

บทที่ 3

บททวนเอกสาร

3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste)

3.1.1 ความหมายของของเสียที่เป็นอันตราย

มีผู้ให้คำจำกัดความของของเสียที่เป็นอันตรายไว้ ดังนี้คือ

- ของเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม (ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็ง กึ่งของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ) และปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม (น้ำ อากาศ และดิน)
- สิ่งต่างๆ ที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและเมื่อถูกนำไปทิ้งโดยไม่ได้กำจัด ไม่ว่าจะทิ้งในน้ำ ดิน หรืออากาศ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
- ของเสียใดๆ ซึ่งลุกติดไฟได้ ทำให้เกิดโรคติดต่อ สะสมในสิ่งมีชีวิตแล้วก่อให้เกิดมะเร็ง หรือเกิดการผ่าเหล่าได้

ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) ตามคำจำกัดความของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ หมายถึง ของเสีย หรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้นหรือคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี หรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด

ของเสียที่เป็นอันตราย จะต้องประกอบด้วยสาร หรือมีลักษณะดังต่อไปนี้

- 1) ไวไฟ หรือติดไฟง่าย (Ignitibility) ได้แก่ ของเสียที่เกิดการติดไฟได้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้
- 2) เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactivity) หรือเกิดการระเบิดได้ (Explosiveness) ได้แก่ ของเสียที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น ทำปฏิกิริยากับน้ำในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้เกิดก๊าซพิษต่างๆ หรืออาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้
- 3) กัดกร่อนได้ (Corrosivity) ได้แก่ ของเสียที่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดการกัดกร่อนโลหะได้ เช่น ของเสียที่เป็นกรด หรือด่างมาก
- 4) เป็นพิษ (Toxicity) ได้แก่ ของเสียที่มีความเป็นพิษในตัวเองสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ของเสียที่ประกอบด้วยสารโลหะหนัก
- 5) ถูกชะล้างได้ (Leachability) ได้แก่ ของเสียที่ถูกชะล้างโดยน้ำ และปลดปล่อยสารที่เป็นอันตรายออกมา ซึ่งสามารถไหลปะปนไปในแหล่งน้ำต่างๆ ได้

6) ทำให้เกิดโรค (Pathogenicity) คือ ของเสียที่มีพวกจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัสปะปนอยู่ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้อาจทำให้เกิดโรคได้ถ้าสัมผัสหรือเข้าสู่ร่างกาย

3.1.2 ประเภทของของเสียที่เป็นอันตราย

จากการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในปีพ.ศ. 2527 พบว่า ประเทศไทยมีของเสียที่เป็นอันตรายแบ่งออกได้เป็น 14 ประเภท ดังนี้

1) น้ำมัน (Oils) ได้แก่ ของเสียจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petroleum based products) และพวกน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oils) และสารทำความเย็น (Coolants) ของเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน

* กากตะกอนน้ำมันดิบ จัดอยู่ในของเสียที่เป็นอันตรายประเภทนี้

2) ตะกอนเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ (Liquid Organic Residues) ได้แก่ ของเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี (Organic Chemical Manufactures) และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (Downstream industries) ซึ่งส่วนใหญ่มีคุณสมบัติติดไฟได้ หรือมีสารพิษเจือปนอยู่

3) กากตะกอนและของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Sludges and Solids) ได้แก่ ของเสียจากอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติติดไฟได้ หรือมีโอกาสที่สารพิษที่เจือปนอยู่จะหลุดออกมาได้ง่าย

4) กากตะกอนและของแข็งที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic Sludges and Solids) ได้แก่ กากตะกอน หรือกากของเสียที่เป็นของแข็งซึ่งมีสารอนินทรีย์ (ยกเว้น สารโลหะหนัก) ประกอบอยู่ เช่น อลูมินา (Alumina) ซัลเฟอร์ (Sulfur) ยิปซัม (Gypsum)

5) กากตะกอนและของแข็งโลหะหนัก (Heavy Metal Sludges and Solids) ได้แก่ ของเสียที่มีสารโลหะหนักเจือปนอยู่ ส่วนใหญ่จะมาจากระบบบำบัดน้ำเสีย หรือจากระบบดักฝุ่นและกำจัดสารมลพิษทางอากาศ ของเสียเหล่านี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

5.1) กากตะกอนเปียก (Wet Sludges) และ

5.2) ของแข็ง (Solids)

6) ตัวทำละลาย (Solvents) ได้แก่ ของเสียที่มีสารตัวทำละลาย ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการล้างทำความสะอาดโรงงาน หรือการซ่อมบำรุงเครื่องจักร หรือใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี พลาสติก โยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมผลิตยา และยากำจัดศัตรูพืช

7) ของเสียจำพวกกรด (Acid Wastes) ได้แก่ ของเสียที่มีค่า pH ต่ำกว่า 2

8) ของเสียประเภทด่าง (Alkaline Wastes) ได้แก่ ของเสียที่มีค่า pH มากกว่า 12.5

9) ผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน หรือเสื่อมคุณภาพ หมดอายุการใช้งาน (Off-Specification Products)

10) PCB ได้แก่ของเสียที่มีสาร PCB เจือปน ในความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm

11) ของเสียที่มีสารอินทรีย์เคมีเป็นพิษเจือปนอยู่ (Aqueous-Organic Residues) เช่น ยาฆ่าแมลงต่างๆ

12) ของเสียที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการถ่ายรูป ล้างรูป และอัดรูป (Photo Wastes)

13) ของเสียติดเชื้อ (Infectious Wastes) ได้แก่ ของเสียที่มีเชื้อโรคเจือปนอยู่ เช่น เนื้อเยื่อชิ้นส่วนอวัยวะต่างๆ น้ำเลือด น้ำหนอง ของผู้ป่วย หรือสำลี ผ้าพันแผล เข็มฉีดยา เสื้อผ้าที่สัมผัสกับผู้ป่วยซึ่งทิ้งออกมาจากสถานพยาบาล

14) ของเสียจากชุมชน (Municipal Wastes) ได้แก่ ของเสียที่เป็นอันตรายที่ถูกทิ้งออกมาจากบ้านเรือน สำนักงาน ร้านอาหาร และธุรกิจการค้าต่างๆ

จากกฎหมายการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม (RCRA) ได้แบ่งประเภทของเสียที่เกิดจากขั้นตอนต่างๆ ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันออกเป็นของเสียอันตรายได้ 6 ประเภท คือ

- 1) Dissolved air floatation scum
- 2) Slop oil emulsion solids
- 3) Heat exchanger bundle cleaning solids
- 4) API oil-water separator sludge
- 5) Leaded tank bottom sludge
- 6) Primary oil-water separation sludge

กากตะกอนน้ำมันดิบจากกันถังเก็บกัก จัดอยู่ในประเภทที่ 5 (Leaded tank bottom sludge) ซึ่งเป็นหนึ่งใน 6 ชนิดของของเสียที่เป็นอันตรายดังกล่าวด้วย

จากข้อมูลข้างต้นทั้งหมด พอจะชี้ชัดได้ว่ากากตะกอนน้ำมันดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จัดเป็นของเสียอันตรายประเภทหนึ่ง ซึ่งจะต้องได้รับการศึกษาถึงวิธีการกำจัดอย่างเหมาะสมต่อไป

3.1.3 การบำบัดและการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

วิธีการบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย

TSAI และ HSU (1985) ได้อธิบายถึง กระบวนการที่นำมาใช้บำบัดของเสียที่เป็นอันตรายว่า มีหลายกระบวนการต่างๆ กัน คือ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางชีววิทยา และกระบวนการใช้ความร้อน โดยทั่วไปมักนิยมใช้กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการใช้ความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical Process)

การบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายโดยกระบวนการทางกายภาพ จะเป็นวิธีการแยกของแข็งออกจากของเหลว ซึ่งประกอบด้วยวิธีการต่างๆ คือ

- 1) การตกตะกอน (Coagulation & Sedimentation)
- 2) การกลั่น (Distillation)
- 3) การเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง (Centrifuging)
- 4) วิธีการดูดติดผิว (Carbon adsorption)

2. กระบวนการทางเคมี (Chemical Process)

การบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายโดยกระบวนการทางเคมี เป็นวิธีการทำลายฤทธิ์ของของเสียที่เป็นอันตราย ซึ่งประกอบด้วยวิธีการต่างๆ คือ

- 1) การออกซิไดซ์ (Oxidization)
- 2) การจับยึดความเป็นพิษไว้ในของแข็ง (Chemical fixation)
- 3) การทำให้เป็นกลาง (Neutrallization)
- 4) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange)
- 5) การตกผลึก (Precipitation)

3. กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)

การบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายโดยกระบวนการทางชีววิทยาไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากควบคุมระบบได้ยาก และหากมีสารพิษที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบจะต้องทำการบำบัดก่อนที่จะใช้วิธีทางชีววิทยา

ของเสียอันตรายที่เป็นสารอินทรีย์ สามารถบำบัดได้โดยใช้กระบวนการทางชีววิทยา ตามวิธีการต่างๆ คือ

- 1) กระบวนการใช้ออกซิเจน เช่น Activated sludge
- 2) กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)
- 3) การย่อยสลาย (Composting)

4. กระบวนการใช้ความร้อน (Thermal Process)

กระบวนการใช้ความร้อนเป็นวิธีการทำลายกากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic waste) อย่างได้ผล ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการพัฒนาและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป การออกแบบระบบเตาเผาอย่างเหมาะสม นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดกากของเสียที่เป็นอันตรายแล้ว ยังสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก แต่ทั้งนี้จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศด้วย

วิธีการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย (Disposal Methods)

กากของเสียต่างๆ สามารถกำจัดได้โดยวิธีการนำไปทิ้งทะเล หรือเผาในเตาเผา หรือฝังกลบ ซึ่งกากของเสียที่จะนำไปกำจัดนั้นจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น ให้มีความเหมาะสมก่อนการกำจัดขั้นสุดท้าย (Cassell & Wakjer, 1970)

วิธีการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ วิธีการฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐาน (Peters & Fers, 1987)

3.2 โลหะหนัก

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

โลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท แคดเมียม อาร์เซนิก ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีพิษถาวร ซึ่งนอกจากจะไม่เปลี่ยนรูปไปตามกาลเวลาแล้ว ยังสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย น้ำเสีย หรือตะกอนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกระจายเข้าสู่วัฏจักรของน้ำหรือผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ได้ (Srivastana, 1989)

U.S. EPA ได้กำหนด โลหะที่มีพิษ 13 ชนิด ที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ได้แก่ แอนติโมนี เซเลเนียม แทลเลียม ปรอท แบรลเลียม แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เงิน ทองแดง และอาร์เซนิก

3.3 น้ำมันดิบและกากตะกอนน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบที่ใช้ในประเทศไทยได้มาจากหลายแหล่งทั้งจากการขุดเจาะเองและนำเข้าจากต่างประเทศ องค์ประกอบของน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ มีส่วนประกอบไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งประกอบด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และแร่ธาตุต่างๆ

Longobardi (1935) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ชนิดของแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมันดิบพบว่าประกอบไปด้วย โซเดียม โพแทสเซียม ลิเทียม แคลเซียม สตรอนเทียม แบเรียม เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ฟอสฟอรัส อาร์เซนิก ซิลเวอร์ วาเนเดียม แมงกานีส ซิลิคอน ดีบุก ตะกั่ว โคบอลต์ ไททาเนียม ทอง โครเมียม แคดเมียม นิกเกิล

อาร์กอน และฮีเลียม แร่ธาตุเหล่านี้ส่วนใหญ่รวมตัวอยู่กับกรดแอมโฟเทนิค หรืออยู่ในรูปสารประกอบฟอสไฟด์ หรือซัลไฟด์ ในส่วนของตัวน้ำมันดิบเองนั้น มีคุณสมบัติจำเพาะดังนี้

Density ที่ 15 °ซ	0.870	กก./ลิตร
API Gravity ที่ 60 °ฟ	31.6	
Barrel factor	7.242	บาร์เรล/ตัน
Kinetic viscosity ที่ 10 °ซ	17.4	มม ² /วินาที
Kinetic viscosity ที่ 40 °ซ	6.94	มม ² /วินาที
Sulphur content	2.04	เปอร์เซ็นต์
Reid vapour pressure	35	psi/kpa
Pourpoint	- 21	°ซ
Exist. H ₂ S content	9	มก./ก.ก.
Potent. H ₂ S content	46	มก./ก.ก.
ให้ค่าพลังงานความร้อน	44,520	กิโลจูล/ก.ก.
Wax content	7.2	เปอร์เซ็นต์
Carbon residue	4.3	เปอร์เซ็นต์

(บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด, 2538)

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า ในน้ำมันดิบประกอบไปด้วยโลหะหนักมากมายหลายชนิด ดังนั้นกากตะกอนน้ำมันดิบที่ตกตะกอนอยู่ที่ก้นถังเก็บกักควรจะมีโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบในน้ำมันดิบปะปนอยู่ด้วยเช่นกัน

กากตะกอนน้ำมันดิบในที่นี้มีลักษณะเป็นตะกอนชั้น สีดำ และมีความหนืดสูง

Loehr, Martin และ Neuhauser (1992) ได้ศึกษาวิจัยกากตะกอนน้ำมัน ซึ่งถูกโรงกลั่นน้ำมันนำมาทิ้งไว้ในบ่อดิน ที่ Oklahoma มีลักษณะเป็นตะกอนสีดำหนืด และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย กากตะกอนน้ำมันนี้ประกอบไปด้วย

อลูมิเนียม	10,700	มก./กก.
แคลเซียม	78,000	มก./กก.
แคดเมียม	1.8	มก./กก.
โครเมียม	770	มก./กก.
ทองแดง	164	มก./กก.
เหล็ก	9160	มก./กก.

โปแตสเซียม	2240	มก./กก.
แมกนีเซียม	2340	มก./กก.
แมงกานีส	146	มก./กก.
โซเดียม	1670	มก./กก.
นิกเกิล	21	มก./กก.
ตะกั่ว	253	มก./กก.
สังกะสี	1780	มก./กก.

โดยจัดเป็นโลหะหนักมีพิษถึง 5 ตัวด้วยกัน คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี

3.4 การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง (Hi-Temp Incineration)

การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงคือการใช้ความร้อนเผาของเสียที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ของเสียออกซิไดซ์ไปเป็นซีเถ้า หรือเกลือที่คงรูป ซึ่งของเสียบางประเภทอาจให้พลังงานความร้อนเพียงพอที่จะลุกไหม้เองได้ แต่บางตัวต้องอาศัยเชื้อเพลิงเข้าช่วยแต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณซีเถ้าหรือกากตะกอนที่เกิดขึ้น ก็ยังต้องนำไปศึกษาเพื่อหาวิธีการกำจัดอย่างถูกต้องและเหมาะสม เช่น นำไปทำให้งดรูปไม่ละลายน้ำก่อนฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐาน

ในการเผาต้องให้ของเสียและไอก๊าซที่เกิดขึ้นถูกเผาไหม้ในทันทีที่อุณหภูมิสูง การใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่ำและค่อยๆ เร่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ของเสียระเหยกลายเป็นไอและลอยหนีออกไปก่อนที่จะถูกเผาไหม้ ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่ง นอกจากนี้เตาเผาที่สมบูรณ์ยังจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องฟอกไอก๊าซที่มีประสิทธิภาพ เช่น เครื่องดักฝุ่น เครื่องชะโอกรด-ต่าง เรซินดูดซับไดออกซิน (Dioxin) เครื่องดูดซับกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ รวมทั้งเครื่องเผาไอก๊าซก่อนระบายออกทางปล่อง (บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์, 2538)

การเผาทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายบางชนิดที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่นั้น โลหะหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะทางเคมีในลักษณะต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิด สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีของโลหะ อุณหภูมิที่ใช้เผา รวมถึงสถานะและการรวมตัวของโลหะหนักเป็นสารประกอบโลหะหนักที่ซับซ้อนในแต่ละชนิดของของเสีย การเผาของเสียที่อุณหภูมิต่างๆ กัน โลหะหนักจะมีอัตราการระเหยกลายเป็นไอแตกต่างกันด้วย โดยหลังการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอระเหยออกไปแล้ว เมื่อไอก๊าซเย็นตัวลงจะกลั่นตัวกลับคืนสู่สถานะเดิม อาจจะตกผลึกอยู่บนอนุภาคเล็กๆ ที่ไอออนของโลหะหนักนั้นจับตัวออกมาขณะเกิดการเผาไหม้และกระจายอยู่ตามสิ่งแวดล้อมรอบๆ บริเวณนั้น ในซีเถ้ายังมีโลหะหนักบางส่วนเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิในการเผาสูงมากขึ้นเท่าใดก็จะทำให้โลหะหนักระเหยกลายเป็นก๊าซได้มากเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ซีเถ้าก้นเตาที่มีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่น้อยตามไปด้วย, David A. Tillman และคณะ (1989)

David A. Tillman, Amadec J. Rossi และ Katherine M. Vick (1989) ศึกษาถึงสถานะของโลหะหนักอาร์เซนิก, แบบเรียม, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว, พรอท และ นิกเกิล เมื่อนำมาเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1,500 °F (815 °C) พบว่า สถานะของโลหะหนักบางตัวเมื่อถูกเผาที่ความร้อนสูงจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอระเหยและรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ กระจัดกระจายอยู่ในซีเมนต์, เถ้าลอย และไอก๊าซที่ระเหยออกจากปล่องระบายอากาศ คือ As_2O_3 , BaO, $BaCl_2$, BeO, CdO_3 , $NiCr_2O_4$, Cr_2O_3 , CuS, CuO, PbO, NiS, NiO, HgO

ควันที่เกิดจากการเผาสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนจำพวกน้ำมันชนิดต่างๆ หรือตัวทำละลาย คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยได้ในอากาศ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แบ่งแยกเป็นควันสีขาวและควันสีดำ ในส่วนของควันขาวนั้นมีสาเหตุจากอุณหภูมิของการเผาสารอินทรีย์ประเภทนี้ต่ำเกินไปไม่เพียงพอในการที่จะเผาทำลายสารประกอบเชิงซ้อนของคาร์บอน (300 °F-500 °F) ทำให้เกิดการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่สมบูรณ์ ส่วนควันดำเกิดจากการเผาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาพที่มีออกซิเจนไม่พอเพียง รวมถึงขาดการผสมผสาน (Mixing) ที่ดีของของเสียและการกระจายอากาศภายในห้องเผาไหม้ไม่ทั่วถึง จึงเกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคคาร์บอนและถูกปล่อยออกมาพร้อมกับก๊าซจากเตาเผามองเห็นเป็นควันสีดำ, Calvin R. Brunner (1993)

ก๊าซที่มีพิษและเป็นอันตรายซึ่งอาจเกิดจากการเผาของเสียอันตรายบางประเภท คือ ออกไซด์ของไนโตรเจนและออกไซด์ของกำมะถัน ในส่วนของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากเผาของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบไนโตรเจนจะเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นก๊าซ NO_x ได้ ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 2,700 °F หรือ 1,480 °C ซึ่งเตาเผาของเสียทั่วไปนั้นมีอุณหภูมิไม่สูงมากพอที่จะเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ส่วนเตาเผาของเสียอันตรายทั่วไปที่ใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 2,200 °F หรือ 1,200 °C ก็เพื่อการทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายแต่อย่างไรก็ตามยังเป็นอุณหภูมิที่ต่ำพอที่จะป้องกันการเกิดก๊าซ NO_x ในปริมาณสูงๆได้ ก๊าซ NO_x จะเริ่มถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่สูงมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผามากกว่า 3,200 °F หรือ 1,760 °C ส่วนออกไซด์ของกำมะถันเกิดจากปฏิกิริยาออกซิไดซ์ระหว่างสารประกอบกำมะถันในของเสียกับออกซิเจนกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ซึ่งแยกออกเป็นชนิดหลักๆ ได้คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีอันตราย เพราะเมื่อปลดปล่อยออกไปจากปล่องของเตาเผาแล้วก๊าซชนิดนี้สามารถรวมตัวกับไอน้ำในอากาศ (ความชื้น) กลายเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดกัดกร่อนได้คือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ส่วนมากออกไซด์ของกำมะถันจะเกิดจากการเผาไหม้สารจำพวกน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบอยู่สูงหรือถ่านหิน

3.4.1 ประเภทของเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย

เตาเผาของเสียอันตรายที่ใช้กันในปัจจุบัน แยกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) Liquid Injection Incinerator มีอุณหภูมิในการเผา 1500-3000 °F
- 2) Rotary Kiln Incinerator มีอุณหภูมิในการเผา 1500-2800 °F

- 3) Fluid-Bed Incinerator มีอุณหภูมิในการเผา 1400-1600 °ฟ
- 4) Bubbling Fluid-Bed Incinerator มีอุณหภูมิในการเผา 1400-1600 °ฟ
- 5) Circulating Fluid-Bed Incinerator มีอุณหภูมิในการเผา 1400-1600 °ฟ

การทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง นิยมใช้กับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ของเสียจำพวกไฮโดรคาร์บอน น้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันยาง ยามาแมลง สีสั่งเคราะห์ หรือ ตัวทำละลาย เนื่องจากการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ จะไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของเสียดังกล่าวได้ดี

จากข้อมูลในปี ค.ศ. 1996 การกำจัดของเสียอันตรายโดยวิธีการเผาด้วยเตาเผา ประเภทต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า สัดส่วนของเสียอันตรายทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อปี ประมาณ 4 ล้านตัน ถูกกำจัดโดยการเผาในเตาเผาต่างๆ ชนิดกัน คือ

- 1) Cement and aggregate kiln 950,000 ตัน
- 2) Commercial Hazardous waste incinerators 500,000 ตัน
- 3) On-site incineration (Chemical industry) 1,570,000 ตัน
- 4) On-site boilers and industrial furnaces 850,000 ตัน

(Environmental Science & Technology, 1997)

3.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง

ก. ข้อดี

- 1) การเผาเป็นการทำลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของสารประกอบอินทรีย์ เช่น สารประกอบ Hydrocarbon
- 2) ลดปัญหาเรื่องกลิ่นในระยะยาว
- 3) สามารถนำพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผามาใช้ประโยชน์อื่นได้
- 4) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นได้ดี
- 5) สามารถลดปริมาณของของเสียที่จะต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย
- 6) สามารถใช้กับของเสียได้หลายประเภท

ข. ข้อเสีย

- 1) ต้องใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างเตาเผาสูง
- 2) ต้องควบคุมก๊าซที่ระบายออกมาให้ดี

3.5 การทำเสถียรของเสียที่เป็นอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง

การทำเสถียร (Stabilization)

การทำเสถียร หมายถึง กระบวนการในการลดความเป็นพิษของของเสียอันตราย โดยการเปลี่ยนรูปทางเคมี ทำให้ของเสียมีความคงตัวและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ อีก โดย

อาจจะอยู่ในรูปของผลึกที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้สารพิษจะถูกกักไว้ในโครงสร้างของผลึกที่คงตัว (Sollars & Perry, 1989)

การทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification)

การทำให้เป็นก้อนแข็ง หมายถึง กระบวนการในการทำให้กากของเสีย ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวหรือตะกอนเกิดการแข็งตัวและคงรูปเป็นก้อน โดยการเติมวัสดุประสาน (Binder) ลงไปในกากของเสีย ซึ่งวัสดุประสานและกากของเสียจะทำปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งกันและกัน ทำให้กากตะกอนเกิดการแข็งตัวขึ้น ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งนั้น มักจะเกิดกระบวนการทำให้เสถียรเกิดขึ้นด้วย นั่นคือ นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นแล้ว สารพิษในกากของเสียจะถูกทำให้คงสภาพ และถูกยึดติดอยู่ภายในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนตะกอนที่แข็งตัว อันเป็นกลไกสำคัญในการจับยึดความเป็นพิษไม่ให้แพร่กระจาย (Sollars & Perry, 1989)

Thomson (1979) อ้างถึงใน Rijal (1990) กล่าวว่า ในระยะแรกนั้น กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับของเสียที่เป็นสารกัมมันตภาพรังสีที่ไม่มีความไวต่อปฏิกิริยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของของเสียให้สามารถขนย้ายไปยังสถานที่กำจัดได้ง่ายขึ้น และวัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวได้ที่ถูกเลือกจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ลดศักยภาพสำหรับการแผ่รังสี
2. ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้และเก็บบรรจุของเสียให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถถูกละลายได้
3. ต้นทุนต่ำและสามารถผลิตได้ง่าย

Bahadir และคณะ (1987) อ้างถึงใน Rijal (1990) กล่าวว่า การทำให้ของเสียที่เป็นอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมแข็งตัว จะแตกต่างจากของเสียที่มีกัมมันตภาพรังสี ทั้งนี้เพราะของเสียที่เป็นอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม จะมีปริมาณมาก ความเป็นพิษปานกลาง และมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ

3.5.1 วัตถุประสงค์ของการทำให้กากตะกอนเป็นก้อนแข็ง

วัตถุประสงค์ดั้งเดิมของการทำให้กากตะกอนเป็นก้อนแข็ง คือ เพื่อกักเก็บความเป็นพิษของกากของเสีย และป้องกันไม่ให้ความเป็นพิษแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการตั้งข้อกำหนดที่สำคัญของการทำให้กากตะกอนแข็งตัวไว้ 4 ข้อ คือ

- 1) ทำให้กากตะกอนเป็นของแข็ง
- 2) ปรับปรุงคุณสมบัติในการขนส่ง
- 3) ลดพื้นที่ผิว ซึ่งจะเป็นการลดการแพร่กระจายของสารพิษ
- 4) ลดอัตราการละลายของสารพิษ เมื่อสัมผัสกับสารชะละลาย

Barnes et al. (1979) อ้างถึงใน Rijal (1990) ได้สรุปความต้องการสำหรับการทำเสถียรภาพของเสียอันตราย ด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งไว้ดังนี้

- 1) สารพิษทั้งหมดในกากของเสีย ควรจะต้องถูกทำให้เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี และไม่มีการเคลื่อนที่
- 2) กากของเสียที่แข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ซึมน้ำ และมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำน้อยที่สุด
- 3) ก้อนตะกอนแข็งที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้
 - 3.1) ขนาดของก้อนคงที่
 - 3.2) ทนทานต่อสภาพแห้ง/เปียก หนาว/ร้อน ได้เป็นอย่างดี
 - 3.3) รับแรงอัดได้ดี
 - 3.4) มีอัตราความชื้นน้ำต่ำ
 - 3.5) ในการทำให้แข็งตัวนี้จะต้องไม่ทำให้ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นมาก
 - 3.6) วิธีการทำให้แข็งตัวจะต้องประหยัด หรือควรมีการนำของเสียชนิดอื่นมาใช้ร่วมด้วย เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ หรือบอกลิชไนท์
 - 3.7) ควรพิจารณาการนำเอาก้อนตะกอนที่ทำให้แข็งตัวแล้วมาใช้ประโยชน์
 - 3.8) สถานที่ใช้ฝังกลบตะกอนที่แข็งตัวแล้ว จะต้องมีการควบคุมและดูแลอย่างต่อเนื่อง

3.5.2 ประเภทของการทำให้เป็นก้อนแข็ง

Sollars & Perry (1989) ได้แบ่งประเภทของวิธีการทำเสถียรโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง ออกได้อย่างกว้างๆ 2 วิธี คือ

- 1) การตรึงกากของเสียอนินทรีย์ (Inorganic fixation)
 - 2) การกักจับกากของเสียอินทรีย์ (Organic encapsulation)
- ซึ่งแต่ละวิธีการจะใช้กระบวนการแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพจำแนกวิธีการทำเสถียรโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Poon, Peters และ Perry, 1983)

วิธีการกักจับกากของเสียอินทรีย์ (Organic encapsulation) มักจะใช้กับกากของเสียพิเศษ เช่น กากของเสียกัมมันตภาพรังสี ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณมาก

วิธีการตรึงกากของเสียอนินทรีย์ (Inorganic fixation) มีการใช้กันอย่างแพร่หลายกับกากของเสียอนินทรีย์โดยทั่วไป

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเสนอให้เผากากตะกอนน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน แล้วนำซีเมนต์มาทำเสถียรต่อด้วยการทำเป็นก้อนแข็ง โดยใช้วิธีการตรึงกากของเสียอนินทรีย์ซึ่งจะใช้ปูนซีเมนต์ และ/หรือปูนขาว เป็นวัสดุประสาน

Shuckrow, Pajak และ Touhill (1982) กล่าวว่า กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งที่ใช้สำหรับกำจัดของเสียมีหลายวิธีประกอบด้วย วิธีการใช้ปูนซีเมนต์ (Cement-based techniques), วิธีการใช้ปูนขาว (Lime-based techniques), วิธีการเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic techniques) โดยใช้วัสดุประเภทบิทูเมน พาราฟิน หรือโพลีเอทิลีน, วิธีการใช้ออร์แกนิกโพลีเมอร์ (Organic polymers), วิธีการเอนแคปซูลเลชัน (Encapsulation), วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self-cementing techniques) และวิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification)

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งตามวิธีต่างๆ ข้างต้น

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของกระบวนการทำให้กากของเสียอันตรายแข็งตัวตามวิธีต่างๆ (Shuckrow และคณะ, 1982)

กระบวนการหรือวิธีการ	รายละเอียด
วิธีการใช้ซีเมนต์	ผสมซีเมนต์ลงในกากของเสียและ/หรือเติมส่วนผสมอื่นๆ ปลอຍให้แข็งตัว
วิธีการใช้ปูนขาว	ทำการผสมกากของเสียกับปูนขาวและวัสดุที่เป็นปอชโซลานพร้อมกับเติมน้ำแล้วปลอຍให้แข็งตัว
วิธีการเทอร์โมพลาสติก	นำกากของเสียมาทำให้แห้งและให้ความร้อน จากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกกร้อน เช่น บิทูเมน, พาราฟิน หรือโพลีเอทิลีน แล้วทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง

กระบวนการหรือวิธีการ	รายละเอียด
วิธีการใช้ออร์แกนิกโพลีเมอร์	จะทำการผสมกากของเสียกับสารโพลีเมอร์ก่อน จากนั้นให้เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยกระจายโดยสม่ำเสมอทั่วทั้งส่วนผสมก่อนที่จะแข็งตัว กากของเสียจะถูกกักไว้ภายในมวลคล้ายฟองน้ำ
วิธีการเอนแคปซูลเลชั่น	กากของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่น จากนั้นจะใช้วัสดุเหนียวหุ้ม (เคลือบ) ผิวนอกของก้อนของเสีย เช่น Polyethylene หรือ Organic resin
วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์	ใช้สารที่มีคุณสมบัติ เป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียม-ซิลเฟต และแคลเซียมซิลไฟท์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม นำมาผสมกับตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้
วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว	กากของเสียที่เป็นอันตรายสูง เช่น กากสารกัมมันตภาพรังสี จะนำมาทำการผสมกับทราย แล้วหลอมให้เปลี่ยนเป็นแก้วหรือผลึกของซิลิเกต จะป้องกันการชะละลายได้เป็นอย่างดี โดยกากของเสียที่ทำให้แข็งตัวโดยวิธีนี้จัดว่าเป็นวัสดุที่ปลอดภัยสามารถนำไปทิ้งโดยไม่ต้องหุ้มห่ออีกต่อไป

ทั้งนี้ Shuckrow และคณะ (1982) ยังได้สรุปถึงความเหมาะสมในการที่จะใช้วิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งกับชนิดของของเสียต่างๆ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 1 (ภาคผนวก) และได้สรุปข้อดี-ข้อเสีย ของการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 (ภาคผนวก)

3.5.3 การควบคุมคุณภาพของก้อนแข็ง

ในการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เบื้องต้นของการบำบัด ซึ่งก็คือ การปรับปรุงโครงสร้างของกากของเสียให้แข็งแรงโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง ลดพื้นที่สัมผัส และจำกัดสภาพละลายได้ของสารพิษในของเสียเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่มาชะล้าง (Sollars และ Perry, 1989) ดังนั้น จะต้อง

ทำการทดสอบก่อนซีเมนต์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Material product) โดยทั่วไป ค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพของก้อนตะกอนที่ทำให้แข็งตัว ได้แก่

1. ความสามารถในการรับแรงอัด (Compressive Strength)
 2. อัตราค่าความซึมน้ำ (Permeability)
 3. ปริมาณสารพิษที่ถูกชะละลายออกมา (Leachate Test)
 4. ความอยู่ตัวในระยะยาว (Long-term Stability)
- (Clements & Griffiths, 1985)

แต่ก่อนที่จะทดสอบต้องรอให้ก้อนตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนดก่อน โดยทำการบ่มก้อนตัวอย่างไว้ จนถึงเวลาทดสอบ โดยทั่ว ๆ ไป จะบ่มก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิ 20° ซ. และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 60 %

Clements และ Griffiths (1985) รายงานว่า Sealosafe ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในประเทศอังกฤษ ประมาณ ค.ศ.1970 ใช้ในการบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการนี้มีชื่อเรียกว่า Stablex และได้มีการกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาไว้ ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด มีการทดสอบกำลังรับแรงอัดอยู่ 2 วิธี คือ Confined compressive strength และ Unconfined compressive strength ของเสียบางชนิด ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งจะไม่แข็งเหมือนกับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ เมื่อนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด ลักษณะการวิบัติจะเป็นแบบพลาสติกทำให้ค่า Unconfined compressive strength ค่อนข้างต่ำ และเมื่อนำของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งมาฝังกลบ ก็ย่อมจะมีแรงดันจากวัสดุอื่นๆ โดยรอบ ดังนั้น การพิจารณาถึงค่า Confined compressive strength น่าจะเหมาะสมและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากกว่า

2. อัตราค่าความซึมน้ำ ถึงแม้ว่าในกระบวนการทำให้แข็งตัวและคงสภาพนี้ สารพิษต่างๆ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารที่ไม่ละลายน้ำแล้วก็ตาม แต่ในความเป็นจริง จะมีสารพิษบางส่วนยังคงละลายได้ตามความสามารถในการละลาย (Solubility) ของสารพิษแต่ละชนิด ดังนั้น หากน้ำซึมผ่านก้อนตัวอย่างได้น้อย อัตราการละลายของสารพิษก็จะน้อยตามไปด้วย

3. การชะละลาย จากคุณสมบัติที่กำหนดให้มีอัตราค่าความซึมน้ำได้ต่ำ แต่ ถ้าเกิดภาวะแวดล้อมต่างๆ มากระทำต่อผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลายาวนาน ก็อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนที่พื้นผิวได้ ดังนั้น ต้องแน่ใจว่าสารมลพิษจะไม่ถูกชะละลายออกมาได้ หรือชะละลายออกมาในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ถึงแม้ว่ากากของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง จะแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

Sollars และ Perry (1989) ได้รายงานลักษณะสมบัติของของเสีย ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe จากโรงบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายที่เมือง West Thurrock แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวิธี Sealosafe (Sollars และ Perry, 1989)

ลักษณะสมบัติ	เกณฑ์กำหนด	ค่าเปรียบเทียบ
อัตราค่าความชื้นน้ำ	น้อยกว่า 1×10^{-7} ซม./วินาที	- ทราาย 1×10^{-4} ซม./วินาที ดิน 1×10^{-6} - 1×10^{-7} ซม./วินาที คอนกรีต 1×10^{-8} ซม./วินาที
กำลังรับแรงอัด	มากกว่า 0.34×10^{-6} นิวตัน/ตร.ม.	- คอนกรีต 30×10^{-6} นิวตัน/ตร.ม. มอร์ตาร์ 20×10^{-6} นิวตัน/ตร.ม. Grouts 0.5×10^{-6} - 4×10^{-6} นิวตัน/ตร.ม.
คุณภาพน้ำชะละลาย	พีเอช 8-11 COD น้อยกว่า 280 ก./ม. ³ Total CN น้อยกว่า 1 ก./ม. ³ Total Sulphide น้อยกว่า 5 ก./ม. ³ Total Phenol น้อยกว่า 5 ก./ม. ³ NH ₃ น้อยกว่า 40 ก./ม. ³ Zn น้อยกว่า 10 ก./ม. ³ Hg น้อยกว่า 0.5 ก./ม. ³ (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Ba, Co, Mb, Sn, As, Se, Sb) น้อยกว่า 5 ก./ม. ³ Total Pesticides น้อยกว่า 0.1 ก./ม. ³ Supernatant ต้องไม่มีหลังจาก 24 ชม.	- - - - - - - - - - - -

3.6 กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์ (Cement Based Technique)

กระบวนการทำให้กากของเสียเป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์ ประกอบด้วยการผสมของเสียกับปูนซีเมนต์ และอาจเติมสารอื่นลงไป เช่น เถ้าลอย, ซัลไฟต์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแข็งตัวและยึดจับความเป็นพิษของของเสีย โลหะหนักหลายชนิดในของเสีย

จะถูกเปลี่ยนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซิลิเกตซึ่งไม่ละลายน้ำในสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูงมากในปูนซีเมนต์และจะถูกยึดจับไว้ให้อยู่ภายในช่องว่างของส่วนผสมของปูนซีเมนต์ (Bishop, 1988)

Thomson, Malone และ Jone (1979) รายงานว่า วัสดุบางชนิดที่ ปะปนมาในของเสียและอาจมีผลต่อกระบวนการแข็งตัวเป็นก้อนของซีเมนต์ได้ 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 กับกากของเสียมีความอยู่ตัวดีขึ้น

Barnes และคณะ (1979) รายงานว่า ซีเมนต์ และปูนขาว สามารถใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายได้เกือบทุกประเภท และใช้ได้ดีกับกากของเสียที่มีส่วนผสมโลหะประจุบวก และมีความเป็นกรด แต่สำหรับกากของเสียที่มีโลหะประจุลบ เช่น โซยาไนต์ โครเมต และ อาร์เซเนต จำเป็นต้องทำการบำบัดขั้นต้นก่อนการทำให้เป็นก้อนแข็ง

Sallars และ Perry (1989) กล่าวถึงของเสียบางประเภทที่ไม่เหมาะสม การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสม ในการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ (Sollars และ Perry, 1989)

ประเภทของของเสีย	เหตุผลที่ไม่สมควรใช้
1. ของเสียนินทรีย์	
1.1 มีส่วนประกอบเกลือที่ละลายได้อยู่มาก	- มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
1.2 มีส่วนประกอบสารพิษประจุลบอยู่มาก เช่น โบเรต	- สามารถชะละลายได้ง่ายกว่าพวกประจุบวก
1.3 มีส่วนประกอบของสารหน่วงการก่อตัวของซีเมนต์ เช่น ซัลเฟต ในปริมาณมาก	- มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้
1.4 ผลึกกลิ่นที่เป็นพิษ	- เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต
1.5 ผลึกก๊าซพิษเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือด่าง เช่น โลหะคาร์ไบด์	- เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต

ประเภทของของเสีย	เหตุผลที่ไม่สมควรใช้
2. ของเสียอินทรีย์ 2.1 มีวัสดุที่ติดไฟ หรือเกิดระเบิดได้ 2.2 มีสารประกอบพวกลายาฆ่าแมลง 2.3 มีสารประกอบที่หน่วงการก่อตัว เช่น น้ำตาล	- เป็นอันตราย - เป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต - สามารถชะละลายออกมาได้ง่าย มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัด

3.6.1 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

Thomson, Malone และ Jone (1983) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียของการ ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ดังนี้

ก. ข้อดี

- (1) สารที่ใช้เป็นส่วนผสมมีมากเพียงพอ และหาได้ง่าย
- (2) เทคนิคการผสมซีเมนต์ ได้มีการพัฒนาเป็นอย่างดีแล้ว
- (3) ปูนซีเมนต์สามารถทนต่อปฏิกิริยาเคมีของสารหลายชนิดที่อยู่ในของเสียได้เป็นอย่างดี
- (4) เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการหาได้ทั่วไป
- (5) ความแข็งแรงและความสามารถให้น้ำซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแข็งตัว สามารถปรับได้โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ที่เติมลงในของเสีย
- (6) ลงทุนต่ำ
- (7) ใช้กับของเสียที่มีสมบัติไม่คงที่ได้ดี

ข. ข้อเสีย

- (1) ไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิด ซึ่งจะทำลายกลไกการแข็งตัวของซีเมนต์
- (2) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ สามารถถูกชะละลายในสภาวะที่เป็นกรด
- (3) การเพิ่มน้ำหนักของของเสีย โดยการหล่อด้วยซีเมนต์ จะทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียไปกำจัด

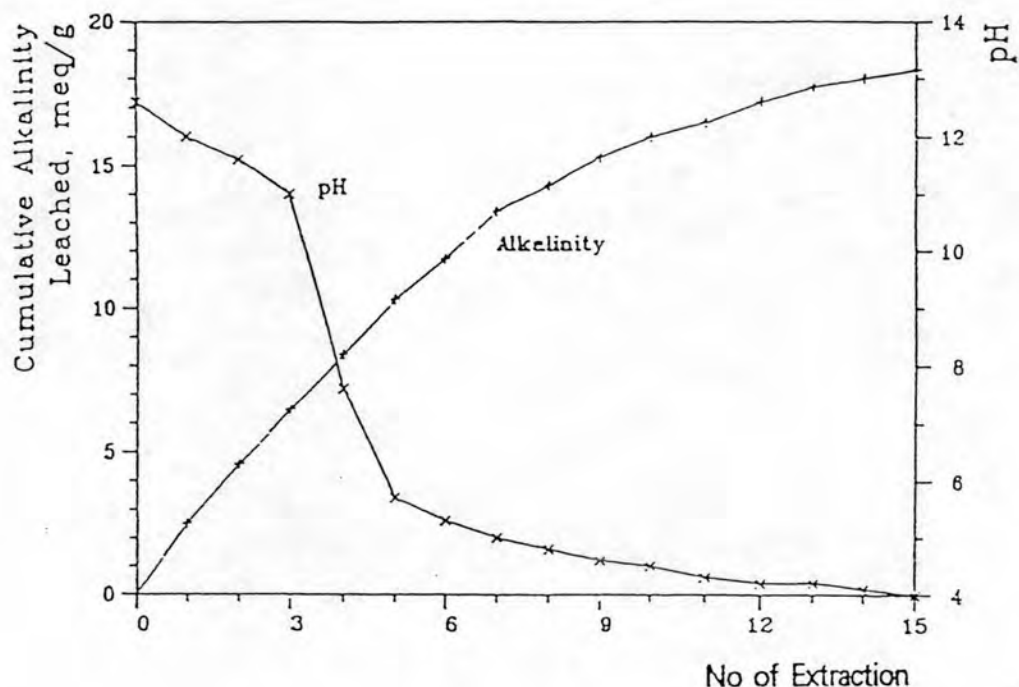
3.6.2 กลไกการยึดจับโลหะหนักในก้อนซีเมนต์แข็ง

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการชะละลายโลหะหนัก จากของเสียที่ผ่านขบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ (Cement-based Solidification) โดยใช้ของเสียสังเคราะห์โลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยได้ศึกษาถึง

ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) ของวัสดุที่แข็งตัวแล้ว และกลไกการยึดจับโลหะหนักของโลหะหนักชนิดต่างๆ ในของเสียที่ถูกทำให้แข็งตัว (Solidified Waste) สรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1) ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity)

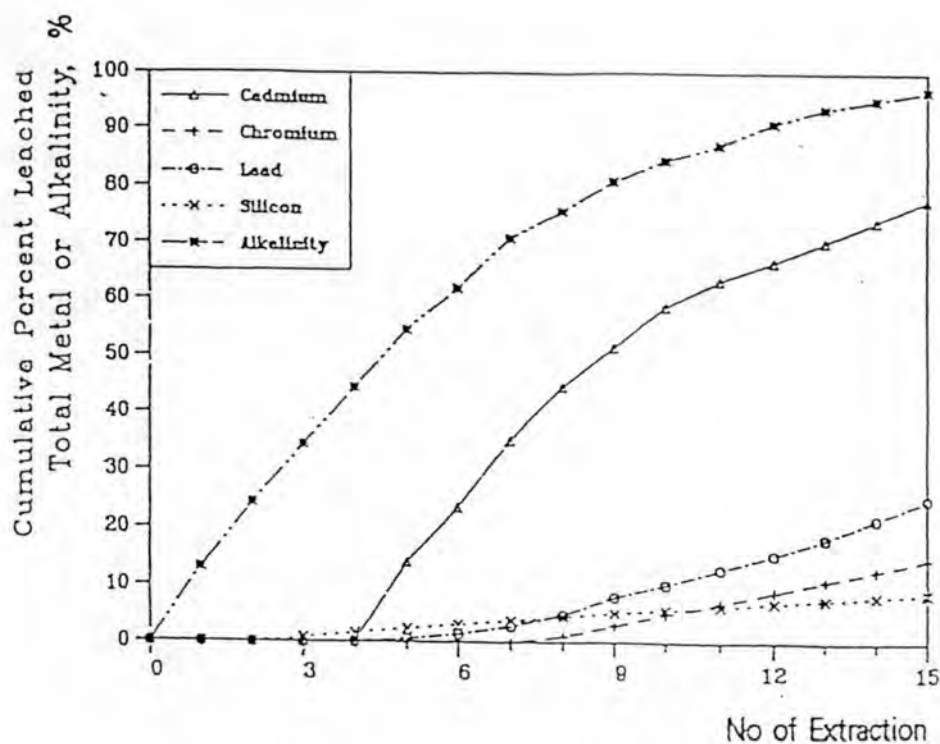
จากการทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) ของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ โดยทำการชะละลายด้วยกรดอะซิติกติดต่อกันเป็นจำนวนทั้งหมด 15 ครั้ง ตรวจวัดค่า pH และความเป็นด่าง (Alkalinity) แล้วนำไปเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากกราฟจะเห็นว่าค่า pH ของกรดที่ผ่านการชะละลายแล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเกือบคงที่ในครั้งที่ 15 ส่วนค่าความเป็นด่างสะสม (Cumulative Alkalinity) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความเป็นด่างจะถูกชะล้างออกมามากในช่วงต้นและลดลงตามลำดับจนถึงครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างสะสมในครั้งที่ 15 มีค่าเท่ากับ 18.3 meq/g ซึ่งถือเป็นค่า Buffering Capacity ของของเสียแข็งตัว ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะล้างออกมาแต่ละครั้งนี้จะเป็นตัวควบคุม pH ของการชะล้าง โดยการสะเทินกรดอะซิติกให้เป็นกลาง พีเอชของกรดอะซิติกที่ผ่านการสกัดใน 3 ครั้งแรกมีค่าสูงเกิน 10 ระหว่างการสกัดอีก 3 ครั้งต่อมาพีเอชมีค่าลดลงต่ำกว่า 6 พีเอชของการสกัดอีก 9 ครั้งต่อมาจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าประมาณ 4 ในการสกัดครั้งที่ 15



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าพีเอช (pH) และความเป็นด่าง (Alkalinity) จากการทดสอบการชะละลายทั้ง 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

2) กลไกการยึดจับโลหะหนัก

จากการทดลองที่ผ่านมาหลาย ๆ ครั้ง ทำให้ทราบว่าโลหะหนักอาจจะอยู่ในโครงสร้างของของเสี้ยวแข็งตัวในรูปแบบต่างๆ เช่น อยู่ในรูพรุนของโครงสร้าง หรือถูกเกาะติดบนผนังของรูพรุนหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์โดยวิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 3.3 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย (แคดเมียม, โครเมียม และ ตะกั่ว) ซิลิคอนกับค่าความเป็นด่าง แสดงให้เห็นว่า แคดเมียม (Cd) จะถูกชะละลายออกมาได้มากกว่าโครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งถูกชะล้างออกมาได้น้อย และจะถูกชะละลายมากขึ้นเมื่อ พีเอชต่ำกว่า 6

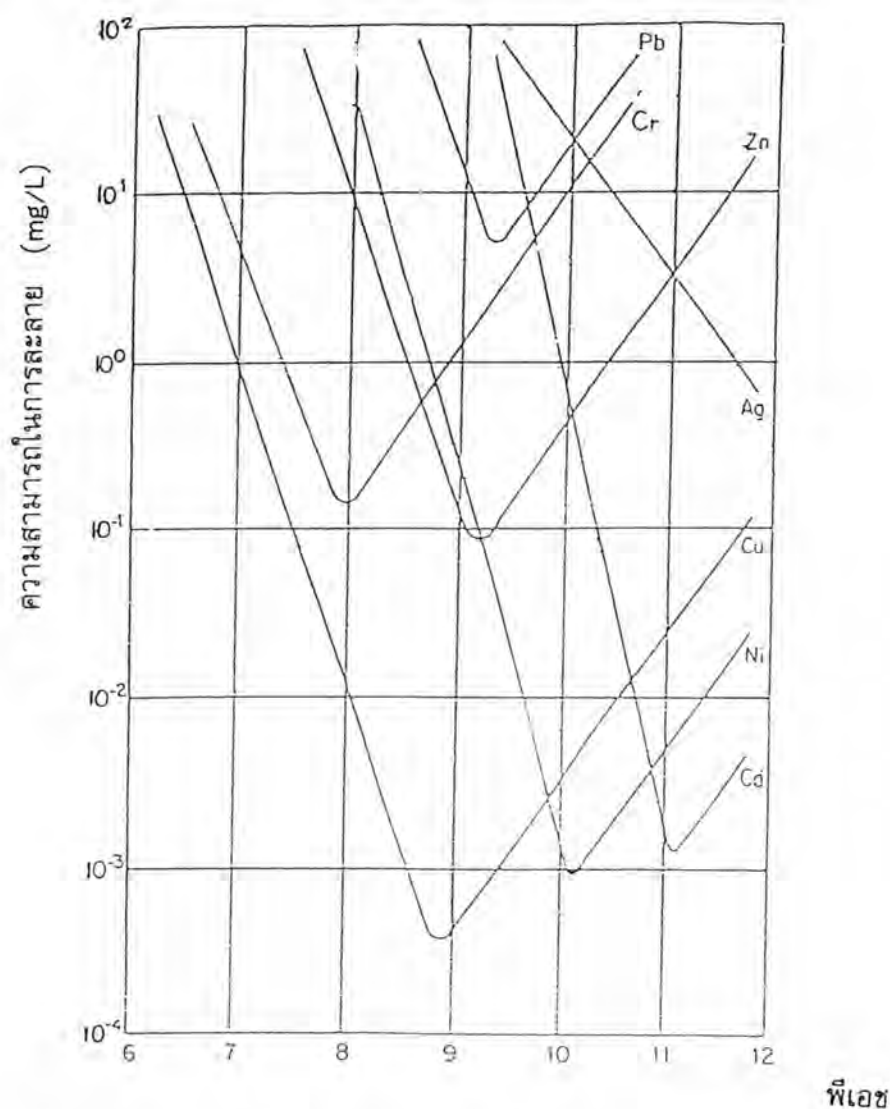


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก ซิลิคอนกับค่าความเป็นด่าง ที่ถูกชะละลายออกมาจากการทดสอบการชะละลายทั้ง 15 ครั้ง

ในกรณีของโครเมียมและตะกั่ว นั้น มีรูปแบบของการถูกชะละลายคล้ายคลึงกับซิลิกอน ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงน่าจะเป็นไปได้ว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกา สำหรับแคดเมียมเส้นกราฟของแคดเมียมสะสมที่ถูกชะละลายออกมาจะคล้ายคลึงกับเส้นกราฟของค่าความเป็นด่างสะสม ดังนั้นจึง

สันนิษฐานได้ว่า แคดเมียมน่าจะอยู่ในของเสียที่แข็งตัว ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ โดยเกาะอยู่ตามรูพรุนและผนังของรูพรุน

จากรูปที่ 3.4 เป็นแผนภาพแสดงสถานะไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักที่ pH ต่างๆ ในสารละลายที่มีค่ากำลังประจุ (ionic strength) 0.75 โมลาร์ ในขณะที่เริ่มผสมซีเมนต์พีเอชที่สูงของซีเมนต์เพสต์ประมาณ 11-12 ทำให้โครเมียมและตะกั่วอยู่ในรูปละลาย และกลายเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ ซึ่งเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิเกตสำหรับแคดเมียมอยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งที่ค่าพีเอชช่วงนี้ และไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการแข็งตัวจึงถูกดูดซับในรูพรุน จากสาเหตุดังกล่าวนี้จึงอธิบายได้ว่า โครเมียมและตะกั่วถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นกับการละลายของซิลิเกต สำหรับแคดเมียมถูกชะละลายออกมาตามการชะละลายของความเป็นด่าง



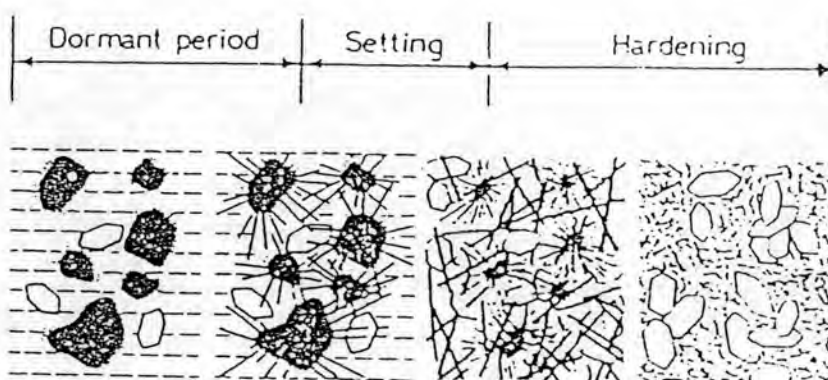
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงสถานะไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักที่ pH ต่างๆ (Bishop, 1988)

3.7 ปฏิกริยาไฮเดรชัน

ปฏิกริยาไฮเดรชัน คือ ปฏิกริยาทางเคมี ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ มีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นแรก การสร้างชั้นเมมเบรน (Membrane forming) บนพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมซิลิเกต

2) ขั้นที่สอง เกิดเส้นใย (Fibril) บนพื้นผิวของอนุภาคซิลิเกตในแนวรัศมีของอนุภาค จากนั้นเส้นใยเหล่านี้จะสานซึ่งกันและกัน จึงทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น (Sollars & Perry, 1989)



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนของปฏิกริยาไฮเดรชันและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

Neville (1981) รายงานว่าขณะเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน ออกไซด์ในปูนซีเมนต์จะทำปฏิกริยากับน้ำ และถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไฮเดรตซึ่งเขียนสมการแทนปฏิกริยาได้ดังนี้



3.8 ปูนซีเมนต์และปูนขาว

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสานชนิดหนึ่งซึ่งสามารถยึดเหนี่ยวอนุภาค หรือวัสดุชิ้นเล็กๆ ให้รวมกันเป็นก้อนแข็งได้ โดยการผสมน้ำตามส่วน (Soroka, 1979)

ปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ชนิดที่ไม่แข็งตัวในน้ำ และปูนซีเมนต์ชนิดที่สามารถแข็งตัวได้ในน้ำ หรือเรียกว่าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จัดเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย สมาคมทดสอบวัสดุแห่งประเทศไทย (ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

ประเภทหนึ่ง ปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา สำหรับใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และไม่อยู่ในสภาวะอากาศที่รุนแรง เช่น ในบริเวณที่ไม่มีอันตรายจากซัลเฟต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาค สีเขียว ตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified portland cement) ใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างใดๆ ที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานเขื่อนคอนกรีต ตอม่อสะพาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-Early-Strength portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก ใช้ในงานก่อสร้าง หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการรับกำลังอัดได้เร็ว เช่น งานเสาเข็ม คาน พื้นที่ที่ต้องการถอดแบบเร็ว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ใช้ในงานคอนกรีต เช่น เขื่อน ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ที่เกิดความร้อนสะสมมาก

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ทนทานซัลเฟตได้สูง ใช้สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในเขตที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น ในน้ำหรือดินที่มีค่าสูง มีระยะเวลาในการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 ประเภท ตามมาตรฐานที่กล่าวแล้ว ยังมีปูนประเภทอื่นๆ อีก เช่น ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดเม็ดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับทรายประมาณ 25-30% มีลักษณะการแข็งตัวช้า ไม่ยึดหรือหดตัวมาก เหมาะสำหรับงานก่ออิฐ ฉาบปูน โครงสร้างอาคารเล็กๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า ตรานกอินทรี

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนและสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ	เปอร์เซ็นต์
ปูนขาว (CaO)	60-65
ซิลิกา (SiO ₂)	20-25
เหล็กออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) และอลูมินา (Al ₂ O ₃)	7-12

(วินิต ช่อวิเชียร, 1978)

ตารางที่ 3.5 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ	เปอร์เซ็นต์
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
แคลเซียมซัลเฟตไฮเดรต	CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	5

(วินิต ช่อวิเชียร, 1978)

ปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ซึ่งมีความเป็นด่างสูงเนื่องจากออกซีไฮดรอกไซด์ (Oxyhydroxides) เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและพีเอชสูงกว่า 11 ผลึกแคลเซียมซิลิเกตจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างซีเมนต์ และมีความสามารถในการดูด (absorption) โลหะหนักให้ติดบนพื้นผิวได้เป็นอย่างดี (Shively และคณะ, 1986)

Lea (1956) ได้ทำการศึกษาถึงการชะละลายก้อนซีเมนต์แข็ง โดยรายงานว่า น้ำจะชะละลายเนื้อซีเมนต์ โดยการละลายปูนขาวออกจากเนื้อซีเมนต์ก่อน และอาจรวมถึงอลูมินาบางส่วน หากการชะละลายดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จะเหลือกากไฮเดรตของซิลิกา เหล็กออกไซด์ และอลูมินา ถ้าซีเมนต์มีเนื้อแน่นปฏิกิริยานี้จะเกิดช้ามากจนไม่ทำความเสียหาย

กับก้อนซีเมนต์ได้ แต่สารละลายซัลเฟตของต่างชนิดต่างๆ เช่น ซัลเฟตของโซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำลายเนื้อซีเมนต์ได้ค่อนข้างรุนแรง โดยจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อซีเมนต์ได้แคลเซียมซัลเฟต จากนั้นแคลเซียมซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับไฮเดรตของแคลเซียม-อลูมินาเกิดเป็นแคลเซียมซัลโฟลูมิเนต ปริมาตรของวัสดุภัณฑ์จะเกิดการขยายตัวขึ้นจนทำให้ก้อนซีเมนต์แตกสลายได้

ปูนขาว

ปูนขาว เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูนจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกมา ประเภทของปูนขาวขึ้นกับส่วนประกอบของหินปูนและขั้นตอนการเผา ถ้าหินปูนถูกเผาอย่างสมบูรณ์ ปูนขาวที่ได้ก็จะเรียกว่าปูนขาวดิบ (Quick lime) แต่ถ้าได้รับความชื้นองค์ประกอบของออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำกลายเป็นรูปของไฮดรอกไซด์ซึ่งเรียกว่า ปูนขาวสุก (Hydrated lime)

ปูนขาวดิบ มีส่วนประกอบโดยประมาณ คือ

- แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 61
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 24

ส่วนปูนขาวสุก มีเฉพาะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ ประมาณร้อยละ 82 (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532)

3.9 การทดสอบการชะละลาย

Conway และ Mally (1981) อ้างถึงใน Youn (1990) ได้แบ่งรูปแบบการทดสอบการชะละลายออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ Batch tests และ Column tests สำหรับ Batch tests เป็นการทดสอบโดยให้ตัวอย่างสารสัมผัสกับของเหลวที่ใช้ในการชะละลายในภาชนะอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ส่วน Column tests นั้น จะทำการทดสอบในคอลัมน์ซึ่งบรรจุตัวอย่างสารที่จะทดสอบจนแน่น และป้อนสารที่ใช้ชะละลายผ่านคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง

ส่วนวิธีการทดสอบการชะละลาย แบ่งย่อยออกได้หลายวิธีคือ Standard Leach Test, Toxicant Extraction Procedure, ASTM Method A, Extraction Procedure การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และคุณภาพของสารที่ต้องการทดสอบ โดยใช้ปริมาณตัวอย่างสาร วิธีการเตรียมตัวอย่าง และเครื่องมือที่แตกต่างกัน ตารางที่ 3 สรุปและเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลายแบบต่างๆ (ภาคผนวก)

แต่ในการวิจัยนี้ มุ่งเน้นให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้นจึงใช้วิธีการทดสอบการชะละลาย ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ

1. บดตัวอย่างสิ่งปฏิกลให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดของสิ่งปฏิกลระหว่าง 0.5 มม. ถึง 5 มม.
2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1. หนัก 50 กรัม ใส่ในแก้วทำลาย ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริกจนมีความเป็นกรดต่าง ระหว่าง 5.8 ถึง 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างสิ่งปฏิกล
3. เขย่าบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่าชนิด 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงกว้างของการเขย่า 5 ซม.
4. กรองสารละลาย โดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสารมลพิษต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้ง

3.10 เกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2531) ได้ออกประกาศกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ผัง ทิ้ง เคลื่อนย้าย และขนส่งสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว กำหนดให้สิ่งปฏิกลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- น้ำซึมผ่านได้ในอัตราต่ำกว่า 1×10^{-6} ซม./วินาที
- รับแรงอัด (compressive strength) ได้ไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2531) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับลักษณะสมบัติของสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 โดยกำหนดสมบัติของสารมีพิษ ซึ่งเมื่อนำมาทำการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดแล้ว ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

อาร์เซนิก	มากกว่า	5	มก./ล.
แคดเมียม	มากกว่า	1	มก./ล.
โครเมียม	มากกว่า	5	มก./ล.
ตะกั่ว	มากกว่า	5	มก./ล.
ปรอท	มากกว่า	0.2	มก./ล.

เพราะฉะนั้น เมื่อนำของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งมาทำการทดสอบการชะละลาย ตามวิธีที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดจะต้องไม่มีค่าของโลหะหนักในน้ำสกัด ค่าใดค่าหนึ่งมากกว่ามาตรฐานข้างต้น

US.EPA (1992) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว หรือของเสียที่สามารถนำไปทิ้งได้โดยการฝังกลบ โดยการทดสอบของเสียดังกล่าวด้วยวิธีการสกัดสาร (Extraction Procedure) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Extract Solution) จะต้องมีความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินค่าต่อไปนี้

DO04	Arsenic	5.0	มก./ล.
DO05	Barium	100.0	มก./ล.
DO06	Cadmium	1.0	มก./ล.
DO07	Chromium	5.0	มก./ล.
DO08	Lead	5.0	มก./ล.
DO09	Mercury	0.2	มก./ล.
DO10	Selenium	1.0	มก./ล.
DO11	Silver	5.0	มก./ล.

บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน์ (2536) รายงานว่า กลุ่มประเทศสมาชิกยุโรป ได้พิจารณาแยกของเสียออกเป็นประเภทต่างๆ เพื่อนำไปแยกฝังยังหลุมฝังกลบที่แตกต่างกัน คือ

1. กากของเสียที่เป็นอันตราย
2. ของเสียเฉื่อย
3. ชยะชุมชน และของเสียที่ไม่อันตราย

ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อแยกประเภทของของเสีย นั้น จะต้องพยายามคงรูปเดิมของของเสียให้ได้มากที่สุด แล้วทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 38414-S4 ซึ่งจะต้องเขย่าโดยการหมุน 180° เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง แล้วเหวี่ยงแยก หรือกรองแยกน้ำใสกับตะกอนด้วยผ้ากรอง 0.45 ไมครอน หากผลการวิเคราะห์น้ำสกัด พบว่า

- น้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วงของเสียที่เป็นอันตราย ต้องนำไปฝังกลบยังสถานที่ฝังกลบสำหรับของเสียที่เป็นอันตรายโดยเฉพาะ และสำหรับน้ำสกัดที่มีค่าสูงเกินกว่าช่วงค่าที่ระบุไว้ จะต้องส่งของเสียนั้นไปทำลายฤทธิ์ก่อนที่จะนำไปฝังกลบยังสถานที่ฝังกลบสำหรับกากของเสียอันตรายเช่นกัน หากทำลายฤทธิ์ไม่ได้จะต้องฝังในที่ที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อเก็บชั่วคราว
- น้ำสกัดมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของของเสียเฉื่อยตามที่ระบุไว้ ก็ถือว่าเป็นของเสียเฉื่อย สามารถทิ้งหรือฝังได้ทั่วไป
- น้ำสกัดอยู่ระหว่างค่าของเสียเฉื่อยและค่าต่ำสุดสำหรับฝังในที่ฝังกลบของเสียอันตราย ให้ถือว่าเป็นของเสียที่ไม่อันตราย

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าสารมลพิษในน้ำสกัด เพื่อแยกประเภทระหว่างของเสียที่เป็นอันตราย กับของเสียเฉื่อย (บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์, 2536)

สารมลพิษ	ช่วงของเสียที่เป็นอันตราย	ช่วงของเสียเฉื่อย
ตะกั่ว	0.4-0.2 มก./ล.	สารมลพิษทุกตัวรวม กันไม่มากกว่า 5 มก./ล. และไม่มีสารมลพิษตัวใด ตัวหนึ่งเกินค่าที่ระบุไว้
แคดเมียม	0.1-0.5 มก./ล.	
โครเมียม (+6)	0.1-0.5 มก./ล.	
ทองแดง	2-10 มก./ล.	
นิกเกิล	0.4-2.0 มก./ล.	
ปรอท	0.02-0.01 มก./ล.	
สังกะสี	2-10 มก./ล.	
พีเอช	4-13	4-13
อาร์เซนิก (+3)	0.2-1.0 มก./ล.	<0.1 มก./ล.
ฟีนอล	20-100 มก./ล.	<10 มก./ล.
ฟลูออไรด์	10-50 มก./ล.	น้อยกว่า 5 มก./ล.
แอมโมเนีย	0.2-1.0 ก.น./ล.	น้อยกว่า 50 มก./ล.
คลอไรด์	1.2-6.0 มก./ล.	น้อยกว่า 0.5 ก./ล.
ไซยาไนด์	0.2-1.0 มก./ล.	น้อยกว่า 0.1 มก./ล.
ซัลเฟต*	0.2-1.0 ก./ล.	น้อยกว่า 1.0 ก./ล.
ไนไตรต์	6-30 มก./ล.	น้อยกว่า 3 มก./ล.
AOX**	0.6-30 มก./ล.	น้อยกว่า 0.3 มก./ล.
Solvent ***	0.02-0.1 มก.คล./ล.	น้อยกว่า 10 มก.คล./ล.
Pesticides ***	1-5 มก.คล./ล.	น้อยกว่า 0.5 มก.คล./ล.
Lipoph.sub	0.4-2.0 มก./ล.	น้อยกว่า 1 มก./ล.

* ควรน้อยกว่า 500 มก./ล.

** Absorbed organically-bound halogens

*** Chlorinated

3.11 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการรวบรวมผลงานและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย สรุปได้ดังนี้

EPA (1972) จากการศึกษาทิศทางของโลหะหนักในของเสียหลาย ๆ ชนิดซึ่งถูกนำมาเผาพร้อมกันในเตาเผาแบบ Fluidized Bed ที่อุณหภูมิ 1,500° F (815° C) 3 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากของเสียก่อนเผา, ในซีเถ้าหลังเผา, ในอนุภาคเล็ก ๆ ที่ปลิวไปพร้อมกับควันและไอก๊าซที่ปลดปล่อยจากปล่องระบายอากาศพบสรุปได้ว่า สารประกอบโลหะหนักชนิดเดียวกันแต่อยู่ในของเสียที่ต่างชนิดกัน แม้จะถูกเผาในอุณหภูมิเท่ากันจะมีลักษณะการกระจายตัวเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในซีเถ้า, ไอก๊าซ หรืออนุภาคที่ปลิวออกไปในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของของเสียและการรวมตัวของโลหะหนักในของเสียนั้นกับสารประกอบอื่นๆ, โลหะหนักทั้งอาร์เซนิก, แคดเมียม, โครเมียม, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี ในของเสียเมื่อถูกเผาจะพบอยู่ทั้งในซีเถ้า, ไอก๊าซ และอนุภาคที่หลุดลอยออกไปในสัดส่วนแตกต่างกัน แต่กรณีของปรอทในของเสียเมื่อทำการเผาแล้ววิเคราะห์หาปริมาณของปรอทพบว่าปริมาณ ปรอทในซีเถ้าก้นเตาและอนุภาคเล็ก ๆ ที่หลุดลอยไปพร้อมกับควันมีปริมาณที่น้อยมาก แต่ขณะเดียวกันพบปริมาณปรอทสูงมากในไอก๊าซที่ปล่อยออกไป

Sittig (1978) กล่าวไว้ว่า กากตะกอนน้ำมันดิบที่ก้นถังเก็บกักจะประกอบไปด้วยสนิมเหล็ก ดินเหนียว ทราซ และตะกอนอื่นๆ ผสมรวมตัวกับน้ำมันดิบ โดยมีลักษณะสีออกน้ำตาลแดงจนถึงดำ มีความหนืดสูง และไม่สามารรถลุกไหม้เองได้ในบรรยากาศปกติ จัดเป็นของเสียอันตรายที่มีน้ำมันและสารโลหะหนักหลายชนิดผสมอยู่ ทั้งยังได้สรุปวิธีบำบัดและกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบ ที่นิยมอยู่ในตอนนั้นดังนี้

- 1) ตูดกากตะกอนแล้วนำไปฝังกลบ (Landfill)
- 2) นำไปเทไว้บนพื้นดิน เพื่อให้จุลชีพย่อยสลายน้ำมัน
- 3) นำไปฝังกลบไว้ในหลุมฝังกลบที่ปลอดภัย (Secure landfill)

จากนั้นก็ได้อ้างถึงปัญหา ที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการใช้วิธีดังกล่าวข้างต้น คือ

- 1) การนำไปฝังกลบโดยขาดการควบคุมดูแลที่ดี จะทำให้น้ำมันและสารโลหะหนักแพร่กระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อม
- 2) การย่อยสลายโดยจุลชีพในดินนั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังในระยะยาว และส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ในบริเวณใกล้โรงกลั่นนั่นเอง เนื่องจากยังขาดการศึกษาอย่างจริงจัง จึงไม่สามารถรู้ได้ว่าดินชนิดไหนเหมาะสม และมีความสามารถรับปริมาณกากตะกอนน้ำมันได้มากน้อยเพียงใด จึงจะสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

Walsh และคณะ (1986) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์ต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยทำการทดสอบเติมเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol, EG) และ P-bromophenol (ซึ่งเป็นสารประกอบ

อินทรีย์) ลงในปูนซีเมนต์ ในสัดส่วนต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ระหว่าง 0.02 ถึง 0.2 จากนั้นให้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ 21-25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงถึง 3 เดือน ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) เติมสารประกอบอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดลงในปูนซีเมนต์ จะมีผลทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไป โดยที่สาร EG จะมีผลกระทบมากกว่า PBP แม้จะเติมในปริมาณน้อยที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากโมเลกุลของ EG มีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งจะไปทำลายโครงสร้างผลึกของซีเมนต์

2) ในก้อนตัวอย่าง ที่มีส่วนผสมของ EG เกือบทุกตัวอย่าง และที่มี PBP ผสมอยู่ในปริมาณมาก ๆ จะมีผลหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน

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

(1) การทดสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากของเสียทั้ง 4 ชนิด และของเสียผสม ซึ่งผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์แล้วนั้น พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ 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 แคดเมียม-ไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ในซีเมนต์จะทำหน้าที่ทำลายฤทธิ์ของกรดที่ใช้สกัดให้เป็นกลาง ทำให้ค่า pH มีค่ามากกว่า 10.0 และมีการละลายของสารในซีเมนต์เพียงเล็กน้อย ในช่วงที่สองจะมีการละลายของโลหะหนักสูงสุด ค่า pH มีค่า < 6.0 และในช่วงที่สาม เมื่อทำการสกัดต่อไป การละลายของโลหะหนักจะเริ่มลดน้อยลง และการละลายจากการสกัดแต่ละครั้งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในของเสีย

(2) จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่า เมื่อใช้อาร์เซนิก และแคดเมียม มากำจัดโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง จะทำให้กำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลง ทั้งกรณีที่ใช้ค่า W/C 0.5 และ 1.0 ส่วนของเสียผสมจะลดกำลังรับแรงอัดเฉพาะค่า W/C 0.5 ส่วน Chromium และ Lead นั้นจะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด

Tesan และ Barbosa (1987) ได้กล่าวว่า ในประเทศบราซิลมีการใช้น้ำมันดิบเพื่อการกลั่นถึงวันละ 1 ล้านบาร์เรล จากการประมาณการ จะพบว่าตั้งแต่ขั้นตอน การขุด

เจาะ ชนส่ง ถ่ายเท จนถึงกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายนั้น จะมีของเสียเกิดขึ้นประมาณ 5% ซึ่งเป็นของเสียที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ และไม่มีค่าในทางการค้าเลย

วิธีการกำจัดที่ทำกันอยู่ในขณะนี้ก็คือ การนำไปทิ้งไว้ในที่ที่ว่างเปล่าเผาทิ้งรวมกับขยะทั่วไป หรือเก็บไว้ในบ่อดิน ซึ่งสามารถรั่วไหลปะปนไปกับสิ่งแวดล้อมได้

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนัก จากของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สอง โดยทำการสกัด 15 ครั้ง สามารถหาค่า Buffering Capacity ของของเสียดังกล่าวได้ 18.3 meq/g และจากการศึกษาการชะละลายโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เพื่อศึกษาถึงกลไกของการยึดจับโลหะหนักในซีเมนต์แข็งตัว สรุปได้ว่า แคดเมียมจะอยู่ในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ และแทรกตัวอยู่ตามรูพรุน หรือเกาะติดกับผนังของรูพรุนในซีเมนต์แข็งตัว ส่วนโครเมียมและตะกั่ว มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ และเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิกา เกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกา

Jaggi (1988) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุประสานประเภทวัสดุซีเมนต์ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์กัลบ ซีเมนต์กันเตา (Cement kiln dust) ในการทำให้กากของเสียอันตรายแข็งตัว กากของเสียอันตรายที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

- 1) กากของเสียอันตรายจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งมีแคดเมียม และตะกั่วเจือปน
- 2) กากของเสียอันตรายประเภทสารอินทรีย์ โดยใช้หน้าเสียจากโรงงานผลิต ยาฆ่าแมลง ซึ่งมีสารอัลดริน (aldrin) เจือปน

เมื่อทำการตรวจวัดค่าอัตราการชะละลายของสารพิษ และค่าความสามารถในการรับแรงอัด เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุประสานแต่ละประเภท ผลสรุปได้ดังนี้

- อัตราการชะละลายจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของกากของเสียในก้อนตัวอย่าง และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของก้อนตัวอย่าง แต่จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่า pH แรกเริ่มของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสาร
- ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะเพิ่มมากขึ้น หากใช้ปริมาณสารพิษน้อยลง และจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกากของเสียอินทรีย์ สำหรับกากของเสียอินทรีย์ ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.35
- การใช้ซีเมนต์กัลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน 1 : 1 จะทำให้กากของเสียจากโรงงานชุบโลหะคงสภาพได้ดีที่สุด
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะทำให้โลหะแคดเมียมละลายออกมาน้อยที่สุด

- การใช้ซีเมนต์กันเตาเป็นวัสดุประสาน จะทำให้ค่าการชะละลายต่ำที่สุด และมีความสามารถรับแรงอัดพอเพียงสำหรับการบำบัดกากของเสียจากยาฆ่าแมลง

Shin และคณะ (1988) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสีย จากอุตสาหกรรมชุบโลหะ โดยการทำเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนผสมทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณของเสียและปริมาณสาร Precipitator สรุปผลการวิจัยได้ว่า

1) การชะละลายของโลหะหนักได้แก่ โครเมียม และสังกะสี จะลดลง เมื่อลดค่าอัตราส่วนผสม : ซีเมนต์ หรือลดอัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ หรือเพิ่มปริมาณสาร Precipitator

2) กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราส่วนผสม : ซีเมนต์ ลดอัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ และลดปริมาณของเสียที่กำจัด

3) จากการวิเคราะห์โดย Anova analysis พบว่าอัตราส่วนผสม : ซีเมนต์ จะมีผลต่อการชะละลายของโครเมียม ส่วนอัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ จะมีผลต่อการชะละลายของสังกะสี และกำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์

4) จากผลการวิจัย เมื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่าย การชะละลายของโครเมียมและสังกะสีซึ่งต้องต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ EPA คือ 5 และ 500 ppm. และกำลังรับแรงอัดต้องมีค่าสูงกว่า 10 กก./ซม.² จึงจะได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกากตะกอนแห้ง 30 กรัม และจะต้องใช้อัตราส่วนผสม ทราย : ซีเมนต์, น้ำ : ซีเมนต์ และปริมาณสาร precipitator เท่ากับ 1, 1.5 และ 1.075 กรัม ตามลำดับ

5) การใช้สาร precipitator และทราย จะไม่มีความสำคัญในทางเศรษฐศาสตร์ และในทางปฏิบัติ

Shin และ Sujlwatthana (1988) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียอันตราย โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ โดยใช้ของเสีย 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว อัลดริน (aldrin) และ คลอเดน (Chlordane) และนำก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วไปทดสอบการชะละลาย (Leaching Tests) และทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) สรุปผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) ปริมาณของแคดเมียม ตะกั่ว อัลดริน และคลอเดน ในน้ำสกัดจากการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเสียที่เติมลงไป แต่สำหรับกำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของเสียลงในส่วนผสม

2) อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสม ที่ทำให้ความสามารถในการชะละลายของแคดเมียม ตะกั่ว อัลดริน และคลอเดน มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.5 และที่อัตราส่วนผสม W/C เท่ากับ 0.5 นี้ ทำให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าการทดสอบที่ W/C 1.0 และ 0.25

- 3) ถ้าค่า pH ของสารที่ใช้สกัด (Extract Solution) ต่ำ จะทำให้การชะละลายเพิ่มมากขึ้น
- 4) ขนาดก้อนของแข็ง ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้น จะทำให้ค่าการชะละลายเพิ่มมากขึ้น
- 5) ระยะเวลาการบ่ม ไม่มีผลมากนักต่อการชะละลาย แต่จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น
- 6) วิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์และซิลิกา จะสามารถใช้กำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่ใช้ฆ่าแมลง

Chang (1989) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ โดยเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักระหว่างการใช้อุณหภูมิเดียวกัน กับปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้โลหะหนักจากการสังเคราะห์ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง และปรอท จากผลการวิจัยพบว่า กลไกการยึดเกาะโลหะหนักในซีเมนต์ เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้อธิบายพฤติกรรมของการชะละลาย พันธะการยึดเกาะระหว่างโลหะหนักกับซีเมนต์ที่แตกต่างกัน จะมีผลให้การชะละลายโลหะหนักแตกต่างกัน การชะละลายของโครเมียมในปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ จะสูงกว่าในปูนซีเมนต์อย่างเดียว ในขณะที่การชะละลายของทองแดง และปรอทในปูนซีเมนต์อย่างเดียว จะสูงกว่าปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

ทองแดงและปรอท จะถูกยึดอยู่ในรูพรุนหรือติดติดกับผนังของรูพรุนในก้อนซีเมนต์ ส่วนการชะละลายของทองแดงและปรอท จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง จากผลการวิเคราะห์น้ำสกัดพบว่า ค่าความเป็นด่างจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าการชะละลายของทองแดงและปรอท จากการเปรียบเทียบวัสดุประสานที่ใช้กำจัดโลหะหนักทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธีการกำจัดโดยใช้อุณหภูมิอย่างเดียว จะเหมาะกับการกำจัดโครเมียม ส่วนวิธีการกำจัดโดยใช้อุณหภูมิผสมซีเถ้าแกลบเหมาะสำหรับการกำจัดทองแดงและปรอท

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

ภายหลังการทดสอบ 60 วัน น้ำหนักของก้อนแข็งจะลดลง เนื่องจากองค์ประกอบของปูนขาว และโลหะหนักจะถูกชะละลาย และขนาดของอนุภาคของโลหะหนัก

(กรณีที่ไม่ได้เพิ่มเถ้าลอย) จะมีขนาดเล็กลง ในสภาวะที่ใช้น้ำทะเลเป็นสารชะละลายโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมา จะถูกทำให้ตกผลึกอีกครั้งหนึ่งภายใต้สภาวะที่เป็นต่างของน้ำทะเล สำหรับตัวอย่างที่เติมเถ้าลอยอนุภาคของโลหะหนัก จะมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้ เนื่องจากเถ้าลอยจะมีผลในการป้องกันการชะละลายของน้ำทะเลได้ และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของสารตัวอย่างด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) และ X-ray diffraction analysis (XRD) พบว่า ปูนขาวจะถูกชะละลายออกมาในขณะที่แคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (C-S-H) ettringite และยิบซั่ม จะเกิดขึ้นมาแทน

Rijal (1990) ได้ทำการศึกษา การทำให้ตะกอนน้ำเสียจากห้องทดลอง แข็งตัวและคงสภาพ ไม่มีการเคลื่อนตัวของโลหะหนัก (Cr และ Zn) โดยการใช้วัสดุประสานซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเถ้าแกลบ (อัตราส่วน 1:1) โดยทำการผสมตะกอนกับวัสดุประสานผสมทราย (1:2) ที่สัดส่วนผสมต่างๆ กัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และเท่ากับ 0.65 สำหรับปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ

การประเมินประสิทธิภาพ ในการจับโลหะหนักไว้ในก้อนตัวอย่างของวัสดุประสานแต่ละชนิด จะทำการทดสอบค่าอัตราการชะละลาย และค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ตัวแปรต่างๆ ผลสรุปได้ดังนี้

- 1) ค่าความสามารถรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จะลดลงตามปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม
- 2) ค่าอัตราการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสาน
- 3) การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีความสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบทุกตัวอย่าง
- 4) ค่าอัตราการชะละลายของโครเมียมในก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ ที่อัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสานต่ำกว่า 0.2 แต่ที่อัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสานสูงกว่า 0.5 ตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุประสาน จะให้ค่าการชะละลายโครเมียมสูงกว่า
- 5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะจับสังกะสีได้ดีกว่า
- 6) เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น การชะละลายของโลหะหนักจะลดลง
- 7) อัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 จะให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับกำลังรับแรงอัด และจำกัดความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.55 จะให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ 0.75 สำหรับปูนซีเมนต์ผสมกับซีเถ้าแกลบ

Youn (1990) ได้ทำการศึกษาวิจัยการทำให้ตะกอนของเสียจากห้องทดลอง (ส่วนใหญ่เป็นของเสียจากน้ำเสีย COD) ให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบ

เมื่อทำการตรวจวัดค่าความสามารถในการรับแรงอัด และอัตราการชะละลาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุประสาน ผลสรุปได้ดังนี้

- 1) อัตราการชะละลาย จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของของเสียต่อซีเมนต์ และเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง
- 2) ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน จะมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเสียในส่วนผสม และจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง
- 3) การใช้ปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบเป็นวัสดุประสาน ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะสูงขึ้นตามปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม แต่จะมีค่าต่ำกว่าการใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน
- 4) จากการวิจัยครั้งนี้สรุปว่า ปูนขาวผสมซีเมนต์แก่กลบเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุประสานในการทำให้ตะกอนโลหะหนักแข็งตัวได้ดี มีอัตราการชะละลายต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก และมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปทำการกำจัดขั้นสุดท้ายโดยการฝังกลบได้ นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก

Loehr, Martin และ Neuhauser (1991) อ้างว่าได้มีผู้ทำการวิเคราะห์กากตะกอนน้ำมัน (Oily waste) จากบ่อทิ้งกากตะกอนน้ำมันแห่งหนึ่งในเมืองโอกลาโฮมา ซึ่งเมื่อหลายปีก่อนเป็นแหล่งทิ้งกากตะกอนน้ำมันของโรงกลั่นน้ำมันหลายแห่งในละแวกนั้น โดยพบว่า มีน้ำ 59% โดยน้ำหนัก ซีเมนต์ 26.9% โดยน้ำหนัก และ Grease & Oil 66 กรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบโลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก โปแตสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส โซเดียม นิเกิล ตะกั่ว สังกะสี ไททาเนียม และวาเนเดียม เป็นต้น

Claudio (1991) ได้ทำการศึกษากการทำให้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พอสโซแลนนิคซีเมนต์ และซีเมนต์กันเตาเป็นวัสดุประสาน ผลการทดลองสรุปว่า

- 1) กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ซีเมนต์ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจับโลหะที่เป็นพิษ เช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และโลหะอื่นๆ เช่น โครเมียม นิเกิล ทองแดง หรือสังกะสี
- 2) ปริมาณโลหะต่าง ๆ ในน้ำสกัด (ยกเว้น Al^{3+}) มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม

3) ส่วนผสมของตะกอนกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 90 วันขึ้นไป จะมีความแข็งแรง คล้ายกับคอนกรีตโครงสร้าง

Cheng และ Bishop (1992) ได้ทำการศึกษาการกระจายของโลหะหนัก ในก้อนซีเมนต์แข็ง ก่อนและภายหลังการทดสอบการชะละลาย โดยใช้กรดอะซิติก โดยก้อนแข็งจะถูกหล่อเป็นรูปทรงกลมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และภาคตะกอนโลหะหนักซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และอาร์เซนิก โดยโลหะหนักจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) Energy dispersive X-ray (EDX) และ WET digestion/AA Method จากผลการวิจัยพบว่า บริเวณผิวของตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยกรดอะซิติก กล่าวคือ แคลเซียมส่วนใหญ่ในองค์ประกอบของก้อนแข็งจะถูกชะละลายออกมา ในขณะที่ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียมยังคงเหลืออยู่ และสารดังกล่าวนี้ จะมีคุณสมบัติในการดูดซับและดูดติดผิวได้ดี ดังนั้น โลหะหนักที่ละลายออกไปจะถูกดูดติดผิวที่บริเวณชั้นผิวของก้อนตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยป้องกันการชะละลายของโลหะหนักไว้ได้

จากการวิเคราะห์โลหะหนักในก้อนตัวอย่าง พบว่า การชะละลายของโลหะหนัก จะเกิดเฉพาะที่บริเวณชั้นผิวเท่านั้น ส่วนปริมาณโลหะหนักในชั้นที่ไม่มีการชะละลาย ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงก่อนการทดสอบการชะละลาย

Bush และ Levine (1992) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการของเสียที่เกิดจากโรงกลั่นน้ำมันในสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 ถึงปี ค.ศ. 1988 โดยสำรวจข้อมูลจากโรงกลั่นทั้งสิ้น 176 โรงกลั่น พบว่าในปี ค.ศ.1987 และปี ค.ศ.1988 มีการใช้น้ำมันดิบไป 631 ล้านตัน และ 650 ล้านตันตามลำดับ โดยมีของเสียเกิดขึ้นทั้งหมดในปี ค.ศ. 1987 จำนวน 16.1 ล้านตันเปียก และ 16.7 ล้านตันเปียก ในปี ค.ศ.1988 สามารถแบ่งของเสียออกเป็นประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) ภาคตะกอนที่ปนเปื้อนน้ำมัน (Oily Sludges)
- 2) ดินที่ปนเปื้อน (Contaminated Soils)
- 3) สารเคมีที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมี (Spent Catalysts)
- 4) ของเสียที่มีลักษณะเหลว (Aqueous Waste)
- 5) ของเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีอื่นๆ (Chemical Wastes)
- 6) ของเสียอื่นๆ (Other Wastes)

โดยประมาณว่า มีตะกอนน้ำมันดิบเกิดขึ้นไม่ต่ำกว่าปีละ 300,000 ตันเปียก แต่เนื่องจากบางโรงกลั่นใช้วิธีกวาดเก็บน้ำมันดิบ ก่อนส่งเข้าหอกลั่น จะทำให้ภาคตะกอนน้ำมันดิบถูกผสมเข้าไปสู่กระบวนการกลั่น จึงถูกจัดให้เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกลั่นแทน

จากการศึกษายังพบว่าแนวทางในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้ ประมาณ 21% ถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycle), 31% ถูกนำไปบำบัดก่อน, 17% นำไปใช้วิธี Land Treatment และ 31% นำไปกำจัดขั้นสุดท้ายโดยไม่ผ่านการบำบัด

Galll และ Rebhun (1992) ได้ศึกษาถึงการจัดการของเสียของโรงกลั่นน้ำมัน แห่งหนึ่งที่ Haifa ประเทศอิสราเอล โดยได้แบ่งประเภทของเสียได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำเสีย และกากตะกอนที่มีน้ำมันปนเปื้อน

น้ำเสียที่ออกจากโรงกลั่นจะผ่านขั้นตอนการบำบัดหลายขั้น เช่น API-oil-water separators, Chemical flocculation, Dissolved air floatation, Biotreatment และ Lime clarification

ส่วนกากตะกอนยังแบ่งได้เป็น

1) กากตะกอนปูนขาว (Lime sludge) ซึ่งเกิดจากการใช้ปูนขาวในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

2) กากตะกอนน้ำมัน (Oily sludge) ซึ่งถูกเก็บกักไว้ในบ่อซีเมนต์ในโรงกลั่น เพื่อแยกเอาน้ำมันกลับไปใช้ได้ อีก เนื่องจากยังมีน้ำมันปนอยู่ประมาณ 20-50% กากตะกอน ส่วนนี้จะถูกส่งไปกำจัดโดยผสมรวมกับน้ำมันดิบ เพื่อป้อนให้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ที่อยู่ใกล้เคียง

Loehr และคณะ (1992) ได้ศึกษาถึงการบำบัดตะกอนน้ำมันโดยใช้ Land treatment โดยกล่าวว่า การบำบัดโดยใช้วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กับของเสียจากอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน และจากโรงงานผลิตอาหารมานานแล้ว โดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าหลายๆ วิธี

พื้นที่ที่ใช้บำบัด เป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่เคยใช้ทำเกษตรกรรมมาก่อน แต่ตอนนี้ ไม่ได้ใช้ประโยชน์มากกว่า 10 ปีแล้ว ดินมีลักษณะเหนียวและเหลว

จากการศึกษาพบว่าสามารถลดปริมาณ Grease & Oil ได้ถึง 75-80% และ ลดสารอินทรีย์จำพวก C_{12} - C_{26} alkanes, Naphthalenes และ Aromatics เช่น Fluorence, Phenanthrene, Pyrene ได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีข้อเสีย คือ เปลี่ยนแปลง pH และอุณหภูมิของดิน ทั้งยังเสี่ยงต่อการชะละลายโลหะหนักไปสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงได้อีกด้วย ดังนั้น จะต้องมียุทธศาสตร์ควบคุมดูแลและเลือกสถานที่ที่ใช้บำบัดด้วยความระมัดระวัง

Calvin R Brunner, (1993) ศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักที่ระเหยกลายเป็นก๊าซ เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในซีเมนต์จากผลการเผากากของเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนที่อุณหภูมิ 750° ฟ พบว่า

- อลูมิเนียม เหลืออยู่ในซีเมนต์ 57 เปอร์เซ็นต์ ระเหยไปเป็นไอ 43 เปอร์เซ็นต์
- อาร์เซนิก เหลืออยู่ในซีเมนต์ 30 เปอร์เซ็นต์ ระเหยไปเป็นไอ 70 เปอร์เซ็นต์

- แคดเมียม	เหลืออยู่ในซีเมนต์	31	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	69	เปอร์เซ็นต์
- โครเมียม	เหลืออยู่ในซีเมนต์	31	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	69	เปอร์เซ็นต์
- ทองแดง	เหลืออยู่ในซีเมนต์	47	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	53	เปอร์เซ็นต์
- ตะกั่ว	เหลืออยู่ในซีเมนต์	16	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	84	เปอร์เซ็นต์
- แมงกานีส	เหลืออยู่ในซีเมนต์	20	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	80	เปอร์เซ็นต์
- พรอท	เหลืออยู่ในซีเมนต์	0	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	100	เปอร์เซ็นต์
- นิกเกิล	เหลืออยู่ในซีเมนต์	30	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	70	เปอร์เซ็นต์
- สังกะสี	เหลืออยู่ในซีเมนต์	20	เปอร์เซ็นต์	ระเหยไปเป็นไอ	80	เปอร์เซ็นต์

จากผลดังกล่าวข้างต้น โลหะหนักที่ทำการศึกษามีเพียงโลหะปรอทเพียงชนิดเดียวที่เมื่อทำการเผาแล้วกลายเป็นไอระเหยหมดไม่เหลืออยู่ในซีเมนต์กันแต่เลย ส่วนโลหะหนักอื่นๆ มีเหลืออยู่ในซีเมนต์กันแต่และไอก๊าซที่ระบายออกจากเตาในสัดส่วนต่างๆ กันไป

สมาน ตั้งทองทวี (2537) กล่าวถึงแนวทางการจัดการของเสียจำพวกตะกอนน้ำมันลอย (oil scum) ตะกอนน้ำมันตกตะกอนได้ (oil sludge) หรือตะกอนจุลชีพจากการบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนตะกอนชั้น (bottom still) จากการกลั่น และตะกอนเลน (oil mud) ให้ได้มาตรฐานและปลอดภัย คือ

1) เผาด้วยเตามาตรฐานที่มีอุปกรณ์ป้องกันมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะโลหะหนักที่จะระเหยเป็นไอได้เมื่อถูกเผาที่ความร้อนสูง ทั้งยังต้องคำนึงถึงน้ำเสียจากเตาเผา เช่น น้ำชะเเอดหรือเขม่าควัน นำน้ำเสียไปบำบัดต่อ สำหรับซีเมนต์ที่เกิดขึ้นต้องนำมาทดสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย หากมีโลหะหนักเกินมาตรฐาน ต้องนำซีเมนต์มาทำเสถียรให้คงรูป ไม่ละลายน้ำด้วยการผสมปูนซีเมนต์หรือปูนขาวก่อนที่จะนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐาน

2) นำกากตะกอนน้ำมันมาผสมกับปูน และสารเพิ่มประสิทธิภาพบางอย่างจนตะกอนน้ำมันแข็งจับตัวกันเป็นก้อน จากนั้นบดเป็นผงเพื่อสะดวกในการส่งและดูแลความปลอดภัยเข้าบ่อนเตาไฟ เป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ นอกจากจะให้ความร้อนแล้ว เถ้าที่เกิดจากการเผาก็เป็นส่วนผสมของเนื้อปูนซีเมนต์ แต่การกำจัดกากตะกอนโดยวิธีนี้ต้องมีการควบคุมอัตราการผสมด้วยความระมัดระวังเพื่อมิให้มีสารปนเปื้อนในปูนซีเมนต์เกินมาตรฐานที่ยอมรับได้

Moo Been Chang และ Sheun-Rong Ku (1996) ทำการศึกษาเกี่ยวกับโลหะหนักในของเสียประเภทขยะชุมชน (Municipal solid wastes) ซึ่งถูกนำมาเผาด้วยเตาเผาขยะรวม 3 แห่ง ในประเทศไต้หวัน โดยทำการศึกษาละหะหนักในเถ้าลอย, ซีเมนต์กันแต่และก๊าซที่ปล่อยออกไป สรุปได้ว่า

1. จากการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณโลหะหนักในก๊าซที่ปล่อยจากปล่องระบายก๊าซ (Stack sampling) พบว่า อาร์เซนิก (As) และปรอท (Hg) เมื่อถูกความร้อนจากการเผาไหม้จะเปลี่ยนรูปเป็นไอก๊าซระเหยออกไปมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะหนักอื่นๆ ที่ทำการศึกษาคือ แคดเมียม, ตะกั่ว, โครเมียม, นิกเกิล, ทองแดง และสังกะสี นั้น จะกระจายตัวไปอยู่ในเถ้าลอย, ชี้เถ้าก้นเตาและก๊าซที่ระเหยออกไปในสัดส่วนเฉลี่ยต่างกันไป

2. โลหะหนักที่จับตัวและหลุดลอยไปกับเถ้าลอย มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคเถ้าลอย

3. ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในชี้เถ้าก้นเตามีปริมาณสัดส่วนที่สูงกว่าปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในเถ้าลอยและก๊าซที่ระบายออกไปมากกว่า 2-3 เท่า

สุวรรณ (2540) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำเสถียรกากตะกอนจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า โดยการนำกากตะกอนดิบมาเผา แล้วทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ และปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ผลการศึกษาสรุปว่า

1. กากตะกอนดิบเข้าข่ายเป็นของเสียที่เป็นอันตราย เนื่องจากกฎหมายระบุว่า น้ำมันเครื่องเก่าเข้าข่ายของเสียที่เป็นอันตราย ดังนั้น ของเสียจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า หรือชี้เถ้าหลังการเผา ก็น่าจะเข้าข่ายของเสียที่เป็นอันตรายด้วย

2. ปริมาณน้ำมันดิบและไขมันในกากตะกอนดิบ มีผลต่อการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน โดยน้ำมันและไขมันจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ โดยพบที่ไม่สามารถทำให้กากตะกอนดิบเป็นก้อนแข็งได้ ถึงแม้ว่าจะใช้วัสดุประสานมากถึงร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

3. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งมีประสิทธิภาพในการทำให้ชี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ และ 1,200° ซ เป็นก้อนแข็งได้ดีกว่าวัสดุประสานประเภทอื่นที่ใช้ในการศึกษา โดยพบว่าชี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ ใช้ที่สัดส่วนผสมประมาณร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า

4. ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) มีประสิทธิภาพในการทำให้ชี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800° ซ เป็นก้อนแข็งได้ดีกว่าวัสดุประสานประเภทอื่นที่ใช้ในการศึกษา โดยชี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800° ซ ใช้ที่สัดส่วนผสมประมาณร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

5. ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างสูงขึ้น และผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดลดลง

นอกจากนี้ยังสรุปว่า ควรเลือกใช้วิธีการกำจัดกากตะกอนดิบด้วยการนำกากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ จนได้ซีเถ้า จากนั้นจึงนำมาทำเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่สัดส่วนผสมร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักเถ้า