คพ.08-044

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

คู่มือ การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน นับเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่หลายฝ่ายต่างให้ความสนใจ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวล้วนสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ระบบนิเวศ สุขอนามัยและการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ตามมา ทั้งนี้กระบวนการในการจัดการมลพิษจำเป็นจะต้องมีการประเมินค่าเสียหายที่เกิดขึ้น ประเมินความเสี่ยงของประชาชนต่อการได้รับผลกระทบ และกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำคู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย รวมทั้งการประเมินค่าเสียหายหรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวปฏิบัติในการจัดการปัญหาจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษกากของเสียและสารอันตรายในดินหรือน้ำใต้ดิน

กรมควบคุมมลพิษหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการมลพิษ ในการดำเนินการจัดการปัญหาอันเกิดจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษกากของเสียและสารอันตรายในดินหรือน้ำใต้ดินให้ไปในทิศทางเดียวกัน

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย รวมทั้งการประเมินค่าเสียหายหรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือขจัดมลพิษเป็นคู่มือที่จัดทำขึ้นภายใต้โครงการศึกษาแนวทาง มาตรการและวิธีการดำเนินการในการฟื้นฟูและประเมินความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้มอบหมายให้มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทยเป็นผู้ดำเนินการ

อนึ่ง คณะผู้ศึกษาโครงการขอขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้แทนจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากสารมลพิษ โดยเฉพาะกากของเสียและสารอันตรายที่เกิดขึ้น ได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมควบคุมโรค กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรมพัฒนาที่ดิน กรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กรมอนามัย การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย การท่าเรือแห่งประเทศไทย สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร รวมถึงผู้แทนจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด นักวิชาการจากสถาบันการศึกษาต่างๆ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นถึงความเหมาะสมของคู่มือฉบับนี้ฯ ทั้งในเชิงของการปฏิบัติและใช้งาน รวมถึงการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง คณะผู้จัดทำขอขอบคุณในความร่วมมือของทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

กรมควบคุมมลพิษ

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย

สารบัญ

ส่วนที่ 1 บทนำ 3

1.1 ความจำเป็นของการจัดทำคู่มือ 3

1.2 ความเชื่อมโยงและองค์ประกอบของแต่ละคู่มือ 4

1.3 นิยามศัพท์ 5

ส่วนที่ 2 แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน 9

ขั้นตอนที่ 1: การวางแผนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน 11

ขั้นตอนที่ 2: เสนอทางเลือกและคัดเลือกเทคโนโลยีในการฟื้นฟูที่เหมาะสม 12

ขั้นตอนที่ 3: จัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนมลพิษ 14

ขั้นตอนที่ 4: ดำเนินการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อนมลพิษตามแผนปฏิบัติการที่วางไว้ 15

ขั้นตอนที่ 5: การติดตามและประเมินผล 29

ขั้นตอนที่ 6: การประเมินค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่ 30

ส่วนที่ 3 กรณีตัวอย่างการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน 35

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ส่วนที่ 1 บทนำ

ส่วนที่ 1 บทนำ...

1.1 ความจำเป็นของการจัดทำคู่มือ

การจัดการกากของเสียอันตรายที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น การลักลอบฝังกลบหรือลักลอบทิ้งสารมลพิษในพื้นที่ที่ไม่ได้จัดเตรียมไว้ ล้วนก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารอันตรายหลายชนิดลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดปัญหาต่อทรัพยากรธรรมชาติและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนหรือสัตว์เลี้ยงตามมา ซึ่งกระบวนการในการจัดการมลพิษดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีการประเมินค่าเสียหายที่เกิดขึ้น ประเมินความเสี่ยงของประชาชนต่อการได้รับผลกระทบและกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสม ซึ่งที่ผ่านมาการดำเนินการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนมลพิษ การประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการเรียกร้องค่าเสียหายหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความเหมาะสมและสถานการณ์ในแต่ละกรณี ยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจน ประกอบกับการประเมินค่าเสียหายมักจะครอบคลุมเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียประโยชน์ของผู้ได้รับผลกระทบ ยังมิได้คำนึงประเด็นการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเท่าที่ควร ทำให้หลายกรณีไม่สามารถประเมินความเสียหายและค่าเสียหายได้หรือไม่สามารถกำหนดแนวทาง หรือดำเนินการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพทันท่วงที

กรมควบคุมมลพิษ ในฐานะเจ้าพนักงานควบคุมมลพิษตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและความจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาคู่มือหรือแนวทางปฏิบัติขึ้น จึงได้พัฒนาคู่มือ 3 เล่ม ประกอบด้วย

- คู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน
- คู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน
- คู่มือการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นกรอบแนวทางปฏิบัติในการตรวจสอบ การประเมินความเสี่ยง การฟื้นฟูและการประเมินค่าเสียหายจากการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน สำหรับเจ้าหน้าที่วิชาการของกรมควบคุมมลพิษและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ไปในทิศทางเดียวกัน

1.2 ความเชื่อมโยงและองค์ประกอบของแต่ละคู่มือ

คู่มือทั้ง 3 เล่มที่จัดทำขึ้น ได้จัดทำเป็นขั้นตอนและวิธีการทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ สำหรับการตรวจสอบ การประเมินความเสี่ยง การฟื้นฟูและการประเมินค่าเสียหายจากการปนเปื้อนสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน เพื่อให้เกิดการวางแผนการจัดการบรรเทาความรุนแรงและฟื้นฟูพื้นที่อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยมีกรอบความเชื่อมโยงของแต่ละคู่มือดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ความเชื่อมโยงของคู่มือ

สำหรับคู่มือการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดินฉบับนี้ เป็นหนึ่งในสามคู่มือที่จัดทำขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบแนวทางในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย โดยคู่มือเล่มนี้จะถูกใช้เมื่อพบว่าพื้นที่ปนเปื้อนมีความเสี่ยงสูงและจำเป็นต้องดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ ซึ่งเนื้อหาในคู่มือได้อธิบายถึง (1) แนวทางการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม เนื่องจากการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนจากสารมลพิษมักจะไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งแต่จำเป็นต้องใช้หลายๆ วิธีการร่วมกัน (2) แนวทางการประเมินค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟู (3) วิธีการประเมินติดตามตรวจสอบภายหลังการฟื้นฟู และ (4) กรณีศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนที่ได้รับการฟื้นฟูเรียบร้อยแล้ว

1.3 นิยามศัพท์

พื้นที่ปนเปื้อน (Contaminated site) หมายถึง พื้นที่ปนเปื้อนที่ไม่ได้ดำเนินการทำความสะอาดตามมาตรฐานหรือระดับของการปนเปื้อนที่สถานที่นั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด

การฟื้นฟู (Remediation) หมายถึง การออกแบบ/การดำเนินการฟื้นฟูแก้ไข

การฟื้นฟูทางชีวภาพ (Bioremediation) หมายถึง การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของสารพิษต่างๆ โดยวิธีชีวภาพ เป็นกระบวนการนำจุลินทรีย์มาใช้ในการป้องกัน กำจัดหรือลดปริมาณสารมลพิษทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม

น้ำใต้ดิน (Groundwater) หมายถึง น้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณชั้นหินอิ่มตัว

ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) หมายถึง ชั้นหินที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมเข้าโดยง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดแร่กว้างหรือมีโพรง หรือรอยแตกต่อเนื่องกัน จึงทำให้เก็บน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก กลายเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน ชั้นหินนี้อยู่ในเขตอิ่มน้ำ ได้แก่ หินทราย หินปูน เป็นต้น

เขตไม่ชุ่มน้ำ (Unsaturated zone) หมายถึง เขตของพื้นที่ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งช่องว่างในดินมีทั้งน้ำและอากาศแฝงอยู่

โลหะหนัก (Heavy metals) หมายถึง กลุ่มโลหะที่มีความเป็นพิษแบบสะสมและมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 หน่วย ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว อาร์เซนิก

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) หมายถึง อัตราส่วนของมวลของวัตถุต่อมวลของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน

สารมลพิษอินทรีย์แบบคงอยู่นาน (Persistence organic pollutants) หมายถึง สารอินทรีย์ที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 50-260 องศาเซลเซียส โดยปกติสาร VOCs จะอยู่ในรูปของก๊าซหรือไอ

ส่วนที่ 2
แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย

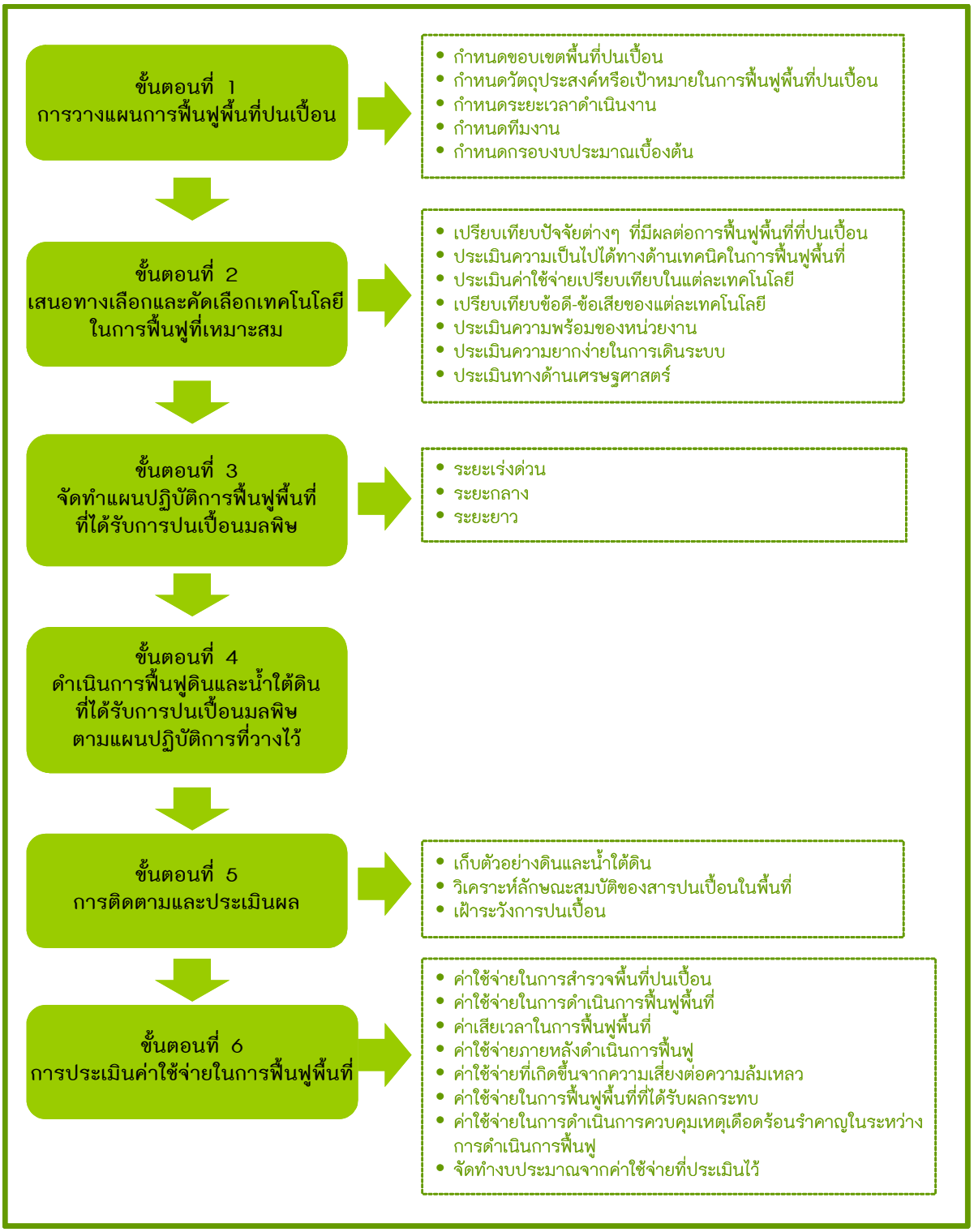
ส่วนที่ 2 แนวทางการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ...

ที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

การปนเปื้อนของสารมลพิษ ส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การปนเปื้อนแบบครั้งเดียว (Point release) และการปนเปื้อนแบบต่อเนื่อง (Continuous release) ซึ่งสารบางประเภทอาจสามารถถูกย่อยสลายไปได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ แต่ยังคงมีสารปนเปื้อนหลายประเภทที่มีความคงทนและสามารถปนเปื้อนอยู่ในพื้นที่เป็นเวลานาน โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มสารปนเปื้อนได้เป็นกลุ่มประเภทหลักๆ ได้แก่ กลุ่มโลหะหนัก กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายและกลุ่มสารอินทรีย์คงตัว เช่น สารปราบศัตรูพืช เป็นต้น

ในการฟื้นฟูสภาพพื้นที่ปนเปื้อน ผู้ประเมินจำเป็นต้องทำการตรวจสอบสภาพพื้นที่ และประเมินแนวโน้มการแพร่กระจายของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน[1] เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของพื้นที่ทั้งทางด้านกายภาพ อุทกวิทยา ธรณีวิทยา ประเภทของสารปนเปื้อน ลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อน รวมถึงความสามารถในการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ก่อนที่จะพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีต่างๆ ในการฟื้นฟูสภาพพื้นที่ ซึ่งแนวทางในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนจะมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของสารปนเปื้อนรวมถึงลักษณะของพื้นที่ ในบางกรณีการเลือกใช้เทคโนโลยีในการบำบัดประเภทเดียวอาจไม่เหมาะสมและยังไม่มีเทคโนโลยีที่สมบูรณ์ที่สุดในการบำบัดสารปนเปื้อน ดังนั้นในการเลือกเทคโนโลยีจึงควรเป็นการคัดเลือกเทคโนโลยีหลายๆ ประเภทมาใช้ร่วมกัน ซึ่งมีขั้นตอนในการพิจารณาแนวทางในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน แสดงดังรูปที่ 2

[1] สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในคู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการพิจารณาแนวทางในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม
และทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

ขั้นตอนที่ 1 : การวางแผนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน

การวางแผนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้สามารถวางกรอบการดำเนินงานให้มีความชัดเจน โดยการกำหนดขอบเขตการทำงาน วิธีการดำเนินงาน ระยะเวลา คน และกรอบงบประมาณเบื้องต้น ดังนี้

1) **กำหนดขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อน** โดยพิจารณาว่าพื้นที่ใดมีความจำเป็นต้องได้รับการฟื้นฟูและจะใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่ได้รับการฟื้นฟูแล้วอย่างไร โดยพิจารณาจากผลที่ได้จากการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้น ประกอบด้วย

- ข้อมูลประวัติการปนเปื้อนของพื้นที่ โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากการร้องเรียน การสำรวจของหน่วยงานท้องถิ่น รายงานสถานการณ์การจัดการกากของเสียของกรมควบคุมมลพิษ และกรมโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งข้อมูลจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคและสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด
- ผลวิเคราะห์แนวโน้มการแพร่กระจายของสารมลพิษ ดังนี้
  - การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน เปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน
  - การประเมินการกระจายตัวของสารปนเปื้อนที่อันตรายหรือมีค่าเกินค่ามาตรฐานกำหนด โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมสำเร็จรูป หรือใช้เครื่องมืออื่นๆ เช่น การวางบ่อหรือการวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์

2) **กำหนดวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนให้ชัดเจน** โดยส่วนมากแล้วเป้าหมายในการฟื้นฟูมักพยายามที่จะทำให้เกิดประโยชน์ และทำให้พื้นที่กลับมาใช้ให้ใกล้เคียงกับการใช้พื้นที่เดิมมากที่สุด

3) **กำหนดวิธีการดำเนินงาน** โดยพิจารณาถึงความเร่งด่วนในการแก้ปัญหา ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อน และความเหมาะสมของเทคโนโลยีในการฟื้นฟู

4) **กำหนดระยะเวลาดำเนินงาน** แบ่งเป็นระยะสั้น (1 ปี) ระยะกลาง (5 ปี) และระยะยาว (มากกว่า 5 ปี)

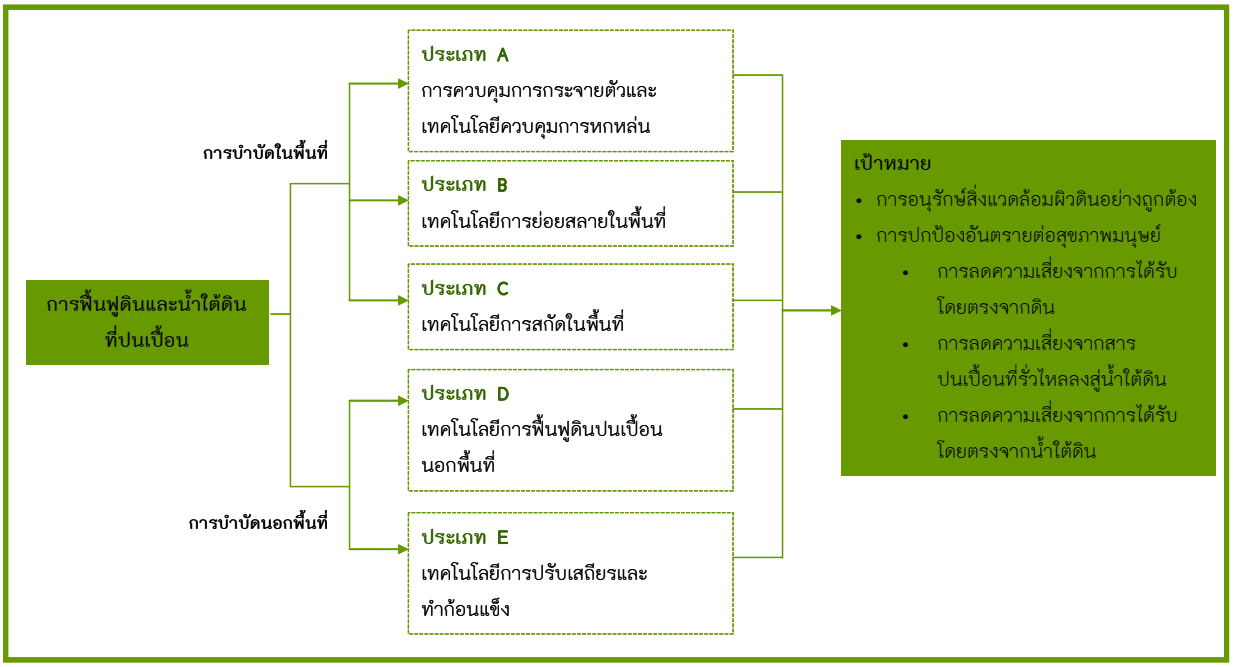
5) **กำหนดทีมงาน** ประกอบด้วย ผู้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ผู้เชี่ยวชาญด้านมลพิษดินและฟื้นฟูดินปนเปื้อน ผู้เชี่ยวชาญด้านการฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อน วิศวกรคุมงาน เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

6) **กำหนดกรอบงบประมาณเบื้องต้น** ครอบคลุมทุกขั้นตอนตั้งแต่การวางแผน การคัดเลือกเทคโนโลยี การดำเนินการ การติดตามผล รวมถึงค่าจ้างคนและทีมงาน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 : เสนอทางเลือกและคัดเลือกเทคโนโลยีในการฟื้นฟูที่เหมาะสม

การพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม ต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ซึ่งเป็นการบ่งชี้ระยะทางที่สารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางแต่ละชนิด โดยในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อน ประเภทและลักษณะของตัวกลาง ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนสามารถประเมินได้จากการใช้แบบจำลองการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงระยะทางจากพื้นที่ปนเปื้อนไปสู่พื้นที่ข้างเคียง โดยข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีหลายประเภทที่สามารถใช้ในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน แสดงดังรูปที่ 3 และตารางที่ 1



รูปที่ 3 การจำแนกเทคโนโลยีการจัดการการปนเปื้อนของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน

ในทางปฏิบัติสำหรับการฟื้นฟูดินปนเปื้อน “**จะใช้เทคโนโลยีประเภท D (เทคโนโลยีการฟื้นฟูดินปนเปื้อนนอกพื้นที่) เป็นหลัก**” รวมถึงอาจใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ร่วมด้วย ซึ่งตัวอย่างของเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ เช่น การขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมา จากนั้นทำการบดย่อยแล้วนำไปปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง หรือนำไปเผา เป็นต้น และการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพในพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อน และถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูด้วยวิธีต่างๆ เหล่านี้จะมีราคาค่อนข้างแพงแต่ก็สามารถกำจัดมลพิษออกจากพื้นที่ รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการบำบัดสั้นกว่าวิธีการอื่นๆ ส่วนในการฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อน การเลือกใช้เทคโนโลยีขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณและลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อน

ตารางที่ 1 ประเภทและข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูดินปนเปื้อน

ประเภทเทคโนโลยี	วัตถุประสงค์	ประสิทธิภาพการใช้งาน	ข้อจำกัด	ตัวอย่าง
ประเภท A : การควบคุมการกระจายตัวและเทคโนโลยีควบคุมการหกหล่น	ใช้ในการควบคุมการกระจายตัวของสารปนเปื้อนได้ดี	สูง	สารปนเปื้อนยังคงอยู่ในพื้นที่	การสร้างกำแพงกันการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน
ประเภท B : เทคโนโลยีการย่อยสลายในพื้นที่	ใช้ทำลายสารปนเปื้อนโดยกระบวนการทางเคมีหรือชีวภาพ	สูง	• ต้องใช้สารเคมีหรือจุลชีพที่สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนได้ • กระบวนการมีขั้นตอนยุ่งยาก	กระบวนออกซิไดซ์ไฮโดรคาร์บอนด้วยโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนต หรือการย่อยสลายสารระเหยง่ายโดยใช้จุลชีพ
ประเภท C : เทคโนโลยีการสกัดในพื้นที่	เป็นเทคโนโลยีการกำจัดโดยการสกัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกจากดินหรือสูบสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกจากน้ำใต้ดิน	สูง	• ต้องมีอุปกรณ์ในการควบคุมหรือกำจัดมลพิษที่ออกจากดินปนเปื้อน • ค่าใช้จ่ายสูง	กระบวนการสกัดสารระเหยง่ายจากดินในพื้นที่ปนเปื้อนบริเวณที่เก็บถังน้ำมันใต้ดิน
ประเภท D : เทคโนโลยีการฟื้นฟูดินปนเปื้อนนอกพื้นที่	เป็นการนำเอาดินที่มีสารปนเปื้อนอยู่ออกจากพื้นที่โดยการขุดดินไปกำจัดที่อื่น	สูง	• ต้องดำเนินการประเมินปริมาณดินที่กำจัด และต้องเตรียมพื้นที่ในการกำจัด • มีการลงทุนสูงในการเคลื่อนย้ายดิน	การขุดดินปนเปื้อนจากพื้นที่ปนเปื้อนไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย
ประเภท E : เทคโนโลยีการปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง	เป็นเทคโนโลยีที่นำเอาดินที่มีสารปนเปื้อนไปทำให้เสถียรก่อนนำไปกำจัด	สูง	• ต้องใช้พลังงานสูง • มีการลงทุนสูง	การนำดินปนเปื้อนไปเผาในเตาเผาหรือการหล่อให้เป็นก้อนแข็ง

หลักการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการฟื้นฟูพื้นที่

การคัดเลือกเทคโนโลยีการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อนในพื้นที่ ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้านทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยเทคโนโลยีที่เหมาะสมต้องสามารถใช้งานได้ในพื้นที่นั้นๆ ได้ดี ซึ่งการคัดเลือกเทคโนโลยีสามารถทำได้โดย

1) **เปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน** ได้แก่ ความเหมาะสมของเทคโนโลยี ระยะเวลาในการฟื้นฟู ประสิทธิภาพที่ต้องการ

2) **ประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคในการฟื้นฟูพื้นที่** โดยพิจารณาจากชนิดและประเภทของสารปนเปื้อน ปริมาณการปนเปื้อน การกระจายตัวของสารปนเปื้อนในพื้นที่ ความลึกของระดับการปนเปื้อน สภาพพื้นที่ และการเข้าถึงพื้นที่ปนเปื้อน

3) **ประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบในแต่ละเทคโนโลยี** ทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุน การเดินระบบ และอื่นๆ

4) **เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละเทคโนโลยี** ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำใต้ดิน การใช้ประโยชน์หลังการฟื้นฟูพื้นที่ ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี ความสามารถในการจัดหาหรือได้มาของเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี รวมทั้งความจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ร่วมในการฟื้นฟู

5) **ประเมินความพร้อมของหน่วยงาน** ทั้งหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการฟื้นฟูพื้นที่

6) **ประเมินความยากง่ายในการเดินระบบ** ความต้องการในการตรวจสอบและการบำรุงรักษา

7) **ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์** เพื่อแสดงความคุ้มทุนของเทคโนโลยีแต่ละประเภท

ขั้นตอนที่ 3 : จัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนมลพิษ

เมื่อคัดเลือกและพัฒนาวิธีการในการฟื้นฟูที่เหมาะสม และได้รับอนุมัติงบประมาณในการดำเนินการแล้ว ให้จัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูพื้นที่โดยมีการกำหนดหรือแต่งตั้งคณะทำงานเพื่อทำหน้าที่รับผิดชอบการฟื้นฟู ระบุขั้นตอนการดำเนินงานและผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอนที่ชัดเจน ทั้งนี้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและผู้รับผิดชอบพื้นที่ควรคุมการดำเนินงานให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ โดยคำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชุมชนและประชาชนที่อยู่โดยรอบเป็นสำคัญ ซึ่งในการจัดทำแผนปฏิบัติเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสามารถแบ่งระยะการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

1) **ระยะเร่งด่วน** เป็นการดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาการปนเปื้อนในระยะเวลาสั้น เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาเร่งด่วนซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนขั้นรุนแรงและมีระยะทางของการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนไม่ไกล (ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง) หรือเกิดจากการลักลอบทิ้งสารปนเปื้อน

โดยมีการตรวจพบว่าสารปนเปื้อนดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพอนามัย สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ ในขั้นตอนนี้ควรดำเนินการฟื้นฟูให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลา 1 ปี

2) **ระยะกลาง** เป็นการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 5 ปี การดำเนินการฟื้นฟูนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนอย่างต่อเนื่องหรือมีความรุนแรงไม่มาก แต่อยู่ในขั้นเสี่ยงต่อปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ในการฟื้นฟูประเภทนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการวางแผนดำเนินการ

3) **ระยะยาว** เป็นการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่อย่างต่อเนื่อง การฟื้นฟูอาจใช้ระยะเวลานานกว่า 5 ปี โดยปกติจะใช้สำหรับฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนเนื่องจากมีการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนออกไปนอกพื้นที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อน โดยต้องใช้ระยะเวลาในการประเมินการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ใช้เทคโนโลยีฟื้นฟูที่ค่อยเป็นค่อยไปและมีค่าลงทุนในการฟื้นฟูอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 4 : ดำเนินการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อนมลพิษตามแผนปฏิบัติการที่วางไว้

แนวทางในการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน เป็นการพิจารณาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลักษณะการปนเปื้อนในพื้นที่ เช่น มีการปนเปื้อนในดินหรือในน้ำใต้ดิน และจัดหมวดหมู่ตามชนิดของสารปนเปื้อน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) **ประเมินสภาพพื้นที่ปนเปื้อนและชนิดของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในพื้นที่** ว่ามีการปนเปื้อนในบริเวณใดบ้าง เช่น ปนเปื้อนในชั้นดินหรือชั้นน้ำใต้ดิน ที่ระดับความลึกเท่าใด

2) **คัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการฟื้นฟูกับสารปนเปื้อนแต่ละชนิด** โดยในคู่มือเล่มนี้จะนำเสนอเทคโนโลยีที่เป็นไปได้ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนจากสาร 3 กลุ่ม ได้แก่ โลหะหนัก สารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์คงตัว โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การดำเนินการฟื้นฟูที่ปนเปื้อนจากโลหะหนัก

(1.1) การฟื้นฟูดินปนเปื้อนโลหะหนัก

- **ตรวจวัดเพื่อหาปริมาณสารปนเปื้อนประเภทโลหะหนักในดิน** โดยพิจารณาจากข้อกำหนดของกฎหมาย โลหะหนักที่ควรตรวจวัด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ สารหนู ปรอท และซีลีเนียม ในการตรวจวัดให้เก็บตัวอย่างที่บริเวณดินตื้นซึ่งมีระดับความลึกไม่เกิน 1.50 เมตร เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะเกาะยึดติดกับดินได้ดี ยกเว้นโลหะหนักบางชนิด เช่น โครเมียม ที่สามารถเคลื่อนตัวไปกับน้ำฝนและซึมลงสู่น้ำใต้ดินได้ดี และเก็บตัวอย่างดินระดับดินลึกที่ความลึกมากกว่า 1.50 เมตร เพื่อประเมินแนวโน้มการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน

- **เลือกเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่** โดยมุ่งเน้นไปที่การดำเนินงานตามมาตรการ 2 ขั้นตอน (ดังแสดงในตารางที่ 2) ได้แก่

ตารางที่ 2 การจำแนกวิธีการดำเนินการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

มาตรการ			
การทำพื้นที่ให้กลับสู่สภาพเดิม		การกักเก็บสารปนเปื้อน	
การฟื้นฟูในพื้นที่	การกำจัดโดยการขุดออกจากพื้นที่	การทำให้ไม่ละลายโดยการทำก้อนแข็งหรือปรับเสถียร	
▪ การย่อยสลายในพื้นที่ด้วยกระบวนการทางเคมี ▪ การย่อยสลายในพื้นที่ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ▪ การสกัดสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่	▪ การนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย ▪ การเรียกคืนโลหะที่มีค่า (Recoverry)	**การเก็บกักในพื้นที่** ▪ กำแพงกายภาพ ▪ การปิดคลุมด้วยพลาสติกอย่างดี	**การเก็บกักในพื้นที่อื่น** ▪ การนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย

ก) **การทำพื้นที่ให้กลับสู่สภาพเดิม** โดยทำการแยกสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ปนเปื้อน โดยวิธีการทำให้กลับสู่สภาพเดิมสามารถทำได้ทั้งในพื้นที่และการขุดออกจากพื้นที่

- การฟื้นฟูในพื้นที่ สามารถทำได้โดยการปล่อยให้เกิดการย่อยสลายในพื้นที่ด้วยกระบวนการทางเคมี หรือกระบวนการทางชีวภาพ หรือการสกัดสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ โดยการฉีดสารที่สามารถเพิ่มการละลายของโลหะหนักลงในดิน เช่น กรดอะซิติก หรือ EDTA แล้วสูบน้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักขึ้นมาบำบัด
- การกำจัดโดยการขุดดินที่มีการปนเปื้อนออกจากพื้นที่ โดยการนำดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักไปฝังกลบยังหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยหรือการเรียกคืนโลหะที่มีค่า (Recovery)

ข) **การกักเก็บสารปนเปื้อน** ทำโดยการปรับเสถียรและ/หรือการทำก้อนแข็งจากนั้นจึงทำการกักเก็บ โดยอาจกักเก็บไว้ในพื้นที่เดิมหรือกักเก็บในพื้นที่อื่น โดยมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

- การบำบัดก่อน เป็นการทำให้โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินกลายเป็นก้อนแข็ง หรือการทำให้โลหะหนักดังกล่าวอยู่ในสภาพที่เสถียร ไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยการเติมสารเคมี เช่น ปูนซิเมนต์
- การเก็บกักในพื้นที่ เป็นการเก็บกักก้อนแข็งหรือโลหะที่ปรับเสถียรแล้วไว้ในพื้นที่ โดยแยกไว้เป็นกลุ่มและมีการควบคุมการรั่วไหลโดยการสร้างขอบเขตของพื้นที่ เช่น กำแพงกายภาพ การปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกที่มีการปูพื้นกันซึมอย่างดี
- การเก็บกักในพื้นที่อื่น เป็นการนำก้อนแข็งหรือโลหะที่ผ่านการปรับเสถียรไปฝังกลบนอกพื้นที่ ในขั้นตอนนี้เป็นการขุดสารปนเปื้อนที่เป็นก้อนแข็งไปฝังกลบยังหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยที่อยู่ภายนอกพื้นที่ โดยเก็บกักสารปนเปื้อนเหล่านี้ไว้ภายในหลุมตามกลุ่มของสารปนเปื้อน

ทั้งนี้ ในการพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีใดนั้น ผู้ประเมินจำเป็นต้องนำปัจจัยหลายๆ ด้านมาประกอบการพิจารณา เช่น เทคโนโลยีที่เลือกจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นหรือไม่ หรือค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากในการบำรุงรักษา เป็นต้น เพื่อให้สามารถเลือกเทคโนโลยีในการบำบัดได้อย่างเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ในการบำบัดโลหะหนักเบื้องต้น แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดง Matrix ของการพิจารณาเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ในการบำบัดโลหะหนักในพื้นที่ปนเปื้อน

ประเภทเทคโนโลยี	กระบวนการแยกสารปนเปื้อน	ผู้ใช้งานแล้วหาย	ของเสียที่เกิดอยู่	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา	ความยุ่งยากในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา	ระยะเวลาในการบำบัด	หมายเหตุ
การปรับเสถียร/การทำก้อนแข็ง (Stabilization/Solidification)	F	N	S	Cap	□	□	
การเผาในเตาหลอม (Vitrification)	F	N	S,V	Cap, O&M	O	Δ	
การล้างดิน/การสกัดด้วยกรด (Soil washing/Acid extraction)	F	Y	S,L	Cap, O&M	O	O	
การล้างดิน (Soil washing)	F	Y	L	O&M	O	O	
การตกผลึก (Precipitation)	F	Y	S	Cap, O&M	□	O	
การกรองด้วยเยื่อเมมเบรน (Membrane filtration)	F	Y	L	Cap, O&M	O	Δ	
การดูดซับ (Adsorption)	F	Y	S,L	Cap, O&M	O	O	
การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)	F	Y	S,L	Cap, O&M	O	O	
Permeable active barriers	F	N	S	Cap	□	O	
การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment)	F	Y	S,L	Cap, O&M	Δ	O	
การใช้ไฟฟ้า (Electrokinetics)	F	Y	S,L	O&M	Δ	Δ	
การใช้พืชฟื้นฟู (Phytoremediation)	F	Y	S,L	N	Δ	□	

หมายเหตุ : รายละเอียดของเทคโนโลยีแต่ละประเภทแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1

ส่วนประกอบและสัญลักษณ์ในตาราง ประกอบด้วย :

สถานภาพการพัฒนา (Development status) หมายถึง ระดับการใช้เทคโนโลยี โดยที่

- B = Bench scale
- P = Pilot scale
- F = Full scale

แนวทางการใช้เทคโนโลยี (Treatment trains)

- Y หมายถึง การใช้เทคโนโลยีชนิดนี้ต้องใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่น
- N หมายถึง การใช้เทคโนโลยีชนิดนี้ไม่ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่น

ผลิตผลหรือของเสียที่เหลืออยู่ (Residuals produced) หมายถึง ของเสียหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้เทคโนโลยี ได้แก่

- S หมายถึง ของเสียที่เป็นของแข็ง
- L หมายถึง ของเสียที่เป็นของเหลว
- V หมายถึง ของเสียที่เป็นไอระเหย

ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการลงทุน (Operation and Capital intensive) เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินระบบและการลงทุนทางด้านเทคโนโลยี โดยกำหนดให้

- O&M หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา
- Cap หมายถึง เป็นค่าลงทุนสูงเทียบกับเทคโนโลยีอื่น
- N หมายถึง ทั้งค่าลงทุนและค่าเดินระบบไม่แพงทั้งคู่

ความน่าเชื่อถือและความสามารถในการบำรุงรักษา (System reliability/Maintainability)

- □ สำหรับเทคโนโลยีที่น่าเชื่อถือและบำรุงรักษาง่าย
- O สำหรับเทคโนโลยีที่น่าเชื่อถือและบำรุงรักษาปานกลาง
- Δ สำหรับเทคโนโลยีที่ไม่น่าไว้วางใจและบำรุงรักษายาก

ค่าใช้จ่ายรวม (Overall cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการออกแบบ ก่อสร้าง และการเดินระบบ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียที่เหลืออยู่ โดยที่

- □ สำหรับค่าใช้จ่ายต่ำ
- O สำหรับค่าใช้จ่ายปานกลาง
- Δ สำหรับค่าใช้จ่ายสูง

หมายเหตุ คือ ลักษณะของการรบกวนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้เทคโนโลยีบำบัดหรือค่าใช้จ่าย (Other characteristics)

(1.2) การฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อนโลหะหนัก

- **ตรวจวัดเพื่อหาปริมาณสารปนเปื้อนประเภทโลหะหนักในน้ำใต้ดิน** โดยเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อติดตามตรวจสอบ หรือบ่อที่เจาะเพื่อสำรวจการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยพิจารณาจากข้อกำหนดตามมาตรฐานน้ำใต้ดินหรือจากประวัติการปนเปื้อน ทั้งนี้โลหะหนักที่ควรตรวจวัด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ สารหนู ปรอท และซีลีเนียม เป็นต้น

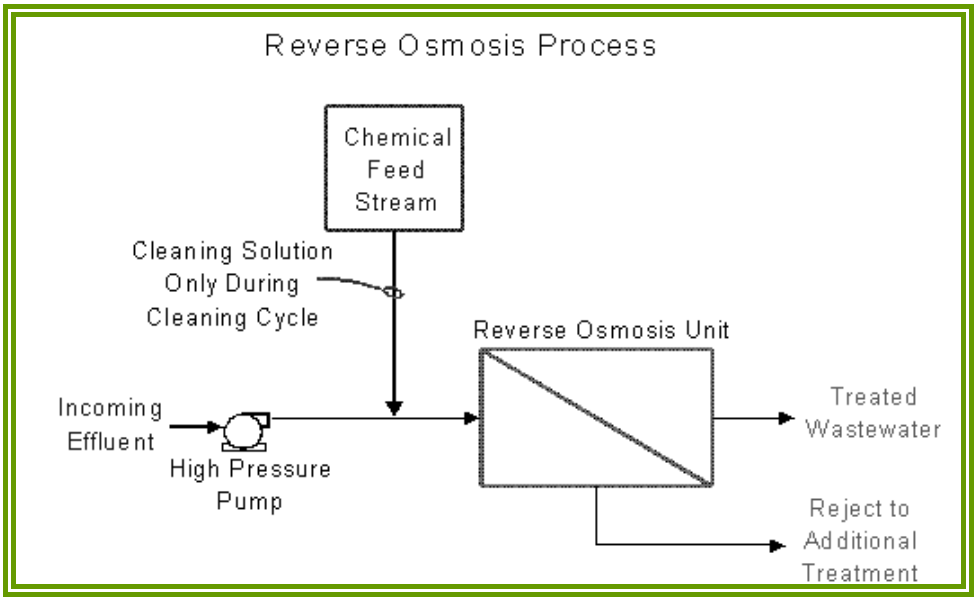
- **เลือกเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อนโลหะหนัก** ได้แก่

ก) **กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis)** เป็นกระบวนการที่สารปนเปื้อนจะถูกแยกออกจากน้ำใต้ดินโดยการใช้ค่าความดันที่มีค่าสูงกว่าความดันออสโมติก ทำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรอง (Semipermeable membrane) กระบวนการนี้สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เช่น อาร์ซินิก (รูปที่ 4)

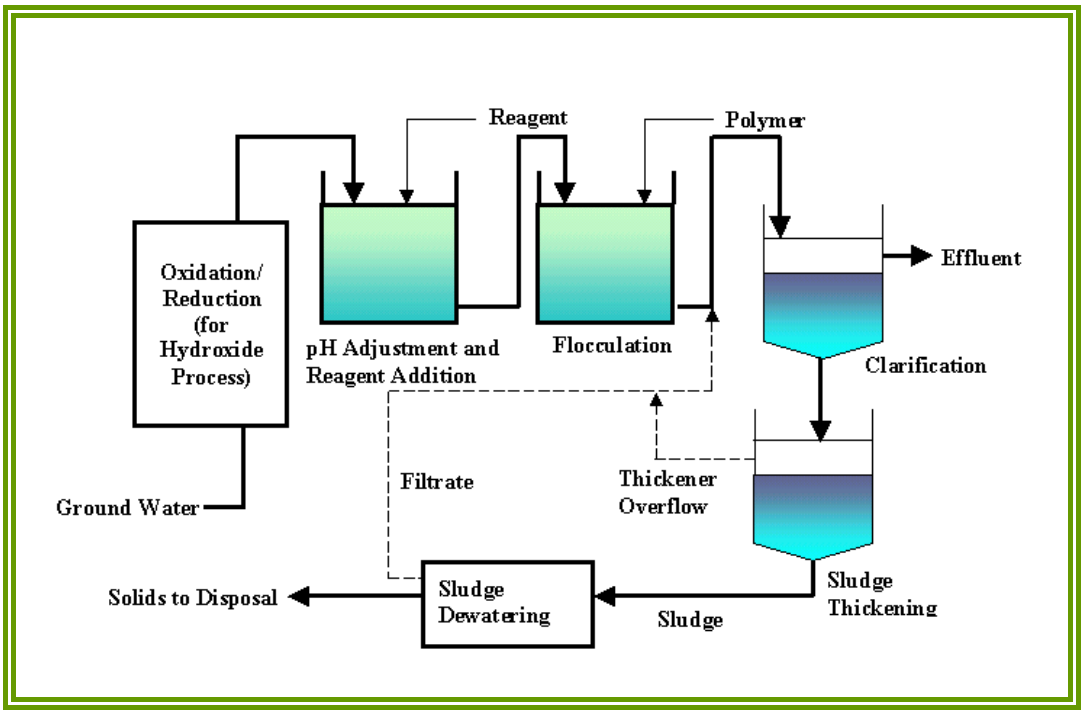
ข) **การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation)** เป็นขบวนการที่ใช้การเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้วเปลี่ยนสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของแข็งไม่ละลายน้ำ สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย ปูนขาว โซดาไฟ โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมฟอสเฟต ทั้งนี้การตกตะกอนผลึกทางเคมีจำเป็นต้องกวนสารเคมีและน้ำเสียให้เข้ากันและมีระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสม (ดังรูปที่ 5)

ค) **การดูดติดผิวด้วยถ่านคาร์บอน (Carbon adsorption)** เป็นกระบวนการซึ่งกำจัดสารปนเปื้อนละลายในน้ำ (Adsorbate) โดยการสัมผัสกับพื้นผิวของตัวดูดซับ (Adsorbent) หรือถ่านคาร์บอน (ดังรูปที่ 6)

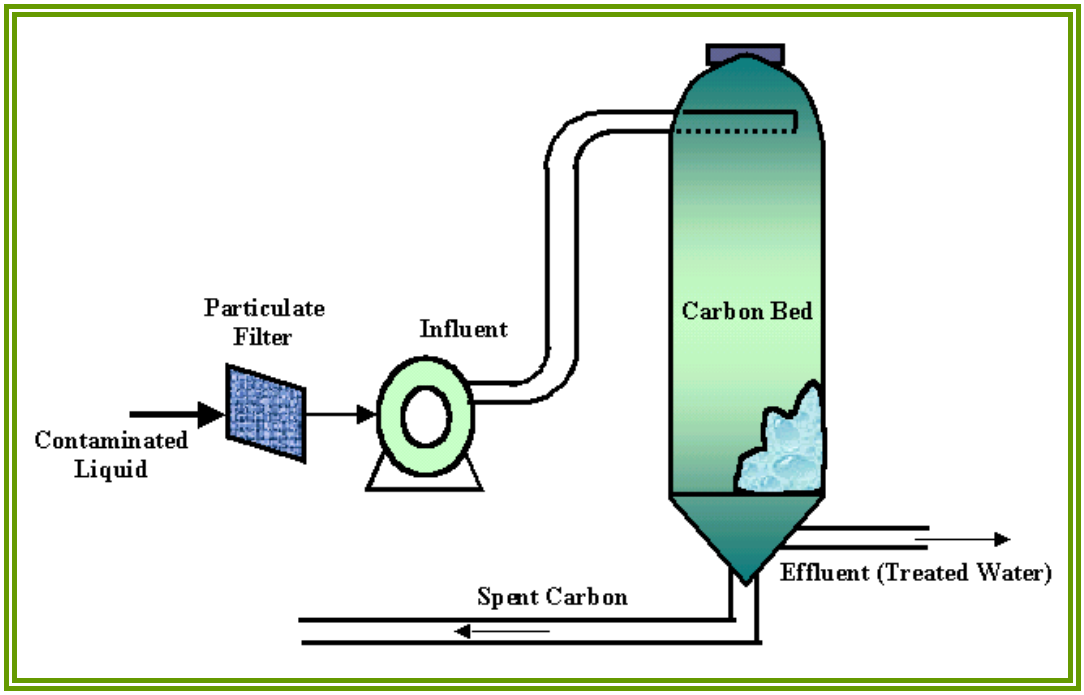
(สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวกในคู่มือนี้)



รูปที่ 4 กระบวนการออสโมซิสผันกลับสำหรับการฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อน (FRTR, 2009)



รูปที่ 5 กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี (FRTR, 2009)



รูปที่ 6 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน (FRTR, 2009)

(2) การดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ระเหย

ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยสามารถแยกเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูตามบริเวณการปนเปื้อน ดังนี้

(2.1) การฟื้นฟูดินปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

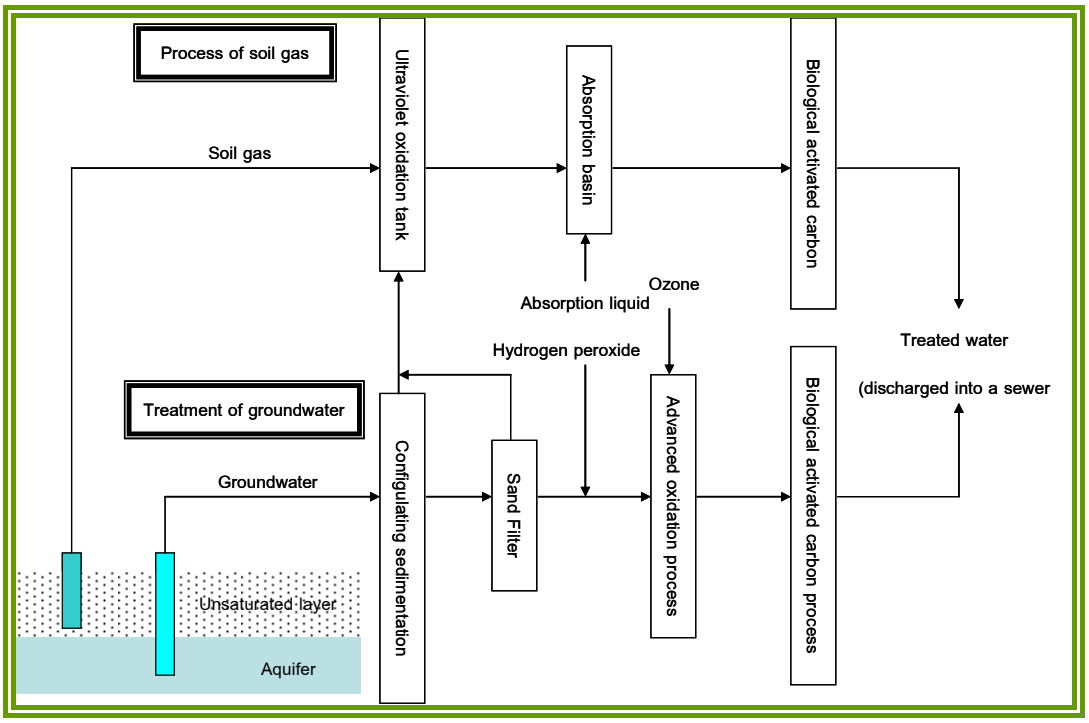
- **ตรวจสอบชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนในดิน** โดยเก็บตัวอย่างดินตื้นที่ระดับความลึกไม่เกิน 1.50 เมตร และที่ระดับดินลึกที่มีความลึกมากกว่า 1.50 เมตร โดยการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในดินต้องเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ทันที

- **คัดเลือกเทคโนโลยีในการฟื้นฟู** จากเทคโนโลยีที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น

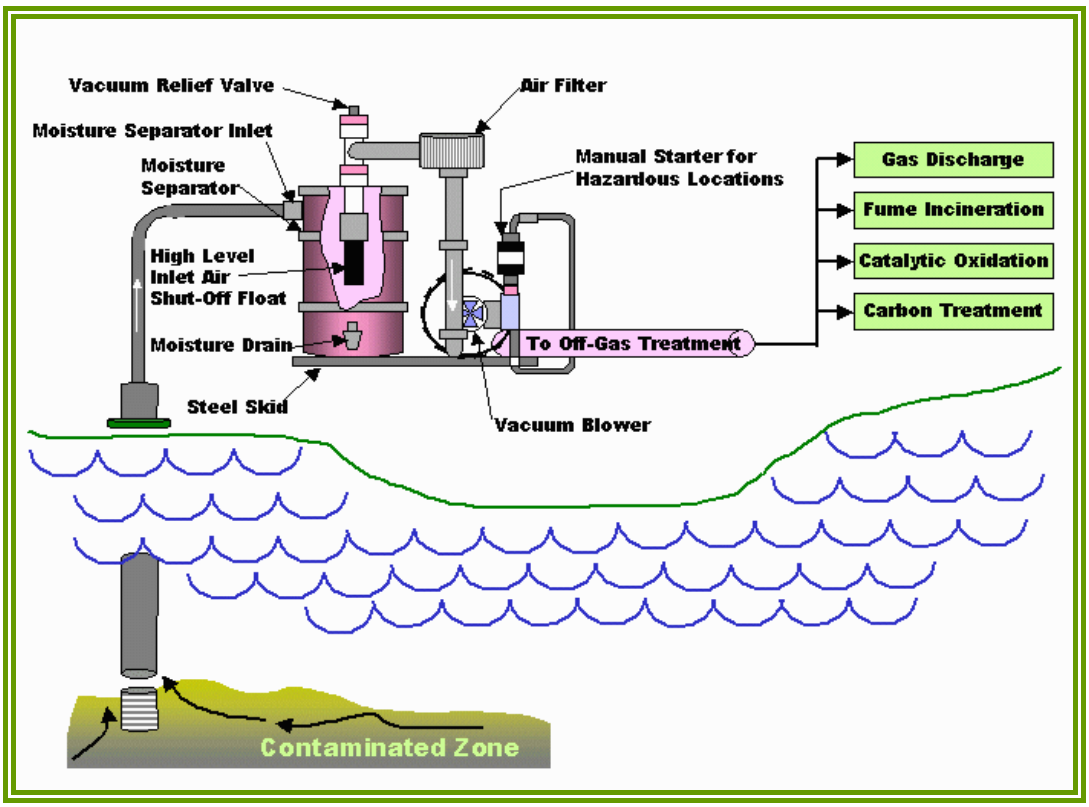
ก) **การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน** เหมาะสำหรับกรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อนในปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าลงทุนต่ำและสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่สูง เนื่องจากจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่านคาร์บอนบ่อย อีกทั้งต้องนำถ่านคาร์บอนไปฟื้นฟูและนำไปกำจัดเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดเพิ่มขึ้น

ข) **กระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดินที่มีการปนเปื้อน โดยใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ** (ดังรูปที่ 7) โดยก๊าซจะถูกดูดจากดินเข้าสู่ถังบำบัดแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิไดเซชั่นด้วยแสงยูวี จากนั้นผ่านอากาศที่สูบไปยังถังดูดซับสารด้วยของเหลว แล้วจึงบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้

ค) **การสกัดสารระเหยง่ายออกจากดินปนเปื้อน** เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (Volatile organic compound, VOCs) ออกจากดินในบริเวณที่มีการปนเปื้อนสูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน (Unsaturated zone, vadose zone) โดยการเติมอากาศไล่ให้สารระเหยง่ายแยกตัวออกจากดิน (ดังรูปที่ 8)



รูปที่ 7 ผังแสดงการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยจากน้ำใต้ดินและดินปนเปื้อน (APEC, 2009)



รูปที่ 8 การสกัดสารระเหยง่ายออกจากดินปนเปื้อน (FRTR, 2009)

(2.2) การฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

- **ตรวจสอบชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน** โดยดำเนินเก็บตัวอย่างตามที่กล่าวไว้ในคู่มือประเมินความเสี่ยง

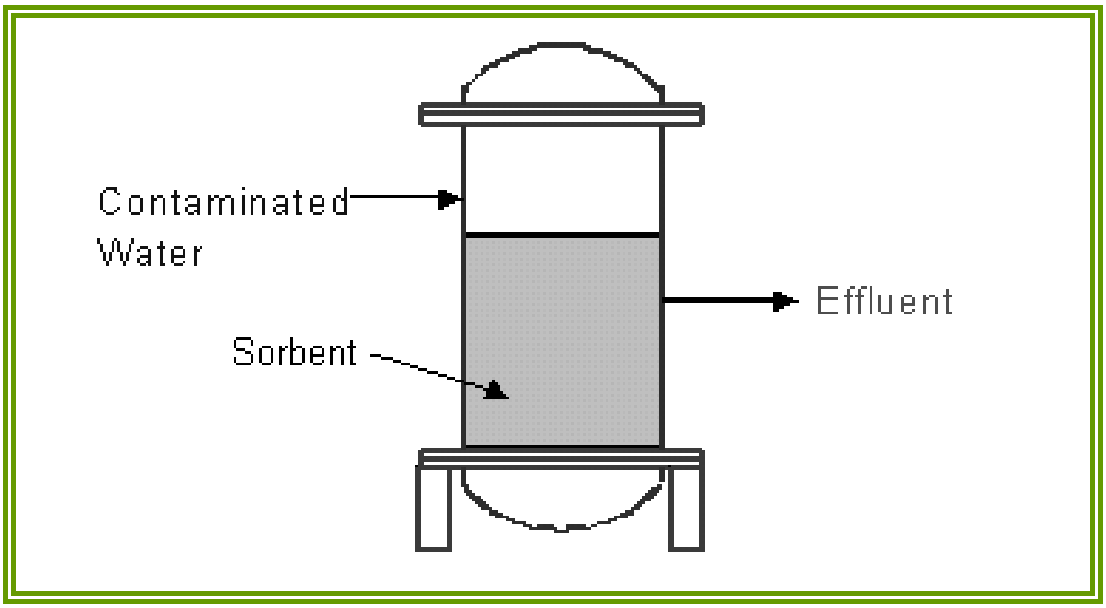
- **คัดเลือกเทคโนโลยีในการฟื้นฟู** จากเทคโนโลยีที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

ก) **การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน** เป็นกระบวนการซึ่งกำจัดสารปนเปื้อนละลายในน้ำ (Adsorbate) โดยการสัมผัสกับพื้นผิวของตัวดูดซับ (Adsorbent) หรือถ่านคาร์บอน (ดังรูปที่ 9)

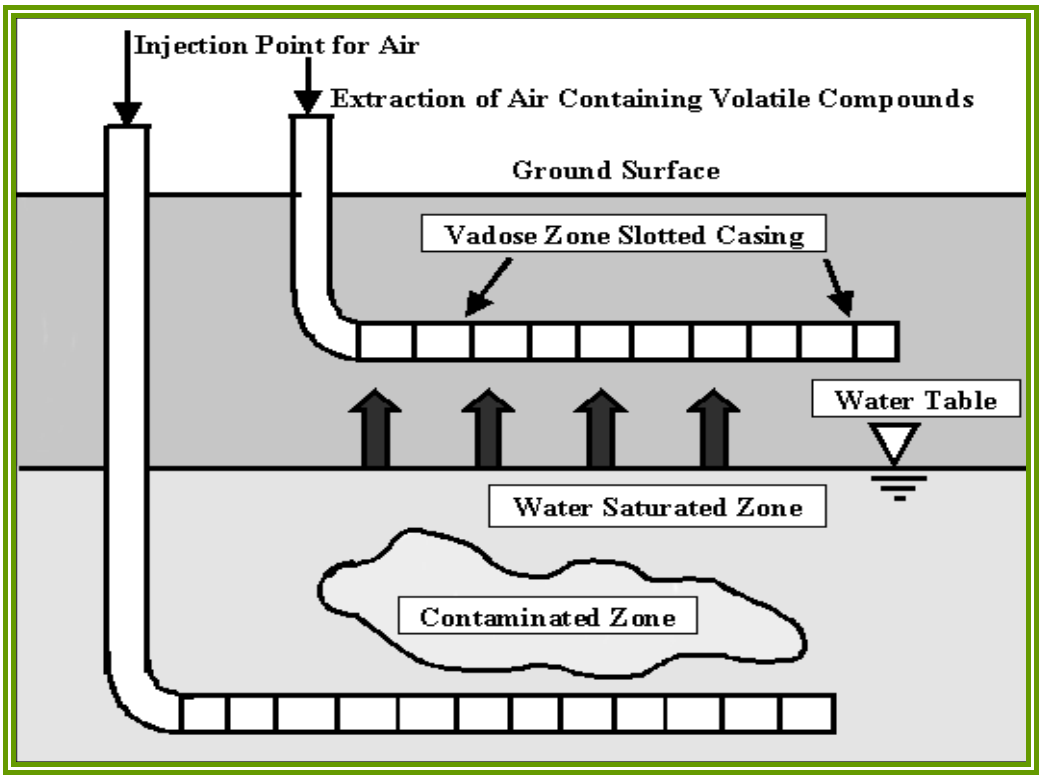
ข) **การไล่ด้วยอากาศ** เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารเพื่อเพิ่มอัตราการระเหย (Volatilization) โดยส่งอากาศผ่านน้ำทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซและน้ำสามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่ระเหยได้ (VOCs) ออกจากน้ำใต้ดิน กระบวนการไล่ด้วยอากาศ (ดังรูปที่ 10)

ค) **การอัดอากาศเพื่อเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพ** เป็นการอัดอากาศลงในดินหรือน้ำใต้ดินเพื่อให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีการปนเปื้อน (ดังรูปที่ 11)

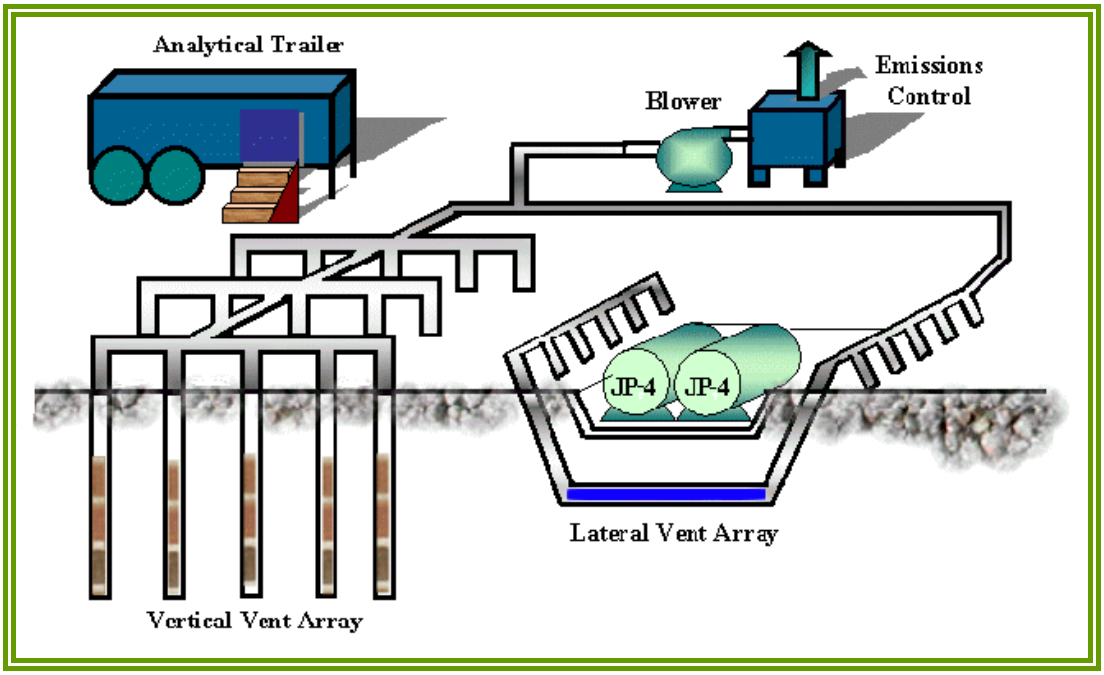
(สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวกในคู่มือนี้ หรือ website: www.frtr.gov/matrix2/section4)



รูปที่ 9 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน (FRTR, 2009)



รูปที่ 10 กระบวนการไล่ด้วยอากาศ (FRTR, 2009)



รูปที่ 11 การอัดอากาศเพื่อเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพ (FRTR, 2009)

(3) การดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อนจากสารอินทรีย์คงตัว

สารอินทรีย์คงตัวสามารถคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในเวลานาน มีความเป็นพิษค่อนข้างสูง และย่อยสลายยากโดยสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ ในการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์คงตัว ต้องดำเนินการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อน รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการย่อยสลาย และเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสม สารอินทรีย์คงตัวมีหลายประเภท เช่น สารปราบศัตรูพืช พีซีบี และไดออกซิน เป็นต้น

(3.1) การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์คงตัว

ขั้นตอนในการดำเนินการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์คงตัว ประกอบด้วย

- หาชนิดและปริมาณการปนเปื้อนในดิน โดยเก็บตัวอย่างดินตามวิธีมาตรฐานที่อ้างไว้ในคู่มือประเมินความเสี่ยง
- เปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- ประเมินขนาดของพื้นที่ปนเปื้อน ระดับความลึกที่ปนเปื้อน เพื่อนำไปหาปริมาตรของดินที่ปนเปื้อน
- เลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมด้วย
- เทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์คงตัว ได้แก่ การหลอมแล้วทำเป็นก้อนแข็ง การล้างดิน หรือการสกัดด้วยไอน้ำ เป็นต้น

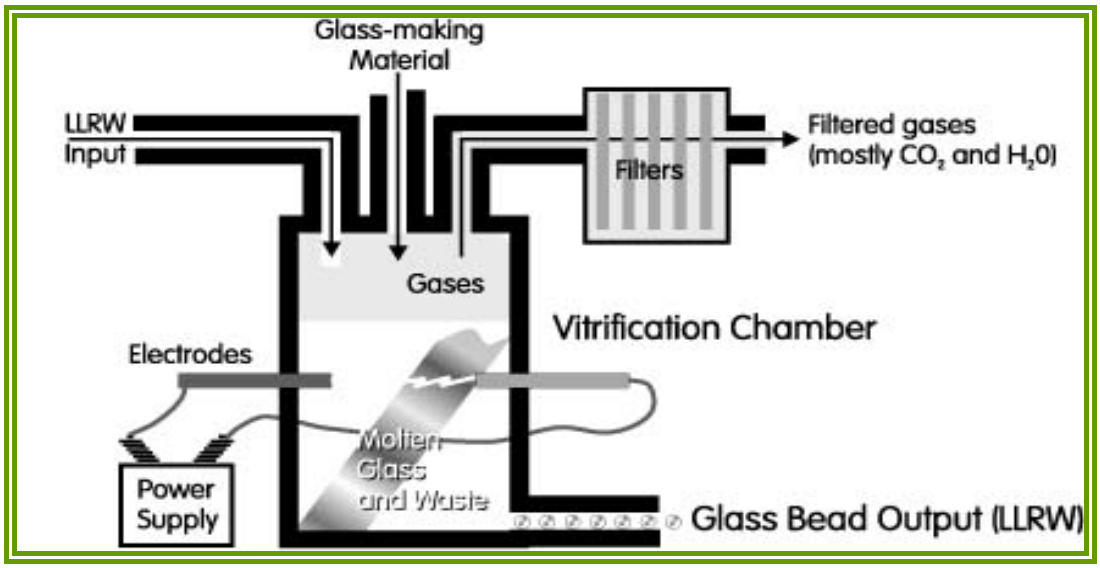
ตัวอย่างเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์คงตัว

ก) **การหลอมเป็นก้อนแข็ง (Vitrification)** เป็นกระบวนการที่นำเอาดินปนเปื้อนมาเผารวมกับวัสดุต่างๆ เช่น ทราย แล้วทำให้ดินปนเปื้อนหลอมตัวกลายเป็นผลึกแข็ง ก่อนนำไปฝังกลบ (ดังรูปที่ 12)

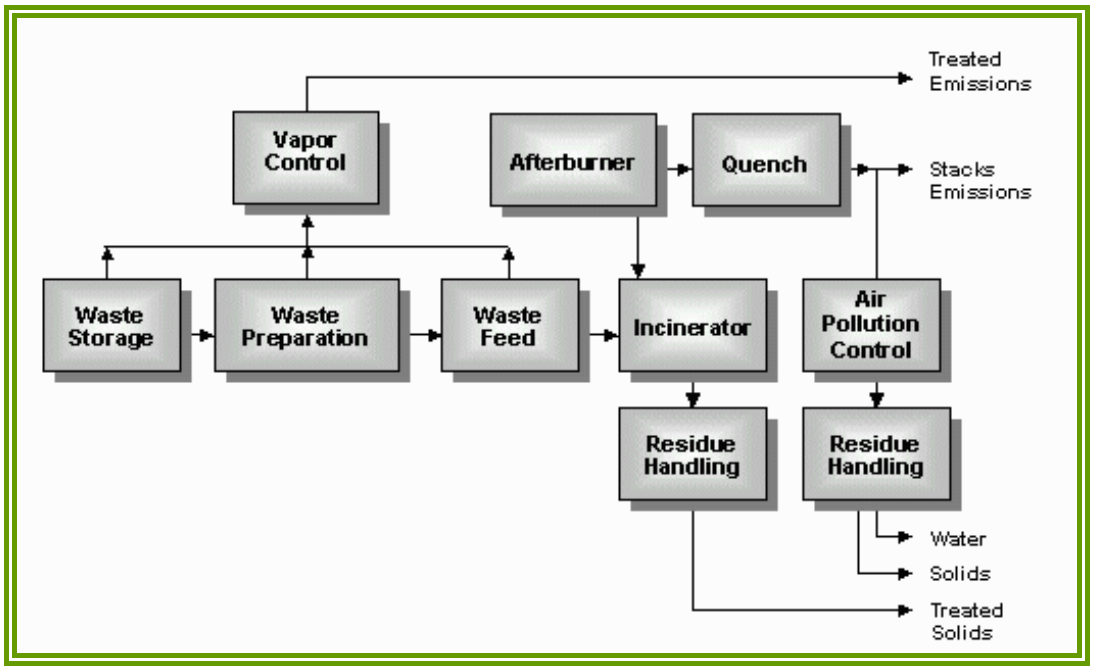
ข) **การเผาไหม้ (Incineration)** เป็นกระบวนการที่นำเอาดินปนเปื้อนมาเผารวมกับวัสดุต่างๆ การใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 870-1,200°C (1,600-2,200°F) เพื่อเผาสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในของเสียอันตรายโดยใช้ออกซิเจน จากนั้นนำขี้เถ้าไปฝังกลบ (ดังรูปที่ 13)

ค) **การล้างดิน (Soil washing)** เป็นขบวนการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายเช่น สารฆ่าแมลงและโลหะหนัก โดยทำการขุดดินขึ้นมาแล้วล้างด้วยสารล้างดินที่สามารถยึดเกาะกับสารอินทรีย์ปนเปื้อนและโลหะหนักในดิน (ดังรูปที่ 14)

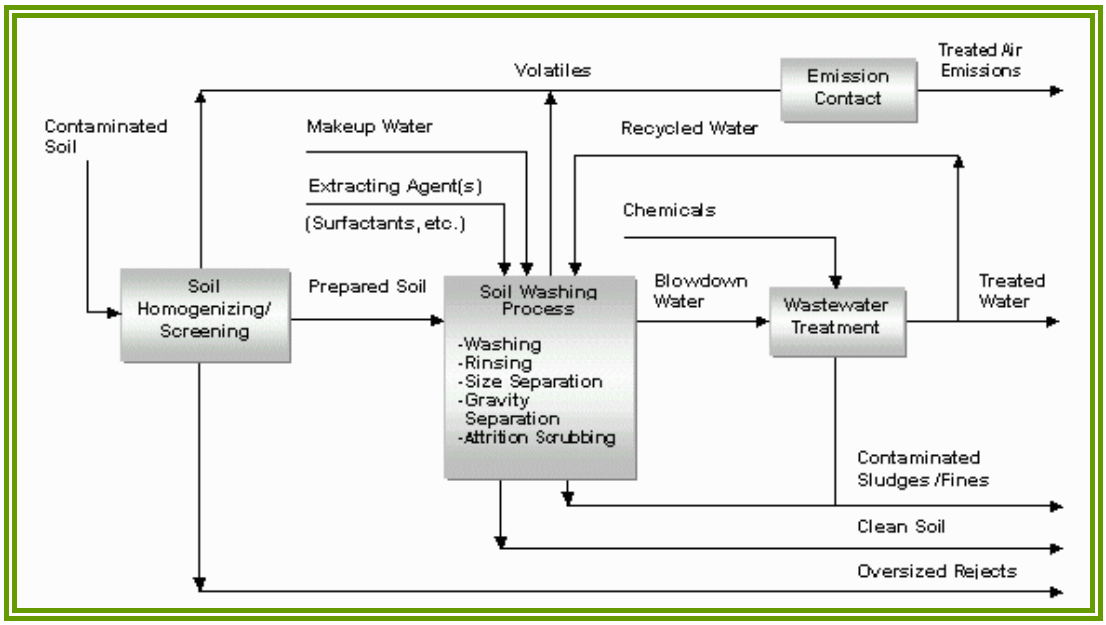
(รายละเอียดและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสามารถดูได้จากภาคผนวก)



รูปที่ 12 เทคโนโลยีการหลอมแล้วทำก้อนแข็ง (Fentiman, 2009)

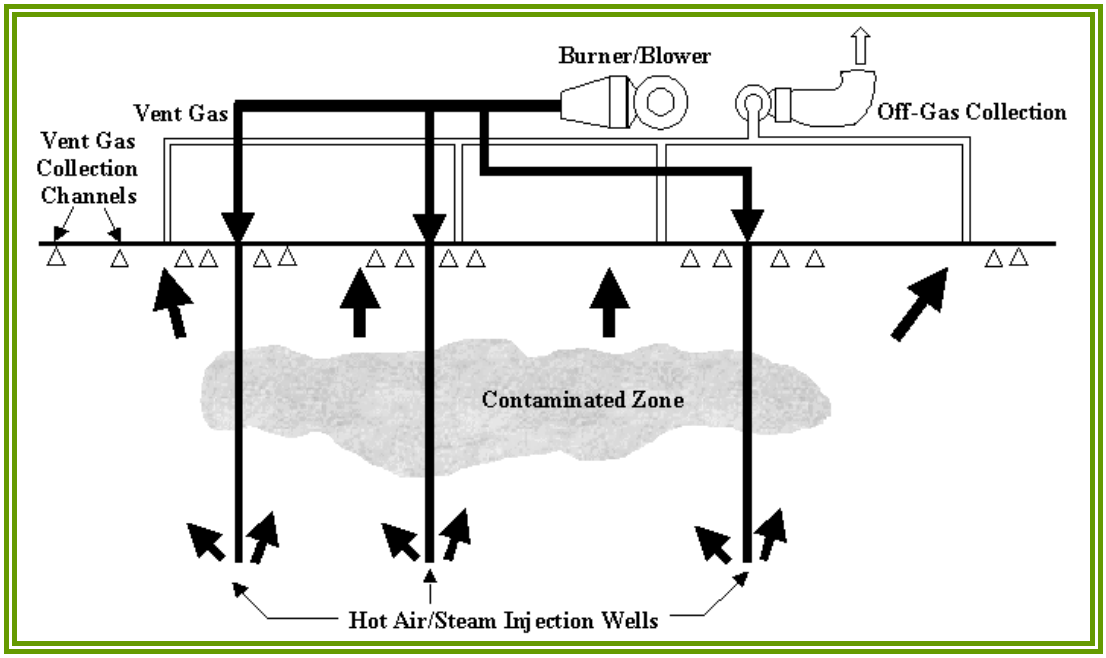


รูปที่ 13 เทคโนโลยีการเผาไหม้ (FRTR, 2009)



รูปที่ 14 เทคโนโลยีการล้างดิน (FRTR, 2009)

ง) วิธีการไล่ด้วยไอน้ำ (Steam stripping) เป็นวิธีที่ใช้ในการกำจัดสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน โดยสามารถกำจัดทั้งสารอินทรีย์ระเหย สารปราบศัตรูพืช และสารคงตัวบางชนิด (ดังรูปที่ 15) (รายละเอียดและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสามารถดูได้จากภาคผนวก)



รูปที่ 15 เทคโนโลยีการไล่ด้วยไอน้ำ (FRTR, 2009)

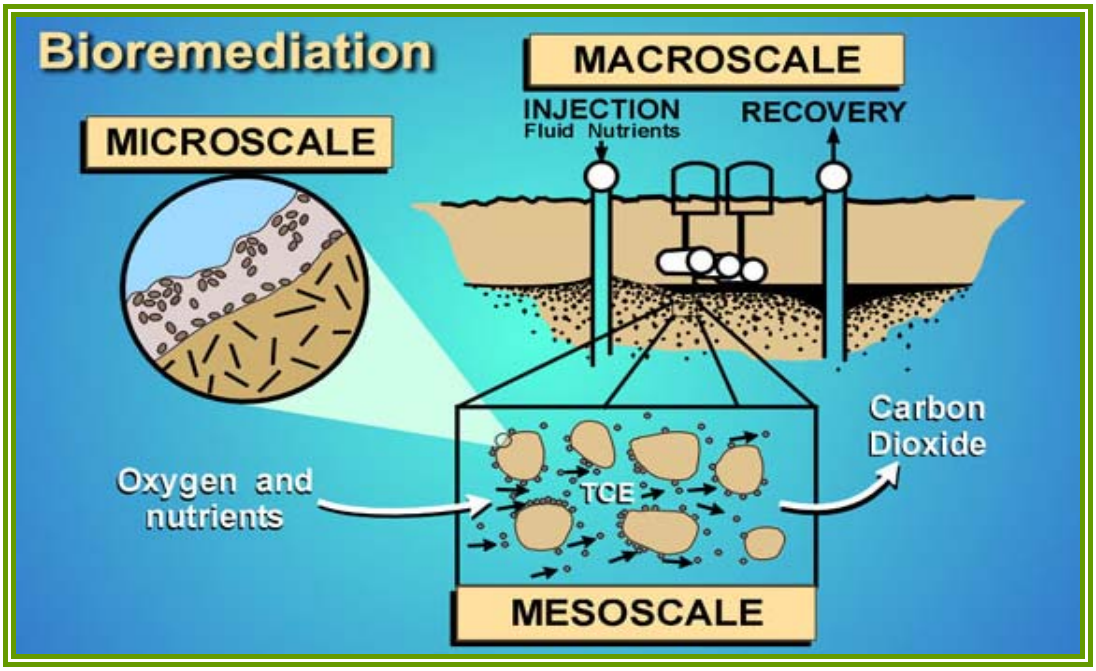
(3.2) การฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์คงตัว

- หาชนิดและปริมาณการปนเปื้อนในดิน
- เปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้ในน้ำใต้ดินกับค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- ประเมินการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน โดยการใช้สมการ Darcy's หรือใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาระยะทางของสารปนเปื้อน เพื่อนำมาใช้ในการประเมินพื้นที่ปนเปื้อน
- เลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น

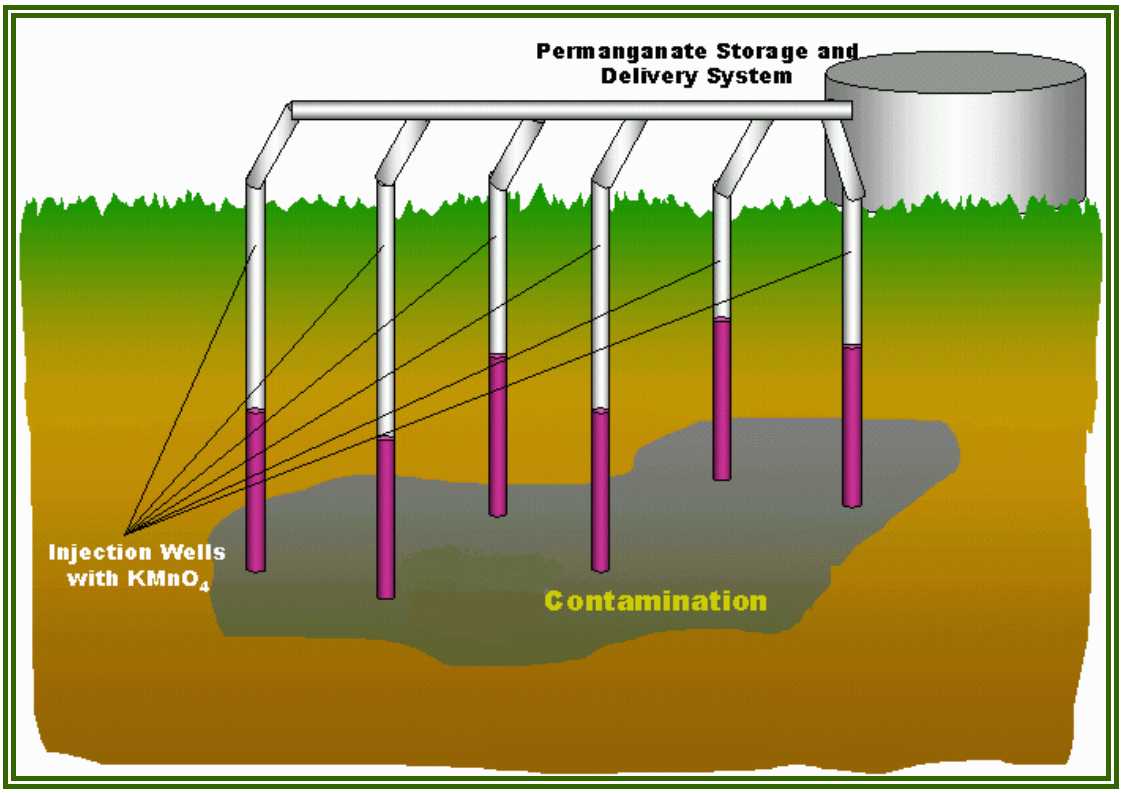
ก) **กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Enhanced Bioremediation)** เป็นกระบวนการส่งเสริมการย่อยสลายสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินโดยการเติมสารอาหาร อากาศและอื่นๆ เพื่อเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพของสารปนเปื้อน (ดังรูปที่ 16)

ข) **การออกซิไดซ์ด้วยสารเคมี (Chemical Oxidation)** เป็นกระบวนการเติมสารออกซิไดซ์ลงไปทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อเปลี่ยนสารปนเปื้อนที่มีพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลง (ดังรูปที่ 17) สารออกซิไดซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต

(สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากภาคผนวกในคู่มือนี้ หรือ website: www.frtr.gov/matrix2/section4)



รูปที่ 16 กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (FRTR, 2009)



รูปที่ 17 กระบวนการการออกซิไดซ์ด้วยสารเคมี (FRTR, 2009)

ขั้นตอนที่ 5 : การติดตามและประเมินผล

ในการดำเนินงานฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ควรมีการวางแผนงานในการประเมินและติดตามผลอย่างต่อเนื่อง เพื่อประเมินความสำเร็จและความเหมาะสมของการใช้เทคโนโลยีการฟื้นฟู โดยการประเมินสภาพแวดล้อมจากการเลือกใช้เทคโนโลยี (Completion and environmental assessment of the proposed clean-up technology) และควรเผยแพร่/รายงานผลให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับทราบด้วย

ทั้งนี้ การประเมินพื้นที่ปนเปื้อนภายหลังการดำเนินการฟื้นฟู และการติดตามตรวจสอบจำเป็นต้องมีการวางแผนในการดำเนินการดังนี้

1) เก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน

โดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจากพื้นที่ปนเปื้อนที่ได้ดำเนินการฟื้นฟูแล้ว ซึ่งตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างควรเป็นตำแหน่งเดียวกับที่ได้เก็บตัวอย่างก่อนการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างให้ดำเนินการตามคู่มือมาตรฐานการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี 2551

2) วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อนในพื้นที่

โดยนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อติดตามผลการดำเนินงาน ซึ่งห้องปฏิบัติการที่ใช้ควรเป็นห้องปฏิบัติการเดียวกับที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างก่อนดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ และต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน เช่น มอก. 17025 (ISO/IEC 17025) หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารปนเปื้อนเฉพาะในพื้นที่นั้นๆ

3) เฝ้าระวังการปนเปื้อน

ทำการสุ่มตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่ปีละ 2 ครั้ง หลังจากดำเนินการฟื้นฟูแล้วเสร็จ โดยทำการติดตามผลในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้หากพบว่าปริมาณมลพิษอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ก็อาจลดความถี่หรือหยุดการเฝ้าระวังได้

ขั้นตอนที่ 6 : การประเมินค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่

หลังจากดำเนินการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมแล้ว ต้องดำเนินการประเมินค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่ เพื่อจัดเตรียมงบประมาณในการฟื้นฟูพื้นที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **ค่าใช้จ่ายในการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อน** ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ประกอบด้วย
  - ค่าเจาะดินเพื่อสำรวจปริมาณสารปนเปื้อน โดยจำนวนหลุมเจาะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ที่ปนเปื้อน ค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยปกติจะเจาะสำรวจอย่างน้อย 5 หลุม โดยหลุมหนึ่งเป็นหลุมอ้างอิง ที่เหลือเป็นหลุมที่ใช้ประเมินทิศทางการปนเปื้อนและการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
  - ค่าวิเคราะห์สารปนเปื้อน โดยทั่วไปการวิเคราะห์การปนเปื้อนจะพิจารณาจากประวัติการปนเปื้อน เพื่อพิจารณาว่ามีสารใดบ้างที่ปนเปื้อนและจำเป็นต้องกำจัดออกจากพื้นที่ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของสารปนเปื้อน ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สามารถประเมินจากค่าวิเคราะห์ที่แต่ละห้องปฏิบัติการรับวิเคราะห์
  - ค่าใช้จ่ายในการสำรวจสภาพพื้นที่โดยรอบพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อนำไปประเมินความเป็นไปได้ในการฟื้นฟูพื้นที่ และประเมินผลกระทบขณะดำเนินการฟื้นฟู
- **ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่** โดยประเมินจากประเภทเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟู ค่าใช้จ่ายในหมวดนี้ประกอบด้วย
  - ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในด้านเครื่องจักร อุปกรณ์ ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษา ตัวอย่างเช่น การลงทุนในการขุดดินขึ้นมาบำบัด ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการจ้างรถแบคโฮขุด ชั่วโมงละ 900-1,200 บาท (ปี พ.ศ. 2550)

- ค่าขนส่งดินปนเปื้อนไปกำจัดหรือฝังกลบ โดยสามารถประเมินจากค่าเช่ารถ โดยปกติประมาณวันละ 2,000-3,000 บาท (ปี พ.ศ. 2550) และค่าน้ำมัน
- ค่าใช้จ่ายในการกำจัด ประกอบด้วย ค่าสารเคมี และค่าใช้จ่ายในการฝังกลบในหลุมฝังกลบ ประมาณตันละ 2,000–3,000 บาท (ปี พ.ศ. 2550)

- **ค่าเสียเวลาในการฟื้นฟูพื้นที่** ซึ่งประกอบด้วยค่าผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ ค่าจ้างผู้ดำเนินการฟื้นฟู

- **ค่าใช้จ่ายภายหลังดำเนินการฟื้นฟู** ได้แก่ ค่าเก็บตัวอย่างและค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน ค่าเจาะดินหรือน้ำใต้ดินสำรวจ ค่าใช้จ่ายในการจัดทำรายงาน เป็นต้น

- **ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากความเสี่ยงต่อความล้มเหลว** เช่น กรณีไม่สามารถบำบัดสารปนเปื้อนได้หมด ทำให้ยังคงมีสารปนเปื้อนตกค้างในพื้นที่

- **ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ** เช่น ค่าใช้จ่ายในฟื้นฟูแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับอันตรายจากการปนเปื้อน เช่น แหล่งน้ำ สัตว์น้ำ พืชพรรณ และอื่นๆ

- **ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควบคุมเหตุเดือดร้อนรำคาญในระหว่างดำเนินการฟื้นฟู** เช่น ค่าติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง อุปกรณ์ป้องกันการแพร่กระจายของฝุ่น เป็นต้น

- **จัดทำงบประมาณจากค่าใช้จ่ายที่ประเมินไว้** โดยแบ่งตามระยะการฟื้นฟู เช่น ระยะเร่งด่วน ระยะกลาง และระยะยาว

ประโยชน์ที่ได้รับจากการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ได้แก่

- การลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายสารมลพิษ
- เพิ่มโอกาสการนำพื้นที่ที่ฟื้นฟูแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
- เข้าใจพฤติกรรมของการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารมลพิษ
- สามารถกำจัดสารปนเปื้อน
- ลดข้อบังคับของกฎหมาย
- สร้างภาพพจน์ที่ดี

ส่วนที่ 3
กรณีตัวอย่าง
การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน

ส่วนที่ 3 กรณีตัวอย่างการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน...

กรณีตัวอย่าง : การฟื้นฟูดินปนเปื้อนเฮกซะวาเลนท์โครเมียม Hagertown, Indiana[2]

บริษัท DANA ได้ดำเนินการเกี่ยวกับการชุบโครเมียมในส่วนประกอบของรถยนต์ในรัฐอินเดียน่าตะวันออก ในระหว่างการหยุดการผลิตก่อให้เกิดการปนเปื้อนในพื้นที่โดยเฉพาะในดินมีการปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในระดับสูงตั้งแต่ 5,600–10,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ผลจากการประเมินการปนเปื้อนในพื้นที่ พบว่า ปริมาณดินปนเปื้อนทั้งหมดมีประมาณ 9,400 ตันที่ระดับความลึกของดิน 8 ฟุต โดยระดับน้ำใต้ดินมีความลึกคงที่ประมาณ 8.2 ฟุต

หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของรัฐอินเดียน่ากำหนดให้บริษัท DANA ทำการฟื้นฟูพื้นที่ให้มีค่าโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ไม่เกิน 1 มก./ล. (จากค่า Toxicity Characteristic Leaching Procedure หรือ TCLP test)

ในการฟื้นฟูดินปนเปื้อนได้ดำเนินการได้ดังนี้

(1) ขุดพื้นดินที่มีโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่โดยรอบพื้นที่ปนเปื้อน

(2) บดย่อยให้โครงสร้างคอนกรีตและดินที่ขุดมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว

(3) ทำการปรับเสถียรดินปนเปื้อนโดยการใช้สารเคมี

(4) ส่งดินที่ปรับเสถียรไปฝังกลบนอกพื้นที่

ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่นี้ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 750,000 เหรียญสหรัฐ

[2] Lehr,J., Hyman,M., Gass, T.E., and Seevers, W.J. 2002. Handbook of Complex Environmental Remediation problems. Mc Graw-Hill. United State. 163 p.

กรณีตัวอย่าง : การฟื้นฟูดินปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายและโลหะ Arcade, New York[3]

อาคารที่รวบรวมสารเคมีและของเสีย เป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนของโรงงานผลิตอุปกรณ์มือถือที่เมืองบัฟฟาโล รัฐนิวยอร์ก จากการตรวจวัดพื้นที่เบื้องต้น พบว่า พื้นที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักและสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบ ได้แก่ BTEX (เบนซีน โทลูอีน เอทธิลเบนซีนและไซลีน) TCE (ไตรคลอโรเอทธิลีน) ส่วนโลหะที่ตรวจพบได้แก่ แคดเมียม โครเมียมและตะกั่ว ระดับการปนเปื้อนพบที่ความลึก 12 ฟุต พื้นที่ปนเปื้อนประมาณ 4,500 ลูกบาศก์หลา

แนวทางในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ใช้เทคโนโลยีผสมโดยการใช้อากาศร้อนอัดลงไปในพื้นที่เพื่อไล่สารอินทรีย์ระเหยและใช้สารเคมีในการปรับเสถียรโลหะหนัก โดยมีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

(1) การเจาะพื้นดินที่ความลึก 12 ฟุต

(2) เป่าอากาศร้อนและใช้ความร้อนในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ TCE ให้มีค่าความเข้มข้นเหลือ 0.7 ppm โทลูอีน 1.5 ppm เอทธิลเบนซีน 5.5 ppm และ ไซลีน 1.2 ppm

(3) นำสารเคมีที่ใช้ในการปรับเสถียรโลหะหนักเติมลงในพื้นที่ปนเปื้อน

ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูพื้นที่ประมาณ 500,000 เหรียญสหรัฐ

กรณีตัวอย่าง : การฟื้นฟูพื้นที่กรณีลักลอบทิ้งและฝังกลบกากอุตสาหกรรม บริเวณชุมชนมาบข่า กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง[4]

จากกรณีที่มีการร้องเรียนจากประชาชนในพื้นที่ว่ามีการลักลอบทิ้งสารเคมีในบริเวณชุมชนมาบข่า กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เข้าตรวจสอบพื้นที่ร้องเรียนดังกล่าว พบว่า มีการลักลอบสารโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว และทองแดงในพื้นที่ดังกล่าวประมาณ 800 ตัน (ปริมาณประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตร) และถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและน้ำจากสิ่งแวดล้อม พบว่า ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปัญหาสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่ แต่เนื่องจากสารเคมีที่ถูกลักลอบทิ้งและฝังกลบดังกล่าวไม่มีการป้องกันการซึมของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะถูกน้ำฝนชะล้างและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนได้ในอนาคต

---

[3] Lehr,J., Hyman,M., Gass, T.E., and Seevers, W.J. 2002. Handbook of Complex Environmental Remediation problems. Mc Graw-Hill. United State. 163 p.

[4] กรมควบคุมมลพิษและกรมโรงงานอุตสาหกรรม, โครงการการดำเนินการขุดรื้อ ขนส่ง เก็บรวบรวม และกำจัดกากอุตสาหกรรม กรณีลักลอบทิ้งและฝังกลบกากอุตสาหกรรม บริเวณชุมชนมาบข่า กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง, 2552.

การฟื้นฟูพื้นที่ดำเนินการโดยการนำเอาดินที่มีสารปนเปื้อนอยู่ออกจากพื้นที่ โดยการขุดรื้อ ขนส่ง เก็บรวบรวม และกำจัดกากอุตสาหกรรมออกจากพื้นที่ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในกรณีตัวอย่างดังกล่าว มีรายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมการ

1.1) ทำการสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างดินบริเวณกองกากอุตสาหกรรมและพื้นที่โดยรอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดทำแผนการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ให้เหมาะสมต่อไป

1.2) จัดเตรียมทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการฟื้นฟูพื้นที่

1.3) จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่าง การขุดลอกกากอุตสาหกรรม การขนส่งกากอุตสาหกรรม รวมถึงอุปกรณ์ในการควบคุมมลพิษ การป้องกันอุบัติภัยเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉิน

1.4) จัดเตรียมแผนปฏิบัติการกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

2) ขั้นตอนการดำเนินการขุดรื้อ เก็บรวบรวมและขนส่ง โดยในการดำเนินการได้แบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

2.1) ทำการกั้นเขตแสดงพื้นที่การดำเนินงาน

2.2) ดำเนินการขุดรื้อกากอุตสาหกรรม โดยใช้รถแบ็คโฮ 1 คัน ขุดลงไปในดินที่ความลึกประมาณ 2 เมตร โดยขุดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อป้องกันการพังทลายของดิน และดำเนินการขุดออกไปในรอบพื้นที่ทั้งในแนวกว้างและยาวด้านละ 0.5 เมตร เพื่อครอบคลุมพื้นที่ที่อาจมีการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

2.3) เก็บหลักฐานและตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน จำนวน 5 จุดเก็บตัวอย่าง โดยในแต่ละจุดทำการเก็บตัวอย่างดินที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ บริเวณหน้าดิน ที่ระดับความลึก 1.5 เมตร และที่ระดับความลึก 3 เมตร แล้วนำมาผสมรวมกันเพื่อเป็นตัวแทนดินปนเปื้อนในพื้นที่ และเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่รอบพื้นที่ปนเปื้อนจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วส่งตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ตามมาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ยังห้องปฏิบัติการ

2.4) ขนส่งกากอุตสาหกรรมและดินปนเปื้อนไปกำจัดยังศูนย์บริหารและจัดการกากอุตสาหกรรม จังหวัดสระบุรี เพื่อนำไปปรับเสถียรก่อนฝังกลบยังหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย

3) ขั้นตอนการบำบัดและกำจัดกากอุตสาหกรรม

ปริมาณกากอุตสาหกรรมและดินปนเปื้อนที่มีการดำเนินการขุดรื้อทั้งหมด ประมาณ 1,193 ตัน ผ่านกระบวนการปรับเสถียรและทำการฝังกลบลงในหลุมฝังกลบแบบปลอดภัยของศูนย์บริหารจัดการกากอุตสาหกรรม จังหวัดสระบุรี ทั้งนี้ขั้นตอนการปรับสภาพดินและพื้นที่ภายหลังการขุดรื้อ

3.1) ทำการปรับสภาพดินด้วยการนำปูนขาวโรยทั่วบริเวณทั้งด้านล่าง ด้านข้างของหลุม และโดยรอบปากหลุม

3.2) ทำการปรับสภาพพื้นที่ด้วยดินลูกรัง ซึ่งเป็นดินที่ผ่านการตรวจวิเคราะห์และเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547)

3.3) ทำการบดอัดดินในพื้นที่ที่ได้ขุดรื้อกากอุตสาหกรรมและดินปนเปื้อนออกไปแล้ว โดยให้มีระดับเดียวกับสภาพพื้นที่โดยรอบ

กรณีตัวอย่าง : การฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อนในเมือง Lockheed Martin[5]

Lockheed Martin เป็นพื้นที่ปนเปื้อนที่ตั้งอยู่ในเมือง Nassau รัฐนิวยอร์ก โดยมีพื้นที่ขนาด 94 เอเคอร์ พื้นที่นี้มีการใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคบริโภคสำหรับประชากรประมาณ 3 ล้านคน จากการตรวจประเมินพื้นที่ พบว่า น้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนสาร 1,2 DCE (1,2-ไดคลอโรอีเธน) และ TCE ในการบำบัดน้ำใต้ดินในพื้นที่ปนเปื้อนนี้ ดำเนินการโดยใช้ระบบดูดซับด้วยถ่านคาร์บอนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2536 (ค.ศ. 1993) จากนั้นใช้ระบบการไล่อากาศในอีก 2 ปีต่อมา จนถึงปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1997) สารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกกำจัดไป 8,000 ปอนด์

ทางเลือกในการฟื้นฟูน้ำใต้ดินสามารถทำได้โดยการใช้ระบบสูบและบำบัด (Pump-and-treat) วิธีการบำบัดประกอบด้วย

(1) การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน

(2) การไล่ด้วยอากาศ

(3) การไล่ด้วยอากาศพร้อมกับการดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน

(4) การไล่ด้วยอากาศและการเผาแบบมีสารเร่ง

(5) การออกซิไดซ์ด้วย UV

โดยค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการฟื้นฟูจำแนกตามเทคโนโลยีแสดงดังตาราง

เทคโนโลยี	มูลค่าปัจจุบัน	ค่าลงทุน	ค่าบำรุงรักษาต่อปี
การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน	$30,570,000	$2,289,640	$1,079,300
การไล่ด้วยอากาศ	$15,800,000	$2,297,640	$515,300
การไล่ด้วยอากาศพร้อมกับการดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน	$18,641,000	$2,500,000	$615,000
การไล่ด้วยอากาศและการเผาแบบมีสารเร่ง	$19,800,000	$3,100,000	$639,000
การออกซิไดซ์ด้วย UV	$28,800,000	$3,000,000	$1,000,000

[5] Lehr,J., Hyman,M., Gass, T.E., and Seevers, W.J. 2002. Handbook of Complex Environmental Remediation problems. Mc Graw-Hill. United State. 163 p.

เอกสารอ้างอิง

APEC. 2009. Remediation Technologies applied to contaminated sites in Japan, http://www.apec-vc.or.jp/e/modules/tinyd00/index.php.

Charbeneau, R.J., Bedient, P.B., and Loehr, R.C. 1992. Groundwater Remediation. Technomic Publishing Company, Inc. U.S.A. 188 p.

Fentiman, A. W. 2009. What Is Being Done to Reduce the Volume of Low-Level Radioactive Waste, ohioline.osu.edu

FRTR. 2009. Remediation technologies screening matrix and reference guide. www.frtr.gov/matrix2/section4

Lehr,J., Hyman,M., Gass, T.E., and Seevers, W.J. 2002. Handbook of Complex Environmental Remediation problems. Mc Graw-Hill. United State. 1.63 p.

Nielsen, D.M. 2006. Environmental Site Characterization and Groundwater Monitoring. CRC Press. Florida, U.S.A. 1318 p.

ORICA. 2009. Orica Botany Transformation Projects. www.oricabotanytransformation.com/files.

กรมควบคุมมลพิษ, เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง เทคโนโลยีการตรวจประเมินและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ภายใต้ โครงการพัฒนาเทคโนโลยีฟื้นฟูพื้นดินที่ปนเปื้อนมลพิษ, 2547.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล ภายใต้โครงการการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล, 2551.

บริษัท เบตเตอร์ เวิลด์ กรีน จำกัด, รายงานผลการดำเนินงานโครงการดำเนินการขุดรื้อ ขนส่ง เก็บรวบรวม และกำจัดกากอุตสาหกรรม กรณีการลักลอบทิ้งและฝังกลบกากอุตสาหกรรม บริเวณชุมชนมาบข่า กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง, เสนอต่อ กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กองบังคับปราบปรามการกระทำผิดเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่จังหวัดระยอง, 2552.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ชนิดและประเภทของเทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน...

เทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสามารถจำแนกตามวิธีการทำงานออกเป็น

1) **การทำลายฤทธิ์** การเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนรูปของสารปนเปื้อน เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารปนเปื้อน ได้แก่ การบำบัดโดยใช้ความร้อน การใช้กระบวนการทางเคมีและชีวภาพ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ทำลายฤทธิ์สารปนเปื้อนสามารถทำได้ทั้งในพื้นที่หรือนอกพื้นที่

2) **การสกัดหรือการแยกสารปนเปื้อนออกจากตัวกลางที่ถูกปนเปื้อน** ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูดินปนเปื้อน ได้แก่ การไล่ด้วยการใช้ความร้อน การล้างดิน การสกัดด้วยตัวทำละลาย และการสกัดโดยให้กลายเป็นไอ ส่วนเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดิน ได้แก่ การแยกเฟส การดูดซับด้วยถ่าน การไล่ด้วยอากาศ การแลกเปลี่ยนประจุ หรือการใช้หลายๆ เทคโนโลยีร่วมกัน

3) **การสกัดกั้นการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน** โดยการใช้เทคโนโลยีการทำให้เสถียร การทำให้เป็นก้อนแข็ง การฝังกลบอย่างปลอดภัย และการสร้างกำแพงเลน

ทั้งนี้ สามารถสรุปเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่และค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูดังตารางผนวกที่ 1 2 และ 3

ตารางผนวกที่ 1 เทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่ดำเนินการในพื้นที่ (In situ)

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
1. เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่โดยวิธีทางชีวภาพ (In Situ Biological Treatment)				
การย่อยสลายทางชีวภาพ (Bioventing)	การเติมออกซิเจนเข้าไปในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่ถูกปนเปื้อน เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในดินซึ่งจะกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพ	สารไฮโดรคาร์บอนพวกปิโตรเลียม ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยา รักษาเนื้อไม้ และสารเคมีอินทรีย์	- ไม่เหมาะกับการปนเปื้อนที่อยู่ในระดับน้ำใต้ดินที่ลึก ชั้นดินที่อิ่มน้ำ หรือดินที่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำ ดินที่มีความชื้นต่ำมาก การย่อยสลายเกิดขึ้นได้จำกัด ต้องมีการติดตามตรวจวัดก๊าซที่ปล่อยออกมาจากผิวดิน - การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนไม่เหมาะกับสารประกอบพวก Chlorinated	350-2,450 B/m^3
การส่งเสริมการฟื้นฟูทางชีวภาพ (Enhanced Bioremediation)	การกระตุ้นกิจกรรมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของจุลินทรีย์ ด้วยการไหลเวียนน้ำหรือสารละลายผ่านดินที่ปนเปื้อนเพื่อกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพในพื้นที่ หรือเพื่อจำกัดการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนประเภทสารอนินทรีย์	ด้วยสารไฮโดรคาร์บอนพวกปิโตรเลียม ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยารักษาเนื้อไม้ และสารเคมีอินทรีย์	- ไม่เหมาะกับการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักความเข้มข้นสูง สารอินทรีย์พวก Chlorinated สูง มีสารไฮโดรคาร์บอนพันธะยาว หรือมีเกลืออนินทรีย์เนื่องจากจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ - การใช้สารละลายผ่านดินอาจเพิ่มการแพร่กระจายหรือเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน - การรวมกลุ่มของจุลินทรีย์อาจอุดตันการเติมสารอาหารและน้ำจากบ่อเติม	1,050-3,500 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			หรืออัดน้ำ - ไม่เหมาะกับดินเหนียว ดินที่มีหลายๆ ชั้น หรือมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันมาก เพราะออกซิเจนถ่ายเทได้จำกัด - อาจต้องบำบัดน้ำใต้ดินที่ได้ ก่อนอัดกลับลงไปหรือกำจัดทิ้ง	
การใช้พืชฟื้นฟู (Phytoremediation)	กระบวนการที่ใช้พืชในการกำจัด เคลื่อนย้าย และทำลายสารปนเปื้อนประเภทอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่อยู่ในดินหรือตะกอน	โลหะ ยาฆ่าแมลง ตัวทำละลายวัตถุระเบิด น้ำมันดิบ PAHs และน้ำชะขยะ	- ระดับความลึกส่วนใหญ่จำกัดอยู่ในดินชั้นตื้นๆ - สารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถเป็นพิษต่อพืชได้ ความเหมาะสมในการใช้งานขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ สามารถถ่ายเทสารปนเปื้อนไปสู่ตัวกลางอื่นได้ เช่น จากดินไปสู่อากาศ ไม่สามารถใช้กับสารปนเปื้อนจำพวก Strongly Sorbed (เช่น PCBs) และ Weakly Sorbed - ไม่ทราบแน่ชัดถึงความเป็นพิษ และการใช้ประโยชน์ของพืชที่ใช้จากวิธีนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเคลื่อนย้ายลงสู่น้ำใต้ดิน หรืออาจสะสมอยู่ในสัตว์ได้ ยังไม่ได้รับการยอมรับจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ	1,050 – 1,750 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
2. เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่ โดยวิธีทางกายภาพ/เคมี (In Situ Physical/Chemical Treatment)				
การออกซิไดซ์ด้วยสารเคมี (Chemical Oxidation)	การเปลี่ยนแปลงสารปนเปื้อนอันตรายไปเป็นสารประกอบที่ไม่อันตรายหรืออันตรายลดลง ซึ่งทำให้ได้สารที่เสถียรมากยิ่งขึ้น มีการเคลื่อนตัวได้น้อยลง	Unsaturated aliphatic (เช่น trichloroethylene [TCE]) และ aromatic compounds (เช่น เบนซีน)	- ต้องมีการขนย้าย/จัดเก็บสารออกซิไดซ์ ซึ่งมีอันตรายในปริมาณมาก - สารปนเปื้อนบางตัวมีความต้านทานต่อการออกซิเดชัน อาจทำให้เกิดผลกระทบที่อันตรายจากการทำปฏิกิริยา	ไม่มีข้อมูล
การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrokinetic Separation, ES)	กระบวนการกำจัดโลหะและสารปนเปื้อนออกจากดินที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเพื่อไล่หรือกำจัดโลหะและสารอินทรีย์ที่มีขั้วไฟฟ้า เพื่อสูบไปบำบัดต่อไป	โลหะหนัก อนุภาคประจุลบ	- ประสิทธิภาพลดลงมาก ถ้าของเสียที่มีความชื้นน้อยกว่า 10% ดินที่มีวัตถุที่เป็นโลหะ หรือเป็นฉนวนอาจทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินแปรปรวน และไม่เหมาะกับตะกอนที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง เช่น ตะกอนแร่ขั้วไฟฟ้าโลหะ อาจเกิดการละลายซึ่งจะทำให้เกิดสนิม หรือการกัดกร่อนในดินได้ - อาจทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการได้ เช่น ก๊าซคลอรีน จากปฏิกิริยา Oxidation/Reduction	4,100 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
การล้างดิน (Soil Flushing/Soil Washing)	การปล่อยหรืออัดน้ำหรือน้ำที่ผสมสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อนลงไปในน้ำใต้ดินเพื่อเพิ่มระดับน้ำใต้ดินในชั้นดินที่ปนเปื้อน ทำให้สารปนเปื้อนถูกชะละลายลงสู่น้ำใต้ดินซึ่งจะถูกสูบไปบำบัดต่อไป	สารกัมมันตรังสี	- ดินที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ หรือมีเนื้อดินมีความแตกต่างกันมาก บำบัดด้วยวิธีนี้ได้ยาก - สารลดแรงตึงผิวอาจยึดตรึงอยู่ในดินและลดความพรุนของดิน - การเกิดปฏิกิริยา ระหว่างของเหลวที่ใช้ในการล้างดิน อาจทำให้ยากต่อการชะล้างสารปนเปื้อนออกจากดิน - อาจเกิดการชะล้างลงไปใต้ระดับดินที่ปนเปื้อนซึ่งทำให้สารลดแรงตึงผิวมีโอกาสปนเปื้อนลงไปลึกได้ - ค่าใช้จ่ายในการแยกและบำบัดสารชะล้างที่นำกลับขึ้นมาอาจทำให้วิธีนี้ไม่คุ้มค่าหรือมีค่าใช้จ่ายสูง	1,050-10,500 B/m^3
การสกัดสารระเหยง่ายออกจากดิน (Soil Vapor Extraction, SVE)	การใช้ระบบสุญญากาศผ่านบ่อหรือท่อลงไปในดิน เพื่อดึงสารระเหยในรูปของก๊าซออกจากดิน	สารปนเปื้อนประเภท VOCs และเชื้อเพลิงบางชนิด heavy oils, metals, PCBs หรือ dioxins	- ดินที่มีเนื้อละเอียดเป็นองค์ประกอบมาก หรือมีความอิ่มตัวสูงจะต้องใช้แรงดูดอากาศสูง เพื่อให้เกิดสภาพสุญญากาศ และ/หรือขัดขวางดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง หรือแห้งมากๆ จะมีความสามารถในการดูดจับสาร	350-1,750 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			VOCs ได้สูง ทำให้ลดอัตราการกำจัดลงได้ - ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากระบบ SVE อาจต้องมีการบำบัดเพื่อกำจัดสารที่อาจเป็นอันตราย - การบำบัดก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากวิธีนี้ อาจทำให้เกิดของเหลวตกค้างที่ต้องมีการบำบัด/กำจัด - ใช้ไม่ได้ผลกับดินที่มีความอิ่มตัว แต่อาจใช้วิธีลดระดับน้ำใต้ดินลง เพื่อให้สามารถใช้วิธีนี้ได้	
การปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง (Solidification/Stabilization)	การหุ้มหรือเคลือบสารปนเปื้อนด้วยมลสารที่มีความเสถียร (Solidification) หรือการทำปฏิกิริยาระหว่างสารปรับเสถียรและสารปนเปื้อนเพื่อลดความสามารถในการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน (Stabilization)	VOCs, SVOCs และยาฆ่าแมลง โลหะหนัก และสารกัมมันตรังสี	- ระดับความลึกของการปนเปื้อนเป็นข้อจำกัดของบางวิธี การใช้ประโยชน์พื้นที่ในอนาคต อาจรบกวนมวลของแข็งที่ถูกฝังในดิน และอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนได้ - บางกระบวนการอาจเป็นการเพิ่มปริมาตรของเสียได้อย่างมาก (อาจถึง 2 เท่าของปริมาตรเดิม) - ควรมีการศึกษาความสามารถในการ	1,750-11,550 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			บำบัดของกระบวนการที่จะใช้ เนื่องจากของเสียบางชนิดไม่สามารถใช้ได้กับวิธีนี้ - การขนส่งสาร/วัสดุในการทำ S/S และการกวนผสมที่ดีอาจทำได้ยากกว่าการทำนอกพื้นที่ - มวลของแข็งที่ได้จากกระบวนการนี้อาจเป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่ในอนาคต - การปนเปื้อนที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน อาจต้องมีการลดระดับน้ำหรือสูบน้ำออกก่อน ที่จะดำเนินการด้วยวิธีนี้	
การทำให้แตก (Fracturing)			- ไม่ควรใช้ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเคลื่อนตัวหรือการเกิดแผ่นดินไหว - รอยแตกหรือรอยแยกที่เกิดขึ้นจะไม่ถาวรสำหรับดินที่ไม่มีความเหนียวหรือไม่เป็นดินเหนียว - ควรมีการสำรวจโครงสร้างที่อาจฝังอยู่ใต้ดิน - ทำให้อาจเพิ่มเส้นทางสำหรับการแพร่กระจายสารปนเปื้อนได้	150 – 300 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
การดูดซับ (Adsorption)	เป็นกระบวนการซึ่งกำจัดสารปนเปื้อนละลายในน้ำ (Adsorbate) โดยการสัมผัสกับพื้นผิวของตัวดูดซับ (Adsorbent)	VOCs, โลหะหนัก	ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น - สารปนเปื้อนที่มีความสามารถละลายสู่จะถูกดูดซับได้ยากกว่าสารปนเปื้อนที่มีความสามารถละลายต่ำ - สารที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบเส้นตรงจะถูกดูดซับได้ยากกว่าสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบกิ่งก้านสาขา	
การตกผลึก (Precipitation)	โดยการนำของเสียอันตรายอนินทรีย์มาผสมกับสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนผลึกอนินทรีย์ภายใต้ pH ที่เหมาะสม	โลหะหนัก		
การกรองด้วยเยื่อเมมเบรน (Membrane filtration)	เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากสารปนเปื้อนโดยการกรองผ่านเยื่อกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นของการไหล ซึ่งยอมให้มีการเคลื่อนที่ผ่านเฉพาะน้ำ อิออน หรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าเยื่อกรองเท่านั้น	โลหะหนัก	- ปัญหาจากการอุดตันและการสึกกร่อนของเยื่อกรอง	

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
3. เทคโนโลยีการฟื้นฟูในพื้นที่ โดยวิธีใช้ความร้อน (In Situ Thermal Treatment)				
การใช้ความร้อนบำบัด (Thermal Treatment)	การอัดไอ/อากาศร้อน หรือการให้ความร้อนโดยใช้ตัวต้านทานไฟฟ้า / คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า / ใยแก้ว / ความถี่วิทยุ เพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของสารกึ่งระเหย หรือทำให้เกิดการแยกตัวของสารปนเปื้อน	VOCs และ SVOCs	- ประสิทธิผลในการแยกสารปนเปื้อนออกจากดินขึ้นกับอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบสามารถให้ได้ - ไม่เหมาะกับดินที่มีความชื้นสูง - เนื้อดินที่มีความสามารถในการซึมผ่านได้แตกต่างกันมาก อาจทำให้อากาศไหลผ่านดินที่ปนเปื้อนได้ไม่สม่ำเสมอ - ดินที่มีสารประกอบอินทรีย์สูงจะมีความสามารถในการดูดซับสารประเภท VOCs ได้สูงทำให้ลดอัตราการกำจัดสารพวกนี้ลงได้ - อาจต้องมีการบำบัดอากาศที่ปลดปล่อยออกมา ซึ่งอาจเพิ่มค่าดำเนินการให้สูงขึ้นได้ - ของเหลวที่ได้จากวิธีนี้ รวมทั้งถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว อาจต้องมีการบำบัดต่อไป - วิธี Thermally enhanced SVE นี้อาจไม่มีประสิทธิภาพสำหรับดินที่อิ่ม	1,050-4,550 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			น้ำ แต่ก็สามารถทำได้ด้วยการลดระดับน้ำในดินลง - วิธีการอัดอากาศร้อนอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากความสามารถในการดูดความร้อนของอากาศมีค่าต่ำ	
การเผา (Vitrification)	โดยการหลอมเหลวที่อุณหภูมิมากกว่า 1600°C แล้วลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จะทำให้ของเสียอันตรายไม่หลุดออกและมีความเสถียรมาก ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ในพื้นที่ที่ปนเปื้อน โดยดินที่ปนเปื้อนจะถูกให้ความร้อนจนหลอมเหลว โดยระหว่างการหลอมจะเติม graphite และเศษแก้ว หลังการหลอมจะเกิดการยุบตัว ทำให้ช่องอากาศและช่องน้ำในดินหายไป ซึ่งส่งผลให้ปริมาตรของดินปนเปื้อนลดลง			

ตารางผนวกที่ 2 **เทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยการเคลื่อนย้ายตัวกลางที่ปนเปื้อนไปบำบัดหรือกำจัดต่อนอกพื้นที่ (Ex situ)**

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
4. เทคโนโลยีการฟื้นฟูนอกพื้นที่ โดยวิธีทางชีวภาพ/เคมี (Ex Situ Biological/ Chemical Treatment)				
การทำร่องชีวภาพ (Biopiles)	การขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาทำการผสมกับสารปรับปรุงดิน แล้วนำไปกองในพื้นที่ปิด ซึ่งจะมีการเติมอากาศเข้าไปช่วยการย่อยสลายภายในกองดินโดยใช้เครื่องเป่าอากาศหรือปั๊มสุญญากาศ	Nonhalogenated VOCs และสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกเชื้อเพลิง	- ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาเพื่อทำการบำบัด ควรมีการทดสอบความสามารถในการบำบัดเพื่อทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของสารปนเปื้อน และเพื่อหาอัตราการเติมสารอาหารและออกซิเจนที่เหมาะสม - ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบประเภท halogenated Compounds ยังไม่แน่ชัด และอาจใช้ไม่ได้กับวัตถุระเบิด (Explosives Products)	4,550-9,100 B/m^3
การหมักทำปุ๋ย (Composting)	การขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาผสมกับสารผสมเพื่อเพิ่มอินทรีย์ เช่น เศษไม้ หญ้า มูลสัตว์ ซึ่งสารผสมต้องเป็นชนิดที่สามารถเพิ่มความพรุนได้เพียงพอและให้อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นกิจกรรม	TNT, RDX, และ HMX สารแอมโมเนียมพิคเรท PAHs	- ต้องการพื้นที่ค่อนข้างมากในการหมัก ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมา และอาจทำให้ไม่สามารถควบคุมการระเหยของสาร VOCs ได้ - การหมักทำให้ปริมาตรเพิ่ม เนื่องจากมีการใส่วัสดุผสมเพิ่ม - แม้ว่าระดับโลหะอาจลดลงเนื่องจากการเจือจาง แต่โลหะหนักเหล่านั้นก็ยังไม่ได้	9,030-13,300 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
	ด้าน themophilic และ microbial		มีการบำบัด และปริมาณโลหะหนักที่สูง อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้	
การทำฟาร์มดิน(Landfarming)	การขุดดิน ตะกอนหรือสลัดจ์ที่ปนเปื้อนมากองบนพื้นที่ที่มีการปูวัสดุกันซึม แล้วมีการพลิกกลับเป็นช่วงๆ เพื่อเพิ่มการเติมอากาศให้กับของเสีย	ตะกอนจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม	- ต้องการพื้นที่ในการดำเนินการมาก - ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลายสารปนเปื้อนทางชีวภาพ (เช่น อุณหภูมิ ฝน) ได้ ทำให้อาจเพิ่มระยะเวลาในการฟื้นฟู - ไม่สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนจำพวกอนินทรีย์ได้ - จะต้องมีการบำบัดสารปนเปื้อนที่ระเหยได้ง่ายก่อน - ควรควบคุมการฝุ่นระหว่างการไถพรวนดิน และการขนย้ายวัสดุอื่นๆ - ต้องมีการสร้างระบบรวบรวมน้ำฝนและต้องมีการติดตามตรวจวัด ต้องมีการสำรวจวิเคราะห์ความลาดชันของพื้นที่ การกัดเซาะ สภาพอากาศ ลักษณะและความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินในพื้นที่	3,500 B/m^3
การบำบัดของเหลวข้นทาง	การนำดิน ตะกอนดินหรือสลัดจ์	Explosives ไฮโดรคาร์บอน	- ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาทำการ	4,550-7,350 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
ชีวภาพ (Slurry Phase Biological Treatment)	มาผสมกับน้ำและสารผสมเพิ่มอื่นๆ เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีลักษณะเป็น Slurry เพื่อให้ของแข็งลอยตัวและให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับดินที่ปนเปื้อน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกรีดน้ำและนำดินที่บำบัดได้ไปทำการกำจัดต่อไป	จำพวกปิโตรเลียม สารปิโตรเคมี ตัวทำละลาย ยาฆ่าแมลง น้ำยารักษาเนื้อไม้ และสารเคมีอินทรีย์	บำบัด ยกเว้นกรณีใช้บ่อหรือสระ การรีดน้ำออกจากดินที่มีเนื้อละเอียดหลังผ่านการบำบัดอาจมีค่าใช้จ่ายสูง ต้องมีวิธีการในการกำจัดน้ำเสียที่ยอมรับได้	
การสกัดทางเคมี (Chemical Extraction)	การผสมดินที่ปนเปื้อนกับสารสกัดในเครื่องแยกสกัด เพื่อให้สารปนเปื้อนละลายออกจากดิน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำการแยกสารปนเปื้อนและสารสกัดออกจากกันด้วยเครื่องแยก เพื่อนำสารปนเปื้อนที่ได้ไปทำการบำบัดต่อไป ส่วนสารสกัดที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้อีก	PCBs, VOCs, halogenated solvents และ petroleum wastes โลหะหนัก	- ดินที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวสูงอาจลดประสิทธิภาพในการสกัดกากของเสียที่ได้จากการสกัดแยกจะต้องมีการจัดการที่เหมาะสมและเข้มงวด - ผงซักฟอกและสาร emulsifiers อาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสกัดแยกสาร - ต้องคำนึงถึงพิษของตัวทำละลายที่ตกค้างในดิน - มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสารที่ละลายน้ำได้ดี - การกำจัดโลหะหนักให้ได้ตามค่า	1,850-7,550 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			มาตรฐานอาจไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ - ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง และอาจมีความเหมาะสม และคุ้มค่ากับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่	
การออกซิไดซ์/รีดิวซ์ทางเคมี (Chemical Reduction/Oxidation)	การเปลี่ยนแปลงสารปนเปื้อนอันตรายไปเป็นสารประกอบที่ไม่อันตรายหรืออันตรายลดลง โดยวิธี Reduction/Oxidation ทางเคมี	Inorganics	- อาจเกิดปฏิกิริยา Oxidation ที่ไม่สมบูรณ์ หรือเกิดสาร Intermediated Contaminants ได้ - ไม่คุ้มค่าสำหรับดินที่มีการปนเปื้อนความเข้มข้นสูง เนื่องจากต้องใช้สารออกซิไดซ์ปริมาณมาก - ควรแยกน้ำมันและไขมันออกจากดินให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของกระบวนการ	6,650-23,100 B/m^3
การกำจัดฮาโลเจน (Dehalogenation)	การเติมสารเคมีลงไปในดินที่ปนเปื้อนด้วย halogenatie organics เพื่อเข้าไปแทนที่โมเลกุลอาโลเจน หรือเพื่อเข้าไปแตกหรือแยกองค์ประกอบของสารปนเปื้อนและทำให้เกิดการระเหยได้บางส่วน	Halogenated SVOCs และยาฆ่าแมลง	- ดินที่มีองค์ประกอบของดินเหนียวและความชื้นสูง จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงขึ้น - เทคโนโลยี APEG/KPEG โดยทั่วไปไม่คุ้มค่ากับของเสียที่มีปริมาตรมากๆ - ในดินที่มีการปนเปื้อนของ Chlorinated organics เกิน 5% จะต้องใช้สาร	3,750-9,350 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			reagent ในปริมาณมาก	
การแยกออก (Separation)	กระบวนการแยกสารปนเปื้อนออกจากตัวกลางที่ถูกปนเปื้อนที่เป็นของแข็ง เช่น ดิน ทราย หรือวัตถุที่หล่อรวมกับสารปนเปื้อน โดยใช้วิธีทางกายภาพหรือทางเคมี	SVOCs, fuels และ inorganics (รวมถึงสารกัมมันตรังสี)	- ดินที่มีเนื้อดินเหนียวและความชื้นสูงทำให้ค่าบำบัดสูงขึ้น - อาจต้องมีการตรวจวัดกลิ่นที่เกิดจากสลัดจ์อินทรีย์จากสภาพการหมักแบบไร้อากาศที่เกิดขึ้นเป็นพิเศษ	ไม่มีข้อมูล
การล้างดิน (Soil Washing)	การแยกสารปนเปื้อนที่แทรกอยู่ในอนุภาคดินขนาดเล็กโดยใช้น้ำซึ่งอาจมีการเติมสารช่วยชะละลายลงไป หรือสารลดแรงตึงผิว หรือสารปรับ pH หรือ Chelating agent เพื่อช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์หรือโลหะหนักออกจากดิน	SVOCs เชื้อเพลิง และโลหะหนัก	- ของเสียที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น โลหะหนักกับสารอินทรีย์ อาจยากในการชะล้างออกจากกัน - ดินที่มีปริมาณ humic สูงต้องบำบัดเบื้องต้นก่อน - ของเสียที่เป็นของเหลวจะต้องทำการบำบัดสภาพที่ไม่มีการเคลื่อนที่ - อาจต้องมีการบำบัดกากของเสียที่เหลือจากการบำบัด ในขั้นต่อไป เนื่องจากการตกค้างของตัวทำละลายในดิน - การกำจัดสารอินทรีย์ที่ดูดซึมอยู่ในอนุภาคดินเหนียวอาจทำได้ยาก	3,200 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
การปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง (Solidification/Stabilization)	การหุ้มหรือเคลือบสารปนเปื้อนด้วยมลสารที่มีความเสถียร (Solidification) หรือการทำปฏิกิริยาระหว่างสารปรับเสถียรและสารปนเปื้อนเพื่อลดความสามารถในการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน (Stabilization)	สารกัมมันตรังสี โลหะหนัก	- สภาพแวดล้อมอาจมีผลกระทบต่อการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนได้ในระยะยาว - บางกระบวนการทำให้เกิดการเพิ่มปริมาตรขึ้นมาก (อาจมากถึง 2 เท่าจากเดิมได้) - ไม่สามารถหยุดการเคลื่อนตัวของสารอินทรีย์ได้ - การดำเนินการด้วยวิธีการหลายๆ วิธีหรือสารปนเปื้อนหลายๆ ชนิด อาจไม่สามารถทำการตรวจวัดประสิทธิภาพในระยะยาวได้	1,850 B/m^3
5. เทคโนโลยีการฟื้นฟูนอกพื้นที่ โดยวิธีทางความร้อน (Ex Situ Thermal Treatment)				
การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยก๊าซร้อน (Hot Gas Decontamination)	การเพิ่มอุณหภูมิหรือการให้ความร้อนกับอุปกรณ์หรือวัตถุที่ปนเปื้อนภายในระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงนำก๊าซที่ปล่อยออกมาจากวัตถุดังกล่าวไปทำการบำบัดโดยการเผาไหม้เพื่อทำลายสารปนเปื้อนระเหยทั้งหมด	Pyrotechnics, Explosives และ propellants	- ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเผาแบบเปิดโล่ง (Open burning) - ต้องมีการออกแบบห้องเผาที่ทนแรงระเบิดได้ เนื่องจากอาจเกิดการระเบิดจากการปลดทุ่นระเบิดและกระสุน ที่ไม่เหมาะสมได้ - อัตราการทำลายสารปนเปื้อนใน	ไม่มีข้อมูล

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			อุปกรณ์หรือวัตถุที่ปนเปื้อนเกิดได้ช้ากว่าการเผาแบบเปิดโล่ง (Open burning)	
การเผา (Incineration)	การใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 870-1,200°C (1,600-2,200°F) เพื่อเผาสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในของเสียอันตรายโดยใช้ออกซิเจน	ของเสียอันตราย วัตถุระเบิด Chlorinated Hydrocarbons บางตัว PCBs และ Dioxins	- ระบบป้อนที่มีขนาดจำเพาะและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสียอาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย - เถ้าหนักที่เกิดขึ้นอาจมีโลหะหนักที่ต้องมีการทำให้เสถียรโลหะหนักที่ระเหย เช่น Lead cadmium mercury และ Arsenic ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดก๊าซ - โลหะสามารถทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นในน้ำได้ เช่น คลอรีน หรือซัลเฟอร์ ซึ่งจะระเหยได้ดียิ่งขึ้นและเกิดสารประกอบที่มีพิษกว่าเดิม - อาจเกิดการฟอร์มตัวของโซเดียม และโพแทสเซียม ซึ่งสามารถทำลายอิฐทนไฟที่ใช้ในเตา และทำให้เกิดอนุภาคที่ไปอัดตันทางเดินของก๊าซ	3,750-18,650 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
การเผาแบบไร้อากาศ (Pyrolysis)	การทำลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อนในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ ส่วนกากของแข็งที่เหลือ (ถ่าน) จะประกอบไปด้วยคาร์บอนและเถ้า	SVOCs และยาฆ่าแมลงของเสียจากโรงกลั่น coal tar ดินที่ปนเปื้อนหรือไฮโดรคาร์บอนของเสียผสมระหว่างสารกัมมันตรังสี และสาร	- ระบบป้อนที่มีขนาดจำเพาะและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสีย อาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย - เป็นเทคโนโลยีที่ต้องมีการทำให้ดินแห้งเพื่อให้มีความชื้นต่ำสุด (-1%) - การสึกกร่อนของระบบป้อนในระดับสูงอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหาย - ปริมาณความชื้นที่สูงจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงตาม - ตัวกลางที่ผ่านการบำบัดซึ่งมีการปนเปื้อนโลหะหนักอาจต้องมีการปรับเสถียรก่อน	5,700 B/m^3
การสกัดด้วยความร้อน (Thermal Desorption)	การใช้ความร้อนเพื่อทำการระเหยน้ำและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเสียออกมา โดยจะต้องมีระบบดูดก๊าซที่เกิดขึ้นไปทำการบำบัดต่อไป	Nonhalogenated VOCs และ fuels, SVOCs, PAHs, PCBs และยาฆ่าแมลง	- ขนาดอนุภาคและความจำเป็นในการขนย้าย/จัดการของเสีย อาจมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือเพิ่มค่าใช้จ่าย - อาจต้องรีดน้ำออกจากดินเพื่อให้ได้ระดับความชื้นที่รับได้ - การสึกกร่อนของระบบป้อนในระดับสูงอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหาย	1,000-6,200 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			- โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินอาจทำให้เกิดกากของเสียที่ต้องมีการปรับเสถียรก่อน - ดินเหนียว ดินทรายและดินที่มี humic content สูงต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน เนื่องจากอาจมีการรวมตัวกันของสารปนเปื้อนกับดินเหล่านี้	
6. เทคโนโลยีการสกัดการเคลื่อนที่ (Containment Technologies)				
การปิดด้วยดิน (Landfill Cap)	เป็นวิธีที่ใช้ในการควบคุม ณ แหล่งที่ปนเปื้อน โดยการใช้วัสดุกันซึมหรือวัสดุทึกน้ำทำการปิดคลุมพื้นที่บริเวณที่ปนเปื้อนไว้	ไม่มีข้อจำกัด	- ไม่ได้ช่วยลดความเป็นพิษ และปริมาตรของสารอันตราย เพียงแต่ช่วยลดการแพร่กระจายเท่านั้น - ต้องมีการระมัดระวัง เพื่อป้องกันการแตกร้าว หรือหลุดรั่วของวัสดุปิดคลุมอันเนื่องจากการใช้ประโยชน์พื้นที่	2,100 B/m^3
การสร้างกำแพงกายภาพ (Physical Barriers)	การสร้างกำแพงกั้นขวางการไหลของน้ำ หรือการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ซึ่งมีวิธีการทำโดยการขุดร่องลึกลงไปในแนวดิ่ง จากนั้นจึงเติมสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวลงไปแทน โดยมักใช้ของผสม	ไม่มีข้อจำกัด	- ส่วนใหญ่จะต้องใช้โครงสร้างที่หนักในปริมาณมาก - เป็นเทคโนโลยีที่กั้นหรือขวางสารปนเปื้อนไว้ภายในพื้นที่จำกัดเท่านั้น - กำแพงที่ทำจากดินผสม Bentonite ไม่ทนทานต่อกรดหรือด่าง สารละลาย	18,900-26,250 B/m^3

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
	ระหว่างเบนโทไนท์กับน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่กันการทรุดตัวและลดหรือกันการไหลของน้ำใต้ดินได้		เกลือ หรือสารเคมีอินทรีย์บางตัวที่มีความเข้มข้นสูง - กำแพงอาจมีการย่อยสลายหรือเสื่อมสภาพลงเมื่อเวลาผ่านไป - การใช้เทคโนโลยีนี้ไม่อาจรับรองได้ว่าจะไม่ต้องมีการฟื้นฟูต่อไปในอนาคตอีก	
การอัดลงบ่อลึก (Deep Well Injection)	เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดของเสียที่เป็นของเหลว ซึ่งจะใช้วิธีการอัดของเสียที่อาจบำบัดแล้วหรือยังไม่ได้บำบัด ผ่านบ่อหรือท่อลงไปในชั้นใต้ดินที่สามารถกันไม่ให้สารปนเปื้อนหลุดรั่วหรือเคลื่อนตัวสู่ชั้นน้ำได้	VOCs, SVOCs, fuels, explosive, ยาฆ่าแมลง	- ไม่ใช้กับพื้นที่ที่อยู่ในโซนเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว หรือการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (seismic activity) - ของแข็งแขวนลอยที่มีมากเกินไป (โดยทั่วไป > 2 ppm) อาจทำให้เกิดการอุดตันของท่ออัดฉีด - ของเสียที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอาจทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนของท่ออัดฉีด หรือกับชั้นดินหรือหินในชั้นอัดฉีด หรือกับหินที่ปิดทับ - ของเสียที่มีเหล็กในปริมาณเข้มข้นสูงอาจทำให้เกิดเป็นสนิม หรือตะกรันจากการเปลี่ยนสถานะของวาเลนซ์ หรือการเปลี่ยนจากสารละลายน้ำได้เป็นไม่	ไม่มีข้อมูล

เทคโนโลยีการฟื้นฟู	หลักการเบื้องต้น	ตัวอย่างมลสารเหมาะสม	ข้อจำกัด	ค่าใช้จ่ายในต่างประเทศ โดยประมาณ (คำนวณที่อัตราแลกเปลี่ยน $1=35 baht)
			ละลายน้ำ - สารคาร์บอนอินทรีย์อาจกลายเป็นแหล่งพลังงานให้กับเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่เดิมที่ที่อัดฉีดลงไป ซึ่งทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดการอุดตันได้ - ควรประเมินพื้นที่และคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อหาความเหมาะสมในการอัดฉีดน้ำเสียลงไป - การใช้งานในปัจจุบันจะถูกควบคุมโดยกฎหมายอย่างเคร่งครัด	

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, โครงการพัฒนาเทคโนโลยีฟื้นฟูพื้นดินที่ปนเปื้อนมลพิษ, 2546.

ตารางผนวกที่ 3 Treatment Technologies Screening Matrix

Rating Codes ■ Above Average ☑ Average ☐ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" © - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			Q&M	Capital	System Reliability Maintainability	Relative Costs	Time									
Soil, Sediment, Bedrock and Sludge																
3.1 In Situ Biological Treatment																
4.1 Bioventing	■	■	■	■	■	■	☑	■	■	©	■	☐	■	☐	©	☐
4.2 Enhanced Bioremediation	■	■	☐	☑	☑	■	☑	■	■	■	■	©	■	©	©	■
4.3 Phytoremediation	■	■	■	■	☐	■	☐	☑	☑	☑	☑	©	☑	☑	☐	☐
3.2 In Situ Physical/Chemical Treatment																
4.4 Chemical Oxidation	■	■	☐	☑	☑	☑	■	■	☑	☑	☐	☑	☐	©	☐	☑
4.5 Electrokinetic Separation	■	☐	☐	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	■	☑	☐
4.6 Fracturing	■	☑	☑	☐	☑	☑	☑	■	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☐
4.7 Soil Flushing	■	■	☐	☑	☑	☑	☑	■	■	■	☑	☑	☑	■	☐	☐
4.8 Soil Vapor Extraction	■	☐	☐	☑	■	■	☑	■	■	■	☐	☐	■	☐	☐	☐
4.9 Solidification/Stabilization	■	■	☑	☐	■	■	■	■	☐	☐	☑	☑	☐	■	■	☐
3.3 In Situ Thermal Treatment																
4.10 Thermal Treatment	■	☐	☐	☐	■	☑	■	■	■	■	■	■	■	☐	☐	☐

Rating Codes ■ Above Average ☑ Average ☐ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" © - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			Q&M	Capital	System Reliability Maintainability	Relative Costs	Time									
3.4 Ex Situ Biological Treatment (assuming excavation)																
4.11 Biopiles	■	■	■	■	■	■	☑	■	■	■	☑	©	■	©	☐	☐
4.12 Composting	■	■	■	■	■	■	☑	■	☑	☑	☑	©	■	☐	☐	■
4.13 Landfarming	■	■	■	■	■	■	☑	■	☑	☑	■	☑	■	☐	☐	©
4.14 Slurry Phase Biological Treatment	■	☐	☐	☐	☑	☑	☑	■	☑	■	■	©	■	©	☐	■
3.5 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation)																
4.15 Chemical Extraction	■	☐	☐	☐	☑	☑	☑	■	☑	☑	■	■	☑	■	☑	☐
4.16 Chemical Reduction / Oxidation	■	☑	☑	☐	■	☑	■	■	☑	☑	☑	☑	☑	■	☐	☑
4.17 Dehalogenation	■	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☐	■	☐	■	☐	☐	☐	☑
4.18 Separation	■	☑	☐	☑	■	☑	■	■	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☐	☐
4.19 Soil Washing	■	☐	☐	☐	■	☑	■	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐
4.20 Solidification/Stabilization	■	■	☑	☐	■	■	■	■	☐	☐	☑	☑	☐	■	■	☐
3.6 Ex Situ Thermal Treatment (assuming excavation)																
4.21 Hot Gas Decontamination	☐	■	☐	☐	■	■	■	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4.22 Incineration	■	■	☐	☐	☑	☐	■	■	■	■	■	■	■	☐	☐	■
4.23 Open Burn/Open Detonation	■	■	☐	☐	■	■	■	■	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	■
4.24 Pyrolysis	■	■	☐	☐	☐	☐	■	■	☑	☑	■	■	☑	☐	☐	☐
4.25 Thermal Desorption	■	■	☐	☐	☑	☑	■	■	■	■	■	■	■	☐	☐	■

Rating Codes ■ Above Average ☑ Average ☐ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" © - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			Q&M	Capital	System Reliability Maintainability	Relative Costs	Time									
3.7 Containment																
4.26 Landfill cap	■	■	☑	☐	■	■	☐	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
4.27 Landfill Cap Enhancements/Alternatives	■	■	☑	☐	■	■	☐	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
3.8 Other Treatment																
4.28 Excavation, Retrieval, Off-Site Disposal	■	■	■	■	■	©	■	■	■	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
Ground Water, Surface Water, and Leachate																
3.9 In Situ Biological Treatment																
4.29 Enhanced Bioremediation	■	■	☐	☑	☑	■	©	■	■	©	■	©	■	©	☐	☑
4.30 Monitored Natural Attenuation	■	■	☐	☑	☑	■	©	■	■	☑	☑	☑	■	☐	☐	☐
4.31 Phytoremediation	■	■	■	■	☐	■	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	©	☐	☐
3.10 In Situ Physical/Chemical Treatment																
4.32 Air Sparging	■	■	■	■	■	■	■	■	■	☑	☑	☑	■	☐	☐	☐
4.33 Bioslurping	■	☑	■	■	☑	■	☑	■	☑	☑	■	■	■	☑	☐	☐
4.34 Chemical Oxidation	■	■	☐	☑	☑	☑	■	■	☑	☑	☐	☑	☐	©	☐	☑
4.35 Directional Wells (enhancement)	■	■	☑	☐	☑	☑	☑	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
4.36 Dual Phase Extraction	■	☐	☐	☐	☑	☑	☑	■	■	■	■	■	■	☐	☐	☐
4.37 Thermal Treatment	■	☐	☐	☐	☑	☑	■	■	☑	■	■	■	■	☐	☐	☐
4.38 Hydrofracturing Enhancements	■	☑	■	■	■	☑	☑	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
4.39 In-Well Air Stripping	■	☑	☑	☐	☑	☑	☐	■	☑	☑	☑	☐	☑	☐	☐	☐
4.40 Passive/Reactive Treatment Walls	■	■	☑	☐	■	☑	☐	■	■	■	■	■	☑	©	☐	■

Rating Codes ■ Above Average ☑ Average ☐ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" © - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			Q&M	Capital	System Reliability Maintainability	Relative Costs	Time									
3.11 Ex Situ Biological Treatment																
4.41 Bioreactors	■	■	☑	☐	☑	■	☑	■	■	■	■	©	■	☐	☐	■
4.42 Constructed Wetlands	■	■	☑	☐	©	☑	©	☐	☑	☑	☑	©	☑	■	☐	■
3.12 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming pumping)																
4.43 Adsorption/Absorption	■	■	☐	☑	☑	☐	☐	■	☑	☑	☑	☑	☐	■	©	☐
4.44 Advanced Oxidation Processes	■	☑	☐	☐	☑	☑	☐	■	■	■	■	■	■	©	©	■
4.45 Air Stripping	■	☑	☐	☑	■	■	☐	■	■	■	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4.46 Granulated Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption	■	☑	☐	☑	■	☑	☐	■	■	■	■	■	■	©	☐	©
4.47 Groundwater Pumping/Pump & Treat	■	☑	☐	☐	■	☐	☐	■	☑	☑	☑	©	☑	☑	☐	☑
4.48 Ion Exchange	■	☑	☐	☐	■	☑	☐	■	☐	☐	☐	☐	☐	■	☑	☐
4.49 Precipitation/Coagulation/Flocculation	■	☑	☑	☐	■	☑	☐	■	☐	☐	☐	☐	☐	■	☑	☐
4.50 Separation	■	☑	☐	☐	■	☐	■	■	■	■	■	■	■	©	©	☐
4.51 Sprinkler Irrigation	■	■	■	■	■	☐	☐	■	■	■	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3.13 Containment																
4.52 Physical Barriers	■	■	☑	☐	■	■	☐	■	■	■	■	■	■	■		■
4.53 Deep Well Injection	■	■	■	■	☑	■	☐	■	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
3.14 Air Emissions/Off-Gas Treatment																
4.54 Biofiltration	■	N/A	■	■	©	■	■	☐	■	©	©	©	■	☐	I/D	©
4.55 High Energy Destruction	☐	N/A	I/D	I/D	☐	☑	I/D	☑	■	■	■	■	■	☑	I/D	☐

Rating Codes ■ Above Average ☑ Average ☐ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" © - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			Q&M	Capital	System Reliability Maintainability	Relative Costs	Time									
4.56 Membrane Separation	☐	N/A	I/D	I/D	☐	☑	I/D	☑	■	■	☑	☑	☑	☐	I/D	☑
5.57 Oxidation	■	N/A	■	■	■	■	I/D	■	■	■	■	■	■	☐	I/D	☑
5.58 Scrubbers	■	N/A	☑	☐	■	■	I/D	■	☐	☐	☐	☐	☐	■	I/D	I/D
5.59 Vapor Phase Carbon Adsorption	■	N/A	■	■	■	■	I/D	■	■	■	■	■	■	☑	I/D	■

ที่มา : FRTR. 2009, Remediation technologies screening matrix and reference guide. www.frtr.gov/matrix2/section4

คณะผู้จัดทำ

ที่ปรึกษา

1.	ดร.สุพัฒน์	หวังวงศ์วัฒนา	อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ
2.	นายวรศาสน์	อภัยพงษ์	รองอธิบดีกรมควบคุมมลพิษ
3.	ดร.พรศรี	สุทธนารักษ์	ผู้อำนวยการฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ
4.	ศ.ดร. สนิท	อักษรแก้ว	ประธานสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ผู้ทรงคุณวุฒิ

1.	รศ.ดร. เกรียงศักดิ์	ศรีสุข	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2.	รศ.ดร. ชาลี	นาวานุเคราะห์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
3.	รศ.ดร. วีระศักดิ์	อุดมโชค	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	รศ.ดร. จักรกฤษณ์	ศิวะเดชาเทพ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
5.	รศ.ดร. วินัย	เลียงเจริญสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6.	รศ.ดร.นิภาพรรณ	กังสกุลนิติ	มหาวิทยาลัยมหิดล
7.	รศ.ดร. ชาติ	เจียมไชยศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะกรรมการกำกับ

1.	น.ส.พรรนิภา	ธีระจินดาชล	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
2.	นายธานี	จารุนัฏ	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
3.	ดร.วรพงศ์	ตั้งอิทธิพลากร	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
4.	ดร.อาภาภรณ์	ศิริพรประสาร	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
5.	น.ส.อรจิรา	ชัยบัณฑิตย์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ

คณะทำงานตรวจสอบคุณภาพงาน

1.	ดร.ขวัญฤดี	โชติชนาทวีวงศ์	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
2.	น.ส.สรวงระวี	จันทร์หอม	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
3.	น.ส.ภัทรา	ศรีสุทธิวรกุล	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

คณะผู้จัดทำ

1.	รศ.ดร. จักรกฤษณ์	ศิวะเดชาเทพ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
2.	รศ.ดร.วีระศักดิ์	อุดมโชค	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3.	ดร.สุชาติ	เหลืองประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	ผศ.ดร.สัญญา	สิริวิทยาปกรณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5.	นางสุชาดา	จิตรภิรมย์ศรี	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
6.	น.ส.ภัทรันดา	แสงมหะหมัด	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
7.	น.ส.พิชญา	ส้มเกลี้ยง	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย