

บทที่ 12

การควบคุมการเก็บและขนส่งของเสียอันตราย

12.1 การควบคุมการเก็บและขนส่งของเสียอันตราย^{18, 19}

การเกิดอุบัติเหตุในระหว่างการขนส่งของเสียอันตรายก็จะมีผลกระทบต่อทั้งสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัย และเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎของความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น การใช้ภาชนะที่เหมาะสม การติดฉลากบนภาชนะบรรจุ การติดป้ายเตือนภัยข้างรถ การแยกวางไม่ให้ของเสียอันตรายผสมปนกันจนอาจเกิดปฏิกิริยารุนแรงขึ้นได้ รวมถึงการกำหนดให้ใช้ใบกำกับกับการขนส่ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า ของเสียอันตรายทั้งหมดถูกส่งไปถึงที่หมาย และได้รับการกำจัดที่เหมาะสม

การขนส่งของเสียอันตราย

ในการขนส่งของเสียอันตราย จะเริ่มนับตั้งแต่ การเก็บรวบรวม การขนย้ายขึ้นรถ จนถึงการนำของเสียอันตรายไปส่งยังที่หมายตามที่ระบุไว้ในใบกำกับกับการขนส่ง ในส่วนนี้จะมีผู้เกี่ยวข้องด้วยกัน 3 ฝ่าย คือ 1. ทำให้เกิดของเสีย หรือเจ้าของของเสีย, 2. ผู้ขนส่ง และ 3. สถานที่หรือศูนย์บริการบำบัดหรือกำจัดขั้นสุดท้าย

ทั้งสามฝ่ายต้องจดทะเบียนหรือได้รับอนุญาตจากรัฐ ก่อนที่จะส่งของเสียไปบำบัดหรือกำจัด หรือก่อนประกอบธุรกิจขนถ่าย หรือประกอบกิจการบำบัดของเสียอันตราย

นอกจากต้องจดทะเบียนแล้ว ยังมีหน้าที่ความรับผิดชอบอื่น ๆ สำหรับผู้เกี่ยวข้องทั้งสามดังนี้

เจ้าของของเสียอันตราย มีหน้าที่ 1. ต้องเลือกผู้ขนส่ง, 2. เตรียมภาชนะบรรจุ และทำป้ายฉลาก, และ 3. ทำใบกำกับกับการขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 12-1

ผู้ขนส่ง มีหน้าที่ 1. ตรวจสอบชนิดของของเสียให้ตรงตามที่ระบุไว้ในใบกำกับกับการขนส่ง, 2. เลือกใช้ภาชนะบรรจุ การทำเครื่องหมาย ป้ายฉลากให้ถูกต้องตามระเบียบของรัฐ, และ 3. หากเกิดอุบัติเหตุ ต้องแจ้งให้หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องทราบ และเป็นผู้รับผิดชอบในการทำลายฤทธิ์ของของเสียอันตรายด้วย

สถานที่หรือศูนย์บริการบำบัดหรือกำจัดขั้นสุดท้าย มีหน้าที่เก็บตัวอย่างไปตรวจสอบว่าของเสียที่ขนมาบำบัดมีคุณภาพตรงตามที่ระบุไว้ในสัญญาหรือไม่

 ใบบันทึกการขนส่งของเสียอันตราย (Uniform Hazardous Waste Manifest)																																																			
1. ส่วนที่ผู้กำเนิดของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูล : This section must be completed by the Generator																																																			
1) ชื่อผู้กำเนิด : Generator's name ที่อยู่ผู้กำเนิด : Generator's mailing address	2) เลขทะเบียนผู้กำเนิดของเสียอันตราย : Generator's RCD ID number : โทรศัพท์ Phone no. : โทรสาร Fax no. : หมายเลขฉุกเฉิน Emergency phone no. :																																																		
3) ชื่อผู้ขนส่งที่ 1 : Transporter 1 company name (Printed/Typed)	เลขทะเบียนผู้ขนส่งที่ 1 : Transporter 1's ID number																																																		
4) ชื่อผู้ขนส่งที่ 2 : Transporter 2 company name (Printed/Typed)	เลขทะเบียนผู้ขนส่งที่ 2 : Transporter 2's ID number																																																		
5) ชื่อผู้รับกำจัดของเสียอันตราย : TSO's name (Printed/Typed)	เลขทะเบียนผู้รับกำจัดของเสียอันตราย : TSO's ID number																																																		
6) รายละเอียดของของเสียอันตรายที่ขนส่ง : รายละเอียดของของเสียอันตราย : UN number, quantity, etc.																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ลำดับ No.</th> <th rowspan="2">การอธิบาย Description</th> <th rowspan="2">รหัสของของเสีย Hazard ID</th> <th colspan="2">การบรรจุของเสีย Container</th> <th rowspan="2">ปริมาณสุทธิ Total Quantity</th> <th rowspan="2">หน่วยวัด Unit/Weight</th> <th rowspan="2">ข้อมูลเพิ่มเติม Additional information</th> </tr> <tr> <th>จำนวน จำนวน No.</th> <th>ชนิด ชนิด Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	ลำดับ No.	การอธิบาย Description	รหัสของของเสีย Hazard ID	การบรรจุของเสีย Container		ปริมาณสุทธิ Total Quantity	หน่วยวัด Unit/Weight	ข้อมูลเพิ่มเติม Additional information	จำนวน จำนวน No.	ชนิด ชนิด Type																																									
ลำดับ No.				การอธิบาย Description	รหัสของของเสีย Hazard ID				การบรรจุของเสีย Container		ปริมาณสุทธิ Total Quantity	หน่วยวัด Unit/Weight	ข้อมูลเพิ่มเติม Additional information																																						
	จำนวน จำนวน No.	ชนิด ชนิด Type																																																	
7) หมายเหตุพิเศษสำหรับของเสียอันตราย : Special handling instructions and additional information																																																			
8) คำรับรอง : ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลของเสียอันตรายที่บรรจุข้างต้นได้ถูกบรรจุอย่างถูกต้อง และถูกบรรจุอย่างเหมาะสมตามข้อกำหนดของกฎหมาย Generator Certificate : I hereby declare that the contents of this consignment are fully and accurately described above by proper shipping name and are classified, packed, marked and labeled and are in all respects in proper condition for transport according to national regulation. ชื่อผู้กำเนิด : Printed/Typed name : คำรับรอง : Signature :																																																			
2. ส่วนที่ผู้ขนส่งของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูล : This section must be completed by the Transporter																																																			
1) ชื่อผู้ขนส่งที่ 1 : Transporter 1's name (Printed/Typed) โทรศัพท์ Phone no. : โทรสาร Fax no. : หมายเลขฉุกเฉิน Emergency phone no. :	2) ยานพาหนะ : <input type="checkbox"/> รถบรรทุก <input type="checkbox"/> รถยนต์ <input type="checkbox"/> เรือ <input type="checkbox"/> เครื่องบิน <input type="checkbox"/> เรือเดินสมุทร 3) เลขทะเบียน : Vehicle ID																																																		
4) คำรับรอง : ข้าพเจ้าขอรับรองว่าได้รับของเสียอันตรายที่บรรจุข้างต้นและได้ขนส่งตามข้อกำหนดของกฎหมาย Transporter 1 certification : hereby declare that I have received the type and quantity of waste as described above and the waste has been transported according to regulations. ขนส่งจาก : Transport from : ไปยัง : To : ใช้เวลาขนส่ง : Time spending : ชม./วัน : hours/day คำรับรอง : Signature :																																																			
5) ชื่อผู้ขนส่งที่ 2 : Transporter 2's name (Printed/Typed) โทรศัพท์ Phone no. : โทรสาร Fax no. : หมายเลขฉุกเฉิน Emergency phone no. :	6) ยานพาหนะ : <input type="checkbox"/> รถบรรทุก <input type="checkbox"/> รถยนต์ <input type="checkbox"/> เรือ <input type="checkbox"/> เครื่องบิน <input type="checkbox"/> เรือเดินสมุทร 7) เลขทะเบียน : Vehicle ID																																																		
8) คำรับรอง : (เหมือนกับข้อ 4) Transporter 2 certification : same as Transporter 1 certification in item 4. ขนส่งจาก : Transport from : ไปยัง : To : ใช้เวลาขนส่ง : Time spending : ชม./วัน : hours/day คำรับรอง : Signature :																																																			
3. ส่วนที่ผู้รับกำจัดของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูล : This section must be completed by the TSO's																																																			
1) ชื่อ : TSO's name ที่อยู่ผู้กำเนิด : TSO's mailing address โทรศัพท์ Phone : โทรสาร Fax : หมายเลขฉุกเฉิน Emergency phone no. :	2) การตรวจพบความไม่ตรงกัน : Discrepancy notification ชนิดของของเสีย : Type of waste : ปริมาณสุทธิ : Total Quantity : มาตรการที่ดำเนินการ : Action taken <input type="checkbox"/> ส่งคืนผู้กำเนิด (RAC) : Returned (RAC) : manifest no. □□□□□□ <input type="checkbox"/> ระบุความไม่ตรงกัน/ของเสียอันตราย : Reclassified / etc Waste's ID : <input type="checkbox"/> อนุมัติ : Accepted																																																		
3) คำรับรอง : ข้าพเจ้าขอรับรองว่าได้รับของเสียอันตรายที่บรรจุข้างต้น และได้รับอนุมัติตามข้อกำหนดของกฎหมาย TSO certification of arrival : I hereby declare that the waste has been accepted and will be processed according to the regulations except as noted in item 2. คำรับรอง : Signature :																																																			

ข้อควรระวัง : ผู้กำเนิดของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูลในส่วนที่ 1 และผู้ขนส่งของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูลในส่วนที่ 2 และผู้รับกำจัดของเสียอันตรายต้องกรอกข้อมูลในส่วนที่ 3 - Manifest - TSO's name - Police - Driver - Department signature etc information must be signed in a correct

ภาพที่ 12-1 ใบบันทึกการขนส่ง¹⁸⁾

ใบกำกับการขนส่ง (Manifest)

ใบกำกับการขนส่งใช้เพื่อให้มั่นใจว่า ของเสียอันตรายจะถูกจัดการอย่างเหมาะสม ตั้งแต่จุดกำเนิดจนถึงหลุมฝังกลบในขั้นตอนสุดท้าย (Cradle-to-grave) ใบกำกับการขนส่งเป็น เอกสารที่มีข้อมูลของเจ้าของของเสีย สมบัติของของเสีย ผู้ขนส่ง และสถานที่บริการบำบัดหรือ กำจัดที่ต้องการให้ส่งของเสียไป ในการขนส่งของเสียอันตราย จะใช้ใบกำกับการขนส่ง รวม ทั้งหมด 6 แผ่น เมื่อเจ้าของของเสียอันตรายกรอกข้อมูล และลงนามในใบกำกับทุกใบ และผู้ ขนส่งลงนามรับทราบในรายละเอียดแล้ว ก็ให้เจ้าของของเสียแยกส่งสำเนาใบที่ 1 ส่งไปยัง หน่วยงานควบคุมของรัฐ และเก็บสำเนาใบที่ 2 ไว้เป็นหลักฐาน สำหรับสำเนาใบที่ 3, 4, 5 และ 6 ให้ส่งมอบให้ผู้ขนส่ง เมื่อผู้ขนส่งมาถึงและส่งมอบของเสียให้สถานบริการบำบัด และ สถานบริการบำบัดลงนามในสำเนาใบกำกับแล้ว สถานบริการบำบัดต้องส่งสำเนาใบที่ 3 ให้ หน่วยงานควบคุมของรัฐ ส่งมอบสำเนาใบที่ 4 ให้ผู้ขนส่งเก็บไว้ และส่งสำเนาใบที่ 5 คืนไปให้ เจ้าของของเสีย ส่วนสถานบริการบำบัดให้เก็บสำเนาใบที่ 6 ไว้

จะเห็นได้ว่า ระบบใบกำกับการขนส่งนี้ เปิดโอกาสให้รัฐ และเจ้าของของเสียสามารถ ติดตามการทำลายกากของเสียของตน และทำให้มั่นใจว่า ของเสียของตนถึงที่หมาย อย่างไรก็ตาม เจ้าของของเสียยังจะต้องรับผิดชอบในการตรวจสอบว่า ของเสียของเสียไปถึงที่หมายถึง โดยติดตามรอบรับสำเนาใบกำกับการขนส่งใบที่ 5 เพื่อนำมาเก็บไว้เป็นหลักฐาน

สถานีขนถ่าย

วัตถุประสงค์หลักของการมีสถานีขนถ่าย คือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยเฉพาะ การเก็บรวบรวมของเสียอันตรายจากแหล่งย่อยต่าง ๆ มาแยกรวมกันที่สถานีขนถ่าย ก่อน ขนส่งไปยังศูนย์บำบัดหรือสถานที่ฝังกลบ โดยเฉพาะในกรณีที่ศูนย์บำบัดหรือสถานที่ฝังกลบ อยู่ไกล การมีสถานีขนถ่ายจะยิ่งคุ้มค่า สถานีขนถ่าย ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบการขนส่ง ซึ่งนอกเหนือจากการตรวจสอบความเรียบร้อยของภาชนะบรรจุ ก่อนทำการจัดรวมแยกตาม ประเภทหรือชนิดของเสียอันตราย ยังต้องจัดทำฉลาก ป้ายติดรถขน ตลอดจนจัดทำเอกสาร หรือแยกรวมเอกสารใบกำกับการขนส่งใหม่ให้ถูกต้อง ก่อนทำการขนส่งต่อไป

คำชี้แจง

(1) ใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายนี้ จัดทำขึ้นเพื่อติดตามการเคลื่อนย้ายของเสีย อันตรายตั้งแต่ผู้กำเนิดไปจนถึงผู้รับกำจัดของเสียอันตราย ผู้ที่ดำเนินงานเกี่ยวข้องกับการ จัดการของเสียอันตรายจะต้องกรอกรายละเอียดในส่วนที่เกี่ยวข้องทุกหัวข้อ มิฉะนั้นจะมี

ความผิดต้องระวางโทษตามกฎหมาย

(2) ใบก้ากับการขนส่งของเสียอันตรายประกอบด้วยต้นฉบับ และสำเนา รวม 6 ฉบับ ผู้ก้าเนตของเสียอันตรายจะต้องกรอก ใบก้ากับการขนส่งของเสียอันตรายในส่วนของผู้ก้าเนตของเสียอันตรายและลงนามอย่างครบถ้วนทุกฉบับ และมอบใบก้ากับการขนส่งให้ ผู้ขนส่งตรวจสอบความถูกต้องและลงนามรับของเสียอันตรายทุกฉบับ ผู้ก้าเนตของเสียอันตรายจะเก็บรักษาฉบับที่ 2 ไว้กับตนเองอย่างน้อย 3 ปี และส่งฉบับที่ 3 ให้กับหน่วยงานก้ากับดูแลภายใน 15 วัน นับจากวันที่ลงนามเริ่มขนส่งของเสียอันตราย สำเนาที่เหลือ (สำเนาที่ 1, 4, 5 และ 6) ผู้ขนส่งของเสียอันตรายจะต้องนำติดไปกับยานพาหนะจนถึงสถานที่ก้าจัด เมื่อผู้ประกอบการสถานเก็บก้าก บำบัดและก้าจัดของเสียอันตรายตรวจสอบความถูกต้องพร้อมทั้งลงนามรับเรียบร้อยแล้วให้ผู้ประกอบการสถานเก็บก้าก บำบัด และก้าจัดของเสียอันตราย คืนฉบับที่ 4 ให้แก่ผู้ขนส่ง เก็บฉบับที่ 5 ไว้กับตนเองอย่างน้อย 3 ปี ส่งฉบับที่ 6 และฉบับที่ 1 (ต้นฉบับ) ให้กับผู้ก้าเนตของเสียอันตราย และหน่วยงานก้ากับดูแล ตามลำดับ ภายใน 15 วัน นับจากวันที่ลงนามรับของเสียอันตราย

คำแนะนำในการกรอกใบก้ากับการขนส่ง

ส่วนที่ 1 ส่วนของผู้ก้าเนตของเสียอันตราย

- (1) กรอกชื่อและที่อยู่ของบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ก้าเนตของเสียอันตรายตามกฎหมาย
- (2) กรอกเลขทะเบียนตามระบบเอกสารก้ากับการขนส่งของผู้ก้าเนต พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร โทรศัพท์กรณีฉุกเฉิน และเลขทะเบียนของผู้ขนส่ง(ทุกราย) และผู้ประกอบการสถานเก็บก้าก บำบัดและก้าจัดของเสียอันตราย
- (3) กรอกชื่อบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ขนส่งของเสียอันตรายรายที่ 1
- (4) กรอกชื่อบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ขนส่งของเสียอันตรายรายที่ 2
- (5) กรอกชื่อบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ประกอบการสถานเก็บก้าก บำบัดและก้าจัดของเสียอันตราย
- (6) กรอกรายละเอียดของของเสีย ดังนี้ ชื่อทางการขนส่ง ระดับความเป็นอันตราย หมายเลขสหประชาชาติ กลุ่มการบรรจุ รหัสของเสียอันตราย จำนวนและชนิดของภาชนะบรรจุ ปริมาณสุทธิ และรายละเอียดเพิ่มเติม (ถ้ามี)
- (7) กรอกรายละเอียดการปฏิบัติที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

(8) คำรับรอง กรอกชื่อ-นามสกุลตัวบรรจง ลายเซ็น และวัน เดือน ปี ที่ส่งของเสีย ออกนอกสถานประกอบการ

ส่วนที่ 2 ส่วนของผู้ขนส่งของเสียอันตราย

- (1) กรอกชื่อบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ขนส่งของเสียอันตรายตามกฎหมาย หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร โทรศัพท์กรณฉุกเฉิน
- (2) ระบุพาหนะที่ใช้ในการขนส่งของเสียอันตราย
- (3) ระบุหมายเลขทะเบียนของพาหนะที่ใช้
- (4) คำรับรอง กรอกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการขนส่งและระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ในการขนส่ง ลายเซ็น และวัน เดือน ปี ที่ขนส่งของเสียออกจากแหล่งกำเนิด
- (5) –(8) กรอกรายละเอียดของผู้ขนส่งของเสียอันตรายรายที่ 2 (ถ้ามี) เหมือน ข้อ (1)- ข้อ (4)

ส่วนที่ 3 ส่วนของผู้ประกอบการสถานเก็บกักบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย

- (1) กรอกชื่อ ที่อยู่ โทรศัพท์ โทรสาร โทรศัพท์กรณฉุกเฉินของบุคคล หรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ประกอบการสถานเก็บกักบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายตามกฎหมาย
- (2) กรอกรายละเอียดกรณีของเสียอันตรายไม่ตรงตามที่แจ้งประเภทของเสีย ปริมาณ สุทธิ และการสำเนียง
- (3) คำรับรอง ลายเซ็น และวันเดือนปีที่รับของเสียอันตราย

หมายเหตุ

- ฉบับที่ 1 (ต้นฉบับ) หน่วยงานกำกับดูแล
- ฉบับที่ 2 ผู้กำเนิดของเสียอันตราย
- ฉบับที่ 3 หน่วยงานกำกับดูแล
- ฉบับที่ 4 ผู้ขนส่งของเสียอันตราย
- ฉบับที่ 5 ผู้กำจัดของเสียอันตราย
- ฉบับที่ 6 ผู้กำเนิดของเสียอันตราย

ภาชนะบรรจุของเสียอันตราย

- ภาชนะบรรจุของเสียอันตรายที่เหมาะสม จะต้องมิลักษณะดังนี้
- สามารถทนต่อการกัดกร่อน

- สามารถปิดแน่นได้ ไม่มีการรั่วไหล หากบรรจุของเสียที่เสี่ยงต่อการเกิดความดันภายในภาชนะ จะต้องติดตั้งระบบนิรภัยลดความดัน

- ฉลากเก่าที่ไม่ถูกต้อง ต้องลบออกหรือทำเครื่องหมายยกเลิกให้ชัดเจน และติดฉลากใหม่ที่ถูกต้อง ก่อนทำการขนส่ง

- ฉลากที่ติดภาชนะบรรจุ ต้องระบุหมายเลขเอกสารใบกำกับกับการขนส่ง ทั้งด้านข้างและด้านบนของภาชนะ

หลักการแยกของเสียต่างชนิดกัน

ในการขนส่ง หรือการเก็บพักของเสียอันตราย จะต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาทางเคมีที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อหากผสมหรือปนสารเคมีสองชนิดเข้าด้วยกัน เช่น

(1) การระเบิด กลุ่มฮาโลเจนอินทรีย์กับน้ำ หรือสารละลายที่มีน้ำเจือปน หรือปฏิกิริยาที่เกิดจากสารออกซิไดซิ่งเข้มข้น กับสารรีดิวซิ่งเข้มข้น

(2) เกิดไฟไหม้ สารประกอบอินทรีย์จำพวกตัวทำละลาย เช่น โทลูอีน หรือไซลีน จะทำปฏิกิริยากับกรดออกซิไดซิ่งต่าง ๆ

(3) เกิดก๊าซไวไฟ สารประกอบจำพวกฮาโลเจนอินทรีย์เมื่อเจอกับสารละลายต่างหรือสารจำพวกฟีนอลหรือครีซอล จะทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซิ่งเข้มข้น หรือโลหะบางตัวทำปฏิกิริยากับน้ำกรด

(4) เกิดก๊าซพิษ สารประกอบฮาโลเจนอินทรีย์เมื่อทำปฏิกิริยากับกรด หรือสารรีดิวซิ่งเข้มข้น หรือน้ำ

(5) เกิดความร้อน น้ำกรดกับด่าง หรือสารออกซิไดซิ่งต่าง ๆ เมื่อผสมกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หรือธาตุโลหะต่าง ๆ

(6) ทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ ของเสียหลายกลุ่มที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำ หรือสารละลาย เกิดสารละลายที่ปนเปื้อนพิษ เกิดความร้อน หรือเกิดก๊าซพิษได้ จึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ไปปนกับของเสียอื่น ซึ่งมักจะมีน้ำปนอยู่เสมอ

แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติ และปฏิกิริยาของของเสียอันตราย สามารถหาได้จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยที่ใช้กำกับการใช้ และการกำจัดสารเคมีนั้น ๆ โดยเฉพาะ หรือเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของวัตถุอันตราย (Material Safety Data Sheets, MSDS) ซึ่งกฎหมายกำหนดให้ผู้ผลิต หรือผู้นำเข้าวัตถุอันตรายนั้น ๆ เป็นผู้จัดเตรียมข้อมูลไว้ให้ผู้ใช้

12.2 วิธีการบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย⁽⁵⁾

กระบวนการทางฟิสิกส์เคมี (Physicochemical Processes)

สำหรับการบำบัดของเสียอันตราย กระบวนการทางฟิสิกส์เคมีเป็นวิธีการบำบัดที่นิยมใช้กันมากกว่าวิธีอื่น ๆ

การไล่ด้วยอากาศ (Air Stripping)

วิธีนี้ใช้ค่าใช้จ่ายน้อย และเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก อาศัยหลักการที่ทำให้สารประกอบหรือของเสียอันตรายออกจากน้ำด้วยการระเหยออกไปสู่อากาศ สารเคมีดังกล่าวต้องเป็นสารที่ระเหยออกได้ง่าย เช่น ตัวทำละลาย (Solvents) หรือพวก สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds : VOCs) วิธีนี้เหมาะสำหรับไล่สารที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 200 มก./ล.

การไล่ด้วยอากาศจะอาศัยการโยกย้ายมวลจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่งด้วยหอหรือถัง หรือบ่อ ซึ่งหมายถึงการย้ายมวลของตัวทำละลาย หรือสาร VOCs จากน้ำเสียไปสู่อากาศนั่นเอง โดยน้ำเสียที่มีสารอันตรายปนเปื้อนอยู่จะถูกสูบเข้าจากด้านบนของหอ น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางที่ถูกวางเรียงกันอย่างสม่ำเสมอเหมือนกันทั่วทั้งหอ ทำให้น้ำเสียค่อย ๆ ไหลลงกระจัดกระจายไปทั่วตัวกลาง ขณะเดียวกันจะมีลมถูกเป่าจากด้านล่างของหอ ทำให้น้ำเสียไหลสวนทางกับลมที่ไหลขึ้นมา จึงเกิดการสัมผัสกัน และทำให้มวลของสารอันตรายย้ายจากน้ำเสียไปสู่อากาศ

การไล่ด้วยไอน้ำ (Steam Stripping)

วิธีนี้เป็นการกำจัดสารปนเปื้อนที่ระเหยได้ง่ายออกจากน้ำเสียด้วยวิธีไล่ออกด้วยไอน้ำ แทนการไล่ด้วยอากาศ โดยอาศัยการระเหยออกของสารปนเปื้อนเช่นเดียวกับวิธีไล่ด้วยอากาศ แต่วิธีนี้จะมีข้อแตกต่างจากวิธีไล่ด้วยอากาศ ดังนี้

- ระบบไล่ด้วยไอน้ำ จะมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบไล่ด้วยอากาศ ซึ่งการใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะช่วยไล่สารปนเปื้อนออกได้ง่าย และรวดเร็ว
- ไอน้ำจะละลายได้ในของเหลว หรือน้ำได้อย่างไม่มีขอบเขต
- ระบบไล่ด้วยไอน้ำ สามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่มีความสามารถระเหยได้น้อย และมีความสามารถละลายน้ำได้มาก และยังสามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 100 มก./ล. ได้ด้วย

ระบบหอไล่ด้วยไอน้ำนิยมใช้กำจัดสารพวก Chlorinated hydrocarbons ต่าง ๆ, Aromatics ต่าง ๆ, Ketones หรือ Alcohols เป็นต้น ระบบไล่ด้วยอากาศมีแผ่นเจาะรู ติดตั้งอยู่ในหอไล่ด้วยไอน้ำหลาย ๆ แผ่นวางห่างกันเป็นระยะเท่า ๆ กัน ไอน้ำจะถูกพ่นจากส่วนล่างของหอขึ้นไปบนยอดหอให้กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัดของหอ ส่วนน้ำเสียจะถูกปล่อยลงมาจากด้านบนของหอ ระบบหอไล่ไอน้ำแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ระบบที่ใช้ความดันบรรยากาศ และระบบที่ใช้ความดันสุญญากาศ ความแตกต่างของการทำงานของทั้งสองประเภทแสดงในตารางที่ 12-1

การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)^[2]

ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารปนเปื้อนได้ดี ถ่านกัมมันต์ผลิตจากแหล่งคาร์บอนต่าง ๆ ได้แก่ ไม้ ผิวนอกมะพร้าว ถ่านหินลิกไนต์ แกลบ เป็นต้น การผลิตถ่านกัมมันต์จะดำเนินการโดยการเผาวัสดุตั้งกล่าวข้างต้น ณ อุณหภูมิ 170 °C แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้เกิดเป็นถ่านไม้ จากนั้นนำไปเพิ่มความร้อนด้วยไอร้อน หรือวิธีอื่น ๆ จนกระทั่งถ่านไม้เกิดขยายช่องหรือโพรงเล็ก ๆ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีสองรูปแบบ คือ แบบผง (Powdered form) และแบบเกล็ด (Granular form) ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษนิยมใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

ตารางที่ 12-1 การทำงานของระบบไล่ด้วยไอน้ำ

ระบบไล่ด้วยไอน้ำ ชนิดใช้ความดันบรรยากาศ	ระบบไล่ด้วยไอน้ำ ชนิดใช้ความดันสุญญากาศ
- ใช้น้ำที่ออกจากระบบไปช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ เพื่อช่วยลดพลังงานในระบบ	- น้ำเสียไหลเข้าระบบโดยปกติ ไม่มีการนำน้ำที่ออกจากระบบมาช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำเสีย
- น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของหอ โดยมีไอน้ำพ่นเข้าสู่ระบบ จากด้านล่างขึ้นสวนกับน้ำเสียไหลเข้า	- ไอที่ออกจากหอถูกผ่านสวนกลับน้ำที่ร้อน เพื่อให้ไอไหลกลับเข้าสู่หออีกครั้งที่ ส่วนล่างของหอ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน
- ไอร้อนที่มีสารปนเปื้อนที่ถูกระเหยออกจากน้ำ เข้าสู่ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ	- น้ำที่ร้อนที่ถูกถ่ายทิ้งออกมาบางส่วน จะถูกปล่อยทิ้งออกจากระบบทันที
- เมื่อไอร้อนเย็นลง จะไหลเข้าระบบแยกสารปนเปื้อน	- ไอที่ออกจากหอบางส่วน จะไหลเข้าระบบแยกสารปนเปื้อน สารปนเปื้อนจะถูกปล่อยทิ้งออกจากระบบ ส่วนของเหลวจะถูกสูบกลับไปยังบ่อดักอีกครั้ง
- ของเหลวที่ยึดตัวด้วยสารอินทรีย์ ถูกนำกลับเข้าไปบำบัดทางส่วนบนของหอ	- เติ้ระบบ ณ ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิของน้ำมีจุดเดือดต่ำกว่าปกติ น้ำจะร้อนเร็วขึ้น
- อุณหภูมิที่ต้องการในหอ ควรสูงกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 102-105 °C	- โดยทั่วไปจะเติ้ระบบที่ความดัน 0.2 ถึง 0.5 บรรยากาศ ณ อุณหภูมิในช่วง 60-82 °C

ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ใส่คาร์บอนหรือถ่านกัมมันต์ลงในถัง โดยให้มีแผ่นรองรับถ่านไว้
2. น้ำเสียถูกปล่อยเข้าทางด้านบนของถังดูดซับ
3. น้ำเสียไหลผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของถัง ผ่าน Nozzle
4. ล้างย้อนด้วยน้ำสะอาดและอากาศ ทำให้ค่าสูญเสียความดันในถังลดลง สามารถ

เดินระบบได้ปกติ

5. น้ำล้างยีสัน และตะกอนสกปรกจะถูกปล่อยทิ้งออกจากส่วนบนของถัง
6. เมื่อด่านกัมมันต์หมดสภาพ จะถ่ายออกจากด้านข้างของถัง แล้วใส่ด่านกัมมันต์ใหม่ หรือด่านที่ฟื้นฟูสภาพแล้วทางด้านบนของถัง
7. โดยปกติระบบนี้จะใช้ถังดูดซับมากกว่าหนึ่งถัง โดยอาจจัดวางเรียงถังแบบอนุกรม หรือแบบขนาน
8. อาจให้น้ำเสียไหลขึ้นและจัดวางแบบอนุกรม หรือให้ชั้นกรองเคลื่อนขยายขึ้นได้
9. โดยทั่วไปถังดูดซับด้วยด่านกัมมันต์ทำด้วยเหล็ก หรือ Polyethylene หรือ Fiberglass
10. ค่าอัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง เท่ากับ 3:1 ถึง 10:1
11. น้ำเสียที่ไหลเข้าถังด้านบน ไหลผ่านแผ่นกระจายน้ำเสีย เพื่อให้ น้ำเสียกระจายเข้าได้มากที่สุด และไม่ให้น้ำเสียไหลกระทะตกลงบนชั้นบนของถังกัมมันต์

ออกซิเดชันเคมี (Chemical Oxidation)

วัตถุประสงค์หลักของวิธีนี้คือกำจัดความเป็นพิษของของเสียด้วยการใช้สารออกซิไดซ์ เป็นวิธีที่ต้องอาศัยความรู้ทางเคมีค่อนข้างมาก แต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถกำจัดสารพิษที่มีความเข้มข้นต่ำได้ ระบบเกิดออกซิเดชันเคมีจะมีการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียอันตราย โดยผสมกันในถังกวนแบบกวนสมบูรณ์หรือถังแบบไหลตามกัน ผสมกันด้วยเครื่องกวน, ด้วยการเป่าฟองอากาศลงในถัง หรือด้วยความดันลด

สารออกซิไดซ์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน และโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งสารออกซิไดซ์แต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน ต้องศึกษารายละเอียดก่อนเลือกใช้

การสกัดของไหลเหนือวิกฤต (Supercritical Fluids Extraction)

Supercritical Fluids คือ ของไหลเหนือวิกฤต เป็นของไหลที่ถูกเพิ่มอุณหภูมิและความดันอย่างมาก คือ 374 °C และ 218 ความดันบรรยากาศ ในระบบนี้สารอินทรีย์อันตรายทั้งในดิน ในน้ำ หรือในตะกอนสามารถถูกละลายในของไหลเหนือวิกฤต และจะถูกปล่อยออกมาจากของไหลเหนือวิกฤตที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ต่ำลง

เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบของไหลเหนือวิกฤตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก กล่าวคือ ไฮโดรเจนหายไป ความสามารถละลายออกซิเจนดีขึ้น และค่าความหนาแน่นของน้ำลดลง เพราะฉะนั้นสารอินทรีย์จะสามารถละลายได้ในน้ำเหนือวิกฤต ขณะที่เกลืออนินทรีย์จะไม่

ละลายน้ำ มีการเติมสารออกซิแดนท์ เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงไปในถังที่อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นไหลเข้าไปในถังแยกตะกอน เพื่อทำการแยกตะกอนเกลืออนินทรีย์ จากนั้นจึงไหลเข้าระบบทำให้เย็นลง และเนื่องจากน้ำที่ออกจากถังแยกตะกอนยังคงมีความร้อนอยู่มาก ทำให้เกิดก๊าซออกจากระบบ ซึ่งได้แก่สารออกซิแดนท์ที่หลงเหลือ CO_2 และ N_2 และอาจใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ไปหมุนกังหันได้

กระบวนการผ่านเยื่อกรอง (Membrane Processes)

กระบวนการผ่านเยื่อกรองมีหน้าที่หลักคือ แยกของเสียบหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแยกที่มีตั้งแต่การกรองทั่วไป การกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) การแยกด้วยไฟฟ้า-เยื่อกรอง (Electrodialysis) และการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นระบบที่มีราคาค่อนข้างสูงกว่าระบบบำบัดอื่น ๆ และต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงด้วย

แผ่นกรองเป็นแผ่นกั้นขวางทางน้ำไหล ซึ่งจะยอมให้น้ำ อีออนต่าง ๆ และสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กไหลผ่าน แผ่นเยื่อกรองที่มีใช้กันทำด้วยแผ่นของแข็ง หรือวัสดุพองตัว เมื่อเดินระบบไประยะหนึ่งจะเกิดอุดตันได้ง่าย และอาจเกิดการย่อยสลายได้ สารปนเปื้อนที่มีพิษรุนแรงมากหรือมีความกัดกร่อนมาก จะไปทำลายแผ่นเยื่อกรองได้ง่าย

การกรองอัลตรา (Ultrafiltration)

การกรองอัลตราเป็นระบบกรองซึ่งของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กจะถูกแยกออกจากสารขนาดระดับโมเลกุล และสารที่มีประจุ โดยการดึงส่วนผสมเหลวผ่านเยื่อที่มีรูขนาดเล็กมาก มักใช้เยื่อกรองอยู่บนกระดาษกรอง และอาจใช้ความพรุนต่าง ๆ กันเพื่อจับของแข็งแขวนลอยขนาดต่าง ๆ ในการเดินระบบต้องมีการให้ความดัน สารปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กจะไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองได้ ส่วนสารปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่กว่ารู หรือช่องน้ำไหลจะถูกดักอยู่บนผิวแผ่นเยื่อกรอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด อาจใช้วิธีนำน้ำเสียที่ผ่านระบบกรองแล้ว สูบกลับมากรองอีกสองถึงสามครั้ง หรือจัดระบบกรองให้วางเรียงต่อกันแบบอนุกรมสองถึงสามถังก็ได้

การแยกด้วยไฟฟ้า-เยื่อกรอง (Electrodialysis)

ระบบกรองแบบนี้เป็นการกำจัดสารปนเปื้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้า และเยื่อกรองจับประจุ ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าตรงให้แก่ระบบ เพื่อให้มีประจุบวก (+) และประจุลบ (-) โดยมีเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Membrane) และเมมเบรนแลกเปลี่ยน

ประจุลบ (Anion Exchange Membrane) จัดเมมเบรนสองชนิดนี้วางสลับกันในระบบกรอง
แผ่นเมมเบรนชนิดนี้มีความหนาเพียง 0.5 มม. จัดวางเรียงกันสลับขั้วไฟฟ้าหลาย ๆ
แผ่น อาจเป็นร้อย ๆ แผ่นก็ได้ โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นเพียง 1 มม. หรือมากกว่าเล็กน้อย
เพื่อให้น้ำเสียไหลผ่านช่องว่างนี้ได้

ออสโมซิสผกกลับ (Reverse Osmosis)

ระบบนี้นิยมเรียกว่า ระบบ RO เป็นการอัดความดันผ่านเยื่อกึ่งซึมได้
(Semipermeable membrane) ทำให้สารปนเปื้อนตกค้างอยู่บนผิวเยื่อกึ่งซึมได้ ระบบนี้ต้องมี
การบำบัดหรือดักของแข็งขนาดต่าง ๆ ออกจากน้ำก่อนเข้าสู่ระบบ เพื่อยืดอายุการทำงานของ
ระบบ เนื่องจากแผ่นกึ่งซึมได้มีความละเอียดมาก

วิธีการทางชีวภาพ (Biological Processes)

ระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับของเสียอันตรายเป็นระบบบำบัดที่อาศัยจุลชีพในการ
ย่อยสลาย โดยอาศัยสารอาหารจากของเสียอันตราย ซึ่งสารอาหารที่สำคัญได้แก่สารคาร์บอน
อินทรีย์ การบำบัดของเสียอันตรายด้วยวิธีการทางชีวภาพ จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่
ดังนี้

การบำบัดของเสียอันตรายที่มีสถานะของเหลว

ของเหลวในที่นี้คือน้ำเสียที่มีของเสียอันตรายเจือปน ซึ่งจะถูกบำบัดทางชีวภาพได้ไม่
เต็มประสิทธิภาพ เหมือนกับน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือน ชุมชนต่าง ๆ ซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ย่อย
สลายง่ายกว่าน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม บางครั้งต้องใช้เวลาเก็บกักนานกว่าน้ำเสีย
ชุมชนทั่วไป แบ่งการบำบัดออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) ระบบจุลชีพแขวนลอย (Suspended Growth System)

เป็นระบบที่ต้องมีการแยกตะกอน เพื่อนำตะกอนกลับสู่ระบบอีก มีการไหลวน
กลับของตะกอนอยู่ตลอดเวลา หรือเกือบตลอดเวลา มีการรักษาระดับความเข้มข้นของจุลชีพ
แขวนลอยอย่างเหมาะสม ควรให้ความเข้มข้นคงที่สม่ำเสมอ และต้องมีการกวนกันอย่างดี
เพื่อให้จุลชีพได้สัมผัสกับอาหารจากของเสียอันตรายอย่างทั่วถึง ทุก ๆ ส่วนของถังบำบัดต้อง
มีอัตราส่วนอาหารกับมวลจุลชีพอย่างเหมาะสม และต้องมีอายุตะกอนเหมาะสมคือไม่มาก
หรือ น้อยเกินไป

ระบบนี้สามารถเดินระบบได้ทั้งแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ขึ้นอยู่กับลักษณะของของเสียอันตราย บางระบบอาจใช้ถ่านกัมมันต์เติมลงไปในระบบบำบัด เพื่อช่วยดูดซับของเสียอันตรายเพิ่มเติมจากการกำจัดด้วยจุลชีพ

ข้อเสียของระบบบำบัดนี้คือตะกอนอาจถูกทิ้งออกไปกับน้ำทิ้งที่ล้นออกจาดังตกตะกอน ถ้าตะกอนตกไม่ตึจะทำให้ตะกอนลอยขึ้นมากระจายไปทั่วถึงตกตะกอน จนในที่สุดตะกอนลอยไปกับน้ำทิ้งทั้งหมดในระบบบำบัด ปัญหานี้จะเกิดขึ้นได้ง่ายกับน้ำเสียที่มีของเสียอันตรายปะปนมา จึงเป็นปัญหาสำคัญในการเลือกใช้ระบบนี้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอันตราย

2) ระบบจุลชีพเกาะผิวตัวกลาง (Attached-Growth Systems)

เป็นระบบที่ต้องมีการใช้ตัวกลาง เช่น พลาสติก ยาง หิน อิฐ ดินเผา กระเบื้อง เป็นต้น จุลชีพจะเกาะที่ผิวตัวกลาง และจะค่อย ๆ เกาะหนาขึ้นเรื่อย ๆ แต่ระบบนี้อาจมีจุลชีพแขวนลอยด้วยแต่ไม่ใช่จุลชีพหลักของระบบ มีทั้งแบบใช้และไม่ใช้อากาศ

การบำบัดของเสียอันตรายที่มีสถานะกึ่งเหลวกึ่งแข็ง

สถานะกึ่งเหลวกึ่งแข็ง เช่น สลัดจ์ ซึ่งหมายถึงน้ำและตะกอนผสมกัน และบางครั้งอาจมีดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายด้วย ทำให้เกิดสลัดจ์ที่มีลักษณะคล้ายโคลน การบำบัดทางชีวภาพของสลัดจ์ ใช้หลักการเดียวกับระบบบำบัดทางชีวภาพของน้ำ คือใช้ระบบบำบัดแบบจุลชีพแขวนลอย แต่ไม่ควรใช้แบบจุลชีพเกาะผิวตัวกลาง เพราะจะมีปัญหาการอุดตัน ในระบบควรมีการกวนอย่างเพียงพอเพื่อให้ทุก ๆ อย่างในสลัดจ์กวนอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกัน สารปนเปื้อนบางชนิดอาจจะระเหยออกได้ และเพื่อเติมอากาศให้เพียงพอ นอกจากนี้ยังเป็นการทำให้สารอินทรีย์กับจุลชีพผสมกันได้อย่างทั่วถึง และทำให้ของแข็งต่าง ๆ ในสลัดจ์แตกกระจายออก

ระบบนี้อาจไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสูบสลัดจ์ไหลเวียนกลับ เพราะในบ่อมีสลัดจ์เข้มข้นแล้ว ระบบนี้มีอัตราย่อยสลายทางชีวภาพเร็ว ทำให้ไม่ต้องใช้พื้นที่บ่อมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดของแข็งทั่วไป

การบำบัดของเสียอันตรายที่มีสถานะของแข็ง

การบำบัดด้วยวิธีนี้จะมีทั้งการย่อยสลายทางชีวภาพ และอาจมีการระเหยออกด้วย รวมถึงอาจมีการกำจัดทางกายภาพเคมีอื่น ๆ ด้วย ซึ่งการบำบัดของเสียอันตรายที่มีสถานะของแข็งมีหลายวิธี แต่จะกล่าวถึงเพียงการบำบัดโดยดิน (Land Treatment) เท่านั้น

การบำบัดโดยดินเป็นการนำของเสียปล่อยทิ้งลงบนพื้นดินด้วยอัตราเข้าควบคุมได้ จะมีการนำดินบนพื้นดินผสมกับของเสียด้วย แต่สำหรับของเสียอันตรายจะไม่ใช้กับพื้นที่เกษตรกรรมเหมือนกับน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นข้อเสียหลักของระบบบำบัดแบบนี้ แต่ข้อดีคือมีราคาถูก การบำบัดโดยดินจะมีลักษณะการทำงาน ซึ่งเป็นรูปหน้าตัดแสดงการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน และการกำจัดสารปนเปื้อนด้วยพื้นดิน จากรูปจะเห็นได้ว่า มีกลไกการกำจัดสารปนเปื้อนต่าง ๆ ดังนี้

- พืชดูดซับสารปนเปื้อน
- สารปนเปื้อนบางส่วนระเหยออกจากพื้นดิน
- มีการไหลผ่านพื้นดินกระจายออกไป
- มีการกระจายออกจากพื้นดินด้วยลมพัด
- มีการสะสมอยู่ในชั้นดินด้วยการตกกรอง
- มีการไหลระซึมลงน้ำใต้ดิน

ระบบนี้ควรมีการใช้อากาศ (Arobic) ดังนั้นจึงควรบำบัดที่ความลึกประมาณ 10-30 ซม. เพื่อให้มีอากาศอยู่ตลอดเวลา ระบบนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ และยังสามารถกำจัดสารอื่น ๆ เช่น ตะกอนแขวนลอยจะถูกกำจัดด้วยการตกตะกอน และการกรองบนชั้นใต้ดินและชั้นผิวดิน โลหะหนักจะถูกดูดซับด้วยดินจะถูกตกตะกอนผลึกเคมี และอาจจะถูกแลกเปลี่ยนประจุภายในดินด้วย แต่จะต้องมีการตรวจวัดค่า pH ของดิน และควบคุมให้มีค่ามากกว่า 6.0 เพื่อให้มีสภาพต่างซึ่งเป็นสภาพที่โลหะหนักจะตกตะกอนได้ดี

ปัจจัยที่ควรพิจารณาเรื่องความสามารถรับของเสียอันตรายของพื้นดิน มี 3 ปัจจัยคือ

1. ควรให้สารปนเปื้อนถูกสะสมอยู่ในดินในระยะเวลาหลายเดือน หลายปี จนถึงจุดอิ่มตัว จนไม่สามารถรับสารปนเปื้อนได้อีก เพื่อให้มีประสิทธิภาพกำจัดด้วยดินได้สูงสุด คือ จนกระทั่งพื้นที่หมดอายุ

2. อัตราการใส่น้ำ หรือของเสียอันตราย ควรมีอัตราพอเพียงไม่มากเกินไป ไม่ให้มีภาวะน้ำท่วมขัง นั่นคืออัตราการใส่น้ำเข้าพื้นดินต้องน้อยกว่าอัตราการซึมลงผ่านชั้นดิน

3. ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ใส่ลงบนพื้นดินควรมีน้อยกว่าอัตราการย่อยสลาย หรือควรใส่สารปนเปื้อนให้เท่ากับที่ดินสามารถกำจัดได้

เนื่องจากสารปนเปื้อนอันตรายถูกทิ้งลงบนพื้นดิน และมีการเคลื่อนที่ลงถึงชั้นใต้ดิน ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่าง ๆ ต่อชีวิตได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีแผนพลาสติกปูพื้น เพื่อไม่ให้ของเสียอันตรายเคลื่อนลงชั้นใต้ดินไปไกล

ระบบบำบัดทางชีวภาพสำหรับน้ำใต้ดิน

สารปนเปื้อนที่ไหลลงชั้นใต้ดิน จะอยู่ใน 3 ลักษณะ ดังนี้

- จุดซึบบนผิวดินที่อยู่ใต้ดิน
- ละลายในน้ำใต้ดิน
- เคลื่อนที่ไปมาอิสระ

โดยจะพบว่า การดูดซับและการเคลื่อนที่อิสระ เป็นกลไกที่เกิดขึ้นมากกว่าการละลายในน้ำใต้ดิน แต่กลับพบว่า ปัญหาของการละลายในน้ำใต้ดินจะมีผลกระทบต่อปัญหามลพิษทางน้ำใต้ดินมากกว่า เพราะน้ำใต้ดินมีการเคลื่อนที่ได้รวดเร็วและกระจายไปได้ไกล

อุตสาหกรรมน้ำมันจะพบปัญหาการบำบัดสารอันตรายในชั้นใต้ดินมากที่สุด จากการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ชั้นใต้ดิน นอกจากน้ำมันแล้ว ยังมีสารปนเปื้อนอื่น ๆ อีก เช่น สารประกอบที่มีคลอรีน ฟีนอล สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งมักมีการรั่วไหลซึมลงชั้นใต้ดินเสมอ

การบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ EX SITU และ IN SITU โดยที่ EX SITU หมายถึงการบำบัดนอกพื้นที่ปนเปื้อน โดยการสูบน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนออกไปบำบัดยังสถานที่อื่น ส่วน IN SITU หมายถึงการบำบัดในพื้นที่ปนเปื้อน ไม่ต้องสูบน้ำหรือขุดดินขึ้นมาทำความสะอาด เป็นการบำบัดภายในชั้นใต้ดิน และเพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด วิธีการบำบัดที่นิยมคือการบำบัดแบบ IN SITU

เนื่องจากการบำบัดของเสียอันตรายในชั้นน้ำใต้ดิน เป็นการบำบัดโดยจุลชีพแบบอาศัยออกซิเจน ดังนั้นสิ่งที่ต้องให้แก่จุลชีพคือ ออกซิเจนและสารอาหาร วิธีการบำบัดจะแตกต่างกันเมื่อความลึกของชั้นน้ำใต้ดินแตกต่างกัน ดังนี้

1 ชั้นน้ำใต้ดินลึก

ระบบบำบัดที่เหมาะสมกับการบำบัดของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนชั้นน้ำใต้ดินลึก เป็นการสูบน้ำใต้ดินจากบ่อบาดาลบริเวณข้างเคียงกับแหล่งปนเปื้อน นำมาผสมกับสารอาหารและออกซิเจน ให้จุลชีพจากชั้นใต้ดินได้รับออกซิเจนและสารอาหาร และมีปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นในสภาวะแอโรบิก แล้วนำเข้าสู่บ่อบาดาลบริเวณปนเปื้อน ให้ชั้นดินทำหน้าที่เสมือนถังบำบัดของเสียอันตราย

2 ชั้นน้ำใต้ดินตื้น

ถ้าระดับน้ำใต้ดินตื้นใกล้ผิวดิน ก็ไม่จำเป็นต้องขุดบ่อบาดาลซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายสูง ให้ใช้การขุดร่องเพื่อนำออกซิเจนและสารอาหารใส่ลงในชั้นใต้ดิน เพื่อใช้บำบัดสารปนเปื้อน

นอกจากการใช้ออกซิเจนแล้ว ยังมีการเติมออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการเติมอากาศทั่วไป และมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) อีกด้วย บัจจุบันทางธรณีวิทยามีความสำคัญต่อการบำบัดเพราะสภาพชั้นใต้ดินต้องไม่ควรถือเป็นแบบชั้นหินที่มีรอยแตกมากจนเกิดทางน้ำไหล ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาน้ำไหลล้นตรงได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดต่ำลง เพราะมีการกวนกันระหว่างออกซิเจน สารอาหาร สารปนเปื้อน และจุลชีพไม่ดี

การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (Stabilization and Solidification) ^[2, 5]

การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งเป็นกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายให้หมดสิ้น ข้อดีของวิธีนี้คือช่วยป้องกันการละลายของสารปนเปื้อนออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ช่วยลดขนาดพื้นที่ผิวของของเสีย และช่วยเสริมสภาพของของเสียด้วยกายภาพให้อยู่ในสภาพดี มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง เป็นกระบวนการที่มักจะทำร่วมกัน แต่มีความแตกต่างกัน ดังนี้

การปรับเสถียร (Stabilization) เป็นกระบวนการที่ใส่วัสดุ หรือสารเพิ่มเติม (Additives) ที่ช่วยลดความอันตรายของของเสียลง ทำให้ลดอัตราการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม และช่วยลดความเป็นพิษด้วย เปรียบเสมือนเป็นกระบวนการบำบัดของเสีย เช่น น้ำเสียกับสลัดจ์ควรทำการปรับเสถียรให้เรียบร้อยก่อนนำไปทิ้งลงบนพื้นที่ฝังกลบ ในระหว่างการปรับเสถียร สารปนเปื้อนอาจจะถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงไป เช่นมีการตรึง หรือกำจัดคลอรีนออกจากสาร Chlorinated Hydrocarbons โดยการระเหย เป็นต้น บางครั้งเรียก Fixation การเติม additives เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของของเสีย ลดพื้นที่ผิวที่จะส่งผ่านสารปนเปื้อน เป็นการจำกัดการละลายของสารปนเปื้อนในของเสีย และลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อน

การทำก้อนแข็ง (Solidification) เป็นกระบวนการที่ใส่สารที่ทำให้วัสดุแข็งตัว (solidifying material) โดยทำการใส่วัสดุก่อให้แข็งตัวผสมกับของเสียอันตราย ทำให้ได้ของแข็งที่สามารถทำให้มีความแข็งแรง รับแรงกดได้มากขึ้น และสามารถช่วยลดความสามารถของ

น้ำซึมผ่านได้ วัสดุที่ช่วยก่อกำเนิดแข็งตัวได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลให้ของเสียนั้นมีเสถียรภาพดีขึ้น

กลไกของระบบการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งอาศัยกลไกทางกายภาพและเคมีที่ส่งผลให้ของเสียนั้นถูกปกปิด หรือถูกยึดเกาะติดจนแน่น ไม่สามารถหลุดออกมาได้ กลไกต่าง ๆ อาจมีดังนี้

1. **Microencapsulation** ของเสียนั้นจะอยู่แคปซูล และจะถูกบรรจุไว้ภายในโครงสร้างผลึกในระดับเล็กมาก หรือเรียกว่าระดับ Microscopic ของเสียนั้นถูกย่อยสลายจนได้ขนาดเล็กลง ๆ ตัวอย่างของกลไกนี้ เช่น เมื่อของเสียน้ำมัน ถูกผสมกับเถ้าลอย ปูนขาว และซีเมนต์ จะทำให้กากน้ำมันอยู่ภายในช่องว่างของแคปซูลนี้

2. **Macroencapsulation** ของเสียนั้นจะอยู่ในแคปซูล และจะถูกบรรจุไว้ภายในโครงสร้างในระดับใหญ่กว่าของ Microencapsulation พวกของเสียนั้นถูกบรรจุอยู่ภายในแคปซูลด้วยกลไกทางกายภาพ มีการแตกสลายในเชิงกายภาพ มีขนาดใหญ่แต่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อิสระ

3. **Adsorption** คือการดูดซับ เป็นการดูดติดผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นการดักทางกายภาพ มีการยึดเกาะกันแบบเคมีไฟฟ้า (Electrochemical) โดยวัสดุหรือสารปรับเสถียรที่เกิดแรงยึดแบบ Hydrogen bonding หรือแบบ Van der waal ทำให้การรั่วไหล หรือหลุดออกจากผิวของแข็งมีน้อยกว่าของ Microencapsulation และ Macroencapsulation ซึ่งเป็นจุดเด่นของวิธีนี้

4. **Absorption** คือการดูดซึม หรือการดูดกลืน ของเสียนั้นจะถูกดูดซึมเข้าไปภายในตัวดูดซึม คล้ายการดูดน้ำของฟองน้ำ วิธีนี้จะใช้สารหรือตัวดูดซึมชนิดต่าง ๆ ทำการดูดของเหลวออกจากของเสียนั้น ทำให้ของเสียนั้นอยู่ในสภาพของแข็งมากขึ้น เป็นการเพิ่มค่าปริมาณของแข็งมากขึ้น

5. **Precipitation** การตกตะกอนผลึก เป็นการนำของเสียนั้น ซึ่งโดยมากเป็นของเสียนินทรีย์ เช่น โลหะหนัก มาผสมกับสารเคมี ที่ทำให้เกิดตะกอนผลึก โดยให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น มีค่าความเป็นกรดต่างเหมาะสม ซึ่งส่วนใหญ่ต้องปรับให้ค่าความเป็นกรดต่างสูง

6. Detoxification เป็นการลดความเป็นพิษของของเสียอันตราย เช่นการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เพื่อให้โครเมียมวาเลนซีหกซึ่งมีความเป็นพิษสูงมาก กลายเป็นโครเมียมวาเลนซีสามซึ่งมีความเป็นพิษ

ประเภทของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของสารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็ง ดังนี้

1. Inorganic processes สารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็งของกระบวนการนี้เป็นสารอนินทรีย์ เช่นซีเมนต์ และสารปอซโซลานซึ่งเป็นสารที่มีซิลิกา หรือซิลิกาที่บดละเอียดเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นสารที่ในสภาวะปกติจะไม่มีสมบัติเป็นตัวประสานเหมือนซีเมนต์ แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาวและน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง จะมีสมบัติเป็นตัวประสานเช่นถ้ำลอย

2. Organic processes สารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็งของกระบวนการนี้เป็นสารอินทรีย์ เช่น Asphalt (bitumen), Polyethylene, Polyesters, Polybutadiene, Epoxide, Urea formaldehyde, Acrylamide gel, และ Polyolefin

สารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็ง มีใช้กันหลายชนิด ดังนี้

1. ซีเมนต์ (Cement) เป็นสารที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง เมื่อนำซีเมนต์มาผสมกับน้ำและของเสียอันตราย จะก่อรูปเป็นก้อนแข็งภายใน 24 ชั่วโมง อาจมีการผสมทรายและหินบด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของก้อนแข็ง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซีเมนต์เหมาะที่จะใช้กับของเสียอนินทรีย์โดยเฉพาะโลหะหนัก เนื่องจากในก้อนคอนกรีตมีค่าความเป็นกรดต่างค่อนข้างสูง ทำให้โลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ หรือเกลือคาร์บอเนต ซึ่งเป็นรูปที่มีความเสถียรสูง

2. ปอซโซลาน (Pozzolans) เป็นวัสดุที่เมื่อผสมกับปูนขาวและน้ำ จะทำให้ได้วัสดุประสานซึ่งมีสมบัติเหมือนซีเมนต์ เหมาะกับการกำจัดทั้งสารปนเปื้อนอนินทรีย์ และอินทรีย์

3. ปูนขาว (Lime) เป็นสารที่ทำให้เป็นก้อนแข็งได้ มีสูตรเคมีคือ Ca(OH)_2 แต่นิยมเรียกว่า lime เมื่อนำปูนขาวมาผสมกับของเสียอันตราย Ca(OH)_2 จะทำปฏิกิริยากับวัสดุในของเสีย นอกจากใช้ปูนขาวอย่างเดียว อาจใช้วัสดุอื่น ๆ มาช่วยผสมด้วย เช่น ถ้ำลอย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย

4. ดินเหนียวดัดแปลง (Modified Clays) เป็นดินเหนียวที่นำสารอินทรีย์ประจุบวก เช่น Quaternary ammonium ions มาแทนสารอนินทรีย์ประจุบวก ทำให้สารอินทรีย์ประจุบวกในดินเหนียวสามารถดูดซับสารปนเปื้อนอินทรีย์อื่น ๆ ได้ และเมื่อดินเหนียวดัดแปลงจับ

สารปนเปื้อนแล้ว สามารถบรรจุไว้ในรูปของแคปซูลของก้อนซีเมนต์เพื่อความมั่นคงยิ่งขึ้น

5. โพลีเมอร์อินทรีย์ เป็นสารที่ใช้ปรับเสถียรของเสียอันตราย เกิดขึ้นจากการใช้สารกลุ่ม Monomer เช่น ใช้ Urea-formaldehyde เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อสร้างเป็นวัสดุโพลีเมอร์ วัสดุโพลีเมอร์มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ สามารถดักของเสียอันตรายไว้ภายใน แต่ข้อเสียคือ ของเสียที่เป็นของเหลวอาจไม่ถูกยึดเกาะไว้ในโพลีเมอร์ได้หมด อาจมีการรั่วไหลออกบ้าง ดังนั้นของเสียที่ถูกปรับเสถียรแล้วควรทำให้แห้งแล้วบรรจุไว้ในถังบรรจุ ก่อนนำไปทิ้งครั้งสุดท้าย และไม่ควรใช้กับของเสียที่มีคุณสมบัติระเหยออกได้ง่าย ข้อดีของสารนี้คือ ผลผลิตที่ได้มีความหนาแน่นต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ และไม่ต้องใช้สารโพลีเมอร์มากนัก

6. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Materials) ได้แก่ ยางมะตอย, paraffin, bitumen, polyethylene, polypropylene, sulfur เป็นต้น เป็นวัสดุที่หลอมเหลวได้ในอุณหภูมิสูง เมื่อใช้ผสมกับของเสียอันตราย จะทำให้ของเสียอันตรายถูกปรับเสถียร จากนั้นนำวัสดุเทอร์โมพลาสติกที่ปกคลุมของเสียอันตรายไปลดอุณหภูมิลง หรือทำให้เย็นลงจนวัสดุเทอร์โมพลาสติกแข็งตัว วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับของเสียอันตรายที่ระเหยได้ง่าย เพราะเป็นวิธีที่ต้องใช้ความร้อนสูง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศได้

7. การทำเป็นแก้ว (Vitrification) เป็นอีกวิธีที่เป็นทั้งการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง ซึ่งเหมือนกับการทำแก้ว คือมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,600 องศาเซลเซียส แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว วิธีการทำเป็นแก้วช่วยให้ของเสียอันตรายไม่หลุดออกและมีความเสถียรมาก เป็นวิธีที่ทำให้ของเสียมีปริมาณน้อยลง

วิธีการใช้ความร้อน (Heat Treatment)

ของเสียอันตรายบางประเภทสามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเหมาะที่จะบำบัดด้วยวิธีการใช้ความร้อน หรือ การเผาไหม้ (Incineration) แต่การเผาไหม้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และเกิดเถ้า ทั้งเถ้าลอย และเถ้าหนัก ซึ่งต้องมีวิธีการจัดการต่อด้วย

การเผาไหม้จัดเป็นการลดปริมาณของเสียได้ โดยทั่วไปปริมาณของเสียจะลดลง 30 % และมีน้ำหนักลดลง 60 %

การเผาไหม้ที่ดีต้องประกอบด้วย 3 T คือ Temperature, Time, และ Turbulence กล่าวคือต้องมีอุณหภูมิสูงเพียงพอ มีระยะเวลาการเผาไหม้เพียงพอ และมีการกวนภายในเตาอย่างเพียงพอด้วย

ของเสียแต่ละประเภทจะเกิดก๊าซต่างชนิดกันเมื่อนำมาบำบัดด้วยการเผาไหม้ ดังนี้

1. ของเสียที่มีไฮโดรคาร์บอน สารไฮโดรคาร์บอนเมื่อถูกเผาจะเกิดก๊าซ CO_2 , ไอน้ำ และ CO และให้ค่าความร้อนสูง
2. ของเสียที่มีซัลเฟอร์ เมื่อถูกเผาแล้วจะเกิดก๊าซ SO_2 และ SO_3
3. ของเสียที่มีฮาโลเจน หรือธาตุหมู่ 7 ซึ่งได้แก่ F, Cl, Br, I เมื่อถูกเผาจะเกิดกรดฮาโลเจน เช่น HCl, HF, HBr, HI
4. ของเสียที่มีไนโตรเจน ในระหว่างการเผาไหม้จะเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะ NO และ NO_2 แต่ในบางครั้ง ก๊าซทั้งสองอาจเกิดขึ้นแม้ว่าในของเสียจะไม่มีไนโตรเจนอยู่ก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากในบรรยากาศมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยที่ NO จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 650 องศาเซลเซียส ในขณะที่ NO_2 เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 650 องศาเซลเซียส
5. ของเสียที่มีโลหะ เมื่อถูกเผาจะได้ออกไซด์ของโลหะ แต่โลหะหลายชนิดอาจถูกระเหยออกได้ง่าย หรือถูกกลายเป็นไอได้ และจะลอยออกไปพร้อมกับก๊าซที่ได้จากเตาเผา ส่วนโลหะที่ระเหยยากจะตกลงไปกับเถ้าในเตาเผา ดังนั้นถ้าของเสียอันตรายมีโลหะมากไม่ควรนำมำบัดด้วยการเผา เพราะจะมีโลหะที่ลอยออกสู่อากาศสิ่งแวดล้อมมากเกินไปเกินมาตรฐาน และต้องมีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศติดตั้งอยู่ด้วย

การกำจัดด้วยการฝังดิน (Land Disposal)

การกำจัดของเสียอันตรายด้วยวิธีฝังกลบในดิน เป็นวิธีที่มีความสำคัญมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นวิธีที่ใช้กันมาก ถือเป็นวิธีการกำจัดไม่ใช่การนำมำบัด เป็นวิธีการกำจัดของเสียที่จบสิ้น ไม่มีการนำของเสียขึ้นมาใช้อีก สำหรับของเสียอันตรายจะใช้วิธีการฝังกลบมั่นคง (Secure Landfill) ส่วนวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ใช้สำหรับกำจัดขยะชุมชนเท่านั้น

1. การออกแบบหลุมฝังกลบ

การออกแบบหลุมฝังกลบเพื่อกำจัดของเสียอันตราย มี 2 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง ได้แก่

- 1.1. ต้องควบคุมบริเวณส่วนบนของพื้นที่ฝังกลบ ไม่ให้มีการไหลซึมของน้ำฝนออกจากพื้นที่ฝังกลบ และไม่ให้เกิดการระเหยหรือการกระจายมลพิษอากาศจากพื้นที่ฝังกลบ
- 1.2. ต้องควบคุมตั้งแต่ส่วนล่างของหลุมฝังกลบ ต้องรวบรวมน้ำชะไปบำบัด และต้องไม่ให้น้ำชะซึมออกจากหลุมฝังกลบ

2. การเลือกพื้นที่ฝังกลบ

การเลือกพื้นที่ฝังกลบ มีข้อควรพิจารณาดังนี้

- 2.1. ต้องสำรวจสภาพภูมิประเทศรอบบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ว่ามีระดับสูงต่ำขนาดไหน
- 2.2. ให้ทำการเก็บข้อมูลในสภาพ ได้แก่ ชรณีวิทยา อุทกวิทยา ปฐพีกลศาสตร์ เป็นต้น
- 2.3. ให้สำรวจสภาพระดับน้ำใต้ดิน
- 2.4. ให้สำรวจแหล่งดินที่ใช้กลบ ว่าอยู่ไกลจากพื้นที่ฝังกลบมากน้อยเพียงใด
- 2.5. สืบประวัติการเกิดน้ำท่วม หาข้อมูลระดับน้ำสูงสุดที่เคยเกิดน้ำท่วม
- 2.6. มีประชาชนใช้บ่อน้ำตื้น หรือบ่อน้ำใต้ดินข้างเคียงกับพื้นที่ฝังกลบหรือไม่
- 2.7. บริเวณข้างเคียงมีการทำเกษตรกรรมหรือไม่
- 2.8. สอบถามประชาชนที่อาศัยอยู่ข้างเคียง ถึงการยอมรับที่จะมีบ่อฝังกลบ และควรมีการอธิบายถึงผลกระทบด้วย

3. ระบบฝังกลบมั่นคง (Secure Landfill System)

เป็นบ่อฝังกลบที่มีความปลอดภัยสูง ซึ่งจะมีระบบป้องกันการรั่วไหลของน้ำชะขยะ มีระบบปิดทับพื้นที่ฝังกลบ มีระบบระบายน้ำทิ้งที่ถูกต้องตามหลักวิชา

ระบบรวบรวมน้ำชะซึมพร้อมชั้นลาด (Liner and Leachate Collection) มีหลายลักษณะ

4. วัตถุประสงค์ของวัสดุปิดทับพื้นที่ฝังกลบ

เมื่อมีการฝังกลบของเสียอันตรายจนเต็มบ่อแล้ว จะทำการปิดบ่อด้วยการปกคลุมด้วยวัสดุต่าง ๆ ซึ่งวัตถุประสงค์ของสิ่งปกคลุมบ่อฝังกลบแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนี้

- 4.1. หญ้าหรือพืชอื่น ๆ มีไว้เพื่อลดการกัดเซาะหรือการชะล้าง และช่วยลดปริมาณน้ำฝนซึมลงชั้นล่าง พร้อมทั้งช่วยคายน้ำออกจากใบไม้ และดูดซับความชื้นไว้บนผิวชั้นพื้นดินด้วย
- 4.2. ดินปุ๋ย มีไว้รองรับพืช และให้สารอาหารแก่พืช
- 4.3. แผ่นทอธรณี (Geotextile filter) มีไว้ใช้แยกชั้นบนและชั้นล่าง และทำหน้าที่แผ่นกรองเพื่อช่วยดักไม่ให้วัสดุจากส่วนบนเคลื่อนลงส่วนล่าง
- 4.4. หินและทราย เป็นชั้นที่ต้องการให้เกิดการระบายน้ำ มีการวางท่อระบายน้ำ เพื่อให้ น้ำไหลระบายออกได้อย่างทั่วถึง และรวดเร็ว

- 4.5. แผ่นโพลิเอทิลีน (Geomembrane) ใช้แยกชั้น มีความยืดหยุ่นดี
- 4.6. ดินเหนียวอัดแน่น เป็นชั้นที่กันไม่ให้น้ำไหลซึมลงสู่ชั้นล่าง
- 4.7. ชั้นหินเล็ก อาจมีทั้งหินเล็กและทราย วัตถุประสงค์หลักคือช่วยระบายหรือช่วยรวบรวมก๊าซ สำหรับของเสียอันตรายจะมีการหมักเกิดขึ้นน้อยมาก หรือไม่เกิดขึ้นเลย ดังนั้นจะมีก๊าซเกิดขึ้นน้อยด้วย
- 4.8. ชั้นดินปกคลุม ทำหน้าที่หลักเพื่อปรับสภาพชั้นผิวดินให้มีความลาดเอียงที่ถูกต้องสำหรับการระบายน้ำ ชั้นนี้เป็นชั้นที่ได้สัมผัสกับของเสียอันตรายโดยตรง และเป็นชั้นที่เริ่มทำงานปรับระดับดินให้มีความลาดเอียงที่ต้องการ

5. ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการใช้วัสดุปิดทับพื้นที่ฝังกลบ

บ่อฝังกลบที่ไม่ใช้แล้ว ต้องมีการปกคลุมเพื่อให้มีอายุทนต่อสภาพแวดล้อมได้ยาวนานเท่ากับอายุของของเสียอันตรายที่อยู่ภายในบ่อฝังกลบ ซึ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการใช้วัสดุปิดทับพื้นที่ฝังกลบ มีดังนี้

- 5.1. การควบคุมการไหลของน้ำในบ่อฝังกลบเพื่อลดปริมาณน้ำชะ
- 5.2. การควบคุมแมลงต่าง ๆ และสัตว์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคระบาด
- 5.3. การป้องกันไม่ให้ของเสียไปสัมผัสสาธารณสุข
- 5.4. การควบคุมก๊าซให้กระจายออกอย่างเหมาะสม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 5.5. การป้องกันไม่ให้เกิดอัคคีภัยขึ้นบนพื้นที่ฝังกลบ
- 5.6. การป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพของความลาดชั้นดิน
- 5.7. การป้องกันไม่ให้น้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ต้องทำการปรับสภาพผิวทัศนให้เหมาะสม
- 5.8. การป้องกันการกัดเซาะ และการชะ
- 5.9. การป้องกันไม่ให้ฝุ่นกระจาย
- 5.10. การป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้น
- 5.11. การทำให้มีทัศนียภาพดี

6. วัสดุปิดทับพื้นที่ฝังกลบ

วัสดุที่ใช้มีหลายชนิด ดังนี้

6.1. แผ่นโพลีเอทิลีน (Geomembranes) เป็นวัสดุโพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น น้ำซึมผ่านไม่ได้ อาจทำด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น Polyethylene, Polyvinyl chloride, Butyl tuber, Neoprene เป็นต้น การเลือกใช้ชนิดของวัสดุควรพิจารณาค่าความแข็งแรง และความทนทานของแผ่นโพลีเอทิลีน เช่น ค่าแรงดึง ความเค้น ความเครียด โมดูลัสของความยืดหยุ่น ความแข็ง ความต้านทานแรงฉีกขาด และความต้านทานแรงเจาะ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สอบถามได้จากผู้จำหน่าย

6.2. สิ่งทอธรณี (Geotextiles) เป็นแผ่นสังเคราะห์ที่ยอมให้น้ำซึมไหลผ่านได้ มีความสามารถในการกรอง สามารถกำจัดสารแขวนลอยออกจากน้ำ มีการระบาย การย้าย หรือ การเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านแผ่นสิ่งทอธรณี

6.3. ดินเหนียวอัด (Compacted Clays) โดยมากจะเลือกใช้ดินเหนียวอัดเป็นชั้นคาบเกี่ยวสุดท้าย หรือสุดท้าย ดินเหนียวอัดนี้อาจประกอบด้วย ดินเหนียว และดินปนทราย ชั้นดินเหนียวอัดนี้สามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำชะได้ดีมาก และเป็นวัสดุจากธรรมชาติ ไม่ต้องจัดการผลิตใด ๆ แต่ควรมีดินเหนียวอยู่ใกล้พื้นที่ฝังกลบเพื่อความสะดวกในการขุดขึ้นมาใช้ และลดค่าขนส่งดินด้วย เมื่อตัดสินใจเลือกแหล่งดินจากที่ใด ควรมีการนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเสียก่อน เพื่อหาสภาพทางธรณีวิทยาของดินเหนียวหาการขยายขนาดของเม็ดดิน เป็นต้น

6.4. ดินเหนียวดัดแปลง (Modified Clays) มีสารอินทรีย์เป็นหลัก เป็นดินที่จัดทำขึ้นมาจากการแลกเปลี่ยนระหว่างพวกอนินทรีย์ประจวบกับพวกอินทรีย์ประจวบ สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก แต่ปัจจุบันยังไม่ได้มีการนำมาใช้พื้นที่จริงเท่าใดนัก

6.5. เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ถ่านหินจากโรงไฟฟ้า เถ้าลอยมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเป็นวัสดุปูชั้นคาบ ถ้านำคาร์บอนมาผสมเพิ่มกับเถ้าลอยจะทำให้เถ้าลอยมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น โดยเฉพาะการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย

6.6. เบนโทไนต์ (Bentonite) หรือ Sodium montmorillonitic clay จะเติมผสมกับดินธรรมชาติ ประมาณ 5-15 % ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ และสมบัติ Plasticity นอกจากนี้เบนโทไนต์ยังมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจวบได้ดี โดยเฉพาะโลหะหนัก เช่น นิเกิล ตะกั่ว ทองแดง เป็นต้น

6.7. ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นสารธรรมชาติที่มีพวก Alumino-silicates มีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกได้มากกว่าเบนโทไนต์ สามารถใช้เป็นชั้นคาตได้ แต่ยังไม่มีการใช้ในพื้นที่จริงมีเพียงการใช้ในห้องทดลองเท่านั้น

7. พื้นที่หลังปิดหลุมฝังกลบ

การดูแลพื้นที่หลังปิดหลุมฝังกลบเป็นภารกิจที่สำคัญมาก เพราะถ้าการดูแลไม่ดีอาจก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ดังนี้

- ฝุ่นฟุ้งกระจายไปทั่วบริเวณ
- น้ำฝนชะพื้นที่ฝังกลบ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียกระจายไปทั่วบริเวณ
- น้ำใต้ดินในบริเวณรอบ ๆ อาจถูกปนเปื้อนด้วยของเสียอันตราย
- อาจมีแมลงวัน หรือแมลงต่าง ๆ หนู ยุง หรือสัตว์เลื้อยคลานอื่น ๆ ซึ่งอาจ

ก่อให้เกิดการแพร่เชื้อโรคได้

- อาจมีสารพิษปนเปื้อนอยู่บนพื้นดินบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็งหรือโรคร้ายอื่น ๆ

จึงควรมีมาตรการต่าง ๆ ในการพัฒนาปรับปรุงพื้นที่ฝังกลบให้ดีที่สุด ดังนี้

- ปลูกพืช เพื่อให้รากพืชช่วยยึดดินให้แน่น ไม่หลุดออกจากหน้าดิน
- ควรมีรั้วรอบบริเวณอย่างชัดเจน มียามรักษาความปลอดภัย มีการตรวจตรา

บุคคลภายนอกก่อนเข้าสู่พื้นที่

- ควรมีการตรวจสอบขยายพาดหะต่าง ๆ ก่อนเข้าพื้นที่ ให้แน่ใจว่าวัสดุที่ขนส่งเข้า

พื้นที่จะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี

- มีการปลูกต้นไม้รอบพื้นที่ เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย ทั้งยังช่วยป้องกันกลิ่นเหม็น และทำให้มีทัศนียภาพที่ดีด้วย

12.3 การจัดการของเสียอันตราย : การป้องกันมลพิษ¹¹

การป้องกันมลพิษที่เกิดจากของเสียอันตราย เป็นวิธีที่นิยมกันมากในปัจจุบัน เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่าย ทั้งประหยัดการใช้วัตถุดิบ ประหยัดพลังงาน และเป็นการพัฒนาองค์กรด้วย เนื่องจากช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำงานขององค์กร

ในปี ค.ศ. 1989 EPA ได้เสนอแนะแนวลำดับของแนวทางในการจัดการของเสีย ดังนี้

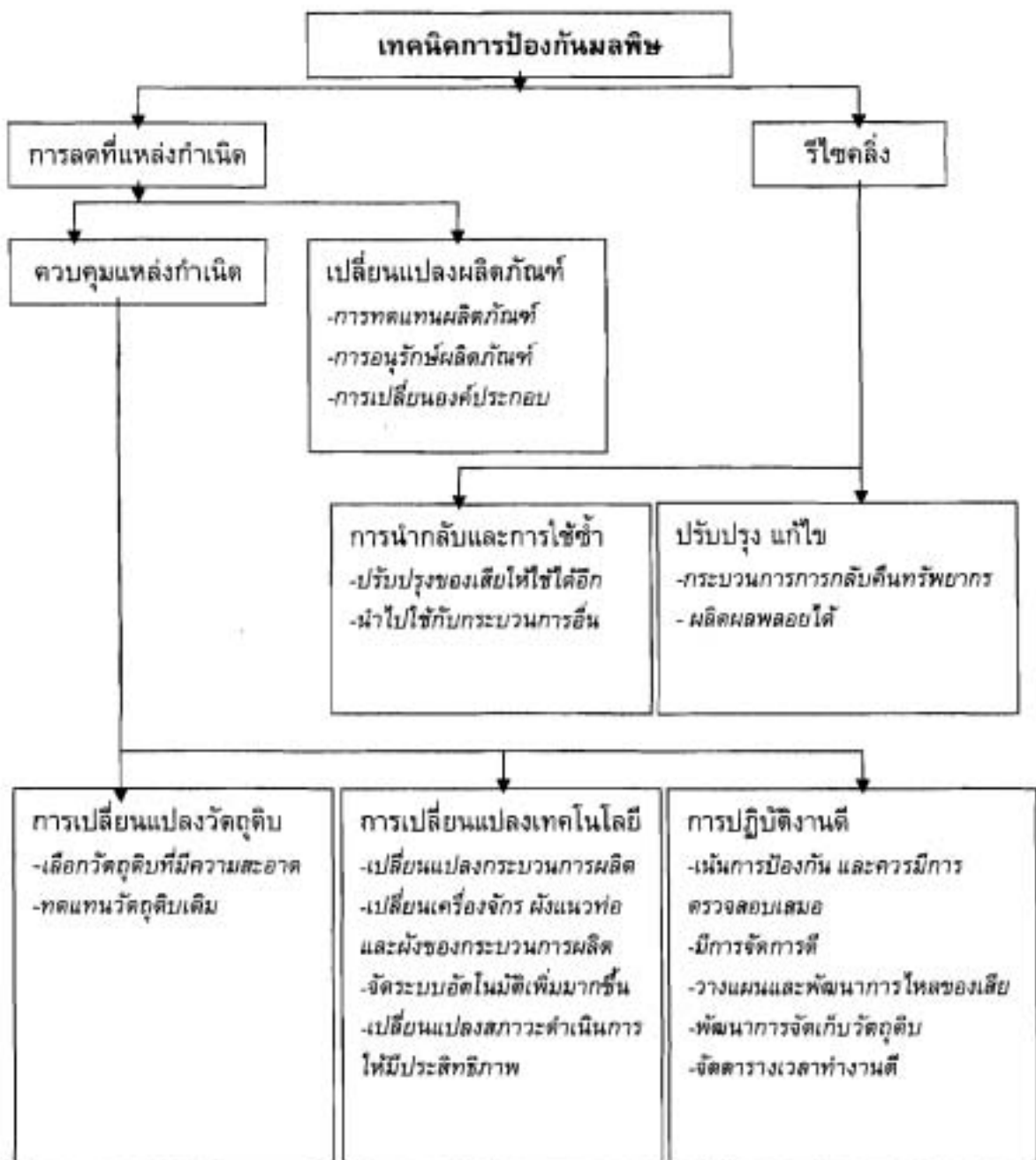
- การลดที่แหล่งกำเนิด (Source reduction)
- การรีไซเคิล (Recycling)

- การบำบัด (Treatment)
- การกำจัด (Disposal)

ซึ่งหมายความว่า การจัดการมลพิษที่ดีที่สุดคือการลดมลสารจากแหล่งกำเนิด ลำดับต่อมาคือการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง ลำดับที่สามคือการบำบัด และลำดับสุดท้ายคือการกำจัดภาพที่ 12-2 แสดง เทคนิคการป้องกันมลพิษ (Pollutant prevention techniques) จากรูปพบว่า เทคนิคของการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention: PII) แบ่งเป็น 2 วิธี คือ Source reduction และ Recycling ทั้งแบบ on-site และ off-site จึงกล่าวได้ว่า PII เป็นวิธีที่น่าสนใจ และน่าจะดีที่สุดในการจัดการมลพิษต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงของเสียอันตรายด้วย

จากภาพที่ 12-2 กล่าวได้ว่า เทคนิคในการป้องกันมลพิษแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1. การลดที่แหล่งกำเนิด (Source Reduction)
 - 1.1 การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ (Product changes)
 - 1.1.1 การทดแทนผลิตภัณฑ์ (Product substitution)
 - 1.1.2 การอนุรักษ์ผลิตภัณฑ์ (Product conservation)
 - 1.1.3 การเปลี่ยนองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ (Change in product composition)
 - 1.2 การควบคุมแหล่งกำเนิด (Source control)
 - 1.2.1 การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี (Technology change)
 - เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต (Process changes)
 - เปลี่ยนเครื่องจักร เปลี่ยนการจัดวางผังแนวท่อ และผังของกระบวนการผลิต (Equipment, piping, or layout changes)



ภาพที่ 12-2 ผังเทคนิคการป้องกันมลพิษ (Pollutant prevention techniques)

- จัดระบบอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น (Addition automation)
- เปลี่ยนแปลงสถานะดำเนินการให้มีประสิทธิภาพ (Changes in operating

conditions)

1.2.2 การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ (Input material changes)

- ใช้วัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพกว่าทดแทนวัตถุดิบเดิม (Material substitution)
- เลือกวัตถุดิบที่มีความสะอาด หรือทำความสะอาดวัตถุดิบให้ดีที่สุดก่อนเข้า

สู่กระบวนการผลิต (Material purification)

1.2.3 การปฏิบัติงานดี (Good operating practices)

- มีการจัดการดี (Management practices)
- มีการจัดตารางเวลาทำงานดี (Production scheduling)
- มีการพัฒนาการจับเก็บวัตถุดิบ (Material handling improvements)
- มีการวางแผนและพัฒนาการไหลของเสียในระบบ (Waste stream

segregation)

- เน้นการป้องกัน และควรมีการตรวจสอบเสมอ (Loss prevention and procedural

measures)

2. การนำกลับมาใช้อีก (Recycling)

2.1 การปรับปรุงของเสีย (Reclamation)

2.1.1 การจัดกระบวนการสำหรับการกลับคืนทรัพยากร (Processed for resource recovery)

2.1.2 การจัดกระบวนการเพื่อให้เกิดผลพลอยได้ (Processed as a by-product)

2.2 การฟื้นฟูสภาพและนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery and reuse)

2.2.2 ใช้กระบวนการปรับปรุงของเสียให้ใช้ได้อีก (Return to original product)

2.2.3 ใช้ของเสียไปใช้กับกระบวนการอื่น (Raw material substitute for another process)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- [1] ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, พัฒนา มุลพฤษ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2541). การป้องกันและควบคุมมลพิษ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ 35-43 น.
- [2] บุญยง ไส่วงศ์วัฒน์. (2539). เทคโนโลยีการบำบัดของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ. 133 น.
- [3] _____ (2544). คู่มือประชาชน การระวังภัยจากสารเคมีอันตราย. กรุงเทพฯ 16 น.
- [4] ภิญญา พานิชพันธ์, เอี่ยมพร ภูเพ็ชร และ ชีระศักดิ์ พงศ์พนาไกร (2544). มหันตภัยจากวัตถุเคมี ความเสี่ยงและอันตราย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 179 น.
- [5] เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2546) ของเสียอันตราย เทคโนโลยีการกำจัด การจัดการ. กรุงเทพฯ. 650 น.
- [6] LaGreda, M. D., Buckingham, P. L., Evans, J. C. (2001) Hazardous Waste Management and Environmental Resources Management, McGraw-Hill Higher Education, Singapore, 1202 pp.
- [7] สุรีย์ บุญญานุกพงศ์. (2542) การจัดการของเสียอันตรายในจังหวัดเชียงใหม่. สถาบันวิจัยสังคม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] กรมควบคุมมลพิษ. (2544). คู่มือประชาชน การระวังภัยจากสารเคมีอันตราย. กรุงเทพฯ.
- [9] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.(2548)รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม. Available URL: <http://www.onep.go.th/download/soe48/doc/chapter3.pdf>
- [10] กรมควบคุมมลพิษ. (2547). โครงการจัดตั้งศูนย์จัดการของเสียเคมีวัตถุจากชุมชน. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กรุงเทพมหานคร.

แบบฝึกหัดท้ายบท

ตอนที่ 1

ให้นักศึกษาใส่เครื่องหมาย ✓ ใน ช่องของข้อที่ถูก และเครื่องหมาย × ในช่องของข้อที่ผิด

ถูก ผิด

1. ขยะพิเศษ สามารถฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลร่วมกับขยะชุมชนได้
2. Industrial waste เป็นขยะจากอุตสาหกรรม มีค่ามากกว่าขยะจากชุมชนในปริมาณเท่า ๆ กัน
3. ที่พักอาศัยก่อให้เกิดขยะพิษได้เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ ขวดน้ำยาล้างห้องน้ำ ฯลฯ
4. กากกัมมันตรังสี คือวัสดุหรือของเสียในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ที่เป็น หรือปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี ในระดับความแรงรังสีที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดว่าปลอดภัย และวัสดุนั้นไม่เป็นที่พึงประสงค์ต่อผู้ใช้งานแล้ว
5. กากของแข็งกัมมันตรังสี ถูกกำหนดให้คัดแยกออกเป็น ประเภทเผาไหม้ได้ ประเภทเผาไหม้ไม่ได้/บดอัดได้ ประเภทเผาไหม้
6. ในประเทศไทยยังไม่มีกากกัมมันตรังสีระดับรังสีสูง
7. ข้อใดเป็นส่วนประกอบของการขนส่งของเสียอันตราย?
 - 1) เก็บรวบรวม ขนย้ายขึ้นรถ ภาชนะบรรจุ
 - 2) ทำเครื่องหมาย จดทะเบียนขนย้าย
 - 3) เก็บรวบรวม รถขนย้าย ภาชนะบรรจุ
 - 4) ทำเครื่องหมาย จดทะเบียนขนย้าย ใบกำกับการขนส่ง
8. ใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายทั้ง 6 ใบ ส่งอยู่ที่ใดบ้าง?
 - 1) หน่วยงานรัฐ (2 ใบ) ผู้ขนส่ง (1 ใบ) เจ้าของของเสีย (2 ใบ) สถานที่บริการ (1 ใบ)
 - 2) หน่วยงานรัฐ (1 ใบ) ผู้ขนส่ง (2 ใบ) เจ้าของของเสีย (2 ใบ) สถานที่บริการ (1 ใบ)
 - 3) หน่วยงานรัฐ (1 ใบ) ผู้ขนส่ง (1 ใบ) เจ้าของของเสีย (2 ใบ) สถานที่บริการ (2 ใบ)
 - 4) หน่วยงานรัฐ (2 ใบ) ผู้ขนส่ง (2 ใบ) เจ้าของของเสีย (1 ใบ) สถานที่บริการ (1 ใบ)

ตอนที่ 2 จงตอบคำถามต่อไปนี้

9. การขนส่งของเสียอันตรายประกอบด้วยขั้นตอนใดบ้าง?
10. หลักการบำบัดและทำลายฤทธิ์ ประกอบด้วยอะไรบ้าง?