

บทที่ 3

บททวนเอกสาร

3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย

ประเทศสหรัฐอเมริกา Resource Conservation and Recovery Act.(RCRA) กล่าวว่าของเสียอันตราย คือ ของเสียหรือเป็นส่วนผสมของของเสีย ซึ่งด้วยปริมาณ ความเข้มข้นหรือลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีหรือการติดเชื้อ ที่อาจก่อให้เกิด

1. การเพิ่มขึ้นของอัตราการตาย หรือการป่วยที่รักษาไม่หาย หรือการทุพพลภาพ
2. เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม หากทำการบำบัด การเก็บกัก การขนส่ง การทิ้งหรือการจัดการ ที่ไม่เหมาะสม

นอกจากนี้ The U.S. Environmental Protection Agency. (U.S.EPA) ยังกล่าวว่า ของเสียจะเป็นอันตรายภายใต้การควบคุมของกฎหมาย ถ้ามีลักษณะตรงกับข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อดังต่อไปนี้

1. มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับของเสียอันตราย คือ ติดไฟได้ง่าย มีฤทธิ์กัดกร่อนเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นง่ายหรือเป็นพิษ
2. เป็นของเสียที่ไม่มีแหล่งที่มาเฉพาะ (non specific source) มักเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม
3. เป็นของเสียที่มีแหล่งที่มาเฉพาะ (specific source) จากอุตสาหกรรมบางประเภท
4. เป็นผลิตภัณฑ์เคมีที่ใช้ในการพาณิชย์กรรมบางประเภท
5. เป็นส่วนผสมของสารที่ถูกระบุว่าเป็นของเสียอันตราย
6. เป็นสารที่ถูกกำหนดไว้ในบทบัญญัติภายใต้ RCRA, subtitle C, section 3001

คำว่าของเสียอันตรายในประเทศฝรั่งเศส หมายถึง ของเสียที่เกิดจากการผลิต การนำเข้า ขนส่ง หรือการทิ้งจนอาจเป็นอันตรายต่อดิน พืช สัตว์ อาจทำลายสิ่งแวดล้อมหรือไปปนเปื้อน อากาศ น้ำ ในเยอรมันก็เรียกว่า เป็นของเสียพิเศษที่เกิดจากการประกอบธุรกิจที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ อากาศ น้ำ หรือ เป็นสิ่งที่อาจระเบิดได้ ติดไฟได้ หรืออาจทำให้เกิดโรค ซึ่งจะต้องกำจัด

เป็นพิเศษแยกจากขยะชุมชน ส่วนในเนเธอร์แลนด์ เรียกว่า กากสารเคมี ซึ่งหมายถึงของเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีกลุ่มที่รัฐประกาศระบุไว้ หรือของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิตทางเคมี สำหรับในสหราชอาณาจักรเรียกว่าของเสียที่เป็นพิษ หรือเป็นสารมลพิษ ซึ่งหากเกิดขึ้น จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นอันตราย หรือในสหรัฐอเมริกา ก็หมายถึงขยะที่เป็นของแข็ง ที่มีปริมาณความเข้มข้น คุณสมบัติ หรือมีเชื้อโรค จนอาจเพิ่มอัตราการตาย หรือพิการ และเป็นภัยต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อบำบัด เก็บ ขนส่ง หรือกำจัดไม่ดี สำหรับประเทศญี่ปุ่นจะเรียกว่า ของเสียที่ต้องควบคุมเป็นพิเศษ ซึ่งหมายถึง ของเสียที่อาจระเบิดได้ ติดไฟได้ เป็นพิษหรือมีเชื้อโรค จนอาจทำลายสุขภาพมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิต

สำหรับประเทศไทย ของเสียที่เป็นอันตราย ตามคำจำกัดความ ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ หมายถึงของเสียหรือสิ่งของที่เจือปนด้วยของเสียซึ่งมีความเข้มข้นหรือมีคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมีหรืออื่นๆที่เป็นสาเหตุให้เกิดการตายหรือเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด ที่เหมาะสม

ของเสียอันตรายสามารถแบ่งตามคุณสมบัติได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. สารไวไฟคือ ของเสียที่ติดไฟได้ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน
2. สารเกิดปฏิกิริยาและความดันมาตรฐาน
3. สารกัดกร่อนคือ ของเสียที่พีเอชน้อยกว่าหรือเท่ากับ2หรือพีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ12.5
4. สารมีพิษคือ ของเสียที่มีความเป็นพิษในตัวเอง ได้แก่ สารเคมีต่างๆ หรือสารกัมมันตรังสี
5. สารถูกชะละลายได้ง่ายคือ ของเสียที่สามารถถูกชะละลายสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ดิน แหล่งน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน ได้ง่าย
6. สารที่ก่อให้เกิดโรคคือ ของเสียที่มีจุลินทรีย์ปะปนอยู่ เช่น ของเสียจากสถานพยาบาล หรือห้องปฏิบัติการเพาะเชื้อ

นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิด เช่น อาร์เซนิก แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีพิษ ซึ่งนอกจากจะไม่เปลี่ยนรูปไปตามกาลเวลาแล้ว ยังสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์ และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย น้ำเสีย หรือตะกอน เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกชะละลายแพร่กระจายเข้าสู่แหล่งน้ำหรือผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร

จากคำจำกัดความที่กล่าวมา สามารถแบ่งประเภทของเสียอันตรายออกเป็น 10 ประเภท (บุญยง, 2539) ได้แก่

1. อุปกรณ์ที่มีแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่หมดอายุการใช้งาน เช่น โทรทัศน์ เตาไมโครเวฟ เป็นต้น
2. น้ำมันเครื่องที่หมดสภาพการใช้งาน
3. น้ำกรด – ด่าง ที่หมดอายุการใช้งาน
4. ตะกอนที่มีโลหะหนัก จำพวก ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม ปนเปื้อน
5. ขยะที่ไฮดรอสเปคตอสปนเปื้อน
6. กากหรือขี้เถ้า จากการทำเหมืองแร่ ถลุงหรือหลอมโลหะ
7. ตะกอนนอนก้นถังกลั่นน้ำยาเคมีต่าง ๆ
8. น้ำยาดำทำลาย ที่หมดสภาพการใช้งาน
9. น้ำยาล้างและอัดรูปที่หมดอายุการใช้งาน
10. ขยะติดเชื้อโรค จากโรงพยาบาล หรือศูนย์แลปวิเคราะห์ต่าง ๆ

3.2 โลหะหนัก

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

โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ได้หลายรูปที่เสถียรว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์ อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้

U.S.EPA ได้กำหนดโลหะที่มีพิษ 13 ชนิด ที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสีย ได้แก่ แบริลเลียม แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เงิน ทองแดง อาร์เซนิก แอนติโมนี เซเลเนียม เทลลูเรียม และปรอท

3.3 การบำบัดและกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

การบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย หมายถึง การจัดการกับของเสียที่เป็นอันตราย เพื่อลดความเป็นพิษและทำให้มีสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสม ก่อนนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย ด้วยวิธีฝังกลบ แบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นการแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอน การกรอง การเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง และการตกตะกอน เป็นต้น

2. การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีทำลายฤทธิ์ของเสียด้วยการทำปฏิกิริยาทางเคมี ประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การทำสะเทิน การบำบัดด้วยวิธีออกซิเดชัน การบำบัดด้วยวิธีรีดักชัน การทำเสถียร/การทำให้เป็นก้อน การตกตะกอนผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ เป็นต้น

3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ การย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก และการหมักทำปุ๋ย เป็นต้น ทั้งนี้หากมีปริมาณของเสียมากหรือสารที่เป็นพิษต่อระบบชีวภาพต้องทำการบำบัดก่อนที่จะใช้วิธีทางชีวภาพ

4. การบำบัดด้วยความร้อน (Thermal treatment) การใช้ความร้อนในการบำบัดของเสียประเภทสารอินทรีย์ จะสามารถทำได้และเป็นวิธียอมรับกันโดยทั่วไป

การกำจัดของเสียโดยทั่วไปมีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของเสียนั้น ๆ เช่น การกำจัดโดยการนำไปทิ้งทะเล การฝังกลบ และการอัดลงชั้นบาดาล เป็นต้น โดยที่ของเสียนั้น ๆ จะต้องผ่านการบำบัดก่อน เพื่อให้มีความเหมาะสมในการกำจัดขั้นสุดท้าย (Youn, 1990 อ้างถึงใน Cassell และ Walker, 1970)

การฝังกลบเป็นวิธีการที่ใช้กำจัดของเสียที่เป็นอันตราย ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายของเสียที่เป็นของเหลวหรือสลัดจ์ ไม่เหมาะสมที่จะกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในของเสีย หรือเมื่อถูกน้ำชะละลาย อาจปนเปื้อนลงสู่ดินและน้ำใต้ดินได้ง่าย (Youn, 1990 อ้างถึง Peter และ Ferg, 1987)

3.4 การจัดการของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน

อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันก่อให้เกิดของเสียมากมายหลายชนิด ทั้งที่เป็นของแข็ง และกึ่งของแข็ง ของเสียบางชนิดอาจประกอบด้วย สารซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

US Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) ได้จัดให้ของเสีย 6 ประเภทจากโรงกลั่นน้ำมันเป็นของเสียที่เป็นอันตราย คือ

1. Leaded Tank Bottoms.
2. Dissolved Air Flotation Sludge.
3. Slop Oil Emulsion Solids.
4. Heat Exchange Bundle Cleaning Solids.
5. API Oil-Water Separation Sludges.
6. Primary Oil-Water Separation Sludges.

การจัดการของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันนี้ มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ แต่ละประเทศ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความต้องการ และกฎข้อบังคับของแต่ละท้องถิ่น United Nations Environment Programme (UNEP) ได้แนะนำวิธีการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันไว้ดังนี้

3.4.1 วิธีการบำบัดขั้นต้น (Pre-Disposal Operation)

- การบำบัดขั้นต้น เพื่อจุดมุ่งหมายที่จะลดปริมาณของเสียที่จะต้องนำมากำจัดในขั้นตอนต่อไป วิธีการโดยทั่วไปที่ใช้ ได้แก่ การแยกของแข็งและรีคั่นน้ำออก การลดการเกิดของเสียการแยกของเสียและการทำให้ของเสียเข้มข้น การนำกลับมาใช้ใหม่ และการเผาทำลายของเสีย

- การลดการเกิดของเสีย (Waste Reduction) เกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตใหม่, การใช้สารเคมีหรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างออกไปจากเดิม, การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่, การควบคุมกระบวนการผลิตที่ดีขึ้นกว่าเดิม

- การแยกของเสีย (Waste Separation) เกี่ยวกับการแยกของเสียที่เป็นประเภทเดียวกันไว้ในสถานที่เก็บเดียวกัน และแยกออกจากของเสียประเภทอื่น ๆ เพื่อลดปัญหาในด้านการขนส่งของเสีย รวมทั้งการที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างสะดวกและระมัดระวัง

- การทำของเสียให้เข้มข้นขึ้น (Concentration of Wastes) โดยการรีดน้ำออกจากของเสีย จะช่วยลดปริมาณของของเสียที่จะต้องบำบัดต่อ

- การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) การนำกลับมาใช้ใหม่ของส่วนประกอบบางชนิดที่มีประโยชน์ หรือ พลังงาน หรือ วัสดุคืบ เป็นวิธีการที่ดี เนื่องจากของเสียบางชนิดประกอบด้วยส่วนที่ยังมีคุณค่าอยู่

3.4.2 วิธีการกำจัด (Disposal Operation)

การกำจัดมีหลายวิธี ได้แก่ การเผา การใช้วิธีการทางเคมี การฝังกลบอย่างถูกหลักวิชาการ และการกำจัดโดย Land Treatment โดยการใช้วิธีการเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับข้อบังคับทางกฎหมายของแต่ละท้องถิ่น

การเผา (Incineration) การบำบัดโดยวิธีการเผามีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสีย และทำลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการนำกลับพลังงานมาใช้ ส่วนที่เหลือจากการเผา ก็จะถูกทำลายความเป็นพิษ แล้วสามารถนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพต่อไป

การบำบัดทางเคมี (Chemical Fixation) ใช้ในการกำจัดของเสียทั้งของเหลวและของแข็ง โดยการใช้วิธีการทางเคมี เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบของของเสียที่เป็นพิษ ให้อยู่ในรูปกึ่งของแข็ง หรือของแข็ง ซึ่งสามารถนำไปทำให้เป็นก้อน (Encapsulates) ต่อไปได้

การฝังกลบ (Landfilling) เป็นวิธีการที่ใช้กันมากในการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมัน ความเหมาะสมของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของของเสียที่เกิดขึ้น และขึ้นอยู่กับวิธีการปฏิบัติการ ภูมิศาสตร์ของสถานที่ตั้งและลักษณะสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามวิธีการกำจัดโดยการฝังกลบไม่เป็นวิธีการที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ การทำการฝังกลบจะต้องมีข้อคำนึงถึงอื่น ๆ อีก คือ

-การแยกประเภทของของเสียเพื่อป้องกันการผสมกันของสารประกอบที่ไม่เหมาะสมเช่นของเสียที่ประกอบด้วยโลหะหนักกับกรด หรือสารละลายของของเสียชนิดอื่นซึ่งอาจก่อให้เกิดการระเบิด ความร้อน หรือก๊าซพิษที่เป็นอันตราย

-การทำให้ของเสียที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ทำให้เป็นกลางหรือสะเทินเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาของของเสียอีก

-การเลือกสถานที่ฝังกลบที่มีขนาดใหญ่พอเพียง เพื่อให้มีบริเวณสำหรับการปฏิบัติงานของรถขนถ่าย การจัดให้มีการกระจายของของเสียอย่างทั่วถึง การบดอัดและคลุมทับผิวหน้าในแต่ละวันการทำงาน หรือเรียกว่าการจัดให้มีการฝังกลบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

-การป้องกันการชะของน้ำฝน การควบคุมคุณภาพน้ำในบริเวณใกล้เคียง

การกำจัดโดย Land Treatment การกำจัดโดยวิธีนี้ใช้ในการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันมานานหลายปี การทำ Land Treatment เป็นวิธีการกำจัดที่เกี่ยวข้องการควบคุมการทิ้งของเสียลงบนผิวดินและการเกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยานบนผิวดินโดยส่วนประกอบของของเสียจะถูกย่อยสลาย และแปลงรูปให้อยู่ในสารประกอบที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน แต่ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเสียแต่ละชนิดซึ่งจะต้องตรวจสอบก่อน เช่น ส่วนประกอบทางกายภาพ สารประกอบอินทรีย์ โลหะหนัก เกลือ สารอาหารและพีเอช สารประกอบหลายชนิด เช่น โลหะหนัก ฟีนอล สารCaustic กรด ทั้งหมดล้วนเป็นสารที่เป็นพิษ และย่อยสลายได้ช้า การทำ Land Treatment ที่มีสารเป็นพิษเหล่านี้ย่อมควรมีความเข้มข้นต่ำหรือไม่ควรใช้วิธีนี้เนื่องจากอาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดิน หรืออาจจะเสี่ยงที่จะเกิดความเป็นพิษต่อพื้นที่และสิ่งมีชีวิตโดยรอบ ถ้าหากเกิดการปนเปื้อนของสารพิษออกสู่บริเวณใกล้เคียง

การเลือกสถานที่เพื่อทำ Land Treatment ต้องคำนึงถึงความสำคัญในด้านต่างๆ คือ ลักษณะทางสภาพอากาศ ลักษณะสมบัติของดิน การเตรียมสถานที่ และลักษณะทางภูมิประเทศ

3.5 การบำบัดด้วยความร้อน (Thermal Treatment)

การบำบัดด้วยความร้อน สามารถทำลายหรือลดปริมาณของของเสียได้ในเวลาเพียงไม่นาน ซึ่งการบำบัดของเสียเหล่านี้จะต้องใช้เวลานานเป็นเดือนเป็นปีในการย่อยสลาย โดยการทำการ

ฝังกลบ การบำบัดด้วยความร้อน สามารถลดอันตรายที่จะเกิดต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมจากการบำบัดโดยการฝังกลบ,ลดความต้องการพื้นที่เพื่อทำการฝังกลบเพิ่มขึ้น และลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการนำพื้นที่ฝังกลบกลับมาใช้อีกในอนาคต

ใน Hazardous Waste and Consolidated Regulations ของ US EPA ในเดือนพฤษภาคม 1980 กล่าวไว้ว่า

“ การเผา เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการค้นคว้าและพัฒนาเป็นอย่างดี สามารถทำลายของเสียที่เป็นอันตรายประเภทสารอินทรีย์ได้อย่างปลอดภัย สามารถลดปริมาณของเสียจำนวนมากและเปลี่ยนให้กลายเป็นก๊าซที่ไม่เป็นอันตรายและเถ้า (Ash) หรือสิ่งที่เหลืออื่น ๆ (Residue) การเผาสามารถเป็นวิธีการแก้ปัญหาทางการจัดการของเสียที่เป็นอันตรายได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งก่อให้เกิดภาระแก่สิ่งแวดล้อมไม่มากนัก ”

การบำบัดด้วยความร้อน คือ กระบวนการบำบัดเพื่อลดปริมาณและความเป็นพิษของของเสีย โดยการเผาภายใต้สภาวะที่ถูกรควบคุมและออกแบบมา เมื่อของเสียถูกเผาของเสียจะแตกตัวให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย และมีพิษน้อยลง การบำบัดด้วยความร้อนเตาเผามีหลายรูปแบบ วิธีที่เป็นที่นิยมสำหรับการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายในอเมริกา คือ

- Liquid Injection Incinerators
- Fixed Hearth Incinerators
- Rotary Kilns

3.5.1 การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง (Hi-Temp Incineration)

การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง คือ การใช้ความร้อนเผาของเสียที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ของเสียออกซิไดซ์ไปเป็นขี้เถ้า หรือเกลือที่คงรูป ซึ่งของเสียบางประเภทอาจให้พลังงานความร้อนเพียงพอที่จะลุกไหม้เองได้ แต่บางตัวต้องอาศัยเชื้อเพลิงเข้าช่วย แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณขี้เถ้าหรือกากตะกอนที่เกิดขึ้น ก็ยังต้องนำไปศึกษาเพื่อหาวิธีการกำจัดอย่างถูกต้องและเหมาะสม เช่น นำไปทำให้คงรูปไม่ละลายน้ำก่อนฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐาน

การเผาทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายบางชนิดที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โลหะหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะทางเคมีในลักษณะต่างๆกันขึ้นอยู่กับชนิด สมบัติทางกายภาพ สมบัติ

ทางเคมีของโลหะ อุณหภูมิที่ใช้เผา รวมถึงสถานะและการรวมตัวของโลหะหนักเป็นสารประกอบ โลหะหนักที่ซับซ้อนในแต่ละชนิดของของเสีย การเผาของเสียที่อุณหภูมิต่างๆกัน โลหะหนักจะมี อัตราการระเหยกลายเป็นไอแตกต่างกันด้วย โดยหลังการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอระเหยออกไป แล้ว เมื่อไอก๊าซเย็นตัวลงจะกลั่นตัวกลับคืนสู่สถานะเดิม อาจจะตกผลึกอยู่บนอนุภาคเล็กๆที่ไอออน ของโลหะหนักนั้นจับตัวออกมาขณะเกิดการเผาไหม้และกระจายอยู่ตามสิ่งแวดล้อมรอบๆบริเวณ นั้น ในชี้แล้วยังมีโลหะหนักบางส่วนเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิ ในการเผาสูงมากขึ้นเท่าใดก็จะทำให้โลหะหนักระเหยกลายเป็นไอได้มากเท่านั้น ซึ่งจะทำ ให้ชี้เถ้าก้นเตามีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่น้อยตามไปด้วย , David A. Tillman และคณะ (1989)

David A. Tillman , Amadec J. Rossi และ Katherine M. Vick (1989) ศึกษาถึงสถานะของ โลหะหนักอาร์เซนิก , แบเรียม , แคลเซียม , โครเมียม , ทองแดง , ตะกั่ว , พรอท และนิกเกิล เมื่อนำ มาเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1,500° ฟ (815° ซ) พบว่า สถานะของโลหะหนักบางตัวเมื่อถูกเผาที่ ความร้อนสูงจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอระเหยและรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ กระจาย อยู่ในชี้เถ้าก้นเตา , 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 หรือ ตัวทำละลาย คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยได้ในอากาศ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แบ่ง แยกเป็นควันสีขาวและควันสีดำ ในส่วนของควันขาวนั้นมีสาเหตุจากอุณหภูมิของการเผา สารอินทรีย์ประเภทนี้ต่ำเกินไปไม่เพียงพอในการที่จะเผาทำลายสารประกอบเชิงซ้อนของคาร์บอน (300° ฟ – 500° ฟ) ทำให้เกิดการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่สมบูรณ์ ส่วนควันดำเกิด จากการเผาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสภาพที่มีออกซิเจนไม่พอเพียง รวมถึงขาดการผสม ผสาน (Mixing) ที่ดีของของเสียและการกระจายอากาศภายในห้องเผาไหม้ไม่ทั่วถึง จึงเกิดการฟุ้ง กระจายของอนุภาคคาร์บอนและถูกปล่อยออกมาพร้อมกับก๊าซจากเตาเผามองเห็นเป็นควันสีดำ ม Calvin R. Brunner (1993)

ก๊าซที่มีพิษและเป็นอันตรายซึ่งอาจเกิดจากการเผาของเสียอันตรายบางประเภทคือ ออกไซด์ของไนโตรเจนและออกไซด์ของกำมะถัน ในส่วนของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิด จากเผาของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบไนโตรเจนจะเปลี่ยนแปลงสถานะ เป็นก๊าซ NO_x ได้ ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 2,700° ฟ หรือ 1,480° ซ ซึ่งเตาเผาของเสียทั่วไปนั้นมีอุณหภูมิไม่ สูงมากพอที่จะเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ส่วนเตาเผาของเสียอันตรายทั่วไปที่ใช้อุณหภูมิสูงมาก ถึง 2,200° ฟ หรือ 1,200° ซ ก็เพื่อการทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายแต่อย่างไรก็ตามยังเป็นอุณหภูมิที่

ค่าพอที่จะป้องกันการเกิดก๊าซ NO_x ในปริมาณสูงๆ ได้ ก๊าซ NO_x จะเริ่มถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่สูงมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผามากกว่า $3,200^\circ \text{F}$ หรือ $1,760^\circ \text{C}$ ส่วนออกไซด์ของกำมะถันเกิดจากปฏิกิริยาออกซิไดซ์ระหว่างสารประกอบกำมะถันในของเสียบอกออกซิเจนกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ซึ่งแยกออกเป็นชนิดหลักๆ ได้ คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีอันตราย เพราะเมื่อปลดปล่อยออกไปจากปล่องของเตาเผาแล้วก๊าซชนิดนี้สามารถรวมตัวกับไอน้ำในอากาศ (ความชื้น) กลายเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดกัดกร่อนได้ คือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ส่วนมากออกไซด์ของกำมะถันจะเกิดจากการเผาไหม้สารจำพวกน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบอยู่สูงหรือด้านหิน

3.5.2 ประเภทของเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย

เตาเผาของเสียอันตรายที่ใช้กันในปัจจุบัน แยกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1) Liquid Injection Incinerator	มีอุณหภูมิในการเผา $1,500-3,000^\circ \text{F}$
2) Rotary Kiln Incinerator	มีอุณหภูมิในการเผา $1,500-2,800^\circ \text{F}$
3) Fluid-Bed Incinerator	มีอุณหภูมิในการเผา $1,400-1,600^\circ \text{F}$
4) Bubbling Fluid-Bed Incinerator	มีอุณหภูมิในการเผา $1,400-1,600^\circ \text{F}$
5) Circulating Fluid-Bed Incinerator	มีอุณหภูมิในการเผา $1,400-1,600^\circ \text{F}$

การทำลายฤทธิ์ด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง นิยมใช้กับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ของเสียจำพวกไฮโดรคาร์บอน น้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันยาง ยามาแมลง สีสังเคราะห์ หรือ ตัวทำลาย เนื่องจาก การบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และชีวภาพ จะไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของเสียดังกล่าวได้ดี

จากข้อมูลในปี ค.ศ. 1996 การกำจัดของเสียอันตรายโดยวิธีการเผาด้วยเตาเผาประเภทต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า สัดส่วนของเสียอันตรายทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อปีประมาณ 4 ล้านตัน ถูกกำจัดโดยการเผาในเตาเผาต่างๆชนิดกัน 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)

3.5.3 ข้อดีและข้อเสียของการทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง

ข้อดี

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

ข้อเสีย

- 1) ต้องใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างเตาเผาสูง
- 2) ต้องควบคุมก๊าซที่ระบายออกมาให้ดี

3.6 การทำเสถียรภาพของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน (Solidification of Hazardous Wastes)

คำจำกัดความและที่มาของการทำให้เป็นก้อน

การทำเสถียร (Stabilization) หมายถึง กระบวนการในการลดความเป็นพิษของกากของเสียโดยการเปลี่ยนรูปร่างทางเคมีของของเสีย ให้มีรูปแบบที่เสถียรยิ่งขึ้น ซึ่งอาจรวมถึงการทำให้อยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำซึ่งธาตุหรือสารประกอบที่เป็นพิษจะถูกกักด้วยโพลิเมอร์หรือโครงสร้างหลักของสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (Sollar และ Perry, 1989 อ้างจาก Wiles, 1987)

การทำให้เป็นก้อน (Solidification) เป็นกระบวนการซึ่งนำวัสดุประสานมาเติมลงในของเสีย ซึ่งของเสียนั้นอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือตะกอน แล้วทำให้กากของเสียนั้นเป็นก้อนแข็งมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายขนส่งได้สะดวก ในระหว่างการทำให้เป็นก้อนมัก

เกิดการทำให้เสถียรพร้อมกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น โดยสารพิษถูกทำให้เสถียร และถูกจับดักไว้ภายในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนมวลแข็งที่แข็งตัว (Sollars และ Perry, อ้างจาก Wiles, 1987) ดังนั้น การทำให้เป็นก้อนจึงเป็นทั้งการบำบัดกายภาพและการบำบัดทางเคมี

วัตถุประสงค์ของการทำให้กากตะกอนเป็นก้อนแข็ง

วัตถุประสงค์ดั้งเดิมของการทำให้กากตะกอนเป็นก้อนแข็ง คือ เพื่อกักเก็บความเป็นพิษของกากของเสีย และป้องกันไม่ให้ความเป็นพิษแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการตั้งข้อกำหนดที่สำคัญของการทำให้กากตะกอนแข็งตัวไว้ 4 ข้อ คือ

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

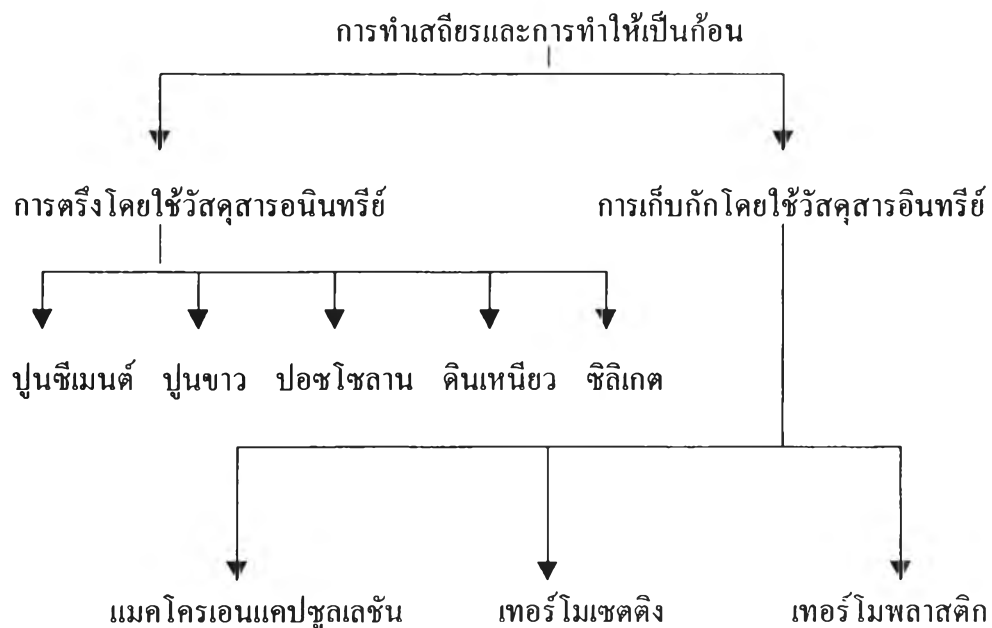
Barnes et al. (1979) อ้างถึงใน Rijal (1990) ได้สรุปความต้องการสำหรับการทำให้เสถียรกากของเสียอันตราย ด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งไว้ดังนี้

- 1) สารพิษทั้งหมดในกากของเสียควรจะต้องถูกทำให้เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี และไม่มีการเคลื่อนที่
- 2) กากของเสียที่แข็งตัวแล้ว จะต้องไม่ซึมน้ำ และมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำน้อยที่สุด
- 3) ก้อนตะกอนแข็งที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้
 - ขนาดของก้อนคงที่
 - ทนทานต่อสภาพแห้ง/เปียก หนาว/ร้อน ได้เป็นอย่างดี
 - รับแรงอัดได้ดี
 - มีอัตราความซึมน้ำต่ำ
 - ในการทำให้แข็งตัวนี้จะต้องไม่ทำให้ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นมาก
 - วิธีการทำให้แข็งตัวจะต้องประหยัด หรือควรมีการนำของเสียชนิดอื่นมาใช้ ร่วมด้วย เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ หรือบอกรีไซต์
 - ควรพิจารณาการนำเอาก้อนตะกอนที่ทำให้แข็งตัวแล้วมาใช้ประโยชน์
 - สถานที่ใช้ฝังกลบตะกอนที่แข็งตัวแล้ว จะต้องมีการควบคุมและดูแลอย่างต่อเนื่อง

Sollars และ Perry (1989) แบ่งการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน ออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ดังนี้

1. การจับยึดสารอนินทรีย์ (Inorganic fixation) เช่น ปูนซีเมนต์, ปูนขาว, วัสดุปอชโซลาน, ดินเหนียว และซิลิเกต มักใช้กับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์
2. การเก็บกักด้วยสารอินทรีย์ (Organic encapsulation) เช่น บิโวมิน, พาราฟินและโพลีเอทิลีน มักใช้กับของเสียกัมมันตรังสี ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.1

วิธีการเก็บกักโดยวัสดุสารอินทรีย์ (Organic encapsulation) ทำโดยการใช้วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก หรือออร์แกนิกโพลิเมอร์ มาห่อหุ้มของเสียเพื่อเก็บกักสารพิษมิให้หลุดออกมา วิธีนี้จะใช้ในกรณีเฉพาะเมื่อมีความจำเป็น และไม่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย เช่น การกำจัดของเสียที่เป็นกัมมันตรังสี เพราะวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง อันเนื่องมาจากราคาของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ มีราคาแพง จะต้องใช้พลังงานสูง ส่วนวิธีการตรึงโดยวัสดุสารอนินทรีย์ (Inorganic fixation) จะประยุกต์ใช้กับของเสียอนินทรีย์ โดยเฉพาะของเสียที่ประกอบด้วย โลหะที่มีประจุบวก



รูปที่ 3.1 การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน (Sollars และ Perry, 1989)

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

1. ปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพของเสียและสามารถขนส่งได้สะดวก
2. ลดพื้นที่ผิวของเสีย ซึ่งก็คือ การลดการแพร่กระจายออกไปของสารพิษ
3. จำกัดความสามารถในการละลายขององค์ประกอบที่เป็นพิษในของเสีย

การทำให้เป็นก้อนมีการใช้วิธีการต่าง ๆ 7 วิธี คือ วิธีการใช้ปูนซีเมนต์ (Cement – based techniques) วิธีการใช้ปูนขาว(Lime-based techniques) วิธีการใช้เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic techniques) โดยใช้วัสดุประเภทบิทูเมน พาราฟิน วิธีการใช้ออร์แกนิกโพลีเมอร์ (Organic polymers) วิธีการเอนแคปซูลเลชัน (Encapsulation) วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self - cementing techniques) วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification) (Bishop, 1988 อ้างจาก U.S.A.EPA) รายละเอียดของแต่ละกระบวนการแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่ง Shuckrow และคณะ (1982) ได้สรุปข้อดี และข้อเสียของการทำให้เป็นก้อน ทั้ง 7 วิธีการ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน (Engineering Science, 1989)

กระบวนการการทำให้เป็นก้อน (Solidification Proocess)	รายละเอียด
1. Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงไปในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอย่างอื่น และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาว และวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่นเถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่กั้นเผาเป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แห้งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัว อยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen, Paraffin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารโพลิเมอร์ (Gelli agents หรือ Urea formaldehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ผสมให้เข้ากันก่อนที่โพลิเมอร์แข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวแน่นแล้วเคลือบผิวนอกของของเสียที่ถูกบดคั่วด้วยสารเคลือบ เช่น Polyethylene หรือ Organic Resins
6. Self – cementing	สารที่มีคุณสมบัติเป็นซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซิลิเกต และ แคลเซียมซิลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถนำมาใช้ผสมกับกากตะกอนของเสีย เพื่อหล่อให้แข็งตัว โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย และมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals of Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากถ่านหินครึ่งสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นส่วนผสมของแก้วหรือ Synthetic Silicate Mineral เพื่อป้องกันการไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายตัวด้วยน้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไป โดยไม่มีกระบวนการหุ้ม หรือบรรจุครั้งที่ 2

ตารางที่ 3.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ (Shuckrow และคณะ 1982)

ประเภทของกระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. Cement and Silicate Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้ราคาถูก - มีความยืดหยุ่นต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี - กำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดีมาก - เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการก่อตัวของคอนกรีต - ส่วนผสมของซีเมนต์และกากของเสียที่ไม่ได้ห่อหุ้ม - สามารถถูกย่อยสลายและถูกชะละลายได้ ภายใต้ภาวะที่มีพีเอชต่ำ - เพิ่มน้ำหนักและปริมาณของเสียทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและฝังกลบเพิ่มขึ้น
2. Lime Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้ราคาถูก - เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาดีแล้ว - การใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมเป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิด โดยกระบวนการเดียวกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement Based
3. Thermoplastic Based Solidification/Fixation	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้ - สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพง และใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญ - ของเสียชนิดเปี้ยกลดประสิทธิภาพของกระบวนการ - ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong Oxidants, dehydrated salts
4. Organic Polymer Process	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิดโครงสร้างของโพลีเมอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ลดค่าใช้จ่ายในการขน 	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียที่ถูกยึดไว้ในโพลีเมอร์อย่างหลวม ๆ - สารที่มีพีเอชต่ำจะทำให้โลหะละลายออกมา - การย่อยสลายทางชีวภาพของสารโพลีเมอร์บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ
5. Encapsulation	<ul style="list-style-type: none"> - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี - ไม่มีการชะละลายของของเสียออกมาเมื่อสารที่ห่อหุ้มอยู่ไม่ถูกทำลาย - ค่าใช้จ่ายในรอบการใช้งานต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - การชะล้างของของเสียจะเกิดขึ้นหากสารที่ห่อหุ้มถูกทำลาย - ไม่ผสมในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียจำนวนมาก
6. Self Cementing Techniques	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้วัสดุเพิ่มเติมประสิทธิภาพ (additive) น้อย - ส่วนผสมของซีเมนต์ก่อตัวเร็วมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการก่อตัวของคอนกรีต - ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะล้างได้ภายใต้ภาวะที่มีพีเอชต่ำ

ตารางที่ 3.2(ต่อ) ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ (Shuckrow และคณะ 1982)

ประเภทของกระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
7. Classification	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะดูชะละลายได้น้อยมาก - การบรรจุอยู่ในแกนซีดี - ใช้วัสดุที่มีราคาถูก 	<ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิสูงอาจทำให้อंकประกอบของเสียระเหยออกมาก่อนที่จะถูกตรึงไว้ - ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการให้ความร้อน - อุปกรณ์มีราคาแพงและต้องการผู้ชำนาญเฉพาะ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการกำจัดของเสียทุกชนิด ยกเว้นสารกัมมันตรังสีและสารที่มีพิษมาก ๆ

3.7 การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Cement – Based Technique)

การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ส่วนใหญ่จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้อาจมีการใช้วัสดุประสานเพิ่มประสิทธิภาพบางประเภท เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ ซิลิกาเจลซัลไฟด์ เป็นต้น เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำให้แข็งตัวและยึดจับความเป็นพิษ โดยของเสียที่เป็นของเหลว หรือของเหลวในสลัดจ์จะเป็นส่วนหนึ่งของน้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดเจลแคลเซียมซิลิกาไฮเดรต ซึ่งเมื่อเจลโตขึ้น และเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งตัว เป็นผลึกแหลม ๆ อย่างหนาแน่น ในภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูงของซีเมนต์เพสต์ มีผลทำให้โลหะหนักในของเสียเปลี่ยนรูปเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซิลิเกตที่ไม่ละลาย และถูกจับติดอยู่ภายในโพรงของเนื้อซีเมนต์ ซึ่งโลหะบางชนิดอาจถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อนของซีเมนต์ (Bishop, 1988)

3.7.1 สารเจือปนที่เป็นอุปสรรคต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์

สารเจือปนหลายประเภทที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ เช่น สารอินทรีย์ ดินตะกอน (silts) และดินเหนียว จะมีผลให้ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวนานขึ้น โดยอาจใช้เวลาหลายวัน ทั้งนี้ไม่ควรมีสารอินทรีย์เจือปนมากกว่าร้อยละ 10 หากมีสารอินทรีย์ในปริมาณมาก ๆ จะต้องทำการบำบัดก่อนการทำลายฤทธิ์ด้วยปูนซีเมนต์

สารประกอบบางชนิด เช่น เกลือของแมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี มีผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวนานขึ้น และกำลังรับแรงอัดเปลี่ยนไป เกลือโซเดียม เช่น อาร์ซีเนต โบเรต ฟอสเฟต ไอโอเดต และซัลไฟด์ มีผลหน่วงการแข็งตัวของซีเมนต์

สารประกอบประเภทซัลเฟต มีผลหน่วงการแข็งตัวของซีเมนต์ นอกจากนี้ยังจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เกิดเป็นยิปซัมและสารประกอบซัลโฟลูมิเนต (Sulfoaluminate Compound) ซึ่งจะก่อให้เกิดการขยายตัวของวัสดุสาร ยังผลให้ก้อนวัสดุแตกสลายได้ (รักษพล, 2538 อ้างจาก Thompson และคณะ, 1979)

ของเสียที่เป็นอันตรายที่มีประจุลบ เช่น ไฮยาไนด์ โครเมต และอาร์ซีเนตจะต้องทำการบำบัดก่อนหน้าการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Rijal, 1990 อ้างจากรายงานของ Bames และคณะ, 1979)

3.7.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

ข้อดีของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ มีดังนี้

- สารที่เติมในส่วนผสมหาได้ง่ายในราคาที่สมเหตุสมผล
- อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหาได้โดยทั่วไป
- เทคนิคการผสมซีเมนต์ได้มีการพัฒนาอย่างดี
- สามารถควบคุมคุณภาพความแข็งแรง หรือลดความชื้นได้ของผลิตภัณฑ์ โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม
- ใ้ใช้กับของเสียที่มีสมบัติแปรเปลี่ยนได้เป็นอย่างดี

ข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ สรุปได้ดังนี้ คือ

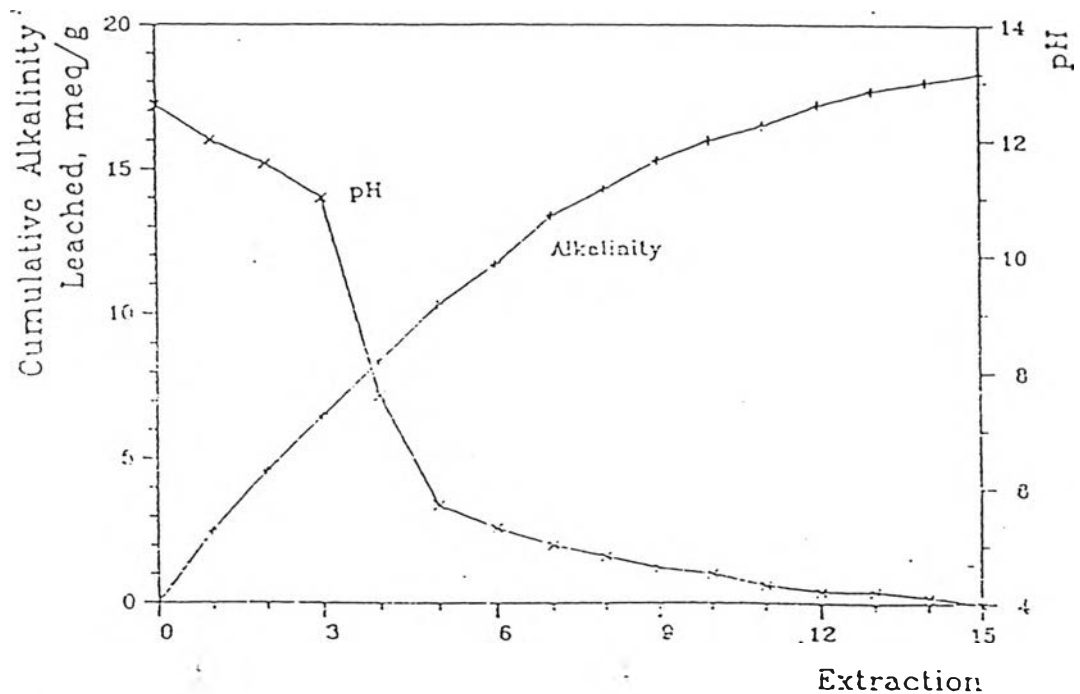
- ผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำอาจถูกชะละลายได้โดยสารละลายที่เป็นกรด
- การบำบัดอาจจำเป็นต้องทำในกรณีของเสียมีสารเจือปนที่มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์
- ปูนซีเมนต์และสารที่เติมในส่วนผสมทำให้เกิดการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของของเสีย

3.8 กลไกการยึดจับโลหะหนัก (Heavy Metal Binding Mechanisms)

Bishop ศึกษากลไกการยึดจับโลหะหนักจากกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้โลหะหนักสังเคราะห์เป็นโลหะหนักไฮดรอกไซด์ ของแคลเซียม โครเมียม และตะกั่ว ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

3.8.1 ความจุบัฟเฟอร์ (Waste Form Buffering Capacity)

จากการทดสอบการสกัด 15 ครั้ง โดยใช้วิธีการสกัดสารของ U.S.EPA ผลการตรวจพีเอช และความเป็นด่าง เขียนเป็นรูปกราฟได้ดังรูปที่ 3.2 จากกราฟพบว่า ความเป็นด่างสะสมมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งของการสกัด โดยที่ความเป็นด่างในการสกัดครั้งที่ 15 มีค่าเพียงร้อยละ 1.7 ของความเป็นด่างสะสมทั้งหมดตลอดการสกัดในครั้งที่ผ่านมา ซึ่งแสดงว่าอาจจะมีความเป็นด่างเพียงเล็กน้อยที่เหลือค้างอยู่ในอนุภาค ความเป็นด่างสะสมของการสกัดทั้ง 15 ครั้ง มีค่าประมาณ 18.3 มิลลิสมมูล/กรัม ซึ่งถือว่าเป็นค่าความจุบัฟเฟอร์ของของเสียที่ทำเป็นก้อน ความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมาจากของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อน จะเป็นตัวควบคุมพีเอชของน้ำที่ผ่านการสกัด น้ำสกัดก่อนที่จะใช้สกัดอนุภาคของเสียมีค่าพีเอช 3.4 ในการสกัด 3 ครั้งแรก น้ำสกัดที่เป็นกรดจะถูกสะเทินให้เป็นกลางโดยมีค่าพีเอชสูงเกิน 10 ในการสกัด 3 ครั้งต่อมา น้ำสกัดมีค่าพีเอชต่ำกว่า 6 พีเอชของการสกัดอีก 9 ครั้งต่อมา ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนมีค่าประมาณ 4 ความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมามีค่าลดลงในการสกัดทุกครั้ง

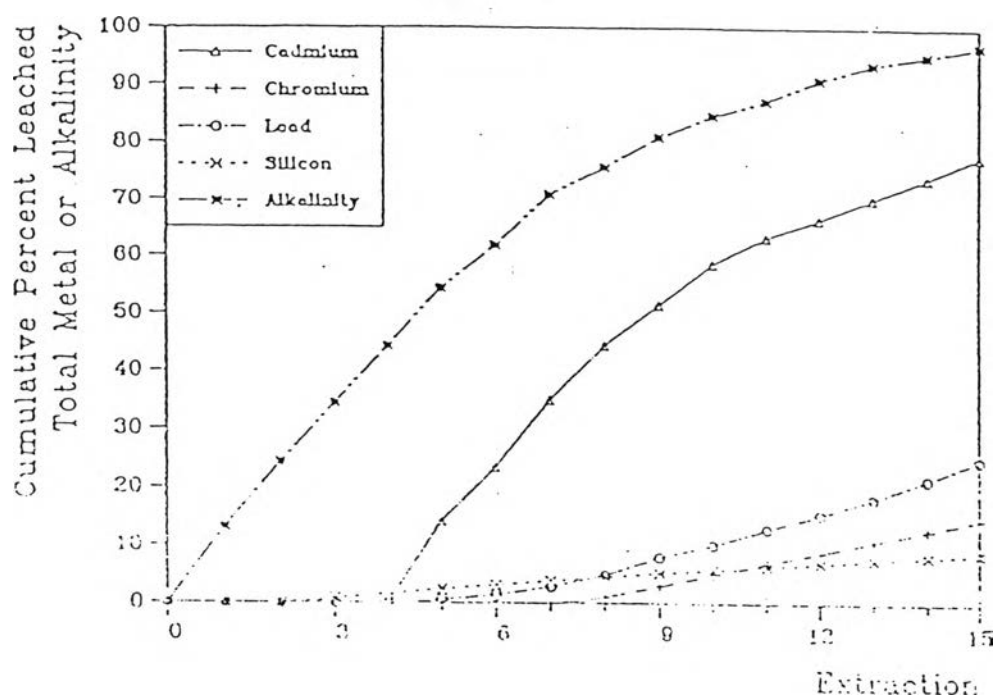


รูปที่ 3.2 กราฟแสดงพีเอชและความเป็นด่างสะสมจากการสกัด 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

3.8.2 การยึดจับโลหะหนัก

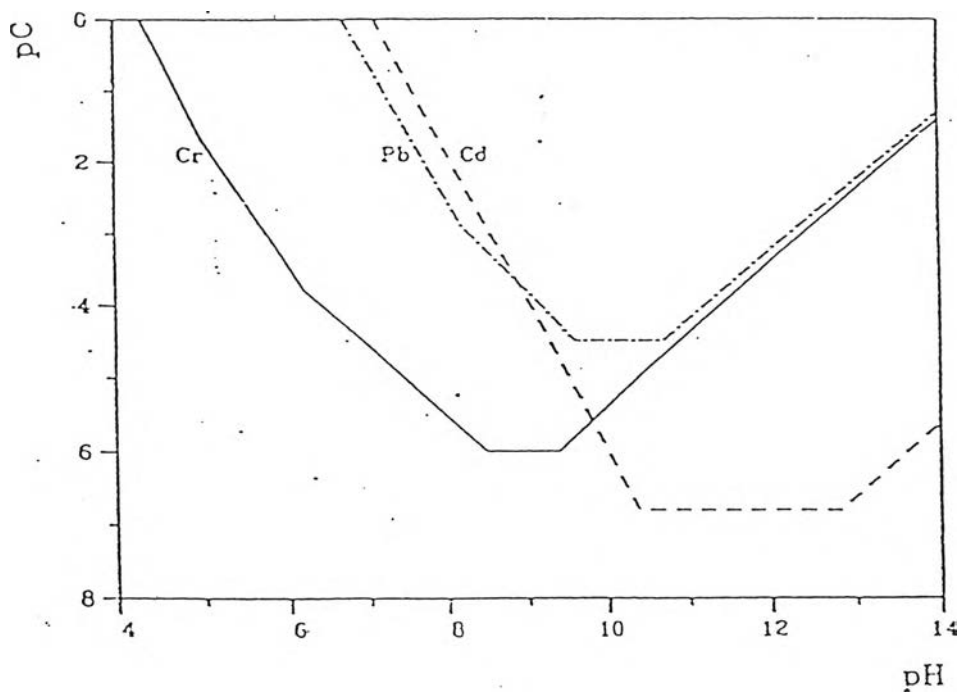
จากการทดลองที่ผ่านมาหลายครั้งทำให้เราทราบว่า โลหะอาจอยู่ในโพรงของโครงสร้างของของเสี้ยวที่แข็งตัวดูดซับ(Adsorption) บนผนังโพรง และทำปฏิกิริยาเคมีจับซ้อนกับสารประกอบของซีเมนต์เพสท์

ถ้าโลหะหนักถูกดึงเข้าไปในโครงสร้างแข็งในโพรง หรือถูกดูดซับบนผิวโพรงโลหะหนักเหล่านั้น ควรถูกชะละลายออกคล้ายกับการชะละลายของความเป็นด่าง จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันของเส้นกราฟความเป็นด่างสะสม และแคลเซียมสะสม ดังนั้น จึงสันนิษฐานได้ว่าแคลเซียมควรอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์และเกาะติดอยู่ตามผนังโพรงส่วน โครเมียมและตะกั่ว น่าจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกามากกว่าอยู่ในโพรง ถ้าเป็นดังที่กล่าวไว้ โลหะหนักเหล่านี้ควรถูกชะละลายออกมา เมื่อโครงสร้างของซิลิกาถูกทำลาย และจากรูปที่ 3.3 พบว่า เส้นกราฟสะสมของ โครเมียมและตะกั่วคล้ายกับของซิลิกอน ดังนั้น โครเมียมและตะกั่วควรอยู่ในรูปซิลิเกตที่ไม่ละลายมากกว่าที่จะอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย ความเป็นด่างถูกชะละลาย และซิลิกอนถูกชะละลายจากการสกัด 15 ครั้ง (Bishop, 1988)

รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพ pC - pH สำหรับไฮดรอกไซด์ของตะกั่วแคดเมียม และโครเมียม ในสารละลายที่มีค่ากำลังประจุ (Ionic Strength) 0.75 โมลาร์ ในขณะที่ละลายและกลายเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ ซึ่งเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิกา สำหรับแคดเมียม อยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นของแข็งที่ค่าพีเอชช่วงนี้ และไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการแข็งตัวจึงถูกคัดคิดในรูปพหุ จากสาเหตุดังกล่าวนี้จึงอธิบายได้ว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นกับการละลายของซิลิกา สำหรับแคดเมียมจะถูกชะละลายออกมาตามการชะละลายของความเป็นด่าง



รูปที่ 3.4 แผนภาพ pC - pH สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว (Bishop, 1988)

3.9 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ ที่กล่าวถึงนี้ หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้ว สามารถก่อตัวและแข็งตัวได้ สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภท

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ใช้ในงานก่อสร้างผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก่อสร้างใด ๆ ที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานเชื่อมคอนกรีต ค่อม่อสะพาน เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเม็ดเดียว

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High - Early - Strength Portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะให้กำลังสูงในระยะแรก ใช้ในงานก่อสร้าง หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการรับกำลังอัดได้เร็ว เช่น งานเสาเข็ม คาน พื้นที่ต้องการถอดแบบเร็ว เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ใช้งานในคอนกรีตหยาบ เช่น เขื่อน ซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เกิดความร้อนสะสมมาก

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ทนทานซัลเฟตได้สูง ให้สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น ในน้ำหรือดินที่มีค่าสูง มีระยะเวลาในการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม (วินิต ช่อวิเชียร, 2529)

นอกจากปูนซีเมนต์ 5 ประเภทแล้วยังมีปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ เช่น ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่มีทรายผสมอยู่ 25 - 30

เปอร์เซ็นต์ การแข็งตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ไม่ยึดหรือหดตัวมากเหมาะกับงานก่ออิฐหรืองานที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงอัดมาก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรานกอินทรี และตรางูเห่า

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดเม็ดปูน ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบอยู่ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก สารประกอบหลักที่สำคัญ 4 ชนิดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังจากการเผา ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต(dicalcium silicate) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium eliminate) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (tetracalcium aluminoferrite) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยชื่อย่อที่แสดงเป็นชื่อย่อที่ใช้เฉพาะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เท่านั้น โดยให้ $\text{CaO} = \text{C}$, $\text{SiO}_2 = \text{S}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$ และ $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$

ตารางที่ 3.3 สารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	สูตรทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในรูปของออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาลย์, 2536)

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60 – 67
SiO	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0.5 – 6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1 – 5.5
Na ₂ O + K ₂ O	0.5 – 1.3
TiO ₂	0.1 – 0.4
P ₂ O ₅	0.1 – 0.2
SO ₃	1 – 3

วินิต ซ่อวิเชียร (2539) กล่าวถึงอิทธิพลของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไว้ดังนี้

ไตรแคลเซียมซิลิเกต ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดเร็วในระยะแรก เกิดความร้อนปานกลาง และทนการกัดกร่อนของซัลเฟต

ไดแคลเซียมซิลิเกต ทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในระยะหลัง เกิดความร้อนน้อยและทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้สูง

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วมาก ก่อและแข็งตัวทันทีที่ผสมกับน้ำ เกิดความร้อนมาก ไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ ไม่ค่อยมีส่วนในการพัฒนากำลังรับแรงอัด เป็นสารที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทาดำ

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ และเป็นควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ CaO และ SiO₂ รวมกันมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารประกอบทั้งสองนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รับกำลังได้สูง

ในงานวิจัยนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง (Ordinary Portland Cement) เป็นวัสดุประสาน เพราะหาได้ง่าย ราคาไม่แพง มีคุณสมบัติในการยึดเกาะทำให้เป็นก้อนแข็งได้ดี และจากการศึกษาที่ผ่านมานิยมใช้ ในการทำเสถียรโลหะหนัก โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง

3.10. ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Hydration of Cement)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำก็จะเริ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ไฮเดรชัน (Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียว และเกาะแน่นกับวัสดุผสม เมื่อปูนซีเมนต์ผสมรวมกันกับน้ำ จะได้ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) มีลักษณะนุ่มเหลว ปั้นง่าย และทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ จะหยุดเมื่อน้ำหนีออกเพสต์หมดแล้ว

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์โดยปฏิกิริยานี้ เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลายและ Ions นี้จะผสมกัน ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction” ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ จะเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ โดยช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

3.11 ปูนขาว

ปูนขาวเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูน จนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกมา ประเภทของปูนขาวขึ้นกับส่วนประกอบของหินปูน และขั้นตอนการเผา ถ้าหินปูนเผาอย่างสมบูรณ์ ปูนขาวที่ได้ก็เป็นพวกปูนขาวดิบ (Quick lime) แต่ถ้าได้รับความชื้น องค์ประกอบออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำ กลายเป็นรูปของไฮดรอกไซด์ ซึ่งเรียกว่า ปูนขาวสุก (Hydrated lime) ตามท้องตลาดปูนขาวดิบ มีส่วนประกอบแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 61.1 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 24 สำหรับปูนขาวสุก มีเฉพาะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 81.6

3.12 โซดาไฟ

โซดาไฟ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งผลิตได้จาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแยกสารละลายเกลือแกงด้วยไฟฟ้า และ กระบวนการทำปฏิกิริยาระหว่าง โซดาแอช กับปูนขาว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ และเป็นสารพวก Strong Oxidizer เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สัมผัสแล้วลึนเหมือนสบู่

การศึกษาครั้งนี้ใช้โซดาไฟเป็นสารผสมเพิ่ม เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันซีเมนต์ เอสซีเอ็นมี pH สูงซึ่งจะทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปกลายเป็นโลหะหนักไฮดรอกไซด์ และถูกจับติดอยู่ในเนื้อโพรงของซีเมนต์ซึ่งเป็นกลไกยึดจับโลหะหนักอย่างหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงทำการเติมโซดาไฟ (NaOH) เป็นสารผสมเพิ่มเพื่อช่วยปรับ pH ของตัวอย่างกากตะกอนให้สูงขึ้น

3.13 การทดสอบการชะละลาย (Leaching test)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540) ซึ่งกำหนดวิธีการสกัดสาร ในการหาปริมาณของสารพิษจากกากของเสียที่ละลายออกมาอยู่ในน้ำสกัด ดังนี้

1. บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูล หรือของเสียอันตราย ให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มม.
2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1. หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก)จนค่าความเป็นกรดค่า (pH) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ขึ้นไปวิเคราะห์หาค่าสารมลพิษต่างๆ ตามวิธีมาตรฐาน ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พศ. 2539)

3.14 การประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

วิธีการประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เบื้องต้นของการบำบัด ได้แก่ การปรับปรุงโครงสร้างของกากของเสียให้แข็งแรง เป็นก้อนแข็งลดพื้นที่สัมผัส และจำกัดการละลายได้ของสารมลพิษ เมื่อสัมผัสกับของเหลวที่มาชะล้าง (Sollars และ Perry, 1989)

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ออก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งได้กำหนดสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน 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 ตัน/ม.³

3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ Extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ดังระบุในข้อ 5 หมวด 1 ภาคผนวก 1 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งมีชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย คือ

- อาร์เซนิก น้อยกว่า 5 มก./ล.
- แคดเมียม น้อยกว่า 1 มก./ล.
- โครเมียม น้อยกว่า 5 มก./ล.
- ตะกั่ว น้อยกว่า 5 มก./ล.
- ปรอท น้อยกว่า 0.2 มก./ล.
- ซีลีเนียม น้อยกว่า 1 มก./ล.
- เงิน น้อยกว่า 5 มก./ล.

ตารางที่ 3.5 ลักษณะสมบัติที่ต้องการของของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe (Sollars และ Perry, 1989)

คุณสมบัติที่ต้องการ	เกณฑ์ในการกำหนด	ค่าเปรียบเทียบ
ความให้ซึมได้ (28 วัน)	น้อยกว่า 1×10^{-7} ม./วินาที	ทราย : $1 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$ ม./วินาที ดินตะกอน $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ ม./วินาที คอนกรีต : 1×10^{-8} ม./วินาที
กำลังรับแรงอัด (28 วัน)	มากกว่า 0.34 เมกกะนิวตัน/ตร.ม.	คอนกรีต : 30 เมกกะนิวตัน/ตร.ม. มอร์ตาร์ : 20 เมกกะนิวตัน/ตร.ม. Grouts 0.5 – 4 เมกกะนิวตัน/ตร.ม.
คุณภาพน้ำชะละลาย	พีเอช 8 – 11 COD น้อยกว่า 280 ก./ลบ.ม. Total CN น้อยกว่า 1 ก./ลบ.ม. Total Sulfide น้อยกว่า 5 ก./ลบ.ม. Total Phenol น้อยกว่า 5 ก./ลบ.ม. NH ₃ น้อยกว่า 40 ก. ลบ.ม. โลหะหนักที่เป็นพิษ Zn น้อยกว่า 10 ก./ลบ.ม. Hg น้อยกว่า 0.5 ก./ลบ.ม.: อื่น ๆ (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V Ba, Co Mb, Sn, As, Se, Sb): น้อยกว่า 5 ก./ลบ.ม. รวมทั้งหมด Pesticides น้อยกว่า 0.1 ก./ลบ.ม. Supernatant : ไม่มีหลังจาก 24 ชม.	- - - - - - - - - -

3.15 เกณฑ์มาตรฐานในการระบุของเสียอันตราย

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

สำหรับของเสียที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่าร้อยละ 0.5 กรองแยกของเหลวออกจากของแข็งด้วยกระดาษกรองใยแก้ว 0.6 – 0.8 ไมครอน นำของเหลวไปวิเคราะห์ และนำสถานะของแข็งไปสกัดสาร

สารสกัดที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่

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

สารสกัดชนิดที่ 2 เป็นสารสกัดที่ได้จากการทำ 5.7 มิลลิลิตร ของกรดเกลืออะซิติก ให้เจือจางโดยปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

นำตัวอย่างเล็ก ๆ 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตร แล้วกวนอย่างแรงเป็นเวลา 5 นาที

- ถ้าพีเอชน้อยกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดแรก
- ถ้าพีเอชมากกว่า 5 เติม 3.5 มิลลิลิตร ของกรดไฮโดรคลอริก 1 กรัม แล้วให้ความร้อน 500°C เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ้าพีเอชน้อยกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดแรก ถ้าพีเอชมากกว่า 5 ใช้สารสกัดชนิดที่ 2

นำตัวอย่างประมาณ 100 กรัม และสารสกัดปริมาณ 20 เท่า ของน้ำหนักตัวอย่าง

ถ้ามีสารระเหยง่ายต้องใช้ภาชนะบรรจุพิเศษ เขย่าด้วยการหมุนรอบ 30 + 2 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 + 2 ชั่วโมง

กรองแยกของเหลวออกจากของแข็ง ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว 0.6 – 0.8 ไมครอน นำของเหลวไปวิเคราะห์ค่าสารมลพิษ

ถ้าเป็นไปได้สภาวะของเหลวที่อยู่ในของเสียตอนแรก จะถูกเติมลงในน้ำสกัด และของเหลวที่ได้จะนำมาวิเคราะห์รวมกันต่อไป

จากวิธีทดสอบหาปริมาณสารมลพิษในน้ำสกัด ถ้าความเข้มข้นของสารมลพิษที่ได้มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในตาราง 3.6 ของเสี่ยก็ถือว่าเป็นของเสียอันตราย

ตารางที่ 3.6 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
Chlorbenzene	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	เซเลเนียม	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-Dichloroethane	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

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ออก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งได้กำหนดสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน 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 ตัน/ม.³

3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ Extraction fluid)เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure)

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

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

ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของเสีย จะต้องพยายามคงรูปเดิมให้ได้มากที่สุดหากเป็นชิ้นโตต้องบดให้เล็กลง แล้วทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 38414 – S4 ซึ่งจะต้องเขย่าโดยการหมุนครั้งละ 180⁰ ต่อหน้าที่ นาน 24 ชั่วโมง แล้วเหวี่ยงแยกหรือกรองน้ำใส่กับตะกอนด้วยผ้ากรอง 0.45 ไมครอน หากผลการวิเคราะห์หน้าสกัดพบว่า

น้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วงของเสียอันตรายต้องนำไปฝังกลบสำหรับของเสียอันตรายสำหรับน้ำสกัดที่มีค่าสูงเกินช่วงค่าที่ระบุไว้ หากทำลายฤทธิ์ไม่ได้ จะต้องฝังในที่ออกแบบพิเศษ เพื่อเก็บชั่วคราว หรืออาจให้ฝังกลบปนกับที่ฝังกลบขยะชุมชน

น้ำสกัดที่มีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของของเสียเฉื่อยตามที่ระบุไว้ ก็ถือเป็นของเสียเฉื่อยสามารถทิ้งหรือฝังได้ทั่วไป

น้ำสกัดที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าของเสียเฉื่อยและค่าต่ำสุดสำหรับฝังในที่ฝังกลบของเสียอันตรายให้ถือว่าเป็นของเสียที่ไม่อันตราย

3.16. การศึกษาที่ผ่านมา

Morgan และคณะ (1984) ได้ศึกษาการกำจัดตะกอนน้ำมัน (Oil Sludge) สำหรับการฝังกลบ (On-Site Landfill) โดยต้องกำจัดตะกอนน้ำมันซึ่งทิ้งจากโรงกลั่นน้ำมัน ประมาณ 5,000,000 แกลลอน (1.9×10^7 ลิตร) พบว่า วิธีการทำให้เป็นก้อน (Solidification) เป็นวิธีการที่เหมาะสม โดยได้ทำการทดสอบวัสดุประสานหลาย ๆ ชนิด คือ On-Site Clay, Cement , Fly Ash, Cement Kiln Dust, Stale Cement Kiln Dust, Quick Lime, Waste Quick Lime, Sand, Crushed Limestone Screening จากการทดสอบในห้องทดลอง พบว่า Cement Kiln Dust และ Stale Cement Kiln Dust เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมในการใช้งานโดยพิจารณาในด้านกำลังรับแรงอัด ราคา และความง่ายในการหาวัสดุ (Supply) โดยจากการทดสอบพบว่า ใช้อัตราส่วน 1:1 สำหรับ Cement Kiln Dust ต่อตะกอนน้ำมัน และใช้อัตราส่วน 3:1 สำหรับ Stale Cement Kiln Dust ต่อตะกอนน้ำมัน จากการดำเนินงานจริงพบว่า ปริมาณ Kiln Dust ที่ประมาณการไว้ว่าจะใช้ 75,000 ตัน แต่ใช้จริงเพียง 40,939 ตัน ลดลงไป 45 % หรือเหลืออัตราส่วน 1.5 : 1 ค่าใช้จ่ายที่ประมาณการไว้ 500,000 เหรียญสหรัฐ แต่ใช้เพียง 377,528 เหรียญสหรัฐ นอกจากนี้ยังได้แนะนำวิธีการกำจัดตะกอนน้ำมันไว้ดังนี้

Off – Site Disposal Methods

1. Hauling to Industrial Waste Landfill
2. Hauling to Municipal Landfill
3. Use as Fuel in Asphalt Plant
4. Use as Additive in Asphalt Plant
5. Insistence that Texaco Dispose of Waste
6. Use as Road Oil
7. Use of Oil in Grass with Seed Mix
8. Sale of Oil to a Refinery
9. Hauling to off-Site Land Farm
10. Transportation of Waste to Wax Recovery Plant

On – Site Diposal Methods

1. Open Pit Burn
2. Incineration (Mobile Unit)
3. Permanent Surface Impoundment Storage
4. On-Site land Farm
5. Solidification with On-Site Landfill.
6. Use as Road Oil
7. Biological Treatment
8. Incineration at Permanent Site
9. Recovery Oil and Landfill Remaining Solid On - Site

Musser and Smith (1984) ได้ทำการกำจัดตะกอนน้ำมัน (Oil Sludge) ในบ่อเก็บ (Skim Pit) โดยใช้วิธีการทำให้เป็นก้อน (Solidification / Fixation) โดยวิธีดัดรูปประสงค์เพื่อปิดบ่อเก็บตะกอนน้ำมัน ซึ่งใช้เป็นที่ทิ้งน้ำเสีย รวมทั้งน้ำโคลน (Drilling Fluid and Muds) ให้ถูกต้องตาม

หลักวิชาการทางด้านสิ่งแวดล้อม ในขณะที่บ่อเก็บอื่น ๆ มักจะใช้วิธีการเผากลางแจ้ง หรือผสมกับดินรอบ ๆ บ่อ แล้วฝังกลบให้แข็งตัว ในการทำเสถียรนี้ ได้เลือกใช้ (Cement Kiln Dust เป็นวัสดุประสานซึ่งจะเสียดำให้จางน้อยที่สุด โดยประมาณการผสมไว้ในอัตราส่วน 1 ตันของ Cement Kiln Dust ต่อ 1 Cubic Yard ของตะกอนน้ำมัน แล้วจึงคลุมทับด้านบนด้วยดินหนา 1 ฟุต จากการศึกษาวิเคราะห์ การชะละลายในน้ำชะละลายของอาร์เซนิกกับแบเรียม จะพบว่าชะละลายออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าที่เคยมีในตะกอนน้ำมัน ในขณะที่การละลายของแคดเมียมออกมาในปริมาณมากกว่าเดิมซึ่งอาจจะเนื่องมาจากใน Cement Kiln Dust มีปริมาณแคดเมียมอยู่ด้วย ซึ่งจะละลายออกมาเมื่อสัมผัสกับน้ำชะละลาย

Amaral (1987) ได้รายงานการทำการกำจัดตะกอนน้ำมัน (Oily Wastes) โดยการใช้วิธีการ Landfarming ในประเทศบราซิล โดยตั้งแต่กลางปี 1982 Petroleo Brasileiro S.A. ได้ใช้วิธีการ Landfarming ในการกำจัดตะกอนน้ำมันที่ Henrique Lage Refinery และต่อมาได้ใช้วิธีการนี้ในการกำจัดตะกอนน้ำมันที่ Presidente Bernardes Refinery ในปี 1986 และยังนำไปใช้อีกหลายแห่งในกลางปี 1986 โดยในการทำ Landfarming จะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพภายในผิวดินที่ 15-20 ซม. จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แต่สารซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น โลหะหนัก เกลือ ทราซ และอื่น ๆ จะเกิดการสะสมอยู่บนผิวดิน จะต้องมีการขุดผิวดิน 15 - 20 ซม. นี้ เพื่อให้ไปฝังในพื้นที่ฝังกลบที่ถูกต้อง (Protected Industrial Landfill) ในการทำ Landfarming จะต้องมีการควบคุมตะกอนน้ำมัน ดิน ชั้นดินข้างใต้ (subsoil) น้ำชะดินผิวดิน (Surface Runoff Water) น้ำซึมผ่าน (Percolated Liquid) และน้ำบาดาลใต้ดิน การตรวจสอบต้องทำทุก ๆ 6 เดือน หรือภายหลังจากการทำ Landfarming แล้ว 6 เดือน โดยต้องตรวจสอบน้ำมัน pH และโลหะหนัก เช่น Cu, Fe, Ni, V, Zn, Cr, Mo, Pb

Barbosa and Tesan (1987) ได้กล่าวว่า ในประเทศบราซิลมีการใช้น้ำมันดิบเพื่อการกลั่นถึงวันละ 1 ล้านบาร์เรล จากการประมาณการจะพบว่าตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะ การขนส่ง ถ่ายเท จนถึงกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายนั้น จะมีของเสียเกิดขึ้นประมาณ 5 % ซึ่งเป็นของเสียที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ และไม่มีค่าในทางการค้าเลย วิธีการกำจัดที่ทำกันอยู่ในขณะนั้นคือ การนำไปทิ้งในที่ที่ว่างเปล่า เสาทิ้งร่วมกับขยะชุมชน หรือเก็บไว้ในบ่อดิน ซึ่งสามารถรั่วไหลปะปนกับสิ่งแวดล้อมได้

Ching - Lung (1990) ได้ทำการศึกษาการทำของเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโครเมียม ทองแดง และปรอท ให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้วัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูน

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์แกลบ ทำการทดลองวัดค่าการชะละลายของโลหะหนัก และกำลังรับแรงอัด ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถยึดจับโครเมียม ได้ดีกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์แกลบ ขณะที่ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบ สามารถยึดจับ ทองแดง และปรอท ได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

- จากลักษณะการชะละลาย พบว่า ทองแดงและปรอท ถูกยึดจับโดยถูกดักไว้ในโครงสร้างแข็งในโพรง และถูกดูดซับบนพื้นผิวโพรง

- การชะละลายของโลหะหนัก ทั้งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดของน้ำสกัดเพิ่มขึ้น

- การชะละลายของโครเมียมในปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบจะสูงกว่าในปูนซีเมนต์อย่างเดียว ในขณะที่การชะละลายของทองแดงและปรอทในปูนซีเมนต์อย่างเดียวสูงกว่าปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบ

- การบ่มก้อนตัวอย่าง 28 วัน พบว่า การชะละลายของโครเมียมลดลงขณะที่การชะละลายของทองแดงและปรอทเพิ่มขึ้น

- ความสามารถในการถูกชะละลาย เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเสียที่ผสมอยู่ในก้อนตัวอย่าง

- การเพิ่มปริมาณของเสีย ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง

- อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม สำหรับกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ 0.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์แกลบ คือ 0.7

การศึกษาของ Ching-Lung เปรียบเทียบคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างที่ใส่วัสดุผสมเพิ่ม คือ ซีเมนต์แกลบและก้อนตัวอย่างที่ไม่ใส่ ทำให้ทราบว่า การใส่วัสดุผสมเพิ่มมีผลต่อการยึดจับโลหะหนัก ซึ่งจะช่วยให้การยึดจับดีขึ้น และลดลง ขึ้นอยู่กับประเภทของโลหะหนัก พบว่าวิธีกำจัดโดยปูนซีเมนต์อย่างเดียวจะเหมาะสมกับการกำจัดโครเมียม ส่วนวิธีกำจัดโดยปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบเหมาะสำหรับกำจัดทองแดงและปรอท

Rijal (1990) ศึกษาการทำให้เป็นก้อนของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ โดยทำการบำบัดก่อนด้วยวิธีการตกตะกอนผลึก เพื่อให้ได้กากตะกอนไฮดรอกไซด์ของโครเมียมและสังกะสี วัสดุประสานที่ใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับซีเมนต์แกลบ (ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1) ผลการศึกษาพบว่า

1. กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสลักจ์ในส่วนผสม

2. เมื่อเพิ่มปริมาณสัลดจ์ในส่วนผสมทำให้ความสามารถถูกชะละลายของโลหะหนักเพิ่มขึ้น

3. สัลดจ์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์สามารถยึดจับโครเมียมได้ดีกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนสัลดจ์ต่อวัสดุประสานน้อยกว่า 0.2 แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมมากกว่า 0.5 ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า

4. เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น การชะละลายของโลหะหนักลดลง

5. อัตราส่วนสัลดจ์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 ให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับกำลังรับแรงอัดและจำกัดความสามารถถูกชะละลายของโลหะหนัก ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.55 ให้ค่าที่เหมาะสมสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ 0.75 สำหรับปูนซีเมนต์ผสมกับเถ้าแกลบ

Claudio (1991) ได้ทำการศึกษาทำสัลดจ์จากของน้ำเสียโรงงานชุบโลหะไฟฟ้าให้เป็นก้อนโดยใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ปอซโซลานิก และปูนซีเมนต์กันเตาเผา การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงโลหะที่มีพิษ เช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว จากสัลดจ์น้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และสัลดจ์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนสามารถจัดอยู่ในประเภทสารเฉื่อย

Bush and 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 สามารถแบ่งของเสียออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. กากตะกอนที่ปนเปื้อนน้ำมัน (Oily Sludges)
2. ดินที่ปนเปื้อน (Contaminated Soils)
3. สารเคมีที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมี (Spent Catalysts)
4. ของเสียที่มีลักษณะเหลว (Aqueous Waste)
5. ของเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีอื่น ๆ (Chemical Wastes)
6. ของเสียอื่น ๆ (Other Wastes)

Loehr และคณะ (1992) ได้ศึกษาการกำจัดตะกอนน้ำมัน (Oily Sludge) โดยใช้วิธีการ Land Treatment โดยได้ใช้ตะกอนน้ำมันซึ่งเก็บมาจากก้นบ่อที่รับน้ำทิ้งจากหลาย ๆ แหล่ง รวมทั้งจากโรงกลั่นน้ำมัน ตะกอนน้ำมันมีลักษณะสีดำ และมีความหนืด (Viscous) วิธีการทดลองทั้ง

ตะกอนน้ำมันได้ใช้อัตราการทิ้งตะกอนน้ำมันที่ต่าง ๆ กัน ลงในดินที่แบ่งไว้เป็นช่อง ช่องละ 4x4 เมตร เว้นระยะห่างกันด้านละ 4 เมตร ภายในบริเวณที่เตรียมไว้ไม่มีการเติมสารอาหาร ปุ๋ย หรือสิ่งมีชีวิตลงในดิน การผสมทำโดยการไถพรวน (Rototilled) ก่อนและภายหลังจากการทิ้งตะกอนน้ำมัน ผลจากการศึกษาภายในเวลา 2 ปี ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 1982 ถึง เดือนมิถุนายน 1984 พบว่า

1. เกิดการเพิ่มค่า pH ของดิน
2. เกิดการเพิ่มอุณหภูมิของดินที่ได้รับการทิ้งตะกอนน้ำมันในอัตราสูง โดยเพิ่มขึ้น 1 – 5 องศา C
3. เกิดการเพิ่มสารประกอบระเหยง่าย (Volatile Matter) ขึ้น 1 – 5 %
4. Half - Life ของปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) อยู่ในช่วง 260 ถึง 400 วัน
5. Naphthalenes, Alkanes, Specific Aromatics ถูกย่อยสลายไปอย่างรวดเร็ว โดยมี Half – Life น้อยกว่า 30 วัน
6. ไม่มีผลกระทบต่อไส้เดือน (Earthworm) ในทางลบ (ผลกระทบในทางลบในการศึกษานี้ หมายถึง การวัดผลในทางเจริญเติบโตและน้ำหนักของ Earthworm) แต่ปริมาณไส้เดือนในดินบริเวณที่ได้รับการทิ้งตะกอนน้ำมันสูง จะมีอยู่น้อยกว่าบริเวณที่ได้รับการทิ้งตะกอนน้ำมันต่ำ รวมทั้งบริเวณที่เป็นจุดควบคุม (Natural Control)
7. ดินบริเวณที่มีอัตราการทิ้งตะกอนน้ำมันมาก จะมีสีต่ำกว่าบริเวณอื่น และไม่มีพืชเจริญเติบโตขึ้นมาในบริเวณนี้ อุณหภูมิของดินสูงขึ้น 3 – 5 องศา C

นอกจากนี้การเพิ่มของสารประกอบระเหยง่าย pH และปริมาณน้ำมันและไขมัน (O/G) ยังคงอยู่เป็นเวลาหลายปี ภายหลังจากการทิ้งตะกอนน้ำมันครั้งสุดท้าย

Calvin R Brunner (1993) ศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักที่ระเหยกลายเป็นก๊าซเปรียบเทียบกับปริมาณ โลหะหนักที่เหลืออยู่ในขี้เถ้าก้นเตาจากการเผาของเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนที่อุณหภูมิ 750^oฟ พบว่า

- อลูมินัม เหลืออยู่ในขี้เถ้า 57 % ระเหยไปเป็นไอ 43 %
- อาร์เซนิก เหลืออยู่ในขี้เถ้า 30 % ระเหยไปเป็นไอ 70 %
- แคดเดียม เหลืออยู่ในขี้เถ้า 31 % ระเหยไปเป็นไอ 69 %
- โครเมียม เหลืออยู่ในขี้เถ้า 31 % ระเหยไปเป็นไอ 69 %
- ทองแดง เหลืออยู่ในขี้เถ้า 47 % ระเหยไปเป็นไอ 53 %
- ตะกั่ว เหลืออยู่ในขี้เถ้า 16 % ระเหยไปเป็นไอ 84 %

- แมงกานีส เหลืออยู่ในจี้เถ้า 20 % ระบายไปเป็นไอ 80 %
- พรอท เหลืออยู่ในจี้เถ้า 0 % ระบายไปเป็นไอ 100 %
- นิกเกิล เหลืออยู่ในจี้เถ้า 30 % ระบายไปเป็นไอ 70 %
- สังกะสี เหลืออยู่ในจี้เถ้า 20 % ระบายไปเป็นไอ 80 %

จากผลดังกล่าวข้างต้น โลหะหนักที่ทำการศึกษามีเพียง โลหะปรอทเพียงชนิดเดียวที่เมื่อทำการเผาแล้วกลายเป็นไอระเหยหมดไม่เหลืออยู่ในจี้เถ้ากันแต่เลย ส่วนโลหะหนักอื่นๆมีเหลืออยู่ในจี้เถ้ากันแต่และ ไอก๊าซที่ระบายออกจากเตาในสัดส่วนต่าง ๆ กันไป

นฤมิตร คินนิมาน (2538) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักที่ได้จากน้ำเสียจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีด้วยการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งมีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสาน อัตราส่วนผสมของน้ำต่อตัวประสาน ค่าความเป็นกรดค่าของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโลหะหนักและระยะเวลาบ่มตัวของก้อนซีเมนต์สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเพิ่มอัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักลงในตัวประสานจะมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การชะละลายของปรอทโครเมียมและเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25
2. การเพิ่ม % ของเถ้าลอยลิกไนต์ระหว่าง 0 - 75 ลงในตัวประสานจะมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของตัวอย่างลดลง การชะละลายของปรอทสูงขึ้นในขณะที่การชะละลายของโครเมียมลดลง และพบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานเท่ากับ 0.25ซึ่งในตัวประสานไม่มีเถ้าลอยลิกไนต์เป็นสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมในการกำจัดปรอทแต่สัดส่วนการผสมที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมนั้นใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานค่าเดียวกัน แต่ในตัวประสานนั้นมีเถ้าลอยผสมอยู่ด้วย 50 %
3. อัตราส่วนผสมน้ำต่อตัวประสานเท่ากับ 0.50 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำให้เป็นก้อน
4. ระยะเวลาการบ่มมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความชื้นได้ของน้ำมีค่าลดลง การชะละลายของปรอทและโครเมียมมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการบ่ม และจะมีค่าค่อนข้างคงที่ภายหลังจากระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

5. ตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยตัวประสานที่มีเถ้าลอยลิกไนต์ผสมอยู่ 0 และ 50 % ที่มีระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน มีคุณสมบัติทางกายภาพเป็นไปตามมาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน สำหรับคุณสมบัติการชะละลายของโลหะหนักพบว่าปรอทมีค่าสูงซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสารพิษแคโครเมียมมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

6. ประสิทธิภาพการทำลายฤทธิ์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ของตัวประสานที่มีเถ้าลอยอยู่ 0 % นั้นมีค่าเท่ากับ 26.4 % สำหรับปรอท มีประสิทธิภาพต่ำมากสำหรับโครเมียม และมีค่าเท่ากับ 80 % สำหรับเหล็ก ในขณะที่ตัวประสานที่มีเถ้าลอยอยู่ 50 % มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ปรอทเท่ากับ 30.70 % ของโครเมียมเท่ากับ 50 % และของเหล็กเท่ากับ 90 %

7. ค่าใช้จ่ายของตัวประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนสำหรับตัวประสานที่ไม่มีเถ้าลอยมีค่าเท่ากับ 6,800 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนัก และสำหรับตัวประสานที่มีเถ้าลอย 50 % มีค่าเท่ากับ 3,800 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนัก ดังนั้นตัวประสานที่มีเถ้าลอยอยู่ 50 % จึงมีความเหมาะสมในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักมากกว่าตัวประสานที่ไม่มีเถ้าลอย

อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย (2539) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี โดยเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนนำไปทำให้ก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นตัวประสานซึ่งมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคืออัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อตัวประสานโดยจะทดสอบโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ โครเมียม ปรอท และเหล็ก การวิจัยนี้จะนำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี (ซึ่งอยู่ในรูปโลหะไฮดรอกไซด์) มาหาสัดส่วนการผสมโซเดียมซัลไฟด์เพื่อให้ได้ตะกอนโลหะซัลไฟด์ที่เหมาะสม จากนั้นนำไปทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ลำปาง โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. อัตราส่วนของโซเดียมซัลไฟด์เพื่อให้ได้ตะกอนที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1075 เท่าของสตรอยชิโอเมตริก
2. อัตราส่วนของกากของเสียต่อวัสดุซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25
3. อัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเท่ากับ 1.00

สุวรรณ นทีวงศ์กิจ (2540) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำเสถียรกากตะกอนจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า โดยการนำกากตะกอนดิบมาเผา แล้วทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ และปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ผลการศึกษาสรุปว่า

1. กากตะกอนคิบเข้าข่ายเป็นของเสียที่เป็นอันตราย เนื่องจากกฎหมายระบุว่าน้ำมันเครื่องเก่าเข้าข่ายของเสียอันตราย ดังนั้น ของเสียจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า หรือขี้เถ้าหลังการเผา ก็น่าจะเข้าข่ายของเสียที่เป็นอันตรายด้วย

2. ปริมาณน้ำมันคิบและไขมันในกากตะกอนคิบ มีผลต่อการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน โดยน้ำมันและไขมันจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ โดยพบที่ไม่สามารถทำให้กากตะกอนคิบเป็นก้อนแข็งได้ ถึงแม้ว่าจะใช้วัสดุประสานมากถึงร้อยละ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งมีประสิทธิภาพในการทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ และ 1,200° ซ เป็นก้อนแข็งได้ดีกว่าวัสดุประสานประเภทอื่นที่ใช้ในการศึกษา โดยพบว่ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ ใช้ที่สัดส่วนผสมประมาณร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า

4. ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 : 1 โดยน้ำหนัก) มีประสิทธิภาพในการทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800° ซ เป็นก้อนแข็งได้ดีกว่าวัสดุประสานประเภทอื่นที่ใช้ในการศึกษาโดยขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800° ซ ใช้ที่สัดส่วนผสมประมาณร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

5. ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างสูงขึ้น และมีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดลดลง

นอกจากนี้ยังสรุปว่า ควรเลือกใช้วิธีการกำจัดกากตะกอนคิบด้วยการนำกากตะกอนคิบมาเผาที่อุณหภูมิ 400° ซ จนได้ขี้เถ้า จากนั้นจึงนำมาทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่สัดส่วนผสมร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักเถ้า

3.17. น้ำมันเตา

น้ำมันเตามีประมาณ 30% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดและมีอัตราการใช้ในปัจจุบันประมาณ 8,000 – 9,000 ล้านลิตรต่อปี แยกออกได้เป็นการใช้ในงานการอุตสาหกรรม และผลิตไฟฟ้าอย่างละพอๆ กัน โดยนำไปเผาไหม้เพื่อเอาความร้อนไปใช้ใน 2 ลักษณะ คือ เอาไปเผาไหม้ในเตา(furnaces) เพื่อนำเอาความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้โดยตรง และเอาไปเผาไหม้ในหม้อน้ำ (boilers) เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปผลิตไอน้ำแล้วจึงนำเอาไอน้ำไปใช้ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม หรือผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป

เมื่อเทียบราคากับผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงอื่น ๆ แล้ว น้ำมันเตามีราคาต่ำสุด แต่ให้ความร้อนสูงโดยมีซีเอ็น้อย เนื่องจากน้ำมันเตาเป็นของเหลว วิธีการขนถ่ายและเก็บรักษาสะดวกใช้ง่าย จึงได้รับความนิยมมากกว่าก๊าซ และถ่านหินที่มีราคาแพงกว่า วิธีการขนถ่ายและเก็บรักษาก็ยุ่งยากกว่า

น้ำมันเตาเป็นน้ำมันหนัก หรือบางคนอาจเรียกว่าเป็นกากน้ำมันที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง (Crude Distillation) การกลั่นจากหอกลิ้นสุญญากาศ และจากกระบวนการ Cracking ต่าง ๆ เนื่องจากน้ำมันเตามีความหนืดมาก (ค่าความหนืดสูง) การนำน้ำมันชนิดนี้ไปใช้อาจต้องผสมกับสารที่ทำให้น้ำมันใสขึ้น ได้แก่ น้ำมันดีเซล องค์ประกอบน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด) ยังต้องการให้น้ำมันเตาใสมากเท่าใด ก็จะต้องผสมน้ำมันใสที่มีราคาสูงกว่าน้ำมันเตาลงไปในปริมาณที่มากขึ้น เป็นผลให้ต้นทุนและราคาของน้ำมันเตาสูงขึ้นด้วย

ประเภทของน้ำมันเตา

เมื่อก้าวถึงน้ำมันเตาทั่วไป แบ่งเป็น น้ำมันเตาประเภทใส (Light Fuel Oil หรือ LFO) ประเภทปานกลาง (Medium Fuel Oil หรือ MFO) และประเภทข้น (Heavy Fuel Oil หรือ HFO)

3.17.1. ตะกอนน้ำมันเตา

ตะกอนน้ำมันเตาจะเป็นกากน้ำมันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บน้ำมันไว้ในถังเก็บน้ำมันเพื่อการใช้งานเป็นเวลานานจนเกิดการสะสมและตกตะกอนของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักลงสู่ก้นถัง เมื่อเกิดการสะสมตัวเป็นเวลานาน และปริมาณมากขึ้น จะเกิดเป็นตะกอนน้ำมันเตา มีลักษณะสีดำ มีความหนืดมาก ดังนั้นถังเก็บน้ำมันที่มีตะกอนเหล่านี้อยู่จะต้องมีการล้างถัง

น้ำมันทุก ๆ 4-5 ปี ซึ่งตัวอย่างกากตะกอนที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้ไปเก็บมาจากกันถึงเก็บน้ำมันที่ กำลังเปิดทำการล้างอยู่ ซึ่งถึงเก็บน้ำมันเตาที่ไปเก็บตัวอย่างมานั้น จากการสอบถามที่แผนกควบคุม คลังน้ำมันนั้น ได้ข้อมูลโดยคร่าว ๆ (เพราะไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณตะกอนน้ำมันอย่างละเอียด เพราะทางบริษัทจะจ้างบริษัทกำจัดกากของเสียอันตรายมาทำการเก็บแล้วนำไปกำจัด จึงได้แต่ข้อมูลคร่าว ๆ) ซึ่งมีดังนี้ ถึงเก็บตัวอย่างมีความจุ 10 ล้านลิตร เป็นถังทรงกระบอกสูง 15 เมตร และ ตะกอนที่นอนก้นอยู่ หนาประมาณ 5-10 ซม. จากการคำนวณโดยประมาณ จะได้ปริมาณกาก ตะกอนในถังประมาณ 33,333-66,667 ลิตร ดังนั้น โดยการประมาณคร่าว ๆ ในการเก็บน้ำมันในถัง เก็บน้ำมันความจุ 10 ล้านลิตร เป็นเวลานาน 4-5 ปี จะได้ปริมาณกากตะกอนประมาณ 33,334- 66,667 ลิตร ต่อการเก็บทุกประมาณ 4-5 ปี ซึ่งจะมีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 8,333-16,667 ลิตรต่อปี และจากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันปี 2541 ของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พบว่าประเทศไทยมีการใช้น้ำมันเตาถึง 7,957.4 ล้านลิตร จาก การคำนวณ จะได้ว่าแต่ละปีจะมีปริมาณตะกอนประมาณ 6,631,167-13,262,333 ลิตร จะเห็นได้ว่า มีปริมาณมากพอสมควร และถ้าทำการกำจัดไม่ดีพอ จะทำให้เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

