

บทที่ 8

การจัดการเกี่ยวกับของเสียอย่างมีระบบ : การบำบัดและการกำจัด (Waste Management : Treatment and disposal)

8. การจัดการเกี่ยวกับของเสียอย่างมีระบบ

: การบำบัดและการกำจัด

8.1 บทนำ

เทอม การจัดการของเสียอย่างมีระบบ หมายถึง ระบบที่ของเสียได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมโดยการกำจัดหรือแยกย้ายถ่ายเทในวิธีที่จะปกป้องสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จัดเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการทำงานของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เนื่องจากการควบคุมอย่างเข้มงวดทางด้านกฎหมายที่ใช้ควบคุมของเสียที่จะปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ในการควบคุมแต่ละประเภท ถ้าหากว่ากระทำอย่างจริงจังแล้ว ทำให้มันมีความสำคัญอย่างยิ่งทางเศรษฐกิจ สำหรับบริษัทผู้ประกอบการที่จะบำบัดของเสียในลักษณะที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

แนวคิดที่สำคัญที่สุด 3 ประการของการจัดการของเสียอย่างมีระบบ สัมพันธ์กับ

1. การผลิตของเสีย

มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึง

(ก) ธรรมชาติทางเคมีของเสียที่ถูกผลิตขึ้นมา โดยกระบวนการเฉพาะ

(ข) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสารที่มีอยู่ในของเสีย

(ค) รูปแบบของของเสีย (เช่น เป็นของแข็ง ของเหลว แก๊ส หรือโคลน)

วิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการของเสียคือ ป้องกันการผลิตของเสีย (ลดของเสีย) โดยการปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้มีการผลิตสารที่เป็นของเสียน้อยลง

2. การบำบัดของเสีย

การบำบัดจะเปลี่ยนธรรมชาติทางกายภาพ เคมีหรือชีวของของเสียเพื่อทำให้มีความปลอดภัยขึ้น กระบวนการบำบัดรวมถึงกระบวนการบำบัดทางเคมีหรือชีวภาพ เพื่อลดระดับของสารพิษ การเผาก็อาจจัดได้ว่าเป็นกระบวนการบำบัดของเสีย

ถ้าไม่สามารถจะลดของเสียได้ที่แหล่งผลิต ทางเลือกที่ดีที่สุดต่อไปคือ การลดปริมาณของของเสียซึ่งจะรวมถึงกระบวนการบำบัดซึ่งจะลดปริมาณของของเสียลง วิธีที่ดีที่สุดของการลดปริมาณของของเสียคือ การเอากลับคืน (Recovery) และการนำหมุนเวียนมาใช้ใหม่ (recycle) ขององค์ประกอบของของเสีย

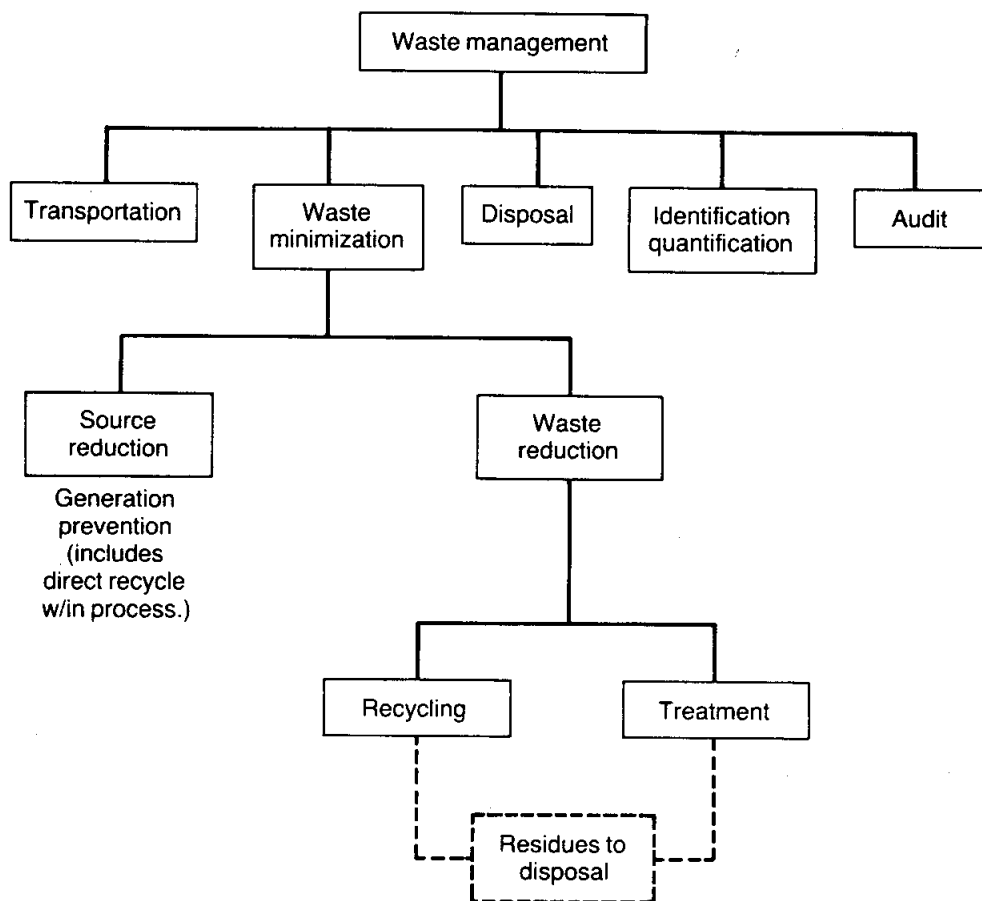
3. การกำจัดของเสีย

หลังจากการบำบัด ของเสียต้องถูกกำจัด กรณีนี้อาจจะมีการปล่อยของเสียออกสู่บรรยากาศ หรือลงสู่แหล่งน้ำหรือ (ถ้ายังคงเป็นอันตรายอยู่) ยังกลบไว้ใต้แผ่นดิน ซึ่งในระบบการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีนี้คือทางเลือกสุดท้าย ในอดีตทางเลือกนี้ใช้ค่าใช้จ่ายถูกที่สุด แต่จากการควบคุมทางด้านกฎหมายที่เพิ่มขึ้นได้

เพิ่มค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียมากขึ้น บังคับให้อุตสาหกรรมปรับปรุงแผนการในการจัดการของเสียทั้งหมด

เราอาจจะสรุปขั้นตอนในแผนการจัดการของเสียได้ดังต่อไปนี้

1. การลดของเสียที่แหล่งผลิต
2. การเอากลับคืน และการนำหมุนเวียนไปใช้อีก
3. การบำบัดหรือการทำลาย
4. การกำจัด



รูปที่ 8.1 กลยุทธ์การจัดการของเสียของบริษัท 3M แสดงถึงการลดของเสีย

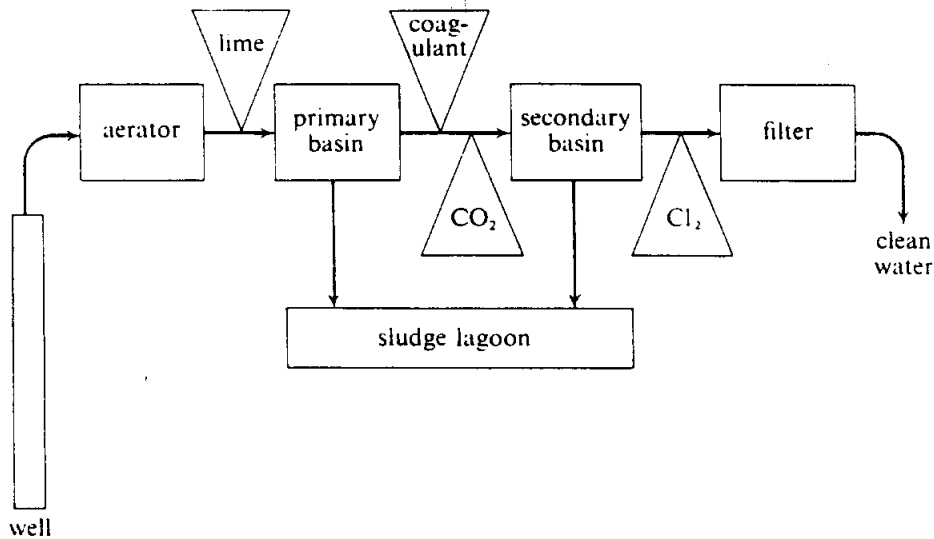
รูปที่ 8.1 ได้อธิบายแผนการจัดการของเสียที่ปรับปรุงมาโดยความร่วมมือของ 3M ในประเทศอเมริกา ได้มีการพิจารณาของเสียทุกชนิดภายในกระบวนการของอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ใจจะเน้นที่การลดของเสียโดยใช้กระบวนการผลิตและกระบวนการบำบัดของเสียที่เหมาะสมและผ่านกระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้อีก เทคนิคทางเคมีสำหรับการลดปริมาณของเสียและการหมุนเวียนนำกลับมาใช้อีกได้ กลายเป็นสิ่งสำคัญยิ่งขึ้นและจะกล่าวในบทต่อไป ในบทนี้เราจะพิจารณาการบำบัด และการกำจัดของเสีย ซึ่งเป็นวิธีการหลักในการจัดการของเสียในอดีต

เราควรแยกของเสียออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ของเสียจากอาคารบ้านเรือนและจากอุตสาหกรรมของเสียทั้งสองแบบ ประกอบด้วยของเสียที่เป็นของเหลว และของเสียที่เป็นของแข็ง ของเสียจากอาคารบ้านเรือนโดยทั่ว ๆ ไปมักจะไม่เป็นอันตราย ในขณะที่ของเสียจากอุตสาหกรรมมักมีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย เราจะพิจารณาในแง่ของการบำบัดและการกำจัดของเสียเหล่านี้แยกจากกัน

8.2 การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน (น้ำโสโครก)

การบำบัดน้ำโสโครกเกี่ยวข้องกับจำนวนขั้นตอนที่ต่อเนื่องที่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดเอาสารปนเปื้อนออกไปให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ก่อนที่จะปล่อยน้ำนั้นลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำโสโครกที่ไม่ได้รับการบำบัดอาจมีค่า BOD สูงมาก ๆ และยังมีตะกอน ไขมัน และน้ำมัน สารแขวนลอย แบคทีเรีย ไวรัส กลีโกล แร่ธาตุต่าง ๆ โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง และสารอินทรีย์ต่าง ๆ รูปของโรงงานบำบัดน้ำโสโครกแบบดั้งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 8.2 แม้แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว มีความแตกต่างกันอย่างมากจากประเทศหนึ่งไปสู่อีกประเทศหนึ่ง และจากพื้นที่หนึ่งไปสู่อีกพื้นที่หนึ่งในขอบเขตของการบำบัดน้ำโสโครก น้ำโสโครกบางแห่งถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำและทะเล โดยไม่ได้รับการบำบัดหรือบางทีอาจจะเพียงแค่อำนาจได้รับการบำบัดขั้นปฐมภูมิ (Primary

Treatment) การใช้การบำบัดถึงขั้นตติยภูมิ (Tertiary Treatment) จะมีน้อยมาก ยกเว้นเสียแต่น้ำนั้นจะถูกนำไปใช้เพื่อการบริโภค



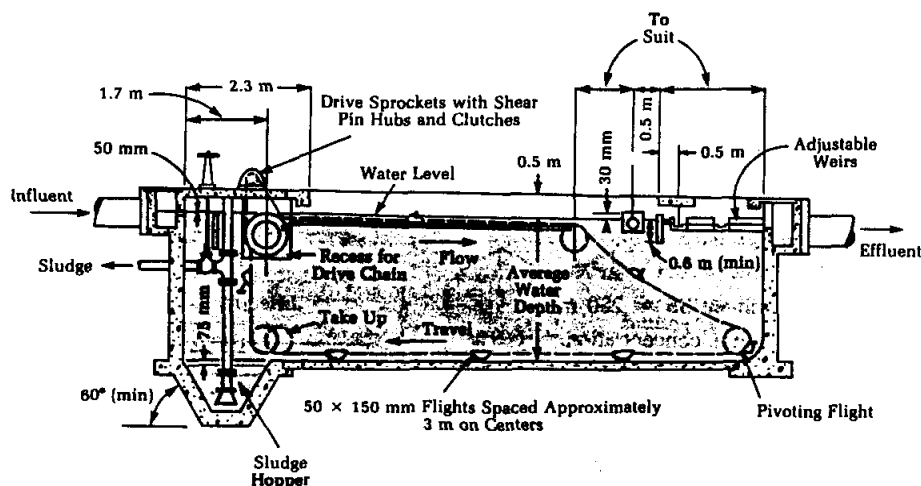
รูปที่ 8.2. แผนผังของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

8.2.1 การบำบัดขั้นปฐมภูมิ (Primary Treatment)

เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดเอาสารที่ไม่ละลายออกไป เช่น กรวดหิน เศษผง ใยต่าง ๆ ในขั้นตอนแรกคือการใส่ตะแกรงร่อนของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะถูกจับบนแผ่นตะแกรงและเอาออกโดยการกวาด สารที่สะสมอาจจะกลายเป็นกองโตและไหลกลับลงสู่แหล่งน้ำโสโครกได้อีก เศษผงต่าง ๆ อาจจะเอาออกจากน้ำโดยการผ่านไปจนถึงที่มีความเร็วของน้ำไหลต่ำ ทำให้เศษผงต่าง ๆ ตกตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง แล้วก็สามารถถูกเอาออกจากรันถัง

การตกตะกอนปฐมภูมิยังกำจัดสารอินทรีย์ของแข็งแขวนลอย น้ำโสโครกจะถูกผ่านไปยังถึงตกตะกอนอย่างช้ามาก ๆ และมีเวลาอยู่ในช่วงประมาณ 2-6 ชั่วโมง โดยถังจะมีความลึกประมาณ 3.5 เมตรและอาจจะเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า (รูปที่ 8.3) ในช่วงเวลานี้ ของแข็งจะจับตัวเป็นก้อนเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งอาจจะจมหรือลอยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมัน และสามารถเอาออกไปได้โดยเครื่องขูดแมคคานิกส์ และคู่ออกหรือโดยการกวาดที่ผิวหน้า กระบวนการลอยตัวอาจจะช่วยได้โดยการเติมสารเคมีเช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต, $Al_2(SO_4)_3$ จะรวมตัวเป็นตะกอนเจลาคตินัสของ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์, $Al(OH)_3$ ซึ่งจะจับเอาสิ่งแขวนลอยไว้ในตัวตะกอนเมื่อนอนกัน

กระบวนการนี้สามารถลดค่า BOD ได้ถึง 25-40% แต่ไม่ได้กำจัดเอาสารมลพิษที่ละลายได้ออกไป โคลนเปียกจากกระบวนการตกตะกอนปฐมภูมิจะถูกย่อยสลายโดยแอโรบิกแบคทีเรีย ส่วนที่เหลือจากกระบวนการนี้โดยปกติจะกำจัดโดยฝังกลบเนื่องจากมีสารอินทรีย์เหลืออยู่น้อยมาก



รูปที่ 8.3 Primary Sedimentation Plant

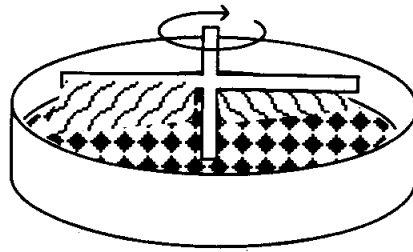
8.2.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment)

การบำบัดขั้นทุติยภูมิจะกำจัดเอาสารเคมีเกือบทั้งหมดที่เป็นตัวก่อให้เกิดค่า BOD ใช้กระบวนการเช่นเดียวกันอาจมีการใช้แก๊สออกซิเจน ถ้าหากว่าของเสียถูกปล่อยทิ้งโดยตรงสู่แหล่งน้ำ ของเสียจะมีการเติมแก๊สออกซิเจนและพวกจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์จนกระทั่งค่า BOD ลดลงถึงระดับที่ยอมรับได้

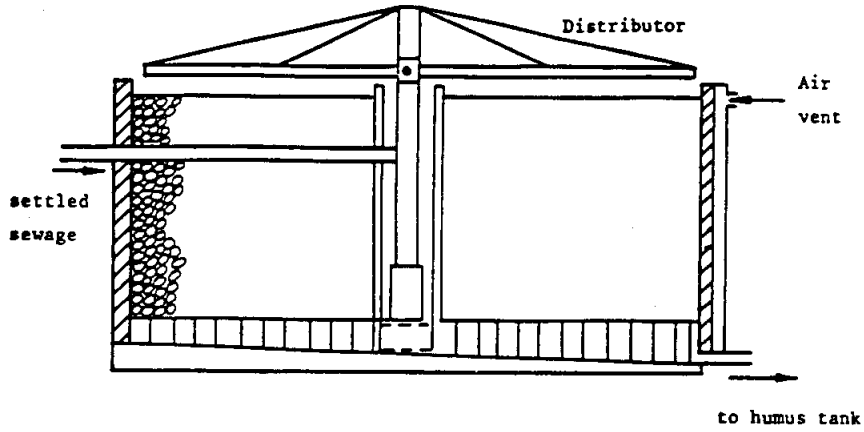
8.2.2.1 Trickling filter

จากรูปที่ 8.4 ในยูนิตที่เป็น “trickling หรือ percolating filter” น้ำเสียจะถูกพ่นเป็นฝอยไปบนก้อนหินที่ปกคลุมด้วยแบคทีเรีย ราและสาหร่าย ยูนิตเหล่านี้จะประกอบเป็นภาชนะทรงกลมหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความลึกของหินที่แตก เม็ดกรวด หรือสารที่เป็นหินเสีย (ขนาด 50-100 มิลลิเมตร) ประมาณ 1.5-2.0 เมตร น้ำเสียจะอึดตัวด้วยแก๊สออกซิเจนจากอากาศมีพื้นที่ผิวมากเมื่อผ่านไปในที่ว่างในระหว่างหิน จะไปกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียในน้ำเสีย

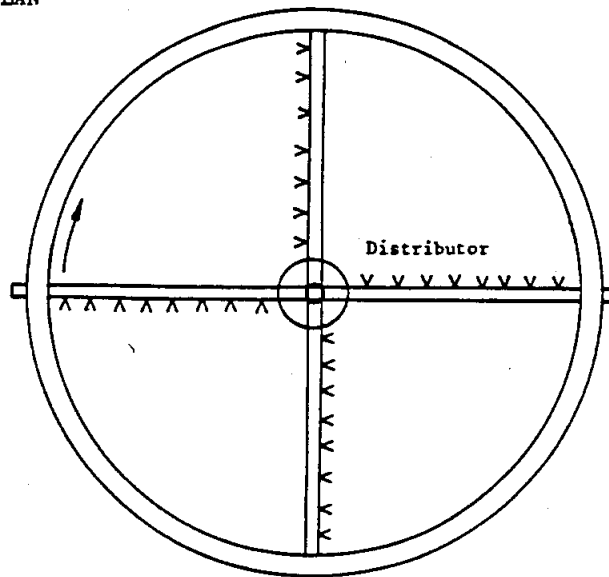
มวลของแบคทีเรียจะตกตะกอนลงสู่ก้นถังและเก็บในรูปโคลน (sludge) โคลนนี้จะมีสารอาหารมากและขายไปเป็นปุ๋ย อย่างไรก็ตามก็ดีโลหะหนักจากน้ำเสียจะมีความเข้มข้นสูงในโคลนนี้ ซึ่งโดยมากจะนำไปฝังกลบ



(a) SECTION



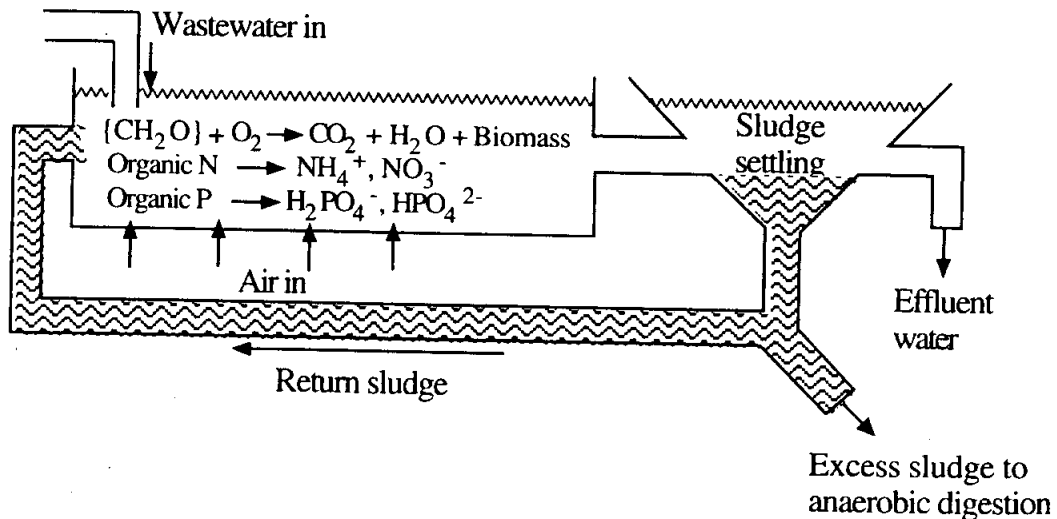
(b) PLAN



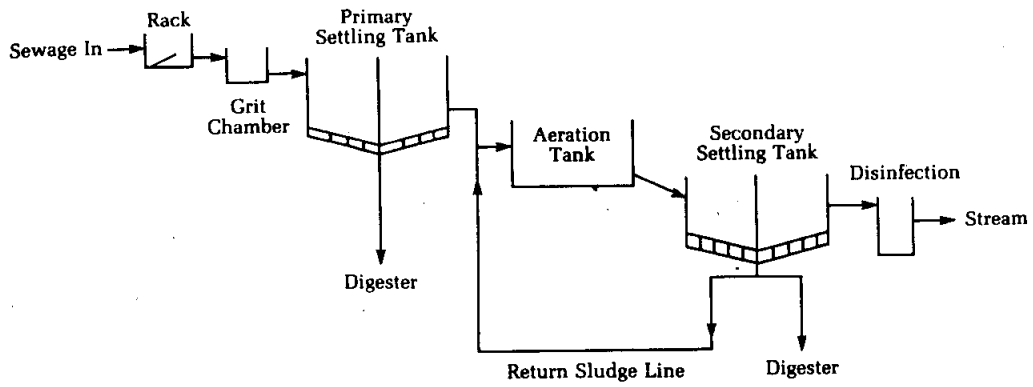
รูปที่ 8.4 Tricking (percolating) filter

8.2.2.2 Activated Sludge

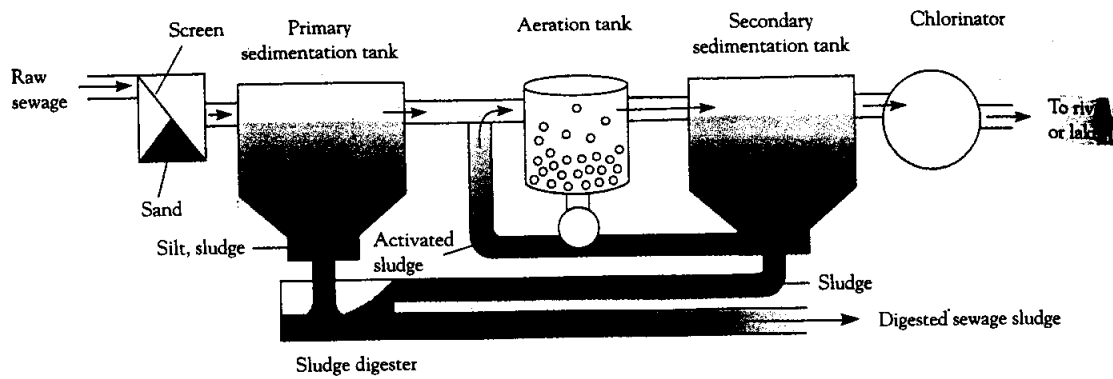
วิธีการที่นำมาใช้ในปัจจุบันในการบำบัดน้ำโสโครกในขั้นทุติยภูมิ ได้แก่ กระบวนการ “activated sludge” คำอธิบายในรูปที่ 8.5 , 8.6 และ 8.7 นำเสียหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดขั้นปฐมภูมิ แล้วจะผ่านเข้าสู่ถังเติมอากาศซึ่งจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนด้วยแบคทีเรีย เมื่อเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ น้ำจะถูกนำไปสู่ที่ตกตะกอน จากนั้นน้ำก็ถูกทำให้บริสุทธิ์จะถูกล่อยออกไป แทนที่จะเอาของแข็งทั้งหมดออกไป ส่วนใหญ่จะถูกนำกลับคืนสู่ถังเติมอากาศ เนื่องจากในนั้นมีแบคทีเรียและอื่น ๆ จำนวนมากและกำลังหิวโหเนื่องจากใช้อาหารในขั้นตอนก่อนหมดแล้ว น้ำโสโครกใหม่จะเป็นแหล่งให้อาหารที่ดีส่งเสริมการย่อยสลายให้เกิดอย่างรวดเร็ว กระบวนการนี้จะรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการ trickling filter method



รูปที่ 8.5 Activated sludge process



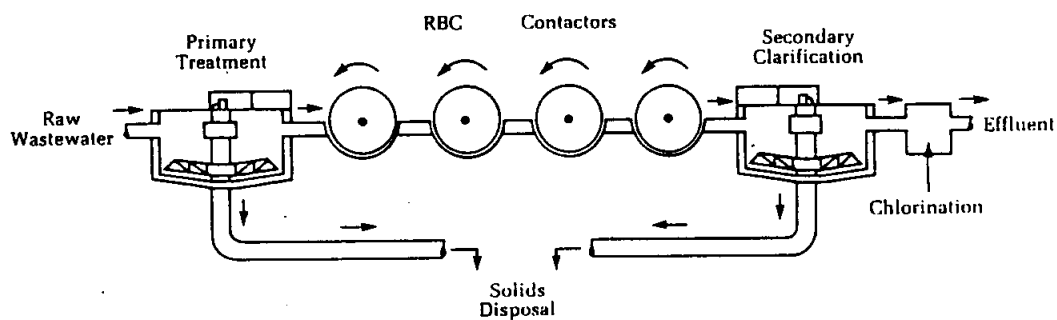
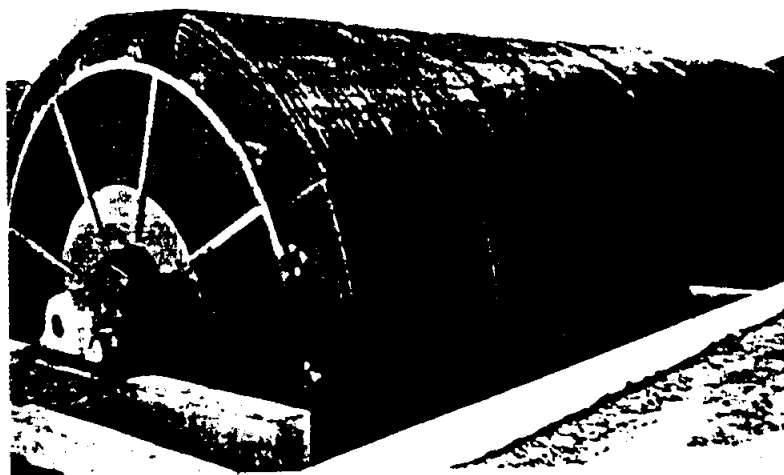
รูปที่ 8.6 Conventional activated sludge plant



รูปที่ 8.7 ภาพรวมทั้งหมดของกระบวนการบำบัดในขั้นตอนปฐมภูมิและทุติยภูมิในโรงงาน “activated sludge”

8.2.2.3 Rotating Biological Contractors (RBCs)

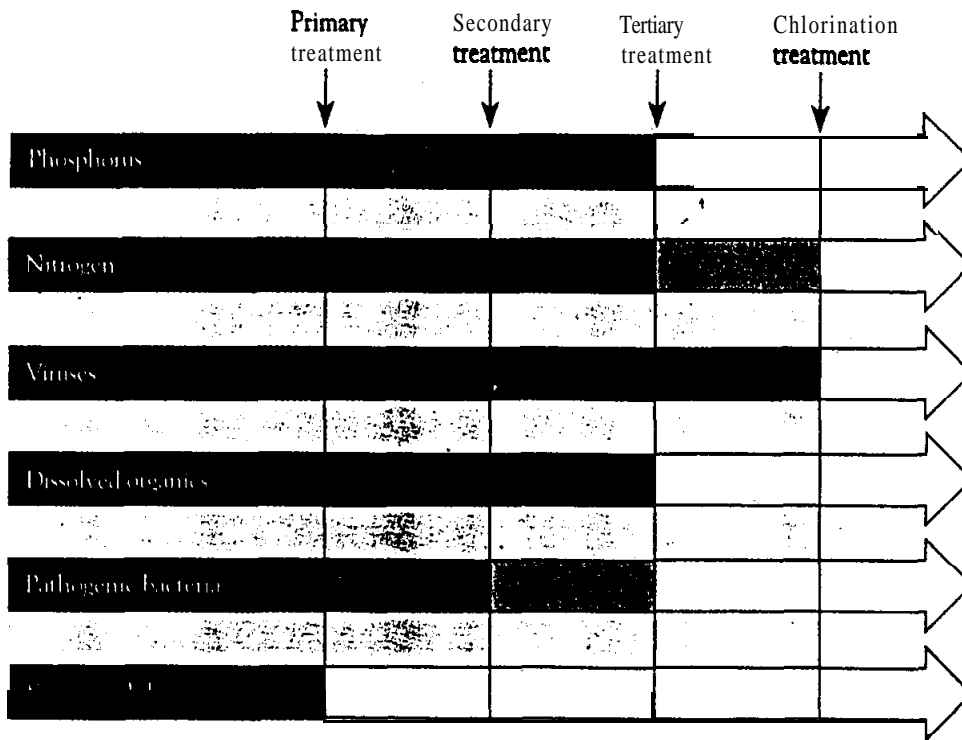
กระบวนการ RBCs ดังอธิบายในรูปที่ 8.8 ยูนิต RBCs ประกอบด้วยแผ่นพลาสติกวงกลมขนาดใหญ่ต่อเป็นอนุกรม (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-3.5 เมตร) ยึดติดกันด้วยแกนในแนวนอนที่ถูกทำให้หมุน ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่แผ่นวงกลมนี้จะจุ่มอยู่ในน้ำเสีย แผ่นวงกลมนี้จะเคลือบด้วยชั้นที่เป็นเมือกของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก การหมุนของแผ่นเพื่อให้เกิดการสัมผัสสูงสุดระหว่างแบคทีเรียและสารอินทรีย์ในน้ำเสียและออกซิเจนจากอากาศ



รูปที่ 8.8 ภาพของ RBCs และไต่จะแกรมของ RBCs Treatment system

ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงรวมเอาข้อดีจาก กระบวนการ trickling filter และ activated sludge หลังจากผ่าน RBCs ไปแล้ว ของเสียจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ถังทำให้ใสในชั้นทุติยภูมิ ที่ซึ่งสารแขวนลอยของแบคทีเรียจะนอนก้นและสามารถแยกเอาออกได้

8.2.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิ (Tertiary Waste Treatment)



รูปที่ 8.9 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดมลพิษต่างๆในน้ำเสียแบบ primary, secondary and tertiary

ความบริสุทธิ์ของน้ำหลังจากผ่านการบำบัดในขั้นตอนปฐมภูมิและทุติยภูมิแล้ว (ดังแสดงในรูป 8.9) ของแข็งและแบคทีเรียส่วนใหญ่ และมีไวรัส และสารอินทรีย์ที่ละลายได้บางส่วน แต่จะไม่มีฟอสเฟตและไนเตรท จะถูกเอาออกไปในขั้นตอนนี้ การ

บำบัดในขั้นตอนต่อไป (ตติยภูมิ หรือสูงกว่านั้น) จะต้องนำมาใช้ในการทำให้ น้ำบริสุทธิ์ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ก่อให้เกิดโรคได้สามารถเอาออกได้โดยเพิ่มเวลาการเติมอากาศในบ่อเติมอากาศที่ตื่นที่ประกอบด้วยสาหร่าย และหรือการกรองผ่านทรายฟอสเฟตสามารถ เอาออกโดยการตกตะกอนด้วยหินปูน

ไนเตรทและแอมโมเนียสามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจน โดยแบคทีเรียอาจ จะใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ตามลำดับ การกรองผ่านถ่านกัมมันต์อาจเป็นการเอาสารอินทรีย์ที่ละลายได้ออกไป การเติมคลอรีนจะฆ่าเชื้อโรคที่ยังหลงเหลืออยู่

8.2.4 การบำบัดด้วยพื้นดิน (Land treatment)

ทางเลือกอื่นของการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนตติยภูมิคือ การใช้น้ำที่ออกมาจากขั้นตอนตติยภูมิในกระบวนการชลประทานในวิธีนี้ สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำที่ออกมา อาจจะถูกนำไปใช้มากกว่าจะเป็นปัญหา ดินและพืชจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองโดยธรรมชาติ ดังนั้นน้ำเสียจะได้รับการบำบัดอย่างสมบูรณ์ในช่วงเวลาก่อนที่จะลงไปสู่น้ำผิวดินหรือใต้ดิน พืชยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารและความชื้น น้ำนี้มีความสำคัญมากต่อพื้นที่ที่แห้งแล้งและในที่ซึ่งการเกษตรกรรมบนพื้นดินที่ขาดสารอาหาร วิธีการนี้ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมามากกว่า 400 ปีในเมืองเช่น เบอร์ลิน เมลเบิร์น ปารีส และในสหรัฐอเมริกา มี 3 วิธีหลักในการใช้แผ่นดินบำบัดของเสีย ดังแสดงในรูปที่ 8.10

8.2.4.1 Slow-rate

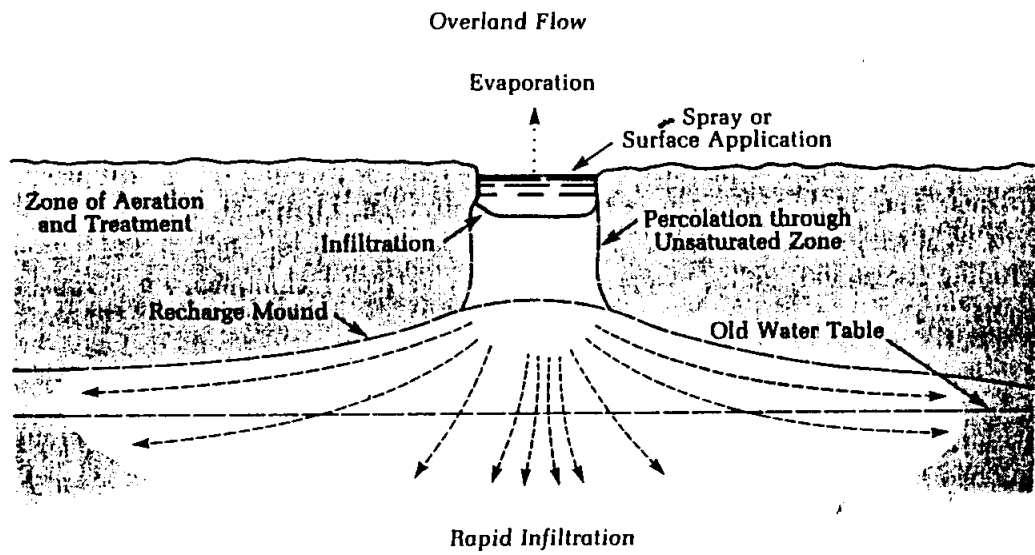
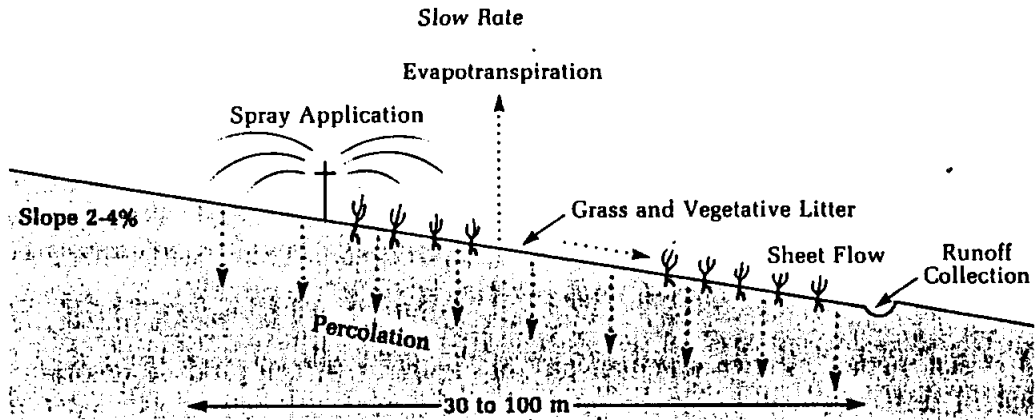
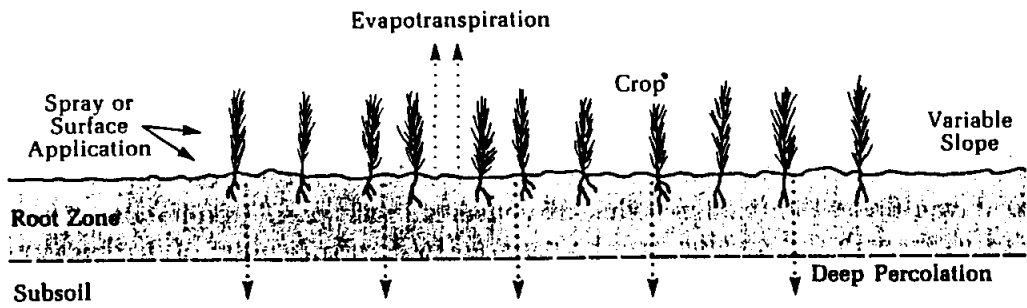
เป็นวิธีการที่สำคัญที่สุดที่ใช้ยู่ขณะนี้ และตัวอย่างหนึ่งได้แก่ เกี่ยวข้องในการชลประทานของแผ่นดิน สำหรับการใช้เป็นแหล่งเพาะปลูกหรือพักผ่อนหย่อนใจ น้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยเข้าสู่ผิวดินอย่างช้า ๆ และถูกบำบัดในขณะที่ซึมเข้าไปและผ่านออกมาจากดินโดยกระบวนการกระทำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวในดิน ข้อดีของวิธีนี้คือการปนเปื้อนของน้ำผิวดินจากน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วจะลดลง และน้ำยังเป็นตัวผลิตผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจในเทอมของพืชผลที่สามารถถูกผลิตได้ในแผ่นดิน หรือสำหรับวัตถุประสงค์ในการพักผ่อนหย่อนใจ (เช่น สวนสาธารณะ สนามกอล์ฟ) ในน้ำ พื้นดินที่จะปล่อยไปได้

8.2.4.2 Overland flow

ในกระบวนการนี้ น้ำเสียจะถูกกักไว้บนสุดของความชันแล้วปล่อยให้ไหลลงมาตามความลาดของความชัน และถูกบำบัดโดยกระบวนการชีววิทยาขณะที่ผ่านไปบนผิวดินที่มีพืชอยู่ น้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วอาจถูกเก็บที่ส่วนล่างสุดของความลาดชันสำหรับการนำไปใช้ต่อหรือปล่อยให้ไหลเข้าสู่ระบบน้ำผิวดิน น้ำเสียในบางครั้งจะถูกบำบัดโดยวิธีนี้ แทนวิธีการบำบัดในชั้นตอน ทดดิยุมิดั้งเดิม

8.2.4.3 Rapid infiltration

ในกระบวนการนี้ น้ำเสียจะถูกปล่อยลงไปใต้ดินด้วยอัตราการไหลสูงด้วยการทำให้แตกกระจายหรือโดยการแผ่กระจายในช่วงบนผิวดิน น้ำจะได้รับการบำบัดใน



รูปที่ 8.10 วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้แผ่นดิน

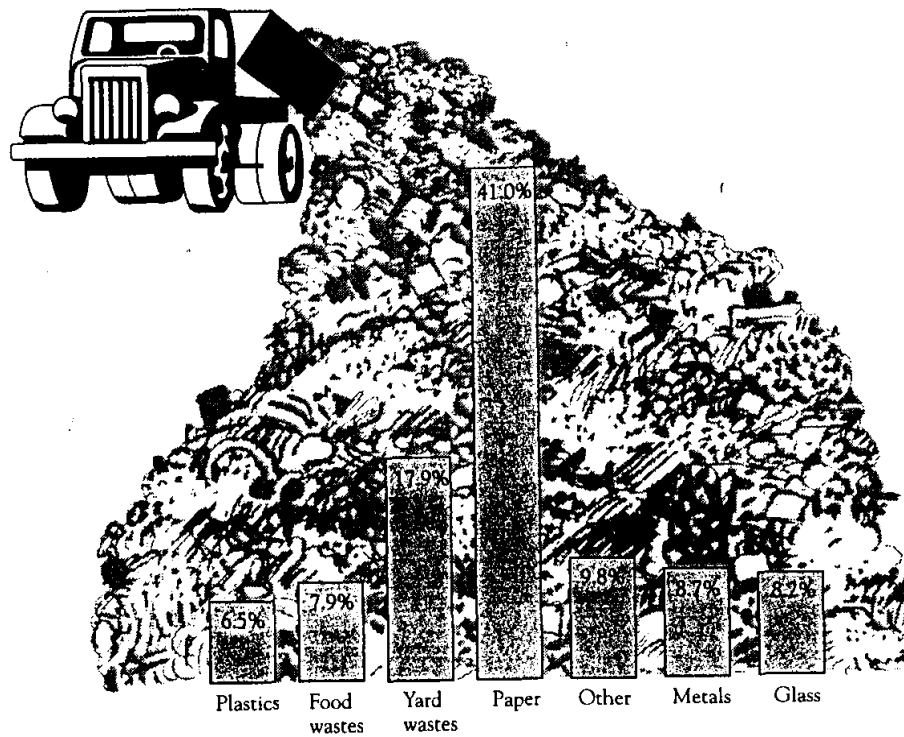
ขณะที่ไหลผ่านดิน เป็นระบบที่มีประโยชน์เมื่อการบำบัดได้รับการเอากลับคืนสำหรับการนำไปใช้ต่อ และสามารถถูกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำผิวดิน (ยกตัวอย่างเช่น ในสถานที่ที่น้ำผิวดินกำลังมีสภาพความเค็มสูงขึ้น)

8.3 การกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือน

8.3.1. ปัญหา

การกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือน เป็นปัญหาสำคัญในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยของเรา เมื่อมีความเจริญมากขึ้น คนเราก็จะมีการบริโภคมากขึ้น ก็จะปล่อยของเสียออกมามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งที่ใช้สำหรับบรรจุ (กระดาษและพลาสติก) ในประเทศสหรัฐอเมริกา คนหนึ่งคนผลิตของเสีย (ขยะ) มากกว่า 500 กิโลกรัมต่อปี องค์ประกอบของของเสียโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 8.11 เราจะเห็นว่า

กระดาษเกือบจะเป็นครึ่งหนึ่งของของเสียทั้งหมด ที่เหลือก็เป็นของเสียจากเศษหักพังของใช้ เส้นใย จากอาหาร โลหะ แก้วและพลาสติก โดยทั่ว ๆ ไป ระดับของพลาสติกในของเหลวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น และระดับของโลหะและแก้วมีแนวโน้มที่จะลดลง มี 3 วิธีหลักที่ใช้ในการกำจัดของเสียจากอาคารบ้านเรือนคือ กองไว้ตามผิวดิน ฝังกลบและการเผา การกองไว้ตามผิวดินเป็นวิธีปกติในหลาย ๆ ประเทศ รวมทั้งประเทศไทยของเรา แต่เป็นตัวก่อให้เกิดอันตรายที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเนื่องจากพวกหนู หมัด ไล่เคื้อน พยาธิ เชื้อโรคและกลิ่นเหม็นทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนบนดิน ทางเลือกอีก 2 วิธีที่เหลือกำลังเพิ่มความน่าสนใจ แม้ว่าเราจะสามารถมองเห็นได้ว่าทั้งสองกรณีจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคต



รูปที่ 8.11 องค์ประกอบต่างๆของของเสียที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือน

8.3.2 การเผาของเสียที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือน (Municipal Solid Waste Incineration, MSWI)

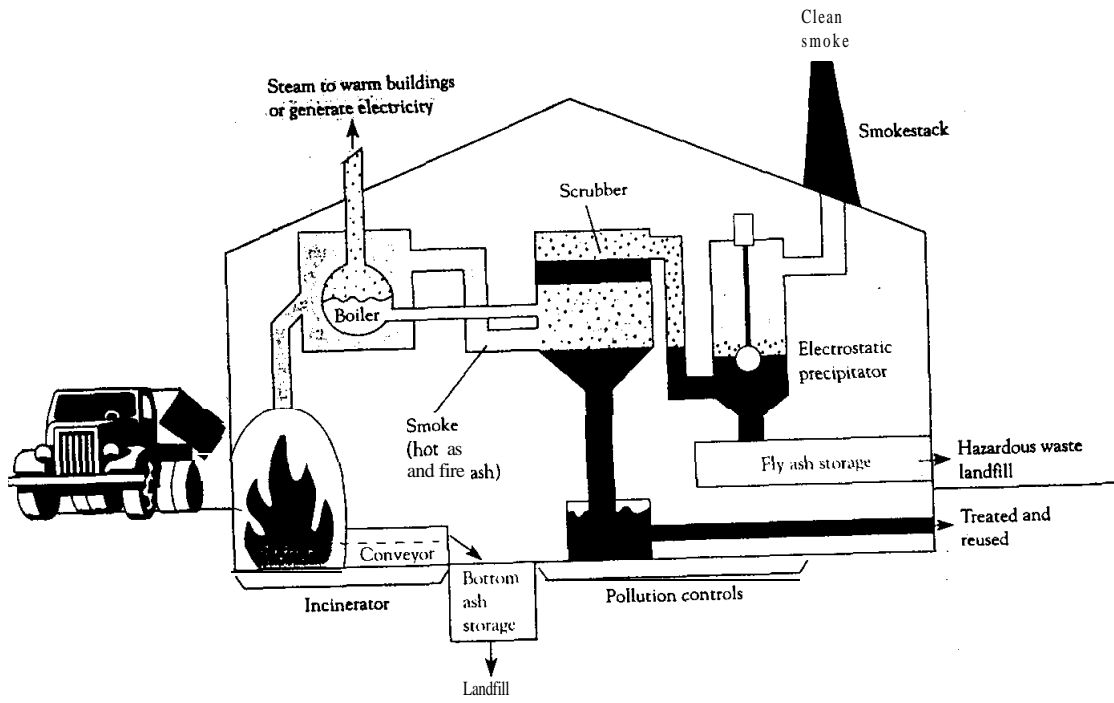
ในช่วง 15 ปีให้หลัง การเผาขยะได้รับความนิยมอย่างมากในหลายๆ ประเทศ การเผาขยะมีข้อดีอยู่ 2 ประการคือ

1. สามารถลดปริมาตรของของเสียได้ถึง 90%
2. สามารถใช้ในการผลิตความร้อน (ปกติจะใช้ในการผลิตไฟฟ้า)

การออกแบบโรงงานเผาขยะดังแสดงในรูปที่ 8.12 เตาเผาชนิดนี้เรียกว่า เตาเผา “mass burn” เนื่องจากจะเผาของเสียที่เป็นของแข็งทุกชนิดยกเว้นขยะที่มีขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็นจะไม่เผา ในเตาเผา ของเสียจะถูกเผาที่อุณหภูมิสูงมาก (900°C หรือมากกว่า) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จะต้องมียอกซิเจนจำนวนมากในช่วงการเผาไหม้ และมีการผสมของทุก ๆ สิ่งอย่างทั่วถึง ของเสียจะยังคงอยู่ในโซนนี้อย่างน้อย 2 วินาทีเพื่อปล่อยให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดอย่างสมบูรณ์ ความร้อนที่ออกมาจะใช้ในการต้มน้ำในหม้อน้ำ ส่วนที่เหลือของเตาเผาประกอบด้วยชั้นตอนต่าง ๆ ในการควบคุมการปล่อยของเสียจากการเผาไหม้ออกมา ของเสียที่เป็นของแข็ง (เรียกว่า ถ่านที่ก้นเตาเผา bottom ash) คือผงถ่านที่เหลืออยู่ที่ส่วนล่างสุดของเตาเผาหลังจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะสามารถกำจัดออกไปโดยใช้เครื่องกวาดออกไป

ส่วนที่เป็น “scrubber” แก๊สที่เป็นพิษเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกเอาออกไป (จะกล่าวรายละเอียดในเรื่องนี้ภายหลัง) ของเสียจากกระบวนการนี้จะถูกบำบัดตามปกติเพื่อนำสาร scrubbing สามารถกลับมาใช้ใหม่ได้

แก๊สที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกผ่านไปสู่กระบวนการบางอย่าง (เช่น การตกตะกอนโดยไฟฟ้าสถิต Electrostatic precipitation) เพื่อเอาอนุภาคต่าง ๆ ออกไป เรียกของเสียที่เป็นของแข็งนี้ว่า ถ่านลอย “fly ash” ในนี้จะประกอบด้วยสารที่เป็นพิษที่ถูกผลิตโดยเตาเผา รวมถึงโลหะหนักและ dioxin กระบวนการเหล่านี้จะไม่เคยให้ประสิทธิภาพถึง 100% ดังนั้นจึงมีการปล่อยสารพิษ (รวมถึง particulates และ dioxins) ที่ออกมาจากปล่องไฟ ในการออกแบบเตาเผาควรพยายามที่จะลดสารที่ถูกปล่อยออกมาเหล่านี้



รูปที่ 8.12 เตาเผาขยะที่เป็นของเสียจากอาคารบ้านเรือน

ตารางที่ 8.1.แสดงชนิด องค์ประกอบ และแหล่งที่มาของของเสีย

| Kind | Composition | Sources |
|--------------------------|---|--|
| Garbage | Wastes from preparation, cooking, and serving of food; market wastes: wastes from handling, storage, and sale of produce | |
| Rubbish | Combustible: paper, cartons, boxes, barrels, wood, excelsior, tree branches, yard trimmings, wood furniture, bedding, dunnage Noncombustible: metals, tin cans, metal furniture, dirt, glass, crockery, minerals | Households, restaurants, institutions, stores, markets |
| Ashes | Residue from fires used for cooking and heating and from on-site incineration | |
| Street refuse | Sweepings, dirt, leaves, catch basin dirt, contents of litter receptacles | |
| Dead animals | Cats, dogs, horses, cows | Streets, sidewalks, alleys, vacant lots |
| Abandoned vehicles | Unwanted cars and trucks left on public property | |
| Industrial wastes | Food-processing wastes, boiler house cinders, lumber scraps, metal scraps, shavings | Factories, power plants |
| Demolition wastes | Lumber, pipes, brick, masonry, and other construction materials from razed buildings and other structures | Demolition sites to be used for new buildings, renewal projects, expressways |
| Construction wastes | Scrap lumber, pipe, other construction materials | New construction, remodeling |
| Special wastes | Hazardous solids and liquids; explosives, pathological wastes, radioactive materials | Households, hotels, hospitals, institutions, stores, industry |
| Sewage treatment residue | Solids from coarse screening and from grit chambers; septic tank sludge | Sewage treatment plants; septic tanks |

Source: Institute for Solid Wastes, *Municipal Refuse Disposal*. Chicago: American Public Works Association. 1970.

ตารางที่ 8.2 การแยกชนิด ปริมาณของขยะ โดยองค์การเดาเาขยะในประทศอเมริกา

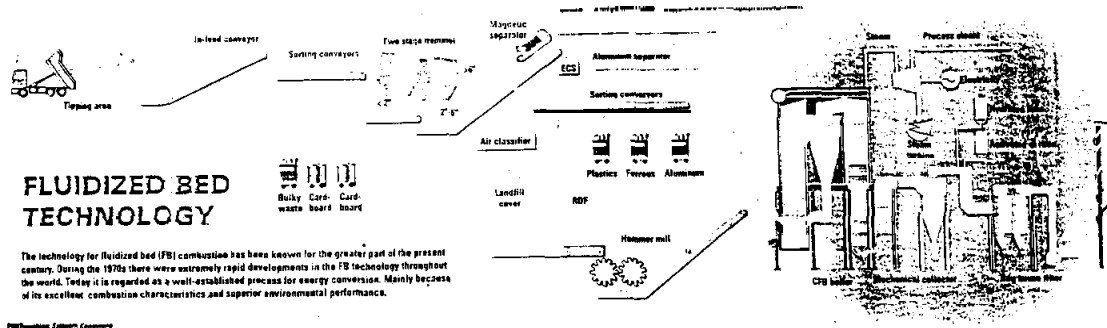
| Classification of wastes to be incinerated | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Classification of Wastes Type Description | Principal components | Approximate composition % by weight | Moisture content % | Incombustible solids % | MJ heat value/kg of refuse as fired | MJ of aux. fuel per kg of waste to be included in combustion calculations | Recommended min. MJ burner input per kg waste |
| "0 Trash | Highly combustible waste paper, wood, cardboard cartons, including up to 10% treated papers, plastic or rubber scraps; commercial and industrial sources | Trash 100% | 10% | 5% | 19.8 | 0 | 0 |
| "1 Rubbish | Combustible waste, paper, cartons, rags, wood scraps, combustible floor sweepings; domestic, commercial, and industrial sources | Rubbish 80% Garbage 20% | 25% | 10% | 15.1 | 0 | 0 |
| "2 Refuse | Rubbish and garbage; residential sources | Rubbish 50% Garbage 50% | 50% | 7% | 10.0 | 0 | 3.5 |
| "3 Garbage | Animal and vegetable wastes, restaurants, hotels, markets; institutional, commercial, and club sources | Garbage 65% Rubbish 35% | 70% | 5% | 5.8 | 3.5 | 7.0 |
| 4 Animal solids and organic wastes | Carcasses, organs, solid organic wastes; hospital, laboratory, abattoirs, animal pounds, and similar sources | 100% Animal and human tissue | 85% | 5% | 2.3 | 7.0 | 18.6 (1.6 Primary) (7.0 Secondary) |
| 5 Gaseous, liquid, or semi-liquid wastes | Industrial process wastes | Variable | Dependent on pre-dominant components | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey |
| 6 Semi-solid and solid wastes | Combustibles requiring hearth, retort, or grate burning equipment | Variable | Dependent on pre-dominant components | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey | Variable according to wastes survey |

^a The above figures on moisture content, ash, and MJ as fired have been determined by analysis of many samples. They are recommended for use in computing heat release, burning rate, velocity, and other details of incinerator designs. Any design based on these calculations can accommodate minor variations.
Source: Incinerator Institute of America, *I.I.A. Standards*, 1968.

ปัญหาหลักอย่างหนึ่งของเตาเผาขยะคือ การผลิตสารพิษ Polychlorinated Dioxins and Dibenzofurans (PCDDs และ PCDFs) เกิดการรวมตัวขึ้นในเตาเผาเนื่องจากมี คาร์บอนอินทรีย์ และคลอรีน (จากพลาสติก เช่น PVC) ออกซิเจน โดยมีโลหะหนักเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้มีการเสนอปฏิกิริยาของการเกิดเป็นสารประกอบนี้มากมาย และ สันนิษฐานว่า การรวมตัวเป็น PCDDs และ PCDFs จะเกิดขึ้นส่วนใหญ่ในช่วงที่เย็นกว่า ส่วนอื่น ๆ ในเตาเผา (ที่ประมาณ 300°C) อาจจะเป็นใน electrostatic precipitator และเกิด ขึ้นส่วนใหญ่บนผิวของ fly ash สารประกอบ PCDDs และ PCDFs ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะ อยู่ร่วมกับ fly ash แต่อาจมีบางส่วนที่หลุดออกมาจากการดูดซับบนอนุภาคและล่องลอย ออกไปจากปล่องไฟ

การเผาขยะที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือนกำลังเป็นปัญหาที่มีการถกเถียงกัน อย่างรุนแรงในประเทศไทยในขณะนี้ ได้มีการเสนอให้สร้างเตาเผาขยะที่จังหวัด เชียงใหม่ เพื่อที่จะแก้ไขปัญหานักของการกำจัดขยะในพื้นที่นี้ แต่ข้อเสนอได้ถูกคัดค้านอย่างมากจากชาวท้องถิ่น ซึ่งเกรงว่าจะก่อให้เกิดผลที่เป็นอันตรายจากของเสียที่จะ ถูกปล่อยออกมาจากเตาเผา

เตาเผาที่ถูกเสนอเป็นการออกแบบใหม่ล่าสุดจากสวีเดน ซึ่งได้มีการปรับปรุงจาก การออกแบบเตาเผาที่เดิมมีอยู่และยังถูกออกแบบมาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย โดยการ ใช้ส่วนผสมเชื้อเพลิงที่มาจากของเสียจากอาคารบ้านเรือนและลิกไนต์ ดังรูปที่ 8.13 ได้ แสดงลักษณะที่สำคัญของเตาเผาชนิดนี้



รูปที่ 8.13 เตาเผาขยะที่ถูกเสนอสำหรับจังหวัดเชียงใหม่

แทนที่จะเผาของเสียจากอาคารบ้านเรือนทั้งหมด ส่วนใหญ่ของตัวเตาเผา จะประกอบด้วยกระบวนการสำหรับการแยกส่วนของของเสียที่สามารถนำไปหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม พลาสติกและกระดาษ เตาเผานี้จะใช้เทคโนโลยี fluidised bed (การทำให้เป็นของไหล) เพื่อให้แน่ใจในประสิทธิภาพของการเผาไหม้และยังจำกัดการปล่อยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากลิ้นไต้ การปล่อยอนุภาคต่าง ๆ จะถูกควบคุมโดยระบบ bag-house filtration ทรายที่ร้อนในหม้อน้ำจะถูกใช้ในการดูดซับของเสียที่เป็นพิษทั้งหมด คาร์บอนที่เป็นตัวกรองจะถูกใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษที่ถูกปล่อยออกมา

ปัจจัยอย่างหนึ่งที่น่าพิจารณาก็คือ ไม่มีการสร้างเตาเผาใหม่ ๆ และในประเทศสวีเดนมาเป็นเวลาหลายปีแล้ว เนื่องมาจากความห่วงใยเกี่ยวกับผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากการสังเกตความเสียหายที่เกิดขึ้นกับต้นไม้ใบหญ้าที่อยู่ใต้ทิศทางลมจากโรงงาน (พบว่ามีการปล่อย dioxins, PAHs, chlorobenzene และ โลหะหนักต่าง ๆ ในขณะที่การปรับปรุงเทคโนโลยีก่อให้เกิดผลในการลดลงของสิ่งเหล่านี้ และโดยมากจะ ไปเกี่ยวข้องกับ

กับมีสารอินทรีย์ที่เป็นพิษที่เก่าที่ตกอยู่ส่วนล่างของเตาเผา ที่ ปล่อย หรือบนตัวกรอง ซึ่งจะถูกพิจารณาว่าเป็นการกระจายปัญหาอีกมากกว่าแก้ปัญหา ของเสียที่เป็นของแข็งยังคงต้องมีการกำจัดในที่ใดที่หนึ่ง และอาจก่อให้เกิดมลพิษในดินและน้ำตามมา อาจจะเป็นเหตุผลหนึ่งที่ไม่ไปได้อย่างมากกว่าทำไมบริษัทสวีเดนพยายามที่จะชักชวนชาวเชียงใหม่ให้ซื้อเตาเผาของเขา เพราะไม่สามารถขายได้อีกแล้วในสวีเดน

ในประเทศสวีเดนทุกวันนี้ นโยบายของรัฐบาลคือ การลดการผลิตปริมาณของเสีย โดยมากทำโดยการรีไซเคิล เด็ก ๆ ชาวสวีเดนจะถูกสอนให้รู้จักการแยกขยะออกเป็นแก้ว พลาสติก กระดาษ หรืออื่น ๆ เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รัฐบาลตั้งเป้าที่จะหยุดการฝังกลบหรือเผาขยะที่ไม่ได้รับการแยกในสิ้นปี 1993 สวีเดนก็เช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ ในยุโรปได้ออกกฎหมายบังคับให้ผู้จำหน่ายรับสิ่งที่ใช้บรรจุคืนจากลูกค้าหลังจากใช้แล้ว หมายความว่า มีการเก็บค่ามัดจำขวดพลาสติกเพื่อกระตุ้นให้มีการนำกลับมาใช้ใหม่ PVC ซึ่งเชื่อว่าเป็นแหล่งของการรวมตัวเป็น สารประกอบ dioxin ในเตาเผา จะไม่สามารถนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุได้อีกต่อไป

นโยบายเช่นนี้รู้จักกันโดยทั่วไปว่า “waste reduction at source” และมั่นใจว่าจะเป็นการคำตอบที่ดีที่สุดในระยะยาวสำหรับปัญหานี้ สำหรับประเทศไทย ปัญหาในขณะนี้ที่ต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วนคือ ขยะกองเป็นภูเขาเลากา แต่จะไม่มีทางแก้ที่สมบูรณ์ที่สุด ดังที่เราจะเห็นได้จาก ทางเลือกอื่นในการเผาขยะ (ฝังกลบ) ก็ยังมีปัญหาเช่นเดียวกัน

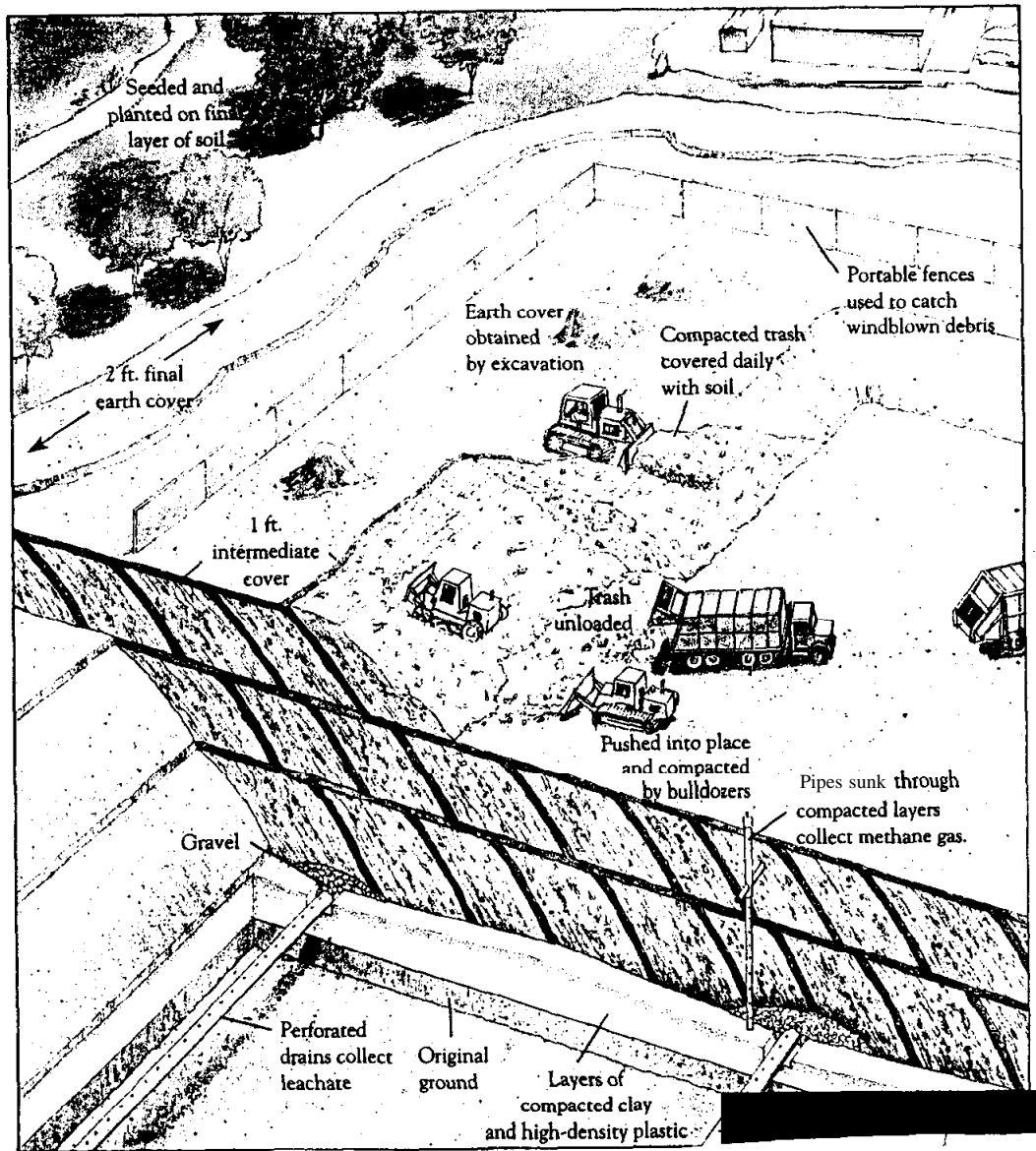
8.3.3 การกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ

ในประเทศที่พัฒนาแล้ว การฝังกลบถูกนำมาแทนที่การทิ้งกองไว้บนดิน ซึ่งเป็นวิธีการหลักในการกำจัดของเสีย สิ่งที่เหลือตกค้างจากการเผาไหม้ซึ่งอยู่ในรูป bottom และ fly ash โดยปกติก็จะถูกกำจัดโดยวิธีนี้เช่นเดียวกัน

การปฏิบัติงานของแหล่งฝังกลบสมัยใหม่ดังแสดงในรูปที่ 8.14 จะมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าการขุดหลุมเป็นรูลงไปในดินธรรมดา จะมีการทำเป็นชั้นของดินเหนียวและหรือพลาสติกที่กันหลุมเพื่อลดการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และมีระบบการระบายเพื่อเก็บน้ำฝนที่ชะผ่านลงมาหรือไหลออกไป ของเสียจะถูกอัดและปกคลุมด้วยดินแต่ละวันเพื่อลดปัญหาใด ๆ จากกลิ่นและหนู เมื่อหลุมฝังกลบเต็มจะปกคลุมทับด้วยดินและปลูกต้นไม้ทับสำหรับการใช้สอยอื่น ๆ

มีปัญหามากมายกับการกำจัดของเสียโดยวิธีฝังกลบ

1. เกือบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะป้องกันชะล้างของสารพิษออกจากหลุมฝังกลบออกสู่ดินรอบ ๆ และลงสู่ น้ำใต้ดิน ซึ่งอาจจะรวมถึงโลหะหนัก ยาฆ่าแมลง และสารที่อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ปัญหาจะรุนแรงมากถ้าหากของเสียที่เป็นอันตรายหรือ fly ash จากการเผาไหม้ถูกกำจัดโดยการฝังกลบ ในหลุมฝังกลบสมัยใหม่จะมีชั้นของดินเหนียวหรือรองด้วยแผ่นพลาสติก ซึ่งสารเหล่านี้ในที่สุดก็จะสลายไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่พ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมี การติดตามการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเป็นเวลาอีกหลายปีหลังจากได้ทำการปิดหลุมฝังกลบนั้นแล้ว
2. การสลายตัวของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้แก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นในแหล่งฝังกลบจะผลิตแก๊สมีเทนออกมา ซึ่งจะถูกระบายอยู่ในหลุมหรือแทรกซึมเข้าสู่บ้านเรือนซึ่งอาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ แหล่งฝังกลบสมัยใหม่จะมีช่องระบายแก๊สมีเทนเพื่อป้องกันสะสม แต่ไม่เคยประสบความสำเร็จถึง 100% หลุมฝังกลบบางแห่งมีการเก็บสะสมแก๊สมีเทนและถูกเผาเป็นเชื้อเพลิง บ้านเรือนไม่สามารถสร้างบนหลุมฝังกลบได้เป็นเวลานานหลังจากปิดปากหลุม เนื่องจากความเสี่ยงจากการระเบิดของแก๊สมีเทน
3. การสลายตัวของสารประกอบของเสียจะถูกเร่งรัดโดยการถูกอัดแน่นและฝังมันไว้ใต้ดิน มีหลักฐานที่ว่าพลาสติกชนิดที่เรียกว่า “biodegradable” สลายตัวได้ยากภายใต้



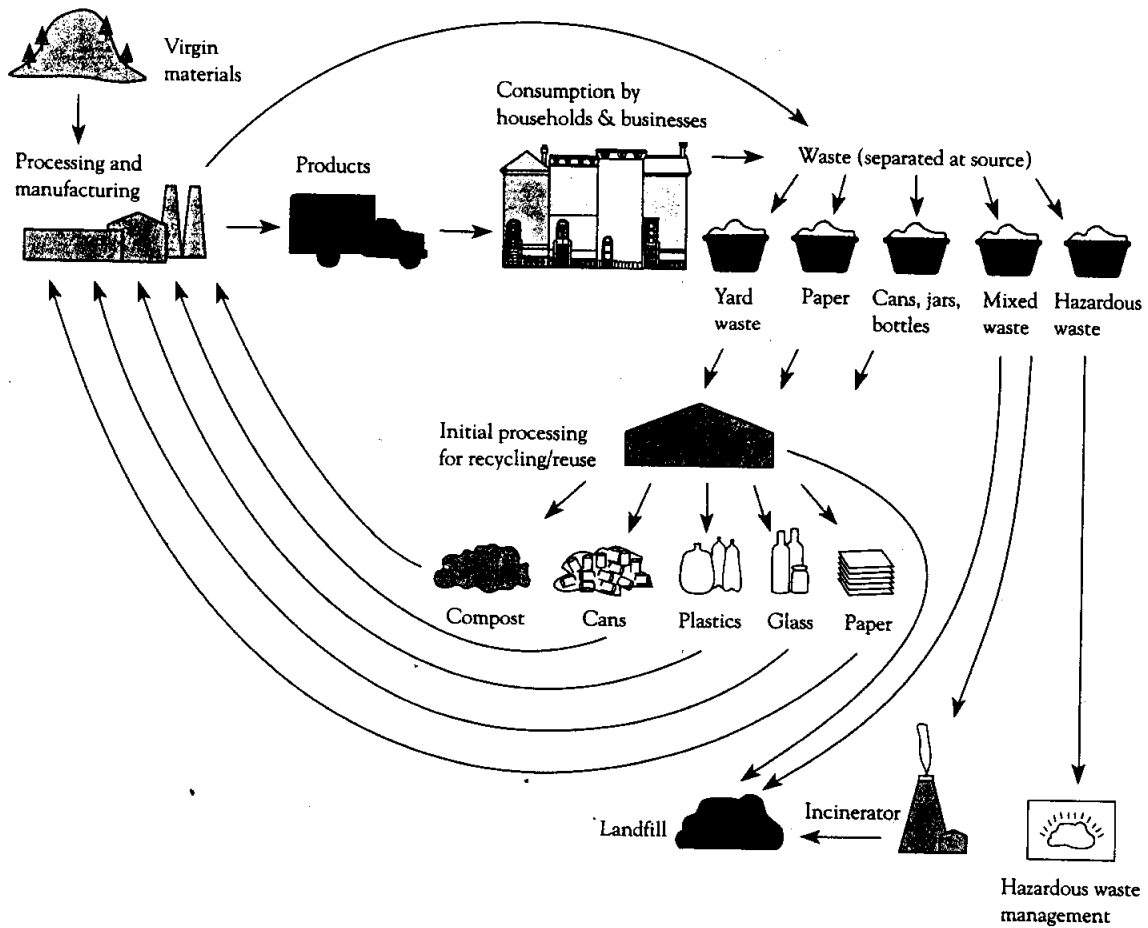
รูปที่ 8.14 Operation of a sanitary landfill site

เงื่อนไขของการฝังกลบ แม้จะอยู่บนพื้นผิวหน้า พลาสติกบางชนิดอาจจะใช้เวลานานถึง 20 ปีในการสลายตัว ยิ่งลึกลงไปยิ่งต้องใช้เวลานานขึ้น

เป็นเรื่องที่ยุ่งยากและลำบากมากในการหาสถานที่สำหรับกำจัดของเสียใน ปริมาณที่ต้องการเพียงพอ การฝังกลบไม่ได้ลดปริมาตรของของเสียและฝังทำให้การ สลายตัวช้าลง ประชาชนในท้องถิ่นก็มีแนวโน้มที่จะต่อต้านการทำหลุมฝังกลบใกล้บ้าน ของตัวเอง และสภาพภูมิศาสตร์ต้องถูกต้องและเหมาะสมด้วย ใน ประเทศอเมริกาหลาย ๆ รัฐได้มีการเติมของเสียหลุมฝังกลบที่มีอยู่หมดไปอย่างรวดเร็ว และไม่มีแหล่งใหม่ ๆ เพียงพอต่อของเสียในอนาคต

8.3.4 แบบแผนการจัดการของเสียแบบรวมสำหรับประเทศไทย

เราได้กล่าวถึงขอบเขตของกระบวนการจัดการของเสียแบบรวมมาแล้ว (ในหัวข้อ 8.1) และอธิบายในรูปที่ 8.15 ประเทศไทยยังคงอยู่ในระยะเริ่มแรกของการพัฒนาแบบ แผนสำหรับการจัดการของเสียที่เป็นของแข็งจากอาคารบ้านเรือนและอื่นๆ ปริมาณขยะ ส่วนใหญ่ยังถูกทิ้งกองไว้เป็นแห่ง ๆ บนผิวดิน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาที่ตามมาคือการเกิด กลิ่นเหม็น สัตว์พาหนะเชื้อโรค ตลอดจนมลพิษในอากาศ น้ำและดิน ในขณะที่ ประชาชนในเขตเมืองเพิ่มขึ้นและในเขตชนบทกลับกลายเป็นแหล่งอุตสาหกรรม จึงมี ความต้องการวิธีแก้ไขปัญหของขยะอย่างเร่งด่วน เราได้กล่าวถึงวิธีแก้ปัญหอย่างหนึ่ง ไปแล้วคือ การสร้างเตาเผาซึ่งถูกเสนอสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ แต่ก็ได้รับการต่อต้านจาก ประชาชนเจ้าของถิ่น เช่นเดียวกับกับโครงการนี้เมื่อถูกนำไปใช้กับจังหวัดอื่นๆ



รูปที่ 8.15 ระบบการจัดการกับของเสียแบบเบ็ดเสร็จ

ประเทศไทยสามารถเรียนรู้จากบทเรียนที่เกี่ยวกับประสบการณ์ในการจัดการของเสียจากประเทศต่าง ๆ ที่พัฒนาแล้ว เช่น ในยุโรปและ อเมริกา ในประเทศเหล่านี้ วิธีการแก้ปัญหาใหม่ ๆ แต่ละวิธีได้มีการรับเอามาใช้ในการแก้ปัญหาของเสีย (ฝังกลบ การทำหมุนเวียนมาใช้ใหม่ การเผา) และปัญหาต่าง ๆ ได้พบต่อมภายหลัง

จากการศึกษาและประสบการณ์เกี่ยวกับการฝังกลบ การใช้เตาเผา และการนำกลับมาใช้ใหม่ โปรดสังเกตว่าข้อเลือกต่าง ๆ เหล่านี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย จากภาพรวมในปัจจุบันในยุโรปก็คือต้องใช้ข้อเลือกทั้ง 3 นี้ เข้าด้วยกัน เป็นส่วนของการวางแผนการจัดการของเสียทั้งหมด เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อทั้งประเทศ จำเป็นที่รัฐบาลต้องมีการพัฒนานโยบายรวมที่มีประสิทธิภาพ มากกว่าที่จะปล่อยให้องค์การเอกชนและองค์การประจำท้องถิ่นเป็นผู้พัฒนาวิธีการแก้ไขสำหรับเฉพาะพื้นที่ของตน ซึ่งจะได้ระบบร่วมเพื่อบริการทั้งประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ

ปัญหาอย่างหนึ่งของการพัฒนาแบบแผนของชาติเกี่ยวกับของเสียคือ NIMBY (**not in my backyard**) ทุก ๆ คนต้องการให้ของเสียของตัวเองถูกกำจัด แต่ก็ไม่มีใครต้องการให้หลุมฝังกลบหรือเตาเผาตั้งอยู่ใกล้บ้านของตนเอง และไม่มีใครเตรียมพร้อมที่จะลดของเสียที่มาจากผลิตภัณฑ์ที่ตัวเองใช้ ซึ่งต้องการตัดสินใจระดับชาติเพื่อเอาชนะผู้คัดค้านท้องถิ่นเหล่านี้

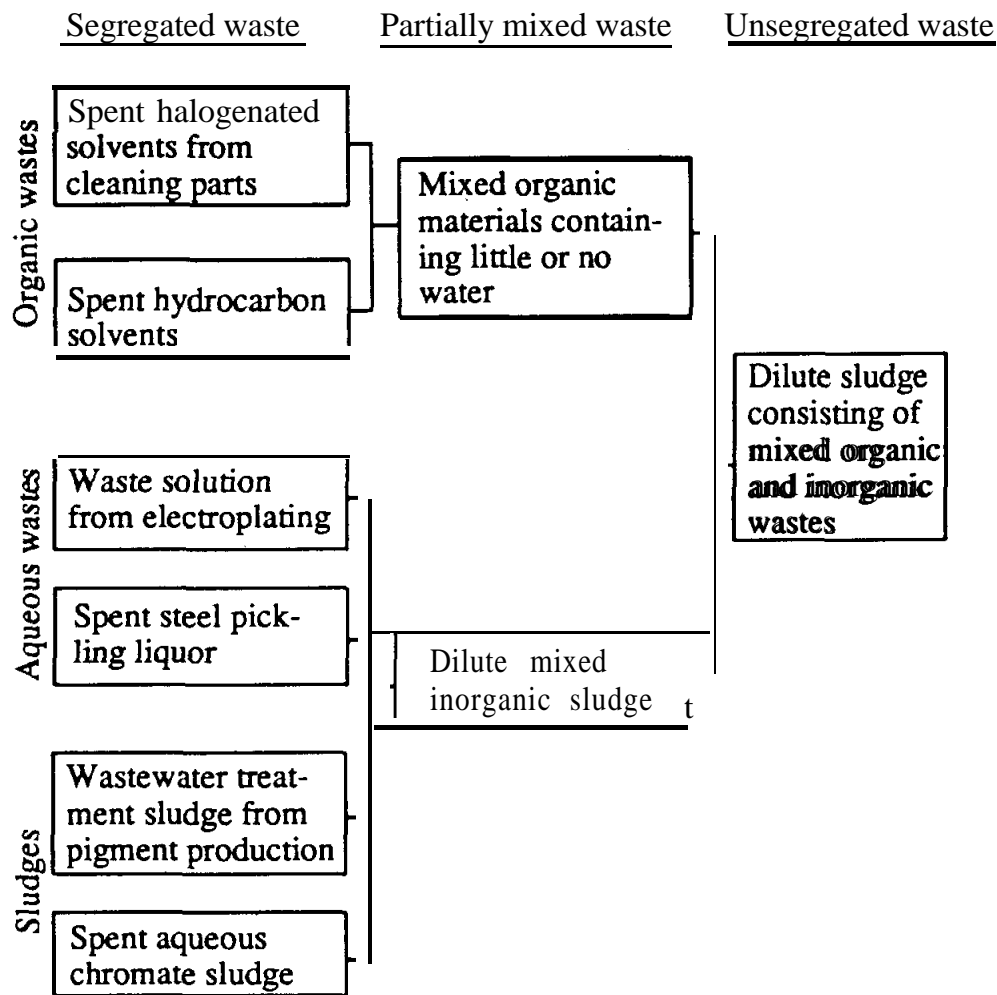
สังคมสมัยใหม่ขึ้นอยู่กับการบริโภคของวัตถุบิเพิ่มขึ้น และดังนั้นการปล่อยของเสียก็มากขึ้นด้วย เศรษฐกิจการลงทุนล้มเหลวเนื่องจากต้องคำนวณสำหรับราคาการลดลงของวัตถุบิในสิ่งแวดล้อม มลพิษและของเสีย โดยแสดงว่าโลกและสิ่งแวดล้อมเป็นแหล่งฟรีของวัตถุบิและแหล่งถมขยะ เราจะเห็นเดี๋ยวนี้อาผลของสิ่งเหล่านี้มีในอากาศที่เราหายใจเข้าไป ในน้ำที่เราดื่มและในอาหารที่เรากิน เราต้องหาวิธีการที่เราสามารถจะแก้ปัญหเหล่านี้โดยปราศจากการสูญเสียความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและถ้าเป็นไปได้แบบแผนการจัดการของเสียก็จะเป็นส่วนหนึ่งในวิธีการแก้ปัญหานี้

8.4 การบำบัดและการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม

8.4.1 การจัดการของเสียทางด้านอุตสาหกรรม

การบำบัดและการกำจัดของเสียทางด้านอุตสาหกรรมต้องถูกพิจารณาว่าเป็นส่วนเนื้อหาในการจัดการของเสียรวม ในขณะนี้จะมีแรงกดดันทางการค้าอย่างรุนแรงต่อบริษัทต่าง ๆ เพื่อให้ลดปริมาณของของเสียที่จะกำจัดออกมา เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเพิ่มขึ้น ในหลาย ๆ กรณีจะต้องจ่ายในการกำจัดสารที่เป็นของเสียมากกว่าที่จะซื้อมาในตอนเริ่มต้น การจัดการลดของเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่จึงมีความสำคัญเพิ่มขึ้น ถ้าหากการบำบัดของเสียสามารถทำได้ในแหล่งเดียวกัน ก็จะเป็นขั้นตอนการลดของเสียได้ในกระบวนการทั้งหมด

ของเสียจากอุตสาหกรรมอาจจะประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายมากกว่าของเสียจากอาคารบ้านเรือน สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากที่บริษัทจะต้องคำนึงถึง คือ การแยกเอาองค์ประกอบของเสียที่เป็นอันตรายออกจากของเสียที่ไม่เป็นอันตราย เพื่อที่จะลดปริมาณของเสียที่จะต้องถูกแยกว่าเป็นอันตรายว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการนำไปบำบัดและกำจัดที่แพงกว่า รูปที่ 8.15 อธิบายเกี่ยวกับของเสียจากอุตสาหกรรมอาจถูกคัดแยกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ได้อย่างไร การคัดแยกของเสียจะง่ายกว่าและถูกกว่าที่จะกำจัดของเสียในรูปของผลสมมาก ของเสียที่ไม่ได้ผ่านการคัดแยกอาจจะก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดอย่างรุนแรง เนื่องจากมีการเกี่ยวข้องกับของเสียในปริมาณที่มาก



รูปที่ 8.16 การแยกของเสีย

8.4.2 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

8.4.2.1 แนวทางโดยทั่วไป

หากเป็นไปได้ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมจากผสมกับน้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือน แล้วทำการบำบัดไปครั้งเดียวพร้อม ๆ กัน และองค์ประกอบของเสียที่แตกต่างกัน

ทั้งสองแหล่งจะเจือจางซึ่งกันและกันในระดับหนึ่ง ข้อเสียของวิธีการนี้คือ โคลนจากน้ำเสียอาจจะแปดเปื้อนด้วย องค์ประกอบในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เช่น โลหะหนัก ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ มีสถานการณ์ต่าง ๆ มากมายที่ในทางปฏิบัติไม่สามารถผสมของเสียจากอุตสาหกรรมและจากอาคารบ้านเรือนได้ เช่น

1. ในพื้นที่เขตชนบทไม่มีระบบน้ำโสโครกที่สะดวกมาใช้
2. ในที่ที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายแพงในการนำเอาองค์ประกอบในของเสียจากอุตสาหกรรมกลับคืนหรือนำไปใช้ใหม่
3. ในกรณีที่น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนจะนำไปใช้ในการชลประทานโดยตรง
4. ในกรณีที่ของเสียจากอุตสาหกรรมมีการปนเปื้อนสูงมากและผิดกฎหมายที่จะปล่อยลงสู่ลำน้ำทิ้ง

ในกรณีเหล่านี้จึงมีความจำเป็นต้องมีการบำบัดของเสียในแหล่งอุตสาหกรรมก่อน ในกรณีใด ๆ ขั้นตอนที่จะต้องทำให้แน่ใจว่าปริมาณความเป็นพิษของของเสียได้ถูกลดลง ตัวอย่างเช่น

1. โดยการเติมเข้าไปหรือกรองสารละลายมากกว่าที่จะกำจัดออกไป
2. โดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตในการใช้สารที่มีความเป็นพิษน้อยลง
3. โดยการทำความสะอาดและทำให้แห้งก่อนที่จะล้างของแข็งลงสู่ท่อระบาย
4. โดยการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่เผาไหม้ได้
5. โดยการให้เอาของเสียที่เป็นพิษไหลแยกจากของเสียที่ไม่น่าเป็นพิษ

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรมอาจแยกออกได้เป็นทางกายภาพ เคมีหรือชีวภาพ

8.4.2.2. วิธีทางกายภาพ

1. การร่อนเพื่อกำจัดของแข็งที่มีขนาดใหญ่ เช่น โรงงานบรรจุฝักกระป๋อง โรงงานทำกระดาษ เป็นต้น
2. การใช้แรงเหวี่ยงเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของของแข็ง เช่น การกำจัดน้ำออกจากโคลนในอุตสาหกรรมเคมี
3. การกรองเพื่อเอาอนุภาคที่เป็นของแข็งเล็กๆ ออกไป เช่น ขั้นตอนสุดท้ายในการทำความสะอาดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสารเคมีและโลหะ
4. การตกตะกอนเพื่อเอาโลหะหนักออกไป เช่น การแยกของแข็งอนินทรีย์ในการสกัดแร่ ถ่านหิน และการผลิตดินเหนียว
5. การลอยตัวเพื่อแยกเอาของแข็งที่เบาออกไป เช่น การแยกไขมันและน้ำมันออกจากอุตสาหกรรมเคมีและอาหาร
6. การทำให้แข็งตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของของเหลวและโคลน เช่น การเอาโลหะกลับคืน
7. การสกัดด้วยตัวละลายเพื่อเอาสารที่มีค่ากลับคืน เช่น ในอุตสาหกรรม coat carbonising และ plastics
8. การแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการแยกและทำให้เข้มข้น เช่น ในกระบวนการทำโลหะ
9. การ Reverse Osmosis สำหรับการแยกของแข็งที่ละลายได้ เช่น การเอาเกลือออกจากกระบวนการและน้ำล้าง
10. การดูดซับเพื่อการทำให้เข้มข้นและกำจัดเอาสิ่งเจือปนออกไป เช่น ในอุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง การเอาของเสียออก

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่สำคัญมากในการขจัดสารอินทรีย์ที่ละลายได้ คาร์บอนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่อีก การเผาที่ 950°C ในบรรยากาศที่มีไอน้ำ ซึ่งจะเป็น การออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับ ตัวดูดซับอื่น ๆ ที่ถูกนำมาใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ เช่น Amberlite XAD-4 (polystyrene-divinyl benzene copolymer) ซึ่งจะเอาสารอินทรีย์ที่แตก ตัวไม่ได้ทั้งหมดออกและนำกลับมาใช้ใหม่อีกโดยการล้างด้วยตัวทำละลาย

8.4.2.3 วิธีทางเคมี

1. โลหะต่าง ๆ อาจตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายโดยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (lime) ลงไป เพอร์ริสซัลเฟต อาจจะถูกเติมลงไปช่วยในกระบวนการนี้โดยการตกตะกอนร่วม ไม่ใช่โลหะทุกชนิดจะตกตะกอนอย่างสมบูรณ์โดย lime แต่กระบวนการนี้สามารถช่วยได้โดยการเติมซัลไฟด์ไอออน โซเดียมคาร์บอเนตอาจจะมีประสิทธิภาพมากกว่า lime สำหรับโลหะเช่น Fe หรือ Mn ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอเนตที่ไม่ละลาย
2. การปรับ pH ของน้ำโดยใช้ปูนขาว โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอนไดออกไซด์
3. คลอรีนอาจถูกใช้ในการทำลายสารเชิงซ้อนของโลหะกับลิแกนด์อินทรีย์
4. เทคนิค Electrodeposition อาจถูกใช้ในการเอาโลหะออกไป ยกตัวอย่าง ในอุตสาหกรรมการทำเหล็กจะผลิตน้ำเสียที่มีทองแดง ซึ่งทองแดงถูกเติมเข้าไปเพื่อกระตุ้นการกลั่นแบบดั้งเดิมในภาชนะที่ทำด้วยทองแดงและทำให้ของเสียมีความเป็นพิษมากกว่าแต่ก่อน เครื่องมือได้ถูกพัฒนามาโดยใช้การจับทองแดงที่ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน วิธีนี้ไม่เพียงแต่ทองแดงจะถูกขจัดออกไปจากของเสียแต่ยังสามารถนำกลับคืนมาใช้ใหม่ได้อีก

5. การออกซิเดชันโดยใช้โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน หรือเปอร์มังกานेट หรือเคมีไฟฟ้า สามารถนำมาใช้ในการเอาสารอินทรีย์ที่ละลายออกได้

8.4.2.4 วิธีทางชีวภาพ

ของเสียที่เป็นพิษประกอบด้วยสารอินทรีย์อาจถูกบำบัดทางชีวภาพ ในวิธีการที่คล้ายคลึงกับการบำบัดน้ำโสโครก อย่างไรก็ตาม เทคนิคเช่น trickling filtration จะทำงานไม่ได้ดีกับของเสียที่เป็นพิษ เนื่องจากสารพิษอาจจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กระบวนการทางชีวภาพที่ได้รับความนิยมมากที่สุดได้แก่ ระบบการกรองด้วยอัตราเร็วสูงโดยตัวกลางที่เป็นพลาสติกกับรอบการหมุนที่สูงและกับวิธี Activated sludge method

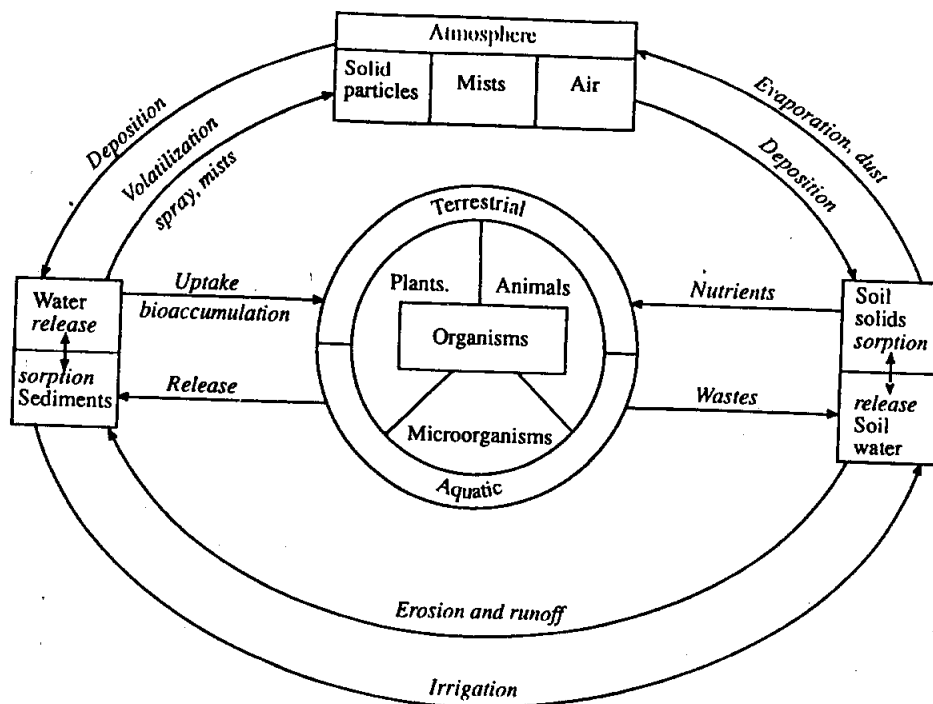
โคลนที่เกิดจากการบำบัดทางชีวภาพของของเสียที่เป็นพิษจะมีปริมาณ โลหะและสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับคลอรีนสูงมาก ปัญหาเดิมก็จะเกิดขึ้นเมื่อผสมของเสียจากแหล่งชุมชนและอุตสาหกรรมเข้าด้วยกัน โคลนที่เป็นพิษนี้จะไม่เหมาะในการทำเป็นปุ๋ย และต้องได้รับการบำบัดต่อไปหรือกำจัดอย่างปลอดภัย

แบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจถูกใช้ในการย่อยสลายอาศัยประกอบอินทรีย์ในโคลนที่เป็นพิษ แล้วจึงทำให้เข้มข้นขึ้น (เช่น ลดปริมาณน้ำลง) ซึ่งจะให้ของแข็งที่ขึ้นปกติจะทิ้งให้แห้งบนกองกรวด จากนั้นอาจจะเอาไปฝังกลบหรือฝังไว้ในมหาสมุทรหรือทำการเผา ในแต่ละวิธีนี้ก็จะมีข้อเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในของเสียจากอาคารบ้านเรือน

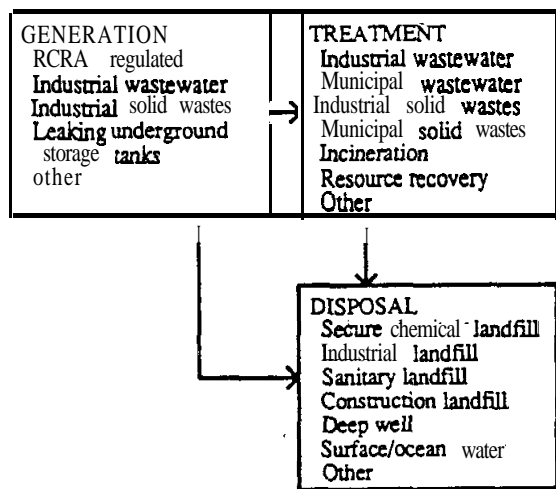
วิธีการที่มีอยู่สำหรับลดพิษของของเสียที่เป็นพิษจากอุตสาหกรรมเฉพาะ ยกตัวอย่างเช่น โลหะอาจจะถูกเอาออกโดยการสลายตัวด้วยกรด และการสลายตัวด้วยไฟฟ้า สารกัมมันตรังสีอาจถูกเอาออกโดยของการสกัดด้วยกรดและตกตะกอน

8.4.3 การกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

บางตัวอย่างขององค์ประกอบของเสียที่เป็นอันตรายดังแสดงในตารางที่ 8.3 สารประกอบหลาย ๆ ตัวในสารเหล่านี้ อาจจะถูกจำแนกว่าเป็นมลพิษในอากาศ น้ำและดิน ในบทเรียนก่อนหน้านี้นี้ มีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการและการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายเหล่านี้ด้วยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด รูปที่ 8.16 แผนผังแสดงถึงอันตรกิริยาของของเสียที่เป็นอันตรายในสิ่งแวดล้อม และ รูปที่ 8.17 แสดงถึงระบบของการผลิต การบำบัด และการกำจัดของเสีย



รูปที่ 8.16 แผนผังแสดงถึงอันตรกิริยาของของเสียที่เป็นอันตรายในสิ่งแวดล้อม



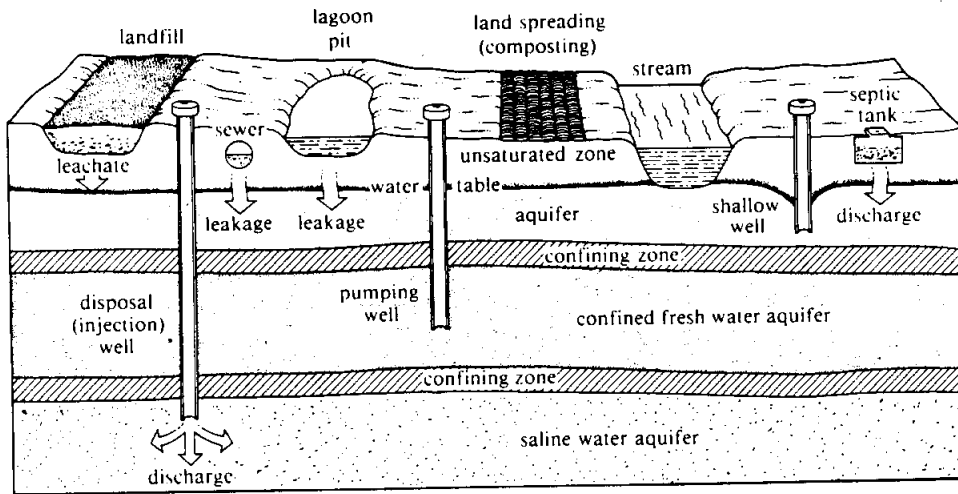
รูปที่ 8.17 แสดงถึงระบบของการผลิต การบำบัด และการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย

ตารางที่ 8.3 องค์ประกอบในของเสียที่เป็นอันตราย

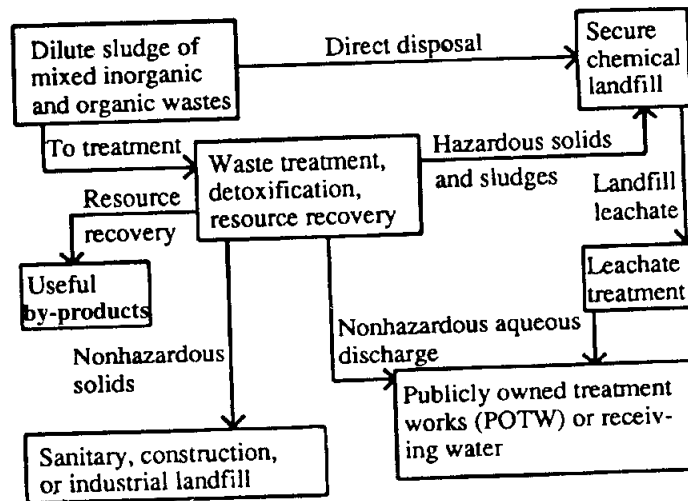
| สารที่เป็นอันตราย | แหล่งกำเนิด |
|-------------------|---|
| acids | ash from power plants & incinerators; petroleum products; from acid manufacture, battery manufacture, steel industry |
| alkalis | breweries, food industry, chemical industry, textile manufacture |
| antibiotics | pharmaceutical industry |
| ammonia | coke manufacture, fertiliser manufacture, rubber industry |
| CFCs | refrigerators and air-conditioners |
| chromium | metal processing; leather industry |
| cyanides | metal refining; fumigants |

ตารางที่ 8.3 (ต่อ)

| สารที่เป็นอันตราย | แหล่งกำเนิด |
|--------------------|--|
| detergents | detergent manufacture, textile manufacture, laundries, food industry |
| dioxins | ash from incinerators |
| explosives | old military installations |
| heavy metals | paints, batteries, incinerator ash, sewage sludge |
| arsenic | industrial processes, pesticides, additives to glass, paints |
| cadmium | batteries, incineration, paints, plastics |
| lead | batteries, paints, TVs and electronic items |
| mercury | paints, household cleaners |
| infectious wastes | hospitals, research labs |
| nerve gas | old military installations |
| organic solvents | industrial processes, household cleaners, leather, plastics, adhesives, cosmetics, pharmaceuticals |
| PCBs | old electrical equipment; transformers and capacitors |
| pesticides | household products; chemical industry |
| phenols | coke production, oil refining, wood preserving |
| radioactive wastes | nuclear power plants, nuclear medicine, nuclear weapons factories |



รูปที่ 8.18 มลพิษในดินจากของเสียที่เป็นอันตราย



รูปที่ 8.19 แสดงจุดต่างๆในการบำบัดสำหรับของผสมของของเสียที่เป็นอันตราย

จากรูปที่ 8.18 แสดงให้เห็นว่ามลพิษอาจเกิดขึ้นจากของเสียที่เป็นอันตรายได้อย่างไร สิ่งที่น่าเป็นห่วงที่สุดคือ การปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินเนื่องจากการชะล้างมาจากหลุมฝัง

กลบ ทะเลสาบ lagoon pits และบ่อน้ำบาด หรือจากของเสียที่แผ่กระจายบนพื้นดิน การรั่วไหลของน้ำไฮโดรคาร์บอนและจากถังบำบัดอาจก่อให้เกิดมลพิษได้เช่นเดียวกัน

ในตารางที่ 8.4 แสดงวิธีการที่มีอยู่บางวิธีสำหรับการบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย ซึ่งบางส่วนได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทางเลือกสำหรับการกำจัดของเสียที่เป็นพิษจะไม่แตกต่างจากที่ใช้ในการกำจัดของเสียจากอาคารบ้านเรือน การใช้เตาเผาสำหรับของเสียอินทรีย์ แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับอันตรายที่จะเกิดจากการรวมตัวเป็น dioxins จากสารประกอบของฮาโลเจน การกำจัดน้ำเสียบนแผ่นดินจะทำให้เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากการชะล้าง ทะเลกลายเป็นแหล่งฝังของสารพิษ ข้อได้เปรียบคือมีความจุในการเจือจางไม่จำกัด แต่สารบางชนิดจะสะสมในตะกอนใต้ทะเลหรือสิ่งมีชีวิตในทะเล ในทางปฏิบัติการฝังสารพิษในทะเลจะควบคุมโดยข้อตกลงนานาชาติ การกำจัด organohalogens, carcinogens และ โลหะหนักโดย วิธีการนี้จะไม่ได้รับอนุญาตอีกต่อไป

ตารางที่ 8.4 เทคโนโลยีสำหรับการบำบัดของเสีย

Physical

Soil washing

Air (or steam) stripping

Carbon adsorption

Ion exchange

Solidification

Vitrification

Thermal

Rotary kiln Incineration

Infra-red Incineration

Plasma arc Incineration

ตารางที่ 8.4 (ต่อ)

Chemical

Solvent Extraction

Oxidation (photolytic; electrolytic; chemical)

Electrokinetic Removal

Biological

Land farming

Cornposting

Bioreactor Processes (aerobic; anaerobic; biofilms)

Bioenrichment

Bioaugmentation

Landfill

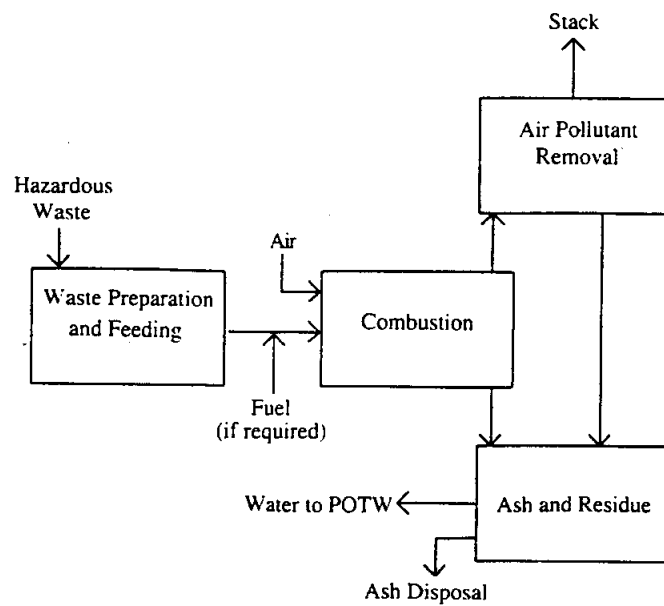
กระบวนการของกายภาพ ความร้อน เคมี และชีวภาพอื่นๆ (ในตารางที่ 8.4) อาจจะถูกนำมาใช้ในสถานการณ์เฉพาะหนึ่ง ๆ

8.4.3.2 การเผาของเสียที่เป็นอันตราย

เตาเผาเหล่านี้จะใช้เฉพาะเจาะจงกับของเสียทางเคมีจากอุตสาหกรรม (อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเลียม โลหะ ผู้ผลิตเครื่องมือทางไฟฟ้าและอื่นๆ) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าของเสียจากผู้ผลิตเหล่านี้จะแตกต่างจากของเสียจากอาคารบ้านเรือน ในขณะที่ของเสียจากอาคารบ้านเรือนจะมีสารเคมีที่เป็นพิษปนอยู่น้อยมากหรือไม่ มีเลย ของเสียจากอุตสาหกรรมเหล่านี้อาจจะมีระดับสารที่เป็นอันตรายอยู่สูงมาก (ซึ่งอาจ

จะติดไฟ เป็นพิษ เป็นอันตราย กัดกร่อน ระเบิดหรือออกซิไดส์) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเหลว ของแข็ง หรือแก๊ส

ในการใช้เตาเผาของเสียที่เป็นพิษนี้เป็นที่นิยมมากในบางประเทศ โดยมากจะบริหารจัดการโดยบริษัทเฉพาะ (เช่น ใน ประเทศอังกฤษ บริษัทประเภทนี้ เรียกว่า ReChem ซึ่งเป็นเพียงบริษัทเดียวที่ได้รับอนุญาตทางกฎหมายในการใช้เตาเผา) เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ (รูปที่ 8.20) จะคล้ายคลึงกับที่ใช้ในเตาเผาของเสียจากอาคารบ้านเรือน เกี่ยวข้องกับการเตรียมของเสีย (ของเสียถูกเตรียมเพื่อการเผา เช่น



รูปที่ 8.20 ส่วนประกอบหลักของระบบเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย

โดย การผสมกับองค์ประกอบที่ติดไฟได้ หรือทำให้มีขนาดเล็กลงเช่นของเสียที่เป็นของแข็ง) การเผาไหม้ (ใช้เงื่อนไขเดียวกับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพดังที่ได้อธิบายใน MSWI) และอากาศที่เป็นพิษจะถูกขจัดออก มาตรฐานของเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย จะอาศัยหลักของการทำลายขององค์ประกอบอินทรีย์ที่เป็นอันตราย “Principal Organic Harzadous Constituents (POHC) ใน USA EPA กำหนดว่าต้องการ 99.99% ของ POHC ต้องถูกทำลายและ 99.9990% ของ dioxin ต้องถูกทำลาย

ปัญหาเกี่ยวกับการใช้เตาเผากับสารเคมีที่เป็นอันตรายก็คือเนื่องจากปริมาณสารที่เป็นอันตรายเริ่มต้นมีค่าสูงมาก ถึงแม้จะได้รับมาตรฐานตัวกล่าว ผลที่ออกมาในสารพิษที่ถูกปล่อยจากการเผาไปสู่แหล่งท้องถิ่น และเกิดการสะสมไปตามกาลเวลา ไม่เพียงแค่นั้น การรวมตัวของสารที่เป็นอันตรายในกระบวนการเผาคือปัญหา โดยเฉพาะเมื่อเผา PCBs dioxins จะเกิดการรวมตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

8.4.3.3 การเผาของของเสียจากโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาล

โรงพยาบาลต่าง ๆ จะมีการเผาของเสียในปริมาณมาก เนื่องจากทุกสิ่งทุกอย่างที่ใช้เกือบทั้งหมดเป็นชนิดใช้แล้วทิ้งเลย (disposable) เพื่อลดความเสี่ยงจากการแพร่กระจายของเชื้อโรค ส่วนใหญ่มักทำด้วยพลาสติก แก้ว สารทำความสะอาดที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ คลอโรฟีนอลยาฆ่าเชื้อจะใช้อย่างมาก น้ำยาฆ่าเชื้อที่ใช้ในการทำความสะอาดสถานที่ อาศัยประกอบของปัจจัยเหล่านี้ นำไปสู่การรวมตัวเป็น chlorinated Dioxins ในเตาเผาของเสียประเภทนี้ ซึ่งถูกจัดว่าเป็นสารมลพิษที่มีอันตรายสูงมากในปัจจุบัน เถ้าลอย (fly-ash) จากเตาเผาประเภทนี้ถูกพบว่ามีระดับ dioxin สูงกว่าที่พบในเถ้าลอยที่มาจากเตาเผาของเสียจากอาคารบ้านเรือนโดยทั่วไป (MSWI fly-ash) มาก ๆ

เป็นที่น่าห่วงใยสารที่ถูกปล่อยออกมาจากปล่องไฟเพราะเตาเผาประเภทนี้มักตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีคนหนาแน่น ทำให้มีโอกาสที่จะได้รับมลพิษต่างๆสูง

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายแนวคิดที่สำคัญในการจัดการกับของเสียอย่างมีระบบ
2. การบำบัดของเสีย (waste treatment) และการกำจัดของเสีย (waste disposal) แตกต่างกันอย่างไรร
3. การบำบัดน้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือนและแหล่งอุตสาหกรรม มีกระบวนการแตกต่างกันอย่างไร
4. น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและแหล่งอุตสาหกรรม แหล่งใดมีความพิษของสูงกว่ากัน และมีความยากง่ายในการบำบัดแตกต่างกันอย่างไร
5. ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นดิน ทำได้อย่างไรบ้าง
6. การเผาขยะ เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดปัญหาการลดของเสียหรือไม่ เพราะเหตุใด
7. ปัญหาในการสร้างเตาเผาขยะที่จังหวัดเชียงใหม่ คืออะไร และรัฐบาลจัดการแก้ปัญหา
นี้อย่างไร
8. จงเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ การเผาขยะ และการฝังกลบ และให้เหตุผลว่าวิธีใด
เหมาะสมกับประเทศไทย
9. เหตุใดจึงต้องแยกกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายออกจากของเสียโดยทั่วไป
10. ของเสียจากสถานพยาบาลต่างๆ และจากโรงงานอุตสาหกรรม มีความเป็นอันตราย
แตกต่างกันอย่างไร
