

บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste)

ของเสียที่เป็นอันตราย(Hazardous Waste) ตามคำจำกัดความของกรมควบคุมมลพิษ หมายถึง ของเสียหรือสิ่งที่เป็นอันตรายที่เจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้น หรือคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี หรืออื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วยทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิด หรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสม ในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด ที่เหมาะสม

โดยทั่วไปแล้ว คุณสมบัติที่กำหนดว่าของเสียที่เป็นอันตรายได้แก่ สารไวไฟ สารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย สารกัมมันตรังสี สารที่เป็นพิษ และสารที่ติดเชื้อง่าย(U.S.EPA, 1978 อ้างถึงใน Projasek, 1979)

โลหะหนักหลายชนิด ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในกิจการอุตสาหกรรมต่างๆ และจัดเป็นโลหะที่มีพิษได้แก่ แบริลเรียม(Be) แคดเมียม(Cd) โครเมียม(Cr) ทองแดง(Cu) นิกเกิล(Ni) ตะกั่ว(Pb) สังกะสี(Zn) เงิน(Ag) อาร์เซนิก(As) แอนติโมนี(Sb) เซเลเนียม(Se) แทลเลียม(Th) ปรอท(Hg) (Projasek, 1979) หากของเสียจากกระบวนการอุตสาหกรรมที่มีการใช้โลหะหนักเหล่านี้ มักจะมีโลหะหนักเจือปนซึ่งอาจเข้าข่ายเป็นของเสียที่เป็นอันตราย

โลหะหนักบางชนิดเช่น ปรอท แคดเมียม อาร์เซนิก ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีพิษถาวร คือไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา และยังสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย น้ำเสีย หรือตะกอนเพื่อป้องกันไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่วัฏจักรของน้ำหรือผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร(Srivastava, 1989)

3.2 โลหะหนัก

คุณสมบัติของโลหะหนัก

โลหะหนักหมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอม(Atomic Number) อยู่ระหว่าง 23 - 92 ภายในคาบที่ 4 -7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง ที่อุณหภูมิปกติ(ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และ ความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสงได้ดี เหนียวนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชัน (Oxidation Number) ได้หลายค่า

โลหะหนัก สามารถรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อน(Complex Compound)ได้ หลายรูปแบบที่เสถียรมากกว่าโลหะอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ(Organometallic Compound)ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร(Food Chain) ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อมีการสะสมในร่างกายมนุษย์ อาจมีผลให้พิการหรือเสียชีวิตได้

ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิด และตัวอย่างของโรคที่เกิดจากโลหะหนัก

1) ปรอท(Mercury)

ปรอทจัดเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูงที่สุด สารปรอทและสารประกอบปรอทแม้เพียงความเข้มข้นขั้นต่ำ ก่อให้เกิดโรคอันตรายร้ายแรงเช่นโรคมินามาตะ โรคกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย สูญเสียการมองเห็น ระบบการทำงานของสมองเสื่อม และเป็นอัมพาต ในรายที่ได้รับสารเป็นจำนวนมากอาจเสียชีวิต (Forstner, 1981 อ้างถึงใน Fujiki, 1972)

2) แคดเมียม(Cadmium)

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีพิษรองลงมาจากปรอท ทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากพิษเรื้อรังของแคดเมียม

ระยะพักตัวของความเป็นพิษของแคดเมียมอยู่ในช่วง 5-10 ปี ผู้ป่วยจะแสดงอาการฟันเหลือง สูญเสียความรู้สึกในการยืม ปากแห้ง ทำให้ไขกระดูกเสื่อม เดินไม่ได้(Forstner, 1981 อ้างถึงใน Friberg et al.,1974)

3) โครเมียม(Chromium)

การสูดดมฝุ่นที่มีโครเมียมเข้าไป จะมีผลให้ระบบทางเดินหายใจทำงานผิดปกติทำให้เกิดโรค มะเร็งภายในปอด ในประเทศญี่ปุ่น ช่วงปี 1960

4) อาร์เซนิก(Arsenic)

การบริโภคน้ำที่มีอาร์เซนิกเจือปนอยู่ในระดับความเข้มข้นสูง เป็นระยะเวลานานจะทำให้เนื้อ เยื่อของลำไส้ ผิวหนัง ตับ และประสาทถูกทำลาย การบริโภคน้ำที่อาร์เซนิกเจือปนอยู่ 0.3 - 0.6 mg/l เป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง(Forstner, 1981 อ้างถึงใน Friberg et.al.,1979)

5) ตะกั่ว(Lead)

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย โดยเฉพาะกับเด็กที่อาศัยอยู่ในอาคารเก่าชำรุด เนื่องจากเด็กมัก ชอบกลืนกินสารซึ่งมีโซอาหารเข้าไป เช่น ตะกั่วที่ผสมอยู่ในสีทาอาคาร หรือปูนพลาสติก สารตะกั่วนี้ จะไปทำลายสมอง ประสาทสั่งการบกพร่อง อาจถึงขั้นเสียชีวิต

อาการที่แสดงถึงความเป็นพิษของสารตะกั่วในระยะยาวได้แก่อาการของโรคไตอักเสบ (Nephritis)

3.3 การผลิตโลหะตะกั่วแท่ง

3.3.1 การผลิตของโรงงาน ห.จ.ก.เลียงฮวดหล่อหลอมโลหะ จ.สมุทรปราการ

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ตะกั่วแท่ง	
กำลังการผลิตเฉลี่ย	300 – 400	ตัน / เดือน
ความสามารถสูงสุดของการผลิต	600	ตัน / เดือน
ปริมาณกากตะกั่วที่เกิดขึ้น	250 – 350	ตัน / เดือน

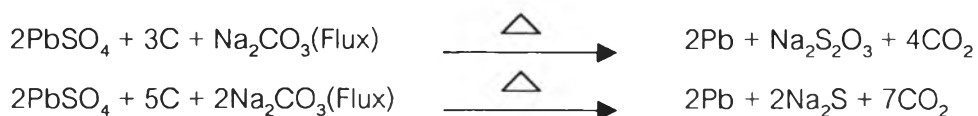
3.3.2 วัตถุดิบ

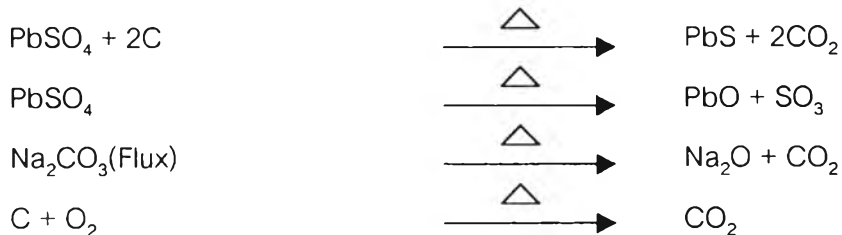
แบดเตอรีเก่า	500 - 600	ตัน / เดือน
ถ่านโค้ก	80 - 100	ตัน / เดือน

3.3.3 กรรมวิธีการผลิตโลหะตะกั่วแท่ง โดยใช้เตาหลอมแบบตั้ง และการเกิดกากตะกั่ว

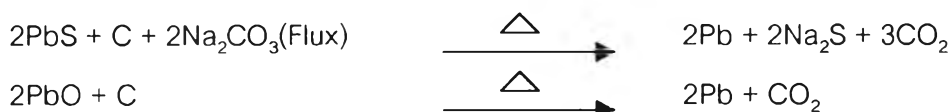
เป็นการหลอมตะกั่วแท่งจากแบดเตอรีที่ใช้แล้ว โดยใช้กระบวนการหลอมที่ใช้โซดาแอช (Sodium Carbonate, Na_2CO_3) เป็นฟลักซ์ เตาหลอมที่ใช้ได้แก่เตาหลอมแบบเตาตั้ง (Blast Furnace) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ซม. สูง 623 ซม. ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงในการหลอม และผสมปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนตกับแผ่นแบดเตอรี เพื่อลดความเป็นกรดและลดความหนืดของตะกั่ว (Slag) เพื่อให้มีตะกั่วเจือปนในตะกั่วแท่งน้อย เนื่องจากตะกั่วในแบดเตอรีจะมีบางส่วนอยู่ในรูปของ ตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) จึงจำเป็นต้องกำจัดซัลเฟอร์ออกให้ได้ตะกั่วออกไซด์ เพื่อเกิดปฏิกิริยาในการ หลอมได้ตะกั่วบริสุทธิ์ต่อไป

การหลอมโดยใช้สารโซเดียมคาร์บอเนตเป็นฟลักซ์ช่วยในการดึงซัลเฟอร์ออกจากตะกั่ว และลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการหลอม นอกจากนี้ตะกั่วซัลเฟตจะถูกลดออกซิเจนด้วยถ่านโค้ก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้





ตะกั่วซัลไฟด์และตะกั่วออกไซด์ จะถูกลดซัลเฟอร์และออกซิเจนต่อ โดยถ่านโค้กและโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3 , Flux) เป็นตะกั่วบริสุทธิ์ดังปฏิกิริยา

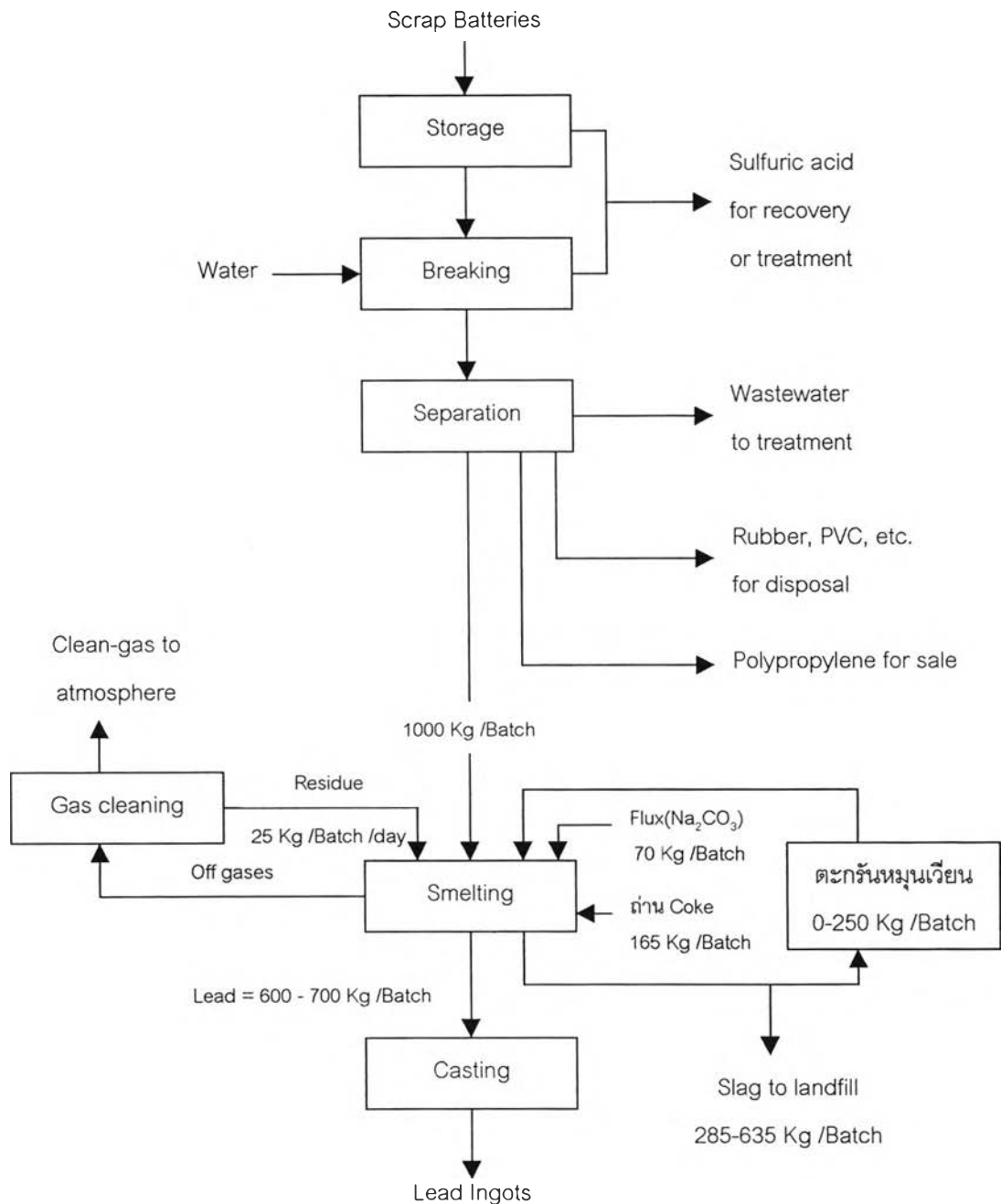


บางครั้งอาจมีการเติมเศษเหล็กลงไปเพื่อช่วยดึงซัลเฟอร์ออกจากตะกั่วซัลไฟด์อีกด้วย ปฏิกิริยาเป็นดังสมการ



เมื่อตะกั่วละลายจะแยกและจมลงสู่ด้านล่างของเตาเพราะมีความถ่วงจำเพาะสูง จากปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า โซเดียมคาร์บอเนตจะรีดิวซ์ตะกั่วซัลไฟด์ให้เป็นตะกั่ว และให้สารประกอบของเกลือโซเดียมหลายชนิด ส่วนใหญ่จะเป็น Na_2S และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ โดยอาจมี Na_2SO_4 และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ เจือปนอยู่ด้วย ปฏิกิริยาของเหล็กที่เติมลงไปจะเป็นเช่นเดียวกับโซดาแอช โดยจะไปรีดิวซ์ตะกั่วซัลไฟด์ให้เป็นตะกั่ว(Pb)

แผนภาพแสดงกรรมวิธีการผลิตโลหะตะกั่วแท่งโดยใช้ เตาหลอมแบบตั้ง และใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นฟลักซ์ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1

แผนภาพแสดงกรรมวิธีการผลิตโลหะตะกั่วแท่ง โดยใช้เตาหลอมแบบตั้ง และใช้ Na_2CO_3 เป็นฟลักซ์

3.3.4 ส่วนประกอบทางเคมีของกากตะกอน จากเตาหลอมตะกั่ว

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการหลอมแผ่นตะกั่วที่ใช้แล้ว จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อนแข็ง สีเทา และมีมันวาวเคลือบผิววนอก องค์ประกอบของกากของเสีย แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

สาร	ปริมาณองค์ประกอบ (%)
ตะกั่ว	54.0
พลวง	2.76
เหล็ก	0.99
ซิลิกอน	8.21
อลูมิเนียม	2.76
อื่น ๆ เช่น ถ่านcoke	31.28

(ที่มา:จากรายงานการศึกษาวางแผนการจัดการกากของเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ใช้แล้ว:กระทรวงอุตสาหกรรม)

ปัจจุบันการจัดการกากของเสียที่เกิดขึ้นของโรงงาน จะใช้วิธีเก็บกองรวบรวมไว้ภายในอาคาร ที่มีหลังคาปิดในบริเวณโรงงาน

3.3.5 ปัญหา และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากเตาหลอมตะกั่ว

กากตะกอนที่เกิดขึ้นในการหลอมด้วย ถ่านโค้กและโซดาแอส ประกอบด้วย แก๊สซัลไฟด์และออกไซด์ของโซเดียมเหล็กและตะกั่ว อาจมีส่วนประกอบของ Silica, Alumina และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ เจือปนอยู่ด้วย รวมทั้งถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด

กากตะกอนแบ่งได้ 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่า โซเดียมแมท(Sodium sulphide Containing matte) ประกอบด้วย Na_2S , FeS และ PbS อีกส่วนหนึ่งเป็นกากตะกอนของออกไซด์(Slag) ประกอบ

ด้วย Na_2O และ SiO_2 ทั้งโซเดียมแมทและกากตะกอนจะอยู่รวมกันเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่แยกชั้น (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 กากตะกอน จากโรงหลอมแบดเตอรีเก่า

ปัจจุบันการจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นจะใช้วิธีการกองรวบรวมไว้ภายในอาคารที่มีหลังคาปิด ในบริเวณโรงงาน สารประกอบทั้งหมดของกากตะกอนส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี และมีสมบัติเป็นสารดูดความชื้น ดังนั้นกากตะกอนที่ได้จึงไม่อยู่ตัวและทำปฏิกิริยากับความชื้นและออกซิเจนในอากาศ เกิด NaOH และ SO_2 ขึ้นอีก

เนื่องจากคุณสมบัติของกากตะกอนชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี และมีตะกั่วเจือปนอยู่สูง จึงจัดว่ากากตะกอนชนิดนี้เป็น กากของเสียอันตราย(Hazardous Waste) ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการบำบัดเพื่อลดการชะละลายของตะกั่ว หรือการกำจัดสารประกอบที่ละลายน้ำได้ออกจากกากตะกอน แล้วแยกเอาส่วนประกอบที่เป็นตะกั่วมาทำให้เสถียรหรือทำลายฤทธิ์ก่อน แล้วจึงทำให้อยู่ในสภาพเป็นก้อนแข็ง (Solidification) แล้วนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบยังหลุมฝังกลบที่ออกแบบสำหรับกากตะกอนชนิดนี้ (Specially designed landfill site) โดยเฉพาะ

3.4 การบำบัด และ กำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

โดยทั่วไปมีการจำแนกของเสียอันตรายเป็น 7 กลุ่มคือ 1.Oily wastes 2.ตัวทำละลาย (Solvents) 3.ยาฆ่าแมลง(Pesticides) 4.กรด(Acid) 5.ด่าง(Alkali) 6.โลหะหนัก(Heavy Metals) และ 7.กลุ่มเฉพาะเจาะจง(Special) (เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ โรงงาน, ฉบับ ก.พ. - พ.ค. 2539)

ซึ่งแต่ละกลุ่มมีหลักการกำจัดทำลายที่แตกต่างกัน

ก. การบำบัดทางกายภาพ(Physical Treatment)

การกำจัดทางกายภาพ เป็นการแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันซึ่งประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การเหวี่ยงโดยแรงหนีศูนย์กลาง การร่อนน้ำออกด้วยเครื่องมือทางกล หรือด้วยความดัน การดูดซับด้วยคาร์บอน การตกตะกอน

เหมาะกับการบำบัดของเสียพวกสารอินทรีย์

ข. การบำบัดทางเคมี(Chemical Treatment)

การบำบัดทางเคมีเป็นวิธีการทำลายฤทธิ์ของเสียที่เป็นอันตราย ซึ่งประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การบำบัดด้วยวิธีออกซิเดชัน การบำบัดด้วยวิธีรีดักชัน การตกตะกอนผลึก การแลกเปลี่ยนประจุ

ค. การบำบัดทางชีวภาพ(Biological Treatment)

กากตะกอนอินทรีย์ ซึ่งมีโลหะหนักบางชนิด สามารถใช้การบำบัดทางชีวภาพได้ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ แอคติเวทเต็ดสลัดจ์ การย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค การทำปุ๋ย

ง. การบำบัดด้วยความร้อน(Thermal Treatment)

การใช้ความร้อนในการบำบัดของเสียอันตรายที่เป็นสารอินทรีย์ เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนา และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป การออกแบบเตาเผาอย่างเหมาะสม นอกจากจะมีประสิทธิภาพ ในการบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายแล้ว ยังสามารถนำความร้อนมาใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้จะต้องมีการติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ

3.5 การทำของเสียที่เป็นอันตรายให้เป็นก้อน(Solidification of Hazardous Wastes)

3.5.1 คำจำกัดความของการทำให้เป็นก้อน

การทำให้แข็งตัวเป็นก้อน (Solidification) หมายถึง กระบวนการในการทำให้ของเสียที่เป็นของเหลวหรือตะกอน(Sludge)แข็งตัวคงรูปเป็นก้อน โดยการผสมกับวัสดุประสาน(Binder) ของเสีย และวัสดุประสานจะทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน ยังผลให้ของเสียนั้นแข็งตัวเป็นก้อน ทำให้มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและขนส่ง

การทำเสถียร(Stabilization) หมายถึง กระบวนการในการทำลายฤทธิ์หรือลดความเป็นพิษของของเสียที่เป็นอันตราย โดยทำให้ของเสียที่เป็นอันตรายนั้นมีการเปลี่ยนรูปทางเคมี ทั้งนี้อาจอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลาย ความเป็นพิษจะถูกจับยึดไว้ในโครงสร้างผลึกที่คงตัว โดยปกติแล้วในระหว่างกระบวนการการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนนั้นมักจะเกิดกระบวนการทำให้มีเสถียรภาพขึ้นพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารพิษจะถูกเปลี่ยนรูปให้มีความคงตัวมากขึ้น และถูกกักไว้ในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนมวลที่แข็งตัว

การทำลายฤทธิ์ของของเสียที่เป็นอันตราย โดยการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนนั้นเป็นวิธีการในการทำให้ของเสียที่เป็นอันตราย มีคุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีเหมาะสมในการกำจัดโดยวิธีฝังกลบต่อไป

3.5.2 กระบวนการ การทำให้เป็นก้อน

วิธีการทำลายฤทธิ์โดยการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของของเสียและวัสดุที่ใช้ดังนี้

1) การจับยึดความเป็นพิษด้วยวัสดุสารอนินทรีย์(Inorganic Fixation) มีความเหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอนินทรีย์ที่มีประจุบวก(Cation)

2) การเก็บกักความเป็นพิษด้วยวัสดุสารอินทรีย์(Organic Encapsulation) มีความเหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ และของเสียอนินทรีย์ประจุลบ(Anion)

ได้มีการนำเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ มาใช้ในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของของเสีย นั้น ๆ ว่ามีความเหมาะสมกับวิธีใด เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ได้ดี และประหยัดค่าใช้จ่าย

กระบวนการทำให้เป็นก้อน มีการใช้วิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1) วิธีการใช้ปูนซีเมนต์ (Cement - based Techniques)

ของเสียจะถูกผสมลงไปในซีเมนต์ น้ำ และส่วนผสมอย่างอื่น และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์

2) วิธีการใช้ปูนขาว (Lime - base Techniques)

ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาว และวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลานเช่น แฉะลอย ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แห้งตัว

3) วิธีเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Techniques) โดยการใช้วัสดุประเภท บิทูเมน พาราฟิน หรือ โพลีเอทิลีน

นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen, Paraffin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว

4) วิธีการใช้อร์แกนิกโพลีเมอร์ (Organic Polymers)

ของเสียในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารโพลีเมอร์ (Gelli Agents หรือ Urea Formaldehyde) และเติมอะตอมให้เข้ากันก่อนที่สารโพลีเมอร์แข็งตัว

5) วิธีเอนแคปซูลเลชัน (Encapsulation Techniques)

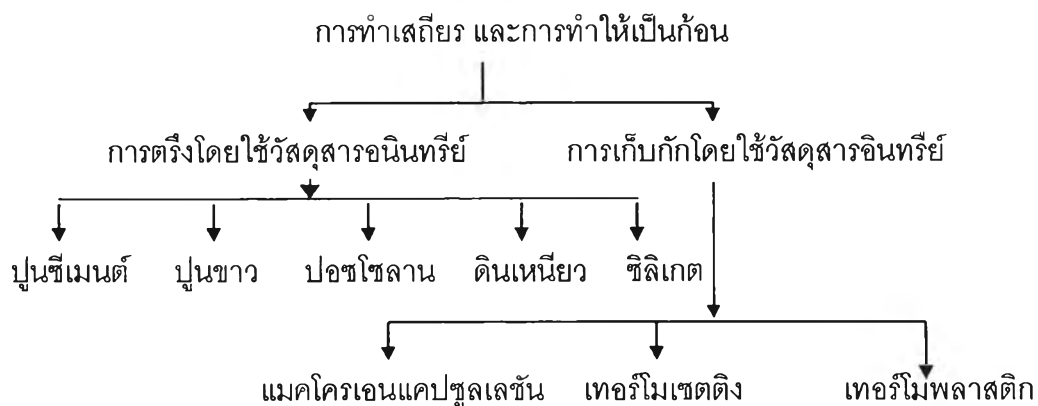
ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่น แล้วเคลือบผิวของของเสียที่ถูกอัดด้วยสารเชื่อม เช่น Polyethylene หรือ Organic Resins

6) วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติ แข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self - Cementing Techniques)

สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซิลเฟต และแคลเซียมซิลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย และมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย

7) วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification)

สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้ว หรือ Synthetic Silicate Mineral เพื่อป้องกันการไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไปโดยไม่ต้องมีกระบวนการหุ้มหรือบรรจุครั้งที่ 2



รูปที่ 3.3 เป็นการแสดงกระบวนการทำให้แข็งเป็นก้อน แยกตามประเภทวัสดุที่ใช้

3.5.3 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์(Solidification and Stabilization by Cement - based Techniques)

การทำให้แข็งตัวเป็นก้อนโดยการใช้วัสดุซีเมนต์ โดยมากจะใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดา และปูนขาวเป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้อาจมีการใช้วัสดุปรุงแต่ง(Additive)บางประเภท เช่น แก้วลอย ลิกไนต์ ซิลิกาเกต ซัลไฟด์ เป็นต้น เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำให้แข็งตัวและยึดจับความเป็นพิษ

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จะทำให้เกิดสภาพความเป็นด่างสูงมาก ยังผลให้โลหะหนักในของเสียเปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซิลิเกต ซึ่งมีอัตราการละลายต่ำและถูกจับติดอยู่ภายในรูพรุนของเนื้อซีเมนต์

ข้อดี-ข้อเสีย การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

ข้อดี

1. สารที่เติมในส่วนผสมสามารถหาได้ง่าย
2. เทคนิคการผสมซีเมนต์ไม่ยุ่งยาก
3. วิธีการนี้สามารถทนต่อสารเคมีหลายชนิดในตะกอนของแข็งได้เป็นอย่างดี
4. เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการมีอยู่ทั่วไปหาได้ง่าย
5. ความแข็งแรง และความสามารถให้น้ำซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแข็งตัวสามารถปรับได้โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ที่เติมลงในของเสีย
6. วัสดุที่ใช้มีราคาถูก

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดที่จะทำลายกลไกการแข็งตัวของซีเมนต์
2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถถูกชะละลายได้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ
3. การเพิ่มน้ำหนักของของเสียโดยการหล่อด้วยซีเมนต์จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียไปกำจัดเพิ่มขึ้น

กลไกในการทำลายฤทธิ์ของการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน โดยการใช้วัสดุซีเมนต์

การทำให้ของเสียที่เป็นอันตรายแข็งตัวเป็นก้อนนั้นจะเป็นการทำลายฤทธิ์ และลดความเป็นพิษลง โดยมีกลไกการทำลายฤทธิ์ดังนี้

- 1) เป็นการเจือจาง(Dilution) ความเป็นพิษลงเนื่องจากการเติมวัสดุประสานลงในของเสีย
- 2) ความเป็นต่างของซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักในของเสียเกิดเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีอัตราการละลายต่ำ
- 3) เกิดปฏิกิริยาดูดติดผิว (Adsorption)ระหว่างโลหะหนักกับซีเมนต์
- 4) โลหะหนักถูกจับยึดไว้ระหว่างช่องว่างของมวลซีเมนต์
- 5) การทำให้เป็นก้อนเป็นการลดพื้นที่ผิวของของเสียยังผลมีพื้นที่สัมผัสกับน้ำน้อยลง ซึ่งทำให้มีการละลายน้อยลง

3.6 ปูนซีเมนต์

ซีเมนต์ หมายถึงวัสดุที่ใช้ประสาน มีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวอนุภาค หรือ วัสดุชิ้นเล็ก ๆ ให้จับตัวกันเป็นก้อนแข็งได้

ซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. Non Hydraulic Cements หมายถึง ซีเมนต์ชนิดที่ไม่สามารถก่อตัว หรือแข็งตัวในน้ำ ตลอดจนไม่มีความคงตัว(Stable)ในน้ำ เช่น ปูนพลาสติกเตอร์
2. Hydraulic Cements หมายถึงซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัวได้ในน้ำ คงตัวในน้ำ เช่น ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จัดเป็น Hydraulic Cement ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน(American Standards of Testing Material,ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทดังนี้

ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา(Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาไม่อยู่ในสภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ เป็นต้น

ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง(Modified Portland Cement)ใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างใด ๆ ที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานเขื่อนคอนกรีต ตอม่อสะพาน เป็นต้น

ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว(High - Early-Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก ใช้ในงานก่อสร้างหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการรับกำลังอัดได้เร็ว เช่น งานเสาเข็ม คาน พื้นที่ที่ต้องการถอดแบบเร็ว เป็นต้น

ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ(Low - Heat - Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ใช้ในงานคอนกรีตหยาบ เช่น เขื่อน ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เกิดความร้อนสะสมมาก

ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง(Sulfate - Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ทนทานซัลเฟตได้สูง ใช้สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น ในน้ำหรือดินที่มีค่าสูง มีระยะเวลาในการแข็งตัวช้ากว่าประเภท 1

องค์ประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในรูปของออกไซด์ และในรูปสารประกอบ แสดงด้วยตารางที่3.2

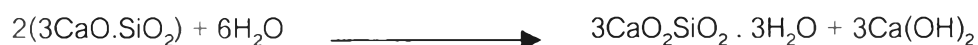
ตารางที่3.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบ	ร้อยละ
1. ออกไซด์ของธาตุๆ	
แคลเซียมออกไซด์(CaO)	60 – 65
ซิลิกา(SiO ₂)	20 – 24
อลูมินา(Al ₂ O ₃)	4 – 8
เหล็กออกไซด์(Fe ₂ O ₃)	2 – 5
2. องค์ประกอบในรูปสารประกอบ	
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO.SiO ₂)	49
ไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO.SiO ₂)	25
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO.Al ₂ O ₃)	12
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	8

(วินิต ช่อวิเชียร, 2529)

3.7 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำเรียกว่า Cement Paste ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกริยาไฮเดรชัน(Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียวและจับตัวกันแน่นเป็นก้อนแข็ง ออกไซด์ในปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกริยาไฮเดรชันกับน้ำจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไฮเดรท โดยปฏิกริยาเกิดขึ้นดังนี้



ความเป็นต่างที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงความจุฟเฟออร์ของซีเมนต์ เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 100 mg /l. และความเป็นกรด-ต่าง(pH)มากกว่า 11 ผลึกแคลเซียมซิลิเกตที่ไม่ละลายจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างซีเมนต์

ซีเมนต์เพสต์ที่มีความเป็นต่างสูง ประกอบด้วยซิลิกาและพื้นผิวออกซิไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึกของโลหะและปฏิกิริยาในการดูดติดผิวของโลหะ

3.8 ปูนขาว

ปูนขาวเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูนจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกมา ประเภทของปูนขาวขึ้นกับส่วนประกอบของหินปูนและขั้นตอนการเผา ถ้าทำการเผาหินปูนอย่างสมบูรณ์จะได้ปูนขาวดิบ(Quick Lime) เมื่อได้รับความชื้นองค์ประกอบออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำกลายเป็นรูปของไฮดรอกไซด์ซึ่งเรียกว่าปูนขาวสุก(Hydrated Lime) ปูนขาวดิบตามท้องตลาดมีส่วนประกอบแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 61.6 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 24 สำหรับปูนขาวสุกมีเฉพาะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 81.6

3.9 โซเดียมซัลไฟด์

โซเดียมซัลไฟด์(Sodium Sulphide ; Na_2S) เป็นสารเคมีที่ใช้เป็นสารรีดิวซิ่ง(Reducing Agent) มีสูตรทางเคมีอยู่ 2 แบบคือ Na_2S และ $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งมีความแตกต่างกันในเรื่องรูปลักษณะคือ $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ นั้นจะมีลักษณะเป็นผลึกมีความถ่วงจำเพาะ 1.427 ส่วน Na_2S จะเป็นของแข็งสีเหลืองหรือสีอิฐมีความถ่วงจำเพาะ 1.856

$\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ สลายตัวที่อุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส เมื่อสลายตัวในน้ำจะเกิดเป็นโซเดียมแฮลไดรด์และโซดาไฟ

เนื่องจากสารตัวนี้เมื่อละลายในน้ำจะแตกตัวให้ S^{2-} จึงใช้ในการจับกับโลหะหนักที่ละลาย ออกมากับน้ำในขั้นตอนการผสมวัสดุประสานกับกากตะกอน เพื่อให้โลหะหนักสามารถจับตัวอยู่กับ ก้อนวัสดุประสานมากขึ้น

3.10 การตรวจสอบคุณสมบัติของของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่ากำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)
- 2) ความหนาแน่น(Density)
- 3) ปริมาณสารพิษที่ถูกชะละลายออกมา(Leachate)

วิธีการทดสอบการชะละลาย

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีสกัดตามวิธีในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ.2540) ซึ่งได้ กำหนดวิธีการสกัดสาร(Leachate Extraction Procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้น ของสารอันตรายในน้ำสกัด(Leachant หรือ Extraction Fluid) ดังนี้

- 1) บดตัวอย่างให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
- 2) นำตัวอย่างที่ได้จาก 1) หนัก 25 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด(Leachate) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์(Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่างพีเอช(pH)ของส่วนผสม(Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้ อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า(มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก(กรัม) ของตัวอย่าง
- 3) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
- 4) กรองสารละลายจากการสกัด(Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

- 5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้ง

3.11 เกณฑ์มาตรฐานในการระบุคุณสมบัติของของเสียที่เป็นอันตราย

กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 โดยระบุว่า สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งมีวัตถุมีพิษเจือปน เข้าข่ายต้องขออนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทำลายฤทธิ์และฝังกลบ โดยระบุคุณสมบัติของกากของเสียตามบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงนี้

ตามบัญชีแนบท้ายได้จำแนกเป็นสารไวไฟ สารกัดกร่อน สารเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย สารมีพิษอื่นๆ ตัวทำลายต่างๆ ตามรายชื่อและกากตะกอนตามประเภทหรือชนิดโรงงาน

การกำหนดคุณสมบัติของสารมีพิษอื่นๆ กำหนดโดยนำสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาทำการสกัดสารด้วยวิธีการสกัดสารและมีประมาณโลหะหนักในน้ำสกัดค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

อาร์เซนิก	มากกว่า	5	มก./ ล.
แบเรียม	มากกว่า	100	มก./ ล.
แคดเมียม	มากกว่า	1	มก./ ล.
โครเมียม	มากกว่า	5	มก./ ล.
ตะกั่ว	มากกว่า	5	มก./ ล.
ปรอท	มากกว่า	0.2	มก./ ล.
ซีลีเนียม	มากกว่า	1	มก./ ล.
เงิน	มากกว่า	5	มก./ ล.

3.12 คุณสมบัติการกักของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม(พ.ศ. 2540) กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณสมบัติการกักของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ. 2540) ดังนี้

1. สามารถรับแรงอัด(Unconfined Compressive Strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ(Secure Landfill) ได้อย่างปลอดภัย
2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด(Leachant หรือ Extraction Fluid) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในการสกัดสาร(Leachate Extraction Procedure) คือ

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.

3.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด ได้จัดทำรายงานการศึกษาวางแผนการจัดการกากของเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยปูนขาว เพื่อทำเสถียรกากตะกั่วก่อน แล้วจึงนำไปฝังกลบ โดยกากตะกั่วที่ใช้การศึกษาเป็นกากตะกั่วจากการหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่าของโรงงาน เล้าไทยเจริญ จ. ราชบุรี

ผลการศึกษารูปได้ดังนี้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากของเสียพบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ถึง 69.6% พลวง 2.18% เหล็ก 0.54% ซิลิกอน 1.99% อลูมิเนียม 0.21% และส่วนประกอบอื่น ๆ อีก 25.48% ในกรณีนี้จากการศึกษาได้ใช้วิธีการทำลายฤทธิ์ของตะกั่ว ด้วยการใช้น้ำปูนขาวและน้ำผสมกับกากของเสียในอัตราส่วน 1:1 และนำไปผสมภายในโมบที่ใช้ผสมคอนกรีตขนาด 1.5 ลบ.ม. ควบคุมให้ค่า pH ของของผสมมีค่าประมาณ 11 เพื่อให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ ตกตะกอนลงมาเป็นก้อนแข็งแล้วนำไปฝังกลบ มีการติดตามตรวจสอบผลการดำเนินงานสถานที่ฝังกลบตลอดเวลา โดยจัดสร้างบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำใต้ดินใน 2 บริเวณคือ เหนือน้ำก่อนที่น้ำบาดาลไหลผ่านสถานที่ฝังกลบ และบริเวณท้ายน้ำเมื่อน้ำบาดาลไหลผ่านที่ฝังกลบแล้วที่ความลึก 6.2 เมตรจากระดับผิวดิน โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้งต่อปี โดยปริมาณสูงสุดของตะกั่วที่เกิดขึ้นในน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้เคียงมีค่าเป็นไปตามค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำใต้ดินที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 0.05 mg /l.

BISHOP(988) ได้ศึกษาการชะละลายโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์ โดยใช้ของเสียสังเคราะห์เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ผลการศึกษาพบว่าลักษณะการชะละลายของโครเมียม และตะกั่วมีรูปแบบของการชะละลายคล้ายคลึงกับการชะละลายของซิลิกอน ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงเชื่อว่าโครเมียม และตะกั่วถูกจับยึดไว้ในโครงสร้างของปูนซีเมนต์

ลักษณะการชะละลายของแคดเมียมจะคล้ายคลึงกับค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมา จึงสันนิษฐานได้ว่าแคดเมียมจะอยู่ในรูพรุน โดยเกาะติดตามผนังรูพรุนของก้อนของเสียที่แข็งตัวในรูปของแคดเมียมไฮดรอกไซด์

JAGGI(1988) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุประสานประเภทวัสดุซีเมนต์ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์แกเลบ ผงซีเมนต์ในเตา(Cement Kiln Dust) ในการทำให้กากของเสียอันตรายคงสภาพโดยการทำให้แข็งตัว กากของเสียอันตรายที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

1) กากของเสียอันตรายจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งมีแคดเมียมและตะกั่วเจือปน

2) กากของเสียอันตรายประเภทอินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตยาฆ่าแมลงซึ่งมีสารอัลดริน(Aldrin)เจือปน

เมื่อทำการตรวจวัดค่าอัตราการชะละลายของสารพิษ และค่าความสามารถในการรับแรงอัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัสดุประสานแต่ละประเภท ผลสรุปได้ดังนี้

- อัตราการชะละลายจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของกากของเสียในก้อนตัวอย่างและอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของก้อนตัวอย่าง แต่จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่าpHแรกเริ่มของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสาร
- ค่าความสามารถในการรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นหากใช้ปริมาณสารพิษน้อยลง และจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกากของเสียอินทรีย์ สำหรับกากของเสียอินทรีย์ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.35
- การใช้ซีเมนต์แกเลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน1:1 จะทำให้กากของเสียจากโรงงานชุบโลหะคงสภาพได้ดีที่สุด
- ผงปูนซีเมนต์กันเตา(Cement Kiln Dust)เป็นวัสดุประสานจะทำให้ค่าการชะละลายต่ำที่สุด และมีความสามารถรับแรงอัดพอเพียงสำหรับการบำบัดกากของเสียจากยาฆ่าแมลง

RIJAL(1990) ได้ทำการศึกษาในการทำให้ตะกอนน้ำเสียจากห้องทดลองแข็งตัวและคงสภาพ ไม่มีการเคลื่อนตัวของโลหะหนัก(CrและZn) โดยการใช้วัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสานได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์แก้ว(อัตราส่วน1:1) โดยทำการผสม ตะกอนกับวัสดุประสานผสมทราย(1:2)ที่สัดส่วนผสมต่างๆกัน ให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ0.5 สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และเท่ากับ0.65 สำหรับปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แก้ว

การประเมินประสิทธิภาพในการจับโลหะหนักไว้ในก้อนตัวอย่างของวัสดุประสานแต่ละชนิด จะทำการทดสอบค่าอัตราการชะละลายและค่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ตัวแปรต่างๆ ผลสรุปได้ดังนี้

- ค่าความสามารถรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะลดลงตามปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม
- ค่าอัตราการชะละลายจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสาน
- การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีความสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แก้วทุกตัวอย่าง
- ค่าอัตราการชะละลายของโครเมียมในก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แก้วที่อัตราส่วนของตะกอนต่อวัสดุประสานต่ำกว่า0.2 แต่ที่อัตราส่วนตะกอนต่อวัสดุประสานสูงกว่า0.5ตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานจะให้ค่าการชะละลายโครเมียมสูงกว่า

CLAUDI(1991) ได้ทำการศึกษาการทำให้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พอซโซแลนนิกซีเมนต์ และซีเมนต์กันเตาเป็นวัสดุประสานผลการทดสอบสรุปว่า

- กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ซีเมนต์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจับโลหะที่เป็นพิษเช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และโลหะอื่นๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดงหรือสังกะสี ซึ่งมีเจือปนอยู่ในตะกอนน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในปริมาณสูง
- ปริมาณโลหะต่างๆ ในน้ำสกัด(ยกเว้น Al^{3+}) มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม
- ส่วนผสมของตะกอนกับปูนซีเมนต์ที่มีอายุ90วันขึ้นไปจะมีความแข็งแรงคล้ายกับคอนกรีต

ChengและBishop(1992) ได้ทำการศึกษาการกระจายของโลหะหนักในแท่งซีเมนต์ก้อนและภายหลังการทดสอบการชะละลายโดยใช้กรดอะซิติก ซีเมนต์จะถูกหล่อเป็นรูปทรงกลมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และภาคตะกอนโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และอาร์เซนิก โลหะหนักจะถูกวิเคราะห์โดยวิธี Scanning Electron Microscopy(SEM), Energy Dispersive X-ray(EDX) และWet Digestion/AA Method จากผลการวิจัยพบว่า บริเวณผิวของตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยกรดอะซิติก แคลเซียมส่วนใหญ่ในองค์ประกอบของซีเมนต์จะถูกชะละลายออกมาในขณะที่ซิลิกอน, เหล็ก และอลูมิเนียมยังคงเหลืออยู่ และสารดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติในการดูดซับและดูดติดผิวได้ดี ดังนั้นโลหะหนักที่ละลายออกไปจะถูกดูดติดผิวที่บริเวณชั้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยป้องกันการชะละลายของโลหะหนักได้ จากการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างพบว่าการชะละลายของโลหะหนักจะเกิดเฉพาะที่บริเวณชั้นผิวเท่านั้น ปริมาณโลหะหนักในชั้นที่ไม่มีการชะละลายยังคงมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงก่อนการทดสอบการชะละลาย