

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานโครงการวิจัยการใช้กากตะกอนที่ปนเปื้อนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา นั้นจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาตามหลักการและ ทฤษฎีประกอบด้วย 6 หัวข้อที่สำคัญคือ

- 2.1 คอนกรีตมวลเบา
- 2.2 กากของเสียอันตราย
- 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน
- 2.4 สังกะสี
- 2.5 การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสีย
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete)

คอนกรีตมวลเบา มีมากมายหลายประเภท คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบและกระบวนการ ผลิตที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกันด้วยคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไป อาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - Autoclaved System) ซึ่ง จะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทนเช่น ขี้เถ้า ขี้เถ้าขานฮ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้ คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้นแต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สาร เหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟูและทิ้งให้ แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่ายไม่ค่อยแข็งแรง

2) ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการ ผลิตได้เป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาวซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยากมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอมีการดูดซึมน้ำมากกว่า

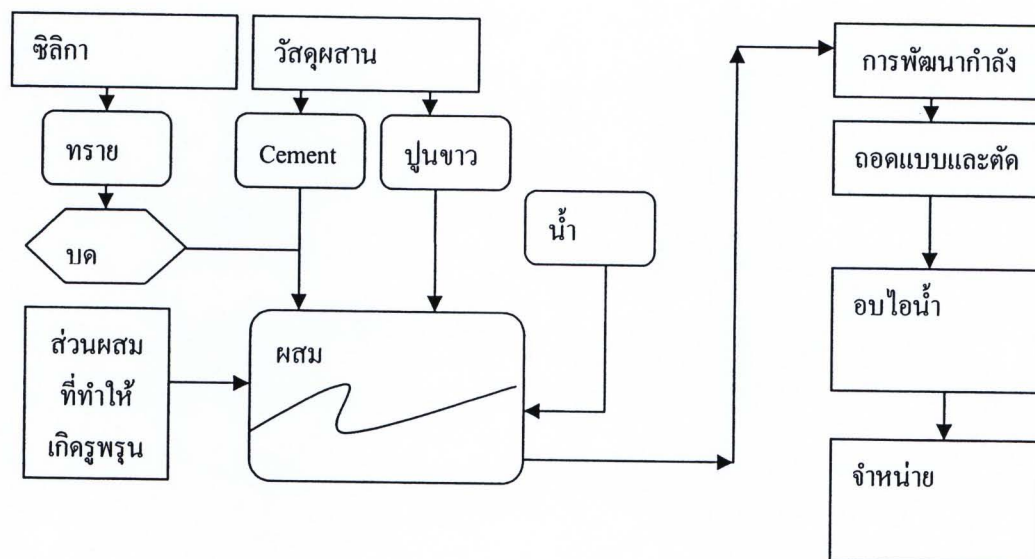
ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้วยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าการผลิตในระบบอื่นมาก

2.1.1 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Lightweight Concrete, AAC)

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete) มีการคิดค้นและพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1881 โดยนายไมร์ลแชร์ คริส ชาวสวีเดนเป็นผู้ริเริ่มการบ่มคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด และปูนขาวด้วยไอน้ำ ต่อมาในปีค.ศ. 1914 นายแอลสวอร์ธ ชาวอังกฤษได้พัฒนาต่อจากนายไมร์ลแชร์ ด้วยการเติมอากาศด้วยผงโลหะ เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในมอดาร์ เพื่อลดน้ำหนักในเนื้อมอดาร์ และในเวลาต่อมา ในปีค.ศ. 1923 นายจอร์น เอ อิริกสันท์ ชาวสวีเดนได้พัฒนาการเติมฟองอากาศ และการบ่มด้วยไอน้ำ เพื่อให้วัสดุมีความเบาขึ้น โดยการวิเคราะห์หาส่วนผสม และกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด จนได้ข้อสรุปในที่สุดในปี ค.ศ. 1929 ในประเทศเยอรมันได้นำเอาแนวคิดนี้มาพัฒนาระบบการผลิตด้วยเครื่องจักรระบบอัตโนมัติ สำหรับผลิตเป็นคอนกรีตก่อผนังเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือนเสียหายจากสงครามโลกตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา และเป็นอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายไปในหลายๆประเทศทั่วโลก เหตุที่คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำได้รับความนิยมแพร่หลายเนื่องจากคุณสมบัติต่างๆที่เหนือกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ได้แก่ น้ำหนักเบาทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวกรวดเร็ว สามารถกัน เสียง และความร้อน ในปี ค.ศ. 2002 XellaNeuesBauenได้รวบรวมบริษัทผู้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์จาก Hebel, Ytong, Sikaภายใต้เทคโนโลยีการผลิตรูปแบบเดียวกันเข้าเป็นผู้ถือลิขสิทธิ์แต่เพียงผู้เดียวโดยใช้ชื่อ Xellaทั้งนี้ WEHRAHN 1892 ไม่ได้เข้าร่วมการควบกิจการด้วย

การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ซิลิกา (Siliceous) ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือ

ทรายละเอียด วัสดุผสม (Calcareous) ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ ปูนขาว สุดท้ายคือการพัฒนากำลึง (Reinforcement)



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ทั้งสามส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กัน ตั้งแต่เริ่มการผสมวัตถุดิบลงในถังผสมไปจนถึงการถอดออกจากแบบหล่อเพื่อนำมอดาร์ที่ได้ไปเข้าตู้อบไอน้ำ ซึ่งการอบด้วยไอน้ำเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน ระหว่างออกไซด์ของแคลเซียม (CaO) จากปูนซีเมนต์ และปูนขาว และน้ำ ที่อายุการบ่มประมาณ 12-14 ชั่วโมง จะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตในระยะเวลาสั้นๆ ดังกล่าว ดังที่แสดงไว้ใน แผนภาพที่ 1 จากแผนผังจะเห็นได้ว่า การพัฒนากำลึงในช่วงแรกจะเกิดหลังจากเทวัสดุผสมลงในแบบหล่อเป็นการพัฒนากำลึงระยะที่หนึ่ง ส่วนการพัฒนากำลึงระยะที่สอง เกิดขึ้นหลังจากผ่านการอบด้วยไอน้ำซึ่งจะทำให้เกิด ผลึกเคนไซต์ซึ่งเป็นการทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยทั่วไปจากกระบวนการผลิตขั้นต้นจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถควบคุมระบบการผลิตได้ง่าย ใช้แรงงานที่ประจำแต่ละจุดน้อย สามารถเพิ่มผลผลิตได้ง่ายกว่า ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ 48 ของโลกที่เป็นผู้ผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ จากผลผลิตที่ได้จะใช้เวลาหนาแน่นเป็นตัวกำหนดในการออกแบบส่วนผสมเพื่อใช้ในการผลิตเป็นรูปแบบของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ

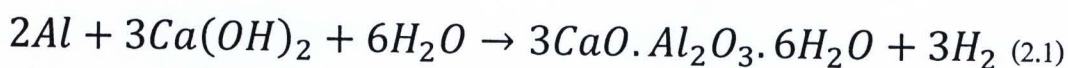
2.1.2 วัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

วัตถุดิบหลักในการในการผลิตคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนขาว มวลผสมประกอบด้วยวัสดุซีลีกาหรือทรายควอตซ์หรือตะกอนจาก

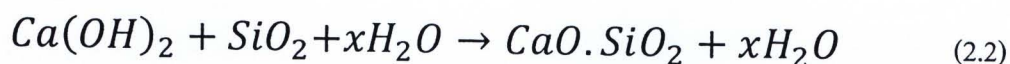
เตาถลุงแบบพ่นลมหรือถ้ำถ่านหินหรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสารเช่นโคลนฝุ่นสารอินทรีย์ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสียนำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร และสารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ซึ่งเป็นวัสดุที่กระจายฟองอากาศให้มีขนาดเสถียรภาพและควบคุมเวลาในการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์โดยต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

2.1.3 ปฏิริยาไฮเดรชันของกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ปฏิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตมวลเบาจะแตกต่างจากปฏิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ทั่วไป เนื่องจากมีอะลูมิเนียมในการเร่งการทำปฏิริยาไฮเดรชันด้วย ทั้งนี้ผงอะลูมิเนียมช่วยให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิริยากับหินปูน ส่งผลให้ภายในเนื้อคอนกรีตเกิดรูพรุนขนาดเล็กที่ช่วยทำให้น้ำหนักเบา ปฏิริยาดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (2.1)



ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะกระจายไปในบรรยากาศและให้อากาศเข้ามาแทนที่ หลังจากนั้นจะทำการบ่มเพื่อเสริมกำลังให้แก่คอนกรีตในขณะนี้ก้อนคอนกรีตจะยังไม่แข็งตัว สามารถนำไปตัดตามขนาดที่ต้องการได้ หลังจากการตัดแล้วจะนำไปอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 175 – 190 องศาเซลเซียส ที่ความดันไอน้ำ 125 -150 psi เป็นเวลา 12-14 ชั่วโมง โดยปฏิริยาระหว่างการอบไอน้ำนั้นมีความซับซ้อน จึงสรุปง่ายๆ ได้ดังสมการที่ (2.2)



2.1.4 การทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

2.1.4.1 ขนาดของก้อนคอนกรีตมวลเบา

ในการวัดขนาดของคอนกรีตมวลเบาใช้อุปกรณ์คือเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร เวอร์เนียที่วัดได้ถึง 200 มิลลิเมตร และเหล็กฉากที่มีความยาวแต่ละด้านไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร โดยทำการวัดที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้นๆ โดยขนาดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ขนาดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
200	600	75
300		90
400		100
		125
		150
		175
		200
		250

การวัดความได้ฉาก วัดโดยทาบทเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่าง จากนั้นวัดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก โดยมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

2.1.4.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

ในการวัดความหนาแน่นเชิงปริมาตร มีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัมและตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตรโดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยให้วัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้รายงานความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสมการที่ (2.3)

$$\text{ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}} \quad (2.3)$$

โดยค่ามาตรฐานของความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมีดังตาราง 2-2

ตารางที่ 2-2การแบ่งชนิดและชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (เฉลี่ย) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31-0.4
			0.5	0.41-0.5
4	5.0	4.0	0.6	0.51-0.6
			0.7	0.61-0.7
			0.8	0.71-0.8
6	7.5	6.0	0.7	0.61-0.7
			0.8	0.71-0.8
8	10	8.0	0.8	0.71-0.8
			0.9	0.81-0.9
			1.0	0.91-1.0

2.1.4.3 ความต้านแรงอัด

ในการวัดความต้านแรงอัดมีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรเครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 นิวตันและสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และคู่มือที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสและควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียสสำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 ก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งตอนบนตอนกลางและตอนล่างของคอนกรีตมวลเบาให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตรทำเครื่องหมายแสดงด้านยาวของตัวอย่างทำการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 กรณีชิ้นทดสอบมีความชื้นมากกว่าที่กำหนดให้อบชิ้นทดสอบในคู่มือที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียสจนได้ความชื้นตามที่ต้องการ กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อบโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับขนาดความหนาเมื่อเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยกดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุในมอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 2-3 ในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของชิ้น

ตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อขึ้นทดสอบแตกเสียหายแล้ววัดปริมาณความชื้นของขึ้นทดสอบ โดยค่ามาตรฐานของความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมีดังตาราง 2-3

ตารางที่ 2-3 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

ชั้นคุณภาพ	กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
2	0.05
4	0.10
6	0.15
8	0.20

2.1.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

ในการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวมีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตรเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัมอ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียสห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 43 + ร้อยละ 2 ได้ และตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมขึ้นทดสอบโดยตัดขึ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตรและให้ด้านยาวของขึ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่างเมื่อเตรียมขึ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยนำขึ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงจากนั้นทิ้งให้เย็นชั่งมวลและวัดความยาวของขึ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 แล้วนำขึ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำโดยผิวบนของขึ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วันจากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดซึ่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของขึ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หลังจากนั้นวัดความยาวและชั่งมวลของขึ้นทดสอบทุก 3 วันจนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุลโดยขึ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร (2.4) โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต้องไม่เกิน 0.05

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ (R)} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ l_1 คือความยาวของขึ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร

1₂ คือความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุลเป็นมิลลิเมตร

2.1.4.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

ในการวัดอัตราการดูดกลืนมีอุปกรณ์ดังนี้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัมและตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสก่อนเริ่มการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตรกรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนาเมื่อเตรียมชิ้นทดสอบเสร็จจึงเริ่มการวัดโดยอบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียสปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงจากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน แล้วแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออกใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาทีน้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบให้ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ตัวอย่างเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้งโดยค่ามาตรฐานของอัตราการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 กากอุตสาหกรรม

2.2.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม หมายถึง ของที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต หรือสิ่งของที่เหลือสภาพจนใช้การไม่ได้ หรือไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ซึ่งอาจมีคุณสมบัติหรือความเข้มข้นในระดับที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้โดยจะแบ่งของเสียอุตสาหกรรมตามที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2 การกำหนดรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจะถูกแบ่งออกเป็น 19 หมวดหมู่ และมีการกำหนดรหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยใช้รหัสเลข 6 หลัก ตัวเลขสองหลักแรก แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วแสดงดังตารางที่ 3.4 ตัวเลขสองหลักกลาง แสดงถึงกระบวนการเฉพาะในการประกอบกิจการนั้นๆ ที่ทำให้เกิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หรือเป็นชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตัวเลขสองหลักสุดท้าย

แสดงถึงลักษณะเฉพาะของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น เช่นรหัส 05 07 01 หมายถึง สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (05) จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ (07) ที่ปนเปื้อนด้วยสารปรอท (01) เป็นต้น ในการกำหนดรหัสที่เหมาะสมกับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ให้พิจารณาตามขั้นตอนต่อไปนี้ คือ

1. พิจารณาว่าสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เกิดขึ้น มาจากกระบวนการที่สอดคล้องกับหมวด 01 ถึง หมวด 12 หรือ หมวด 17 ถึง หมวด 19 หรือไม่ โดยให้หารหัสเลข 6 หลักที่เหมาะสมในหมวดเหล่านี้ ยกเว้นรหัสที่มีเลข 2 หลักสุดท้ายเป็น 99
2. หากไม่สามารถหารหัสที่เหมาะสมตามขั้นตอนแรกได้ ให้ตรวจสอบรหัสตามชนิดของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ในหมวด 13 ถึง 15
3. ถ้ายังไม่สามารถระบุได้ ให้ตรวจสอบรหัสสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วในหมวด 1
4. หากยังไม่สามารถระบุรหัสเลข 6 หลัก จากหมวด 16 ได้ ให้กลับไปใช้รหัสที่มีเลข 2 หลักสุดท้ายเป็น 99 ในหมวดที่เกี่ยวข้องในข้อแรก

ตารางที่ 2-4 ตัวเลขสองหลักแรกที่แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิภูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548)

หมวด 01	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการสำรวจ การทำเหมืองแร่ การทำเหมืองหิน และการปรับสภาพแร่ธาตุโดยวิธีกายภาพและเคมี
หมวด 02	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการเกษตรกรรม การเพาะปลูกพืชสวน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำป่าไม้ การล่าสัตว์ การประมง การแปรรูปอาหารต่างๆ
หมวด 03	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการแปรรูปไม้ และการผลิตแผ่นไม้เครื่องเรือน เชื้อ กระดาษ กระดาษ หรือกระดาษแข็ง
หมวด 04	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง ขนสัตว์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ
หมวด 05	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม การแยกก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการบำบัดถ่านหินโดยการเผาแบบไม่ใช้ออกซิเจน
หมวด 06	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการผลิตสารอนินทรีย์ต่างๆ
หมวด 07	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการผลิตสารอินทรีย์ต่างๆ
หมวด 08	สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการผลิต การผสมตามสูตร การจัดส่ง และการใช้งานของสี สารเคลือบเงา สารเคลือบผิว กาว สารติดฉนวน และหมึกพิมพ์

ตารางที่ 2-4 ตัวเลขสองหลักแรกที่แสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปฏิกูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548)(ต่อ)

หมวด 09	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพ
หมวด 10	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากกระบวนการใช้ความร้อน
หมวด 11	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการปรับสภาพผิวโลหะและวัสดุต่างๆ ด้วยวิธีเคมี รวมทั้งการชุบเคลือบผิว และของเสียจากกระบวนการ non-ferrous hydro-metallurgy
หมวด 12	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการตัดแต่ง และปรับสภาพผิวโลหะพลาสติก ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือเชิงกล
หมวด 13	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภท น้ำมันและเชื้อเพลิงเหลว ไม่รวมน้ำมันที่บริโภคได้
หมวด 14	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทตัวทำลายอินทรีย์ สารทำความเย็น สารขับเคลื่อน ที่ไม่รวมไว้ในหมวด 07 และหมวด 08
หมวด 15	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทบรรจุภัณฑ์ วัสดุอุดซับ ผ้าสำหรับเช็ดวัสดุตัวกรอง และชุดป้องกันที่ไม่ได้ระบุไว้ในหมวดอื่น
หมวด 16	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทต่างๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในหมวดอื่น
หมวด 17	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากงานก่อสร้างและการรื้อทำลายสิ่งก่อสร้างรวมถึงดินที่ขุดจากพื้นที่ปนเปื้อน
หมวด 18	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากการสาธารณสุขสำหรับมนุษย์และสัตว์ รวมถึงการวิจัยทางด้านสาธารณสุข
หมวด 19	สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากโรงปรับคุณภาพของเสีย โรงบำบัด น้ำเสีย โรงผลิตน้ำประปา และโรงผลิตน้ำใช้อุตสาหกรรม

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีรหัสเลข 6 หลักที่กำกับด้วยตัวอักษร HA (Hazardous waste Absolute entry) หรือ HM (Hazardous waste – Mirror entry) ให้ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีคุณสมบัติเป็นของเสียอันตราย ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้ สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีรหัสกำกับด้วย HM ผู้ประกอบการต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในกรณีที่ต้องการโต้แย้งว่าสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วดังกล่าวไม่เข้าข่ายเป็นของเสียอันตรายตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ รหัสเลข 6 หลักของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วตามประกาศกระทรวงเรื่องการจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

2.2.3 ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

2.2.3.1 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นสารไวไฟ (Ignitable Substance)

1. เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ไม่รวมถึงสารละลายที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่น้อยกว่า 24% โดยปริมาตร วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำโดย



การวัดด้วยเครื่องมือ Pensky-Martens Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-93-79 หรือ D-93-80 หรือการวัดโดยเครื่องมือ Setaflash Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-3278-78

2. เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้น หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้น และเมื่อเกิดลุกเป็นไฟจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

3. เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (Ignitable compressed gas) ซึ่งก๊าซอัดนี้จะหมายถึง วัสดุหรือของผสมใดๆ ที่บรรจุในถังที่มีความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หรือมีความดันสมบูรณ์มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์จะทำตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D-323

4. เป็นสารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) โดยสามารถไปกระตุ้นให้สารอินทรีย์เกิดการเผาไหม้ได้ ได้แก่สารประกอบจำพวก Chlorate permanganate inorganic peroxide และ Nitrate

2.2.3.2 สิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารกัดกร่อน (Corrosive substances)

1. เป็นสารละลาย (Aqueous solution) ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า และค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า วิธีทดสอบหรือวิเคราะห์ทำโดยวัดด้วย pH-meter ตามวิธีทดสอบของ USEPA Method 9040

2. เป็นของเหลวที่กัดกร่อนเหล็กกล้าชั้น SAE 1020 ได้ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อปีที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิเคราะห์ทำโดยวิธีทดสอบของ NACE (National Association of Corrosion Engineers) Standard TM-01-69

2.2.3.3 สิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances)

1. เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว รุนแรง และโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

2. เป็นสารที่ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

3. เป็นสารที่รวมกับน้ำแล้วได้ของผสมที่เกิดการระเบิดได้

4. เป็นสารที่ผสมกับน้ำแล้วก่อให้เกิดก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

5. เป็นสารที่มีองค์ประกอบของไฮยาไนด์หรือไซไฟด์ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดค่า (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว สามารถก่อให้เกิด ก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

6. เป็นสารที่เมื่อถูกทำให้ร้อนในพื้นที่ที่จำกัดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาระเบิดรุนแรง

7. เป็นสารที่สามารถระเบิดได้ทันที หรือเกิดปฏิกิริยาระเบิดได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) และมีปฏิกิริยารุนแรง

2.2.3.4 สิ่งปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารพิษ (Toxic substances)

1. เป็นสารที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม เพราะมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นพิษแบบเฉียบพลัน เป็นพิษแบบเรื้อรัง มีคุณสมบัติสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม

2. เป็นสารที่มีความเป็นพิษ คือ เป็นสารที่มีค่า Acute oral LD_{50} น้อยกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเมื่อใช้หนูเป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า Acute inhalation LC_{50} น้อยกว่า 10,000 ส่วนในล้านส่วนในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระด่ายเป็นสัตว์ทดลอง มีค่า Acute dermal LD_{50} น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD_{50} หมายถึง ค่า(ปริมาณ)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD_{50} มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC_{50} หมายถึง ค่า(ความเข้มข้น)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LC_{50} มีหน่วยเป็นล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

3. เป็นสารที่มีค่า Acute aquatic 96-hour LC_{50} น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้างทั้งหมด เท่ากับ 40-48 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) กับปลา fathead minnows(Pimephalespromelas) ปลา rainbow trout (Salmogairdneri) หรือปลา golden shiners (Notemigonuscrysoleucas) ตามที่กำหนดใน Part 800 ของ the “Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (16th Edition),” American Public Health Association, 1985

4. เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารที่ระบุนไว้ในปริมาณความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งหรือปริมาณรวมของสารทั้งหมด มากกว่าหรือเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนักสารนั้นได้แก่ 2-

Acetylaminofluorene (2-AAF), Acrylonitrile, 4- Aminodiphenyl, Benzeidine and its salts, bis (Chloromethyl) ether (BCME), Methyl chloromthyl ether, 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP), 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB), 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB), Ethyleneimine (EL), alpha-Naphthylamine(1-NA), beta-Naphthylamine (2-NA), 4-Nitrobiphenyl (4-NBP), N-Nitrosodimethylamine (DMN), beta-Propiolactone (BPL) และ Vinyl chloride (VCM)

2.2.3.5 สิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน

1. เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (มก./กก. โดยน้ำหนัก) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548

2. เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (มก./ล.) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (SPLC) ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548

3. การทดสอบสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ที่นำมาสกัดโดยวิธี Waste Extraction Test (WET) จะทำขึ้นเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดไว้ หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

2.2.4 การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด

2.2.4.1 การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

การเตรียมตัวอย่างของสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ต้องการจะหาค่าความเข้มข้นของสารอันตรายทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Total Concentration) หรือปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration) ให้ใช้วิธีต่อไปนี้

1. ชนิดที่ 1 – สำหรับสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อน หรือไปบดเพื่อให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนที่จะนำไป

วิเคราะห์ หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้ และร้อนไม่ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่กำหนด และเป็นวัสดุที่ปนเปื้อนมาไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ให้แยกออกไปแล้วทิ้ง ส่วนที่เหลือให้นำมาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ก่อนจะนำไปรวมและผสมกับตัวอย่างที่ไม่ต้องบด แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2. ชนิดที่ 2 - สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ และมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะต้องทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยการกรองผ่านเมมเบรน (membrane filter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน ทำการวัดปริมาณของส่วนที่กรองได้และเก็บไว้ ส่วนนี้จะถือว่าเป็น Initial Filtrate ส่วนของแข็งที่แยกได้ก็จะนำไปบดแล้วร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (สิ่งแปลกปลอมจะถูกแยกทิ้งไป) และนำไปผสมกับของแข็งที่ร้อนผ่านตะแกรง โดยไม่ต้องบดซึ่งส่วนที่เป็นของแข็งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Waste Extraction Test (WET) โดยสัดส่วนของน้ำสกัดที่ใช้คือ 10 มิลลิลิตรของน้ำสกัดต่อ หนึ่งกรัมของของแข็ง จากนั้นสารละลายที่สกัดได้จะถูกกรองและนำไปผสมกับ Initial Filtrate แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3. ชนิดที่ 3 - สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นกากตะกอน (Sludge) เกลน (Slurry) หรือเป็นน้ำมัน (Oily) น้ำมันดิน (Tarry) หรือมีลักษณะที่ไม่สามารถกรองหรือบดได้ หลังจากแยกสิ่งแปลกปลอมแล้ว ตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4. หากจำเป็นที่จะต้องมีการตากแห้งตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือองค์ประกอบของแข็งก่อนทำการบด ร้อน หรือแยกสิ่งแปลกปลอมออก หรือได้มีการทำให้ของเสียนั้นแห้งก่อนทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่หายไป และต้องบันทึกสภาพของการทำแห้งไว้ด้วย

5. ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ในการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นในกรณีที่เป็นการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 มิลลิเมตร

6. สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะไม่ต้องนำมาสกัด ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าของสารต่างๆ ได้โดยตรง และจะถือว่าเป็น

ของเสียอันตรายก็ต่อเมื่อ ค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารใดๆ มีค่ามากกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้สำหรับสารนั้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารนั้น มีค่าน้อยกว่าค่า TTLC แต่มากกว่าค่า SPLC เมื่อคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องนำตัวอย่างของเหลวนั้นมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาค่าของสารนั้น โดยจะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในของเหลวที่ผ่านการกรองมีค่ามากกว่าค่า SPLC ที่ระบุไว้สำหรับสารนั้น

2.2.4.2 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

1. น้ำสกัดให้ใช้สารละลาย 0.2 โมลาร์ โซเดียมซิเตรท ที่มี pH 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมจากการนำสารละลายกรดซิตริก ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วยสารละลาย 4.0 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดซิตริก สามารถเตรียมได้โดยนำเอา analytical grade citric acid ไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) สำหรับการวิเคราะห์หาค่าเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (chromium (VI)) ให้ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นน้ำสกัด

2. นำตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกประเภท โพลีเอทิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย) ภาชนะที่ใช้ในการสกัด ควรผ่านการล้างอย่างต่อเนืองด้วยสารละลายกรดไนตริก ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำเอาสารละลายกรดไนตริกมาผสมกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

3. เติมน้ำสกัด 500 มิลลิตรลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปใส่ภาชนะด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไป และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนละลายลงไปในตัวอย่างไม่ให้เสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ Table shaker หรือ Overhead stirrer หรือ Rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์หาค่าสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น Trichloroethylene จะต้องทำการไล่อากาศและออกซิเจนออกจากน้ำสกัด ก่อนที่จะเติมน้ำลงในตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยของสารนั้น

4. จากนั้นนำของผสมไปกรอง หรืออาจไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน

5. ชนิดของแผ่นกรองที่ใช้ ควรมียอดประกอบของโลหะหนัก ฟลูออไรด์และสารอินทรีย์ที่สามารถชะออกมาได้ในปริมาณน้อยมาก

6. อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็น ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน method 1310 ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Method, SW-846, 3rd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1986

7. ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส

8. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จากข้อ (4) ลงในขวดโพลีเอทิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก จนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสมเป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)

9. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายด้วย หรือต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จากข้อ (4) ลงในขวดแก้ว ยกเว้นถ้าเป็นการวิเคราะห์หาฟลูออไรด์ ควรใช้ขวดโพลีเอทิลีน ห้ามทำการปรับสภาพให้เป็นกรด แต่ต้องนำไปแช่แข็งทันที จนกว่าจะมีการนำไปวิเคราะห์ ยกเว้นว่าจะทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง

10. ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารเป้าหมาย เพื่อที่จะหาว่าปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration, EC) ในตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า STLC ของสารนั้นหรือไม่ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ได้ระบุไว้ในหัวข้อถัดไป

2.2.4.3 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตราย (Total Concentration)

1. สำหรับโลหะและสารประกอบให้ใช้วิธีสกัดที่กำหนดไว้ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, 2nd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1982 ดังนี้ คือ

- Method 3050 สำหรับโลหะและสารประกอบทุกตัวยกเว้นโครเมียมเฮกซะวาเลนต์
- Method 3060 สำหรับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

2. สำหรับสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ ยกเว้นสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ให้ใช้วิธีที่กำหนดไว้ใน Chapter Two, "Choosing the Correct Procedure" ใน "Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods", SW-846, 3rd edition and Update

3. สำหรับสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ให้ใช้วิธีของ California Code of Regulation, Title 22 Social Security, Division 4.5 Environmental Health Standards for the Management of Hazardous Waste, Chapter 11 Identification and Listing of Hazardous Waste

2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยเรยอน

2.3.1 กระบวนการผลิตหลัก/ผลิตเส้นใยเรยอน

นำเชื้อเซลลูโลสซึ่งอยู่ในรูปแผ่นกระดาษมาผสมกับด่างโซดาไฟในถังกวนเพื่อทำเป็นเชื้อด่าง (Alkali Cellulose) แล้วส่งไปยังเครื่องรีดโซดาไฟส่วนเกินออก เพื่อให้ได้เชื้อด่างที่มีอัตราส่วนของด่างโซดาไฟที่เหมาะสมตามต้องการ เชื้อด่างนี้จะถูกส่งต่อไปยังถังหมักที่มีการควบคุมเวลาและอุณหภูมิเพื่อให้โมเลกุลของเซลลูโลสสั้นลงตามที่ต้องการโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

หลังจากหมักแล้วเชื้อด่างจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ภายใต้สภาวะสูญญากาศเพื่อเปลี่ยนเป็นเซลลูโลสแซนเทส (Cellulose Xanthate) ซึ่งจะถูกนำไปทำละลายด้วยสารละลายด่างโซดาไฟ เกิดเป็นสารละลายที่เรียกว่า “วิสโคส” (Viscose)

สารละลายวิสโคสจะถูกนำไปกรองเพื่อนำส่วนที่ไม่ละลายออก พร้อมทั้งผ่านกระบวนการดูดฟองอากาศออกด้วย เพื่อให้ได้สารละลายที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการนำไปทำเป็นเส้นใยต่อไป

สารละลายวิสโคสที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะถูกปั๊มไปยังหัวฉีดเส้นใย ซึ่งแต่ละหัวจะมีรูขนาดเล็กมากมายจุ่มอยู่ในสารละลายผสมของกรดกำมะถัน โซเดียมซัลเฟต และสังกะสีซัลเฟต วิสโคสที่ผ่านหัวฉีดแต่ละรูจะทำปฏิกิริยากับสารดังกล่าวแล้วเปลี่ยนรูปเป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องจำนวนมาก

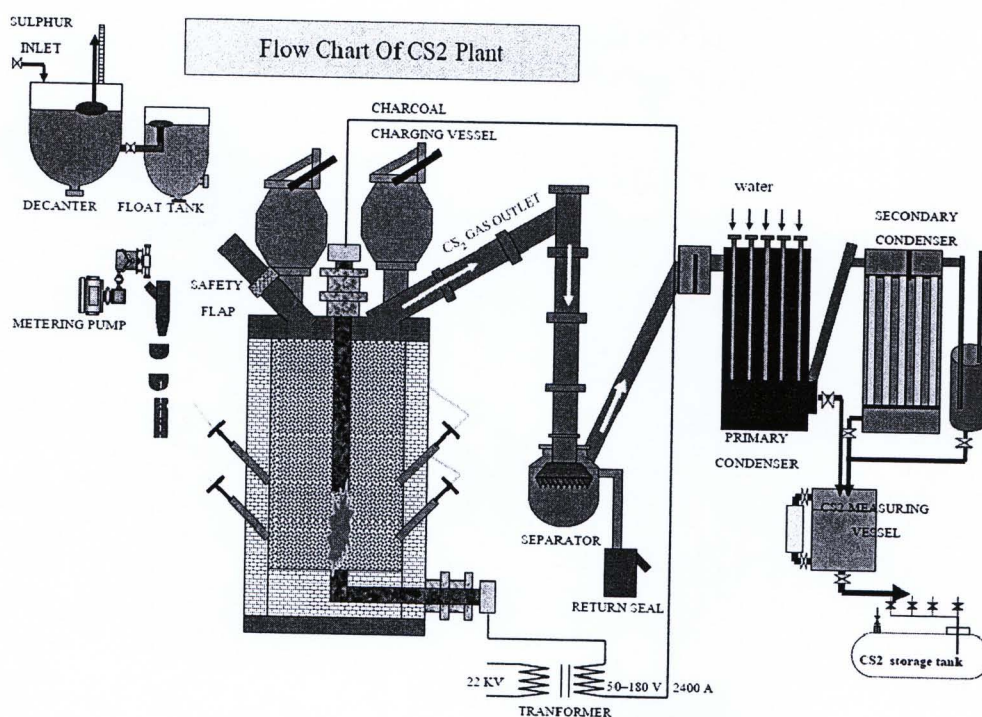
ขั้นตอนสุดท้าย เส้นใยที่ได้จะถูกส่งเข้าไปตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ เส้นใยที่ตัดแล้วจะถูกด้างสารเคมีออก ฟอกขาว ฟอกมัน จากนั้นจะนำเข้าสู่การอบแห้งและอัดเป็นก้อน (Bale) เพื่อส่งจำหน่ายต่อไป

2.3.1.1 กระบวนการผลิตเสริม/คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2)

กระบวนการผลิตเริ่มจากการนำถ่านมาเผาเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหยออก หลังจากนั้นนำมาเติมลงในเตาผลิตซีเอสทู (CS_2) ถ่านที่อยู่ในเตาผลิตซีเอสทู จะถูกให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยการอาร์คของขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว จากนั้นกำมะถันเหลวจะถูกฉีดเข้าไปในเตาผลิตซีเอสทู กำมะถันจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีอยู่ในถ่าน เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนได

ซัลไฟด์ (CS_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเข้าไปในถัง Sulfur separator เพื่อแยกเอาไฮดรอกไซด์ออกจากรวมก๊าซ ส่วนที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกส่งผ่านเข้าระบบควบแน่น ก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์จะถูกควบแน่นเป็นคาร์บอนไดซัลไฟด์เหลว และจะถูกนำไปเก็บในถังเก็บ Crude CS_2 ในส่วนของ Crude CS_2 จะถูกนำมากลั่นให้เป็นคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่บริสุทธิ์ จากนั้นถึงจะส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ก๊าซที่ผ่านระบบควบแน่นแล้วจะถูกส่งผ่านมาเข้าระบบ Oil Scrubber เพื่อจะดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ออกให้หมด และจะได้คาร์บอนไดซัลไฟด์กลับคืนมา จากนั้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกส่งผ่านเข้าถังก๊าซไฮโดรเจน และถูกนำไปเผากับออกซิเจนที่เตา Claus kiln เมื่อผ่านระบบ Converter จะได้เป็นกำมะถันเหลวกลับคืนมา ก๊าซส่วนที่ผ่าน Converter แล้วจะถูกบำบัดด้วยน้ำ จากนั้นจะถูกส่งผ่านเข้าไปเข้าระบบบำบัดก๊าซที่ H_2S Scrubber ต่อไป



รูปที่ 2-2แผนผังการผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2)

2.3.2 กระบวนการผลิตเสริม/กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

กำมะถันเหลวจะถูกปั๊มไปเข้าสู่เตาเผากำมะถันโดยใช้ลมจากพัดลม (Blower) ในการเผาไหม้ให้เกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่อุณหภูมิ $950 - 970^\circ \text{C}$ ก๊าซร้อนที่ได้จะถูกลดอุณหภูมิโดยส่งผ่านหม้อไอน้ำ ก๊าซที่ลดอุณหภูมิแล้วจะถูกส่งเข้าไปในถัง Converter เพื่อให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โดยมีสารเร่ง

ปฏิกิริยา ก๊าซซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ที่ออกจาก Converter จะถูกลดอุณหภูมิก่อนจะส่งเข้าหอจับก๊าซ (Absorption tower) เพื่อจับก๊าซซัลเฟอร์ไดรอกไซด์เปลี่ยนเป็นกรดกำมะถัน ก๊าซที่เหลือจากหอจับก๊าซ จะถูกส่งเข้าหอบำบัดด้วยน้ำ (Water Scrubber) เพื่อบำบัดก๊าซชั้นที่ 1 หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าหอบำบัดด้วยสารละลายด่าง (Caustic Scrubber) ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

ไอน้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตสามารถนำไปหลอมละลายกำมะถัน ส่วนลมร้อนและน้ำร้อน ส่งไปให้แผนกออกซิลารี และแผนกสปinningตามลำดับ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

2.3.3 บริเวณที่เกิดมลพิษ

มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตมี 3 ประเภท คือ อากาศเสีย น้ำเสีย และกากอุตสาหกรรม

1) มลพิษทางอากาศ ที่สำคัญ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีจุดที่เกิด 2 แห่ง คือ ที่เครื่องจักร Spinning machine เป็นผลจาก Side reaction ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารละลายวิสโคสให้กลายเป็นเส้นใยและที่ถังเก็บสารละลาย Spin bath ซึ่งใช้หมุนเวียนสารละลายและมลพิษอีกอย่างคือ ฝุ่นเขม่าจาก Boiler โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

2) น้ำเสีย มี 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดและมีสารโลหะหนักสังกะสี มีจุดกำเนิดที่ขั้นตอนกระบวนการล้างเส้นใยกับน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกลางหรือด่างและไม่มีสารโลหะหนักสังกะสี เป็นน้ำเสียที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ภายในโรงงาน

3) กากของเสียอุตสาหกรรม มี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ กากตะกอนของเสียสังกะสีซึ่งจัดเป็นกากของเสียอันตรายและ กากตะกอนชีวภาพ ซึ่งไม่จัดว่าเป็นกากของเสียอันตราย กากทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ โดยว่าจ้างบริษัท โปรเฟสชั่นแนลเวสต์เทคโนโลยี (1999) จำกัด (มหาชน) และบริษัท เบตเตอร์เวิลด์กรีน จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ดำเนินการ

2.4 สังกะสี

สังกะสีหรือ Zinc (Zn) เป็นธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 30 ถือเป็นโลหะทรานซิชัน มีลักษณะทางกายภาพคือ มีสีเทาอ่อนแกมน้ำเงินมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวที่ 419.53 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส สังกะสีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เคลือบผิวของเหล็กกล้าเพื่อป้องกันสนิมใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ ใช้ผสมวัตถุระเบิด ใช้เป็นส่วนผสมของโลหะทองเหลืองและฟิวส์ไฟฟ้า และยังเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต

การที่มีการผลิตและใช้สังกะสีอย่างแพร่หลายทำให้สังกะสีที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมีมาก เป็นเงาตามตัวซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์ น้ำและดินในบริเวณที่มีการทำเหมือง สังกะสีจะมีค่าสังกะสีปนเปื้อนอยู่มาก ซึ่งระดับสังกะสีในแหล่งน้ำบางแห่งสูงถึง 50 ppm และมีการบันทึกว่าในดินมีสังกะสีปนเปื้อนอยู่ถึง 2000 ppm ถึง 180000 ppm ซึ่งสังกะสีเพียง 2ppm ในน้ำจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในเลือดของปลา ส่วนในดินนั้นระดับของสังกะสี 500 ppm จะมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช และในช่วง 50ปีที่ผ่านมาที่มีอัตราการปล่อยสังกะสีสู่อากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ร่างกายมีโอกาสได้รับและสะสมโลหะสังกะสีเข้าไปในร่างกาย ซึ่งสังกะสีจะเข้าสู่ร่างกายได้จากการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีสังกะสีสามารถละลายปนในอาหารได้เร็วมาก สังกะสียังเข้าสู่ร่างกายได้ทางจมูก จากการสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสี ถ้าหากร่างกายได้รับสังกะสีเข้าไปมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ อันตรายที่เกิดจากสังกะสีคือ ถ้ารับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสังกะสีปนอยู่จะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน ส่วนใหญ่แล้วจะได้รับสังกะสีในรูปแบบของสังกะสีออกไซด์ ทางจมูกได้จากการสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสี จะมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบและถ้าหายใจเอาสังกะสีออกไซด์มาก ๆ จะทำให้มีอาการอ่อนเพลียหนาวสั่น ปวดตามแขนขา และปวดศีรษะอย่างรุนแรงได้

2.5กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัว (Stabilization and Solidification)

การปรับเสถียรของเสียคือการเติมสารเพื่อลดความอันตรายของของเสียโดยการเปลี่ยนของเสียและสภาพที่ก่อให้เกิดอันตรายให้อยู่ในรูปที่แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยที่สุด หรือลดระดับความเป็นพิษ สามารถทำได้โดยการเติมสารที่มีสมบัติต่อไปนี้

- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและช่วยให้การจัดการขยะง่ายขึ้น
- ลดพื้นที่ผิวของของเสียที่เกิดถ่ายเทสารปนเปื้อนออกไป
- จำกัดการละลายของมลพิษที่มีอยู่ในของเสีย
- ลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อน

ส่วนการทำให้แข็งตัวคือกระบวนการเติมสารช่วยให้แข็งตัวลงสู่ของเสียอันตรายโดยจะทำให้ได้มวลรวมที่เป็นก้อนแข็ง ซึ่งทำได้โดยการเติมสารที่เพิ่มความแข็งแรง ลดความสามารถในการถูกบีบอัด และลดการรั่วซึมของของเสียได้ โดยความสามารถของของเสียที่ถูกปรับเสถียรแล้วในการสูญเสียสารปนเปื้อนถูกวัดด้วยการชะละลาย ซึ่งคือการที่สารปนเปื้อนถูกย้ายจากของเสียที่ถูก

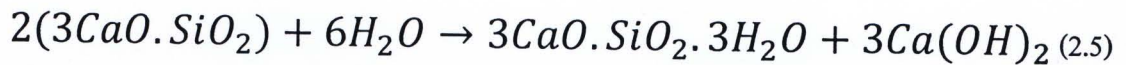
ปรับเสถียรแล้วสู่ตัวกลางของเหลว เช่น น้ำกลไกของการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวนั้นถูกแบ่งออกเป็น 6 แบบโดยการปรับสภาพของเสียจะสำเร็จได้ต้องเกิดกระบวนการต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งกระบวนการ

- มาโครเอนแคปซูลชัน (Macroencapsulation) คือการที่ส่วนประกอบของของเสียถูกกักในโครงสร้างที่ใหญ่กว่า ซึ่งในรูปพูนนี้ของเสียสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ในกรณีนี้ของเสียที่ถูกปรับเสถียรแล้วเกิดการสลายส่วนประกอบเหล่านั้นจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้
- ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) คือการที่ส่วนประกอบของของเสียถูกยึดไว้โครงสร้างผลึกแข็งที่เล็กมาก ซึ่งทำให้เมื่อโครงสร้างบางส่วนสลายไปส่วนประกอบเหล่านั้นก็ยังถูกยึดเอาไว้แต่เนื่องจากไม่ได้ยึดไว้ด้วยพันธะทางเคมีทำให้เมื่อโครงสร้างส่วนใหญ่ถูกสลายไปส่วนประกอบของของเสียจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้
- การดูดซึม (Absorption) คือการที่ของเสียถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลาง ในการปรับสภาพของเสียต้องให้ตัวกลางทำการดูดซับของเหลวออกจากของเสียเพื่อให้ของเสียง่ายต่อการจัดการและให้ของเสียมีความเป็นของแข็งเพิ่มขึ้น
- การดูดติดผิว (Adsorption) คือ การที่สารปนเปื้อนถูกตรึงเข้ากับตัวกลางโดยแรงของพันธะไฟฟ้าเคมี เช่น พันธะวานเดอร์วาลส์หรือพันธะไฮโดรเจน สารปนเปื้อนที่ถูกยึดด้วยพันธะเคมีจะมีโอกาสรั่วไหลออกไปได้น้อยกว่าการยึดเกาะทางกายภาพ
- การตกตะกอน (Precipitation) คือการกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนส่วนประกอบของของเสียให้อยู่ในรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น กระบวนการนี้มักใช้กับการปรับเสถียรของเสียอนินทรีย์ เช่น การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะ การร่วซึมของโลหะนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอช(pH) เมื่อค่าพีเอชต่ำโลหะจะมีโอกาสละลายออกไปได้สูง
- การลดความเป็นพิษ (Detoxification) การกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนส่วนประกอบของของเสียให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษที่น้อยลงหรือไม่เป็นพิษเลย

2.5.1 กระบวนการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วยปูนซีเมนต์

การทำ การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสียอันตรายส่วนใหญ่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลัก โดยปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดที่ได้จากการเผาวัตถุดิบต่างๆ (หินปูนหรือดินปูนขาว กับดินเหนียวหรือดินดาน) จนรวมตัวกันผสมกันสุกพอดี โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญทางเคมีได้แก่ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวในที่นี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) โดยสารประกอบที่สำคัญที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์หลังจากการเผา ได้แก่ ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) ไตรแคลเซียมซิลิเกต ในการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของเสี้ยนจะผสมของเสี้ยนเข้ากับปูนซีเมนต์แล้วเติมน้ำในกรณีของเสี้ยนที่มีปริมาณน้ำไม่เพียงพอ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างผลึกของ แคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกต (Calcium aluminosilicate) หรือ คอนกรีต โดยปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกตมีดังสมการที่ 2.5 และปฏิกิริยาของไดแคลเซียมซิลิเกตมีดังสมการที่ 2.6



โดยมีปฏิกิริยาอื่นๆอีกที่ทำให้เกิดเจลซิลิเกตซึ่งเรียกว่า โทโบโมไรต์ (tobomorite) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นช้าเป็นผลให้การบ่มตัวของคอนกรีตมีระยะเวลานาน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดคือสมการที่ 2.7



การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของเสี้ยนโดยใช้ปูนซีเมนต์ เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับของเสี้ยนประเภทอินทรีย์โดยพาของเสี้ยนที่มีโลหะหนักผสมอยู่ เนื่องด้วยความเป็นด่างที่สูงของปูนซีเมนต์ทำให้โลหะหนักถูกจับอยู่ในรูปของสารประกอบเกลือหรือสารไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำไม่ได้และสารประกอบเหล่านี้จะจับไว้ในเนื้อปูนอีกที จากการศึกษาพบว่าโลหะหนักประเภทตะกั่ว, ทองแดง, สังกะสี, ดีบุกและแคดเมียมจะถูกตรึงด้วยพันธะเคมีและก่อตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำไม่ได้ในขณะที่ปรอทจะถูกกักโดยกระบวนการไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) เป็นส่วนใหญ่

ส่วนของเสี้ยนประเภทสารอินทรีย์นั้นจะรบกวนปฏิกิริยาไฮเดรชัน ลดความแข็งแรงของคอนกรีตและการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นไปได้ยาก นอกจากนั้นยังลดการจับตัวของโครงสร้างผลึกทำให้คอนกรีตไม่สามารถคงรูปได้ การเพิ่มสารปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ดินเหนียว

เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) ช่วยลดการรบกวนที่เกิดขึ้นกับปฏิกิริยาไฮเดรชันและเสริมความสามารถในการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วย

การเจาะจงจุดที่ของเสียดกับโครงสร้างของปูนซีเมนต์นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีการศึกษาเกี่ยวกับพันธะเคมีของของเสียดอันตรายในปูนซีเมนต์ โดยพบว่าตะกั่วจะเกาะอยู่บริเวณรอบนอกของอนุภาคซีเมนต์ ในขณะที่แคลเซียมจะกระจายตัวอยู่ทั่วอนุภาคของซีเมนต์

การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสียดด้วยปูนซีเมนต์ใช้กับของเสียดอินทรีย์เช่น กากตะกอนของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะหรือดินที่ปนเปื้อนโลหะ การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวของของเสียดอินทรีย์ด้วยปูนซีเมนต์เป็นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจาก 1. ขาดทางเลือกที่ดีกว่า เพราะโลหะไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยขบวนการชีวภาพและโครงสร้างอะตอมจะไม่มีเปลี่ยนแปลงในการเผา 2. เป็นกระบวนการที่ใช้งานได้ง่าย และหลักการของกระบวนการเป็นที่เข้าใจ

มีข้อได้เปรียบอย่างมากในการใช้การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวด้วยซีเมนต์ เนื่องจากเทคโนโลยีของซีเมนต์เป็นที่รู้จักตั้งแต่ การควบคุม การผสม การขึ้นรูปและการแข็งตัว อีกระทั้งซีเมนต์ยังมีการใช้อย่างกว้างขวางในงานก่อสร้างทำให้มีราคาค่อนข้างต่ำ รวมถึงมีอุปกรณ์และบุคลากรพร้อมใช้งาน ไม่จำเป็นต้องรีดน้ำออกจากกากตะกอนหรือของเสียด เนื่องจากน้ำจำเป็นต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และสุดท้ายความเป็นต่างของปูนซีเมนต์สามารถหักความเป็นกรดในของเสียดบางชนิดได้ ข้อเสียหลักของกระบวนการนี้คือเมื่อพบกับของเสียดที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ และส่งผลถึงการขึ้นรูปและการแข็งตัวของคอนกรีต

2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การผลิตคอนกรีตมวลเบา

Gunawan A. (2006) กล่าวว่า aerated concrete หรือ cellular concrete สามารถผลิตโดยใช้ซีเมนต์ หรือ ปูนขาวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก็ได้แต่จะไม่มีการใช้วัสดุมวลรวมอย่างหยาบ ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกว่า cellular mortar ซึ่งมีอากาศอยู่ภายในเนื้อของคอนกรีตโดยชนิดที่มีการอบด้วยไอน้ำเริ่มมีการผลิตครั้งแรกในประเทศสวีเดนในปี ค.ศ. 1919

กระทรวงอุตสาหกรรม (2541) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 ได้กำหนดนิยามว่า “ชิ้นส่วนมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มี

ขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็ก ๆ แพร่กระจายตัวในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งแรงด้วยการอบไอน้ำและไม่เสริมเหล็ก

CEB (1997) วิธีการทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อของคอนกรีตเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศสามารถกระทำได้ 2 ทางด้วยกัน อันได้แก่ ทางกายภาพ คือ การผสมด้วยสารก่อโฟม และวิธีการทางเคมี คือ การเติมสารเคมีในขณะที่มวลสารอยู่ในสภาวะที่เป็นของเหลว หรือ กึ่งเหลว (plastic stage) เพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี

Laukaitis A. and Fiks B. (2005) คอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำมีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ gas cement concrete, gas concrete with combined binder, และ foam concrete โดยที่ทั้งสองชนิดแรกจะมีกลไกการทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตด้วยวิธีการทางเคมี คือ การใช้ผงอะลูมิเนียมที่อัตราส่วน 0.1% -0.25 % ของแข็ง แต่แตกต่างกันที่ปริมาณของอัตราส่วนของวัสดุซิลิกา (siliceous materials) ซึ่งหมายถึง ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และปูนขาว ส่วน foam concrete จะมีการใช้สารก่อโฟมที่ทำให้เกิดโฟมที่มีความเสถียรภาพ โดยในงานศึกษานี้ใช้ 0.2% sulfonol ผสมกับ 0.15 % bone glue (ที่เป็นตัวทำให้เกิดความเสถียรภาพในเนื้อโฟม) โดยที่ทั้ง 3 ชนิด ต้องบ่มด้วยกัน 2 ระยะคือ 40°C ที่ระยะเริ่มต้น และที่ 180 °C ภายใต้อิอน้ำที่ความดัน 0.8 MPa 8 ชั่วโมง

Ungsungkhun (2005), ศึกษาการทำคอนกรีตมวลเบาแบบ gas cement ด้วยอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผสม 0.5-0.6 ผงอะลูมิเนียม 0.4% ของมวลวัสดุผสม ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 55% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ทราาย 45% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดโดย 10% ของซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ถูกแทนที่โดย ปูนขาว โดยอบไอน้ำที่ 160 °C นาน 8 ชั่วโมง

Phuythamajitt (2006), ศึกษาการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำโดยใช้ส่วนผสมต่อไปนี อัตราส่วนน้ำต่อของแข็ง 60% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ผงอะลูมิเนียม 0.4% ของมวลวัสดุผสม หรือ 0.27% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดทราาย 70% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดซีเมนต์ 30% ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดโดย 33% ของซีเมนต์ เป็นปูนขาวโดยอบไอน้ำที่ 180°C นาน 12-14 ชั่วโมง

ชาตรีสาวทรัพย์ (2551) ได้หาระยะเวลาและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยมีช่วงระยะเวลาที่ 10 12 14 และ 16 ชั่วโมง มีอัตราส่วนของวัสดุประสานต่อวัสดุมวลรวม 60:40 55:45 และ 50:50 อัตราส่วนผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.20, 0.25, และ 0.30 โดยน้ำหนักของของแข็งรวม มีการใช้น้ำในอัตราส่วนต่อของแข็ง 0.26, 0.29, 0.32 พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 14 ชั่วโมง และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนของวัสดุประสานต่อวัสดุมวลรวม

60:40 อัตราส่วนผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.30 โดยน้ำหนักของของแข็งรวม และอัตราส่วนน้ำต่อของแข็ง 0.26

2.6.2 การปรับเสถียรและทำให้แข็งตัวของกากของเสียโลหะหนักด้วยคอนกรีต

Katsioti M., และคณะ (2008) ศึกษาเรื่องผลของการใช้ซีเมนต์หรือ เบนโทไนต์ในการทำ Stabilization/Solidification ของ สลัดจ์น้ำเสียชุมชนที่มีโลหะหนัก โดยใช้สลัดจ์ ร้อยละ 50 ซีเมนต์ร้อยละ 30 และ เบนโทไนต์ร้อยละ 20 แสดงถึงกำลังรับแรงอัดมากกว่าค่าต่ำสุด 350 กิโลปาสกาล ที่ 28 วัน จากเครื่อง FT-IR แสดงถึงการดูดซับที่ไม่มีการจับตัวกันทางพันธะเคมีในกระบวนการ S/S และกระบวนการไฮเดรชันจะตัวกันเป็นอย่างดีจากวิเคราะห์ด้วย SEM และ XRD และการชะละลายก่อนมอร์ตาร์โดยวิธีการ TCLP มีปริมาณโลหะหนักถูกชะออกมาน้อยกว่าค่ามาตรฐานขั้นต่ำ และซีเมนต์และเบนโทไนต์ยังช่วยลดความเป็นพิษและความสามารถในการถูกชะล้างของโลหะหนักอีกด้วย

Chen Quanyuan และคณะ (2008) ศึกษาการใช้สารละลาย Na_2CO_3 และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปรับปรุงคุณภาพของการทำ Stabilization/Solidification ของสลัดจ์จากโลหะหนัก พบว่าสารทั้งสองจะช่วยลดผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการลดความเป็นรูพรุนและความสามารถในการดูดกลืนน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องการในเกิด S/S

Zbigniew Giergiczny และ Anna Król (2008) การใช้วัสดุทดแทนเช่นเถ้าลอยมาผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วไปใช้ในการทำ Stabilization/Solidification สามารถโลหะหนักที่อยู่ในรูปของสารประกอบได้ โดยความสามารถในการยึดจับนั้นจะขึ้นกับส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่ม และในการทดลองพบว่าสังกะสีและ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ จะชะลอกกระบวนการไฮเดรชัน ผลผลิตที่ได้ไม่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปกักเก็บหรือใช้ทำงานก่อสร้างเช่นการทำถนนได้