นของเสียเคมีวัตถุ (Chemical wastes) เป็นของเสียจากกิจการต่างๆที่กำหนดไว้ตามรายชื่อในประกาศ

เศษหนังเจียนจัดเป็นของเสียอันตราย

เศษหนังเจียนที่ได้จากโรงฟอกหนัง จัดได้ว่าเป็นของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เนื่องจากมีโครเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนักในปริมาณที่สูง เมื่อทำ

การสกัด ปริมาณโครเมียมที่สกัดออกมา จะเกินมาตรฐาน ซึ่งต้องทำการบำบัดด้วยวิธีที่เหมาะสม ก่อนนำไปทิ้งหรือฝังกลบต่อไป

2.2 โลหะหนักและโครเมียม

2.2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปรกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียว นำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า และสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษและสามารถถ่ายเทเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้

2.2.2 โครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะทรานซิชันชนิดหนึ่ง มีน้ำหนักโมเลกุล 51.9961 เลขอะตอม 24 จุดหลอมเหลว 1,857 °C จุดเดือด 2,640 °C ความหนาแน่น 7.19 g/cm³ สัญลักษณ์ Cr สารประกอบโครเมียมมีเลขออกซิเดชันหลายค่า ตั้งแต่ 0 (อยู่ในรูปโลหะ) จนถึง +6 ที่สำคัญได้แก่ Cr+3 ซึ่งเสถียรที่สุด และ Cr+6 ในโครเมต(CrO₄²⁻) และในไดโครเมต(Cr₂O₇²⁻) สารประกอบของโครเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกไซด์ โครเมียมที่มีอยู่ในแหล่งธรรมชาติ เป็น Cr+3 อยู่ในรูปของแร่โครไมต์ (Chromite; FeO.Cr₂O₃) ซึ่งมีการนำสารประกอบของโครเมียมไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ อย่างกว้างขวาง ได้แก่ อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น

โครเมียม +6 มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง และจะถูกรีดิวซ์ได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมทั้งในดิน น้ำใต้ดิน ให้เป็นโครเมียม +3 โดยมีสารพวกเหล็กเฟอรัส (ferrous iron) ซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ (dissolved sulfide) และพวกสารอินทรีย์ เป็นตัวรีดิวซ์ คุณสมบัติของโครเมียมจะขึ้นอยู่กับระดับ pH โดยสารประกอบของ โครเมียม +6 จะละลายและแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ดี และไม่มีหลักฐานยืนยันว่าโครเมียม +3 จะไม่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปอื่นที่ไม่เป็นพิษ

2.2.3 สารประกอบโครเมียมและคุณสมบัติ

- Chromium (II) oxide (CrO) เป็นผงสีดำ เตรียมได้จากการออกซิไดส์โครเมียมอะมัลกัมด้วยกรดไนตริกเจือจาง ที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 °C โครเมียม (II) ออกไซด์ถูกรีดิวส์ด้วยไฮโดรเจนได้

- Chromium (IV) oxide (CrO₂) เป็นของแข็งสีดำ เตรียมได้จากการเผาโครเมียม (III) ออกไซด์ ในบรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 300-350 °C เป็นสารที่ไม่เสถียร

- Chromium (VI) oxide (CrO₃) ของแข็งเป็นผลึกสีแดง มีจุดหลอมเหลวที่ 196 °C ผลึกเป็นรูปเข็ม เป็นสารขึ้นเหลว ละลายน้ำได้ดีได้สารละลายของกรดโครมิก (H₂CrO₄) ใช้เป็นตัวออกซิไดส์ และถ้านำไปเผาจะให้โครเมียม (III) ออกไซด์

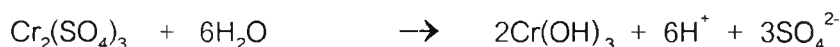
- Chromium (III) oxide (Cr₂O₃) เป็นผงสีเขียว ละลายน้ำได้เล็กน้อย จุดหลอมเหลว 2,435 °C จุดเดือด 4,000 °C โครเมียม (III) ออกไซด์ เตรียมได้จากการเผา โครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์อย่างช้าๆ ไม่ละลายในน้ำ, กรดและด่าง โครเมียม (III) ออกไซด์ใช้ผสมทำสี และใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้ว

- Chromium (III) sulfate (Cr₂(SO₄)₃ หรือ Cr₂(SO₄)₃·15H₂O หรือ Cr₂(SO₄)₃·18H₂O) เกิดจากปฏิกิริยาจากกรดซัลฟิวริกและโครเมียมไฮดรอกไซด์ มีลักษณะเป็นแกร็ดสีม่วงแดง ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง, อัลลอยด์ และชุบโลหะ

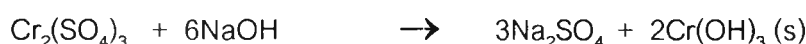
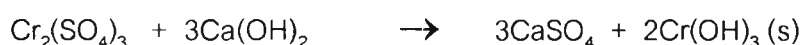
- Chromic (III) hydroxide (Cr(OH)₃) เมื่อเผาจะได้ Cr₂O₃ ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในกรดและด่าง ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง และย้อมผ้า

2.2.4 โครเมียมในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

โครเมียมที่ใช้ฟอกหนังอยู่ในรูปโครเมียม +3 ซัลเฟต (Cr₂(SO₄)₃) มีลักษณะเป็นผงสีเขียว และสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำให้ความเป็นกรด



การเพิ่มไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) เช่น ปูนขาว โซดาไฟ จะทำให้เกิดการตกตะกอนของโครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก



2.2.5 พิษของโครเมียม

โครเมียม +6 มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียม +3 และในรูปอื่นๆ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีปริมาณโครเมียม +6 ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าได้รับโครเมียมในปริมาณที่มากจะมีผลกระทบต่อตับ ไต และระบบเลือด ผลกระทบที่เกิดขึ้นแบบเฉียบพลัน ทำให้เกิดการอาเจียน อูจจาระร่วง ตกเลือดและมีเลือดไหลเข้าสู่ระบบลำไส้ ทำให้เกิดการช็อกได้ บุคคลอาจรับโครเมียมได้ 2 ทาง คือจากการสัมผัสกับโครเมียมโดยตรง และการหายใจเอาไอของโครเมียมเข้าไป โครเมียมยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ เนื่องจากโครเมียมทำปฏิกิริยากับอาร์เอ็นเอ (RNA) ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

2.3 การฟอกหนังและของเสียจากกระบวนการฟอก

หนังสัตว์เป็นผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ ส่วนใหญ่เป็นหนังของโค กระบือ ซึ่งได้ฆ่าและหนังแยกออกจากส่วนที่เป็นเนื้อ และนำไปหมักเกลือเพื่อรักษาสภาพหนังไม่ให้เน่าเปื่อยก่อนส่งไปโรงงานฟอกหนัง ประเภทการฟอกหนังที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือการฟอกฝาดและการฟอกโครม (Chrome tannage) การฟอกโครมจัดเป็นการฟอกด้วยแร่ประเภทหนึ่ง จะอาศัยสารประกอบโครเมียมทำปฏิกิริยากับหนัง เพื่อเปลี่ยนสภาพหนังไม่ให้เน่าเปื่อย ในประเทศไทยโรงงานฟอกหนังร้อยละ 80 ใช้วิธีการฟอกโครม

เศษหนังเจียน (Chrome shavings) จัดเป็นของเสียที่เป็นอันตราย เนื่องจากมีโครเมียม +3 อยู่สูงถึง 1-8 % ของน้ำหนักแห้ง มีเพียงส่วนน้อยของเศษหนังเจียนเท่านั้นที่ถูกใช้ในการทำหนังเทียม หลายประเทศในเอเชีย เศษหนังเจียนส่วนใหญ่จะถูกทิ้งกองบนดินพร้อมขยะอื่นๆ หรือนำไปเผาโดยมิได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยหลักการแล้ว ของเสียเหล่านี้ไม่ควรนำไปฝังหรือใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายของโลหะหนักที่มีพิษลงสู่พื้นดินและเข้าไปสู่ระบบห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเศษหนังเหล่านี้มีโครเมียมเป็นส่วนประกอบ โดยปกติเศษหนังเจียนจะเกิดประมาณ 115 กิโลกรัมต่อ 1 ตันของหนังดิบ

2.4 การบำบัดและการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

การบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย หมายถึง การจัดการกับของเสียที่เป็นอันตราย เพื่อลดความเป็นพิษและทำให้มีสมบัติทางด้านกายภาพ และทางเคมีที่เหมาะสม ก่อนนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายด้วยวิธีฝังกลบ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ระบุว่า การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ให้ผู้ประกอบการโรงงาน ดำเนินการโดยวิธีการบำบัด (Treatment) หรือการกำจัด (Disposal) วิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือ หลายวิธีต่อเนื่องกัน (Chain treatment) ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ ใช้แล้วนั้นๆ

โดยกำหนดวิธีการบำบัดไว้หลายวิธี คือ

1. การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ (Physical treatment)
2. การบำบัดโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (Physical/chemical treatment)
3. การบำบัดโดยวิธีเคมี (Chemical treatment)
4. การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ (Biological treatment)
5. การบำบัดหรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน (Thermal processes for treatment and/or disposal) กระบวนการใช้ความร้อนเป็นวิธีการทำลายกากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์อย่างได้ผล ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการพัฒนาและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป
6. การบำบัดโดยกระบวนการปรับเสถียร กระบวนการตรึงสาร กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง
7. การบำบัดแบบ Land treatment and/or disposal
8. วิธีอื่นๆที่ไม่ใช่ข้อ 1.-7. แต่เป็นวิธีที่ได้ผลเหมือนกับที่กำหนดหรือดีกว่า หรือเป็นการลดของเสียหรือการนำของเสียนั้นๆมาใช้ใหม่ก็ได้ ทั้งนี้วิธีดังกล่าวจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

2.5 การบำบัดหรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน (Thermal processes for treatment and/or disposal)

การบำบัดของเสียด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง คือ การใช้ความร้อนเผาของเสียที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ของเสียถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซีเมนต์ หรือเกลือที่คงรูป ซึ่งของเสียบางประเภทอาจให้พลังงานความร้อนเพียงพอที่จะลุกไหม้ได้ แต่บางตัวต้องอาศัยเชื้อเพลิงเข้าช่วย แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณซีเมนต์หรือกากตะกอนที่เกิดขึ้น ก็ยังต้องนำไปศึกษาเพื่อหาวิธีการกำจัดอย่างถูกต้อง และเหมาะสม เช่นไปทำให้คงรูปไม่ละลายน้ำก่อนฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐาน

การเผาทำลายฤทธิ์ของของเสียอันตรายบางชนิดที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โลหะหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะทางเคมีในลักษณะต่างๆกันขึ้นอยู่กับชนิด สมบัติทางกาย สมบัติทางเคมีของโลหะ คุณสมบัติที่ใช้เผา รวมถึงสถานะการรวมตัวของโลหะหนักเป็นสารประกอบโลหะหนักที่ซับซ้อนในแต่ละชนิดของของเสีย การเผาของเสียที่อุณหภูมิต่างๆกัน โลหะหนักจะมีอัตราการระเหยกกลายเป็นไอแตกต่างกันด้วย โดยหลังการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอระเหยออกไปแล้วเมื่อไอก๊าซเย็นตัวลงจะกลั่นตัวกลับคืนสู่สถานะเดิมและผลึกของโลหะหนัก จะเกาะอยู่บนอนุภาคของเถ้าลอย และกระจายอยู่ตามสิ่งแวดล้อมรอบๆ บริเวณนั้น ในซีเมนต์เตายังมีโลหะหนักบางส่วนเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิในการเผาสูงมากขึ้นเท่าใดก็ จะทำให้โลหะหนักระเหยกกลายเป็นไอได้มากเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ซีเมนต์เตามีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่น้อยตามไปด้วย (Tillman, 1989)

Tillman (1989) ศึกษาถึงสถานะของโลหะหนักอาร์เซนิก แบริียม แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอทและนิกเกิล เมื่อนำมาเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1,500°F (815°C) พบว่า สถานะของโลหะหนักบางตัวเมื่อถูกเผาที่ความร้อนสูงจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอระเหยและรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนใหม่กระจายอยู่ในซีเมนต์เตา เถ้าลอยและไอก๊าซที่ระเหยออกจากปล่องระบายอากาศ คือ As_2O_3 , BaO , $BaCl_2$, BeO , CdO_3 , $NiCr_2O_4$, Cr_2O_3 , CuS , CuO , PbO , NiS , NiO และ HgO

เตาเผาของเสียอันตรายที่ใช้กันในปัจจุบัน แยกเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

1. Liquid Injection Incinerator มีอุณหภูมิการเผา 1,500-3,000 °F
2. Rotary Kiln Incinerator มีอุณหภูมิการเผา 1,500-2,800 °F
3. Fluidized Bed Incinerator มีอุณหภูมิการเผา 1,400-1,600 °F
4. Bubbling Fluidized Bed Incinerator มีอุณหภูมิการเผา 1,400-1,600 °F
5. Circulating Fluidized Bed Incinerator มีอุณหภูมิการเผา 1,400-1,600 °F

การทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง นิยมใช้กับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ของเสียจำพวกไฮโดรคาร์บอน น้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันยาง ยาฆ่าแมลง สีส้มเคราะห์ หรือ ตัวทำละลาย เนื่องจากการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ จะไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของเสียดังกล่าวได้

ข้อดีของการเผาที่อุณหภูมิสูง คือ เป็นการทำลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของสารประกอบอินทรีย์ ลดปัญหาเรื่องกลิ่นระยะยาว สามารถนำพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผามาใช้ประโยชน์อื่นได้ สามารถลดปริมาณของของเสียที่จะต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย และสามารถใช้กับของเสียได้หลายประเภท ส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างเตาเผาสูงและต้องควบคุมก๊าซที่ระบายออกมาให้ดี

2.6 การทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification of Hazardous Wastes)

การทำเสถียร (Stabilization) หมายถึงกระบวนการในการลดความเป็นพิษของกากของเสียโดยการเปลี่ยนรูปทางเคมีของของเสีย ให้มีรูปแบบที่เสถียรยิ่งขึ้น ซึ่งอาจรวมถึงการทำให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำซึ่งธาตุหรือสารประกอบที่เป็นพิษจะถูกกักด้วยโพลีเมอร์หรือโครงสร้างหลักของสารที่ทำให้เกิดความคงตัว

การทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) เป็นกระบวนการซึ่งนำวัสดุประสานมาเติมลงในของเสีย ซึ่งของเสียนั้นอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือตะกอน ซึ่งวัสดุประสานและกากของเสียจะทำปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งกันและกัน แล้วทำให้กากของเสียนั้นเป็นก้อนแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายขนส่งได้สะดวก ในระหว่างการทำให้เป็นก้อนมักเกิดการทำให้เสถียรพร้อมกัน และนอกจากมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นแล้ว สารพิษในกากของเสียจะถูกทำให้คงสภาพ และถูกยึดติดอยู่ภายในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนตะกอนที่แข็งตัว อันเป็นกลไกสำคัญในการจับยึดความเป็นพิษไม่ให้แพร่กระจาย (Sollars และ Perry, 1989)

วัตถุประสงค์ของการทำกากตะกอนเป็นก้อนแข็ง คือ เพื่อกักความเป็นพิษของกากของเสีย และป้องกันไม่ให้ความเป็นพิษแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันมีการตั้งข้อกำหนดของการทำให้กากตะกอนแข็งตัวไว้ 4 ข้อคือ

1. ทำให้กากตะกอนเป็นก้อนแข็ง
2. ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของของเสียและสามารถขนส่งได้สะดวก
3. ลดพื้นที่ฝัง ซึ่งจะเป็นการลดการแพร่กระจายของสารพิษ
4. ลดอัตราการชะละลายของสารพิษ เมื่อสัมผัสกับสารชะละลาย

Rijal (1990) ได้สรุปความต้องการสำหรับการทำเสถียรกากของเสียอันตราย ด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งได้ดังนี้

1. สารพิษทั้งหมดในกากของเสียควรจะต้องถูกทำให้เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีและไม่มีสารเคลื่อนที่

2. กากของเสียที่แข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ชื้นน้ำและมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำน้อยที่สุด

3. ก้อนตะกอนแข็งที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ขนาดของก้อนคงที่

- ทนทานต่อสภาพแห้ง/เปียก หนาว/ร้อนได้เป็นอย่างดี

- รับแรงอัดได้ดี

- มีอัตราการความชื้นน้ำต่ำ

- ในการทำให้แข็งตัวนี้จะต้องไม่ทำให้ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นมาก

- วิธีการทำให้แข็งตัวจะต้องประหยัด หรือควรมีการนำของเสียชนิดอื่นมาใช้ ร่วมด้วย เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ หรือบอกรีไซต์

- ควรพิจารณาการนำเอาก้อนตะกอนที่ทำให้แข็งตัวแล้วมาใช้ประโยชน์

- สถานที่ใช้ฝังกลบตะกอนที่แข็งตัวแล้ว จะต้องมีการควบคุมและดูแลอย่างต่อเนื่อง

Sollars และ Perry (1989) แบ่งการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ดังนี้

1. การจับยึดสารอนินทรีย์ (Inorganic fixation) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว วัสดุปอซโซลาน ดินเหนียวและซิลิเกต มักใช้กับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์

2. การเก็บกักด้วยวัสดุสารอินทรีย์ (Organic encapsulation) เช่น บิโอยูเมน พาราฟินและโพลีเอธิลีน มักใช้กับของเสียกัมมันตรังสี

ตาราง 2.1 กระบวนการทำให้กากของเสียอันตรายแข็งตัววิธีต่างๆ (Shuckrow, Pajak และ Tauhil,1982)

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification Process)	รายละเอียด
1. Cement-based	ของเสียจะถูกผสมลงไปในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอย่างอื่นและปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์

2. Pozzolanic (Lime-based)	ของเสี้ยวจะถูกผสมกับปูนขาวและวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่กั้นเตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แข็งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสี้ยวมาทำให้แห้ง และให้ความร้อนจากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen Paraffin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสี้ยวในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารโพลีเมอร์ (Gelling Agents หรือ Urea Formaldehyde) จากนั้นจะเติมสารเร่งปฏิกิริยาผสมให้เข้ากันก่อนที่สารโพลีเมอร์จะแข็งตัว กากของเสี้ยวจะถูกกักไว้ภายในมวลอย่างหลวมๆ (คล้ายฟองน้ำ)
5. Surface Encapsulation	ของเสี้ยวจะถูกอัดให้เกาะตัวจนแน่น จากนั้นจะใช้วัสดุเคลือบหุ้มหรือเคลือบผิวนอกของก้อนของเสี้ยว เช่น Polyethylene หรือ Organic Resins
6. Self-cementing	สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟต์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสี้ยวจากอุตสาหกรรม สามารถนำมาผสมกับกากของเสี้ยวอันตราย ทำให้เป็นก้อนแข็งได้ ความสะดวกในการขนส่ง และมีอัตราการซีเมนต์ต่ำ
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทราย แล้วนำไปหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้วหรือแร่ซิลิเกตสังเคราะห์ (Synthetic Silicate Mineral) เพื่อป้องกันการชะละลาย และสามารถนำได้ทิ้งได้โดยไม่ต้องมีกระบวนการห่อหุ้มหรือบรรจุอีก

ตาราง 2.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธี (Shuckrow และคณะ, 1982)

ประเภทของกระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. Cement and Silicate Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้ราคาถูก - มีความยืดหยุ่นต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี - กำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดีมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดทำลายการก่อตัวของคอนกรีต - ส่วนผสมของซีเมนต์ และกากของเสียที่ไม่ได้ห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะละลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีพีเอชต่ำ - เพิ่มน้ำหนักและปริมาณของเสียทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและฝังกลบเพิ่มขึ้น
2. Lime Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้ราคาถูก - เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาแล้ว - การใช้เก่าลอยมาเป็นส่วนผสมเป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิด โดยกระบวนการเดียวกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement based
3. Thermoplastic Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้ - สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพง และใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญ - ของเสียชนิดเปียกลดประสิทธิภาพของกระบวนการ - ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong oxidation dehydrated salts
4. Organic Polymer Process	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิดโครงสร้างของโพลีเมอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียที่ถูกยึดไว้ในโพลีเมอร์อย่างหลวมๆ - สารที่มีพีเอชต่ำจะทำให้

	<p>ความหนาแน่นต่ำ ลดค่าใช้จ่ายในการขน</p>	<p>โลหะละลายออกมามาก</p> <ul style="list-style-type: none"> - การย่อยสลายทางชีวภาพของสารโพลีเมอร์บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ
5. Encapsulation	<ul style="list-style-type: none"> - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี - ไม่มีการชะละลายของของเสียออกมาเมื่อสารที่หุ้มห่ออยู่ไม่ถูกทำลาย - ค่าใช้จ่ายในรอบการใช้งานต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - การชะล้างของของเสียจะเกิดขึ้นหากสารที่หุ้มห่อทำลาย - ไม่ผสมในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียจำนวนมาก
6. Self Cementing Techniques	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้วัสดุเพิ่มเติมประสิทธิภาพ (additive) น้อย - ส่วนผสมของซีเมนต์ก่อตัวเร็วมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการก่อตัวของคอนกรีต - ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะล้างได้ภายใต้ภาวะที่มีพีเอชต่ำ
7. Glassification	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะถูกชะละลายได้น้อยมาก - การบรรจุอยู่ในเกณฑ์ดี - ใช้วัสดุที่มีราคาถูก 	<ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิอาจทำให้องค์ประกอบของเสียระเหยออกมาก่อนที่จะถูกตรึงไว้ - ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการให้ความร้อน อุปกรณ์มีราคาแพงและต้องการผู้ชำนาญงานเฉพาะ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการกำจัดของเสียทุกชนิด ยกเว้นสารกัมมันตรังสีและสารที่มีพิษมากๆ

2.7 การทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ส่วนใหญ่จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้อาจมีการใช้วัสดุประสานเพิ่มประสิทธิภาพบางประเภท เช่น แก้วลอยลิกไนต์ ซิลิเกต ซัลไฟด์ เป็นต้น เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำให้แข็งตัวและยึดจับความเป็นพิษโดยของเสียที่เป็นของเหลว หรือของเหลวในสลัดจ์จะเป็นส่วนหนึ่งของน้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดเจลแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งเมื่อเจลโตขึ้น และเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งตัว เป็นผลึกแหลมๆ อย่างหนาแน่น ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นต่างสูงของซีเมนต์เพสต์ มีผลทำให้โลหะหนักในของเสียเปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะซิลิเกตที่ไม่ละลาย และถูกจับติดอยู่ภายในโพรงของเนื้อซีเมนต์ ซึ่งโลหะบางชนิดอาจถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างผลึกของซีเมนต์ (Bishop, 1988)

2.7.1 สารเจือปนที่เป็นอุปสรรคต่อการทำเป็นก้อนด้วยซีเมนต์

มีการศึกษา พบว่า วัสดุบางชนิดที่ปะปนมาในของเสียและอาจมีผลต่อกระบวนการแข็งตัวเป็นก้อนของซีเมนต์ได้ คือ

- เกลือของแมงกานีส ดีบุก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี จะทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวนานขึ้น และกำลังรับแรงอัดเปลี่ยนแปลงไป
- เกลือของโซเดียม เช่น ซัลไฟด์ ฟอสเฟต จะหน่วงการแข็งตัวของซีเมนต์
- ดินเหนียว ตะกอนดิน ถ่านหิน ลิกไนต์ หรือสารอินทรีย์บางชนิดจะทำให้ระยะเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์นานขึ้น
- วัสดุบางประเภท เช่น แร่ใยหิน พลาสติก หรือลาเท็กซ์ (Latex) อาจจะช่วยทำให้ส่วนผสมของซีเมนต์ กักกักของเสียมีความอยู่ตัวดีขึ้น (Thomson, Malone และ Jone, 1979 อ้างถึงใน อธิวัตร จิรจรรยาเวช, 2542)

นอกจากนี้ มีการศึกษาพบว่า ปูนซีเมนต์ และปูนขาว สามารถใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายได้เกือบทุกประเภท และใช้ได้ดีกับกากของเสียที่มีส่วนผสมโลหะประจุบวก และมีความเป็นกรด แต่สำหรับกากของเสียที่มีโลหะประจุลบ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โครเมต และอาร์เซนิต จำเป็นต้องทำการบำบัดขั้นต้นก่อนการทำเป็นก้อนแข็ง (Barnes และคณะ, 1979 อ้างถึงใน อรรถพล เพ็ชรพลา, 2540)

Sollars และ Pery (1989) กล่าวถึงของเสียบางประเภทที่ไม่เหมาะสม สำหรับการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ คือ

ประเภทของเสีย	เหตุผลที่ไม่สมควรใช้
1. ของเสียอินทรีย์	
- มีส่วนประกอบเกลือที่ละลายได้อยู่มาก	- มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
- มีส่วนประกอบสารพิษประจุลบอยู่มาก เช่น โบเรต	- สามารถชะละลายได้ง่ายกว่าพวกประจุบวก
- มีส่วนประกอบของสารหน่วงการก่อตัวของซีเมนต์ เช่น ซัลเฟต ในปริมาณมาก	- มีผลต่อการกำบังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้
- ผลตกตะกอนที่เป็นพิษ	- เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต
- ผลตกตะกอนที่เป็นพิษเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือต่าง เช่น โลหะคาร์ไบด์	- เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต
2. ของเสียอนินทรีย์	
- มีวัสดุที่ติดไฟ หรือเกิดระเบิดได้	- เป็นอันตราย
- มีสารประกอบพวกยาฆ่าแมลง	- เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต
- มีสารประกอบที่หน่วงการก่อตัว เช่น น้ำตาล	- สามารถชะละลายออกมาได้ง่าย และมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัด

2.7.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

ข้อดีของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ คือ

- สารที่เติมในส่วนผสมหาได้ง่ายในราคาที่เหมาะสม
- อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหาได้โดยทั่วไป
- เทคนิคการผสมซีเมนต์ได้มีการพัฒนาอย่างดี
- ใช้กับของเสียที่มีสมบัติแปรเปลี่ยนได้เป็นอย่างดี

ข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ คือ

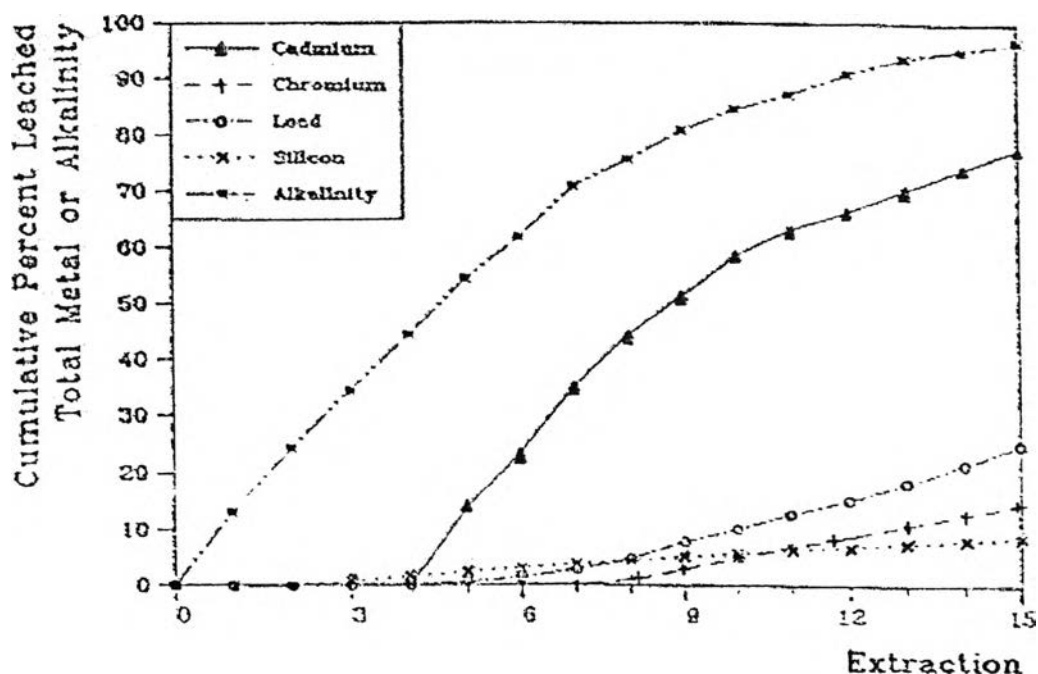
- ผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำอาจถูกชะละลายได้โดยสารละลายที่เป็นกรด
- การบำบัดอาจจำเป็นต้องทำในกรณีที่ของเสียมีสารเจือปนที่มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
- ปูนซีเมนต์และสารที่เติมในส่วนผสมทำให้เกิดการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของของเสีย

2.7.3 กลไกการยึดจับโลหะหนัก (Heavy Metal Binding Mechanism)

Bishop (1988) ศึกษาการยึดจับโลหะหนักจากกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้โลหะหนักสังเคราะห์ที่เป็นโลหะหนักไฮดรอกไซด์ ของแคลเซียม โครเมียม และตะกั่ว ผลการวิจัยอธิบายได้ว่า โลหะอาจอยู่ในโพรงของโครงสร้างของของเสียที่แข็งตัว หรือถูกดูดติด (Adsorption) บนผนังโพรง และทำปฏิกิริยาเคมีซับซ้อนกับสารประกอบของซีเมนต์เฟส

ซึ่งถ้าโลหะหนักถูกติดไปในโครงสร้างแข็งในโพรง หรือถูกดูดติดบนผิวโพรง โลหะหนักเหล่านั้น ควรถูกชะละลายออกคล้ายกับการชะละลายของความเป็นต่าง และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันของค่าความเป็นต่างสะสมและแคลเซียมสะสม ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าแคลเซียมควรอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์และเกาะติดอยู่ตามผนังโพรง

ส่วนโครเมียมและตะกั่วน่าจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกามากกว่าอยู่ในโพรง ถ้าเป็นดังที่กล่าวไว้ โลหะหนักเหล่านี้ควรถูกชะละลายออกมา เมื่อโครงสร้างของซิลิกาถูกทำลาย และจากการทดลองพบว่าการสะสมของโครเมียมและตะกั่วคล้ายกับของซิลิกอน ดังนั้นโครเมียมและตะกั่วควรอยู่ในรูปซิลิเกตที่ไม่ละลายมากกว่าที่จะอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของโลหะหนัก ความเป็นต่าง และซิลิกอน จากการสกัด 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

2.8 ปูนซีเมนต์และปูนขาว

2.8.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดหนึ่งซึ่งสามารถยึดเหนี่ยวอนุภาค หรือวัสดุชิ้นเล็กๆ ให้รวมกันเป็นก้อนแข็งได้ ปูนซีเมนต์ได้จากการบดเม็ดปูน ซึ่งเกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ เช่น หินปูน (Limestone) หรือดินขาว (Marl) กับดินเหนียว (Clay) หรือหินดินดาน (Shale) ในสัดส่วนที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต และอาจมีการเติมแร่เหล็ก (Iron Ore) หรือยิบซั่ม (Gypsum) ตามความจำเป็น เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติตามต้องการ

สมาคมทดสอบวัสดุแห่งประเทศไทย (ASTM) และสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. ประเภทที่ 1 ปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา สำหรับใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา
2. ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified portland cement) ใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างใดๆ ที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง
3. ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-Early-Strength portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก ใช้ในงานก่อสร้าง หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการรับกำลังอัดได้เร็ว
4. ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ใช้ในงานคอนกรีต
5. ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ทนทานซัลเฟตได้สูง ใช้สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขตที่มีปฏิกิริยาของซัลเฟตรุนแรง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดเม็ดปูน ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก จากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบอยู่ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก สารประกอบหลักที่สำคัญ 4 ชนิดอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังจากการเผา ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (tetracalcium aluminoferrite)

ตาราง 2.3 สัดส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2529)

ออกไซด์ของธาตุต่างๆ	สูตรเคมีและสัญลักษณ์	ร้อยละ
แคลเซียมออกไซด์	CaO	60 – 65
ซิลิกา	SiO ₂	20 – 24
อลูมินา	Al ₂ O ₃	4 – 8
เหล็กออกไซด์	Fe ₂ O ₃	2 – 5

ตาราง 2.4 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2529)

องค์ประกอบในรูปสารประกอบ	สูตรเคมีและสัญลักษณ์	ร้อยละ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	3CaO.SiO ₂ (C ₃ S)	49
ไดแคลเซียมซิลิเกต	2CaO.SiO ₂ (C ₂ S)	25
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	3CaO.Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	12
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ (C ₄ AF)	8

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน เพราะหาได้ง่าย ราคาไม่สูงนัก และมีคุณสมบัติยึดเกาะในการทำเป็นก้อนแข็งได้ดี อีกทั้งยังสามารถยึดโลหะหนักไม่ให้ชะออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.8.2 ปูนขาว

ปูนขาวเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูนจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกมา ประเภทของปูนขาวขึ้นกับส่วนประกอบของหินปูนและขั้นตอนการเผา ถ้าทำการเผาหินปูนอย่างสมบูรณ์จะได้ปูนขาวดิบ (Quick Lime) ซึ่งเมื่อได้รับความชื้นองค์ประกอบออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำกลายเป็นรูปไฮดรอกไซด์ ซึ่งเรียกว่าปูนขาวสุก (Hydrate Lime)

จากรายงานของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าปูนขาวดิบตามท้องตลาดมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 61 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 24 ส่วนปูนขาวสุกมีเฉพาะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 82

2.9 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

2.9.1 ปฏิกริยาไฮเดรชัน

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียวและจับตัวกันแน่นเป็นก้อนแข็ง ออกไซด์ในปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกริยาไฮเดรชันกับน้ำจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฮเดรท โดยปฏิกริยาเกิดดังนี้



* สูตรสตอยชิโอเมตริกที่แสดงไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น

ขั้นตอนของปฏิกริยาไฮเดรชัน คือ เมื่อผงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบไฮเดรท โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วนดังแสดงในสมการ

ปฏิกริยานี้จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ โดยที่แคลเซียมออกไซด์ (CaO) จะแยกตัวออกมาจากแคลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ไปเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) จนสารละลายนั้นอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือจนสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ถูกทำปฏิกริยาจนหมด

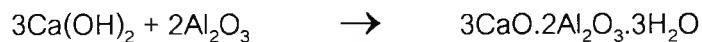
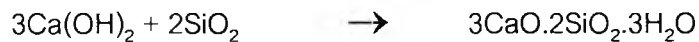
สารประกอบที่เกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วน ได้แก่

1. แคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรท (Calcium-Silicate-Hydrate, C-S-H) เช่น $3\text{CaO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งจัดเป็นวัสดุประสาน มีประมาณร้อยละ 50-90 โดยปริมาตร

2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, C-H) เป็นสารที่สามารถทำปฏิกริยาต่อไปได้อีกถ้ามีสารประกอบที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกริยา มีประมาณร้อยละ 20-25 โดยปริมาตร

2.9.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

สารปอซโซลาน หมายถึง วัสดุซึ่งตัวเองไม่มีสมบัติเป็นตัวประสานแต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และก่อตัวเป็นตัวประสานได้ ซึ่งมีสารประกอบหลัก ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO วัสดุปอซโซลานในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้สารประกอบแคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรต เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ที่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการเคมีดังต่อไปนี้



2.10 เกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2531) ได้ออกประกาศกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ซึ่งได้กำหนดคุณสมบัติของของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ดังนี้

1. สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย
2. มีความหนาแน่น ไม่ต่ำกว่า 1.15 ตัน/ลบ.ม.
3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ Extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามประกาศของกระทรวง

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการจัดการเศษหนังเจียน ให้สามารถนำไปจัดโดยวิธีฝังกลบ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ดังนั้นวิธีการทดสอบสมบัติของก้อนแข็งจะยึดตามข้อกำหนดของประกาศดังกล่าว

2.11 งานวิจัยที่ผ่านมา

จากการรวบรวมผลงานและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงการ สรุปได้ดังนี้

2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาของเสีย

ในการเผาของเสียแต่ละชนิด สารประกอบโลหะหนักอาจจะมีการกระจายตัวไปในรูปต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน แม้ว่าจะถูกเผาที่อุณหภูมิเท่ากัน

มีการศึกษาถึงทิศทางของโลหะหนักในของเสียหลายๆ ชนิด ซึ่งถูกนำมาเผาพร้อมกันในเตาเผาแบบ Fluidized Bed ที่อุณหภูมิ $1,500^{\circ}\text{F}$ (815°C) 3 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากของเสียก่อนเผา ในขี้เถ้าหลังจากเผา ในอนุภาคเล็กๆ ที่ปลิวไปพร้อมกับควันและไอก๊าซ ที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายอากาศ

พอสรุปได้ว่า สารประกอบโลหะหนักชนิดเดียวกันแต่อยู่ในของเสียต่างชนิดกัน แม้จะถูกเผาในอุณหภูมิเท่ากัน จะมีลักษณะการกระจายตัวเปลี่ยนรูปไปอยู่ในขี้เถ้า ไอก๊าซ หรือ อนุภาคที่ปลิวออกไป ในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของของเสียและการรวมตัวของโลหะหนักในของเสีย นั้นกับสารประกอบอื่นๆ

โลหะหนักทั้งอาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในของเสียเมื่อถูกเผาจะพบอยู่ทั้งในขี้เถ้า ไอก๊าซ และอนุภาคที่หลุดลอยออกไป ในสัดส่วนแตกต่างกัน แต่กรณีของปรอทในของเสีย เมื่อทำการเผาแล้ววิเคราะห์หาปริมาณของปรอทพบว่าปริมาณปรอทในขี้เถ้า ก้นเตาและอนุภาคเล็กๆ ที่หลุดลอยไปพร้อมกับควันมีปริมาณที่น้อยมาก แต่ขณะเดียวกันพบปริมาณปรอทสูงมากในไอก๊าซที่ปล่อยออกไป (EPA, 1972 อ้างถึงใน อรรถพล เพ็ชรพลาย, 2540)

ในการเผาของเสียที่มีโลหะหนักปน โลหะหนักส่วนใหญ่จะกระจายออกจากขี้เถ้า ก้นเตาสู่บรรยากาศ

Brunner (1993) ศึกษาถึงการเผากากของเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน แล้วเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่กระจายสู่บรรยากาศโดยมี Scrubber จับไว้ กับปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในขี้เถ้า ก้นเตา พบว่า โครเมียมเหลืออยู่ในขี้เถ้า 31 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ใน Scrubber water กับ Stack จำนวน 69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะอื่นๆ มีสัดส่วนแตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้

- อลูมิเนียม เหลืออยู่ในขี้เถ้า 57 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 43 %
- อาร์เซนิก เหลืออยู่ในขี้เถ้า 30 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 70 %

- แคลเมียม	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 31 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 69 %
- ทองแดง	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 47 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 53 %
- ตะกั่ว	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 16 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 84 %
- แมงกานีส	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 20 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 80 %
- ปะรอท	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 0 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 100%
- นิกเกิล	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 30 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 70 %
- สังกะสี	เหลืออยู่ในซีเมนต์ 20 % อยู่ใน Scrubber water กับ Stack 80 %

ในการเผาของเสียที่ใช้แทนเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 1,700 K โครเมียมส่วนใหญ่จะรวมตัวอยู่ในรูปซีเมนต์กันเตา

Sarofim และคณะ (1994) ศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนัก ของการใช้ของเสียมาเผาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาผลิตปูนซีเมนต์ ที่อุณหภูมิ 1,700 K (1,427°C) พบว่า

1. โลหะที่มีการระเหยเป็นไอสูงคือ ปะรอทและไทเทเนียม โลหะที่มีการระเหยปานกลางคือ แคลเมียม ตะกั่ว สังกะสี โบแทสเซียมและโซเดียม ส่วนโครเมียม นิกเกิล สารหนู เงิน อลูมิเนียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง จะระเหยน้อยส่วนใหญ่จะรวมตัวเป็นก้อนอยู่ในรูปซีเมนต์กันเตา

2. ในเตาเผา ที่ทำการทดลองแห่งหนึ่ง พบว่าโครเมียมที่กระจายตัวออกไปมีปริมาณน้อยคือ มีปริมาณโครเมียมเข้าเตาจำนวน 35.17 ปอนด์/ชม. แต่เมื่อเผาแล้ว โครเมียมจะอยู่ในซีเมนต์กันเตาเป็นจำนวนถึง 32.36 ปอนด์/ชม.คิดเป็นส่วนที่กระจายออกสู่อากาศเพียงร้อยละ 8 แต่ตะกั่วจะมีการกระจายตัวสู่บรรยากาศมากถึงร้อยละ 83

เมื่อเผาของเสียที่อุณหภูมิ 1,028°C โครเมียมประมาณครึ่งหนึ่งจะกระจายตัวออกไปในอากาศ

Cowley, Gallagher และ Nee (1994) ศึกษาการเผาของเสียอันตรายจาก Kodak Company ด้วยเตาเผาแบบ Rotary Kiln แบบสองห้องเผา และมี Venturi scrubber เป็นเครื่องมือกำจัดมลภาวะทางอากาศ จากผลการทดลองในส่วนที่หนึ่ง พบว่า ที่อุณหภูมิการเผาใน Rotary Kiln ที่ 1,028°C และที่ห้องเผาที่สอง 1,042°C มีปริมาณโครเมียมเข้าเตาเผา 0.64 กก./ชม. จะเหลือในซีเมนต์ 0.34 กก./ชม. ถูก Venturi ดักไว้ได้ 0.29 กก./ชม. และกระจายตัวออกไปที่ปล่องประมาณ 0.01 กก./ชม. คิดเป็นปริมาณโครเมียมที่กระจายตัวไปในอากาศประมาณ 47 %

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา จะมีปริมาณโครเมียมกระจายตัวสู่อากาศเพิ่มมากขึ้น

Wu, Biswas และ Fendinger (1994) ทำการศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนักจากการเผาของเสียชุมชน จากระบบทดลองและการเก็บข้อมูล พบว่า

1. ในช่วงอุณหภูมิ 1,100 – 1,600 K (827-1,327°C) พบว่า โลหะโครเมียม อะลูมิเนียม และตะกั่ว จะมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ในขณะที่ แคดเมียมและปรอท จะไม่มีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากระเหยไปหมดแล้วในอุณหภูมิต่ำๆ
2. ในการบำบัดละอองไอ ขนาดของละอองไอที่เพิ่มขึ้นของ โครเมียม ตะกั่ว และอะลูมิเนียม จะทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมีมากขึ้น แต่สำหรับปรอทและแคดเมียม ประสิทธิภาพจะไม่แตกต่างกัน เพราะปรอทกับแคดเมียมจะระเหยในรูปของก๊าซ
3. สำหรับระบบควบคุมอากาศแบบ Fabric Filter อุณหภูมิในห้องควบคุมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การดักจับโครเมียมดีขึ้น แต่ในระบบควบคุมแบบ ESP(Electrostatic Precipitater) การเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมโครเมียมลดลงเล็กน้อย

การเผาของเสียอันตรายที่เป็นของเหลว ที่อุณหภูมิ 1,093°C โครเมียมจะอยู่ในค่าประมาณร้อยละ 80

Hinshaw (1994) ได้ศึกษาพฤติกรรมและการควบคุมโลหะหนักต่างๆ จากการเผาของเสียอันตราย โดยการทดลองเผาจะใช้อุณหภูมิที่ 2,000 องศาฟาเรนไฮน์ (1,093°C) โดยจะพ่นของเสียที่เป็นของเหลวผสมกับสารประกอบโลหะหนัก สำหรับโครเมียมจะใช้กรดโครมิก (CrO_3) เป็นสารประกอบแทนโครเมียม พบว่า การกระจายตัวของโครเมียมในการเผาโดยอยู่ในค่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเครื่องควบคุมมลภาวะทางอากาศรวมกับที่กระจายตัวออกไปในปล่องประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะหนักชนิดอื่นๆจะมีการกระจายตัวที่แตกต่างกันไป

2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำเสถียร

การชะละลายของโลหะหนักในก้อนแข็ง จะมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มาก และ โครเมียมจะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดในก้อนแข็ง

Shively และคณะ (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง และทดสอบการชะละลายโลหะหนัก (Leaching Tests) และกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) โดยทดสอบโลหะหนัก 4 ชนิด คือ อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว โดยทำการทดสอบการชะละลายน้ำ 15 ครั้งในโลหะหนักแต่ละชนิด และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสมกัน สรุปผลการทดลองดังนี้

1. ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA. (สำหรับการสกัดโลหะหนักในครั้งแรก) ทั้งกรณีที่ใช้อัตราส่วนผสมน้ำ : ซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และ 1.0 โดยค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำจาก 0.5 เป็น 1.0 และการละลายโลหะหนักออกจากของเสียแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเมื่อเริ่มการสกัดโลหะหนัก แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ในซีเมนต์จะทำหน้าที่ทำลายฤทธิ์ของกรดที่ใช้สกัดให้เป็นกลาง ทำให้ค่า pH ของน้ำชะละลาย มีค่ามากกว่า 10.0 และมีการละลายของสารในซีเมนต์เพียงเล็กน้อย ในช่วงที่สองจะมีการละลายของโลหะหนักสูงสุด ค่า pH ของน้ำชะละลายที่วัดได้ มีค่าน้อยกว่า 6.0 และในช่วงที่สาม เมื่อทำการสกัดต่อไป อัตราการชะละลายของโลหะหนักจะเริ่มลดน้อยลง และการชะละลายจากการสกัดแต่ละครั้งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในของเสีย

2. จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่า เมื่อใช้อาร์เซนิก และแคดเมียม มากำจัดโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งจะทำให้กำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลง ทั้งกรณีที่ใช้ค่า W/C 0.5 และ 1.0 ส่วนของเสียผสมจะลดกำลังรับแรงอัดเฉพาะค่า W/C 0.5 ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด

มีความเป็นไปได้ที่โครเมียมจะทำปฏิกิริยากับซิลิเกตเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนัก 3 ชนิด คือแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว จากของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง เพื่อศึกษาถึงกลไกของการยึดจับโลหะหนักในซีเมนต์แข็งตัว สรุปได้ว่า แคดเมียมจะอยู่ในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ และแทรกตัวตัวอยู่ตามรูพรุน หรือเกาะติดกับผนังของรูพรุนในซีเมนต์ที่แข็งตัว ส่วนโครเมียมและตะกั่วมีส่วนร่วม

ในปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ และเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิกา เกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกา

การชะละลายเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากของเสีย, พื้นที่ผิวและค่า pH ที่ลดลง ส่วนค่าการรับแรงอัดจะเพิ่มเมื่อผลสมของเสียน้อยและเวลาบ่มมากขึ้น

Jaggi (1988) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุประสานประเภทวัสดุซีเมนต์ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์กัณเฑาะ และซีเมนต์กัณเฑาะ (Cement kiln dust) ในการทำให้กากของเสียอันตรายแข็งตัว กากของเสียอันตรายที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

- กากของเสียอันตรายจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งมีแคดเมียมและตะกั่วเจือปน

- กากของเสียอันตรายประเภทสารอินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตยาฆ่าแมลง ซึ่งมีสาร อัลดริน (Aldrin) เจือปน

เมื่อทำการตรวจวัดค่าอัตราการชะละลายของสารพิษ และค่าความสามารถในการรับแรงอัด เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุประสานแต่ละประเภท ผลสรุปได้ดังนี้

1. อัตราการชะละลายจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของกากของเสียในก้อนตัวอย่าง และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของก้อนตัวอย่าง แต่จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่า pH แรกเริ่มของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสาร

2. ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะเพิ่มมากขึ้น หากใช้ปริมาณสารพิษน้อยลงและจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง

3. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกากของเสียอินทรีย์ สำหรับกากของเสียอินทรีย์ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.35

4. การใช้ซีเมนต์กัณเฑาะผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้กากของเสียจากโรงงานชุบโลหะคงสภาพได้ดีที่สุด

5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะทำให้โลหะแคดเมียมละลายออกมาน้อยที่สุด

6. การใช้ซีเมนต์กัณเฑาะเป็นวัสดุประสาน จะทำให้ค่าการชะละลายต่ำที่สุดและมีความสามารถรับแรงอัดพอเพียงสำหรับการบำบัดกากของเสียจากยาฆ่าแมลง

การชะละลายจะแปรผันตาม ปริมาณของเสียที่ผสม pH ที่ลดต่ำลงและพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นตามระยะเวลาที่บ่ม

Shin และ Sujawatthana (1988) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียอันตราย โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ โดยใช้ของเสีย 4 ชนิดคือ แคลเซียม ตะกั่ว อัลดริน(Aldrin) และ คลอเดน(Chlordane) และนำก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ไปทดสอบการชะละลาย(Leaching Tests) และทดสอบกำลังรับแรงอัด(Compressive Strength) สรุปผลของปัจจัยต่างๆได้ดังนี้

1. ปริมาณของแคลเซียม ตะกั่ว อัลดริน และคลอเดน ในน้ำสกัดจากการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเสียที่เติมลงไป แต่สำหรับกำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของของเสียลงในส่วนผสม
2. อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ที่ทำให้ค่าการชะละลายของแคลเซียม ตะกั่ว อัลดริน และคลอเดน มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.5 และที่อัตราส่วนผสม น้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 นี้ ทำให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าการทดสอบที่ อัตราน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 1.0 และ 0.25
3. ค่า pH ของสารที่ใช้สกัด (Extract Solution) ที่ต่ำลงจะทำให้การชะละลายเพิ่มมากขึ้น
4. ขนาดของก้อนแข็ง ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้น จะทำให้ค่าการชะละลายเพิ่มมากขึ้น
5. ระยะเวลาการบ่ม ไม่มีผลมากนักต่อการชะละลาย แต่จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น
6. วิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์และซิลิกา จะสามารถใช้กำจัดโลหะหนักได้ดีกว่า สารอินทรีย์จำพวกยาฆ่าแมลง

การชะละลายของโครเมียมในก้อนแข็งที่ผสมกับปูนซีเมนต์อย่างเดียว จะมีค่าน้อยกว่าการชะละลายในปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

Chang (1989) วิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ โดยเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักระหว่างการใช้น้ำปูนซีเมนต์อย่างเดียว กับปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้โลหะหนักจากการสังเคราะห์ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง และปรอท จากผลการวิจัยพบว่ากลไกการยึดเกาะโลหะหนักในซีเมนต์ เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้อธิบายพฤติกรรมของการชะละลาย พันธะการยึดเกาะระหว่างโลหะหนักกับซีเมนต์ที่แตกต่างกัน จะมีผลให้การชะละลายโลหะหนักแตกต่างกัน การชะละลายของโครเมียมใน

ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ จะสูงกว่าในปูนซีเมนต์อย่างเดียว ในขณะที่การชะละลายของทองแดง และปรอทในปูนซีเมนต์อย่างเดียวจะสูงกว่าปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

ทองแดงและปรอท จะถูกยึดอยู่ในรูพรุนหรือดูดติดกับผนังของรูพรุนในก้อนซีเมนต์ส่วน การชะละลายทองแดงและปรอท จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง จากผลการวิเคราะห์น้ำสกัดพบว่า ค่าความเป็นด่างจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าการชะละลายของทองแดงและปรอท จากการเปรียบเทียบวัสดุประสานที่ใช้กำจัดโลหะหนักทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธีการกำจัดโดยใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียว จะเหมาะกับการกำจัดโครเมียม ส่วนวิธีการกำจัดโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบเหมาะสำหรับการกำจัดทองแดงและปรอท

การเติมเถ้าลอยผสมในก้อนแข็งของซีเมนต์ จะทำให้ค่า pH ของน้ำสกัดลดลง และส่งผลให้การ ชะละลายของโลหะหนักในน้ำสกัดเพิ่มมากขึ้น และภายหลัง 60 วัน น้ำหนักของก้อนแข็งจะลดลง

Shin และคณะ (1990) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติการชะละลายของสารโลหะหนักที่ถูกทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย (Fly ash) ทดสอบโดยใช้สารชะละลาย 3 ชนิด คือน้ำทะเล น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด และน้ำกลั่น ใช้โลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว พบว่าค่า pH และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการชะละลาย ส่วนการเติมเถ้าลอยลงในส่วนผสมซีเมนต์ จะมีผลทำให้ค่า pH ของน้ำสกัดลดลง และจะเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ในช่วง 60 วันทำการทดสอบการชะละลาย ปริมาณแคดเมียมสะสมที่ถูกชะออกมาในน้ำทะเล จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา แต่โลหะอื่นที่ถูกชะละลายออกมา จะลดลงตามระยะเวลา

ภายหลังการทดสอบ 60 วัน น้ำหนักของก้อนแข็งจะลดลง เนื่องจากองค์ประกอบของปูนขาวและโลหะหนักจะถูกชะละลาย และขนาดของอนุภาคโลหะหนัก (กรณีไม่ได้เติมเถ้าลอย) จะมีขนาดเล็กลง ในสภาวะที่ใช้ น้ำทะเลเป็นสารชะละลาย โลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมา จะถูกทำให้ออกผลึกอีกครั้งหนึ่งภายใต้สภาวะที่เป็นต่างของน้ำทะเล สำหรับตัวอย่างที่เติมเถ้าลอย อนุภาคของโลหะหนัก จะมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยจะมีผลในการป้องกันการชะละลายของน้ำทะเลได้ และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของสารตัวอย่างด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) และ X-ray Diffraction Analysis (XRD) พบว่า ปูนขาวจะถูกชะละลายออกมา ในขณะที่แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และยิปซัม จะเกิดขึ้นมาแทน

การชะละลายของโลหะหนักมีค่ามากขึ้นถ้าเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสาน และจำนวนวันบ่ม ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มตามจำนวนวันที่บ่ม ส่วนวัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์อย่างเดียวจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

Rijal (1990) ได้ทำการศึกษา การทำให้ตะกอนน้ำเสียจากห้องทดลองแข็งตัวและคงสภาพ ไม่มีการเคลื่อนตัวของโลหะหนัก (Cr และ Zn) โดยการใช้วัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเถ้าแกลบ (อัตราส่วน 1:1) โดยทำการผสมตะกอนกับวัสดุประสานผสมทราย (อัตราส่วน 1:2) ที่สัดส่วนผสมต่างๆกัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเท่ากับ 0.65 สำหรับปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

การประเมินประสิทธิภาพในการจับโลหะหนัก ไว้ในก้อนตัวอย่างของวัสดุประสานแต่ละชนิด โดยจะทำการทดสอบค่าอัตราการชะละลาย และค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ตัวแปรต่างๆ ผลสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความสามารถรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จะลดลงตามปริมาณตะกอนที่เพิ่มในแต่ละส่วนผสม
2. ค่าอัตราการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสาน
3. การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน จะทำให้อ่อนตัวอย่างมีความสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ
4. ค่าอัตราการชะละลายของโครเมียมในก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีค่าต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ ที่อัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสานต่ำกว่า 0.2 แต่ที่อัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสานสูงกว่า 0.5 ตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุประสาน จะให้ค่าการชะละลายโครเมียมที่สูงกว่า
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะจับสังกะสีได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ
6. เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น การชะละลายของโลหะหนักจะลดลง
7. อัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 จะให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับกำลังรับแรงอัด และจำกัดความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนัก สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.55 จะให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.75 เหมาะสำหรับปูนซีเมนต์ผสมกับซีเถ้าแกลบ

ปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบจะมีค่าการชะละลายที่ต่ำกว่าปูนซีเมนต์และแข็งแรงพอที่จะนำไปฝังกลบได้

Youn (1990) ได้ทำการศึกษาการทำให้ตะกอนของเสียจากห้องทดลอง (ส่วนใหญ่เป็นของเสียจากน้ำเสีย COD) ให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบ เมื่อทำการตรวจวัดค่าความสามารถในการรับแรงอัด และอัตราการชะละลายเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุประสาน ผลสรุปได้ดังนี้

1. อัตราการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของของเสียต่อซีเมนต์และเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง

2. ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน จะมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเสียในส่วนผสม และจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง

3. จากการวิจัยครั้งนี้สรุปว่า ปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุประสานในการทำให้ตะกอนโลหะหนักแข็งตัวได้ดี มีค่าการชะละลายต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก และมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปทำการกำจัดขั้นสุดท้ายโดยการฝังกลบได้ นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจับโลหะที่เป็นพิษ

Claudio (1991) ได้ทำการศึกษาการทำให้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซโซแลนนิคซีเมนต์ และซีเมนต์กันเตาเป็นวัสดุประสาน ผลการทดลองสรุปว่า

1. กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ซีเมนต์ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจับโลหะที่เป็นพิษ เช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และโลหะอื่นๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง

2. ปริมาณโลหะต่างๆ ในน้ำสกัด (ยกเว้น Al +3) มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม

3. ส่วนผสมของตะกอนกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 90 วันขึ้นไป จะมีความแข็งแรงคล้ายกับคอนกรีตโครงสร้าง