

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศัพท์และความหมาย

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542

มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเชื้อ

พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535

มูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร ถัง มูลสัตว์ หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่ได้ที่เก็บจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2524 : 136- 137)

มูลฝอย หมายถึง บรรดาสิ่งต่างๆ ซึ่งในขณะนั้นคนไม่ต้องการและทิ้งไป ทั้งนี้รวมตลอดถึงเศษผ้า เศษอาหาร มูลสัตว์ ซากสัตว์ ถัง ฝุ่นละออง และเศษสิ่งของที่เก็บกวาดจากเคหะสถาน อาคาร ถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และที่อื่นๆ

2.2 การแยกองค์ประกอบมูลฝอย

การแยกองค์ประกอบต่างๆ ของมูลฝอยเป็นขั้นตอนหลักที่สำคัญที่สุดในการจัดการมูลฝอยที่ต้องคืนรูปวัสดุหรือพลังงาน การแยกอาจทำได้ด้วยคนหรือเครื่อง ถ้าการแยกทำด้วยคน มูลฝอยที่จะแยกไม่จำเป็นต้องแปลงรูปอย่างใดอย่างหนึ่งก่อน แต่ถ้าทำการแยกด้วยเครื่องจะต้องบดมูลฝอยก่อนจึงจะแยกได้ ตารางที่ 2.1 สรุปเทคนิคที่นิยมใช้ในการแยกส่วนประกอบของมูลฝอย (พัชรี, 2531)

2.2.1 การแยกด้วยมือ

การแยกส่วนประกอบของมูลฝอยด้วยมือทำได้ในทุกแห่ง ไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่เกิดมูลฝอยที่สถานีขนถ่าย ที่โรงแปลงรูป หรือแม้แต่ที่สถานีกำจัดขั้นสุดท้าย วัสดุที่ถูกแยกออกนั้นมีหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นกับส่วนประกอบของขยะมูลฝอยนั้นและตลาดรับซื้อ โดยทั่วไปวัสดุที่นิยมแยกออกจากขยะมูลฝอย จากแหล่งที่พักอาศัย ได้แก่ กระดาษหนังสือพิมพ์ อลูมิเนียม และแก้ว จากย่านพาณิชย์และอุตสาหกรรม ได้แก่ ก่อถ่วงกระดาษและกระดาษคุณภาพดี โลหะ และไม้ และจากสถานีขนถ่ายและสถานีกำจัด ได้แก่ โลหะ ไม้ และวัสดุชิ้นใหญ่ๆ

2.2.2 การแยกด้วยอากาศ

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมานานในการแยกส่วนผสมในขบวนการการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับในขบวนการการคืนรูปวัสดุและพลังงานของมูลฝอย การแยกด้วยอากาศใช้สำหรับแยกสารอินทรีย์ หรือที่นิยมเรียกว่า “ส่วนเบา” ออกจากสารอนินทรีย์ ซึ่งหนักกว่าหรือ “ส่วนหนัก” หรือในทางปฏิบัติ หมายถึงการแยกกระดาษ พลาสติกและสารอินทรีย์อื่นที่เบาออกจากขยะมูลฝอยที่บดแล้วนั่นเอง

2.2.3 การแยกด้วยแม่เหล็ก

วิธีการที่นิยมใช้ที่สุดในการแยกเศษเหล็กออกจากมูลฝอยคือการใช้แม่เหล็กดูด ขั้นตอนการแยกเศษเหล็กอาจทำหลังจากการบด แต่ก่อนการแยกด้วยอากาศ หรืออาจทำหลังจากการบดและการแยกด้วยอากาศก็ได้ การใช้ขั้นตอนนี้ ณ สถานที่ใดและอย่างไร จะขึ้นกับประสิทธิภาพของการคืนรูปที่ต้องการ ปริมาณของสิ่งเจือปนในผลผลิตที่ต้องการและวัตถุประสงค์ที่กำหนด เช่น เพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือที่ใช้ในขั้นถัดไป ฯลฯ

2.2.4 การร่อนด้วยตะแกรง

การร่อนเป็นการแยกส่วนประกอบของมูลฝอยที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ออกจากกันเป็นสองส่วนหรือมากกว่า ด้วยการร่อนผ่านตะแกรงซึ่งอาจผ่านมากกว่า 2 ชั้น การร่อนที่ใช้ในงานจัดการมูลฝอยมักเป็นวิธีการร่อนแห้งมากกว่าการร่อนเปียก และเป็นขั้นตอนที่ใช้กันมากในระบบที่มีการคืนรูปวัสดุหรือพลังงาน โดยอาจจะติดตั้งเครื่องร่อนไว้ก่อน และหลังเครื่องบด และหลังเครื่องแยกด้วยอากาศอีก ซึ่งใช้ร่อนได้ทั้งส่วนเบาและส่วนหนักด้วย

2.2.5 การแยกด้วยเทคนิคการลอย

วิธีนี้ใช้แยกวัสดุที่หนักกว่าน้ำออกจากวัสดุที่เบากว่าซึ่งเป็นสารอินทรีย์โดยส่วนใหญ่ หลักการคือนำมูลฝอยที่มีปริมาณแก๊วอยู่มาก ได้แก่ มูลฝอยที่เป็นส่วนหนักจากเครื่องแยกด้วยอากาศ ซึ่งได้แยกเศษเหล็กออกและผ่านการร่อนแล้วมาทิ้งใส่กระบะน้ำที่ใหญ่พอเหมาะ เศษแก้ว หิน อิฐ และพลาสติกหนักจะจมสู่ก้นกระบะ และถูกกวาดออกโดยสายพานกวาด เพื่อนำไปแยกต่อไป ส่วนที่เป็นส่วนเบาและลอยขึ้นบนผิวน้ำจะถูกกวาดออกไปฝั่งกลบต่อไป เพื่อให้การลอยของส่วนเบาดีขึ้น อาจใส่สารเคมีบางชนิดลงในน้ำ เพื่อลดความถ่วงจำเพาะของน้ำลง

2.2.6 การแยกด้วยตัวกลางหนัก

หลักการที่ใช้ในเทคนิคนี้จะคล้ายกับเทคนิคการลอย แต่เปลี่ยนตัวกลางจากน้ำเป็นของเหลวที่มีความถ่วงจำเพาะมากพอจะทำให้วัสดุที่ต้องการแยกออกลอยขึ้น วิธีนี้ใช้กันมากในการคืนรูปอลูมิเนียมในโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยนำส่วนหนักจากเครื่องแยกด้วยอากาศซึ่งแยกเศษ

เหล็ก และเศษแก้วออกแล้วผ่านในกระบะที่มีตัวกลาง ซึ่งความถ่วงจำเพาะที่พอดีทำให้อะลูมิเนียมลอยขึ้น ในขณะที่วัสดุอื่นยังคงจมอยู่ก้นกระบะ

ตารางที่ 2.1 เทคนิคในการแยกมูลฝอย และการประยุกต์ใช้

เทคนิค	วัสดุที่แยกได้	การแปลงรูป ขั้นต้น	หมายเหตุ
<u>การแยกส่วนตัว</u> - แยกด้วยมือ	กระดาษ โลหะ ต่างๆ ไม้ และ พลาสติก	ไม่มี	ใช้แยกวัสดุจากมูลฝอยจากอาคาร บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ หรือโรงงาน อุตสาหกรรม ส่วนใหญ่วัสดุที่แยกจะ นำไปขายเพื่อคืนรูปกลับมาใช้ใหม่
<u>การแยกโดย ส่วนกลาง</u> - แยกด้วยมือ	กระดาษ หนังสือพิมพ์ กระดาษกล่อง	ไม่มี	ขึ้นกับค่าแรงว่าจะคุ้มกับที่จะขายวัสดุ ได้หรือไม่
- แยกด้วยอากาศ	วัสดุเผาไหม้ได้	การบดหยาบ	ใช้แยกมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (ส่วนเบา) ออกจากส่วนที่เป็นโลหะและแก้ว (ส่วนหนัก)
- ร่อนผ่านตะแกรง	แก้ว	ไม่มี หรือการบด หยาบและแยก ด้วยอากาศ	เหมาะที่จะใช้แยกมูลฝอยที่มีปริมาณ มาก และอาจใช้วิธีนี้ก่อนการบดหยาบ หรือการแยกด้วยอากาศ เพื่อแยกแก้ว ออกก่อนก็ได้
- ลอยในน้ำ	แก้ว	การบดหยาบ และแยกด้วย อากาศ	น้ำที่ทิ้งจากระบบจะต้องถูกกำจัดก่อน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง
- แยกด้วยแม่เหล็ก	โลหะเหล็ก	การบดหยาบ	ใช้วิธีนี้ในโรงแปลงรูปหลายแห่งและ ใช้ได้ดี
- แยกด้วยตัวกลาง หนัก	อะลูมิเนียม และ โลหะ อื่นที่ไม่ใช่เหล็ก	การบดหยาบ และแยกด้วย อากาศ	ใช้แยกวัสดุได้หลายประเภทโดยปรับ ความถ่วงจำเพาะของตัวกลางให้ เหมาะสม อาจใช้หลายหน่วย ต่อเนื่องกัน โดยแต่ละหน่วยใช้แยก วัสดุต่างชนิดกัน

Patterson (1993) ได้ศึกษาที่ Vancouver ถึงผลของกระบวนการแยกน้ำกลับมาใช้ใหม่ ที่มีต่อมวลและพลังงานที่ได้จากเตาเผามูลฝอยชุมชน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการแยกมูลฝอยจาก 28 % เป็น 50 % พบว่าค่า Heating Value เพิ่มขึ้นประมาณ 9 % จาก 5,125 Btu. / lb. เป็น 5,578 Btu / lb. เนื่องจากมูลฝอยส่วนที่มีค่า Heating Value ต่ำ เช่น เศษอาหาร ได้ถูกแยกออกไปมากขึ้น และให้ความเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า Heating Value ที่ไม่เกิน 10 % จะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเตาเผาอย่างมีนัยสำคัญ

2.3 การกำจัดมูลฝอยแบบเผาในเตาเผา

เตาเผามูลฝอยสำหรับชุมชนมีการพัฒนาในกลุ่มประเทศยุโรปมานานกว่า 50 ปี จากเหตุผลที่ต้องการทำลายมูลฝอยให้หมดสิ้นไปให้มากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผามูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า การทำน้ำร้อนสำหรับเมือง หรือแม้แต่การส่งเสริมการนำพลังงานความร้อนกลับคืนไปให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปการทำลายมูลฝอยแบบใช้เตาเผาสามารถทำลายมูลฝอยได้เกือบ 80 % ของปริมาณเดิม จะเหลือเป็นเถ้าเพียง 10-20 % ซึ่งเป็นการลดภาระในการจัดหาที่กำจัดได้เป็นอย่างดี (ธเรศ , 2541)

2.3.1 รูปแบบของการเผามูลฝอยของเตาเผา

การเผาในเตาเผา (Combustion or Incineration) หมายถึง กระบวนการเผาไหม้มูลฝอย โดยใช้ความร้อนสูงและทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลที่ได้จากการเผา คือ เถ้า คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ที่ปนออกมากับอากาศเสีย

เตาเผาสามารถแบ่งตามลักษณะของมูลฝอยที่ป้อนเข้าเตาเผาได้ 2 รูปแบบ คือ

1. ชนิดป้อนมูลฝอยที่มีขนาดปกติเข้าเตาเผา (Mass Burning Type Incinerator) มูลฝอยที่ป้อนเข้าเตาเผาชนิดนี้ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีใดๆ ทั้งสิ้น นอกจากการนำวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (Bulky Waste) ออกเท่านั้น
2. ชนิดป้อนมูลฝอยที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยเข้าเตาเผา (Suspension Type Incinerator) มูลฝอยที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผาชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่ออกโดยอาจจะมีอุปกรณ์คัดแยกมูลฝอยก่อนหรือไม่ก็ได้ แต่จะต้องมีการบดหรือตัดมูลฝอยให้มีขนาดเล็กก่อนที่จะนำเข้าเตาเผา โดยอาจจะป้อนเข้าโดยตรงหรือนำไปอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง (Refuse Derived Fuel : RDF) ก่อนก็ได้ เพื่อต้องการให้เกิดประสิทธิภาพในการเผามากที่สุด

2.3.2 กระบวนการทำงานของเตาเผามูลฝอย

กระบวนการของเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดใหญ่ มี 7 กระบวนการ คือ

- 1) กระบวนการป้อนมูลฝอย (Feeding Process)
- 2) กระบวนการเผา (Incineration Process)
- 3) กระบวนการทำให้ไอเสียเย็นตัวลง (Flue Gas Cooling Process)
- 4) กระบวนการใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ให้เป็นประโยชน์ (Waste Heat Utilization Process)
- 5) กระบวนการกำจัดไอเสีย (Flue Gas Treating Process)
- 6) กระบวนการกำจัดเถ้า (Ash Handling Process)
- 7) กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Process)

ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2.1 ส่วนรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ มีดังนี้

2.3.2.1 กระบวนการป้อนมูลฝอย (Feeding Process)

กระบวนการนี้จะประกอบไปด้วย บ่อรับมูลฝอย (Storage Pit) และระบบป้อนมูลฝอย โดยทั่วไปบ่อรับมูลฝอยจะเป็นบ่อคอนกรีตและอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน มีขนาดความจุไม่ต่ำกว่า 3 เท่าของปริมาณที่ใช้ออกแบบ เพื่อให้การเผาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง มีจำนวนช่อง (Bunker) เพียงพอสำหรับจำนวนรถขนมูลฝอยในการดำเนินการในแต่ละช่วงเวลา การขนถ่ายมูลฝอยเข้าสู่เตาเผาจะใช้ปั้นจั่นคิบบูลฝอย (Crane) ซึ่งมีสมรรถนะสามารถป้อนมูลฝอยเข้าสู่ Hopper ได้อย่างต่อเนื่อง และควรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 10 ลบ.ม. ส่วนกรวยและรางรับมูลฝอย (Hopper & Chute) เป็นอุปกรณ์นำมูลฝอยเข้าสู่เตาเผา ดังนั้นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับการป้อนและการไหลตัวของมูลฝอย ทั้งในด้านของรูปทรงและการไหลเท นอกจากนั้นจะต้องมีปริมาตรเพียงพอในการป้อนมูลฝอยเข้าสู่กระบวนการเผาโดยไม่ขาดช่วง

2.3.2.2 กระบวนการเผา (Incineration Process)

เตาเผามูลฝอยชนิดนี้มีหลักการทำงาน คือ มูลฝอยจะถูกป้อนลงในกรวย (Charging Hopper) ลงสู่แผงตะแกรง ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่อุ่นมูลฝอยให้พร้อมที่จะเผา (Drying Zone) ซึ่งจะถูกรอบให้แห้งโดยอากาศร้อนที่ได้จากการเผามูลฝอย หรือจาก Underfire Air ส่วนที่สอง คือ ส่วนที่มูลฝอยเกิดการเผาไหม้ (Combustion Zone) โดยมูลฝอยที่แห้งแล้วจะติดไฟและถูกผลิตภัณฑ์ตัวเคลื่อนที่ไปตามลักษณะของแผงตะแกรง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด ในบางครั้งถ้ามูลฝอยมีค่าความร้อนต่ำ (น้อยกว่า 800 kcal/kg) ซึ่งไม่สามารถติดไฟด้วยตัวเอง อาจจะต้องใช้หัวเผา (Auxiliary Burner) เพื่อใช้ในการเริ่มต้นเผา และส่วนสุดท้าย คือ ส่วนที่เผาไหม้มูลฝอยที่ยังเผา

ไหม้ไม่หมด (Post Combustion Zone) ซึ่งหลังจากผ่านแผงตะแกรงทั้ง 3 ส่วน ซึ่งถือว่าเป็นการเผาไหม้ขั้นแรก (Primary Combustion) แล้วส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดหรือเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ก็จะร่วงหล่นเบื้องล่าง ส่วนก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะไหลเข้าไปยังห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง (Secondary Combustion) ซึ่งอาจจะมี Overfire Air เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยก๊าซไอเสียที่ได้จะประกอบด้วย ไอน้ำและออกไซด์ชนิดต่าง ๆ ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป (Saroffim, 1983)

ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบและควบคุมห้องเผาไหม้ ได้แก่

- ความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้ (Furnace Turbulence) ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น คือการสัมผัสกันระหว่างเชื้อเพลิง มูลฝอย และปริมาณอากาศที่ใช้ในห้องเผาไหม้โดยการใช้หัวเผา (Burner) เป็นตัวช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น เวลาสัมผัส (Retention Time) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เชื้อเพลิงและก๊าซเผาไหม้ได้มีเวลาเพียงพอในการทำปฏิกิริยาร่วมกัน ซึ่งเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้ และขนาดของมูลฝอย โดยปกติมูลฝอยจะใช้เวลาในการอยู่ในห้องเผาไหม้ครั้งแรก (Primary Chamber) ประมาณ 45-70 นาที (Saroffim, 1983) หรือ 90 นาที (Tillman, 1989) ส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ห้องเผาไหม้ขั้นที่สอง (Secondary Chamber) โดยมีเวลาประมาณ 2-5 วินาที (Tillman, 1989) ก่อนที่จะปล่อยก๊าซไอเสียออกไปสู่กระบวนการอื่นต่อไป

- อุณหภูมิของการเผาไหม้ (Furnace Temperature) ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ คือ ค่าความชื้น ค่าความร้อนของมูลฝอย ปริมาณอากาศส่วนเกิน เวลาในการสัมผัสระหว่างมูลฝอยกับอากาศ ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ และเชื้อเพลิงที่ใช้ช่วยในการเผา ปกติอุณหภูมิการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้จะอยู่ประมาณ 1,300-2,000 °F เฉลี่ย 1,700-1,800 °F (American Public Work, 1970)

- อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate) หมายถึง ความเร็วในการเผาไหม้มูลฝอย หรืออัตราการปล่อยความร้อนของมูลฝอยต่อพื้นที่แผงตะแกรงต่อเวลา ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเผาไหม้บนแผงตะแกรง คือ ค่าความร้อนของมูลฝอย Ignition Loss ของขี้เถ้า อุณหภูมิของการเผาไหม้ และประสิทธิภาพและรูปแบบของเตาเผา ผู้ผลิตและออกแบบเตาเผาจะมีการกำหนดอัตราการเผาไหม้บนแผงตะแกรงต่าง ๆ กัน American Public Work (1970) แนะนำให้ใช้ 300,000 Btu/ft²/h เพื่อใช้ในการพิจารณาหาพื้นที่แผงตะแกรงที่เหมาะสมต่อไป

- พื้นที่แผงตะแกรง (Grate Area) และปริมาตรของห้องเผาไหม้ เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการออกแบบ เนื่องจากเป็นส่วนที่มูลฝอยจะต้องเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ให้ได้มากและมีประสิทธิภาพมากที่สุด พื้นที่ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของมูลฝอย และอัตราการเผาไหม้ต่อหน่วยเวลา American Public Work (1970) แนะนำให้ใช้ 20,000 Btu/ft³/h เพื่อใช้ในการพิจารณาหาปริมาตรของห้องเผาไหม้

2.3.2.3 กระบวนการทำให้ไอเสียเย็นลง (Flue Gas Cooling Process)

ไอเสียจากการเผาไหม้มูลฝอย จะมีอุณหภูมิสูงถึง 700-1,150 °C (1,300-2,000 °F) โดยที่ยังไม่สามารถผ่านไปที่ระบบกำจัดไอเสียได้ จึงต้องทำให้ไอเสียเย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 250-300°C (500-600 °F) เสียก่อน วิธีที่นิยมใช้คือ พ่นน้ำโดยตรงไปยังท่อไอเสีย (Water Spray Injection) น้ำจะระเหยและทำให้อุณหภูมิจากไอเสียต่ำลง หรือติดตั้งหม้อต้มน้ำ (Steam Boiler) เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของไอเสียทางอ้อม

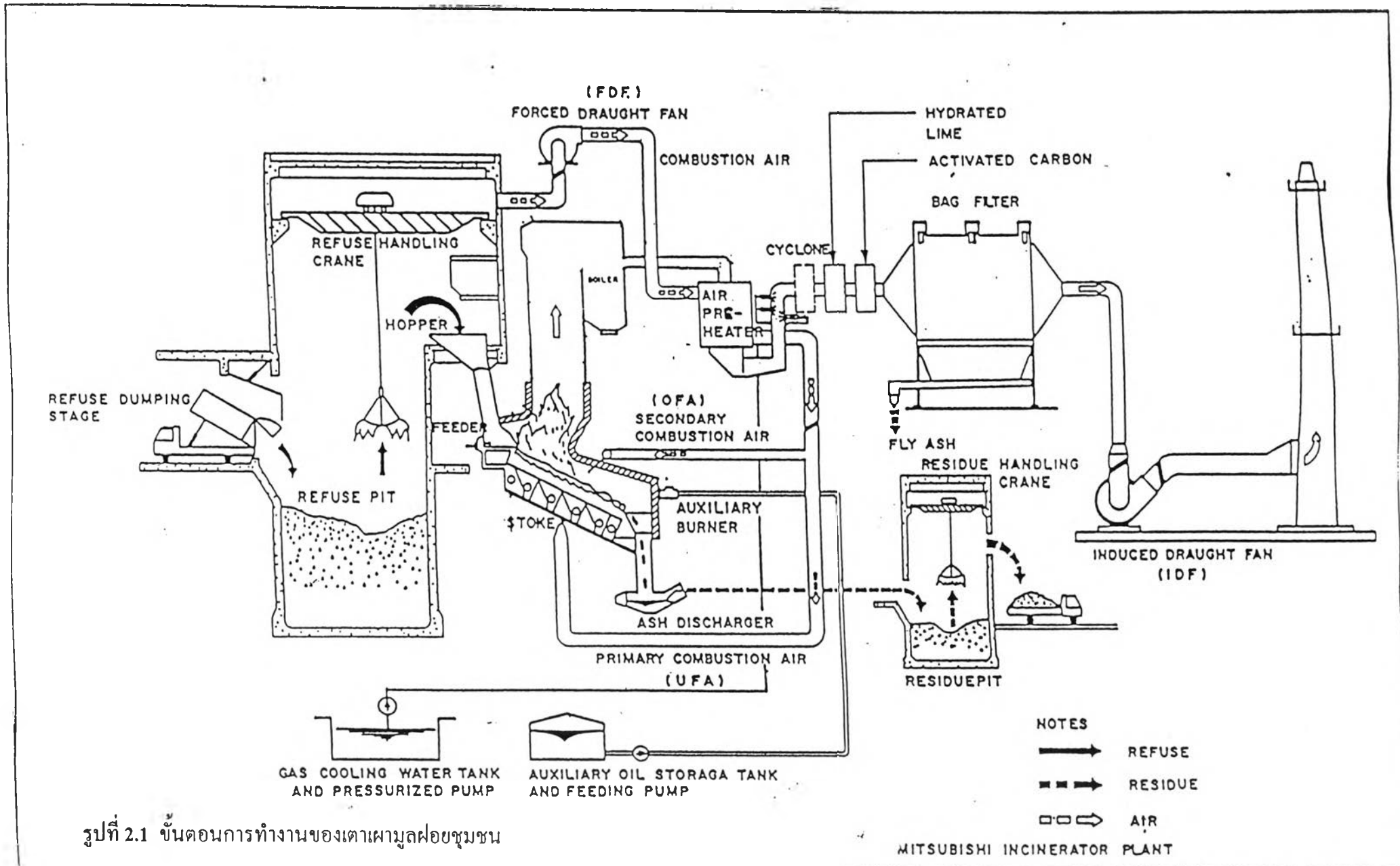
2.3.2.4 กระบวนการใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาของเสียให้เป็นประโยชน์ (Waste Heat Utilization Process) 1,300-2,000 °F

ความร้อนที่ได้จากการเผามูลฝอยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

- ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการติดตั้งหม้อต้มน้ำที่เรียกว่า Waste Heat Boiler โดย Waste Heat Boiler เป็นหม้อน้ำที่ไม่มีการเผาไหม้ภายในตัวหม้อน้ำเอง แต่จะใช้ความร้อนส่วนที่เหลือของก๊าซไอเสียที่อุณหภูมิสูงมาเพิ่มความร้อนให้แก่หม้อน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นจึงเป็นไอน้ำที่มีความดันสูง จึงเหมาะกับหม้อน้ำแบบหลอดน้ำ (Water Tube Boiler) ในบางครั้งไอน้ำที่ได้จะเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น Superheater เพื่อทำให้เกิดไอน้ำ นอกจากนั้นอาจมีอุปกรณ์อุ่นน้ำเลี้ยง (Economizer) หรืออุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Heater) ฯลฯ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

นอกจากนั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างก็คือ การไหลเวียนของก๊าซไอเสีย (Flue Gas) และอากาศ ซึ่งต้องอาศัยความสัมพันธ์ของการสันดาปเชื้อเพลิงกระแสลมธรรมชาติ (Natural Draft) พัดลมซึ่งทำให้เกิดกระแสลมดูด-เป่า (Induced-Force Draft) และความสูงของปล่องควัน ซึ่งจะมีผลต่อขนาดท่อลมและท่อ Flue Gas ส่วนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยระบบนี้ อุณหภูมิจากการเผาไหม้มูลฝอยทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันที่ต้องการ แล้วจึงส่งไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำเนิดพลังงานกลจากพลังงานความร้อน โดยมีการเปลี่ยนรูป 2 ครั้ง คือ ขั้นแรกพลังงานความร้อนจากไอน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ โดยการบานตัวภายในช่องหรือหัวฉีดและผ่านออกไปในลักษณะที่เป็นไอน้ำที่มีความเร็วสูง พลังงานเหล่านี้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลโดยให้กระทบกับปีกกังหันที่มีมุมและส่วนโค้งพอดีทำให้เกิดแรงกระทำทำให้ปีกกังหัน ซึ่งกังหันเหล่านี้จะมีเพลาคู่อยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนเกิดการเหนี่ยวนำ จึงได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน

- ส่งน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ เช่น น้ำร้อนที่ได้จะสามารถใช้ในสระว่ายน้ำ หรือให้ความอบอุ่นตามบ้านเรือน



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของเตาเผามูลฝอยชุมชน

2.3.2.5 กระบวนการกำจัดไอเสีย (Flue Gas Treating Process)

ไอเสียจากการเผาไหม้อาจประกอบด้วยสารหลายชนิด เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ ออกไซด์ของกำมะถัน ออกไซด์ของไนโตรเจน รวมทั้งฝุ่น ซึ่งเป็นสารมลพิษต้องมีการกำจัดก่อนปล่อยออกจากปล่องควัน กล่าวคือ เถ้าและฝุ่นละอองจะใช้อุปกรณ์ Bag House Filter หรือ Electrostatic Precipitation (EP) ส่วนก๊าซหรือกรดที่เกิดขึ้น เช่น SO_x และ HCl จะใช้อุปกรณ์ Scrubber โดยใช้ด่าง ส่วนการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไม่เกิน $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1,800\text{ }^{\circ}\text{F}$) ก็จะป้องกันการเกิด NO_x ได้เช่นกัน ซึ่งเกณฑ์ในการกำจัดมลพิษในก๊าซไอเสียจะต้องพิจารณาตามมาตรฐานกำหนดของหน่วยงานที่รับผิดชอบอีกด้วย ได้แก่ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่ปล่อยจากปล่องควันเตาเผามูลฝอย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่ปล่อยจากเตาเผามูลฝอย

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐาน	
	เตาเผาขนาด 1- 50 ตัน / วัน	เตาเผาขนาด 50 ตัน / วัน ขึ้นไป
1. ฝุ่นละออง	ไม่เกิน 400 mg/m^3	ไม่เกิน 120 mg/m^3
2. SO_2	ไม่เกิน 30 ppm	ไม่เกิน 30 ppm
3. NO_x	ไม่เกิน 250 ppm	ไม่เกิน 180 ppm
4. ค่าความทึบแสง	ไม่เกิน 20 %	ไม่เกิน 10 %
5. HCl	ไม่เกิน 130 ppm	ไม่เกิน 25 ppm
6. Dioxin (PCDD+PCDF)	ไม่เกิน 0.50 ng-TEQ/m^3	ไม่เกิน 0.50 ng-TEQ/m^3
7.ปรอท	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3

ที่มา : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เสนอผ่านความเห็นชอบคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแล้ว รอการประกาศในราชกิจจานุเบกษา

2.3.2.6 กระบวนการกำจัดเถ้า (Ash Handling Process)

เถ้าที่เหลือจากการเผามี 2 ประเภท คือ เถ้าที่เหลืออยู่กับเตาเผา (Bottom Ash) และเถ้าลอย (Fly Ash) ที่มีอยู่ในก๊าซไอเสีย เถ้าที่เหลืออยู่หลังจากการพ่นด้วยน้ำ หรือผ่านขบวนการทำให้เปียกน้ำเพื่อป้องกันมิให้เถ้าปลิวกระจัดกระจาย แล้วจะเก็บไว้ในบ่อเก็บเถ้า (Ash Pit) เพื่อลดบรรทุกลงไปฝังกลบต่อไป ส่วนเถ้าลอยจะถูกกำจัดโดยใช้อุปกรณ์กำจัดฝุ่น เช่น Electrostatic Precipitator (EP) หรือ Bag House Filter แล้วจึงนำไปรวมกันไว้ในบ่อเก็บเดียวกัน

2.3.2.7 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Process)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานมูลฝอย เกิดขึ้นได้จากระบบทำให้ก๊าซเย็นตัว ระบบกำจัดเถ้า โดยการฉีด บ่อรับมูลฝอย บ่อเก็บเถ้า การกำจัดมลพิษในไอเสีย หม้อต้มน้ำ อุปกรณ์เก็บมูลฝอย

การล้างรถ ฯลฯ วิธีการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับแนวความคิดในการพิจารณาน้ำเสียที่กำลังจัดแล้วไปใช้ เช่น กรณีนำกลับมาใช้อีก (ใช้ในการพ่นเพื่อทำให้ก๊าซเย็นตัว) ก็สามารถบำบัดโดยวิธีการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) และการตกตะกอน (Coagulation and Sedimentation) ส่วนในกรณีที่ปล่อยน้ำเสียออกสู่อ่างน้ำสาธารณะ ก็จะต้องได้รับการบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยอาจใช้ระบบ Stabilization Pond หรือระบบใช้เครื่องจักรกล เช่น Activated Sludge

2.4 เถ้าจากเตาเผามูลฝอย

เถ้าจากเตาเผามูลฝอยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) เถ้าหนัก (Bottom Ash) มีขนาดใหญ่ได้จากมูลฝอยที่ผ่านการเผาไหม้แล้วและถูกดับด้วยน้ำ
- 2) เถ้าลอย (Fly Ash) มีขนาดเล็กปนไปกับไอเสียจากการเผาไหม้ ถูกดักจับด้วยอุปกรณ์

ควบคุมคุณภาพอากาศ เช่น Venturi Scrubber Bagfilter หรือ Electrostatic Precipitator

เถ้าลอย ประกอบไปด้วยออกไซด์หรือเกลือของ ซิลิกา อลูมิเนียม คัลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และโซเดียมในปริมาณสูง ส่วนไทเทเนียม แบเรียม สังกะสี โปแทสเซียม ฟอสฟอรัส และ ซัลเฟอร์ ในปริมาณเล็กน้อย ตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 96 แบ่งประเภทของวัสดุผสมในคอนกรีตเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพ NF และ C โดยกำหนดองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตาราง ที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C618 - 96

คุณสมบัติ		ประเภทของวัสดุผสม		
		N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	% น้อยที่สุด	70.0	70.0	50.0
SO ₃	% มากที่สุด	4.0	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น	% มากที่สุด	3.0	3.0	3.0
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้	% มากที่สุด	10.0	6.0	6.0
Pozzolanic Index	% น้อยที่สุด	75.0	75.0	75.0

ชั้นคุณภาพ N คือ วัสดุดิบหรือวัสดุปอซโซลานธรรมชาติที่เป็นผง เช่น ดินบางชนิด หินชนวน หินหรือเถ้าภูเขาไฟ เป็นต้น ซึ่งหินและดินต้องผ่านกระบวนการแปรสภาพให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการใช้งาน

ชั้นคุณภาพ F คือ เถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินแอนทราไซต์หรือบิทูมินัส ซึ่งเถ้าลอยชั้นคุณภาพ F มีคุณสมบัติปอซโซลาน (Pozzolanic)

ชั้นคุณภาพ C คือ เถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์หรือซบิทูมินัส เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C นอกจากจะมีคุณสมบัติปอซโซลาน (Pozzolanic) แล้ว ยังมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน (Cementitious) อีกด้วยและอาจจะมี CaO อยู่มากกว่าร้อยละ 10

Breteton (1993) อ้างจาก Atwater (1993) รวบรวมความเป็นไปได้ของการนำเถ้าหนักไปใช้ได้แก่

- ทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์
- เป็นวัสดุถม
- ส่วนผสมของคอนกรีต
- วัสดุปิดทับบ่อฝังกลบขยะ
- ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ
- ใช้เป็นส่วนผสมการทำ Plastic Resin Brick

สำหรับเถ้าลอยเมื่อทำการทดสอบการชะละลาย พบว่ามีโลหะหนักเกินกว่ามาตรฐานกำหนดจัดเป็นของเสียอันตราย ต้องมีการบำบัดอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการชะละลายไปสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการหลัก ๆ ที่ใช้กัน ได้แก่

- การทำให้เก็บกัก (Encapsulation) ในแอสฟัลต์ ประสิทธิภาพในการตรึงติดกับแอสฟัลต์เหมาะสมกับเถ้าที่มีส่วนประกอบทางอินทรีย์สูง
 - การทำให้ยึดตรึง (Fixation) ในซีเมนต์ เป็นวิธีใช้กันมากที่สุดในการทำเสถียรเถ้าลอยไม่ให้เกิดการละลาย เพื่อให้สามารถนำไปเป็นวัสดุถมที่หรืออย่างน้อยที่สุดก็ให้สามารถนำไปฝังกลบในบ่อฝังกลบขยะทั่วไปได้
 - การหลอมให้เป็นแก้ว (Vitrification) เป็นวิธีที่ต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งเตรียมโดยก๊าซที่ร้อนจัด (Plasma) ในการเปลี่ยนเถ้าลอยให้เป็นแก้วที่ไม่มีการละลาย

Breteton (1996) อ้างจาก Steinmuller (1996) ได้ทำการทดลองนำร่องการเปลี่ยนเถ้าลอยให้เป็นแก้วที่อัตรา 0.90 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งแก้วที่เสถียรแล้วสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างได้ โดยค่าใช้จ่ายในการบำบัดคิดเป็นเงิน 120 เหรียญสหรัฐ/ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับการทำเสถียรด้วยคอนกรีตที่มีน้ำหนักเป็น 2 เท่า ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพียง 65 เหรียญสหรัฐ/ตัน ที่น้ำหนักเท่ากัน คาดว่าการบำบัดโดยการหลอมให้เป็นแก้วจะมีราคาลดลงเพื่อมีการแข่งขันกันมากขึ้นและสามารถที่จะพัฒนาแก้วที่ได้ทำเสถียรแล้วไปเป็นวัสดุทำถนนได้

การเผาในเตาเผา (Combustion or Incineration) หมายถึง กระบวนการเผาไหม้มูลฝอย โดยใช้ความร้อนสูงและทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลที่ได้จากการเผา คือ เถ้า คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ที่ปนออกมากับอากาศเสีย

2.5 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า

โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษและสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้

โลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท แคดเมียม อาร์เซนิก ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีพิษถาวร ซึ่งนอกจากจะไม่เปลี่ยนรูปไปตามกาลเวลาแล้ว ยังสามารถสะสมในร่างกายของมนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย น้ำเสีย หรือตะกอนเพื่อป้องกันไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่วัฏจักรของน้ำ หรือผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร

2.6 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าว เรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration)

2.6.1 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.6.2 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Hydration of Cement)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำก็จะเริ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮเดรชัน (Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียว และเกาะแน่นกับวัสดุผสม

เมื่อปูนซีเมนต์ผสมรวมกันกับน้ำ จะได้ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) มีลักษณะนุ่มเหลว ง่าย การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ จะหยุดเมื่อน้ำหนีออกเพสต์หมดแล้ว

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้ เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Ions นี้จะผสมกัน ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยา ประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

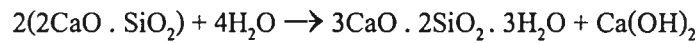
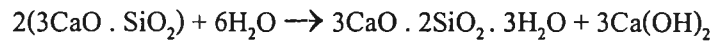
ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้จะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

ตารางที่ 2.4 ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ และสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต , 2539)

องค์ประกอบ	สูตรเคมีและสัญลักษณ์	ร้อยละ (%)
1. ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ		
- ปูนขาว	CaO	60-65
- ซิลิกา	SiO ₂	20-24
- อลูมินา	Al ₂ O ₃	4-8
- เหล็ก	Fe ₂ O ₃	2-5
2. องค์ประกอบในรูปสารประกอบ		
- 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

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต (C_3S และ C_2S)

คัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน และสมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

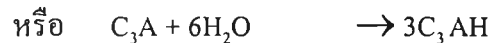
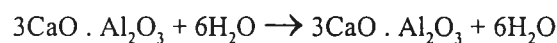


จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเกิดเจล (Gel) ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอ และมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ C-S-H นี้ ขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในที่นี้จะใช้ตัวย่อ C-S-H แทน Calcium Silicate Hydrate ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นอย่างไร

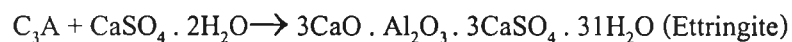
$Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นต่างอย่างมาก คือ มี pH ประมาณ 12.5

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ

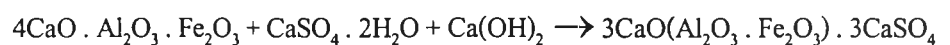


เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค ดังสมการ



ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF นี้เกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัมและ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ

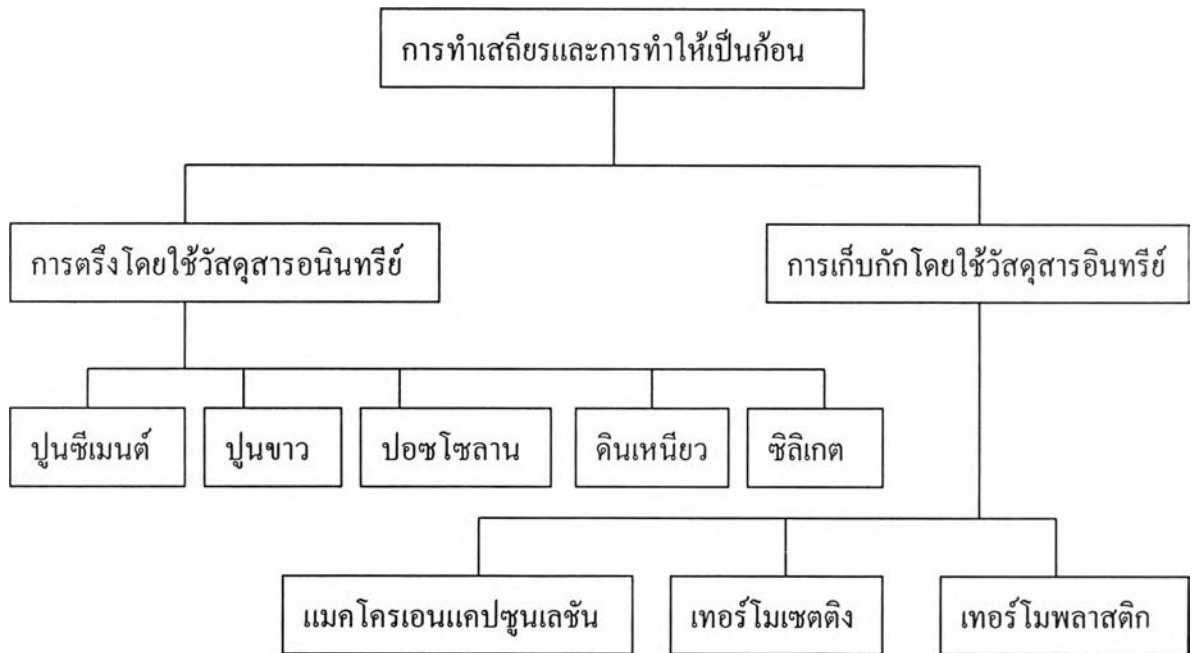


2.7 การทำเสถียรของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน (Solidification of Hazardous Wastes)

2.7.1 คำจำกัดความและที่มาของการทำให้เป็นก้อน

การทำให้เป็นก้อน (Solidification) เป็นกระบวนการซึ่งนำวัสดุประสานมาเติมลงในของเสีย ซึ่งของเสียนั้นอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือตะกอน แล้วทำให้กากของเสียนั้นเป็นก้อนแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายขนส่งได้สะดวก ในระหว่างการทำให้เป็นก้อนมักเกิดการทำให้เสถียรพร้อมกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น โดยสารมลพิษถูกทำให้เสถียรและถูกจับตัวไว้ภายในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนมวลแข็งที่แข็งตัว (Sollars และ Perry,1989 อ้างจาก Wiles,1987) ดังนั้น การทำให้เป็นก้อนจึงเป็นทั้งการบำบัดสภาพและการบำบัดทางเคมี

Sollars และ Perry (1989) กล่าวว่า การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน สามารถแบ่งได้ อย่างกว้าง ๆ คือ การตรึงโดยใช้วัสดุสารอนินทรีย์ (Inorganic fixation) และการเก็บกักโดยใช้วัสดุสารอินทรีย์ (Organic encapsulation) ซึ่งจะแบ่งกระบวนการทั้ง 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน (Sollars และ Perry, 1989)

วิธีการเก็บกักโดยวัสดุสารอินทรีย์ (Organic encapsulation) ทำโดยการใช่วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก หรือออร์แกนิกโพลิเมอร์ มาห่อหุ้มของเสียเพื่อเก็บกักสารพิษมิให้หลุดออกมา วิธีนี้จะใช้ในกรณีเฉพาะเมื่อมีความจำเป็นและไม่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย เช่นการกำจัดของเสียที่เป็นกัมมันตภาพรังสี เพราะวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง อันเนื่องมาจากราคาค่าวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

มีราคาแพง และต้องใช้พลังงานสูงมาก ส่วนวิธีการตรึงโดยใช้วัสดุสารอนินทรีย์ (Inorganic fixation) จะประยุกต์ใช้กับของเสียอนินทรีย์ โดยเฉพาะของเสียที่ประกอบด้วยโลหะที่มีประจุบวก

การทำให้เป็นก้อนถูกออกแบบขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้ (Cheng และ Bishop, 1992 อ้างจาก Cullinane และคณะ, 1986)

1. ปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพของของเสียและสามารถขนส่งได้สะดวก
2. ลดพื้นที่ผิวของของเสีย ซึ่งก็คือ การลดการแพร่กระจายออกไปของสารพิษ
3. จำกัดความสามารถในการละลายขององค์ประกอบที่เป็นพิษในของเสีย

การทำให้เป็นก้อนมีการใช้วิธีการต่างๆ 7 วิธี คือ วิธีการใช้ปูนซีเมนต์ (Cement-based techniques) วิธีการใช้ปูนขาว (Lime-based techniques) วิธีการใช้เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic techniques) โดยใช้วัสดุประเภทพิกูเมน พาราฟิน หรือโพลีเอทิลีน วิธีการใช้ออร์แกนิกโพลีเมอร์ (Organic polymers) วิธีการเก็บกัก (Encapsulation) วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self-cementing techniques) วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification) (Bishop, 1988 U.S. EPA) รายละเอียดของแต่ละกระบวนการแสดงในตารางที่ 2.5

Shuckrow และคณะ (1982) ได้สรุปข้อดี และข้อเสียของการทำให้เป็นก้อน ทั้ง 7 วิธีการ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

2.7.2 การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Cement – based technique)

การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ส่วนใหญ่จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้อาจมีการใช้วัสดุประสานเดิมเพิ่มประสิทธิภาพบางประเภท เช่น แอลลอยิกไนต์ ซิลิเกตซัลไฟต์ เป็นต้น เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำให้แข็งตัวและยึดจับความเป็นพิษ โดยของเสียที่เป็นของเหลว หรือของเหลวในสลัดจ์จะเป็นส่วนหนึ่งของน้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดเจลแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งเมื่อเจลโตขึ้น และเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งตัว ในภาวะแวดล้อมที่เป็นค่าสูงของซีเมนต์เฟสท์ มีผลทำให้โลหะหนักในของเสียเปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซิลิเกตที่ไม่ละลาย และถูกจับติดอยู่ภายในโพรงของเนื้อซีเมนต์ โลหะบางชนิดอาจถูกกักอยู่ในโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อนของซีเมนต์ (Bishop, 1988)

2.7.2.1 สารเจือปนที่เป็นอุปสรรคต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์

สารเจือปนหลายประเภทที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ สารอินทรีย์ ดินตะกอน (Silts) และดินเหนียว จะมีผลให้ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวนานขึ้น โดยอาจใช้เวลาหลายวัน ทั้งนี้ไม่ควรมีส่วนอินทรีย์เจือปนมากกว่าร้อยละ 10 หากมีส่วนอินทรีย์ในปริมาณมากๆ จะต้องทำการบำบัดก่อนหน้าการทำลายฤทธิ์ด้วยปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.5 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน (Engineering Science, 1989)

กระบวนการการทำให้เป็นก้อน (Solidification Process)	รายละเอียด
1. Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงไปนซีเมนต์ น้ำ และส่วนผสมอย่างอื่น ๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาวและวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แห้งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen, Paraffin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารโพลิเมอร์ (Gelli agents หรือ Urea formaldehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ผสมให้เข้ากันก่อนที่โพลิเมอร์แข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวแน่น แล้วเคลือบผิวนอกของของเสียที่ถูกบดอัดด้วยสารเหนียว เช่น Polyethylene หรือ Organic resins
6. Self – cementing	สารที่มีคุณสมบัติเป็นซีเมนต์ เช่นแคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถนำมาใช้ผสมกับกากตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย และมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้วหรือ Synthetic silicate Mineral เพื่อป้องกันไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไปโดยไม่มีกระบวนการหุ้ม หรือบรรจุครั้งที่ 2

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ (Shuckrow และคณะ, 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. Cement And Silicate Based Solidification / Fixation	Chemical Fixation / Solidification	แห้งหรือเปียก (โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์)	วัสดุที่ใช้ราคาถูก มีความยืดหยุ่นต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดีมาก เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว	สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการก่อตัวของคอนกรีต ส่วนผสมของซีเมนต์ และกากของเสียที่ไม่ได้ห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะละลายได้ภายใต้ภาวะที่มีพีเอชต่ำ เพิ่มน้ำหนักและปริมาณของเสียทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและฝังกลบเพิ่มขึ้น
2. Lime Based Solidification / Fixation	Chemical Fixation / Solidification	แห้งหรือเปียก (เหมาะสำหรับของเสียที่เป็นอนินทรีย์)	วัสดุที่ใช้ราคาถูก เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว การใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสม เป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิด โดยกระบวนการเดียวกัน	เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement Based
3. Thermoplastic Based Solidification / Fixation	Physical Fixation	แบบแห้ง (เหมาะกับสารอนินทรีย์)	สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมี ได้เป็นอย่างดี สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก	ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพง และใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญของเสียชนิดเปียกลดประสิทธิภาพของกระบวนการ ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong Oxidants, dehydrated salts
4. Organic Polymer Process	Physical Fixation	แบบแห้งหรือเปียก (สารอินทรีย์ที่เป็นพิษ)	ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิดโครงสร้างของโพลีเมอร์ ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง	ของเสียถูกยึดไว้ในโพลีเมอร์อย่างหลวมๆ สารที่มีพีเอชต่ำจะทำให้โลหะหลอมละลายมาก การย่อยสลายทางชีวภาพของสารโพลีเมอร์บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ (ต่อ) (Shuckrow และคณะ, 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
5. Encapsulation	Chemical Containment	แห้งหรือเปียก	ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี ไม่มีการละลายของของเสียออกมาเมื่อสารที่หุ้มห่ออยู่ไม่ถูกทำลาย ค่าใช้จ่ายในรอบการใช้งานต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ	การชะล้างของของเสียจะเกิดขึ้นหากสารที่หุ้มถูกทำลาย ไม่เหมาะสมในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียจำนวนมาก
6. Self Cementing Techniques	Chemical Fixation / Solidification	แห้งหรือเปียก	ใช้วัสดุเติมเพิ่มประสิทธิภาพ (additive) น้อย ส่วนผสมของซีเมนต์ก่อตัวเร็วมาก	สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการก่อตัวของคอนกรีต ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะล้างได้ภายใต้ภาวะที่มีพีเอชต่ำ
7. Glassification (Vitrification)	Physical Fixation	แบบแห้ง	ของเสียที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะถูกชะละลายได้น้อยมาก การบรรจุอยู่ในภาชนะที่ดี ใช้วัสดุที่มีราคาถูก	อุณหภูมิสูงอาจทำให้องค์ประกอบของเสียระเหยออกมาก่อนที่จะถูกตรึงไว้ ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการให้ความร้อนอุปกรณ์มีราคาแพงและต้องการผู้ชำนาญงานเฉพาะ ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการกำจัดของเสียทุกชนิดยกเว้นสารกำมันตรังสีและสารที่มีพิษมาก ๆ

สารประกอบบางชนิด เช่น เกลือของแมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี มีผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวนานขึ้น และกำลังต้านแรงอัดเปลี่ยนไป เกลือโซเดียม เช่น อาร์ซีเนต โบเรต ฟอสเฟต ไอโอเดต และซัลไฟด์ มีผลหน่วงการแข็งตัวของซีเมนต์

สารประกอบประเภทซัลเฟต มีผลหน่วงการแข็งตัวของซีเมนต์ นอกจากนี้ยังจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เกิดเป็นยิปซัม และสารประกอบซัลโฟลูมิเนต (Sulfoaluminate compound) ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวของวัสดุสาร ยังผลให้ก้อนวัสดุแตกสลายได้ (รักษพล, 2538 อ้างจาก Thompson และคณะ, 1979)

ของเสียที่เป็นอันตรายที่มีประจุ เช่น โซดาไนต์ โครเมต และอาร์ซีเนต จะต้องทำการบำบัดก่อนหน้าการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Rijal, 1990 อ้างจากรายงานของ Bames และคณะ, 1979)

Sollars และ Perry กล่าวถึงประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

2.7.2.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

ข้อดีของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ มีดังนี้

1. สารที่เติมในส่วนผสมหาได้ง่ายในราคาที่สมเหตุสมผล
2. เทคนิคการผสมซีเมนต์ได้มีการพัฒนาอย่างดี
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหาได้โดยทั่วไป
4. ใช้กับของเสียที่มีสมบัติแปรเปลี่ยนได้เป็นอย่างดี
5. สามารถควบคุมคุณภาพความแข็งแรงหรือลดความชื้นได้ของผลิตภัณฑ์โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม

ข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

1. ผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังต้านแรงอัดต่ำอาจถูกชะละลายได้โดยสารละลายที่เป็นกรด
2. การบำบัดก่อนอาจจำเป็นต้องทำในกรณีที่ของเสียมีสารเจือปนที่มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
3. ปูนซีเมนต์และสารที่เติมในส่วนผสมทำให้เกิดการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของของเสีย

2.7.3 กลไกการยึดจับโลหะหนัก (Heavy Metal Binding Mechanisms)

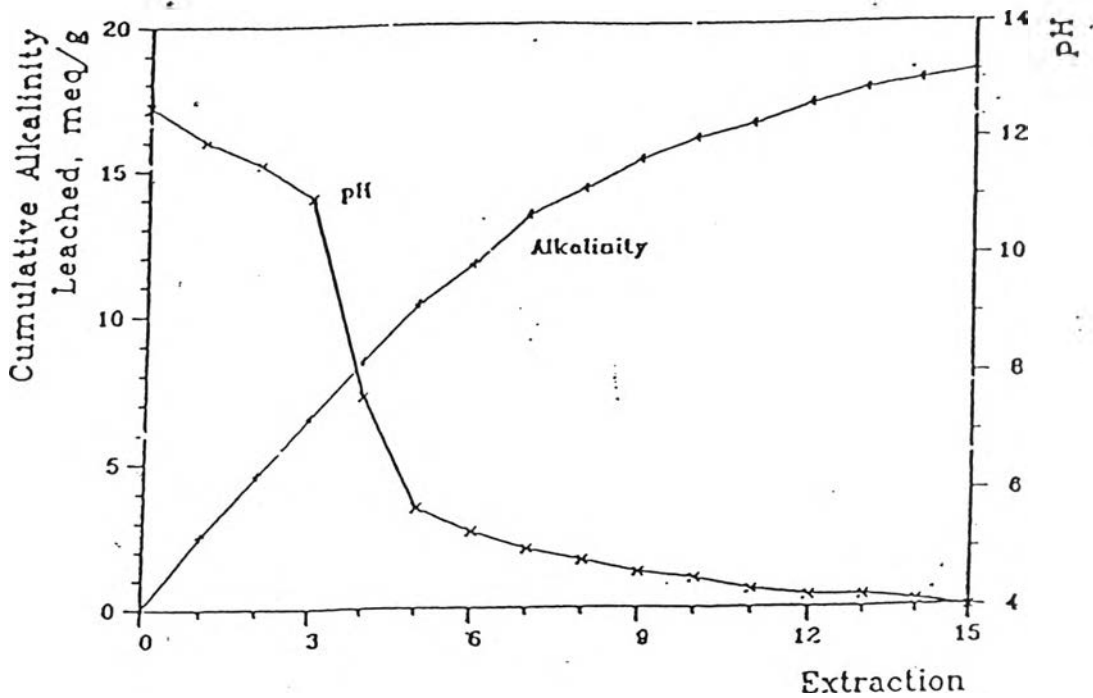
Bishop ศึกษากลไกการยึดจับโลหะหนักจากกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้โลหะหนักสังเคราะห์เป็นโลหะหนักไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม โครเมียม และตะกั่ว ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7 ประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสม ในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อน (Sollars และ Perry, 1989)

ประเภทของเสีย	เหตุผลที่ไม่สมควรใช้
1. ของเสียอินทรีย์	
1.1 มีส่วนประกอบเกลือที่ละลายได้อยู่มาก	มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
1.2 มีส่วนประกอบสารพิษประจุลบอยู่มาก เช่น โบเรต	สามารถชะละลายได้ง่ายกว่าพวก ประจุบวก
1.3 มีส่วนประกอบของสารหน่วงการก่อตัวของซีเมนต์ เช่น ซัลเฟตในปริมาณมาก	มีผลต่อกำลังด้านแรงอัดของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้
1.4 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษ	เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
1.5 ผลิตภัณฑ์เมื่อสัมผัสกับน้ำหรือค้าง เช่น โลหะคาร์ไบด์	เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
2. ของเสียอินทรีย์	
2.1 มีวัสดุที่ติดไฟ หรือเกิดระเบิดได้	เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
2.2 มีสารประกอบพวกขามาแมลง	สามารถชะละลายออกมาได้ง่าย
2.3 มีสารประกอบที่หน่วงการก่อตัว เช่น น้ำตาล	มีผลต่อกำลังด้านแรงอัดของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.7.3.1 ความจุบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity)

จากการทดสอบการสกัด 15 ครั้ง โดยใช้วิธีการสกัดสารของ U.S.EPA ผลการตรวจวัดพีเอช และความเป็นด่าง เขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.3 จากกราฟพบว่า ความเป็นด่างสะสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ตามจำนวนครั้งของการสกัด โดยที่ความเป็นด่างในการสกัดครั้งที่ 15 มีค่าเพียงร้อยละ 1.7 ของความเป็นด่างสะสมทั้งหมดตลอดการสกัดในครั้งที่ผ่านมา ซึ่งแสดงว่า อาจจะมีความเป็นด่างเพียงเล็กน้อยที่เหลือค้างอยู่ในอนุภาค ความเป็นด่างสะสมของการสกัดทั้ง 15 ครั้ง มีค่าประมาณ 18.3 มิลลิสมมูล/กรัม ซึ่งถือว่าเป็นค่าความจุบัฟเฟอร์ของของเสียที่ทำให้เป็นก้อน ความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมาจากของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อน จะเป็นตัวควบคุมพีเอชของน้ำที่ผ่านการสกัด น้ำสกัดก่อนที่จะใช้สกัดอนุภาคของของเสียมีค่าพีเอช 3.4 ในการสกัด 3 ครั้งแรก น้ำสกัดที่เป็นกรดจะถูกสะเทินให้เป็นกลาง โดยมีค่าพีเอชสูงเกิน 10 ในการสกัด 3 ครั้งต่อมา น้ำสกัดมีค่าพีเอชต่ำกว่า 6 พีเอชของการสกัดอีก 9 ครั้งต่อมา ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนมีค่าประมาณ 4 ความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมามีค่าลดลงในการสกัดทุกครั้ง



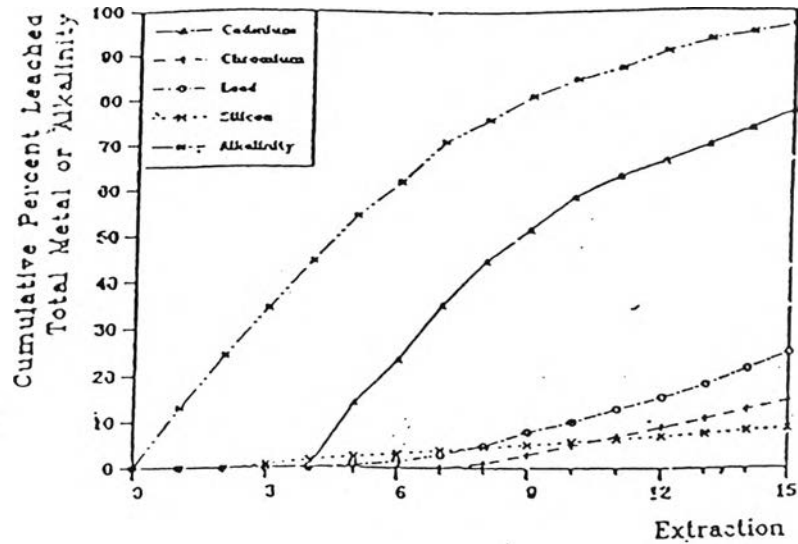
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงพีเอชและความเป็นด่างสะสมจากการสกัด 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

2.7.3.2 การยึดจับโลหะหนัก

จากการทดลองที่ผ่านมาหลายครั้งทำให้ทราบว่า โลหะหนักอาจอยู่ในโพรงของโครงสร้างของเส้นที่แข็งตัว ดูดติด (Adsorption) บนผนังโพรง และทำปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อนกับสารประกอบของซีเมนต์เพสต์

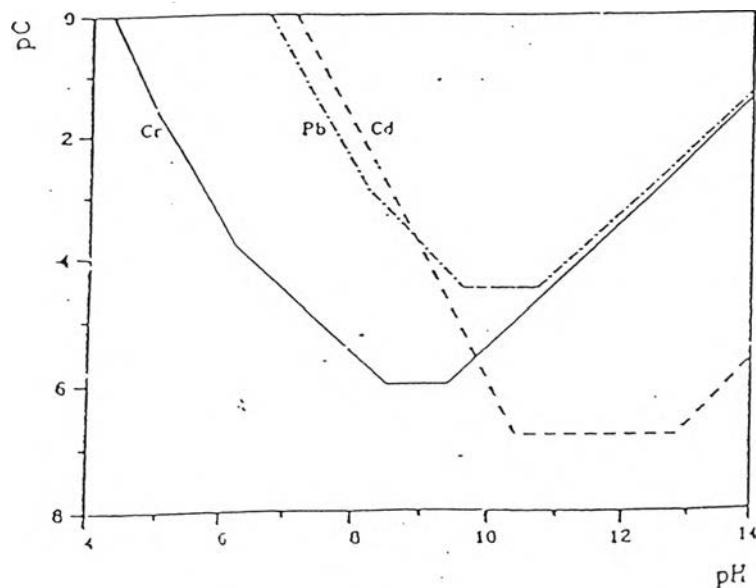
ถ้าโลหะหนักถูกติดไปในโครงสร้างแข็งในโพรง หรือถูกดูดติดบนพื้นผิวโพรงโลหะหนักเหล่านั้น ควรถูกชะละลายออกคล้ายกับการชะละลายของความเป็นด่าง จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันของเส้นกราฟความเป็นด่างสะสม และแคดเมียมสะสม ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่า แคดเมียมควรอยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ และเกาะติดอยู่ตามผนังโพรง

โครเมียมและตะกั่ว น่าจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกามากกว่าอยู่ในโพรง ถ้าเป็นดังที่กล่าวไว้ โลหะหนักเหล่านี้ควรถูกชะละลายออกมา เมื่อโครงสร้างของซิลิกาถูกทำลาย และจากรูปที่ 2.4 พบว่า เส้นกราฟสะสมของโครเมียมและตะกั่วคล้ายกับของซิลิกอน ดังนั้นโครเมียมและตะกั่ว ควรอยู่ในรูปซิลิเกตที่ไม่ละลายมากกว่าที่จะอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย ความเป็นต่างถูกชะละลาย และซิลิกอนถูกชะละลาย จากการสกัด 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

ในสารละลายที่มีค่ากำลังประจุ (Ionic strength) 0.75 โมลาร์ ในขณะที่เริ่มผสมซีเมนต์ พีเอชที่สูงของซีเมนต์เพสต์ประมาณ 11-12 ทำให้โครเมียมและตะกั่วอยู่ในรูปละลาย และกลายเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ ซึ่งเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิเกต สำหรับแคลเซียมอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นของแข็งที่ค่าพีเอชช่วงนี้และไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการแข็งตัว จึงถูกคลุคติดในรูพรุน จากสาเหตุดังกล่าวจึงอธิบายได้ว่าโครเมียมและตะกั่วถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นกับการละลายของซิลิเกต สำหรับแคลเซียมถูกชะละลายออกมาตามการชะละลายของความเป็นต่าง



รูปที่ 2.5 แผนภาพ pC-pH สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม โครเมียม และตะกั่ว (Bishop, 1988)

2.8 การประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง

วิธีการประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เบื้องต้นของการบำบัด ได้แก่ การปรับปรุงโครงสร้างของกากของเสียให้แข็งแรงเป็นก้อนแข็งลดพื้นที่สัมผัส และจำกัดการละลายได้ของสารมลพิษ เมื่อสัมผัสกับของเหลวที่มาชะละลาย (Sollars และ Perry, 1989)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้กำหนดสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ดังนี้

1. สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1633 และ D 2166 ได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย
2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure)

2.9 เกณฑ์มาตรฐานในการระบุของเสียอันตราย

U.S.EPA (1992) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับของเสียที่สามารถนำไปฝังกลบโดยวิธีการทดสอบเรียกว่า Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ซึ่งวิธีการทดสอบ มีดังนี้

1) สำหรับของเสียที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่าร้อยละ 0.5 กรองแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยกระดาษกรองใยแก้ว 0.6 – 0.8 ไมครอน นำของเหลวไปวิเคราะห์ และนำสถานะของแข็งไปสกัดสาร

สารสกัดที่ใช้ มี 2 ชนิด ได้แก่

- สารสกัดชนิดแรก เป็นสารสกัดที่ได้จากการเติม 5.7 มิลลิลิตร ของกรดเกลืออะซิติก ลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และเติม 64.3 มิลลิลิตร ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

- สารสกัดชนิดที่ 2 เป็นสารสกัดที่ได้จากการทำกรดเกลืออะซิติก 5.7 มิลลิลิตร ให้เจือจาง โดยเติมน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

2) นำตัวอย่างของเสียชิ้นเล็ก ๆ 5 กรัม ผสมน้ำกับน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตร แล้วกวนอย่างแรงเป็นเวลา 5 นาที หากพีเอชน้อยกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดแรก และหากค่าพีเอชมากกว่า 5 เติมน้ำกลั่น 3.5 มิลลิลิตร ของกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล แล้วให้ความร้อน 500°C เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ้าพีเอชน้อยกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดแรก ถ้าพีเอชมากกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดที่ 2

3) นำตัวอย่างประมาณ 100 กรัม และใช้สารสกัดปริมาณ 20 เท่า ของน้ำหนักตัวอย่าง ถ้ามีสารระเหยง่ายต้องใช้ภาชนะบรรจุพิเศษ เพื่อป้องกันการระเหยของสารมลพิษอินทรีย์

4) เขย่าด้วยการหมุนรอบ 30 ± 2 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง

5) กรองแยกของเหลวออกจากของแข็ง ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว 0.6 – 0.8 ไมครอน

6) นำของเหลวไปวิเคราะห์ค่าสารมลพิษ

ถ้าเป็นไปได้ให้นำของเหลวที่อยู่ในของเสียบตอนแรก มาเติมรวมกับน้ำสกัด และทำการวิเคราะห์ของเหลวผสมรวมที่ได้ต่อไป

จากวิธีทดสอบหาปริมาณสารมลพิษในน้ำสกัด ถ้าความเข้มข้นของสารมลพิษที่ได้มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.8 ของเสียบก็ถือว่าเป็นของเสียบอันตราย

ตารางที่ 2.8 ค่ามาตรฐานของสารพิษต่าง ๆ จากการทดสอบด้วยวิธี TCLP (U.S. EPA, 1992)

สารมลพิษ	ระดับมาตรฐาน(มก/ล.)	สารมลพิษ	ระดับมาตรฐาน(มก/ล.)
อาร์เซนิก	5.0	Hexachlorobenzene	0.13
แบเรียม	100.0	Hexachlorobutadiene	0.5
เบนซีน	0.5	Hexachloroethane	3.0
แคดเมียม	1.0	ตะกั่ว	5.0
Carbon tetrachloride	0.5	Lindane	0.4
Chlordane	0.03	ปรอท	0.2
Chlorobenzene	100.0	Methoxychlor	10.0
คลอโรฟอร์ม	6.0	Methyl ethyl ketone	200.0
โครเมียม	5.0	Nitrobenzene	2.0
o-Cresol	200.0	Pentachlorophenol	100.0
m-Cresol	200.0	Pyridine	5.0
p-Cresol	200.0	เซลีนียม	1.0
Cresol	200.0	เงิน	5.0
2,4-D*	10.0	Tetrachloroethylene	0.7
1,4-Dichlorobenzene	7.5	Toxaphene	0.5
1,2-Dichloroethane	0.5	Trichloroethylene	0.5
1,1-Dichloroethylene	0.7	2,4,5-Trichlorophenol	400.0
2,4-Dinitrotoluene	0.13	2,4,6-Trichlorophenol	2.0
Endrin	0.02	2,4,5-TP(Silvex)**	1.0
Heptachlor	0.008	Vinyl chloride	0.2

* สารประกอบประเภท Dichlorophenol

** สารประกอบประเภท Trichlorophenol

สำหรับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับสมบัติของสารพิษ (นำมาพิจารณาเฉพาะค่าโลหะหนัก) ซึ่งเมื่อนำมาทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดสารและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดแล้ว ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง ดังต่อไปนี้

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.

จากการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการระบุของเสียอันตรายของ U.S.EPA. มีการกำหนดของเสียอันตรายที่เป็นโลหะหนักไว้เท่ากับเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย และระดับมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด ที่ระบุไว้ในเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย จะมีค่าเท่ากับระดับมาตรฐานของ U.S.EPA.

บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์ (2539) รายงานว่า กลุ่มประเทศสมาชิกยุโรป ได้พิจารณาแยกสมบัติของของเสียอันตราย ตามลักษณะของหลุมฝังกลบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. สำหรับฝังกลบของเสียอันตราย
2. สำหรับฝังกลบของเสียเฉื่อย (Inert waste)
3. สำหรับฝังกลบขยะชุมชน และของเสียไม่อันตราย

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของเสียจะต้องพยายามคงรูปเดิมให้ได้มากที่สุด หากเป็นชิ้นโตต้องบดให้เล็กลง แล้วทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 38414-S4 ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็นน้ำสกัดและจะต้องเขย่าโดยการหมุนครั้งละ 180° ต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง แล้วเหวี่ยงแยกหรือกรองน้ำใสกับตะกอนด้วยผ้ากรอง 0.45 ไมครอน

หากผลการวิเคราะห์น้ำสกัด พบว่าน้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วงของเสียอันตราย ต้องนำไปฝังกลบสำหรับของเสียอันตราย สำหรับน้ำสกัดที่มีค่าสูงเกินกว่าช่วงค่าที่ระบุไว้ ของเสียนั้นต้องส่งไปทำลายฤทธิ์ ก่อนที่จะนำไปฝังกลบสำหรับกากของเสียอันตราย หากทำลายฤทธิ์ไม่ได้ จะต้องฝังในที่ออกแบบพิเศษ เพื่อเก็บชั่วคราว หรืออาจให้ฝังกลบปนกับที่ฝังกลบขยะชุมชน

น้ำสกัดที่มีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของของเสียเฉื่อยตามที่ระบุไว้ ก็ถือเป็นของเสียเฉื่อยสามารถทิ้งหรือฝังได้ทั่วไป ส่วนน้ำสกัดที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าของเสียเฉื่อยและค่าต่ำสุดสำหรับฝังในที่ฝังกลบของเสียอันตรายให้ถือว่าเป็นของเสียที่ไม่อันตราย ค่าสารมลพิษในน้ำสกัดที่ถือว่าเป็นช่วงของของเสียอันตรายที่สามารถฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบของเสียอันตราย และของเสียเฉื่อย ตามการจำแนกของกลุ่มประเทศสมาชิกยุโรป แสดงดังตารางที่ 2.9

สำหรับการพิจารณาแยกสมบัติของของเสียอันตราย ตามกลุ่มประเทศสมาชิกยุโรป มีการแยกประเภทเป็นของเสียอันตรายและของเสียเฉื่อย โดยแตกต่างจากเกณฑ์ของประเทศไทย ซึ่งมีแต่มาตรฐานกำหนดของเสียอันตรายเพียงอย่างเดียว ในเกณฑ์ระบุช่วงของเสียอันตรายของกลุ่มประเทศสมาชิกยุโรป มีการกำหนดสารมลพิษที่เป็นโลหะหนักไว้ มากชนิดกว่าเกณฑ์ของประเทศไทย และช่วงระดับมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด (ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบตามการศึกษานี้ ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และปรอท) ในน้ำสกัด ยังกำหนดไว้ต่ำกว่าเกณฑ์ของประเทศไทย

ตารางที่ 2.9 แสดงช่วงของของเสียอันตราย และของเสียเฉื่อย (บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์, 2539)

สารมลพิษ	ช่วงของเสียอันตราย	ช่วงของเสียเฉื่อย
ตะกั่ว	0.4 – 0.2 มก./ล.	สารพิษทุกตัวรวมกัน ไม่มากกว่า 5 มก./ล และไม่มีสารพิษ ตัวใดตัวหนึ่งเกิน ค่าที่ระบุไว้
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 – 0.1 มก./ล.	
สังกะสี	2 – 10 มก./ล.	
ฟิเอช	4 – 13	4 – 13
อาร์เซนิก(+3)	0.2 – 1.0 มก./ล.	น้อยกว่า 0.1 มก./ล.
ฟีนอล	20 – 100 มก./ล.	น้อยกว่า 10 มก./ล.
ฟลูออไรด์	10 – 50 มก./ล.	น้อยกว่า 5 มก./ล.
แอมโมเนียม	0.2 – 1.0 ก. N/ล.	น้อยกว่า 50 มก./ล.
คลอไรด์	1.2 – 6.0 ก./ล.	น้อยกว่า 0.5 มก./ล.
ไซยาไนด์	0.2 – 1.0 มก./ล.	น้อยกว่า 0.1 มก./ล.
ซัลเฟต*	0.2 – 1.0 มก./ล.	น้อยกว่า 1.0 มก./ล.

ตารางที่ 2.9 แสดงช่วงของของเสียอันตราย และของเสียเฉื่อย (บุญยง โลหะวงษ์วัฒน์, 2539) (ต่อ)

สารมลพิษ	ช่วงของเสียอันตราย	ช่วงของเสียเฉื่อย
ไนไตรต์	6 – 30 มก./ล.	น้อยกว่า 3 มก./ล.
AOX**	0.6 – 30 มก./ล.	น้อยกว่า 0.3 มก./ล.
Solvents***	0.02 – 0.1 มก Cl/ล.	น้อยกว่า 10 มก. Cl/ล.
Pesticides***	1 – 5 มก. Cl/ล.	น้อยกว่า 0.5 มก. Cl/ล.
Lipoph.sub	0.4 – 2.0 มก./ล.	น้อยกว่า 1 มก./ล.

หมายเหตุ * = ถ้าเป็นไปได้ควรน้อยกว่า 500 มก./ล.

** = Adsorbed organically-bound halogens

*** = Chlorinated

2.10 การศึกษาที่ผ่านมา

Shively และคณะ (1986) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักที่ทำเสถียรด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลงเพื่อให้ทนซัลเฟตได้ปานกลาง โลหะหนักที่ใช้ทดลอง ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสมรวมกัน โดยทำการทดสอบกำลังต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และหาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (Sequential extractions) ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. กำลังต้านแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันของก้อนตัวอย่าง ซึ่งทดสอบ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 และ 1.0 อาร์เซนิก และ แคดเมียม ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน มีผลทำให้กำลังต้านแรงอัดลดลง ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ตะกั่วมีผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวของก้อนตัวอย่างช้าลง แต่ตะกั่ว และโครเมียม ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ไม่มีผลต่อกำลังต้านแรงอัด

2. ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด 15 ครั้ง น้อยกว่า ความเข้มข้นที่ทำนายจากความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ ประมาณ 100 ถึง 10,000 เท่า ลักษณะการละลายของโลหะหนัก แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก แคดเมียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์ จะทำลายฤทธิ์ของกรดที่ใช้ในการสกัด ทำให้พีเอชสุดท้ายมากกว่า 10.0 และมีการละลายของสารในซีเมนต์เพียงเล็กน้อย ช่วงที่สอง จะมีการละลายของโลหะหนักสูงที่สุด พีเอชลดลงเหลือน้อยกว่า 6.0 ช่วงที่สาม พีเอชยังคงน้อยกว่า 6.0 โลหะหนักที่มีความสามารถในการละลายต่ำเริ่มที่จะละลายออกมา และโลหะหนักที่ละลายออกมาจากการสกัดแต่ละครั้ง สัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในของเสีย

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาการชะละลายของสารอนินทรีย์อันตราย จากของเสียอันตราย ที่ถูกทำให้เป็นก้อน โดยใช้ของเสียอันตรายที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งมีโลหะหนักเป็นส่วนผสมได้แก่ แคลเซียม โครเมียม ตะกั่ว โลหะหนักทั้ง 3 ชนิดผสมกัน ทำให้เป็นก้อนโดยผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สอง โดยทำการสกัด 15 ครั้ง (Sequential extractions) ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. จากการสกัด 15 ครั้ง ความเป็นด่างสะสมของการสกัด 15 ครั้งค่าประมาณ 18.3 มิลลิสมมูล/กรัม ซึ่งถือเป็นค่าความจุฟเฟอร์ของของเสียที่ทำให้เป็นก้อน ความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมาจะมีค่าลดลงในการสกัดทุกครั้ง

2. กลไกในการยึดจับโลหะหนักเป็นดังนี้ คือ แคลเซียมอยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ที่แทรกตัวอยู่ตามรูพรุน หรือเกาะติดกับผนังของรูพรุนในซีเมนต์ที่แข็งตัว สำหรับโครเมียมและตะกั่ว จะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์เกิดเป็น โครงสร้างที่ซับซ้อนกับซิลิกา

การศึกษาของ Bishop สามารถนำมาใช้อธิบายกลไกในการยึดจับโลหะหนักประเภทอื่นได้ โดยพิจารณาจากลักษณะการชะละลายในน้ำสกัด

Cheng และ Bishop (1992) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนักในก้อนซีเมนต์ก่อนและหลังการทดสอบการชะละลายโดยใช้กรดอะซิติก ก้อนซีเมนต์จะถูกหล่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และกากตะกอนโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคลเซียม และอาร์เซนิก โลหะหนักจะถูกวิเคราะห์โดยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray (EDX) และ Wet Digestion/AA method จากผลการวิเคราะห์พบว่า บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น โดยเกิดจากกรดอะซิติกที่ใช้ชะละลาย ซึ่งแคลเซียมส่วนใหญ่ในองค์ประกอบของซีเมนต์จะถูกชะละลายออกมา ในขณะที่ ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม ยังคงเหลืออยู่ที่ผิวซึ่งสารที่เหลืออยู่นี้มีคุณสมบัติในการดูดซึมและดูดผิวได้ดี ดังนั้นโลหะหนักที่ละลายออกไปจะถูกดูดติดผิวที่บริเวณชั้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งจะช่วยป้องกันการชะละลายของโลหะหนักได้

จากการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างยังพบว่า การชะละลายของโลหะหนัก จะเกิดเฉพาะที่บริเวณชั้นผิวหน้าเท่านั้น ปริมาณโลหะหนักในชั้นที่ไม่มีการชะละลาย ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงก่อนการทดสอบการชะละลาย

Chang และ คณะ (1998) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าจากเตาเผามูลฝอยชุมชนที่ไม่มีการกักแยกมูลฝอยและเตาเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้วขนาด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่มีระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศเป็นแบบ Electrostatic Precipitator (EP) และ Wet Scrubber จำนวน 2 แห่ง ในเขตไทนาน ประเทศไต้หวัน โดยแห่งที่หนึ่งเผามูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการคัดแยก แห่งที่สองเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้ว เมื่อผ่านกระบวนการเผาแล้วได้นำเถ้าลอย (Fly ash) และเถ้าหนัก (Bottom ash) มาทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะ

นักตามวิธี TCLP ของ US. EPA พบว่าถ้าล่อยจากเตาเผามูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการคัดแยกมีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าเตาเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้ว เมื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐานพบว่าปริมาณโลหะหนักในถ้าล่อยจากเตาเผาทั้งสองแห่งมีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด จึงจัดเป็นของเสียอันตรายต้องมีการจัดการก่อนนำไปฝังกลบ วิธีการที่เหมาะสมได้แก่ การทำเสถียร การทำเป็นก้อน หรือ การหลอมละลาย ส่วนถ้าหนัก (Bottom Ash) จากเตาเผามูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการคัดแยกมีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าเตาเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้ว แต่ปริมาณโลหะหนักจากเตาทั้งสองแห่งไม่เกินค่ามาตรฐาน จัดเป็นของเสียไม่อันตราย ทำการทดลองนำไปเป็นส่วนผสมละเอียดในคอนกรีตแทนทราย ที่อัตราส่วน ซีเมนต์ : ส่วนผสมละเอียด : ส่วนผสมหยาบ เท่ากับ 1 : 2 : 4 ที่ water to cement ratio : w/c เท่ากับ 0.70 พบว่าคอนกรีตที่ใช้ทราย ถ้าหนักจากเตาเผามูลฝอยที่ไม่มีการคัดแยก ถ้าหนักจากเตาเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้ว มีคุณสมบัติดังนี้ ความหนาแน่น เท่ากับ 2340 2100 2110 kg/m³ ตามลำดับ ค่า slump เท่ากับ 100 10 20 mm. ตามลำดับ ค่ากำลังต้านแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 241.6 109.1 156.2 kg/cm² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมถ้าหนักจากเตาเผามูลฝอยเชื้อเพลิงก้อนที่ผ่านการคัดแยกแล้วมีคุณสมบัติดีกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมจากเตาเผามูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการคัดแยก แต่เมื่อเทียบกับค่ากำลังอัดมาตรฐานที่ 210 kg/cm² พบว่าต่ำกว่า 23 % ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำถ้าหนักจากเตาเผามูลฝอยมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต

Ching-Lung (1989) ได้ทำการศึกษาการทำของเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย โครเมียม ทองแดง และปรอท ให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมถ้าหนัก ทำการทดลองวัดค่าการชะละลายของโลหะหนัก และกำลังต้านแรงอัด ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถยึดจับโครเมียมได้ดีกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมถ้าหนัก ขณะที่ปูนซีเมนต์ผสมถ้าหนัก สามารถยึดจับ ทองแดง และปรอท ได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
2. จากลักษณะการชะละลาย พบว่า ทองแดงและปรอท ถูกจับยึดโดยถูกดักไปในโครงสร้างแข็งในโพรง และถูกดูดซับบนพื้นผิวโพรง
3. การชะละลายของโลหะหนัก ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ผสมถ้าหนักจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดของน้ำสกัดเพิ่มขึ้น
4. การบ่มก้อนตัวอย่าง 28 วัน พบว่า การชะละลายของโครเมียมลดลง ขณะที่การชะละลายของทองแดงและปรอทเพิ่มขึ้น
5. ความสามารถในการถูกชะละลาย เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเสียที่ผสมอยู่ในก้อนตัวอย่าง

6. การเพิ่มปริมาณของเสี้ยน ทำให้กำลังด้านแรงอัดลดลง

7. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(w/c) ที่เหมาะสม สำหรับกำลังด้านแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ 0.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ คือ 0.7

การศึกษาของ Ching-Lung เปรียบเทียบคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างที่ใส่วัสดุผสมเพิ่ม คือ เถ้าแกลบ และก้อนตัวอย่างที่ไม่ใส่ ทำให้ทราบว่า การใส่วัสดุผสมเพิ่มมีผลต่อการยึดจับโลหะหนัก ซึ่งจะช่วยให้การยึดจับดีขึ้น และลดลง ขึ้นอยู่กับประเภทของโลหะหนัก นอกจากนี้ ผลการศึกษายังบอกถึงกลไกการยึดจับ ทองแดงและปรอท อีกด้วย

Fuessle และ Taylor (1994) ได้ทำการศึกษากำลักรับการชะละลายของฝุ่นจากเตาหลอมเศษเหล็กด้วยอาร์คไฟฟ้า (ของเสี้ยนอันตราย K061 จำแนกโดย U.S.EPA) ที่เก็บรวบรวมจากรถบรรทุกที่วิ่งเข้าไปในโรงฝังกลบ โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ และส่วนผสมอื่น ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) โดยศึกษาเปรียบเทียบผลของการเติมเถ้าลอยและซิลิกาฟุ้งที่อัตราส่วนผสมของวัสดุประสานต่อของเสี้ยน 0.12 และ 0.2 และใช้ระยะเวลาบ่ม 60 วัน และ 335 วัน ทั้งนี้ ฝุ่นจากเตาหลอมประกอบด้วยโลหะหนักอันตราย คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ซึ่งจากการทดสอบการชะละลายฝุ่นดังกล่าวโดยวิธี TCLP พบว่า มีปริมาณ แคดเมียม และ ตะกั่ว ในน้ำสกัดเกินมาตรฐานประมาณ 70 เท่า และหลังจากผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ได้ผลการทดสอบการชะละลายได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้เถ้าลอย โดยเฉพาะการบำบัดแคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล

Inthasaro (2002) ศึกษาการนำเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และทางแร่ของเถ้าลอย เมื่อทำการผสมเถ้าลอยแทนที่ในปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ตาร์ทำการทดสอบค่าความต้องการน้ำ ระยะก่อตัว และการพัฒนากำลังอัด รวมทั้งทดสอบลักษณะน้ำชะจากก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมลอย ผลการทดสอบคุณสมบัติเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนด ASTM C 618 เมื่อนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ทำให้กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ลดลง ความต้องการน้ำและระยะก่อตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ตาร์ธรรมดา และเมื่อทำการใช้เถ้าลอยทดแทนที่ปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนการแทนที่ร้อยละ 10 15 และ 25 ด้วยสัดส่วนวัสดุประสานต่อทราย 1 ต่อ 2.75 ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน 0.485 ต่อ 1 และระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ให้ค่ารับกำลังอัดเมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ตาร์ เท่ากับ ร้อยละ 92.7 90.9 และ 70.0 ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะทั้งจากเถ้าลอยและจากก้อนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่าประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

นฤมิต (2538) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก จากการทำบำบัดน้ำเสียซีโอติ โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์จะทำให้ตะกอนโลหะหนักมีคุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนของกรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่ปรอทมีการชะละลายออกมาค่อนข้างสูงจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสารพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โครเมียมและเหล็กมีการชะละลายออกมาน้อยมาก ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 50 เป็นวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ได้ดีกว่าซีเมนต์ล้วน และค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนมีค่า 3,600 บาทต่อตันตะกอนโลหะหนัก

รักษพล (2538) ได้ทำการศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด ในการทำเสถียรกากตะกอนจาโรไซต์ โดยการทำให้เป็นก้อน กากตะกอนมี 2 ประเภท ได้แก่ กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต วิธีที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการทำเป็นก้อน ได้แก่ กำลังต้านแรงอัด และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดผลการทดสอบสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม ได้แก่ ร้อยละ 11 และร้อยละ 15 สำหรับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา และกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ตามลำดับ สามารถทำให้สมบัติของก้อนตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาวเป็นการทดสอบในคอลัมน์โดยใช้น้ำประปา ที่มีพีเอชอยู่ระหว่าง 5.8 และ 6.3 เป็นน้ำชะละลาย เมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ เท่ากับ ร้อยละ 10 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดช่วงระยะชะละลายน้ำ 90 วัน

การศึกษาทดลองใช้วัสดุประสานหลายชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต การทดลองได้ผล คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้สมบัติที่ดีที่สุด แต่ในการทำเสถียรกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็ก ส่วนประกอบของกากตะกอนบางตัวที่เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ จึงน่าจะช่วยในการเสริมสมบัติของก้อนซีเมนต์ให้ดีขึ้น ดังนั้น วัสดุประสานที่เหมาะสม ทั้งทางด้านสมบัติของก้อนตัวอย่างและเศรษฐศาสตร์ จึงอาจจะไม่ใช่เฉพาะแก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียว

ภูพิงค์ (2540) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีด้วยวิธีทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อหาสัดส่วนวัสดุประสานที่ดีที่สุดในการทำเสถียรโลหะหนักจากเศษสีที่เกิดจากการขัดลอกสีถังบรรจุก๊าซหุงต้ม ซึ่งพบว่ามีส่วนประกอบของโลหะหนักคือ โครเมียม ปรอท และตะกั่วเกินค่ามาตรฐาน จัดเป็นกากสารพิษตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 25 (พ.ศ.2531)

การศึกษาทำโดยใช้ปูนซีเมนต์ และ/หรือปูนขาวเป็นวัสดุประสาน มีการเปรียบเทียบผลการวิจัยเมื่อเติมและไม่เติมกรดกำมะถันเพื่อเพิ่มการชะละลายของโลหะหนักออกจากกากของเสียการทำให้เป็นก้อนแข็ง และกรณีที่เหมาะสมละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 7.02 มก./ล. เพื่อช่วยในการทำเสถียรโลหะหนักให้เป็นโลหะซัลไฟด์อย่างเกินพอดี สำหรับโลหะหนักใช้วิธีการสกัดสารของกรมโรงงานในการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมา พบว่าเมื่อมีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน สัดส่วนผสมของเสียต่อวัสดุประสาน ที่ 1:1 ในกรณีที่ไม่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ และสัดส่วนผสมของการของเสียต่อวัสดุประสานที่ 3:1 ในกรณีที่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้ปูนซีเมนต์ต่อปูนขาวสัดส่วน 1:1 เป็นวัสดุประสาน สัดส่วนที่เหมาะสมคือ กากของเสียต่อปูนซีเมนต์และปูนขาว 3:1 เมื่อศึกษาหาอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ พบว่า ที่อัตราส่วน 0.40 เป็นค่าที่เหมาะสม และการชะละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอช 4 6 และ 8 พบว่าโลหะหนักถูกชะละลายมากขึ้นเมื่อพีเอชลดลง แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ค่าใช้จ่ายในการบำบัดและกำจัดขั้นสุดท้าย พบว่าสัดส่วนที่ประหยัดที่สุดคือใช้ กากของเสียผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่สัดส่วนกากของเสียต่อปูนซีเมนต์ 3:1 มีความเหมาะสมมากที่สุด มีค่าใช้จ่ายประมาณ 2,050 บาท / ตัน

ประเสริฐ (2541) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีไอดี และกากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ โดยการเติม โซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนการทำให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ และของเสียซิลิกา-อะลูมินา ในการทดลองนี้แสดงถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อน และแสดงสมบัติทางกายภาพของตะกอนที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน คือ กำลังต้านแรงอัดความหนาแน่น และความชื้นได้ของน้ำ นอกจากนี้มีการทดสอบการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของปรอท โครเมียม และเหล็ก

ผลการทดลองการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีไอดีให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมของเสียซิลิกา-อะลูมินา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.50 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อของเสียซิลิกา-อะลูมินา เท่ากับ 1:0.6 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.50 ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอท และ โครเมียมคงตัวเท่ากับ 88.39 และ 82.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดนี้ประมาณ 5,110 บาทต่อตันของตะกอนแห้ง

ผลการทดลองการทำกากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมของเสียซิลิกาอะลูมินา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.75 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อของเสียซิลิกา-อะลูมินา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.75 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อของเสียซิลิกา-อะลูมินา เท่ากับ 1:1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.50 ใช้ปริมาณโซเดียม

ซัลไฟด์ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ใช้ระยะเวลาบ่ม 3 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว เท่ากับ 82.17 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,620 บาทต่อตันของตะกอนแห้ง

อริวัตร (2542) ศึกษาการทำเสถียรและการทำเป็นก้อนของซีเมนต์ที่ได้จากการเผาการ ซีเมนต์น้ำมันเตา โดยใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ เพื่อเลือกใช้ชนิดและสัดส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำซีเมนต์จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิต่างๆ (400°C 800°C $1,200^{\circ}\text{C}$) ให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งกากตะกอนน้ำมันเตาจากกันถึงพิกน้ำมันเตาของคลังน้ำมันถูกกำจัดโดยการเททิ้งลงในบ่อเก็บกักตื้นๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์โลหะหนักตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีความเข้มข้นของโครเมียม 5.16 มก./ล. และปรอท 0.25 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เมื่อนำกากตะกอนน้ำมันเตามาเผาที่อุณหภูมิ 400°C 800°C $1,200^{\circ}\text{C}$ ซีเมนต์ที่ได้มีปริมาณโครเมียม 2.01 1.97 และ 1.93 ตามลำดับ ส่วนปรอทไม่สามารถตรวจพบในซีเมนต์จากการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิ จากการทดลองนำซีเมนต์ไปทำเป็นก้อนแข็งในวัสดุประสานต่างๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยใช้ค่าปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักซีเมนต์กากตะกอน ร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก ทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังต้านแรงอัด 15.67 กก./ตร.ซม. ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ 14.00 กก./ตร.ซม. และอัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.60 จะให้กำลังอัด 19.07 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงสุดในวัสดุประสานและอัตราส่วนผสมเดียวกัน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากน้ำมันเตา ได้แก่ ค่าเผากากน้ำมันเตา ค่าใช้จ่ายในการทำเป็นก้อน ค่าขนส่งไปฝังกลบ และค่าฝังกลบที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมราชบุรี เป็นเงิน 4,264 บาท/ตันของกากน้ำมันเตา คิดเป็นร้อยละ 0.11 ของราคาน้ำมันเตา

ประภคฤ (2542) ทำการศึกษาการทำเสถียรกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็กด้วยไฟฟ้าโดยใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ เพื่อเลือกใช้ชนิดและสัดส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมมากที่สุดในการทำกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าให้เป็นก้อนแข็ง จากการศึกษาพบว่าปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต ที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน และพบว่าอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และอัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.70 เป็นสัดส่วนที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด ซึ่งให้ค่ารับกำลังอัดและปริมาณ โลหะหนักชะละลายในน้ำสกัดผ่านมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ค่าใช้จ่ายในการกำจัดประกอบด้วยค่าทำเป็นก้อน ค่าขนส่งไปฝังกลบ และค่าฝังกลบที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมราชบุรี เป็นเงิน 1,230 บาท/ตัน ของกากตะกอน หรือเท่ากับ 73.80 บาท / ตันของการผลิตเหล็กเส้น คิดเป็นร้อยละ 0.11 ของราคาเหล็กเส้น

กฤษฎณ์ (2545) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเถ้าลอยขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ต้า ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยทั้งสองชนิดนี้ รวมทั้งทำการทดสอบสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยแต่ละชนิด คือ ความต้องการน้ำ ระยะเวลาการก่อตัว การพัฒนากำลังด้านแรงอัด และหาปริมาณโลหะหนักจากน้ำชะเถ้าลอยทั้งสองชนิด ผลการทดสอบสรุปได้ว่า เถ้าลอยทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถจัดเป็นวัสดุพอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C 618-96 และเมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่ากำลังด้านแรงอัดของมอร์ต้าลดลง ส่วนความต้องการน้ำและระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา เมื่อนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผสมมอร์ต้าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.485 ต่อ 1 ให้ค่ากำลังด้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 85 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา ส่วนมอร์ต้าผสมเถ้าลอยขานอ้อยให้ค่ากำลังด้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา และผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยขานอ้อย พบว่า มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)