การฟื้นฟูมลพิษทางดินที่ปนเปื้อนกากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม
The Renewal of Soil Contaminated Industrial Hazard Wastes

นันทวุฒิ จำปางาม
Nuntawut Champar-ngam
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
Faculty of Public Health, Eastern Asia University

บทคัดย่อ

ปัญหาการขยายตัวของการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมส่งผลต่อการนำทรัพยากรมาใช้ในกระบวนการผลิต ส่งผลเสียต่อการตกค้างของกากของเสียที่บำบัดแล้วและยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ อากาศ พืช ตามมา ซึ่งในปัจจุบันการจัดการกากของเสียอันตรายที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ก่อให้เกิดการลักลอบฝังกลบหรือลักลอบทิ้งสารมลพิษในพื้นที่ที่ไม่ได้จัดเตรียมไว้ ก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณกากของเสีย การปนเปื้อนของสารอันตรายหลายชนิดลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดปัญหาต่อทรัพยากรธรรมชาติและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนหรือสัตว์เลี้ยงตามมา จากปัญหาดังกล่าว การหาแนวทางในการฟื้นฟูและจัดการกากของเสียอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมทางดิน โดยทราบแหล่งก่อกำเนิดมลพิษ กระบวนการเคลื่อนย้าย การสะสมสมสารมลพิษในทรัพยากรดินโดยเลือกใช้เทคโนโลยีในการจัดการที่เหมาะสม ทำให้ทราบแนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแนวคิดในการจัดการ การอนุรักษ์ทรัพยากรดินและทรัพยากรธรรมชาติต่อมลพิษทางดิน โดยเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมกับแหล่งก่อกำเนิด ที่มาของสารพิษ ประเภทของสารพิษปนเปื้อน เพื่อเป็นการประเมินค่าใช้จ่ายประเมินความเสี่ยงของประชาชนต่อการได้รับผลกระทบ และกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: การฟื้นฟู, มลพิษทางดิน, กากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม

Abstract

The expansion of industrial sector development effect to resources usage in process production. Furthermore this expansion cause the residue of treated and untreated waste is increase every year. Those waste also effect to environment, including soil, water, air, and plants. The current problem of management of hazardous waste is incorrect management according to academic principles such as illegal to landfill, dispose of pollutants in unprotected areas that make contamination to soil and groundwater. In addition, spoil waste accumulation. Likewise, make problem to natural resources and effect to the health both people and pets. So this problem, we finding how to restoration and hazardous waste management to environment especially, the soil is important. By knowing where's the source of pollution, how to transfer the pollutants accumulation in the soil with proper technology.

That's knowing how to restore environment and the concept which soil and natural resources management are choose the sustainable method for the source of the toxic contamination to assess the risk assessment costs of the people's vulnerability to the impact and guidelines for resources restoration, environment as well as Furth more including appropriate, compensation for the damages.

Keywords: the renewal, soil pollution, industrial hazard wastes

บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยสัดส่วนมูลค่าผลผลิตอุตสาหกรรมต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (ปี พ.ศ. 2555 ประมาณร้อยละ 34 หรือคิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 3.86 ล้านล้านบาท) และมูลค่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมต่อมูลค่าการส่งออกรวม มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมในขณะนี้แม้จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ประมาณร้อยละ 77.2 หรือคิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 5.647 ล้านบาท ในปี 2557 แต่ก็ยังคงต้องเผชิญกับปัจจัยความเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะทำให้ภาคอุตสาหกรรมชะลอตัว เช่น ความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงนโยบายทางการเมือง (political instability) หรือการที่ประเทศไทยเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community--AEC) ต้องมีการแข่งขันที่รุนแรง มีการแย่งชิงทรัพยากรในการผลิตมากยิ่งขึ้นหรืออาจจะต้องเผชิญกับความเสี่ยงจากภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีความถี่และความรุนแรงสูงขึ้น เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วม เป็นต้น ความเสี่ยงจากจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของผู้ประกอบการอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันจะเชื่อมโยงกับแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าตลอดจนการดูแลและการบริหารจัดการกากของเสียที่เกิดจากภาคการผลิต เพื่อมิให้ภาคอุตสาหกรรมดำเนินการใด ๆ ในอันที่จะเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย หรือก่อให้เกิดความเดือดร้อนกับภาคส่วนอื่น ๆ (Department of Industry Works, 2015) จากการพัฒนาเศรษฐกิจส่งผลต่อการใช้ทรัพยากร มีการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแหล่งรองรับของเสียมากที่สุดคือทรัพยากรดินทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยวิธีการจัดการและฟื้นฟูดินปนเปื้อนสารพิษต้องใช้ระยะเวลา วิธีการ เทคโนโลยีขั้นสูง และใช้ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนาในการลงทุนสูงส่งผลให้ปัญหาทางด้านมลพิษทางดินที่ปนเปื้อนกากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรมถูกมองข้าม หรือแก้ไขไม่ตรงตามหลักวิชาการจนก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของดิน

ดังนั้นปัจจุบันปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน นับเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่หลายฝ่ายต่างให้ความสนใจ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวล้วนสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ระบบนิเวศ สุขอนามัยและการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ตามมา ทั้งนี้กระบวนการในการจัดการมลพิษทางดินจำเป็นจะต้องมีการศึกษาและหาแนวทางในการจัดการ วิธีการ และเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการแหล่งกำเนิดของเสียและพื้นที่ปนเปื้อนไม่ให้ส่งผลต่อความเสี่ยงของประชาชน และสามารถกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสมต่อไป

ปัญหามลพิษทางดินจากภาคอุตสาหกรรม

1. ความหมายและสาเหตุของการเกิดมลพิษทางดิน

1.1 ความหมายของมลพิษทางดิน

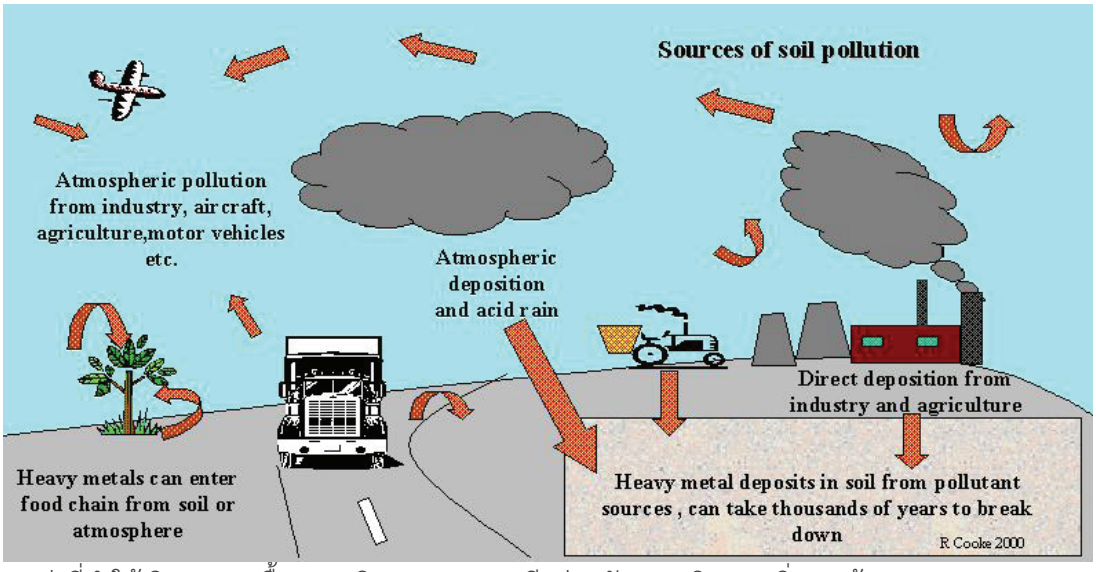
มลพิษทางดิน หมายถึง ดินที่เสื่อมค่าไปจากเดิม และหรือมีสารมลพิษเกินขีดจำกัดจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และพลานามัย ตลอดจน การเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม (Chankaew, 1987)

ดังนั้นมลพิษทางดิน (soil pollution) หมายถึง ดินที่เสื่อมค่าไปจากเดิมและหรือมีสารมลพิษเกินขีดจำกัด จนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และพลานามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช และสัตว์ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม โดยการกระทำของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศดินในทางที่ทรุดโทรม หรือไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตในดินอาศัยอยู่ ก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม รวมถึงสร้างความเสียหายในภาคการเกษตรที่เป็นแหล่งวัตถุดิบส่งต่อในภาคอุตสาหกรรม นอกจากผลกระทบจะต่อสภาพแวดล้อมยังส่งผลต่อสุขภาพและอนามัยของสิ่งมีชีวิต การเจริญเติบโตและการเจริญพันธุ์ ของสิ่งมีชีวิต

1.2 สาเหตุการเกิดมลพิษทางดิน

มลสารที่ก่อให้เกิดมลพิษดินสามารถจำแนกได้ 3 พวกคือ (1) มลสารที่มีชีวิต (biological contaminants) เช่น พยาธิ แบคทีเรีย ไวรัสต่าง ๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในดิน (2) มลสารเคมี (chemical contaminants) เช่น สารอนินทรีย์บางชนิด ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดดินเค็ม หรืออินทรีย์สารประเภทยาฆ่าแมลง ซึ่งจะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามลำดับชั้นของผู้บริโภค (3) มลสารกัมมันตรังสี (radiological contaminants) เช่น สารจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ และเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งหากมีสารเหล่านี้ตกค้างในดินสูง จะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตบางชนิดเกิดการกลายพันธุ์ได้

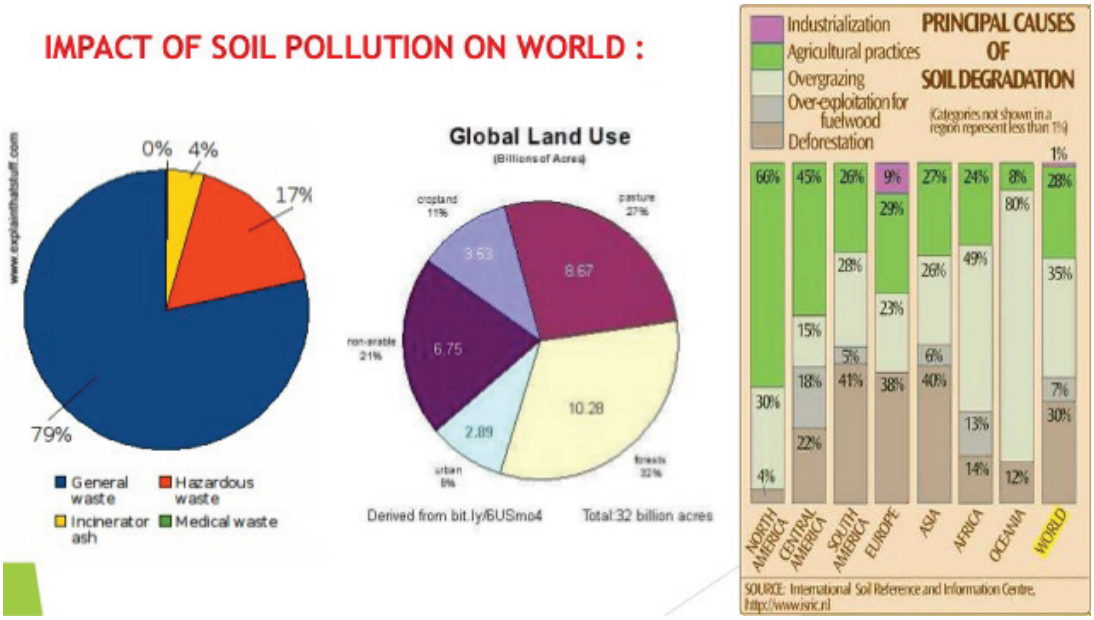
สาเหตุในการเกิดมลพิษทางดิน สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังนี้ (1) ดินเสียโดยธรรมชาติ ตัวอย่าง เช่น ปัญหาดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินพรุ หรือดินอินทรีย์ ดินที่มีสารกัมมันตรังสี และดินที่เจือปนด้วย โลหะหนัก เป็นต้น (2) ดินเสียเพราะการกระทำของมนุษย์ (ภาพ 1) ดังเช่น การใช้ปุ๋ยเคมีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (1) ปุ๋ยเคมีที่ประกอบด้วยธาตุหลักสำคัญของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ดินเปรี้ยว มีสภาพความเป็นกรดสูง (2) การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (pesticides) ทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมสารเคมีที่มีผลตกค้างนาน เช่น สารประเภทคลอรีนอินทรีย์ (organochlorine) เป็นต้น และสารประเภทอนินทรีย์ที่ใช้ธาตุพิษเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สารหนู ทองแดง ปรอท ฯลฯ การปล่อยให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการชะล้างผ่านสารเคมีต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น สารพีซีบี (PCB) ที่ใช้ในการผลิตสีและพลาสติก สารเอชซีบี (HCB) ที่ใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์ การใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทิ้งวัสดุเหลือใช้อันตรายซึ่งยากต่อการย่อยสลาย จะเกิดการสะสมในดินจนทำให้เกิดภาวะมลพิษดิน การรั่วไหลสารกัมมันตรังสี จากการทดลองหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณู สารกัมมันตรังสีจะถูกดูดซึมไปอยู่ในใบและดอกของพืช แล้วผ่านทางห่วงโซ่อาหารมาจนกระทั่งถึงตัวมนุษย์ การทำเหมืองแร่แทบทุกชนิดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นทรัพยากรดิน หรือทรัพยากรน้ำที่จะต้องเกิดการปนเปื้อนและก่อให้เกิดมลพิษในอากาศด้วย



ภาพ 1 แหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษจากกากของเสียต่อทรัพยากรดิน และสิ่งแวดล้อม
ที่มา จาก *Land pollution*, โดย The University of Reading ECIFM, 2018, สืบค้นจาก http://www.ecifm.rdg.ac.uk/landpollution.htm

2. มลพิษทางดินจากกากของเสียและสิ่งปฏิกูล

กากอุตสาหกรรมและสิ่งปฏิกูล หมายถึง กากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต การเก็บวัตถุดิบจนเสื่อมสภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือเสื่อมสภาพ ภาชนะบรรจุที่มีของปนเปื้อนและของเหลือใช้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย หมายถึง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ไม่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตรายหรือมีลักษณะเช่นเดียวกับมูลฝอยชุมชน (2) กากอุตสาหกรรมอันตราย หมายถึง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตรายหรือมีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังนี้สารไวไฟ สารกัดกร่อน สารพิษ สารที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่เป็นสารอันตรายเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ปัญหาการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้น สืบเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น โรงงานผู้ก่อกำเนิดของเสีย (waste generator) อาจไม่มีความรู้ความเข้าใจหรือไม่สนใจกฎหมายเท่าที่ควร ทำให้ไม่ส่งของเสียกำจัดหรือบำบัดตามที่ได้รับอนุญาต หรือไม่แจ้งการขนส่ง ขณะที่ผู้รับบำบัดหรือกำจัดกากอุตสาหกรรม (waste processor) รวมถึงผู้ประกอบการขนส่ง (waste transporter) ก็ไม่แจ้งการรับของเสีย ไม่มีการจัดการของเสียอย่างถูกต้อง หรือของเสียไปไม่ถึงผู้รับกำจัดปลายทาง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรม ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบที่ตามมาอีกมากมายอาจกล่าวได้ว่าแนวโน้มการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรมยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องในปัจจุบันและอาจพบเห็นข่าวเป็นระยะ ๆ ซึ่งเกี่ยวเนื่องจากการจัดการที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการและกฎหมาย โดยมักจะเกี่ยวข้องกับฝ่ายต่าง ๆ ได้แก่ (1) ผู้ก่อกำเนิดของเสีย (Waste generator--WG) (2) ผู้รวบรวมขนส่ง (Waste transporter--WT) (3) ผู้รับบำบัดหรือกำจัดกากอุตสาหกรรม (Waste processor --WP) และ (4) กรมโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้กำกับดูแล (Waste regulator--WR) การลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรมก่อให้เกิดผลกระทบตามมามากมาย เช่น มลพิษที่เกิดจากกากอุตสาหกรรมและสิ่งปฏิกูล



ภาพ 2 ผลกระทบของปัญหามลพิษทางดิน จากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก

ที่มา จาก *Soil pollution*, โดย Saikrishnagrandhe, 2015, สืบค้นจาก https://www.slideshare.net/saikrishnagrandhe/soil-pollution-54019476

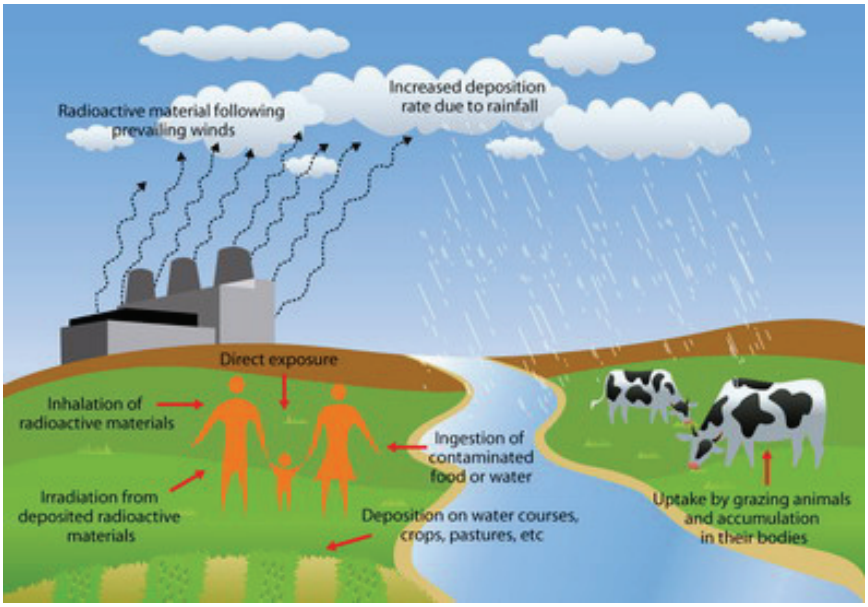
3. มลพิษทางดินจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

การปล่อยให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิต น้ำเสียส่วนใหญ่ที่มาจากกระบวนการเหล่านี้จะเกิดการชะล้างผ่านสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงการทำความสะอาดโรงงาน รวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานปลาป่น โรงงาน ผลิตภัณฑ์นม โรงโม่แป้ง โรงงานทำอาหารกระป๋อง ส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์พวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรตปนอยู่มาก สารอินทรีย์ที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งนี้ก็จะถูกย่อยสลาย ทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยจากชุมชน นอกจากนี้อาจมีสารพิษชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วย ขึ้นอยู่กับประเภท และขนาดของโรงงาน เราสามารถแยกประเภทอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำได้ดังนี้ (1) อุตสาหกรรมอาหาร น้ำทิ้งมักมีสารอินทรีย์สูงมากทำให้ O_2 ในแหล่งน้ำน้อยลง (2) อุตสาหกรรมเส้นใย ของเสียเกิดจากสารเจือปนที่มีอยู่ในเส้นใย (3) อุตสาหกรรมกระดาษ น้ำทิ้งของอุตสาหกรรมประเภทนี้มักส่งกลิ่นเหม็น สีที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะสกัดกั้นการสังเคราะห์แสงของพืช (4) อุตสาหกรรมปิโตรเลียม น้ำทิ้งมีสารประเภทไฮโดรคาร์บอนและกรด (5) อุตสาหกรรมเคมี น้ำทิ้งจะเป็นพวกกรดและด่าง (เบส) (6) อุตสาหกรรมยางและพลาสติก น้ำทิ้งจะมีค่า BOD สูง (7) อุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนังมีฤทธิ์เป็นด่าง (8) การคมนาคมทางน้ำ ในการเดินเรือตามแหล่งน้ำ ลำคลอง ทะเล มหาสมุทร มีการทิ้งของเสียที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งถ้ามีโอกาสรั่วไหลลงน้ำได้และมีจำนวนมาก ก็จะทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจน และเป็นผลเสียต่อระบบนิเวศและส่งผลต่อการปนเปื้อนในดินซึ่งเป็นที่รองรับสุดท้ายของระบบนิเวศ (Bansomdejchaopraya Rajabhat University, 2018)

4. มลพิษทางดินจากสารเคมีอุตสาหกรรม

สาเหตุของการเกิดมลพิษทางดินส่วนใหญ่เกิดจากมนุษย์ ที่ใช้ประโยชน์จากสารเคมีด้านต่าง ๆ การใช้ปุ๋ยเคมีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตรแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (1) ปุ๋ยเคมีที่ประกอบด้วยธาตุหลักสำคัญของพืช เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ดินเปรี้ยว มีสภาพความเป็นกรดสูงไม่เหมาะสมแก่การปลูกพืช ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ การเพาะปลูก

ที่ไม่ถูกวิธีทำให้ดินเกิดการเสื่อมโทรม หรืออาจเกิดจากธรรมชาติเป็นผู้ทำลายทรัพยากรดินได้ (2) การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (pesticides) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีฤทธิ์ทำลายสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นชนิดที่ให้ประโยชน์หรือโทษต่อการเกษตรกรรมแม้แต่ผลกระทบต่อมนุษย์ด้วยสารเคมีที่สลายตัวได้ช้าจะตกค้างในดิน เช่น สารประเภทคลอริเนเตรทไฮโดรคาร์บอนหรือออร์กาโนคลอรีน (organ chlorine) เป็นที่สารประกอบด้วยอะตอมคลอรีน (Cl) ได้แก่ ดีดีที (DDT) ที่ใช้ในการเพาะปลูกการควบคุมการแพร่ระบาดของมาลาเรีย และการควบคุมแมลงอื่น ๆ ดิลดรีน (dieldrin) ที่ใช้ในกำจัดแมลงในการเกษตรและกำจัดปลวก อัลดรีน (aldrin) ที่ใช้ในการเพาะปลูก กำจัดปลวกและแมลง การสะสมของสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชต่าง ๆ จะทำให้เกิดมลพิษทางดินและการสะสมในดินต่อไป (Institute for Innovative Learning, Mahidol University, 2018)



ภาพ 3 การเคลื่อนย้ายสารพิษออกสู่บรรยากาศก่อให้เกิดมลพิษทางดิน
ที่มา จาก *Nuclear event and food safety*, โดย Centre of Food Safety, (2018), สืบค้นจาก http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/ programme_rafs_fc_01_30_Q&A_2.html

5. มลพิษทางดินจากอากาศเสีย

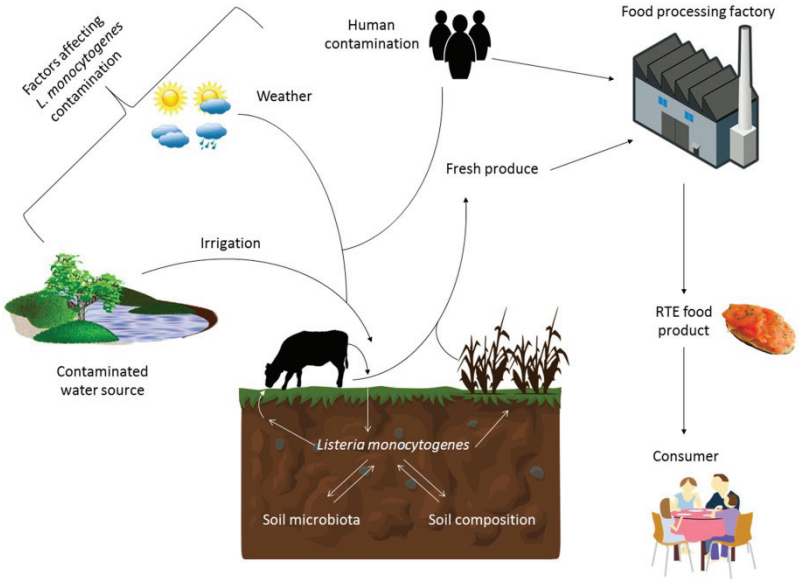
จากภาพ 3 แสดงการเคลื่อนย้ายสารพิษของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ไม่มีการจัดการอย่างถูกต้องอาจปล่อยสารกัมมันตภาพรังสีสร้างขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ออกสู่พื้นที่โดยรอบที่มีสารกัมมันตภาพรังสีซีเซียมและกัมมันตภาพรังสีไอโอดีน ออกสู่ชั้นบรรยากาศ สารไอโซโทปในกัมมันตภาพรังสีที่เป็นก๊าซและสารระเหยบางชนิดอาจถูกพัดผ่านไปได้ วัสดุกัมมันตภาพรังสีที่มองไม่เห็นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับขนนกหรือเมฆควันกระจายตัวไปสู่ชั้นบรรยากาศโดยบางส่วนจะตกลงบนพื้นดินส่งผลต่อการปนเปื้อนในดิน

ผลกระทบของปัญหามลพิษจากภาคอุตสาหกรรม

1. ผลกระทบของสารพิษในห่วงโซ่อาหาร

ในการเคลื่อนย้ายสารพิษและเชื้อโรคในห่วงโซ่อาหาร โดยยกตัวอย่าง การดำรงชีวิตของเชื้อโรค *L. monocytogenes* ในดิน ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบของดินและการอยู่รอดของจุลชีพต่าง ๆ ในดิน ส่งผลต่อการคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมของเชื้อโรคนี้ ผลที่มาจากสภาพอากาศ (แสงแดดและฝน) การชลประทานจากแหล่งที่ปนเปื้อน รวมถึงการปนเปื้อนในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์ ส่งผลเสียต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยเชื้อสามารถปนเปื้อนเชื้อโรคนี้ได้

ณ จุดเก็บเกี่ยวนี้ สามารถนำเชื้อโรคเข้าไปในสภาพแวดล้อม การแปรรูปอาหารหรือผลิตผลสามารถปนเปื้อนได้ หากไม่มีการทำความสะอาดที่เพียงพอและการปนเปื้อนในระดับอนุภาคขนาดเล็กในสารละลายดิน ตะกอนดิน และส่งต่อไปยังอาหาร และ เป็นความเสี่ยงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้บริโภคอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง ดังแสดงในภาพ 4 จากปัญหาและผลกระทบที่กล่าวมา จำเป็นต้องหาแนวทางการฟื้นฟู ตลอดจนหาแนวคิด และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษที่เกิดจากกากของเสียอุตสาหกรรม



ภาพ 5 การเคลื่อนที่ของสารพิษและเชื้อโรคในห่วงโซ่อาหาร
ที่มา จาก *Food chain in toxicology*, โดย Frontiers, 2018, สืบค้นจาก https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb. 2016. 01865/full

แนวคิดในการจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน

1. แนวคิดในการจัดการทรัพยากรดินต่อสิ่งแวดล้อมมีวิธีการจัดการ ดังนี้ (1) การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ชนิดหนึ่งนั้นจะต้องคำนึงถึงทรัพยากรทุกอย่างไป พร้อม ๆ กันไม่ควรพิจารณาเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่าง (2) ในการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม จะต้องไม่แยกมนุษย์ออกจาก สภาพแวดล้อมทางสังคมหรือทางวัฒนธรรมและ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ (3) โครงการพัฒนาทุกโครงการ ย่อมมีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาเศรษฐกิจต้องใช้ ทรัพยากร ผู้ดำเนินการตามโครงการจึงต้องมีความรอบรู้และรู้จักวิธีการจัดการอย่างชาญฉลาดเพื่อทำให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด (4) คนเราต้องไม่ลืมว่าการอนุรักษ์นั้นเป็นหนทางแห่งการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ดังนั้น การพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และ วัฒนธรรมจะต้องคำนึงถึงการอนุรักษ์ไว้เป็น รากฐานสำคัญ เพื่อการอยู่รอดของสังคมมนุษย์ในอนาคต (5) ทุกคนมีส่วนเกี่ยวข้องในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการจัดการสิ่งแวดล้อม (6) ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติเป็นสิ่งสำคัญในด้านการแสดงออกซึ่งความเจริญทางวัฒนธรรม และ ความมั่นคงสมบูรณ์ของประเทศ บ่งบอกถึงนิสัย ใจคอของคนในชาติ (7) การทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธีการและเหตุผลใดก็ตาม ย่อมเป็นการทำลายมรดกของมนุษยชาติไปด้วย (8) มนุษย์ไม่สามารถสร้างทรัพยากร บางชนิดขึ้นมาได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ แม้ว่ามนุษย์จะมีมันสมองอันชาญฉลาดในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมบางอย่างได้ (9) การจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ นอกจากจะเพื่อความกินดีอยู่ดีของมนุษย์แล้ว ยังมีความจำเป็นต่อการอนุรักษ์เพื่อความสมบูรณ์และเป็นผลดีทางจิตใจด้วย (10) เมื่อค้นพบว่ามีทรัพยากรเกิดขึ้นที่ใดย่อมมีการทำลายเกิดขึ้นที่นั่นด้วย ในการจัดการ

จึงจะต้องคำนึงถึงการดำเนินการที่จะก่อให้เกิดผลประโยชน์มากที่สุด และทำให้เกิดผลเสียน้อยที่สุด (11) ประชากรบนโลกเพิ่มขึ้นทุกขณะ ในขณะที่ทรัพยากรนั้นลดลงเรื่อย ๆ ทุกขณะเช่นกัน หากทุกคนไม่เริ่มต้นที่จะอนุรักษ์และจัดการสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นในวันนี้ อนาคตข้างหน้าย่อมเกิดความยากลำบากในการที่จะทำให้เกิดหรือคงอยู่ของทรัพยากรเหล่านั้นได้ สิ่งแวดล้อมที่จะเป็นประเด็นเกี่ยวกับมลพิษต่าง ๆ ได้แก่ มลพิษ ทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และของเสียมลพิษ จากขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลมลพิษจากสารและของเสียอันตราย จากนโยบายสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง 2 มิติ ได้แก่ วิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ เพราะทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ต้องใช้ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการบริหารจัดการ ขณะที่นโยบายก็เป็นเรื่องการจัดสรรและ ประโยชน์สาธารณะ เพราะสภาพ แวดล้อมที่ดี หรือไม่ดีนั้นย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ (Kraft, 2003) สรุปว่าการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยมุ่งหวังเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่กำลังเสื่อมโทรมจากการบุกรุกธรรมชาติของมนุษย์ ด้วยกระบวนการบริหารจัดการตามแผนงานและบังคับใช้กฎหมายและที่สำคัญจะต้องให้คนในท้องถิ่นได้มีส่วนร่วม บริหารจัดการ สร้างเครือข่ายในชุมชนให้ ตระหนักถึงความสำคัญของของสิ่งแวดล้อมทาง ธรรมชาติ โดยยึดหลักการอนุรักษ์ รักษาและพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติ (Mahatien, 2016)

2. แนวคิดในการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน การทำการเกษตรเป็นสาเหตุหลักของการกร่อนของดินและทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ การหาแนวทางการอนุรักษ์ทรัพยากรดินที่เหมาะสม เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การหาแนวอื่นเพื่อช่วยลดการกร่อน (erosion) การตรวจสอบและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างสม่ำเสมอนั้นสามารถช่วยอนุรักษ์ดินได้ ซึ่งแนวทางดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ (1) การอนุรักษ์โดยลดการไถดิน (conservation tilling) โดยการปรับปรุงเทคนิคในการไถหน้าดิน เช่น การไถหน้าดินเฉพาะแนวที่ปลูกหรือหลุมที่ปลูกเท่านั้น โดยไม่ไถหน้าดินทั้งผืน แนวทางนี้ยังช่วยในการรักษาความชื้นในดิน ประหยัดพลังงานในการไถ ลดการอัดแน่นของดินจากน้ำหนักของรถไถ ลดการทำลายชั้นบรรยากาศจากไอเสีย อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแนวทางนี้คือวัชพืชมีจำนวนมาก ซึ่งอาจใช้สารปราบวัชพืชเพื่อควบคุม หรืออาจปรับปรุงโดยแนวทางอื่น ๆ ตามความเหมาะสมและประสบการณ์ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แนวทางอนุรักษ์โดยลดการไถได้เพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลาย ในสหรัฐอเมริกาสูงถึงร้อยละ 37 ในการเพาะปลูกทั้งหมด และการไม่ไถเลย ซึ่งอาศัยการเจาะและปลูกในจุดกำหนดนั้นมีประมาณร้อยละ 20 นั่นเป็นตัวอย่างของการตื่นตัวในการอนุรักษ์ดินอย่างยั่งยืนในประเทศที่พัฒนาแล้ว (2) การปลูกพืชเป็นแนว (strip cropping) เป็นการแบ่งแปลงเพาะปลูกเป็นแนวยาวหลาย ๆ แนวสลับกัน จากนั้นจึงทำการไถและปลูกพืชที่ต้องการ (row crop) สลับกับพื้นที่ปลูกพืชตระกูลถั่ว (cover crop) ตามแนวที่แบ่งไว้ โดยพืชตระกูลถั่วที่ปลูกนั้นเพื่อปรับปรุงดิน (3) การปลุกพืชขนานตามพื้นผิว (contour farming) หมายถึง การไถพรวน การลงเม็ด การเพาะปลูก และการเก็บเกี่ยวที่ทำขนานกับพื้นผิวดิน โดยไม่ปรับหน้าดินให้เสมอกันแม้เป็นพื้นที่เนินลอนลาด (rolling hill) หรือพื้นที่ที่มีความลาดชัน (slope) ซึงแนวทางนี้เป็นการอนุรักษ์หน้าดินจากการกร่อนได้ผลดีแนวทางหนึ่ง (4) การเพาะปลูกแบบขั้นบันได (terracing) เป็นแนวทางที่มนุษย์ใช้ในการเพาะปลูกในพื้นที่ลาดชันตั้งแต่โบราณ เช่น เผ่าอินคาในประเทศเปรู และชาวจีนโบราณ เกิดจากพื้นที่ราบไม่เพียงพอแก่การเพาะปลูกของประชากร จงมีการขยายพื้นที่สู่พื้นที่ลาดชันตามไหล่เขาและพื้นที่สูงกว่า โดยการปรับพื้นที่ให้ราบสลับกับผนังที่ลาดชันแล้วทำการเพาะปลูกในช่องที่ปรับให้ราบนั้น ส่วนผนังที่ลาดชันนั้นปล่อยให้หญ้าหรือวัชพืชขึ้นเพื่อป้องกันการพังทลายของผนัง (5) การปรับปรุงร่องน้ำ (gully reclamation) ร่องน้ำที่เกิดจากการกัดเซาะของน้ำนั้น เป็นสัญญาณสำคัญที่แสดงถึงการกร่อนของผิวดินในพื้นที่มีความรุนแรง หากปล่อยทิ้งไว้อาจเกิดการกัดเซาะในแนวดิ่งและมีความลึกมากขึ้น และมีอัตราการพัดพาของน้ำจะเร็วและมีความรุนแรงมากขึ้น บางพื้นที่อาจมีความลึกมากกว่า 5 เมตร (6) การสร้างแนวกันลม (windbreak) ลม เป็นตัวกลางที่สำคัญในการกร่อนของดิน และลมยังเป็นสาเหตุหนึ่งในการเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ การสร้างแนวกันลมจึงเป็นแนวทางในการลดการกร่อนโดยการพัดพาของลมได้

(7) การระงับการใช้พื้นที่ที่มีการกร่อนสูง (retirement of erodible land) เป็นแนวทางอย่างหนึ่งในการแก้ไขและอนุรักษ์ดินจากปัญหาการกร่อนของดิน (8) การคงความอุดมสมบูรณ์ของดิน (maintaining soil fertility) โดยปกตินั้น ดินได้รับธาตุอาหารจากสองแหล่ง โดยแห่งแรกได้จากน้ำฝนและอากาศ และแหล่งที่สองได้จากดิน การเติมปูนขาว ปุ๋ย และการสลายของอินทรียวัตถุ ในสหรัฐอเมริกาและประเทศที่พัฒนาแล้ว มีการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์กันมาก แต่ประเทศกำลังพัฒนาใช้อินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอกในการเพิ่มธาตุอาหารแก่ดิน โดยทั้งโลกนั้นมีการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์มากถึงร้อยละ 20 ของเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา มีการตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารในดิน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซัลเฟอร์ แล้วเติมธาตุอาหารเหล่านั้นลงในดินตามที่พืชต้องการ แม้วิธีเหล่านี้จะช่วยเพิ่มผลผลิตอย่างมาก แต่การไม่ใส่ใจปริมาณธาตุอินทรีย์ในดินนั้นอาจเป็นผลให้ดินเสื่อมคุณภาพได้ เพราะหากดินขาดธาตุอินทรีย์แล้ว การแก้ไขและอนุรักษ์ ได้แก่ การเติมปุ๋ยคอกหรือมูลสัตว์ การปลูกพืชปรับปรุงดิน และปลูกพืชหมุนเวียนเป็นต้น

แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติต่อมลพิษทางดิน

ปัญหามลพิษทางดินที่ปนเปื้อนกากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดปัญหามากมาย ได้แก่ ดินปนเปื้อนโลหะหนัก ดินเค็ม ดินเปรี้ยว ดินปนเปื้อนกากของเสียขยะอินทรีย์ ซึ่งเทคโนโลยีในการบำบัดดินปนเปื้อน มีดังนี้

1. เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่โดยวิธีทางชีวภาพ (in situ biological treatment) มีดังนี้

1.1 การย่อยสลายทางชีวภาพ (bioventing) หลักการเบื้องต้น คือ การเติมออกซิเจนเข้าไปในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่ถูกปนเปื้อนเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในดิน ซึ่งจะกระตุ้นการย่อยสลาย ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนพวก ปิโตรเลียม ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยา รักษาเนื้อ ไม้ และสารเคมีอินทรีย์ ข้อจำกัด ได้แก่ ไม่เหมาะกับการปนเปื้อนที่อยู่ในระดับน้ำใต้ดินที่ลึก ชั้นดินที่อิ่มน้ำ หรือดินที่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำ ดินที่มีความชื้นต่ำมาก การย่อยสลายเกิดขึ้นได้จำกัด ต้องมีการติดตามตรวจวัดก๊าซที่ปล่อยออกมาจากผิวดิน และการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนไม่เหมาะกับสารประกอบพวก Chlorinated ทางชีวภาพ

1.2 การส่งเสริมการฟื้นฟูทางชีวภาพ (enhanced bioremediation) หลักการเบื้องต้น คือ การกระตุ้นกิจกรรมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของจุลินทรีย์ด้วยการไหลเวียนน้ำหรือสารละลายผ่านดินที่ปนเปื้อนเพื่อกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพในพื้นที่ หรือเพื่อจำกัดการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนประเภทสารอนินทรีย์ ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนพวก ปิโตรเลียม ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยารักษาเนื้อไม้ และสารเคมีอินทรีย์ ข้อจำกัด ได้แก่ ไม่เหมาะกับการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักความเข้มข้นสูง สารอินทรีย์พวก Chlorinated สูง มีสารไฮโดรคาร์บอนพันธะยาว หรือมีเกลืออนินทรีย์เนื่องจากจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ การใช้สารละลายผ่านดินอาจเพิ่มการแพร่กระจายหรือเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน การรวมกลุ่มของจุลินทรีย์อาจอุดตันการเติมสารอาหารและน้ำจากบ่อเติมหรืออัดน้ำ ไม่เหมาะกับดินเหนียว ดินที่มีหลาย ๆ ชั้น หรือมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันมาก เพราะออกซิเจนถ่ายเทได้จำกัด และอาจต้องบำบัดน้ำใต้ดินที่ได้ก่อนอัดกลับลงไปหรือกำจัดทิ้ง

1.3 การใช้พืชฟื้นฟู (phytoremediation) หลักการเบื้องต้น คือ การใช้พืชในการกำจัด เคลื่อนย้ายและทำลายสารปนเปื้อนประเภทอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่อยู่ในดินหรือตะกอน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ โลหะ ยาฆ่าแมลง ตัวทำละลายวัตถุระเบิด น้ำมันดิบ PAHs และน้ำชะขยะ ข้อจำกัด ได้แก่ ระดับความลึกส่วนใหญ่จำกัดอยู่ในดินชั้นตื้น ๆ สารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถเป็นพิษต่อพืชได้ ความเหมาะสมในการใช้งานขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่สามารถถ่ายเทสารปนเปื้อนไปสู่ตัวกลางอื่นได้ เช่น จากดินไปสู่อากาศ ไม่สามารถใช้กับสารปนเปื้อนจำพวก Strongly Sorbed (เช่น PCBs) และ Weakly Sorbed ไม่ทราบแน่ชัดถึงความเป็นพิษและการใช้ประโยชน์ของพืชที่ใช้จากวิธีนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเคลื่อนย้ายลงสู่น้ำใต้ดิน หรืออาจสะสมอยู่ในสัตว์ได้ รวมถึงยังไม่ได้รับการยอมรับจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ

2. เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่โดยวิธีทางกายภาพ/เคมี (in situ physical/chemical treatment) มีดังนี้

2.1 การออกซิไดซ์ด้วยสารเคมี (chemical oxidation) หลักการเบื้องต้น คือ การเปลี่ยนแปลงสารปนเปื้อนอันตรายไปเป็นสารประกอบที่ไม่อันตรายหรืออันตรายลดลง ซึ่งทำให้ได้สารที่เสถียรมากยิ่งขึ้น มีการเคลื่อนตัวได้น้อยลง ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ Unsaturated aliphatic (เช่น Trichloroethylene หรือ TCE) และ aromatic compounds (เช่น เบนซีน) ข้อจำกัด ได้แก่ ต้องมีการขนย้าย/จัดเก็บสารออกซิไดซ์ ซึ่งมีอันตรายในปริมาณมาก สารปนเปื้อนบางตัวมีความต้านทานต่อการออกซิเดชัน อาจทำให้เกิดผลกระทบที่อันตรายจากการทำปฏิกิริยา

2.2 การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrokinetic Separation--ES) หลักการเบื้องต้น คือ การกำจัดโลหะและสารปนเปื้อนออกจากดินที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเพื่อไล่หรือกำจัดโลหะและสารอินทรีย์ที่มีขั้วไฟฟ้า เพื่อสูบไปบำบัดต่อไป ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ โลหะหนัก อนุภาคประจุลบ ข้อจำกัด ได้แก่ ประสิทธิภาพลดลงมาก ถ้าของเสียที่มีความชื้นน้อยกว่า 10% ดินที่มีวัตถุที่เป็นโลหะ หรือเป็นฉนวนอาจทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินแปรปรวน และไม่เหมาะกับตะกอนที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงเช่น ตะกอนแร่ขั้วไฟฟ้าโลหะ อาจเกิดการละลายซึ่งจะทำให้เกิดสนิม หรือการกัดกร่อนในดินได้ อาจทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการได้ เช่น ก๊าซคลอรีนจากปฏิกิริยา Oxidation/Reduction

2.3 การล้างดิน (soil flushing/soil washing) หลักการเบื้องต้น คือ การปล่อยหรืออัดน้ำหรือน้ำที่ผสมสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อนลงไปในน้ำใต้ดินเพื่อเพิ่มระดับน้ำใต้ดินในชั้นดินที่ปนเปื้อน ทำให้สารปนเปื้อนถูกชะละลายลงสู่น้ำใต้ดินซึ่งจะถูกสูบไปบำบัดต่อไป ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ สารกัมมันตรังสี ข้อจำกัด ได้แก่ ดินที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ หรือมีเนื้อดินมีความแตกต่างกันมาก บำบัดด้วยวิธีนี้ได้ยาก สารลดแรงตึงผิวอาจยึดตรึงอยู่ในดินและลดความพรุนของดิน การเกิดปฏิกิริยา ระหว่างของเหลวที่ใช้ในการล้างดิน อาจทำให้ยากต่อการชะล้างสารปนเปื้อนออกจากดิน อาจเกิดการชะล้างลงไปใต้ระดับดินที่ปนเปื้อนซึ่งทำให้สารลดแรงตึงผิวมีโอกาสปนเปื้อนลงไปลึกได้ ค่าใช้จ่ายในการแยกและบำบัดสารชะล้างที่นำกลับขึ้นมาอาจทำให้วิธีนี้ไม่คุ้มค่าหรือมีค่าใช้จ่ายสูง

2.4 การสกัดสารระเหยง่ายออกจากดิน (Soil Vapor Extraction--SVE) หลักการเบื้องต้น คือ การใช้ระบบสุญญากาศผ่านบ่อหรือท่อลงไปในดิน เพื่อดึงสารระเหยในรูปของก๊าซออกจากดิน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ สารปนเปื้อนประเภท VOCs และเชื้อเพลิงบางชนิด heavy oils, metals, PCBs หรือ dioxins ข้อจำกัด ได้แก่ ดินที่มีเนื้อละเอียดเป็นองค์ประกอบมาก หรือมีความอิ่มตัวสูงจะต้องใช้แรงดูดอากาศสูง เพื่อให้เกิดสภาพสุญญากาศและ/หรือขัดขวางดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง หรือแห้งมาก ๆ จะมีความสามารถในการดูดจับสาร VOCs ได้สูง ทำให้ลดอัตราการกำจัดลงได้ ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากระบบ SVE อาจต้องมีการบำบัดเพื่อกำจัดสารที่อาจเป็นอันตราย การบำบัดก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากวิธีนี้อาจทำให้เกิดของเหลวตกค้างที่ต้องมีการบำบัด/กำจัด ใช้ไม่ได้ผลกับดินที่มีความอิ่มตัว แต่อาจใช้วิธีลดระดับน้ำใต้ดินลงเพื่อให้สามารถใช้วิธีนี้ได้

2.5 การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (Solidification/Stabilization--S/S) หลักการเบื้องต้น คือ การหุ้มหรือเคลือบสารปนเปื้อนด้วยมลสารที่มีความเสถียร (solidification) หรือการทำปฏิกิริยาระหว่างสารปรับเสถียรและสารปนเปื้อนเพื่อลดความสามารถในการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน (stabilization) ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ VOCs, SVOCs และยาฆ่าแมลง โลหะหนัก และสารกัมมันตรังสี ข้อจำกัด ได้แก่ ระดับความลึกของการปนเปื้อนเป็นข้อจำกัดของบางวิธี การใช้ประโยชน์พื้นที่ในอนาคต อาจรบกวนมวลของแข็งที่ถูกฝังในดิน และอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนได้ บางกระบวนการอาจเป็นการเพิ่มปริมาตรของเสียได้อย่างมาก (อาจถึง 2 เท่าของปริมาตรเดิม) ควรมีการศึกษาความสามารถในการบำบัดของกระบวนการที่จะใช้ เนื่องจากของเสียบางชนิดไม่สามารถใช้ได้กับวิธีนี้ การขนส่งสาร/วัสดุในการทำ S/S และการกวนผสมที่ดีอาจทำได้ยากกว่าการทำนอกพื้นที่ มวลของแข็งที่ได้จากกระบวนการนี้อาจเป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่

ในอนาคตการปนเปื้อนที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน อาจต้องมีการลดระดับน้ำหรือสูบน้ำออกก่อน ที่จะดำเนินการด้วยวิธีนี้

2.6 การดูดซับ (adsorption) หลักการเบื้องต้น คือ การกำจัดสารปนเปื้อนละลายในน้ำ (adsorbate) โดยการสัมผัสกับพื้นผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ VOCs, โลหะหนัก ข้อจำกัด ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สารปนเปื้อนที่มีความสามารถละลายสูงจะถูกดูดซับได้ยากกว่าสารปนเปื้อนที่มีความสามารถละลายต่ำ สารที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบเส้นตรงจะถูกดูดซับได้ยากกว่าสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบกิ่งก้านสาขา

2.7 การตกผลึก (precipitation) หลักการเบื้องต้น คือ การนำของเสียอันตรายอนินทรีย์มาผสมกับสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนผลึกอนินทรีย์ภายใต้ pH ที่เหมาะสม ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ โลหะหนัก ส่วนข้อจำกัดขึ้นอยู่กับประเภทของกากของเสีย

2.8 การกรองด้วยเยื่อเมมเบรน (membrane filtration) หลักการเบื้องต้น คือ การแยกน้ำออกจากสารปนเปื้อนโดยการกรองผ่านเยื่อกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นของการไหล ซึ่งยอมให้มีการเคลื่อนที่ผ่านเฉพาะน้ำ อิออน หรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าเยื่อกรองเท่านั้น ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ โลหะหนัก ข้อจำกัด ได้แก่ ปัญหาจากการอุดตันและการสึกกร่อนของเยื่อกรอง

3.เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่ โดยวิธีใช้ความร้อน (in situ thermal treatment)

3.1 การใช้ความร้อนบำบัด (thermal treatment) หลักการเบื้องต้น คือ การอัดไอ/อากาศร้อน หรือการให้ความร้อนโดยใช้ตัวต้านทานไฟฟ้า/คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า/ใยแก้ว/ความถี่วิทยุ เพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของสารกึ่งระเหย หรือทำให้เกิดการแยกตัวของสารปนเปื้อน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ VOCs และ SVOCs ข้อจำกัด ได้แก่ ประสิทธิผลในการแยกสารปนเปื้อนออกจากดินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบสามารถให้ได้ ไม่เหมาะกับดินที่มีความชื้นสูง เนื้อดินที่มีความสามารถในการซึมผ่านได้แตกต่างกันมาก อาจทำให้อากาศไหลผ่านดินที่ปนเปื้อนได้ไม่สม่ำเสมอ ดินที่มีสารประกอบอินทรีย์สูงจะมีความสามารถในการดูดซับสารประเภท VOCs ได้สูงทำให้ลดอัตราการกำจัดสารพวกนี้ลงได้ อาจต้องมีการบำบัดอากาศที่ปลดปล่อยออกมา ซึ่งอาจเพิ่มค่าดำเนินการให้สูงขึ้นได้ ของเหลวที่ได้จากวิธีนี้ รวมทั้งถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วอาจต้องมีการบำบัดต่อไป วิธี Thermally enhanced SVE นี้อาจไม่มีประสิทธิภาพสำหรับดินที่อิ่มน้ำ แต่ก็สามารถทำได้ด้วยการลดระดับน้ำในดินลงวิธีการอัดอากาศร้อนอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากความสามารถในการดูดความร้อนของอากาศมีค่าต่ำ

3.2 การเผา (verification) หลักการเบื้องต้น คือ การหลอมเหลวที่อุณหภูมิมากกว่า 1600°C แล้วลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จะทำให้ของเสียอันตรายไม่หลุดออกและมีความเสถียรมาก ถ่านกัมมันต์ ข้อจำกัด คือ วิธีนี้สามารถทำได้ในพื้นที่ที่ปนเปื้อนโดยดินที่ปนเปื้อนจะถูกให้ความร้อนจนหลอมเหลว โดยระหว่างการหลอมจะเติม graphite และเศษแก้ว หลังการหลอมจะเกิดการยุบตัวทำให้ช่องอากาศและช่องน้ำในดินหายไป ซึ่งส่งผลให้ปริมาตรของดินปนเปื้อนลดลง

4. เทคโนโลยีการฟื้นฟูนอกพื้นที่ โดยวิธีทางชีวภาพ/เคมี (ex situ biological/chemical treatment)

4.1 การทำร่องชีวภาพ (biopiles) หลักการเบื้องต้น คือ การขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาทำการผสมกับสารปรับปรุงดินแล้วนำไปกองในพื้นที่ปิด ซึ่งจะมีการเติมอากาศเข้าไปช่วยการย่อยสลายภายในกองดินโดยใช้เครื่องเป่าอากาศหรือปั๊มสุญญากาศ ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ Nonhalogenated VOCs และสารไฮโดรคาร์บอน จำพวกเชื้อเพลิง ข้อจำกัด ได้แก่ ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาเพื่อทำการบำบัด ควรมีการทดสอบความสามารถในการบำบัดเพื่อทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของสารปนเปื้อน และเพื่อหาอัตราการเติมสารอาหารและออกซิเจนที่เหมาะสม ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบประเภท halogenated Compounds ยังไม่แน่ชัด และอาจใช้ไม่ได้กับวัตถุระเบิด (explosives products)

4.2 การหมักทำปุ๋ย (composting) หลักการเบื้องต้น คือ การขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาผสมกับสารผสมเพื่อเพิ่มอินทรีย์ เช่น เศษไม้ หญ้า มูลสัตว์ ซึ่งสารผสม

ต้องเป็นชนิดที่สามารถเพิ่มความพรุนได้เพียงพอและให้อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นกิจกรรมด้าน themophilic และ microbial ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ TNT, RDX, และ HMX สารแอมโมเนียมพิคเรท PAHs ข้อจำกัด ได้แก่ ต้องการพื้นที่ค่อนข้างมากในการหมักต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมา และอาจทำให้ไม่สามารถควบคุมการระเหยของสาร VOCs ได้การหมักทำให้ปริมาตรเพิ่ม เนื่องจากมีการใส่วัสดุผสมเพิ่ม แม้ว่าระดับโลหะอาจลดลงเนื่องจากการเจือจาง แต่โลหะหนักเหล่านั้นก็ยังไม่ได้มีการบำบัดและปริมาณโลหะหนักที่สูงอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้

4.3 การทำฟาร์มดิน (land farming) หลักการเบื้องต้น คือ การขุดดิน ตะกอนหรือสลัดจ์ที่ปนเปื้อนมากองบนพื้นที่ที่มีการปูวัสดุกันซึม แล้วมีการพลิกกลับเป็นช่วง ๆ เพื่อเพิ่มการเติมอากาศให้กับของเสีย ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ข้อจำกัด ได้แก่ ต้องการพื้นที่ในการดำเนินการมาก ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลายสารปนเปื้อนทางชีวภาพ (เช่น อุณหภูมิ ฝน) ได้ ทำให้อาจเพิ่มระยะเวลาในการฟื้นฟู ไม่สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนจำพวกอนินทรีย์ได้ จะต้องมีการบำบัดสารปนเปื้อนที่ระเหยได้ง่ายก่อน ควรควบคุมการฝุ่นระหว่างการไถพรวนดิน และการขนย้ายวัสดุอื่น ๆ ต้องมีการสร้างระบบรวบรวมน้ำฝนและต้องมีการติดตามตรวจวัด ต้องมีการสำรวจวิเคราะห์ความลาดชันของพื้นที่การกัดเซาะ สภาพอากาศ ลักษณะและความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินในพื้นที่

4.4 การบำบัดของเหลวข้นทางชีวภาพ (slurry phase biological treatment) หลักการเบื้องต้น คือ การนำดิน ตะกอนดินหรือสลัดจ์มาผสมกับน้ำและสารผสมเพิ่มอื่น ๆ เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีลักษณะเป็น Slurry เพื่อให้ของแข็งลอยตัวและให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับดินที่ปนเปื้อน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกรีดน้ำและนำดินที่บำบัดได้ไปทำการกำจัดต่อไป ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ Explosives ไฮโดรคาร์บอนจำพวกปิโตรเลียม สารปิโตรเคมี ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยารักษาเนื้อไม้ และสารเคมีอินทรีย์ ข้อจำกัด ได้แก่ ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาทำการบำบัด ยกเว้นกรณีใช้บ่อหรือสระการรีดน้ำออกจากดินที่มีเนื้อละเอียดหลังผ่านการบำบัดอาจมีค่าใช้จ่ายสูง ต้องมีวิธีการในการกำจัดน้ำเสียที่ยอมรับได้

4.5 การสกัดทางเคมี (chemical extraction) หลักการเบื้องต้น คือ การผสมดินที่ปนเปื้อนกับสารสกัดในเครื่องแยกสกัด เพื่อให้สารปนเปื้อนละลายออกจากดิน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำการแยกสารปนเปื้อนและสารสกัดออกจากกันด้วยเครื่องแยกเพื่อนำสารปนเปื้อนที่ได้ไปทำการบำบัดต่อไป ส่วนสารสกัดที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้อีก ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ PCBs, VOCs, halogenated solvents และ petroleum wastes โลหะหนัก ข้อจำกัด ได้แก่ ดินที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวสูงอาจลดประสิทธิภาพในการสกัดกากของเสียที่ได้จากการสกัดแยกจะต้องมีการจัดการที่เหมาะสมและเข้มงวด ผงซักฟอกและสาร emulsifiers อาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสกัดแยกสาร ต้องคำนึงถึงพิษของตัวทำละลายที่ตกค้างในดิน มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสารที่ละลายน้ำได้ดี การกำจัดโลหะหนักให้ได้ตามค่ามาตรฐานอาจไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง และอาจมีความเหมาะสม และคุ้มค่ากับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่

4.6 การออกซิไดซ์/รีดิวซ์ทางเคมี (chemical reduction/oxidation) หลักการเบื้องต้น คือ การเปลี่ยนแปลงสารปนเปื้อนอันตรายไปเป็นสารประกอบที่ไม่อันตรายหรืออันตรายลดลงโดยวิธี Reduction/Oxidation ทางเคมี ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ สารอนินทรีย์ (inorganics) ข้อจำกัด ได้แก่ อาจเกิดปฏิกิริยา Oxidation ที่ไม่สมบูรณ์ หรือเกิดสาร Intermediated Contaminants ได้ ไม่คุ้มค่าสำหรับดินที่มีการปนเปื้อนความเข้มข้นสูง เนื่องจากต้องใช้สารออกซิไดซ์ปริมาณมาก ควรแยกน้ำมันและไขมันออกจากดินให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของกระบวนการ

4.7 การกำจัดฮาโลเจน (dehalogenation) หลักการเบื้องต้น คือ การเติมสารเคมีลงไปในดินที่ปนเปื้อนด้วย halogenatie organics เพื่อเข้าไปแทนที่โมเลกุลฮาโลเจน หรือเพื่อเข้าไปแตกหรือแยกองค์ประกอบของสารปนเปื้อนและทำให้เกิดการระเหยได้บางส่วน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ Halogenated SVOCs และยาฆ่าแมลง

ข้อจำกัด ได้แก่ ดินที่มีองค์ประกอบของดินเหนียวและความชื้นสูง จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงขึ้น เทคโนโลยี APEG/KPEG โดยทั่วไปไม่คุ้มค่ากับของเสียที่มีปริมาตรมาก ๆ ในดินที่มีการปนเปื้อนของ Chlorinated organics เกิน 5% จะต้องใช้สาร reagent ในปริมาณมาก

4.8 การแยกออก (separation) หลักการเบื้องต้น คือ การแยกสารปนเปื้อนออกจากตัวกลางที่ถูกปนเปื้อนที่เป็นของแข็ง เช่น ดิน ทราย หรือวัตถุที่หล่อรวมกับสารปนเปื้อน โดยใช้วิธีทางกายภาพหรือทางเคมี ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ SVOCs, fuels และ inorganics (รวมถึงสารกัมมันตรังสี) ข้อจำกัด ได้แก่ ดินที่มีเนื้อดินเหนียวและความชื้นสูงทำให้ค่าบำบัดสูงขึ้น อาจต้องมีการตรวจวัดกลิ่นที่เกิดจากสลัดจ์อินทรีย์จากสภาพการหมักแบบไร้อากาศที่เกิดขึ้นเป็นพิเศษ

4.9 การล้างดิน (soil washing) หลักการเบื้องต้น คือ การแยกสารปนเปื้อนที่แทรกอยู่ในอนุภาคดินขนาดเล็กโดยใช้น้ำซึ่งอาจมีการเติมสารช่วยชะละลายลงไป หรือสารลดแรงตึงผิว หรือสารปรับ pH หรือ Chelating agent เพื่อช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์หรือโลหะหนักออกจากดิน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ SVOCs เชื้อเพลิง และโลหะหนัก ข้อจำกัด ได้แก่ ของเสียที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่นโลหะหนักกับสารอินทรีย์ อาจยากในการชะล้างออกจากกัน ดินที่มีปริมาณสารฮิวมิคสูงต้องบำบัดเบื้องต้นก่อน ของเสียที่เป็นของเหลวจะต้องทำการบำบัดสภาพไม่มีการเคลื่อนที่ อาจต้องมีการบำบัดกากของเสียที่เหลือจากการบำบัด ในขั้นต่อไป เนื่องจากการตกค้างของตัวทำละลายในดิน การกำจัดสารอินทรีย์ที่ดูดซึมอยู่ในอนุภาคดินเหนียวอาจทำได้ยาก

5. เทคโนโลยีการฟื้นฟูนอกพื้นที่ โดยวิธีทางความร้อน (ex situ thermal treatment)

5.1 การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยก๊าซร้อน (hot gas decontamination) หลักการเบื้องต้น คือ การเพิ่มอุณหภูมิหรือการให้ความร้อนกับอุปกรณ์หรือวัตถุที่ปนเปื้อนภายในระยะเวลาหนึ่งจากนั้นจึงนำก๊าซที่ปล่อยออกมาจากวัตถุดังกล่าวไปทำการบำบัดโดยการเผาไหม้เพื่อทำลายสารปนเปื้อนระเหยทั้งหมด ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ Pyrotechnics, Explosives, propellants ข้อจำกัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเผาแบบเปิดโล่ง (open burning) ต้องมีการออกแบบห้องเผาที่ทนแรงระเบิดได้ เนื่องจากอาจเกิดการระเบิดจากการปลดทุ่นระเบิดและกระสุนที่ไม่เหมาะสมได้ อัตราการทำลายสารปนเปื้อนในอุปกรณ์หรือวัตถุที่ปนเปื้อนเกิดได้ช้ากว่าการเผาแบบเปิดโล่ง (open burning)

5.2 การเผา (incineration) หลักการเบื้องต้น คือ การใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 870-1,200°C (1,600-2,200°F) เพื่อเผาสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในของเสียอันตรายโดยใช้ออกซิเจน ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ ของเสียอันตราย วัตถุระเบิด Chlorinated Hydrocarbons บางตัว PCBs และ Dioxins ข้อจำกัด ได้แก่ ระบบป้อนที่มีขนาดจำเพาะและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสียอาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย เถ้าหนักที่เกิดขึ้นอาจมีโลหะหนักที่ต้องมีการทำให้เสถียร โลหะหนักที่ระเหยเช่น Lead cadmium mercury และ Arsenic ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดก๊าซ โลหะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นในน้ำได้ เช่น คลอรีน หรือซัลเฟอร์ ซึ่งจะระเหยได้ดียิ่งขึ้นและเกิดสารประกอบที่มีพิษกว่าเดิม อาจเกิดการฟอร์มตัวของโซเดียม และโพแทสเซียม ซึ่งสามารถทำลายอิฐทนไฟที่ใช้ในเตา และทำให้เกิดอนุภาคที่ไปอัดตันทางเดินของก๊าซ

5.3 การเผาแบบไร้อากาศ (pyrolysis) หลักการเบื้องต้น คือ การทำลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อนในสภาพไร้ออกซิเจนซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ ส่วนกากของแข็งที่เหลือ (ถ่าน) จะประกอบไปด้วยคาร์บอนและเถ้า ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ SVOCs และยาฆ่าแมลงของเสียจากโรงกลั่น coal tar ดินที่ปนเปื้อนหรือไฮโดรคาร์บอนของเสียผสมระหว่างสารกัมมันตรังสีและสาร ข้อจำกัด ได้แก่ ระบบป้อนที่มีขนาดจำเพาะและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสียอาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย เป็นเทคโนโลยีที่ต้องมีการทำให้ดินแห้งเพื่อให้มีความชื้นต่ำสุด (-1%) การสึกกร่อนของระบบป้อนในระดับสูงอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหาย ปริมาณความชื้นที่สูงจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงตาม ตัวกลางที่ผ่านการบำบัดซึ่งมีการปนเปื้อนโลหะหนักอาจต้องมีการปรับเสถียรก่อน

5.4 การสกัดด้วยความร้อน (thermal desorption) หลักการเบื้องต้น คือ การใช้ความร้อนเพื่อทำการระเหยน้ำและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเสียออกมาโดยจะต้องมีระบบดูดก๊าซที่เกิดขึ้นไปทำการบำบัดต่อไป ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ No halogenated VOCs และ fuels, SVOCs, PAHs, PCBs และยาฆ่าแมลง ข้อจำกัด ได้แก่ ขนาดอนุภาคและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสีย อาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย อาจต้องรีดน้ำออกจากดินเพื่อให้ได้ระดับความชื้นที่รับได้ การสึกกร่อนของระบบป้อนในระดับสูงอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินอาจทำให้เกิดกากของเสียที่ต้องมีการปรับเสถียรก่อน ดินเหนียว ดินทรายและดินที่มี humic content สูงต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน เนื่องจากอาจมีการรวมตัวกันของสารปนเปื้อนกับดินเหล่านี้

6. เทคโนโลยีการสกัดการเคลื่อนที่ (containment technologies)

6.1 การปิดด้วยดิน (landfill cap) หลักการเบื้องต้น คือ การควบคุม ณ แหล่งที่ปนเปื้อน โดยการใช้วัสดุกันซึมหรือวัสดุทึกน้ำทำการปิดคลุมพื้นที่บริเวณที่ปนเปื้อนไว้ ข้อจำกัด ได้แก่ ไม่ได้ช่วยลดความเป็นพิษ และปริมาตรของสารอันตราย เพียงแต่ช่วยลดการแพร่กระจายเท่านั้น ต้องมีการระมัดระวัง เพื่อป้องกันการแตกร้าว หรือหลุดรั่วของวัสดุปิดคลุมอันเนื่องจากการใช้ประโยชน์พื้นที่

6.2 การสร้างกำแพงกายภาพ (physical barriers) หลักการเบื้องต้น คือ การสร้างกำแพงกั้นขวางการไหลของน้ำ หรือการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ซึ่งมีวิธีการทำโดยการขุดร่องลึกลงไปในแนวดิ่ง จากนั้นจึงเติมสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวลงไปแทน โดยมักใช้ของผสมระหว่างเบนโทไนท์กับน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่กันการทรุดตัวและลดหรือกันการไหลของน้ำใต้ดินได้ ข้อจำกัด ได้แก่ ส่วนใหญ่จะต้องใช้โครงสร้างที่หนักในปริมาณมาก เป็นเทคโนโลยีที่กั้นหรือขวางสารปนเปื้อนไว้ภายในพื้นที่จำกัดเท่านั้น กำแพงที่ทำจากดินผสม Bentonite ไม่ทนทานต่อกรดหรือด่าง สารละลายเกลือ หรือสารเคมีอินทรีย์บางตัวที่มีความเข้มข้นสูง กำแพงอาจมีการย่อยสลายหรือเสื่อมสภาพลงเมื่อเวลาผ่านไป การใช้เทคโนโลยีนี้ไม่อาจรับรองได้ว่าจะไม่ต้องมีการฟื้นฟูต่อไปในอนาคต

6.3 การอัดลงบ่อลึก (deep well injection) หลักการเบื้องต้น คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดของเสียที่เป็นของเหลว ซึ่งจะใช้วิธีการอัดของเสียที่อาจบำบัดแล้วหรือยังไม่ได้บำบัด ผ่านบ่อหรือท่อลงไปในชั้นใต้ดินที่สามารถกันไม่ให้สารปนเปื้อนหลุดรั่วหรือเคลื่อนตัวสู่ชั้นน้ำได้ ตัวอย่างสารพิษ ได้แก่ VOCs, SVOCs, fuels, explosive, ยาฆ่าแมลง ข้อจำกัด ได้แก่ ไม่สามารถใช้กับพื้นที่ที่อยู่ในโซนเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว หรือการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (seismic activity) ของแข็งแขวนลอยที่มีมากเกินไป(โดยทั่วไป > 2 ppm) อาจทำให้เกิดการอุดตันของท่ออัดฉีด ของเสียที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอาจทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนของท่ออัดฉีด หรือกับชั้นดินหรือหินในชั้นอัดฉีดหรือกับหินที่ปิดทับ ของเสียที่มีเหล็กในปริมาณเข้มข้นสูงอาจทำให้เกิดเป็นสนิม หรือตะกรันจากการเปลี่ยนสถานะของวาเลนซ์ หรือการเปลี่ยนจากสารละลายน้ำได้เป็นไม่ละลายน้ำ สารคาร์บอนอินทรีย์อาจกลายเป็นแหล่งพลังงานให้กับเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่เดิมที่ที่อัดฉีดลงไป ซึ่งทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดการอุดตันได้ ควรประเมินพื้นที่และคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อหาความเหมาะสมในการอัดฉีดน้ำเสียลงไป การใช้งานในปัจจุบันจะถูกควบคุมโดยกฎหมายอย่างเคร่งครัด

บทสรุป

แนวทางการฟื้นฟูมลพิษทางดินที่ปนเปื้อนกากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม โดยทราบหลักการปัญหา สาเหตุ ประเภทและปริมาณสารพิษในแหล่งก่อกำเนิดมลพิษของสาร การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนย้ายของสารพิษทั้งทางดิน น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิต มีผลต่อการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมทั้งสิ้น โดยอาศัยแนวคิดตามหลักการจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน แนวคิดในการใช้ทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติต่อมลพิษทางดิน โดยเลือกใช้เทคโนโลยีในการจัดการที่เหมาะสม ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีการจัดการดินปนเปื้อนจะมีหลักการ ข้อจำกัด ที่แตกต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับสารพิษที่ปนเปื้อนในดิน โดยส่งผลต่อ

การประเมินค่าใช้จ่ายประเมินความเสี่ยงของประชาชนต่อการได้รับผลกระทบ และกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสมต่อไป

References

Bansomdejchaopraya Rajabhat University. (2018). *Thai pollution*. Retrieved from http://thaipollutions.blogspot.com/2013/02/blog-post_7049.html

Centre of Food Safety. (2018). *Nuclear event and food safety*. Retrieved from http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/ programme_rafs_fc_01_30_Q&A_2.html

Chankaew, K. (1987), *Environmental science*. Bangkok: Siamese Literature. (in thai)

Department of Industry Works. (2015). I*ndustrial waste management guide*. Retrieved from www.ei.or.th/media/file/คู่มือการจัดการกากอุตสาหกรรม.pdf (in thai)

Frontiers. (2018). *Food chain in toxicology*. Retrieved from https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb. 2016. 01865/full

Institute for Innovative Learning, Mahidol University. (2018). *Ecology*. Retrieved from http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter4/chapter4_soil8.htm

Kraft, M. E. (2003). *Environmental policy and politics*. Harrisonburg: Pearson Education.

Mahatien, J. (2016). Natural resources and environment management. *Journal of Educational Review Faculty of Education in MCU*, *3*(2), 129-141. (in thai)

Saikrishnagrandhe. (2015). *Soil pollution*. Retrieved from https://www.slideshare.net/saikrishnagrandhe/soil-pollution-54019476

The University of Reading ECIFM. (2018). *Land pollution*. Retrieved from http://www.ecifm.rdg.ac.uk/landpollution.htm