

บทที่ 10 มลพิษทางดิน

ปัญหาจากการเพิ่มจำนวนประชากรในทุกแห่งของโลก ทำให้เกิดการขยายเมือง โดยพบว่าพื้นที่เมืองบางแห่งเคยถูกใช้เป็นโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงปัญหาโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมากขึ้นและของใช้มากมายที่ผลิตและกระบวนการผลิตจากเทคโนโลยีใหม่ๆ อันเป็นตัวก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางดิน การศึกษามลพิษทางดินเริ่มมีตั้งแต่ปี 1970 เพื่อศึกษาถึงปัญหานี้และพบว่าพื้นที่เกือบทั่วโลกมีการปนเปื้อนของสารมลพิษสู่ดิน โดยเฉพาะในเขตเมืองบางแห่งที่สูงมาก ผลกระทบคือสารมลพิษนี้ส่วนใหญ่เป็นสารมลพิษและก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ซึ่งผลที่มีต่อมนุษย์อาจแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในแง่ระบบนิเวศน์

10.1 แหล่งของสารปนเปื้อนลงสู่ดิน (sources of soil contamination) เกิดจากกิจกรรมต่างๆ จากแหล่งเหล่านี้คือ

1. อุตสาหกรรม
2. เกษตรกรรม
3. กิจกรรมจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัยและชุมชนในเขตเมืองหลวง

ตัวอย่างของประเภทกิจกรรมของแหล่งทั้งสามนี้สรุปได้ดังตาราง 10.1

ตารางที่ 10.1 ตัวอย่างกิจกรรมมนุษย์ที่มีผลต่อการเกิดมลพิษทางดิน

Industrial operations

Chemical industries, gas and electricity supply, wood preserving, oil refining, service stations, smelters, mining, tanning, dockyards, waste dumps.

Agricultural activities

Treatment of crops, handling and storage of agricultural chemicals, use of cattle dips.

Domestic and urban activities

Solid waste disposal, sewage sludge disposal, sewage works and farms, motor vehicle discharges, usage of chemicals.

CM 482

497

CM 482

497

Domestic and urban activities

Solid waste disposal, sewage sludge disposal, sewage works and farms, motor vehicle discharges, usage of chemicals.

คำถามท้ายบท

1. จงประเมินผลของสารปนเปื้อนต่อไปนี้ในดินที่จะมีต่อน้ำใต้ดิน โดยพิจารณาจากข้อมูลสมบัติของสารมลพิษต่อไปนี้

Compound	Vapour Pressure (mmHg)	Water Solubility (mm L ⁻¹)	Soil sorption Coefficient, K _{oc}
Phenol	0.2	67,000	2
Styrene	9.5	280	120
Tetrachloroethane	5	2,900	480
Chloropyrifos	1.9×10 ⁻⁵	2	13,000

ข้อแนะนำ : คำนวณโดยใช้ค่า MI

2. วิธีที่โลหะหนักรวมตัวกับดินหรือดินตะกอนมีอะไรบ้าง
3. สารอินทรีย์กลุ่มที่มีสมบัติเป็น hydrophobic จะอยู่ในส่วนประกอบของเนื้อดินประเภทใดมากที่สุด
4. ประเภทของ hazardous wastes ได้แก่อะไรบ้าง และของเหลวชนิดติดไฟง่ายจะมีสมบัติอย่างไร
5. เหตุใด diquat จึงพบมากในดินเหนียว
6. สารชีวมีกคืออะไร มีผลต่อมลพิษในดินแ่งใดบ้าง
7. leachate หมายถึงอะไร มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่
8. เทคนิคเคมีไฟฟ้าใช้กำจัดมลพิษทางดินได้อย่างไร
9. พลาสติกประเภทใดที่มีโอกาสจะสลายตัวตามธรรมชาติได้
10. Depolymerise หมายถึงอะไร ใช้ประโยชน์ในแง่สิ่งแวดล้อมได้อย่างไร ให้ยกตัวอย่างประกอบ

สารปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่พบมักเป็นหลายกรณี เช่น การขุดหลุมขนาดใหญ่ในดินเพื่อฝังพวกขยะที่เกิดจากกระบวนการผลิตของพวกโรงงานต่างๆ เป็นต้นว่า โรงงานฟอกหนังสัตว์ โรงผลิตแก๊สจากถ่านหิน อุบัติเหตุก็เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนจากโรงงานผลิตสารเคมีเพื่อรักษาเนื้อไม้ ปิมน้ำมัน หรือเตาหลอมโลหะตลอดจนถึงกากของเสียจากโรงงานถลุงแร่

สารปราบศัตรูพืชที่ใช้ในดิน การเก็บและเคลื่อนย้ายสารเหล่านี้รวมถึงสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดพวกวัวเป็นแหล่งสำคัญที่เกิดจากการเกษตรกรรม

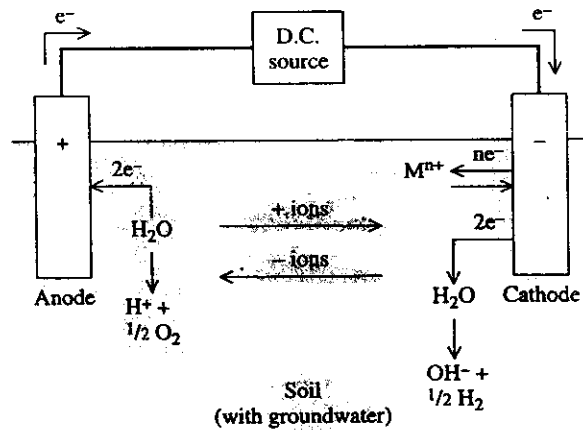
กิจกรรมจากบ้านเรือนและตามเมืองส่วนใหญ่ จะก่อให้เกิดของเสียที่เป็นของแข็งตลอดถึงการใช้จ่ายปราบศัตรูพืชในบ้าน ในสวน

เมื่อสารมลพิษถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำหรืออากาศส่วนใหญ่จะเกิดการเจือจางอย่างรวดเร็วโดยการผสมหรือการเจือจางในน้ำ แต่กรณีของดินจะเกิดต่างกันกล่าวคือ ดินจะทำตัวเหมือนแหล่งเก็บสารมลพิษโดยอาศัยกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะการจับสารมลพิษ เช่น สารอินทรีย์กับผิวของดินชั้นบนที่เป็นพวกคอลลอยด์ซึ่งได้แก่ ดินเหนียวหรือสารฮิวมิก หรือถ้าไม่ถูกจับอาจถูกพัดพาโดยน้ำฝนหรือน้ำจากการละลายของหิมะพามาจากชั้นบนของดินส่งต่อไปยังชั้นของดินต่อไป สารอินทรีย์บางชนิดจะระเหยจากดินโดยกระบวนการของ volatilization และบางชนิดที่อยู่บนผิวดินก็อาจจะเกิดการสลายตัวต่อโดยกระบวนการ photolytic decomposition โดยแสง UV ในเวลากลางวันดังนั้นกระบวนการจับสารมลพิษจึงจัดเป็นกระบวนการที่ทำให้ไม่เกิดการชะละลายสารมลพิษไม่เข้าสู่ชั้นของดิน ดินบางส่วนถูกพัดพาลงแหล่งน้ำธรรมชาติหรือเกิดพร้อมกับแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงพบว่าเมื่อดินเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำก็เป็นแหล่งเก็บสารมลพิษเช่นกัน เรียกดินประเภทนี้ว่า ดินตะกอน (sediments)

ดินตะกอน (sediments) เป็นชั้นของสารที่เป็นแร่ธาตุและอนุภาคอินทรีย์แต่ค่อนข้างจะละเอียด ดินตะกอนจะพบได้ที่ก้นของน้ำทั่วไป เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ สักส่วนของสารประกอบพวกแร่ธาตุและอนุภาคอินทรีย์ขึ้นกับสถานที่ พบว่าเป็นแหล่งสำคัญที่สะสมสารเคมีมากมายโดยเฉพาะโลหะหนัก และสารอินทรีย์ประเภท PAHs และยาปราบศัตรูพืชเช่นกัน

Destruction techniques เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการเผาไหม้ในเตาเผา (incineration) หรือใช้กระบวนการที่พึ่งพากลินทรีย์ในการเปลี่ยนรูปสารปนเปื้อน (bioremediation) โดยอาศัยกระบวนการเคมีและชีวเคมีซึ่งจะให้ผลในการกำจัดสารปนเปื้อนอย่างถาวร (ไม่เหมือนกรณี containment , mobilization และ immobilization ซึ่งไม่สามารถใช้ในการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายได้) วิธีการจะใช้การเคมีการดินในเตาเผาหรือออกซิเดชันเทคนิค หรือการใช้กลินทรีย์เพื่อทำลายพิษของสารปนเปื้อน(bioremediation)

เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical techniques) ก็ถูกใช้ในการกำจัดสารปนเปื้อนในดินดังแสดงในรูป 10.11 วิธีการโดยวางอิเล็กโทรดลงในดินที่ปนเปื้อนและให้กระแสตรงผ่านเข้าไป จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอออนในดินซึ่งอยู่ละลายในอิเล็กโทรไลต์ของน้ำใต้ดิน โลหะจะเคลื่อนที่ไปหาขั้วที่มีประจุลบคือ คาโทด (cathode) และถูกจับที่นี้ นอกจากนี้ยังพบว่าไอออนของโลหะก็จะมีแนวโน้มที่จะละลายจากประจุลบบนผิวของดินเหนียวเนื่องจากการแตกตัวของน้ำและให้ไฮโดรเจนไอออนที่ขั้วแอโนดทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้น และธรรมชาติของโลหะหนักนั้นจะอยู่ในรูปสารละลายมากกว่าในสถานะที่เป็นกรด



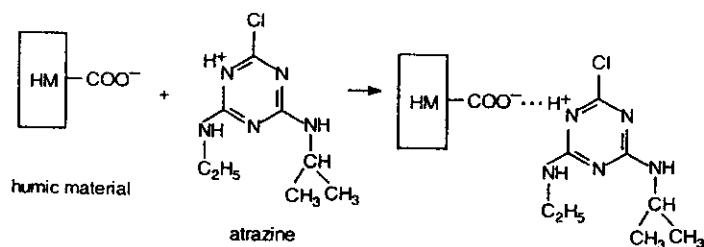
รูปที่ 10.11 แสดงวิธีการกำจัดโลหะหนักในดินโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

10.2 ประเภทของสารมลพิษในดิน

10.2.1 ยาปราบศัตรูพืช

ในรูปที่ 10.1 แสดงตัวอย่างประเภทของยาปราบศัตรูพืชที่พบในดิน ซึ่งพบว่าการปนเปื้อนเกิดจากการใส่ในดินที่ปลูกพืช โดยองค์ประกอบที่สำคัญในดินที่ทำหน้าที่จับยึดสารเหล่านี้ คือ ดินเหนียวไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมและสารฮิวมิกดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 9 การจับยึดนี้อาจเกิดจากกระบวนการดูดซับที่เป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals forces) ที่เกิดจากความแตกต่างของขั้วดินและยาปราบศัตรูพืช หรืออาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุโดยเฉพาะในดินเหนียวทำให้สามารถจับยึดยาฆ่าแมลงประเภทที่เป็นแคทไอออนิก เช่น ไคควอท ได้ สำหรับสารฮิวมิกนอกจากจะใช้แรงยึดกับยาปราบศัตรูแบบแวนเดอร์วาลส์แล้ว ยังเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ให้แรงยึดได้มากกว่าอีกกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก เช่น

ก. ปฏิกิริยาระหว่างสปีชีส์ที่มีขั้วประจวบกับขั้วประจุลบของสารฮิวมิก ตัวอย่างเช่น ยาปราบศัตรูพืชประเภท atrazine ซึ่งพบว่าที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 8 จะเกิดประจวบที่วงแหวนของไนโตรเจนหนึ่งตำแหน่งที่จะทำปฏิกิริยากับกลุ่มของคาร์บอนซิลในสารฮิวมิก โดยเรียกแรงที่จับว่า electrostatic forces ดังสมการ



10.6.5 เทคนิคในการกำจัดสารปนเปื้อนจากดิน จะแบ่งได้ 3 วิธีหลักคือ

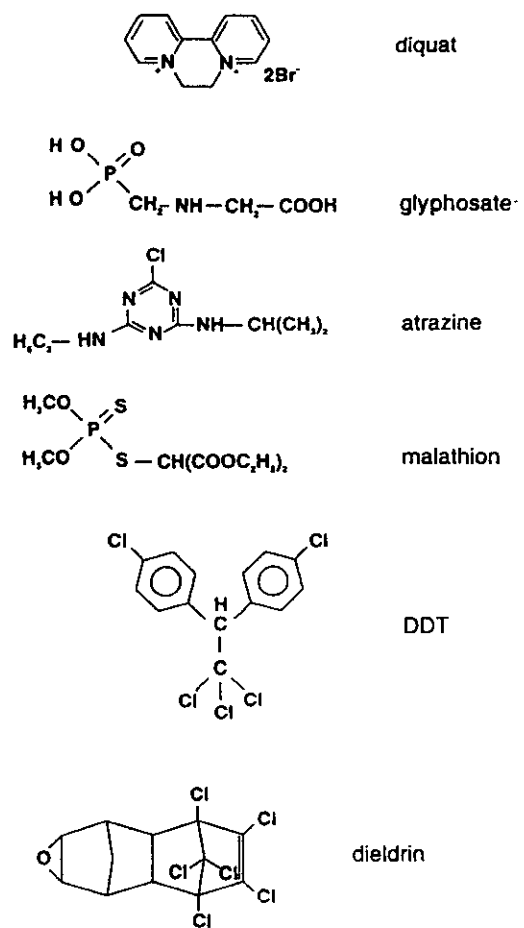
- containment หรือ immobilization
- mobilization
- destruction

โดยจะแบ่งเทคนิคเป็น in situ และ ex situ โดยแบบแรกจะกระทำในแหล่งที่ถูกปนเปื้อนเลย และแบบหลังทำโดยการย้ายสารปนเปื้อนไปยังสถานที่อื่นก่อน ซึ่งพบว่าวิธีแบบแรกจะนิยมมากกว่า

Immobilization techniques คือ วิธีการในการทำให้เป็นของแข็งหรือไม่เปลี่ยนรูปจะใช้ประโยชน์ได้มากกรณีที่เป็นของเสียนินทรีย์ซึ่งจะกำจัดออกได้ยากโดยวิธีอื่น ตัวอย่างวิธีการทำให้เป็นของแข็ง เช่น การให้ทำปฏิกิริยากับ Portland cement หรือให้ของเสียไปรวมตัวกับแก้วที่หลอมเหลวในกระบวนการ vitrification

Mobilization techniques ส่วนใหญ่จะกระทำในแหล่งที่ได้รับการปนเปื้อนเลย (in situ) โดยการล้างดินหรือสกัดสารปนเปื้อนจากดินให้กลายเป็นไอกรณีที่เป็นแก๊สโซลีนซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายและไม่ละลายน้ำ วิธีการที่ใช้ คือ การสกัดไอจากดิน (soil vapor extraction) และการแยกสารออกโดยใช้ความร้อน (thermal desorption) นั้นพบว่าใช้กำจัดสารปนเปื้อนได้ทั้งที่ระเหยเป็นไอได้ และประเภทที่ระเหยได้ปานกลาง (semi-volatile organic compounds) ซึ่งรวมถึง PAHs

การล้างดิน (soil washing) จากแหล่งที่ปนเปื้อน กระทำโดยการฉีดของเหลวผ่านเข้าไปในบ่อโดยให้ผ่านชั้นใต้ดิน ของเหลวที่ใช้อาจเป็นน้ำซึ่งจะกำจัดสารปนเปื้อนที่จะละลายน้ำได้หรืออาจใช้สารละลายที่มีความเป็นกรดหรือเบสเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นกรดหรือเบสตามลำดับ หรืออาจจะใช้สารคีเลท เช่น EDTA เพื่อกำจัดโลหะหนักและตัวออกซิไดส์เพื่อจะได้ออกซิไดส์สปีชีร์เคมีที่ไม่ละลายน้ำให้ละลายน้ำได้ก่อน หรือบางครั้งของเหลวอาจใช้สารลดแรงตึงผิวซึ่งจะเพิ่มการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่ชอบน้ำให้ละลายอยู่มากขึ้น ปัจจุบันมีการใช้เทคนิค Biosurfactants โดยใช้จุลินทรีย์ที่จะกำจัดโลหะหนัก เช่น แคดเมียมจากดิน

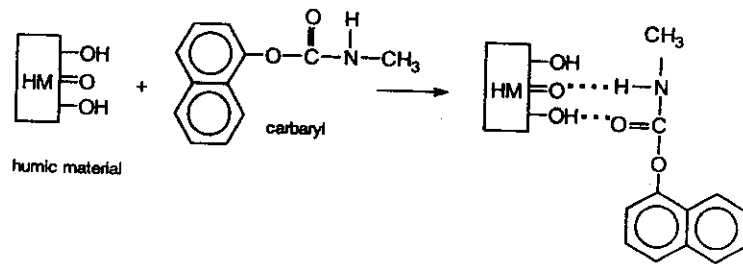


รูปที่ 10.1 แสดงตัวอย่างยาปราบศัตรูพืชที่พบในดิน

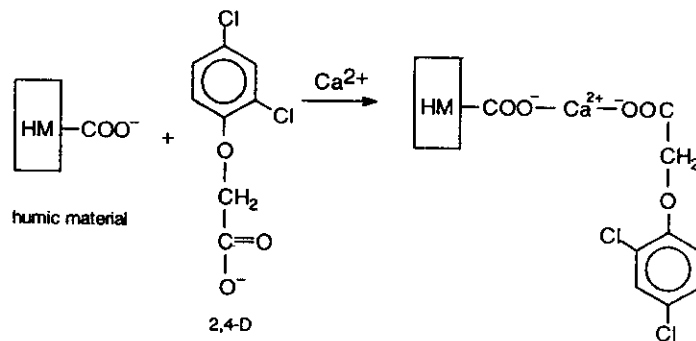
ตารางที่ 10.7 ชนิดของพลาสติกทั่วไปที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่

Plastic Recycling Number	Acronym and Name of Polymer	Original Uses	Recycle Uses
1	PET Poly (ethylene terephthalate)	Beverage bottles, food and cleanser bottles.	Carpet fibers, fiberfill insulation, non-food containers.
2	HDPE High-density polyethylene	Milk, juice, water bottles, grocery bags (crinkly).	Oil and soap bottles, trash cans, grocery bags, drain pipes.
3	PVC (or V) Polyvinyl chloride	Food and water bottles, food wraps, blister packs, construction materials.	Drainage pipe, flooring tile, traffic cones.
4	LDPE Low-density polyethylene	Flexible bags for trash, bread, milk, groceries; flexible wraps and containers.	Bags for trash, groceries; irrigation pipes; oil bottles.
5	PP Polypropylene	Handles, bottle caps, lids, wraps, bottles.	Auto parts, fibers, pails, refuse containers.
6	PS Polystyrene	Foam cups, packaging; cutlery; furniture; appliances.	Insulation, toys, trays, packaging "peanuts."
7	Other	Various	"Timber," posts, fencing, pallets.

ข. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) เป็นพันธะที่สร้างระหว่างอะตอมออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในยาปราบศัตรูพืชและสารชีวมีก ตัวอย่างที่เกิดได้แก่ยาฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาริลดังสมการ



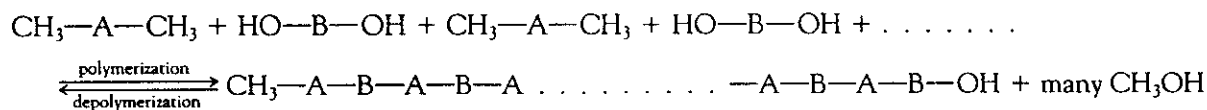
ค. การแลกเปลี่ยนลิแกนด์หรือการเชื่อมของเกลือ (Ligand exchange or salt linkage) ตัวอย่างเช่น ยาฆ่าวัชพืช 2,4- dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) ในสภาวะพีเอช 6 ถึง 8 จะให้กลุ่มคาร์บอกซิล ซึ่งถ้ามีโลหะทรานซิชันหรือแคทไอออนทั่วไปเช่น Ca^{2+} อยู่ในดินก็จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างยาปราบศัตรูพืชและสารชีวมีกในดินได้ดังสมการ



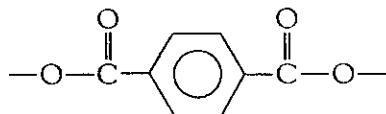
วิธีการพื้นฐานในการนำพลาสติกมาใช้ใหม่

1. Reprocess คือการหลอมและเปลี่ยนรูปร่างใหม่ดังแสดงในตารางที่ 10.7
2. Depolymerise คือการเปลี่ยนให้เป็นสาร monomer โดยใช้สารเคมีหรือกระบวนการความร้อนแล้วทำกระบวนการโพลีเมอร์ใหม่
3. Transform นำไปทำสารอื่นๆที่มีคุณภาพต่ำกว่า
4. การเผา

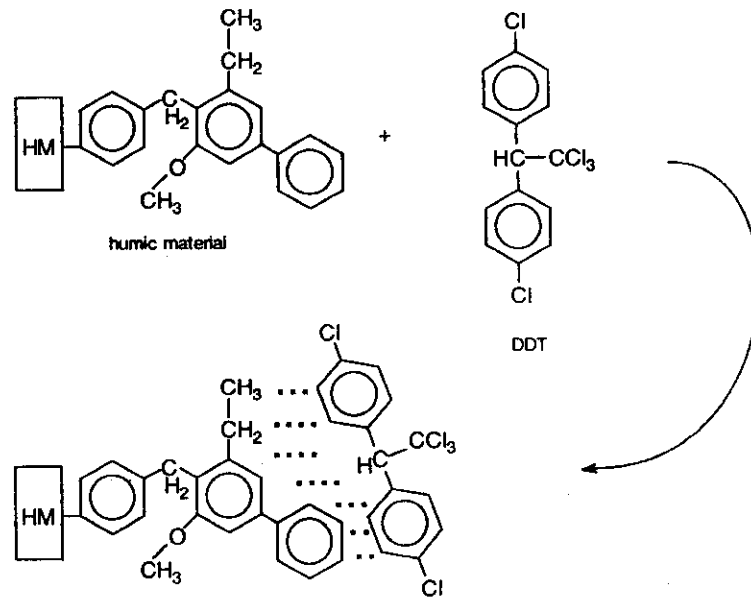
Depolymerise จะใช้ได้กับสารโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ -A-B-A-B-A-B- เช่น PET โมเลกุลของเมทานอล CH_3OH เกิดจากสารที่มี OH รวมกับสารที่มี CH_3 เพื่อให้เกิดการกลับมาเป็น monomer อีก จะต้องมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนดังปฏิกิริยา



ในกรณี PET นั้น B คือ $-\text{CH}_2\text{-CH}_2-$ และ A คือสาร terephthalate ที่มีโครงสร้างดังนี้

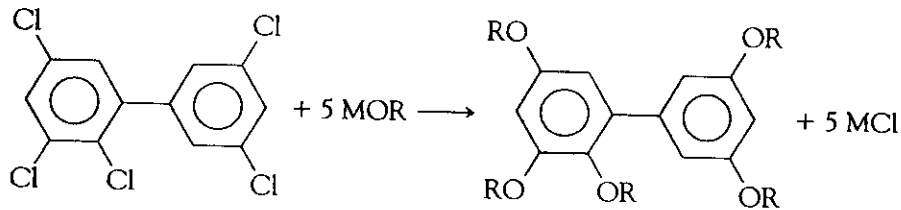


ง. ปฏิกริยาแบบไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic interactions) เป็นปฏิกริยาที่เกิดจากกับ โมเลกุลที่เป็นประเภทไม่มีขั้ว เช่น dichlorodiphenyl-trichloroethane (DDT) เข้าจับกับส่วนของไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลของสารฮิวมิก โดยปฏิกริยานี้จะเกิดโดยการปล่อยพลังงานออกเพื่อจะเคลื่อนจากตัวทำละลายที่เป็นน้ำเข้าไปอยู่ในสารฮิวมิก ปฏิกริยาที่เกิดดังสมการ



10.2.2 โลหะหนัก ประเภทที่สำคัญที่ตรวจพบในดินได้แก่ อาร์เซนิก ทองแดง โครเมียม และตะกั่ว โดยมีแหล่งที่มาต่างกัน ทองแดงและโครเมียมมาจากสารเคมีที่ใช้เพื่อรักษาเนื้อไม้ อุตสาหกรรมชุบโลหะอาร์เซนิกซึ่งจัดเป็นสารประกอบออร์แกนิกคลอไรด์ผสมในยากำจัดศัตรูพืชสารใช้รักษาเนื้อไม้ ในกรณีของดินตะกอนมักจะตรวจพบพวกตะกั่วและปรอทดังแสดงในรูป 10.2 ภาพรวมของโลหะหนักนั้นพบว่ามักจะมีปริมาณสูงจากกากของน้ำทิ้งมากกว่าในดิน เนื่องจากเป็นกากที่ได้จากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและบางครั้งก็มีมาจากบ้านเรือนด้วยโดยเฉพาะตะกั่วจากกากน้ำทิ้งของชุมชนบางครั้งพบว่ามีค่า 200-2,000 ppm

10.6.3 การใช้สารเคมีกำจัดคลอรีน (Chemical dechlorination) เป็นวิธีการกำจัดคลอรีน ที่มีอยู่ในขยะที่เป็นสารอินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PCBs จากหม้อแปลงซึ่งมีการใช้ทั่วไปใน โลกนี้ วิธีการโดยการแทนที่อะตอมคลอรีนด้วยสารเคมีทั่วไปที่ใช้คือ MOR, กลีโกลีเอท อริคัลกอฮอล์ของโลหะอัลคาไลน์ (โซเดียมหรือโพแทสเซียม) ปฏิกิริยาที่เกิดกลุ่ม OR จะเข้า แทนที่คลอรีนและกลายเป็นเกลือ MCl ดังสมการ

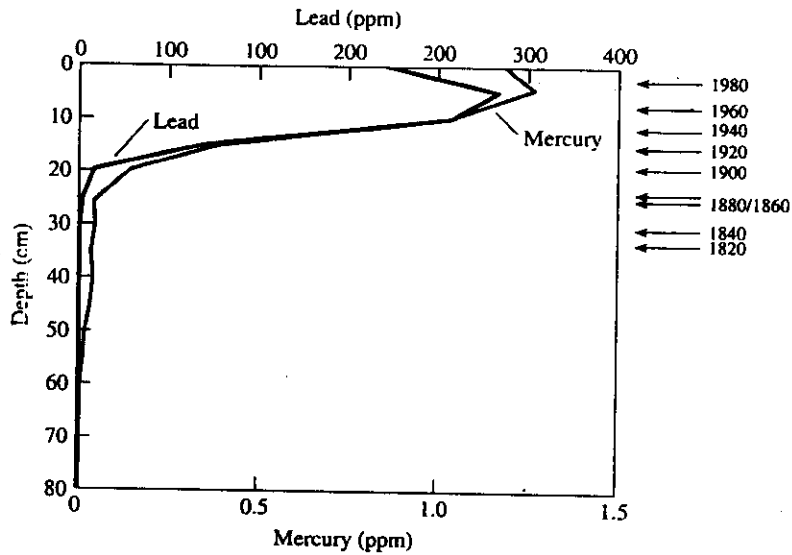


10.6.4 การนำของใช้ในบ้านและขยะกลับมาใช้ใหม่

การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีก วิธีการโดยการล้างกระดาษในน้ำโดยใช้เครื่องจักร จากนั้นจะเอาสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่ไฟเบอร์ออกไป จากนั้นสกัดเอาน้ำหมึกออกจากกระดาษโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนตโดยใส่ผงซักฟอกไปช่วยให้น้ำหมึกลอยขึ้นมา อาจมีการเติมเปอร์ออกไซด์และไฮโดรซัลไฟท์เพื่อให้กระดาษขาวขึ้น

การนำพลาสติกมาใช้ใหม่

ตารางที่ 10.7 แสดงประเภทพลาสติก และการนำกลับมาใช้ใหม่ในแบบต่างๆ ซึ่งในยุโรปและสหรัฐอเมริกานิยมใช้มากกว่าเนื่องจากข้อดีที่มีมากกว่าการฝังที่ต้องใช้เนื้อที่มากและการเผาที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศโดยเฉพาะจาก PVC ที่จะปล่อยไดออกซิน ฟوران และแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์



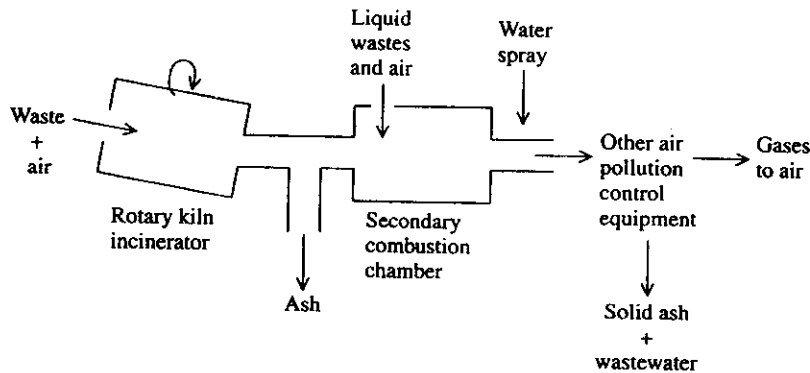
รูปที่ 10.2 ความเข้มข้นของสารปรอทและตะกั่วในดินตะกอน

สิ่งที่น่าเป็นห่วงคือ พืชผักที่เรารับประทานพบว่าจะสามารถดูดซึมโลหะหนักได้ ปริมาณหนึ่งด้วยเช่น จากการทดลองกับกะหล่ำปลีซึ่งดูดโลหะหนักจากดินเข้าในลำต้นได้

โลหะหนักจะถูกจับในดินและดินตะกอนได้ 3 วิธีคือ

1. การดูดจับ (adsorption) ซึ่งเกิดบนผิวของอนุภาคที่เป็นแร่ธาตุ เช่น ดินเหนียว
2. การเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) ซึ่งเกิดบนผิวของสารฮิวมิก
4. การตกตะกอน (precipitation)

1. การดูดจับ (adsorption) โดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุที่ผิวของดินกับโลหะหนักในสารละลายดิน ประจุลบที่อยู่บนผิวของคอลลอยด์ดินจะตอบสนองต่อการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยจะวัดจากค่า CEC ดังกล่าวในบทที่ 9 แล้วประจุลบที่เกิดบนผิวคอลลอยด์และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเกิดจากประจุลบรอบดินเหนียว หรือประจุลบของ hydrous Fe และ Al oxides ที่มีค่ามากกว่า 8 หรือประจุลบของสารฮิวมิกที่สภาวะเป็นค่าสำหรับสารฮิวมิกขนาดใหญ่ประจุลบที่เกิดจะมาจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลหรือหมู่ฟีนอลิก ความสามารถในการแข่งขันของแคทไอออนขึ้นกับค่าวาเลนซ์ ขนาดรัศมีไฮเดรตและชนิดหรือความเข้มข้นของไอออนอื่นที่มีในดิน ปกติแล้วไอออนที่มีค่าวาเลนซ์สูงจะมีความสามารถในการดูดจับได้มาก (ยกเว้น H^+ ที่มีความสามารถดูดจับได้เท่ากับพวกไอออนที่มีวา



รูปที่ 10.10 ไคอะแกรมแสดงส่วนประกอบของ rotary kiln incinerator

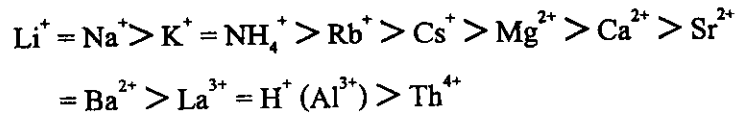
เป็นเวลาอยู่นานประมาณ 1 ชั่วโมงซึ่งจะพบว่าขยะส่วนใหญ่ถูกเผา ส่วนแก๊สที่ได้จะผ่านเข้าไปที่ห้องที่สองซึ่งให้ความร้อน $950-1200^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาอย่างน้อย 2 นาที และแก๊สร้อนนี้จะถูกทำให้เย็นลงทันทีที่ 230°C โดยการผ่านห้องที่ฉีดน้ำหล่ออยู่ ก่อนที่แก๊สและอนุภาคมลสารจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับกรดและ baghouse filter ก่อน

แบบ liquid injection incinerator กระบวนการนี้จะมีการพ่นขยะที่เป็นของเหลวให้เป็นฝอย ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 1600°C และมีการกำจัดแก๊สที่เป็นกรดโดยการทำให้เป็นกลางและผ่านถุงกรอง (bag house) ก่อนปล่อยอากาศ

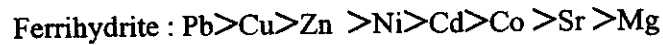
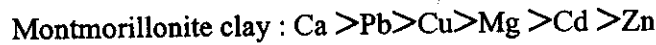
อย่างไรก็ตามพบว่าขยะจากชุมชนซึ่งรวมถึงขยะจากโรงพยาบาลนั้นในสหรัฐอเมริกาพบว่าเป็นแหล่งใหญ่ที่ก่อให้เกิดไดออกซินและปรอทปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

กระบวนการรีดักชัน ใช้ตัวรีดิวซ์เป็นตัวทำลายสารอันตราย ซึ่งพบว่าจะให้ข้อดีคือ จะไม่ก่อให้เกิดไดออกซินและฟูราน วิธีการนี้จะใช้แก๊สไฮโดรเจนที่ 850°C เพื่อทำปฏิกิริยากับขยะที่ถูกตัดให้เป็นฝอยและทำให้ร้อนก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มีในขยะจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน ส่วนออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์และคลอรีนจะถูกเปลี่ยนเป็นไฮไดรด์ กระบวนการรีดักชันนี้จะเกิดได้ดีขึ้นถ้ามีน้ำอยู่ด้วย ซึ่งจะให้มีเทนมากขึ้น แต่พบว่ากระบวนการนี้เป็นการเผาไหม้ในขณะที่ไม่มีอากาศจะก่อให้เกิด PAH วิธีป้องกันไม่ให้เกิดกระทำโดยการปรับให้ไฮโดรเจนมีปริมาณมากกว่า 50 % ก่อนปล่อยแก๊สจากกระบวนการนี้ต้องผ่านการจับแก๊สที่เป็นกรดและอนุภาคมลสารดังกล่าวแล้ว

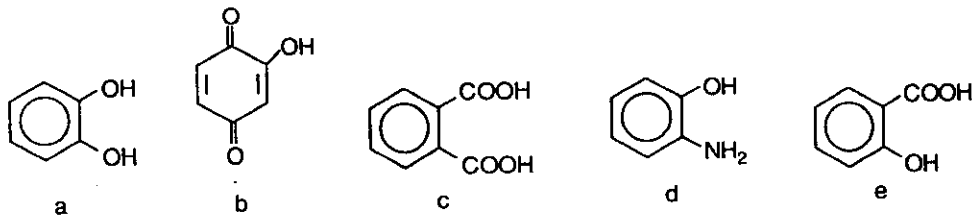
เลขซี = 3) และไอออนที่มีรัศมีของไฮเดรทใหญ่จะมีอำนาจในการดูดจับน้อยกว่าไอออนที่มีขนาดเล็ก สำหรับความสามารถในการเข้าแทนที่ของแคทไอออนต่างๆไปมีดังนี้



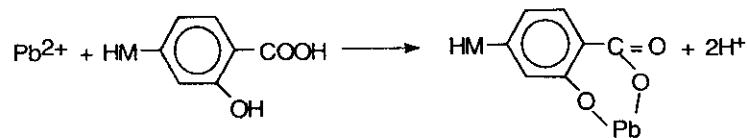
ถ้าพิจารณาตามชนิดของดินก็จะได้อันดับความสามารถในการเข้าแทนที่ของโลหะหนักในดินบางชนิดดังนี้



2. การเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation) พวกละหะหนักจะสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโมเลกุลของฮิวเมต เนื่องจากมีกลุ่มของสารฮิวมิกที่จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการให้สารเชิงซ้อนได้ดังนี้



โดยเฉพาะโครงสร้าง c(phthalate) และ e (salicylate) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลและหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งไอออนโลหะหนัก M^{2+} จะเข้าแทนที่สองไอออนของ H^+ เกิดเป็นระบบ stable six-membered ดังสมการ



10.6.2 เตาเผา (Incineration)

เป็นวิธีเฉพาะที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์หรือสารจากสิ่งมีชีวิตโดยการเผาไหม้ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ใช้สำหรับบำบัดขยะชุมชนและขยะประเภทที่เป็นอันตราย

เตาเผาขยะชุมชน ใช้ในการเผาขยะประเภทติดไฟได้ เช่น กระดาษ พลาสติกและไม้ ในระบบเตาเผาแบบนี้มี 2 ระบบที่ใช้ทั่วไป คือ หน่วยเผาขั้นตอนเดียว (one-stage mass burn units) และแบบเผาสองขั้นตอน (two-stage modular type) โดยแบบหลังจะมีการเผาขยะให้ไหม้ที่อุณหภูมิ 760 °ซ. และทำการเผาแก๊สและอนุภาคมลสารที่ได้จากตอนที่หนึ่งต่อในอุณหภูมิ 870 °ซ. ในท่อเผาที่สอง ผลที่ได้จากเตาเผาขยะชุมชนนอกจากจะเป็นแก๊สแล้วก็จะได้ขยะอยู่ในรูปของแข็งซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักขยะที่เผาไหม้ได้ ขี้เถ้าขยะที่อยู่ก้นของท่อเผาจะเป็นพวกที่ไม่เผาไหม้ ส่วนของเถ้าที่ลอยได้ (fly ash) ก็จะต้องมีภาชนะเก็บจับเพื่อป้องกันไม่ให้เล็ดลอดสู่อากาศซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งมากกว่า แก๊ส เช่น โลหะหนักที่ต้องได้รับการบำบัดออกก่อนที่จะนำไปฝังหรือกลบต่อ การใช้ระบบเตาเผาชุมชนพบว่าลงทุนหนักส่วนหนึ่งที่ตามมาด้วย คือ การบำบัดพวกแก๊สและสารมลพิษโดยอาจจะใช้ระบบ bag house filter และ gas scrubber ดังกล่าวแล้วในบทที่ 4

เตาเผาขยะที่เกี่ยวข้องกับสารอันตราย จะต้องเพิ่มสารให้ความร้อน โดยอาจจะใช้วิธีการเติมแก๊สธรรมชาติหรือน้ำมันปิโตรเลียมในขยะประเภทนี้ด้วยเพื่อให้เกิดการติดไฟ เช่น PCBs ซึ่งไม่สามารถจุดให้ติดไฟด้วยตัวมันเอง รวมถึงจะต้องให้ออกซิเจนมากพอที่จะถึงจุดที่จะเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ซึ่งอาจพิจารณาถึงการเผาไหม้ที่เพียงพอหรือไม่จากคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มากกว่า 100 ppm แสดงว่าเผาไหม้ไม่เพียงพอ

ตัวอย่างของการใช้เตาเผาสำหรับขยะอันตรายทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ แบบ rotary kiln และแบบ liquid injection

แบบ rotary kiln ดังในรูปที่ 10.10 จะใช้ได้กับขยะทุกแบบรวมถึงดินและสแลคซ์ ขยะถูกใส่ลงในท่อเผาที่มีความยาวมากกว่า 20 เมตร ซึ่งจะเป็นท่อที่เอียงประมาณ 5° จากพื้นราบ ดังนั้นขยะจะค่อยๆ ถูกหมุนและถูกเผาโดยกระบวนการออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 650-1100 °ซ.

องค์ประกอบที่มีผลต่อการเกิดสารเชิงซ้อน

ก. ธรรมชาติของไอออนโลหะ เนื่องจากการเกิดสารเชิงซ้อนข้างต้นนี้จะเกิดโดยเกี่ยวข้องกับเกิดการเกิดพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งพบว่าจะเกิดได้ดีกับไอออนของโลหะทรานซิชันที่เป็นโคเวเลนต์ ซึ่งได้แก่ Ca^{2+} หรือ Pb^{2+}

ข. ค่าพีเอชของสารละลายที่อยู่รอบๆ ค่าพีเอชต่ำจะมีไอออนของไฮโดรเจนมาทำปฏิกิริยากับโลหะหนัก ทำให้โอกาสการเกิดสารเชิงซ้อนเกิดได้น้อยลง

ค. กลุ่มของสารที่มีอยู่ ปกติการเกิดสารเชิงซ้อนที่ดินนั้น อัตราส่วนความจุของโลหะหนักต่อหมู่ของสารเคมีที่มีในดินเท่ากับ 1:1

3. ปฏิกิริยาการตกตะกอน (precipitation reaction) ตัวอย่างเช่น การตกตะกอนของไอออนปรอทและแคดเมียมในรูป HgS และ CdS และพบว่าความเข้มข้นของโลหะปรอทที่มีอยู่ในน้ำ (ในดิน) อาจจะมีปริมาณสูงมากเนื่องจากปรอทอาจอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายได้ปานกลางของ $\text{Hg}(\text{OH})_2$ แทนที่จะเป็นซัลไฟด์ สำหรับ Cd^{2+} พบว่าสภาวะเป็นกรดของดินจะชอบรวมตัวกับดินเหนียวและสารอนุภาคอื่นๆที่พีเอชมากกว่า 7 แคดเมียมจะตกตะกอนเป็นรูปซัลไฟด์คาร์บอเนตและฟอสเฟต โลหะหนักต่างๆไป จะไม่อยู่ในรูปไอออนอิสระจะรวมหรือจับกับสารในสถานะที่อยู่ เช่น ตะกั่วจะอยู่ร่วมกับสารอนุภาคอื่นทั้งหมด ส่วนประกอบสองในสามจะรวมตัวกับอนุภาคอื่น แต่สำหรับแคดเมียมนั้นจะเป็นชนิดที่รวมตัวกับอนุภาคน้อยมาก

10.2.3 ของเสียที่เป็นพิษ (Hazardous wastes) เป็นของเสียหรือขยะที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตได้ ซึ่งพบว่าขยะประเภทนี้มีการปนเปื้อนในดินอันก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางดินต่อประเทศ ตัวอย่างเช่น สหรัฐอเมริกาที่ได้มีการคาดหมายว่าที่กลบฝังของเสียที่เป็นพิษในปัจจุบันมีมากกว่า 50,000 แห่งและประมาณ 300,000 ถึง ได้เกิดการรั่วไหลของสารพิษแล้วไปปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ชนิดของของเสียที่เป็นพิษอาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ ชนิดติดไฟได้ (ignitable) ชนิดกัดกร่อน (corrosive) ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาได้ว่องไว และกัมมันตภาพรังสี โดยบางประเภทของสารพบว่ามีสมบัติมากกว่า 1 แบบรวมกันอยู่

ระหว่างที่มีการฝังขยะจะเริ่มมีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน และหลังจากนั้น 2-3 เดือน หรือ 1 ปี จะมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะก่อให้เกิดของเหลวและน้ำจากขยะที่เรียกว่า leachate ในสารละลายนี้มีสารละลายแขวนลอยและจุลินทรีย์อยู่ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ เช่น กรดอะซิติกและกรดไขมันต่างๆ แบคทีเรีย โลหะหนัก เกลือของไอออนอนินทรีย์ (เช่น Ca^{2+}) นอกจากนี้ยังให้โทลูอินและไดคลอโรมีเทนด้วย ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์มีผลให้ leachate มีความเป็นกรดมากขึ้นจึงทำให้ละลายพวกโลหะหนักออกมา ปริมาตร leachate พบว่ามีมากในช่วงที่กลบฝัง 2-3 ปีแรก และจะมีน้อยลงเรื่อยๆหลังจากผ่านไป 5 ปี

การควบคุม leachate จากที่กลบฝังจึงมีความจำเป็นมิฉะนั้นจะทำให้สารต่างๆ ที่เป็นพิษดังกล่าวมาแล้วเกิดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน โดยจะควบคุมดังนี้

1. กำจัดและรวบรวม leachate แล้วนำไปกำจัดต่อไป รวมถึงการตรวจวัดบ่อน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ๆ

2. ที่กันและข้างฝาของบ่อกลบฝังจะต้องใช้พลาสติกสังเคราะห์ เช่น high density polyethylene (HDPE) หรืออาจใช้ compacted clay ปูทับก่อน ปัจจุบันมีการใช้ bentonite clay ซึ่งเป็นตัวกันไม่ให้น้ำซึมและรวมตัวกับโลหะหนักได้ดี

ระบบการกลบฝังทางสุขาภิบาล จะมีชั้นที่หนาและจะกลบด้วยดินหนา 20 เซนติเมตรของทุกวันที่มีการทิ้งขยะ จะใส่ขยะในเซลล์และวางเรียงให้เต็มทีละชั้น (1 เซลล์จะเป็นขยะของ 1 วัน) เมื่อเต็มแล้วจะกลบฝังด้วยดินหรือดินเหนียวให้สูงประมาณ 1 เมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ฝนไปชะล้างและจะให้ได้ผลดีขึ้นจะใช้ geomembrane ปิดอยู่บนดินเหนียวด้วย

บริเวณที่กลบฝังขยะนั้นพบว่าหลังจากเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนจากกระบวนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนและจากการย่อยสลายของกรดคาร์บอกซิลิกและเอสเทอร์ในน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน(ตอนเริ่มต้น)

สารชนิดติดไฟได้ สารอินทรีย์ที่ติดไฟได้จะใช้ค่าจุดติดไฟ (flash point) ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ไอที่ได้จากของเหลวจะจุดแล้วติดไฟได้ ในสถานะที่มีออกซิเจนดังข้อมูลในตารางที่ 10.2 บางครั้งจัดสารอินทรีย์ที่มีค่าจุดติดไฟต่ำกว่า 60.5 °ซ เป็นของเหลวที่ติดไฟง่าย (flammable liquid) และพวกที่มีจุดติดไฟระหว่าง 60.5 °ซ ถึง 93.3 °ซ จะเรียกว่าเป็นพวกเผาไหม้ได้ (combustible)

ตารางที่ 10.2 Flash Point and Flammability Limits สำหรับสารบางชนิด

Substance	Flash Point (°C)	LFL in %	UFL in %
Methanol	+12	6.0	37
Acetone	-20	2.6	13
Diethylether	-43	1.9	36
Butane	-60	1.8	8.4
Toluene	+4	1.3	7.1
Methyl chloride	+333	10.7	11.4
Ammonia		16	25

Note: LFL and UFL refer to the lower and upper flammability limits, and are expressed in percentages by volume in air.

โดยค่า lower flammability limit (LFL) คือ ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนไต่ต่ออากาศที่จะจุดติดไฟ และค่า upper flammability limit (UFL) เป็นอัตราส่วนสูงสุดที่จะจุดติดไฟได้ สารอินทรีย์ที่ติดไฟทั่วไปที่กล่าวในตารางที่ 10.2 นั้นเป็นกลุ่มพวกน้ำมันและตัวรีดิซซึ่งจุดติดไฟในสถานะที่มีออกซิเจนในบรรยากาศ แต่พบว่าสารพิษบางชนิดที่เป็นตัวออกซิไดส์ก็สามารถทำหน้าที่เหมือนออกซิเจนในบรรยากาศและก่อให้เกิดการติดไฟได้เช่นกัน เช่น

- O₃ (โอโซน), H₂O₂ (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) และ N₂O (ไนตรัสออกไซด์)
- พวกฮาโลเจนได้แก่ Cl₂, F₂ และ Br₂
- สารประกอบไนเตรทได้แก่ HNO₃ (กรดไนตริก), NH₄NO₃ (แอมโมเนียไนเตรท)

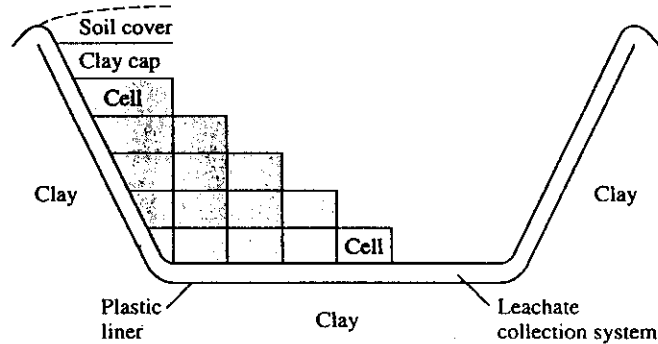
ระดับของสารโลหะที่เป็นพิษในดินจะสัมพันธ์กับแฟคเตอร์ต่อไปนี้คือ

- สมบัติทางธรณีเคมีของหินพบว่า บางประเภทมีโลหะเป็นพิษปะปนอยู่มากมาย เช่น ตะกั่ว โครเมียม นิกเกิล
- กระบวนการสร้างดิน
- กระบวนการกัดเซาะซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของดิน
- ประวัติของการใช้ดินที่มีมาก่อน

10.6 การควบคุมจัดการและกำจัดมลพิษทางดินและขยะ

10.6.1 การกลบฝัง แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ขยะของแข็งจากชุมชน (municipal solid waste , MSW) และการฝังของระบบสุขาภิบาล (sanitary landfill)

ขยะของแข็งจากชุมชน จะใช้วิธีกลบฝังในดินอาจเรียกว่า garbage dump หรือ rubbish tip โดยการขุดรูขนาดใหญ่ในดิน และกลบฝังด้วยดินและดินเหนียวหลังจากที่ขยะเต็ม วิธีการกำจัดขยะชุมชนโดยการกลบฝังนี้ถูกใช้ประมาณ 85-90 % ของขยะจากชุมชนในหลายประเทศ เช่น อังกฤษ และอเมริกาเหนือ เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นๆ การกลบฝังที่ทันสมัยมากขึ้นที่จะใช้รับขยะทั่วไป ซึ่งไม่รวมขยะอันตรายจะมีรายละเอียดดังรูป 10.9



รูปที่ 10.9 ส่วนประกอบของหลุมกลบฝังแบบใหม่

- กลุ่มสารที่มีคลอเรท ได้แก่ HClO_4 (กรดเปอร์คลอริก) และ NH_4ClO_4 (แอมโมเนียมเปอร์คลอเรท)
 - $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (โซเดียมไดโครเมท) และ KMnO_4 (โพตัสเซียมเปอร์แมงกานेट) ในรูปของแข็ง
- ดังตัวอย่างที่เกิดในเมือง oklahoma ปี 1995 ที่พบว่าแอมโมเนียมไนเตรทไปออกซิไดส์น้ำมันเชื้อเพลิงและทำให้เกิดระเบิดขึ้น

สารชนิดที่มีความว่องไว ได้แก่ กลุ่มที่เป็นสารก่อให้เกิดระเบิดรวมถึง TNT (ไตรไนโตรโทลูอิน) และไนโตรไกลเซอรินโดยจะเป็นสารที่มีโมเลกุลเฉพาะกล่าวคือ จะมีพันธะแบบโคเวเลนต์ที่ค่อนข้างอ่อนธาตุมีโอกาสดูดออกอย่างร้ายโดยกระบวนการคายความร้อน ชนิดพันธะดังกล่าวได้แก่

- พันธะที่อ่อนของ O-O (ความแข็งแรงเท่ากับครึ่งหนึ่งของ $\text{O} = \text{O}$) ใน ROOR (เปอร์ออกไซด์) และ ROOH (ไฮโดรเปอร์ออกไซด์)
- พันธะที่อ่อนของ N = N (ความแข็งแรงของพันธะอ่อนกว่า $\text{N} = \text{N}$) ได้แก่ C-N = N-C (สารประกอบฮาโซ), N-N = N (ไตรเอซีน) และ $\text{N} = \text{O} = \text{O}$ (ไนโตรออกไซด์)
- พันธะที่อ่อนของ C = O ในอัลคีน ($\text{C} = \text{C} = \text{C}$) และสารโพลิเมอร์
- พันธะที่อ่อนของ N-O ในสารประกอบไนโตร , พันธะฮาโลเจน-ออกซิเจน ในสารประกอบ เช่น อินเตอร์ฮาร์โลเจน , ไนโตรเจน ไตรเฮไลด์ และฮาโลเจนออกไซด์

สารอื่นๆ ที่ว่องไว ได้แก่ โลหะอัลคาไลน์ที่ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำหรือสารละลายกรดหรือเบสที่จะก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ หรือแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน ได้แก่ พวกกรดหรือเบสชนิดรุนแรง สารที่สามารถดึงน้ำได้ (dehydrating agents) และตัวออกซิไดเซอร์ กรดได้แก่ HCl (ไฮโดรคลอริก) , HF (ไฮโดรฟลูออริก) และ HNO_3 (ไนตริก) โดยเฉพาะไนตริกจะเป็นทั้งกรดและตัวออกซิไดส์เซอรัด้วย กลุ่มเบสได้แก่ NaOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์) และ KOH (โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์) ดังนั้นการใช้กรดและเบสพวกนี้จะต้องใช้ความระมัดระวังในปฏิกิริยาสะเทินเนื่องจาก

จากค่าตาราง 10.5 ค่า K_{ow} ของ Dieldrin = 10,000 แทนค่าในสูตร

$$BF = \frac{0.005}{0.66(0.01)} (10,000)^{0.08}$$

ดังนั้น $\frac{C_B}{C_S} = 1.59$

ดังนั้น $C_B = 5.6 \text{ mg kg}_1$

สำหรับ Atzazine คำนวณแบบเดียวกัน ได้ค่า $C_B = 12.7 \text{ mg kg}^{-1}$

10.5 ผลของมลพิษทางดินต่อระบบนิเวศน์และสุขภาพ

(Ecological and health effects of soil contamination)

มลพิษทางดินมีผลต่อ

1. ระบบนิเวศน์ในธรรมชาติ โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นแหล่งเกษตรกรรมซึ่งมักจะพบว่ามีการปนเปื้อนเป็นจำนวนมากหลังจากมีพายุหนัก เนื่องจากพายุลมและฝนได้พัดพาดินซึ่งมีสารมลพิษอยู่เข้าไปในแหล่งน้ำ บางกรณีถ้าความเข้มข้นของสารมีไม่มากนักพบว่าปลาอาจไม่ตายแต่จะส่งผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์ การเติบโต และลักษณะที่สำคัญทางชีววิทยา
2. ต่อสุขภาพมนุษย์ พบว่าสารมลพิษในดินจะผ่านเข้ามาร่างกายมนุษย์ได้โดยหลายวิธีดังนี้
 - ระเหยจากดินผ่านไปสู่น้ำปอดแล้วเข้าสู่ระบบเลือด
 - รวมกับอนุภาคมวลสารแล้วเข้าสู่ระบบหายใจ
 - เมื่อสัมผัสกับดินสารมลพิษจะเกิดการแพร่เข้าทางผิวหนัง
 - ปนเปื้อนในอาหารที่กิน

โดยพบว่าสารมลพิษต่างชนิดและต่างสถานที่จะมีวิธีทางผ่านเข้ามาร่างกายมนุษย์ได้ต่างกัน และผลกระทบส่วนใหญ่มักเป็นกับเด็กมากกว่า ตัวอย่างเช่น ตะกั่วซึ่งปนเปื้อนในดินเนื่องจากน้ำมันที่มีการใช้สารตะกั่ว หรืออุตสาหกรรมเหมืองแร่ ผลที่มีต่อเด็กที่สำคัญคือทำให้เด็กมีการพัฒนาทางสมองที่ไม่ดี

ในการจัดการปัญหามลพิษทางดินนั้น สิ่งที่ยากคือการคาดหมายระดับปริมาณสารพิษที่มีในดินปกติ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องหรือมาจากกิจกรรมมนุษย์

ให้ปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ปกติแล้วจะนิยมใช้สารที่จะใช้สะท้อน กรณีเป็นกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก หรือกรณีเป็นเบสจะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์แทน

สารที่เป็นกัมมันตภาพรังสี ปัญหาที่พบบ่อยมากในประเภทที่มีการใช้กัมมันตภาพรังสี เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการของอะตอมิกบอมบ์หรือไฮโดรเจนบอมบ์ที่กล่าวแล้วในบทที่ 5 โดยเฉพาะในอเมริกาซึ่งมีการใช้พลูโตเนียมมาถึง 50 ปีแล้ว ปัญหาคือที่เมืองวอชิงตันปัจจุบัน มีกากนิวเคลียร์มากมายที่เป็นรูปของแข็งประมาณว่ามีถึง 190,000 ตารางเมตร และที่อยู่ในรูป สารละลายถูกเก็บในดินถึง 760 ล้านลิตร

10.2.4 สารกลุ่มพีซีบี (Polychlorinated biphenyles) เป็นกลุ่มสารที่ปนเปื้อนมาในดินด้วยเนื่องจากอุตสาหกรรมต่างๆ ยังคงมีการใช้อยู่ในการทำหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ โดยพบว่าในหนึ่งหลอดจะมีการใช้สารพีซีบีประมาณ 20 กรัม หรือประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ ซึ่งถ้าคิดถึงการใช้อย่างหมดในประเทศที่พัฒนาแล้วปริมาณจะมีปริมาณมากมาย ปฏิกิริยาเคมีของพีซีบีได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5

10.2.5 ไดออกซิน ที่พบบ่อยในดิน คือ PCDD (Polychlorodibenzodioxins) และ PCDF (Polychlorodibenzofurans) มาจากกิจกรรมการเผาไหม้ โดยถ้ากล่าวโดยทั่วไป ปริมาณในดินยังมีปริมาณไม่สูงมากนักคือ ตามชนบทอาจมีประมาณ 90 ppt แต่ในสถานที่บางแห่ง เช่น ตามเมืองหลวงจะมีมากหลายเท่าตัว ซึ่งพบว่าในเขตเมืองหลวงนอกจากจะให้สารกลุ่มนี้แล้วยังพบสารเคมีอื่นๆ ที่ตามมาด้วย เช่น เขตเมืองที่มีการผลิตแก๊สจากถ่านหิน การถ่านหินซึ่งมักจะนำไปฝั่งนั้นยังประกอบด้วยฟีนอล , สาร PAHs และคอมเพลกซ์ขนาดใหญ่ของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วย ปฏิกิริยาเคมีและรายละเอียดไดออกซินได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 แล้ว

10.2.6 พลาสติก พลาสติกมี 2 ประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และ เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermosetplastics) โดยชนิดแรกจะเป็นสารโพลีเมอร์ที่หลอมเหลวและอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และจะแข็งตัวเมื่อทำให้เย็นลง ส่วนชนิดหลังจะเป็นสารโพลีเมอร์ที่ทนต่อความร้อนและสารเคมีได้แก่ เทฟลอน หรือโพลีเตตราฟลูออโรเอเทน เทอร์โมพลาสติกประเภทที่ใช้กันมากคือ polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride และ polystyrene ซึ่งมีสูตรทั่วไป

นั่นแสดงว่าถ้าพล็อตกราฟระหว่าง C_o และ C_w จะได้กราฟเส้นตรงที่ความเข้มข้นต่างๆ ถ้าให้ออกทานอลเปรียบเสมือนไขมันในสิ่งมีชีวิตดังนั้น

$$K_B = f_{lipid} K_{ow}^b$$

โดย f_{lipid} = lipid fraction และ ค่าคงที่ b คือ empirical nonlinearity constant ซึ่งพบว่ามีความเท่ากับ 0.95 สมการอื่นที่เกี่ยวข้องคือ

$$BF = C_B/C_S$$

โดย BF คือ bioaccumulation factor

$$\text{ถ้าคูณด้วย } \frac{C_w}{C_w} \quad \therefore BF = \frac{C_B}{C_w} \cdot \frac{C_w}{C_S} = \frac{K_B}{K_D}$$

จากหัวข้อ ก ได้ความสัมพันธ์ $K_D = x f_{OC} K_{ow}^a$ แทนค่า K_B และ K_D ในเทอม K_{ow} จะได้ว่า

$$BF = f_{lipid} K_{ow}^b / x f_{OC} K_{ow}^a$$

และ
$$BF = (f_{lipid} / x f_{OC}) K_{ow}^{b-a}$$

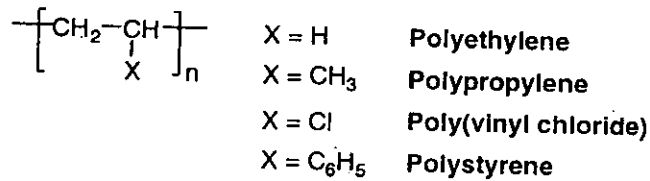
ค่าคงที่ไม่เป็นเส้นตรงในความสัมพันธ์ระหว่าง a และ b จะเข้าใกล้ unity ในกรณีนี้ค่า $a = 1.03$ ค่า $b = 0.95$ ดังนั้น $a-b = 0.08$ ซึ่งเกือบเท่าศูนย์แสดงว่า $K_{ow}^{0.08}$ เข้าใกล้ unity แทนค่าสมการบน

$$BF = (f_{lipid} / 0.66 f_{OC}) K_{ow}^{0.08}$$

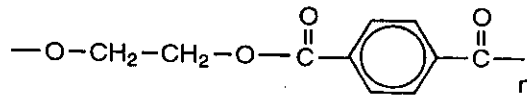
จากสมการนั้นแสดงว่าองค์ประกอบหรือปัจจัยของการสะสมสารจะขึ้นกับ K_{ow} หรือชนิดสารเคมีน้อยมากแต่จะขึ้นกับสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอัตราส่วนของไขมันในสิ่งมีชีวิตและปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน นั่นคือสมการนี้จะทำให้เราทราบถึงการสะสมของสารเคมีประเภทที่ละลายได้ในไขมันโดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินได้

ตัวอย่างการคำนวณ ในไร่แครอท (0.5% ไขมัน) ถูกปลูกในดิน (1% สารอินทรีย์คาร์บอน) และพบว่ามีการใช้สาร dieldrin และ atrazine เท่ากับ 3.5 mg kg^{-1} และ 10.0 mg kg^{-1} ตามลำดับ ให้คาดประมาณปริมาณการปนเปื้อนของสารในแครอท

$$\text{จาก } BF = \frac{y}{0.66 f_{OC}} K_{ow}^{0.08}$$



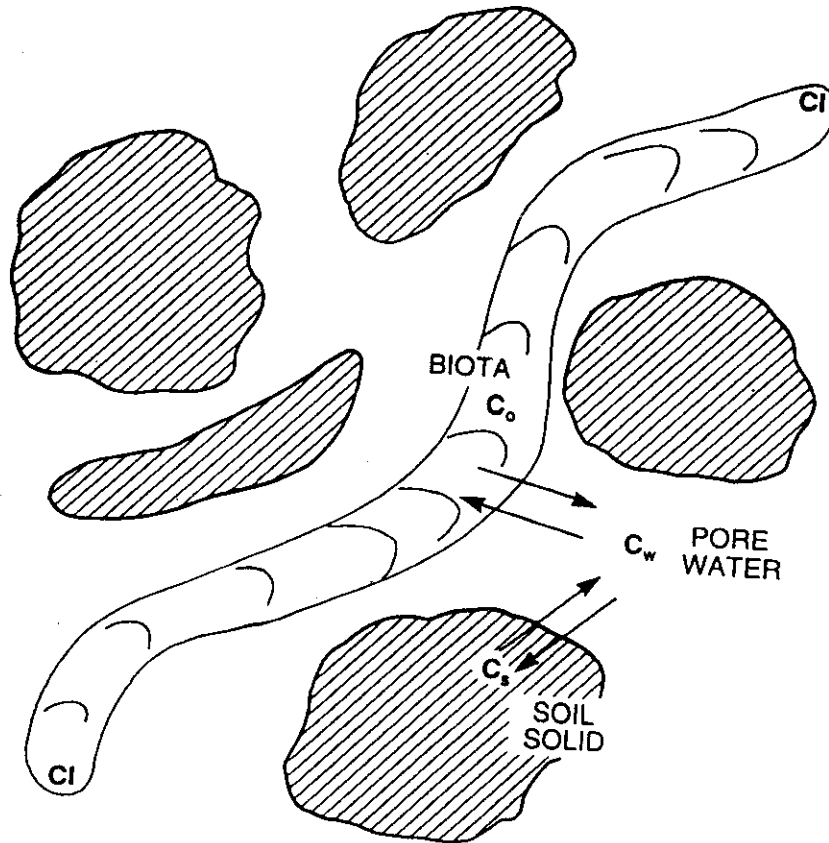
และ poly(ethylene) terephthalate (PET) ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้



PET or poly(ethylene) terephthalate

โดยการสังเคราะห์สารโพลีเมอร์อาจใช้วิธี condensation และ addition หรือ step growth polymerization หรือ cross-linking หรือ chain growth polymerization ซึ่งชนิดนั้นพบว่าอาจให้โครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขที่สังเคราะห์หึ่งจึงมีรูปแบบของสารโพลีเมอร์เกิดหลายแบบได้แก่ Linear low density poly (ethylene) หรือเรียกว่า LLDPE แบบที่สองคือ low density poly (ethylene) หรือ LDPE และแบบที่สามคือ high density poly(ethylene) หรือ HDPE ดังในรูป 10.3 สองแบบหลังเป็นชนิดที่ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันมากเช่นกัน

ชีวิตคังในรูปที่ 10.8 ซึ่งมีสามสถานะกล่าวคือ C_o เป็นความเข้มข้นของสารในสิ่งมีชีวิต C_w คือความเข้มข้นของสารในช่องน้ำที่อยู่ในดิน และ C_s คือความเข้มข้นของสารในของแข็งที่อยู่ในดิน



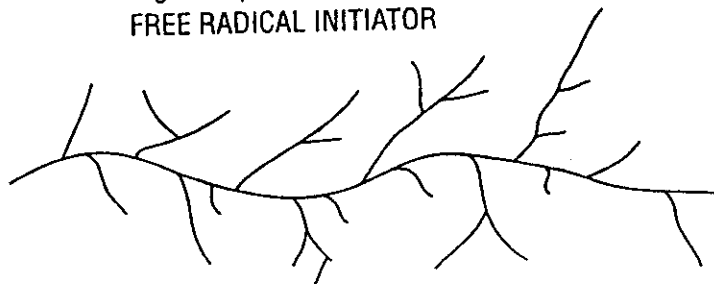
รูปที่ 10.8 กระบวนการกระจายในสามเฟสของสารปนเปื้อนจากดินสู่สิ่งมีชีวิตในดิน เช่น ไม้เต็ง

ถ้าสมมติให้ไขมันในสิ่งมีชีวิตคังสารอินทรีย์ที่ละลายในไขมัน ดังนั้นจะสามารถเขียนค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสาร (K_b) ได้ดังนี้

$$K_b = C_o / C_w \text{ ที่จุดสมดุล}$$

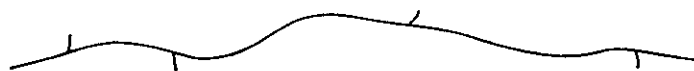
LOW DENSITY POLY(ETHYLENE) or LDPE

Conditions: High Pressure (1000 to 3000 atm)
High Temperature (200 to 300°C)
FREE RADICAL INITIATOR



HIGH DENSITY POLY(ETHYLENE) or HDPE

Conditions: Low Pressure (3 to 30 atm)
Low Temperature (50 to 120°C)
TRANSITION METAL CATALYST



LINEAR LOW DENSITY POLY(ETHYLENE) or LLDPE

Conditions: As for HDPE
ETHYLENE COPOLYMERIZED WITH SMALL AMOUNTS
(UP TO 10%) OF A 1-ALKENE SUCH AS 1-BUTENE



รูปที่ 10.3 แบบและชนิดการเกิดของโพลีเอทิลีนแบบต่างๆ

$$t_{\frac{1}{2}} = 1.58 \times 10^{-8} \left(\frac{K_{oc} \cdot S}{P} \right) \text{ วัน}$$

S หมายถึง aqueous solubility (mg L⁻¹)

P หมายถึง vapour pressure

การวัดค่าความเข้มข้นที่ลดลงของสารมลพิษในดิน โดยกระบวนการชะละลายและกลายเป็นไอจะคำนวณได้จากค่า MI (soil mobility index) คำนวณจาก

$$MI = \log \left[\frac{SV}{K_{oc}} \right]$$

S = water solubility (mg L⁻¹)

V = ความดันไอ ณ ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรอบๆ (mm)

โดยตัวเลขของค่า MI จะบอกพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของสารว่ามากน้อยเพียงใด ดังสรุปในตารางที่ 10.6

ตารางที่ 10.6

Interpretation of the Relative Mobility Index

Mobility index	Description
>5.00	Extremely mobile
5.00 to 0.00	Very mobile
0.00 to -5.00	Slightly mobile
-5.00 to -10.00	Immobile
<-10.00	Very immobile

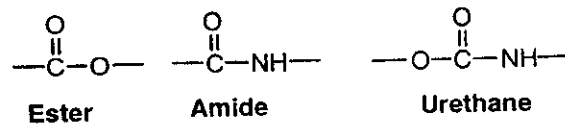
สารใดมีค่า MI ต่ำอย่างเช่น DDT มีค่า MI เท่ากับ -9.2 จึงจัดเป็นพวกไม่เคลื่อนที่นั่นแสดงว่า จะมีโอกาสปนเปื้อนในน้ำทุกระบบได้น้อย (ใต้ดินและบนดิน) ส่วนโทลูอินและเบนซีนจะตรงกันข้าม

ข. การแพร่กระจายสารในดิน/สิ่งมีชีวิต (The Soil/organism process)

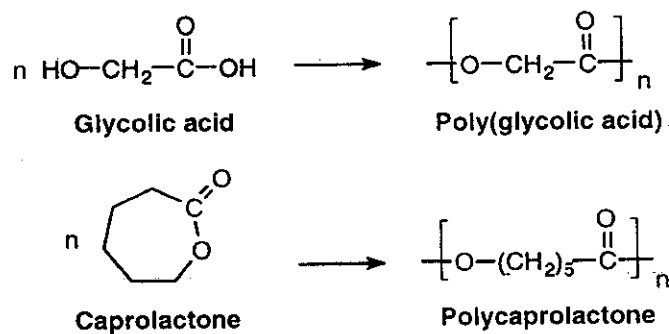
สิ่งมีชีวิตในดินที่จะศึกษาการแพร่กระจายของสารเข้าไปได้แก่ สัตว์ในดิน และพืช โดยเฉพาะที่รากของพืช แบบจำลองที่จะศึกษาการแพร่กระจายของสารจากน้ำในดินสู่สิ่งมีชีวิต

การสลายตัวของพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

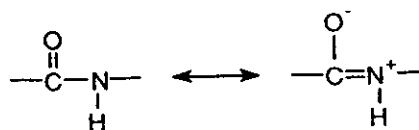
1. **Biodegradation** จะเกิดโดยพันธะของสารโพลิเมอร์จะถูกแตกออกโดยจุลินทรีย์ หรือสิ่งมีชีวิตที่สูงกว่าจุลินทรีย์โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง สารโพลิเมอร์สังเคราะห์จะสลายตัวทางชีววิทยาได้นั้นจะต้องมีกลุ่มที่สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้คือ เอสเตอร์ เอมีดและยูรีเทน



ตัวอย่างเช่น อะลิฟาติกโพลิเอสเตอร์พบว่าจะสามารถย่อยสลายได้ง่ายที่สุดโดยมีตัวอย่างของสารโพลิเมอร์นี้ 2 ชนิด คือ polyglycolic acid และ polycaprolactone ซึ่งเตรียมได้ดังนี้



สำหรับ polycaprolactone จะถูกย่อยสลายเมื่ออยู่ในดินภายใน 12 เดือน กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่ polyester ของ PET จะไม่ถูกย่อยสลายเนื่องจากมีวงแหวนอะโรแมติกที่แข็งทำให้การย่อยสลายเกิดยาก สำหรับ polyamide ก็พบว่าย่อยสลายได้ยากกว่า polyester เนื่องจากพันธะระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่แข็งดังนี้



และถ้า $f_{oc} = 0.04$ ค่า K_D ของ diazinon จะเท่ากับ 224

ค่า K_{ow} และ K_{oc} ยังใช้เป็นค่าที่จะบอกถึงพฤติกรรมของพวกสารอินทรีย์ในดินได้ โดยเฉพาะการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 10.5

ตารางที่ 10.5 สมบัติและพฤติกรรมในดินของสารเคมีบางชนิด

Compound	log K_{ow}	Water solubility (mg L ⁻¹)	log K_{oc}	$t_{1/2}$ (days)	VP ^a (mm)	MI ^b
Diquat	—	700,000	Highly sorbed to clay	—	—	—
Glyphosate	-1.7	1200	Highly sorbed to clay	50-70	—	—
Atrazine	2.75	30	2.0	1-8.0	3×10^{-7}	-5.4
Malathion	2.36	143	3.3	3-7	4×10^{-5}	-2.2
DDT	6.2	0.0032	4.8	700-6000	2×10^{-7}	-9.2
Dieldrin	4.3	0.17	4.0	175-1100	1×10^{-7}	-7.8
Toluene	2.69	515	3.5	4-22	10	3.16
Benzo(a)pyrene	6.0	0.004	5.5	57-490	—	—
Benzene	2.24	16.40	3.3	5-16	76	3.9

^a Vapor pressure.

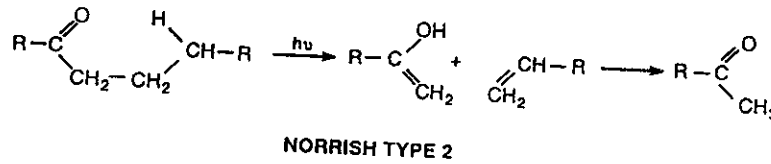
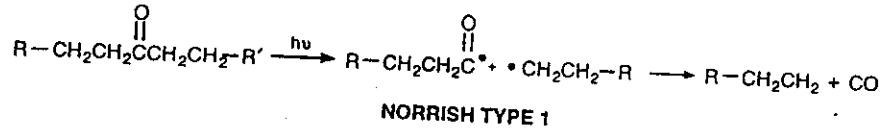
^b Mobility index.

โดยพิจารณาจากค่า K_{ow} จากตารางจะเห็นได้ว่า DDT, dieldrin และ benzo(a) pyrene จะดูดซับอย่างดีบนดิน ส่วนค่า K_{oc} ของ DDT, Dieldrin และ benzo(a) pyrene เท่ากับ 63,000, 10,000 และ 32,000 ตามลำดับ นั่นคือ พวกนี้จะดูดซับบนดินได้ดีแต่ถ้าพิจารณาคุณสมบัติการละลายในน้ำจะมีค่าน้อยกว่า 0.16 mgL^{-1} และเป็นสารไม่มีขั้วทั้งละลายในไขมันคั่งนั้นสารเหล่านี้จะไม่สามารถถูกจับด้วยดินที่มีส่วนประกอบเป็นดินเหนียวเลย (ซึ่งตรงข้ามกับ Diquat และ Glyphosate) แต่จะดูดซับอย่างดีในส่วนของดินที่ชอบไขมัน (lipophilic) คือสารชีวโมเลกุลในดิน ซึ่งสรุปได้ว่าดินเหนียวชอบที่จะดูดซับพวกสารอินทรีย์ที่มีขั้ว และพบว่ายังดูดซับพวกไฮโดรคาร์บอนของโลหะและสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก ส่วนสารชีวโมเลกุลในดินมีกลุ่มของสารที่ชอบไขมันโดยธรรมชาติแล้วคั่งนั้นจึงดูดซับพวกที่ไม่ชอบน้ำคั่งเช่น DDT และกลุ่มเดียวกันได้ดี

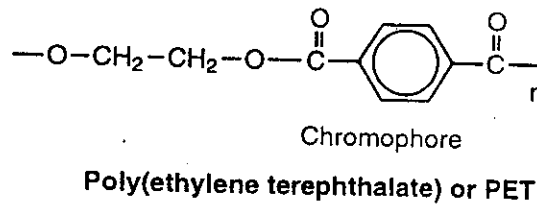
จากตารางนี้จะพบว่าการหายไปของดินโดยการกลายเป็นไอก็จะประมาณได้จากครึ่งชีวิต (half life, $t_{1/2}$) ซึ่งคำนวณได้จาก

2

2. **Photodegradation** จะเกิดการย่อยสลายโดยอาศัยแสงอาทิตย์ซึ่งจะเกิดได้กับสาร โพลีเมอร์ที่มีกลุ่มที่ดูดกลืนแสงได้ (Chromophore) โดยช่วงที่จะก่อให้เกิดการย่อยสลายด้วยแสงอาทิตย์จะมีตั้งแต่ 290 ถึง 450 nm โครงสร้างสารโพลีเมอร์ที่ดูดกลืนแสงได้คือ กลุ่มคาร์บอนิล ($>C=O$) ซึ่งดูดกลืนได้ในช่วง 330 ถึง 360 nm ซึ่งมี 2 แบบดังนี้



อะโรแมติกโพลีเอสเตอร์เช่น PET ก็สามารถถูกสารสลายตัวโดยแสงอาทิตย์ได้เนื่องจากมีกลุ่มคาร์บอนิลซึ่งจะดูดกลืนแสงได้ในช่วงมากกว่า 300 nm ดังนี้



แต่มีข้อยกเว้นว่าใน PET จะต้องมี UV Stabilizers อยู่ด้วย กลุ่มเทอร์โมพลาสติก เช่น polyethylene, polypropylene, poly (vinylchloride) และ polystyrene จะไม่ย่อยสลายโดยแสงเลยเนื่องจากไม่มีกลุ่มที่ดูดกลืนแสงได้

ถ้ากำหนดให้ค่าคงที่ x เป็น proportionality constant และ a คือ nonlinearity constant และพบว่าออกทานอล (octanol) มีสมบัติคล้ายกับสารอินทรีย์คาร์บอนดังนี้

$$K_{OC} = x K_{ow}^a$$

ดังนั้นหมายความว่าถ้าแทนค่า K_{OC} ในสมการ K_D จะได้ว่า

$$K_D = x K_{ow}^a f_{oc}$$

นั่นแสดงว่าค่า K_{OC} จะคำนวณได้จาก K_{ow} ของสารที่เราสนใจ สมการเอ็มไพริคัลอย่างง่ายของความสัมพันธ์นี้คือ

$$K_{OC} = 0.66 K_{ow}^{1.03}$$

นั่นคือค่าคงที่ $x = 0.66$ และค่าคงที่ $a = 1.03$ ถ้า take log ทั้ง 2 ข้างจะได้ว่า

$$\log K_{OC} = 1.03 \log K_{ow} - 0.18$$

จากสมการนี้จะสามารถหาค่า K_{OC} และ $\log K_{OC}$ ของสารได้ดังตัวอย่างในตาราง 10.4 ดังนั้นค่า K_D ก็จะสามารถคำนวณได้โดยใช้ค่า K_{ow} ของสารประกอบและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน

ตารางที่ 10.4

The K_{OC} Values for Some Compounds Calculated from the K_{ow} Value

Compound	K_{ow}	$\log K_{ow}$	K_{OC}	$\log K_{OC}$
Diazinon	8,000	3.81	5,600	3.74
Dieldrin	21,000	4.32	19,000	4.27
Tetrachlorophenol	174,000	5.24	165,000	5.22
Hexachlorobenzene	204,000	5.31	195,000	5.29

ตัวอย่างเช่น ดินที่มีสารอินทรีย์คาร์บอน 2% ($f_{oc} = 0.02$)

จะมีค่า K_D ของสาร diazinon เท่าใด

$$\text{จาก } K_D = x f_{oc} K_{ow}^a$$

$$x = 0.66, a = 1.03 \text{ และ } f_{oc} = 0.02, K_{ow} = 8,000$$

$$\therefore K_D = 0.66 \times 0.02 \times 8,000^{1.03}$$

$$= 112$$

10.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพื่อศึกษามลพิษทางดิน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างในดินจะเหมือนกับในน้ำและอากาศคือ ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การสกัดตัวอย่างสาร การทำความสะอาดและการตรวจวัด

สำหรับตัวอย่างดินทั่วไป จะมีเครื่องมือที่เรียกว่า auger เป็นลักษณะเหมือนสกรู เจาะลงไปดินเพื่อเก็บตัวอย่าง ปกติการเก็บตัวอย่างดินชั้นบนจะลึก 0.25 หรือ 5 เซนติเมตรจากดิน กรณีต้องการดูสารมลพิษที่เกิดจากอากาศสารมลพิษอื่นๆ อาจเก็บความลึก 2 ระดับคือ

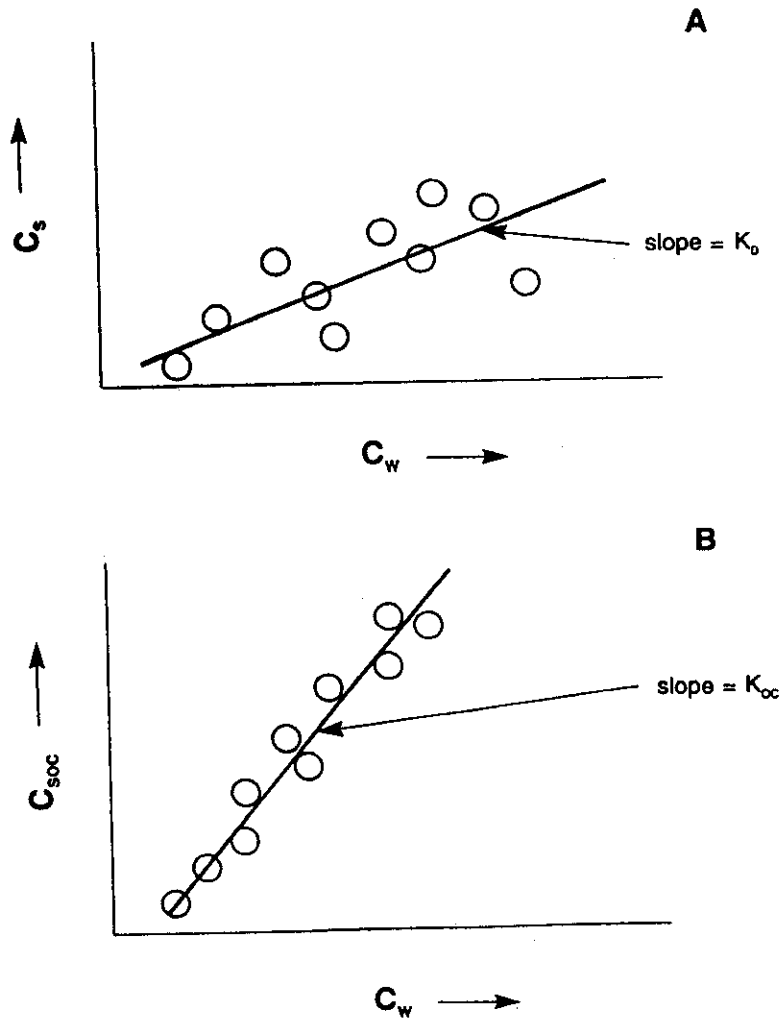
1. ดินชั้นบนลึก 0-15 ซม. (บางครั้ง 0-10 ซม.)
2. ดินในชั้นที่ลึกลงไป 15-30 ซม. และ 30-45 ซม.

ตำแหน่งที่เก็บโดย auger อาจเก็บทั้งหมด 25 จุด เป็นรูป X หรือ W เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนจริงๆ แล้วนำทั้ง 25 จุดมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง โดยวิธีที่นิยมเรียกว่า cone and quarter โดยใส่ตัวอย่างดินในภาชนะห่อที่เป็นรูปโคน จากนั้นแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน ดิน 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามให้นำมารวมกันและทำซ้ำเดิมอีกจนกระทั่งได้ตัวอย่างที่ต้องการปกติ จะใช้ประมาณ 1 กิโลกรัม ภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างดินที่จะวิเคราะห์โลหะควรจะใช้สแตนเลส และล้างด้วยอะซิโตนและน้ำคัลซิไอออไนซ์ 2 ครั้ง

การเตรียมตัวอย่างดิน บดดินให้ละเอียดเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันและเพิ่มพื้นที่ผิว โดยถ้าตัวอย่างของดินเปียกก็ต้องทำให้แห้งก่อนโดยเข้าเตาอบสูญญากาศ จากนั้นร่อนดินด้วยตาข่ายกรองที่ทำด้วยในลอนความถี่ 2 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์พวกโลหะต้องทำให้น้ำหนักคงที่และแห้งที่ 30-60 °C

การสกัดตัวอย่างสาร ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่จะวิเคราะห์

1. สารอินทรีย์ จะใช้หลักการ like dissolved like เช่น สารที่จะวิเคราะห์เป็นสารชอบน้ำ เช่น กรดอินทรีย์จะใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น เอทิลอะซิเตท และไดเมทิลอีเธอร์ หรือพวกชอบน้ำมัน เช่น ไตรกลีเซอไรด์จะใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน และ n-เฮปเทนเป็นตัวทำละลาย กรณีสาร PCBs และยาปราบศัตรูพืชจะสกัดโดยใช้ไอโซน-ออกเทน กลุ่มที่ระเหยได้ปานกลาง เช่น PAHs จะสกัดโดยใช้ไคลลอโรมีเทน กลุ่มสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จะใช้ตัวทำละลายพวกเฮกเซน



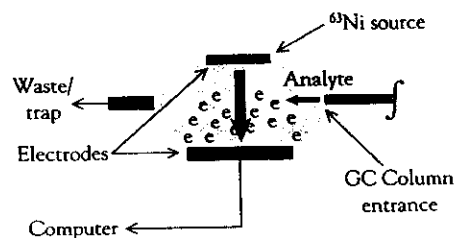
รูปที่ 10.7 ผลการทดลองการกระจายของสารที่ข่องน้ำมันในระบบดิน/น้ำ

2. พวกโลหะ จะสกัดด้วย chelating agent หรือกรด เช่น HNO₃, กรณีการสกัดพวกโลหะ เฉพาะ ถ้าต้องการสกัดโลหะทั้งหมดจะต้องใช้กรดแก่ที่ร้อน

การทำความสะดวกตัวอย่าง เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนการวิเคราะห์สารที่สนใจออกไป โดยนิยมใช้เทคนิคของการแยกตัวอย่างระหว่างสถานะของแข็งและของเหลว ที่เรียกทั่วไปว่า solid phase extraction (SPE) ซึ่งเหมือนกับการทำงานในคอลัมน์โครมาโตกราฟี โดยในคอลัมน์จะบรรจุของแข็งที่มีรูพรุนและสามารถจับสารอินทรีย์โดยอาจจะเป็นอลูมินา ซิลิกา หรือสารโคโพลีเมอร์ของสไตรีน ไคไวเนล เบนซีนที่มีขนาดรูใหญ่ (XAD resins) ซึ่งจะใช้ในการจับสารที่เราสนใจวิเคราะห์

การตรวจวัด

การตรวจวัดสารอินทรีย์ทั่วไปจะใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) โดยจะใช้ตัวตรวจจับที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาร เช่น กรณีสารประกอบพหุฮาโลเจนซึ่งได้แก่ กลุ่ม DDT หรือสารประกอบ PCBs จะใช้กับชนิดที่เรียกว่า Electron Capture Detector (ECD) โดยเมื่อสารประกอบถูกแยกออกจากคอลัมน์จากระบบโครมาโตกราฟีแล้วจะเข้าสู่ตัวตรวจจับ ECD ซึ่งมีหลักการในการตรวจวัดดังรูป 10.4



รูปที่ 10.4 แสดงหลักการการทำงานของ ECD

ส่วนใหญ่ ECD จะมีกัมมันตภาพรังสี Ni-63 เป็นตัวปล่อยอนุภาคเบต้าในอัตราที่สม่ำเสมอ หลักการทำงานโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่เกิดการขาดขวางเนื่องจากสารที่วิเคราะห์จะประกอบด้วยอะตอมที่ชอบอิเล็กตรอน เช่น ฮาโลเจน สัญญาณ ECD ที่ให้ออกมามากน้อย

การเคลื่อนที่ของสารเคมีสู่น้ำใต้ดินจะอาศัยการพาและเคลื่อนที่โดยเฟสของน้ำ ส่วนกระบวนการพามวลสารของส่วนอื่นจะเกิดเมื่อน้ำจากฝนพัดพาสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่หรืออยู่บนอนุภาคมวลสารในน้ำ

ก. กระบวนการแพร่ระหว่างดิน/น้ำ สารเคมีที่ไม่ละลายในน้ำเมื่ออยู่ในระบบดิน/น้ำ จะถึงสมดุลย์โดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลระหว่างสองเฟส ในกรณีนี้ความเข้มข้นของสารในของแข็งที่เป็นดิน (C_s) และในช่องของน้ำในดิน (C_w) จะมีค่าคงที่ ถ้าเขียนสมการในรูป

$$K_D = C_s / C_w$$

โดย K_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสารในชั้นของแข็งในดิน / น้ำในดินซึ่งจะหาค่าได้จากความชันของกราฟพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นทั้งชั้นของทั้งสองสถานะ และเนื่องจากสารอินทรีย์ในดินมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีที่ชอบละลายในไขมันดังนั้นจะได้สมการ

$$K_{oc} = C_{soc} / C_w$$

โดย K_{oc} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการกระจายสารในชั้นสารอินทรีย์คาร์บอน (C_{soc}) / ชั้นน้ำ (C_w) ซึ่งจะหาค่าจากค่าความชันของกราฟความเข้มข้นของสารในทั้ง 2 ชั้น ดังแสดงค่า K_D และ K_{oc} ในรูป 10.7 ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ของกราฟได้ค่า K_{oc} เป็น regression line ที่ดีกว่า K_D ถ้ากำหนดให้ f_{oc} เป็นค่า fraction ของสารอินทรีย์คาร์บอน ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าเท่ากับ 100 % ของสารอินทรีย์คาร์บอน ดังนั้นความสัมพันธ์อื่นที่จะเขียนได้

$$C_{soc} = C_s / f_{oc}$$

ดังนั้น $K_{oc} = C_s / f_{oc} C_w$

นั่นคือ $K_{oc} = K_D / f_{oc}$

และ $K_D = K_{oc} f_{oc}$

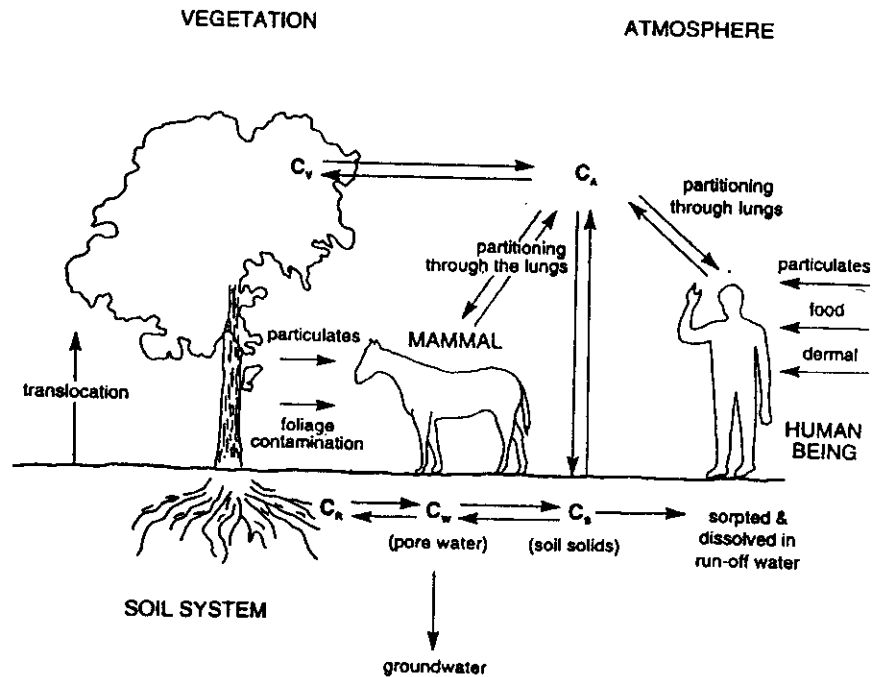
แคโทดก็จะขึ้นอยู่กับสารที่วิเคราะห์ โดยถ้ามีสารที่ขอบจับอิเล็กตรอน (เช่น ฮาโลเจน) มากก็จะให้สัญญาณออกมาเป็นต้น ชนิดแก๊สที่ใช้เป็นตัวนำสารใน GC ที่จะกับ ECD ใช้สารผสมของฮีเลียมและ 5 % ของสารที่ระเหยง่ายที่มีความเข้มข้นคงที่เช่น มีเทน

การตรวจวัดพวกโลหะหนัก จะสามารถใช้เทคนิค graphite furnace atomic absorption spectrometry (AAS) , หรือ inductively Coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) หรืออาจเป็น inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) โดยเฉพาะ 2 ชนิดหลังซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ธาตุหลายชนิดได้พร้อมกัน แต่พบว่าจะให้ค่า detection limit ที่ดีกว่าเมื่อวิเคราะห์โลหะหนักประเภทเดียวเช่นมีเฉพาะตะกั่ว

ICP-OES บางครั้งจะเรียก ICP-AES (inductively Coupled plasma atomic emission spectrometry) หลักการโดยการทำให้อะตอมในตัวอย่างเปลี่ยนเป็นที่อะตอมที่สภาวะเร้าโดยใช้แหล่งพลังงานสูง เช่น เพลวไฟสปาร์คหรือพลาสมา ทอช (plasma torch) ซึ่งจะใช้ความถี่ในช่วงวิทยุ (radiofrequency) เหนี่ยวนำอาร์กอนให้เกิดพลังงานออกมาที่มากกว่า 8,000 ° อะตอมในตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนไปที่ระดับพลังงานที่สูงขึ้น (สภาวะเร้า) หลังจากนั้นอะตอมเหล่านี้จะปรับตัวลงมาอยู่ที่สภาวะพื้นอีกโดยการปล่อยโฟตอนออกมาทันที พลังงานที่โฟตอนปล่อยจะมีค่าเท่ากับค่าพลังงานที่ต่างกันของสภาวะพื้นและสภาวะเร้า ซึ่งจะมีค่าเฉพาะสำหรับอะตอมแต่ละชนิด และเนื่องจากพลังงานโฟตอนมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่น (ดังกล่าวแล้วในบทที่ 2) จึงสามารถทำให้ศึกษาสมบัติของอะตอมในตัวอย่างได้ ในกรณี ICP แหล่งให้ความร้อนมีพลังงานสูงมากจากพลาสมา แสงที่ปล่อยจากไอออนของตัวอย่างจะถูกเก็บโดยผ่านเลนส์และกระจกและโฟกัสโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating) เกรตติงจะแยกลำแสงออกเป็นช่วง ความยาวคลื่นเดี่ยวๆ (เหมือนในกรณีการแยกแสงในปริซึม) และสุดท้ายแสงจะไปรวมกันที่ photomultiplier tube(PMT) ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแสงให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า ความยาวคลื่นและความเข้มของลำแสงของโฟตอนจะแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของธาตุในตัวอย่างโดย PMT นี้

การออกแบบ ICP เพื่อใช้งานมี 2 แบบคือ แบบ sequential spectrometer และ simultaneous spectrometer มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ แบบแรกจะประกอบด้วย PMT เพียงอัน

10.4 การแพร่กระจายของสารมลพิษในดิน (Distribution of soil contaminants) สารมลพิษในดินสามารถที่จะกระจายไปอยู่ในเฟสของสิ่งมีชีวิต บรรยากาศ ในดิน และน้ำได้ดังแสดงในรูป 10.5



รูปที่ 10.5 Distribution pattern of soil contaminants in soil ecosystems.

การกระจายของสารเคมีจะสัมพันธ์กันเป็นคู่และต่อเนื่องกัน โดยอาจแทนค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ น้ำ และของแข็งในดินแล้วได้ความสัมพันธ์ดังนี้

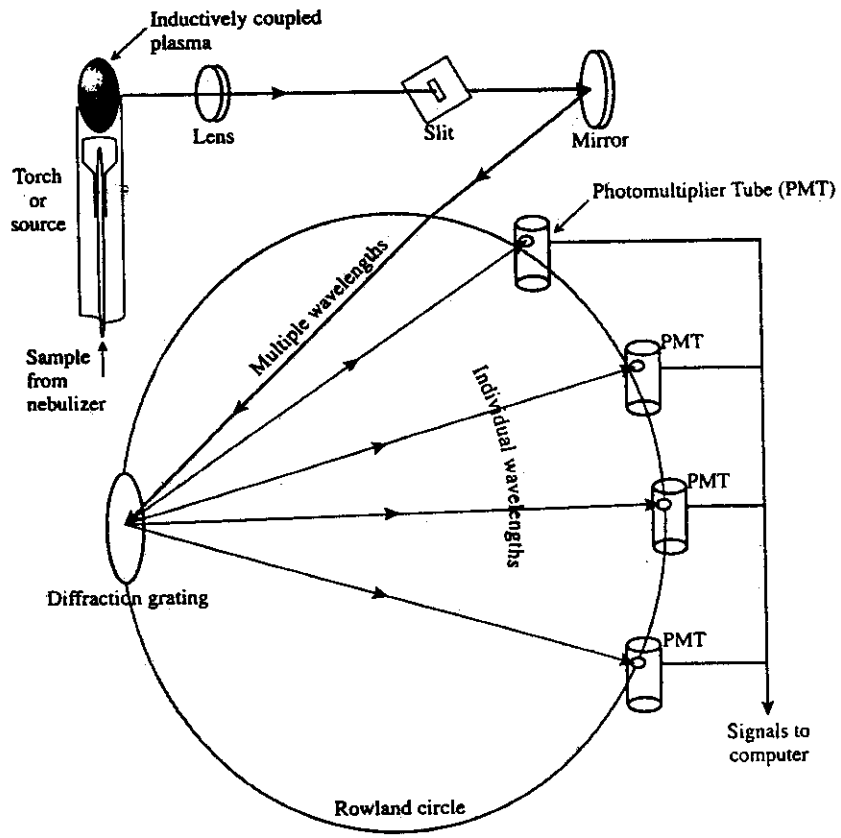
Atmosphere (C_A)
 $\downarrow \uparrow$
 Soil solids (C_S)
 $\downarrow \uparrow$
 Pore water (C_W)

เดี่ยว แต่แบบหลังจะมี PMT หลายตัว ดังแสดงในรูป 10.5 ดังนั้นลำแสงของความยาวคลื่นที่ถูกแยกออกมาจะมารวมกันที่ PMT ซึ่งมีหลายตัวในเวลาเดียวกัน ตัว PMT หนึ่งตัวจะตรวจวัดได้ถึงความยาวคลื่นหนึ่งแต่แบบ sequential spectrometer จะต้องอาศัยระบบการมองหา (scanning process) จากความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาเพื่อหาธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยใช้การหมุนตัวเกรตติ้งเลี้ยวเบนเพื่อแยกแสงที่ปล่อยออกมา ดังนั้นแบบนี้จึงใช้เวลานานกว่าแบบ simultaneous spectrometer แต่มีข้อดี คือ ราคาถูกกว่า

ตัวอย่างการศึกษาหาคะกำัวในตัวอย่างจากดินที่เก็บจากถนนในเมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ ในปี 1975 และ 1997 โดยใช้เทคนิค AAS และ ICP ดังในตาราง 10.3

ตารางที่ 10.3 แสดงปริมาณเฉลี่ยของตะกำัวจากดินในถนนเมืองแมนเชสเตอร์ (อังกฤษ)

Category	1975 ppm Pb (no. of samples)	1997 ppm Pb (no. of samples)
> 100 cars/hour	1001 ± 40 (180)	577 ± 53 (17)
< 10 cars/hour	933 ± 186 (53)	536 ± 93 (13)
Playgrounds, parks, gardens	1014 ± 206 (49)	572 ± 77 (47)



รูปที่ 10.5 แสดง ICP ประเภทที่เป็น simultaneous spectrometer