



การประเมิน พื้นที่ปนเปื้อน



กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สิงหาคม ๒๕๖๗

คู่มือแนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ

จัดพิมพ์ สิงหาคม ๒๕๖๗

จัดพิมพ์โดย : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

๙๒ ซอยพหลโยธิน ๗ ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท

กรุงเทพมหานคร ๑๐๕๐๐

โทรศัพท์ ๐ ๒๒๙๘ ๒๑๕๖ โทรสาร ๐ ๒๒๙๘ ๕๓๘๐

<http://www.pcd.go.th>

พิมพ์ที่ :

สารบัญ

	หน้า
บทที่ ๑ บทนำ	๑ - ๑
บทที่ ๒ กรอบการประเมินและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	
๒.๑ การประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๑
๒.๒ การค้นพบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๔
๒.๓ การประเมินพื้นที่เบื้องต้น	๒ - ๖
๒.๔ การประเมินพื้นที่อย่างละเอียด	๒ - ๗
๒.๕ การตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๙
๒.๖ การวางแผนและดำเนินการฟื้นฟูการปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๑๓
๒.๗ การติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังการปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๑๕
๒.๘ การยุติการดำเนินการ	๒ - ๑๕
บทที่ ๓ แนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น	
๓.๑ การประเมินเบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว	๓ - ๑
๓.๒ การประเมินเบื้องต้นจากการตรวจสอบพื้นที่	๓ - ๖
๓.๓ แนวทางการรวบรวมข้อมูลและการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	๓ - ๘
๓.๔ การจัดทำแผนภาพมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	๓ - ๑๔
๓.๕ การบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเพื่อตัดสินใจดำเนินการใน ขั้นตอนต่อไป	๓ - ๑๕
๓.๖ การจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน	๓ - ๑๖
บทที่ ๔ แนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษอย่างละเอียด	
๔.๑ การแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน	๔ - ๑
๔.๒ แนวทางการรวบรวมข้อมูลและการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	๔ - ๕
๔.๓ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์	๔ - ๗
๔.๔ การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ	๔ - ๓๑
๔.๕ การตัดสินใจฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน	๔ - ๓๘

ภาคผนวก ก ความเป็นพิษของสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายจากการได้รับสารเคมีอันตราย

ภาคผนวก ข การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response assessment)

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อบะเร็งและค่าความเสี่ยงก่อโรคอื่นและ
คำอธิบายผล

ภาคผนวก ง แนวทางการจัดทำข้อมูลความเป็นพิษและค่าความเป็นพิษ

เอกสารอ้างอิง

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ๒ - ๑ ลักษณะของพื้นที่ที่อาจมีการปลดปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดภาวะมลพิษ	๒ - ๔
ตารางที่ ๒ - ๒ ตัวอย่างแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) แบบตารางข้อความ	๒ - ๘
ตารางที่ ๒ - ๓ เงื่อนไขและข้อดี-ข้อเสีย/ข้อจำกัดของวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนแบบต่าง ๆ	๒ - ๑๑
ตารางที่ ๔ - ๑ ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์	๔ - ๑๑
ตารางที่ ๔ - ๒ ตัวอย่างค่าอ้างอิง RfD และค่า CPS ของสารเคมี	๔ - ๑๔
ตารางที่ ๔ - ๓ พารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมีและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน	๔ - ๑๕
ตารางที่ ๔ - ๔ ตารางเมทริกซ์ของเส้นทางการรับสัมผัสที่มีศักยภาพ	๔ - ๑๙
ตารางที่ ๔ - ๕ การแปลผลค่าความเสี่ยง กำหนดโดย US.EPA.	๔ - ๒๗

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ ๒ - ๑ กระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ	๒ - ๓
ภาพที่ ๒ - ๒ ตัวอย่างแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) แบบแผนภาพ	๒ - ๘
ภาพที่ ๓ - ๑ จุดเก็บตัวอย่างแบบใช้ดุลพินิจ (Judgmental Sampling) (Source: UNIDO)	๓ - ๙
ภาพที่ ๓ - ๒ จุดเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Random Sampling) (UNIDO)	๓ - ๙
ภาพที่ ๓ - ๓ จุดเก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic Sampling) หรือแบบตาราง (Grid Sampling) (UNIDO)	๓ - ๙
ภาพที่ ๓ - ๔ Hand Auger	๓ - ๑๑
ภาพที่ ๓ - ๕ Thin-Wall Tube Sampler	๓ - ๑๑
ภาพที่ ๓ - ๖ Split Barrel Sampler	๓ - ๑๑
ภาพที่ ๓ - ๗ เบลเลอร์ (Bailer)	๓ - ๑๒
ภาพที่ ๓ - ๘ เครื่องสูบน้ำ (Pump)	๓ - ๑๓
ภาพที่ ๓ - ๙ ตัวอย่างแผนผัง Conceptual Site Model	๓ - ๑๔
ภาพที่ ๓ - ๑๐ ตัวอย่างแผนภาพมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ Conceptual Site Model	๓ - ๑๕
ภาพที่ ๔ - ๑ แสดงลักษณะการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด	๔ - ๒
ภาพที่ ๔ - ๒ ตัวอย่างแสดง Contour ระดับความเข้มข้นของสารมลพิษ (Chen, et.al. (2018))	๔ - ๖
ภาพที่ ๔ - ๓ ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง	๔ - ๘
ภาพที่ ๔ - ๔ ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ปนเปื้อน	๔ - ๙
ภาพที่ ๔ - ๕ ตัวอย่างภาพโมเดลพื้นที่ (Site Conceptual Model Diagram)	๔ - ๑๗
ภาพที่ ๔ - ๖ ขั้นตอนการดำเนินงานการประเมินการสัมผัสพื้นที่ปนเปื้อน	๔ - ๑๘
ภาพที่ ๔ - ๗ แนวคิดการคาดประมาณปริมาณการสัมผัสสารปนเปื้อน	๔ - ๒๐
ภาพที่ ๔ - ๘ ขั้นตอนการแจกแจงความเสี่ยง	๔ - ๒๙
ภาพที่ ๔ - ๙ กรอบงานการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ (Ecological Risk Assessment Framework)	๔ - ๓๒
ภาพที่ ๔ - ๑๐ ตัวอย่างแบบจำลองมโนทัศน์ของพื้นที่ปนเปื้อน DDT	๔ - ๓๕
ภาพที่ ๔ - ๑๑ ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) ของการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ	๔ - ๓๕

บทที่ ๑

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านมลพิษจากการลักลอบทิ้งกากของเสียในพื้นที่รกร้างว่างไกลชุมชน การจัดการกากของเสียอันตรายอย่างไม่ถูกหลักวิชาการ รวมถึงการเกิดอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีเป็นปัญหาที่พบมากขึ้น พื้นที่ดังกล่าวมักพบการรั่วไหลแพร่กระจายของสารมลพิษและเกิดภาวะมลพิษกลายเป็นพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ พื้นที่ปนเปื้อนมลพิษในสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมมนุษย์และแหล่งธรรมชาติก่อให้เกิดผลกระทบต่อทั้งสุขภาพมนุษย์และคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น กรณีการปนเปื้อนตะกั่วในดินและตะกอนดินในลำห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี กรณีการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและตะกอนดินในลำห้วยแม่ตาบ จังหวัดตาก กรณีพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตรายจากการลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรมที่กลางดง อำเภอบางซ่ง จังหวัดนครราชสีมา

เมื่อพบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษจะมีการนำเข้าสู่กระบวนการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษทั้งการประเมินเบื้องต้นและการประเมินอย่างละเอียดเพื่อตัดสินใจดำเนินการฟื้นฟู โดยนำหลักการด้านการประเมินและบริหารจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม (Risk-Based Contaminated Land Assessment and Management) ที่เป็นหลักสากล มาใช้ในการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนโดยเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกวิธีบริหารจัดการความเสี่ยง แนวทางในการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษมีตั้งแต่การปล่อยให้ธรรมชาติฟื้นฟูด้วยตัวเอง การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยการขจัดการปนเปื้อนออกจากพื้นที่ หรือการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้เทคโนโลยีทางกายภาพหรือเคมีหรือชีวภาพในพื้นที่

ในการนี้ กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) ได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในการจัดทำคู่มือแนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับเจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษและหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานเมื่อค้นพบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษอย่างเป็นระบบและเป็นแนวทางเดียวกัน

บทที่ ๒

กระบวนการการประเมินและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ

การประเมินและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและประกอบด้วยหลายขั้นตอน ตั้งแต่การค้นพบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษหรือพื้นที่ที่อาจเกิดการรั่วไหลแพร่กระจายของสารอันตรายโดยประชาชนทั่วไปหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เมื่อหน่วยงานภาครัฐได้รับแจ้ง บางพื้นที่หน่วยงานท้องถิ่นอาจสั่งการให้ผู้รับผิดชอบดำเนินการระงับและจัดการปนเปื้อนในเบื้องต้นได้เลย บางพื้นที่อาจมีการแจ้งหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาคและส่วนกลางเข้าร่วมตรวจสอบเมื่อพิจารณาว่าการปนเปื้อนในพื้นที่ดังกล่าว อาจมีความรุนแรงส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม พื้นที่เหล่านี้บางส่วนมีการนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลเรื่องร้องเรียนด้านมลพิษของกรมควบคุมมลพิษ และมีการเข้าตรวจสอบประเมินพื้นที่เพื่อป้องกันลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษจากพื้นที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ โดยมีการใช้เทคนิคการแจกแจงลักษณะพื้นที่ปนเปื้อน การติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่หลากหลาย อาจมีชุมชน องค์กรที่ไม่หวังกำไร หน่วยงานบังคับใช้กฎหมาย และหน่วยงานระงับเหตุฉุกเฉินสารเคมีเข้าร่วมดำเนินงานในบางขั้นตอนได้

จากการทบทวนเอกสารแนวปฏิบัติของประเทศต่าง ๆ พบว่ามีแนวทางที่สอดคล้องกัน แต่จะมีความแตกต่างในรายละเอียดปลีกย่อย ทั้งนี้แนวปฏิบัติในการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษสำหรับประเทศไทย ควรมีความครอบคลุมและสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของประเทศที่พัฒนาแล้วแต่ไม่ซับซ้อนในการปฏิบัติ เพื่อให้หน่วยงานต่าง ๆ ที่รับผิดชอบสามารถนำไปปฏิบัติได้ และหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนกับหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลแหล่งกำเนิดมลพิษบางประเภทโดยตรง เช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม แนวปฏิบัติการประเมินและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษของประเทศไทยประกอบไปด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

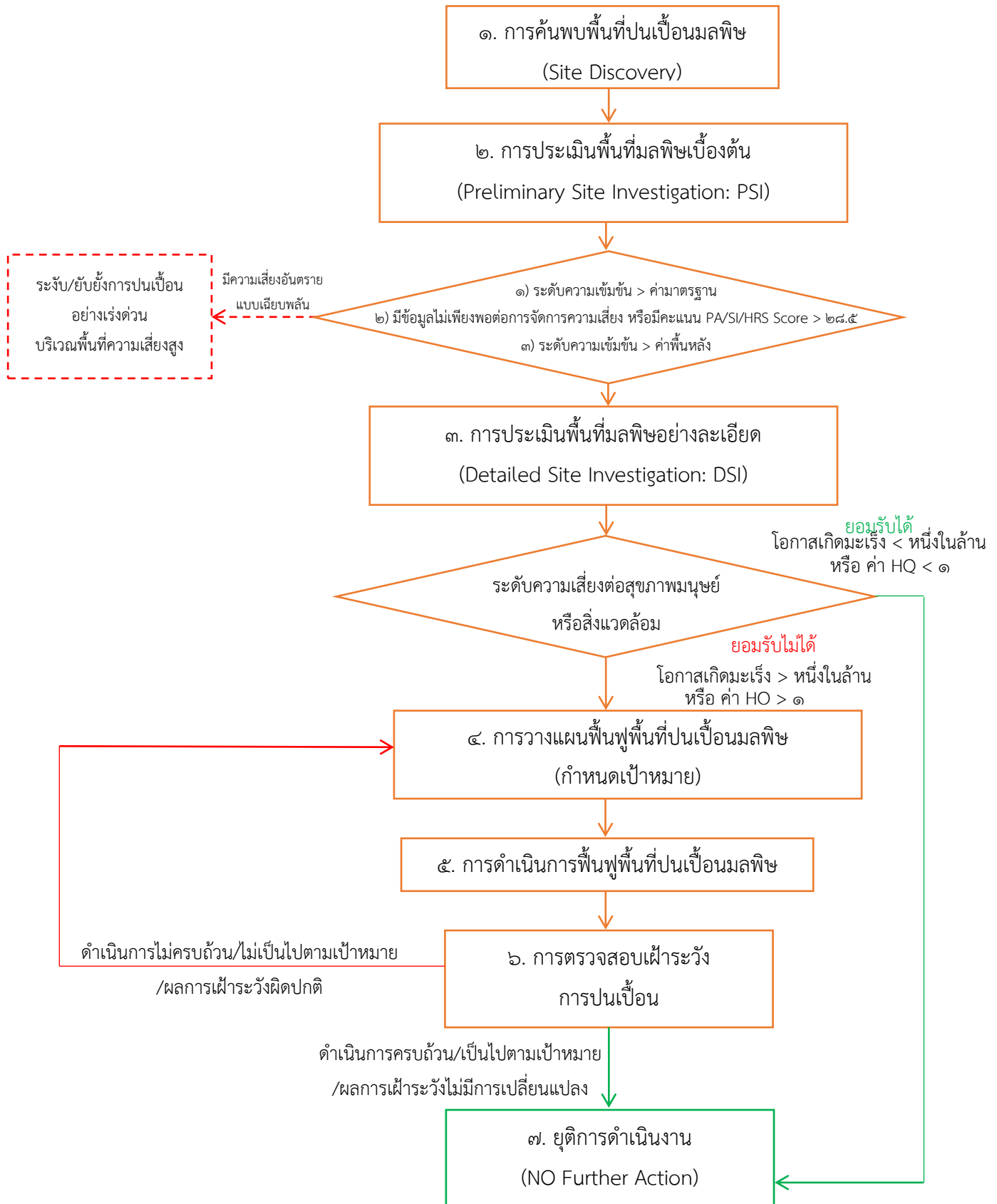
๒.๑ กระบวนการประเมินและจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ

กระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ประกอบด้วย ๗ ขั้นตอน ตั้งแต่ (๑) การค้นพบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Site Discovery) (๒) การประเมินพื้นที่เบื้องต้น (Preliminary Site Investigation: PSI) โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ การสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง และการสุ่มเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างภาคสนาม เพื่อใช้ในการจัดทำแผนภาพเส้นทางการรับสัมผัสสารมลพิษ หรือแบบจำลองโมเดลพื้นที่ปนเปื้อน (Conceptual Site Model: CSM) ในขั้นตอนนี้หากพบว่าอาจมีอันตรายร้ายแรงแก่ประชาชนในพื้นที่ จะต้องมีการระงับ หยุดยั้ง จัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน (Emergency Response)* ทั้งนี้หากการปนเปื้อนมลพิษมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมหรือค่าพื้นหลังอย่างน้อย ๑๐๐ เท่า และมีโอกาสปลดปล่อยมลพิษสัมผัสกับประชาชน และสิ่งแวดล้อม โดยมีแนวโน้มจะฟื้นฟูการปนเปื้อนในระยะยาว ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของคะแนน HRS ที่มากกว่า ๒๘.๕ ตามรูปแบบของ US.EPA. จะต้องมีการดำเนินการในขั้นตอนที่ (๓) การประเมินพื้นที่อย่างละเอียด (Detailed Site Investigation: DSI) โดยการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อประเมินระดับและขอบเขตการปนเปื้อน การตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาเพื่อประเมินแนวโน้มในการแพร่กระจายของสารมลพิษและการประเมิน

ความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศ เพื่อให้มีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการปรับปรุงแบบจำลองการปนเปื้อน ข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้ในขั้นตอนที่ (๔) การกำหนดวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ โดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสีย และการวางแผนฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (๕) การวางแผนและดำเนินการฟื้นฟูการปนเปื้อนมลพิษและขั้นตอนที่ (๖) การเฝ้าระวังการปนเปื้อนมลพิษ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการฟื้นฟูและมีการตรวจสอบแล้วว่าบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ และติดตามการจัดการเฝ้าระวังการปนเปื้อนได้พบว่ามีคามผิดปกติ ขั้นตอนสุดท้ายคือ (๗) การยุติการดำเนินการ ซึ่งควรมีการเปลี่ยนสถานะของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ และประกาศให้สาธารณชนทราบ ภาพที่ ๒-๑ แสดงขั้นตอนในกระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษในภาพรวม

* Emergency Response and Removals = การระงับยับยั้ง หรือจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนเพื่อลดอันตรายที่จะเกิดต่อสาธารณสุขทันที อาทิ กรณีเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิดที่เกี่ยวข้องกับสารอันตราย อันตรายกับการสัมผัสสาธารณสุข หรือการปนเปื้อนในแหล่งน้ำดื่ม หรือแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำดื่ม การจัดการพื้นที่ปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนประกอบด้วย การนำออกหรือการกำหนดสารอันตราย การสร้างรั้วกันประชาชนทั่วไป เพื่อลดการสัมผัสกับสารอันตราย การจัดหาน้ำดื่มจากแหล่งใหม่ หรือการย้ายถิ่นฐานประชาชนชั่วคราว

กระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ



ภาพที่ ๒-๑ กระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ

๒.๒ การค้นพบพื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษ (Site Discovery : SD)

การค้นพบพื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ เป็นการคัดกรองพื้นที่ที่สงสัยว่าเกิดการปนเปื้อนสารมลพิษและควรได้รับการจัดสรรทรัพยากรในการประเมินและจัดการอย่างรวดเร็วและคุ้มค่ากับต้นทุนที่จ่ายไป บ่งชี้พื้นที่ที่ควรดำเนินการประเมินเพิ่มเติมอันเนื่องมาจากกิจกรรมในอดีตหรือปัจจุบันในบริเวณพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง และคัดกรองพื้นที่ที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงอันตรายต่อประชาชนและ/หรือสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ พื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษส่วนมากเป็นพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ประกอบการอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม และกำจัดกากของเสีย โดยเป็นผลจากการเก็บกักสารอันตรายอย่างไม่เหมาะสม เกิดการหกตรั่วไหล และกำจัดกากของเสียอย่างไม่ถูกหลัก

พื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษบางพื้นที่สามารถบ่งชี้ได้ง่ายว่ามีโอกาสเกิดการปนเปื้อนสารอันตราย อาทิ สถานที่รับกำจัดกากของเสีย บางพื้นที่อาจไม่มีสิ่งบ่งชี้ชัดเจนที่แสดงถึงการปนเปื้อนมลพิษ เช่น ถังเก็บสารเคมีใต้ดินที่อาจมีการแตกและสารเคมีรั่วไหล เป็นต้น การบรรจุพื้นที่เป็นพื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษจะนำไปสู่กระบวนการจัดการพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษที่ยังไม่ถูกควบคุม หรือถูกปล่อยทิ้ง หรือที่เกิดจากเหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายต่อสาธารณสุขอันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติ หรือภาวะมลพิษที่เกิดจากการแพร่กระจายของมลพิษ

ตารางที่ ๒ - ๑ ลักษณะของพื้นที่ที่อาจมีการปลดปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดภาวะมลพิษ

กิจกรรม	ประเด็นปัญหาที่เกี่ยวข้องสารมลพิษ
พื้นที่อุตสาหกรรม	- ของเสียอันตรายจากกากของเสียไม่ทราบที่มา - การจัดการสารมลพิษ อาทิ การปลดปล่อยน้ำเสีย การปลดปล่อยและขนย้ายของเสียอันตราย - การจัดการปนเปื้อนในท่อส่งสารอันตรายและแท็งก์เก็บสารอันตรายใต้ดิน - การทำความสะอาดและจัดการปนเปื้อนบ่อรับน้ำเสียรวม - สภาพพื้นคอนกรีตเสื่อมโทรมและมีการปลดปล่อยสารมลพิษ - การจัดการปนเปื้อนบริเวณผนังอาคารและเพื่อกันสารเคมี - การจัดทำทำเนียบสารเคมีและกากของเสียที่ใช้หรือผลิต - การรั่วไหลจากระบบบำบัดกากของเสีย-น้ำเสีย และ/หรือการจัดการปนเปื้อน - การกักเก็บน้ำล้างเครื่องมืออุปกรณ์การฟื้นฟู - การกักเก็บและจัดการกากของเสีย
พื้นที่เกษตรกรรม	- การใช้ปุ๋ย - การใช้ยาฆ่าหญ้า - การใช้สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์
แท็งก์เก็บสารเคมีบนพื้นดิน	- สารอันตรายที่จัดเก็บในแท็งก์

(Above Ground Storage Tanks)	
เฝ้าจากการเผาขยะ	- เศษซาก กาก เถ้า ดินปนเปื้อนเถ้า - ขยะมูลฝอยปนเปื้อนเศษซากที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์
หลุมฝังกลบหรือพื้นที่ว่างกองกากของเสียอย่างผิดกฎหมาย	- ขยะมูลฝอยที่มีของเสียอันตรายปะปน (สืบค้นข้อมูลได้จากการรายงานผลการดำเนินงานหลุมฝังกลบ คพ.๑)
หลุมฝังกลบที่ยังดำเนินการอยู่หรือปิดดำเนินการแล้ว	- ขยะมูลฝอยที่มีของเสียอันตรายปะปน (สืบค้นข้อมูลได้จากการรายงานผลการดำเนินงานหลุมฝังกลบ คพ.๑)

การบรรจุพื้นที่เป็นพื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษ นอกจากพิจารณาจากลักษณะของพื้นที่ ลักษณะของเหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษข้างต้น และยังพิจารณาถึง “สารมลพิษ” ที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษ โดยให้หมายความรวมถึงสารอันตรายที่กำหนดตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. ๒๕๓๕ และที่แก้ไขเพิ่มเติม พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ และที่แก้ไขเพิ่มเติม พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. ๒๕๓๕ และที่แก้ไขเพิ่มเติม และที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดเพิ่มเติม

การค้นพบพื้นที่เข้าข่ายปนเปื้อนมลพิษอาจได้มาจากกระบวนการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

๒.๒.๑ การร้องเรียนของประชาชน ซึ่งประชาชนที่อาจพบเห็นการกระทำที่อาจเป็นอันตรายต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษ อาทิ กรณีลักลอบทิ้งกากของเสียการประกอบกิจการที่ไม่ถูกต้องหลักวิชาการและได้ความเดือดร้อนจากการปนเปื้อนอาจร้องเรียนมายังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ศูนย์ดำรงธรรม องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด (ทสจ.) กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) เป็นต้น

๒.๒.๒ การตรวจสอบสถานประกอบการของหน่วยงานที่กำกับดูแล อาทิ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (นบ.) สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด (ทสจ.) สำนักสิ่งแวดล้อม (สสส.) สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด (สอจ.) สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ ๑ – ๑๖ และกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.)

๒.๒.๓ การตรวจสอบด้วยตนเองของเจ้าของหรือผู้ครอบครองพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งอาจเป็นไปโดยสมัครใจหรือการปฏิบัติตามกฎหมาย เช่น กฎกระทรวงควบคุมการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินภายในบริเวณโรงงาน พ.ศ. ๒๕๕๙ ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน กำหนดให้ผู้ประกอบการโรงงานบางประเภทต้องจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน เป็นต้น

๒.๒.๔ งานศึกษาวิจัยของสถาบันการศึกษา หรือหน่วยงานทางวิชาการที่อาจค้นพบการปนเปื้อน ซึ่งไม่มีการร้องเรียนหรือรายงานมาก่อน

๒.๒.๕ การประเมินของเจ้าหน้าที่หน่วยงานสิ่งแวดล้อมจากความคล้ายคลึงของการประกอบกิจการกับพื้นที่ที่พบว่ามี การปนเปื้อนมลพิษมาก่อน เช่น โรงงานรับกำจัดกากของเสีย เป็นต้น

๒.๓ การประเมินพื้นที่เบื้องต้น (Preliminary Site Investigation: PSI)

การประเมินพื้นที่เบื้องต้น (PSI) จะดำเนินการหลังจากมีการค้นพบพื้นที่ปนเปื้อน หน่วยงานในพื้นที่ที่รับผิดชอบ เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด หรือสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ จะต้องดำเนินการประเมินพื้นที่เบื้องต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งที่มาของการปนเปื้อนและมลพิษที่เป็นสงสัยว่าจะเกิดการปนเปื้อน (Contaminant of Concern: COC) เส้นทางการรับสัมผัสที่เกี่ยวข้อง และผู้รับสัมผัสจากการปนเปื้อน ขอบเขตการทำงานในขั้นตอนนี้จะต้องบ่งชี้เบื้องต้นเกี่ยวกับการปนเปื้อนในพื้นที่ ลักษณะและตำแหน่งของแหล่งที่มาการปนเปื้อน รวมถึงคาดการณ์เส้นทางและผู้รับสัมผัสที่อาจเป็นไปได้ เพื่อใช้ในการตัดสินใจประเมินพื้นที่อย่างละเอียดต่อไป การประเมินพื้นที่เบื้องต้นหลัก ๆ ประกอบด้วย การประเมินเบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว และการประเมินเบื้องต้นจากการตรวจสอบพื้นที่ โดยครอบคลุมกิจกรรมหลัก ๆ ดังนี้

๒.๓.๑ การประเมินเบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ได้แก่

๑) ข้อมูลสภาพพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ได้แก่ การตรวจสอบประวัติการใช้พื้นที่ เพื่อดูกิจกรรมที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อน ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา อุทกธรณีวิทยา และข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดมลพิษ

๒) การสำรวจพื้นที่ เป็นการให้การสังเกตและประสานสัมผัสในการศึกษาสภาพของพื้นที่และขอบเขตการปนเปื้อน การเดินสำรวจพื้นที่ควรมีอุปกรณ์ความปลอดภัย เช่น หมวกและรองเท้ากันกร้าว หน้ากากป้องกันสารเคมี และถุงมือ (หากมีการสัมผัส) หากไม่มีแผนผังของพื้นที่ ควรมีการวาดแผนผังคร่าว ๆ เพื่อบันทึกสภาพของพื้นที่และที่ตั้งของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง เพื่อใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองการปนเปื้อนต่อไป ในขั้นตอนนี้อาจใช้อุปกรณ์ตรวจสอบมลพิษภาคสนามตรวจสอบมลพิษเบื้องต้นได้

๓) การสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ที่ทำงานในพื้นที่หรือสถานประกอบการ ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ และผู้ร้องเรียน (ถ้ามี)

๒.๓.๒ การประเมินเบื้องต้นจากการตรวจสอบพื้นที่ ได้แก่

๑) การสุ่มเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เป็นการเก็บตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมเพื่อบ่งชี้และยืนยันสารมลพิษที่รั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อม และบ่งชี้ขอบเขตที่อาจพบการปนเปื้อนมลพิษจากข้อมูลที่ได้จากการทบทวนและการสุ่มวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม และควรกำหนดพื้นที่สำหรับการสุ่มเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมโดยพิจารณาจากพลุ่มที่สารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนย้ายไปได้

๒) การจัดทำแบบจำลองโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (Conceptual Site Model: CSM) เป็นแผนภาพที่ใช้อธิบายประเภทของสิ่งแวดล้อมที่พบการปนเปื้อน ระบุแหล่งที่มาของการปนเปื้อน กลไกการปลดปล่อยสารออกสู่สิ่งแวดล้อม เส้นทางการรับสัมผัส จุดรับสัมผัส และผู้รับสัมผัสสารปนเปื้อน และหากองค์ประกอบของการรับสัมผัสสารมลพิษของพื้นที่ตามแบบจำลองโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) ไม่สามารถแสดงเชื่อมโยงการรับสัมผัสมลพิษจากแหล่งกำเนิดไปสู่ผู้รับได้ อาจไม่จำเป็นต้องดำเนินการประเมินพื้นที่

อย่างละเอียด แต่หากข้อมูลยังไม่เพียงพอ แต่มีแนวโน้มที่จะมีการรับสัมผัสมลพิษ อาจพิจารณาดำเนินการประเมินพื้นที่อย่างละเอียดต่อไป

กรณีที่พบว่าพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษจำนวนมากและจำเป็นต้องจัดสรรทรัพยากรในการประเมินและจัดการพื้นที่อย่างเหมาะสมตามความจำเป็น ควรมีการจัดอันดับความสำคัญของพื้นที่ปนเปื้อน (Priorities List: PL) โดยใช้เครื่องมือในการจัดลำดับความสำคัญ อาทิ ระบบการจัดลำดับความเป็นอันตราย (Hazard Ranking System: HRS) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) โดยใช้ข้อมูลที่ได้รวบรวมจากขั้นตอนการประเมินพื้นที่เบื้องต้น (PSI)

ทั้งนี้ รายละเอียดของการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้นอยู่ในบทที่ ๓

๒.๔ การประเมินพื้นที่อย่างละเอียด (Detailed Site Investigation: DSI)

การประเมินพื้นที่อย่างละเอียด (DSI) เป็นการรวบรวมข้อมูลเฉพาะของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ประกอบด้วย การแจกแจงลักษณะและขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Site Characterization) และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศ (Human Health & Ecological Risk Assessment) โดยออกแบบการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม อาทิ ดิน ก๊าซในดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ตะกอนดิน เพื่อบ่งชี้ลักษณะขอบเขตและระดับการปนเปื้อนในพื้นที่ และประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศ รวมถึงปรับปรุงแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) ให้แสดงถึงเส้นทางการรับสัมผัสที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตั้งแต่แหล่งที่มาของการปนเปื้อน (Source) เส้นทางการแพร่กระจายของมลพิษ (Pathway) และผู้รับสัมผัสมลพิษ (Receptor) โดยครอบคลุมการดำเนินการดังนี้

๒.๔.๑ การแจกแจงลักษณะและขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Site Characterization) ประกอบด้วย

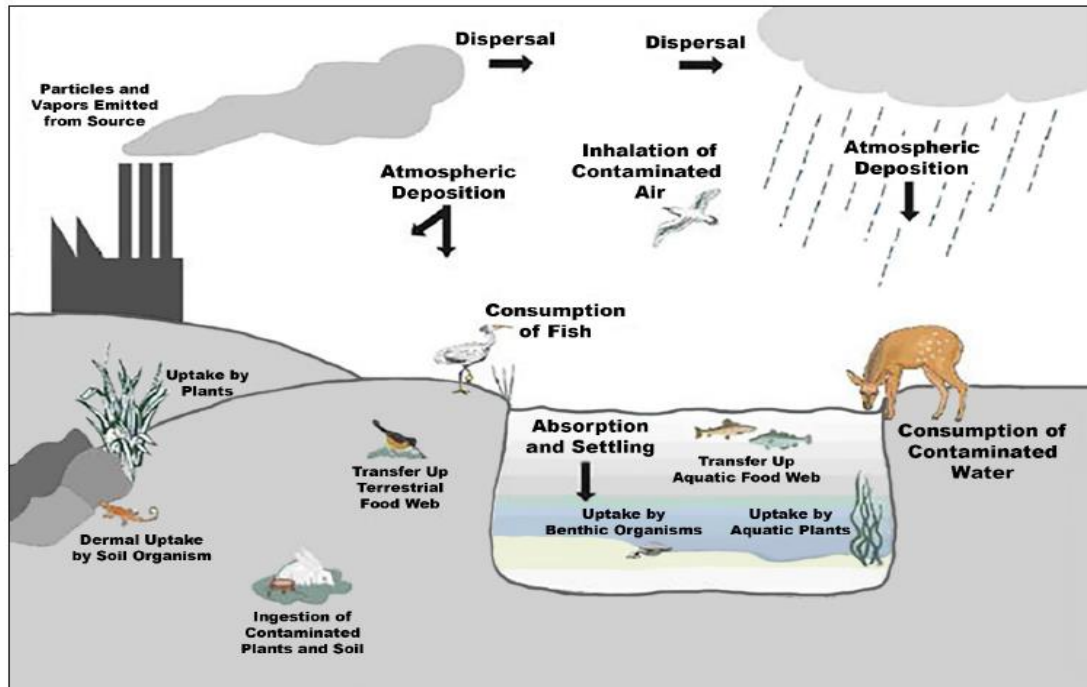
๑) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม วางแผนการเก็บตัวอย่างอย่างเป็นระบบเพื่อให้แน่ใจว่าผลการตรวจวิเคราะห์ตรงตามวัตถุประสงค์ของขั้นตอนการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด และเป็นตัวแทนที่สามารถเชื่อมโยงกับแผนภาพเส้นทางการรับสัมผัสสาร ต้องแสดงแผนที่การเก็บตัวอย่างและระบุเหตุผลในการเลือกตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน

๒) การบ่งชี้ขอบเขตและระดับการปนเปื้อนมลพิษ เพื่อประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยจะต้องครอบคลุมตั้งแต่การปนเปื้อนในดิน ตะกอนดิน น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน และไอระเหยในบรรยากาศ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะและความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมลพิษ และข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปวางแผนการฟื้นฟูและเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่ปนเปื้อนต่อไป

๓) การปรับปรุงแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (Conceptual Site Model: CSM) ภายหลังจากมีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง บ่งชี้ขอบเขตและปริมาณการปนเปื้อนมลพิษ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ต้องนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้สำหรับปรับปรุงแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อนซึ่งเป็นแผนภาพแสดงเส้นทางการรับสัมผัสมลพิษ ซึ่งได้จัดทำไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการประเมินพื้นที่เบื้องต้น เพื่อที่จะสามารถเชื่อมโยงตั้งแต่แหล่งที่มาของการปนเปื้อน (Source) เส้นทางการรับสัมผัส (Pathway) และผู้รับ

สัมผัส (Receptor) ให้มีความสมบูรณ์ แม่นยำ ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด รวมถึงอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างครอบคลุมและชัดเจน ตัวอย่างดังภาพที่ ๒-๒ และตารางที่ ๒-๒

ภาพที่ ๒-๒ ตัวอย่างแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) แบบแผนภาพ



(ปรับปรุงจาก USEPA, 2004)

ตารางที่ ๒-๒ ตัวอย่างแบบจำลองมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อน (CSM) แบบตารางข้อความ

แหล่งกำเนิดมลพิษ (Contaminant Sources)	กลไกการปลดปล่อยสาร ปนเปื้อน (Release Mechanism)	สิ่งแวดล้อมที่อาจมี การรับสัมผัส (Exposure Media)	เส้นทางเข้าสู่ ร่างกาย (Exposure Pathway)	ผู้ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบ			
				มนุษย์		สิ่งมีชีวิต	
				อาศัย	ทำงาน	สัตว์บก	สัตว์น้ำ
แหล่งกำเนิดมลพิษประเภท เหมืองแร่: กองกากแร่ (Waste Rock), กองหางแร่ (Tailings), กอง แร่, บ่อเก็บกักตะกอน เป็นต้น อันตราย: ไซยาไนด์ โลหะหนัก อลูมิเนียม และน้ำชะสภาพเป็น กรด (acid mine drainage)	น้ำไหลบ่า (runoff)	น้ำผิวดิน/ตะกอนดิน	ทางปาก	▼	▼	▼	▼
			ทางผิวหนัง	▼	▼	▼	▼
	การแทรกซึม (infiltration)/ การซึมผ่าน (percolation)	น้ำใต้ดิน	ทางปาก	▼	▼		
			ทางผิวหนัง	▼	▼		
			ทางการหายใจ	▼	▼		
	การกัดเซาะ (Erosion)	ดิน	ทางปาก	▼	▼	▼	
			ทางผิวหนัง	▼	▼	▼	
	การกัดเซาะจากลม	ฝุ่น/ไอ	ทางการหายใจ	▼	▼	▼	

๒.๔.๒ ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศ เป็นการพิจารณาความเป็นไปได้ของการรับสัมผัสสารที่เป็นกังวลในพื้นที่ปนเปื้อน รวมถึงความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมจากการสัมผัสดังกล่าว การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศเป็นขั้นตอนการบ่งชี้ที่สำคัญสำหรับการจัดการพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการกำจัดหรือลดความเสี่ยงที่อยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ในกรอบระยะเวลาที่เหมาะสม ระดับความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้สำหรับสุขภาพมนุษย์ ได้แก่

- ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารมลพิษที่ก่อมะเร็งมากกว่า ๑ ในล้าน หรือ
- ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารมลพิษที่ไม่ก่อให้ก่อเกิดมะเร็ง (Hazard Quotient: HQ) มีค่ามากกว่า ๑

ในขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินพื้นที่อย่างละเอียด จะต้องมีการจัดทำรายงานการตัดสินใจฟื้นฟูหรือไม่ฟื้นฟู (Record of Decision) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนต่าง ๆ โดยควรครอบคลุมประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ เหตุผลในการประเมินพื้นที่ รายละเอียดการประเมินพื้นที่ที่ได้ดำเนินการแล้ว ข้อมูลที่ตรวจพบ ผลการประเมินความเสี่ยง ความพอเพียงของข้อมูล และการดำเนินการขั้นต่อไป ได้แก่ การตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษที่เหมาะสม ทั้งนี้ รายละเอียดของการประเมินพื้นที่อย่างละเอียดอยู่ในบทที่ ๔

๒.๕ การวางแผนฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ

การวางแผนฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ การตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเป็นการดำเนินการหลังจากประเมินพื้นที่อย่างละเอียดและพบว่ามีความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีการดำเนินการจัดการกำจัด/บำบัด/ฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ เพื่อลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดทำแผนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งแผนดังกล่าวต้องผ่านกระบวนการตัดสินใจที่สมดุล โดยแสดงให้เห็นในแง่ของตัวชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และการดำเนินการแก้ไขนั้นมีผลดีมากกว่าผลเสียที่เกิดขึ้น ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่

๑) ความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม มีผลต่อการตั้งเป้าหมายของการฟื้นฟูให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และกรอบระยะเวลาที่ต้องทำการฟื้นฟู หากความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง อาจจำเป็นต้องรีบทำการฟื้นฟู ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกวิธีการฟื้นฟูด้วย หากความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ ในบางกรณีอาจเลือกใช้วิธีการให้ธรรมชาติฟื้นฟูโดยมีการเฝ้าระวัง (Natural Attenuation)

๒) ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติในการฟื้นฟูพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ปนเปื้อนอาจยากในการเข้าถึง สภาพการปนเปื้อนอาจยากแก่การฟื้นฟู ในบางกรณีการนำมาตรฐานสิ่งแวดล้อมมาใช้เป็นเป้าหมายของการฟื้นฟูอาจเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เช่น หากพื้นที่นั้นมีค่าการปนเปื้อนตามธรรมชาติอยู่ในระดับสูง หรือการปนเปื้อนเกิดขึ้นมานานจนทำให้มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง หรือลงไปในดินระดับลึก

๓) การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละเทคโนโลยี (ดังแสดงในตารางที่ ๓-๒) เนื่องจากแต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นประสิทธิภาพ หรือความยากง่ายในการเดินระบบ ผู้ตัดสินใจจะต้องพิจารณาให้ดี เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละกรณี บางครั้งเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพที่สุด

อาจไม่ใช่เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในสถานการณ์นั้น ๆ การคัดเลือกวิธีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการประเมินทั้งหมด โดยจะต้องคำนึงถึงลักษณะของสารมลพิษที่ปนเปื้อน ลักษณะของการปนเปื้อน สภาพภูมิประเทศ และลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ปนเปื้อน

๔) ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนจะต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และความสามารถในการจ่ายของผู้ที่ต้องรับผิดชอบในการฟื้นฟูด้วย

๕) ศักยภาพของหน่วยงานหรือผู้ที่จะดำเนินการฟื้นฟู อาจเป็นผู้ก่อมลพิษ หรืออาจเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลสถานประกอบการ หรือหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งต่างก็มีศักยภาพด้านบุคลากรและงบประมาณที่ต่างกัน จึงควรคำนึงถึงความพร้อมของหน่วยงานหรือผู้ก่อมลพิษในการดำเนินการฟื้นฟู

๖) การศึกษาความเหมาะสมในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Feasibility Study, FS) เป็นการนำแนวทางจากการจัดทำแผนมาทำการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินงานให้มีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากที่สุด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาทั้งความเหมาะสมในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ โดยการทดสอบความเป็นไปได้ในการฟื้นฟู (Treatability) ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) และหากมีงบประมาณเพียงพอควรทดสอบในระดับนำร่อง (Pilot Scale) ด้วยเพื่อเพิ่มความมั่นใจ

๗) กระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนและผู้มีส่วนได้เสีย ก่อนที่จะทำบันทึกสรุปผลการตัดสินใจ (Record of Decision) ควรนำรายงานผลการศึกษาไปรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้เสียและผู้ชำนาญการก่อน เพื่อให้เกิดความเข้าใจและการยอมรับวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อน ก่อนจะขออนุมัติงบประมาณในการดำเนินการต่อไป

ตารางที่ ๒-๓ เงื่อนไขและข้อดี-ข้อเสีย/ข้อจำกัดของวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนแบบต่าง ๆ

วิธีการฟื้นฟู	เงื่อนไข	ข้อดี	ข้อเสีย/ข้อจำกัด
การขุดและขนไปกำจัดหรือบำบัด (Excavation)	- ใช้ในกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนในระดับสูงซึ่งยากในการบำบัดด้วยวิธีอื่น	- สามารถนำสารมลพิษเกือบทุกชนิดออกจากพื้นที่ปนเปื้อนได้ - ฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนได้ค่อนข้างรวดเร็ว	- กำจัดดินปนเปื้อนได้ในระดับต้นเท่านั้น - ค่าใช้จ่ายในการขุดและขนส่งดินสูงมาก - มีความเสี่ยงในการทำให้เกิดการปนเปื้อนเพิ่มเติม - มีความเสี่ยงในการที่คนงานจะได้รับอันตรายจากสารมลพิษ โดยเฉพาะ VOCs
การล้างดิน (Soil Washing)	- เหมาะกับดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษในระดับที่สูง และมีปริมาณไม่มาก	- สามารถนำดินที่ล้างสะอาดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ - การล้างดินในโรงงาน ลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายของมลพิษในดิน	- เป็นการฟื้นฟูแบบ ex-situ มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการขุดและขนส่งดินปนเปื้อนไปล้างที่โรงงาน - อาจเกิดการรั่วไหลระหว่างการขนส่งดินไปโรงงาน - การล้างดินอาจทำให้ดินมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป และไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการเพาะปลูก
การใช้ความร้อนบำบัด (Thermal Treatment)	- เหมาะสำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งเผาไหม้ได้	- สามารถ recycle ดินกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปของวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐ	- ใช้ได้เฉพาะดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และการปนเปื้อนไม่สูงเกินไป - มีค่าใช้จ่ายสูง
การสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาบำบัด (Pump and Treat)	- เหมาะกับน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษที่ละลายน้ำได้ดี	- ไม่จำเป็นต้องขุดดินไปบำบัดที่อื่น - ช่วยชะลอการแพร่กระจายโดยวิธี Hydraulic containment	- ใช้เวลานาน - สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำใต้ดิน
การล้างดินแบบในที่ (In-situ Soil Flushing)	- เหมาะสำหรับการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษที่ละลายน้ำได้ดี	- ไม่ต้องมีการขุดดินไปบำบัดที่อื่น ทำให้ประหยัดค่าขนส่ง และลดความเสี่ยงในการเกิดการปนเปื้อนระหว่างการขนส่ง - สามารถทำความสะอาดดินได้ทั้งใน vadose zone และ saturated zone	- ใช้เวลานาน ขึ้นกับ solubility และอัตราในการ desorption ของสารมลพิษ - ประสิทธิภาพต่ำถ้าดินมี permeability ต่ำหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) - อาจทำให้สารมลพิษเคลื่อนที่ออกนอกบริเวณที่ต้องการฟื้นฟู หากไม่มีการควบคุมการไหลของน้ำใต้ดินให้ดี - ต้องมีการสูบน้ำที่ชะละลายสารมลพิษขึ้นมาบำบัด

ตารางที่ ๒-๓ เงื่อนไขและข้อดี-ข้อเสีย/ข้อจำกัดของวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนแบบต่างๆ (ต่อ)

วิธีการฟื้นฟู	เงื่อนไข	ข้อดี	ข้อเสีย/ข้อจำกัด
การใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเคมี (Chemical Oxidation)	- เหมาะสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ เช่น chlorinated VOCs, mercaptans, phenols รวมทั้งสารอนินทรีย์เช่น cyanide	- การเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างรวดเร็ว - สามารถใช้วิธีนี้ได้ทั้งแบบฉีดลงไปในดินให้เกิดปฏิกิริยากับดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน (in-situ) หรือผสมกับดินหรือน้ำใต้ดินที่ตักหรือสูบขึ้นมาไว้ในถัง reactor (ex-situ) เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์	- ต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก หากมีสารอินทรีย์ปริมาณมากเจือปนในของเสียอันตราย เพราะ oxidizing agent จะทำปฏิกิริยากับสาร อินทรีย์ทุกชนิด ไม่เฉพาะเจาะจงกับสารอันตราย - การใช้ chlorine เป็น oxidizing agent อาจทำปฏิกิริยากับ hydrocarbon บางชนิดเกิดเป็น chlorinated hydrocarbon ซึ่งอาจมีพิษมากกว่าของเสียอันตรายตั้งต้น
การสูบไอระเหยจากดิน (Soil Vapor Extraction, SVE)	- เหมาะกับบำบัดดินในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ปนเปื้อนสารมลพิษ ที่ระเหยง่าย (VOCs) และปนเปื้อนในดินที่มีรูพรุน (porosity) หรือ permeability สูง ($> 10-100 \text{ cm}^2$)	- เป็นการฟื้นฟูดินแบบ in-situ ไม่มีการขุดหรือเคลื่อนย้ายดิน ลดความเสี่ยงจากการรับสัมผัส และการแพร่กระจาย	- กำจัดได้เฉพาะ VOCs ใน vadose zone (unsaturated zone) - ดินต้องมี permeability ค่อนข้างสูงจึงจะสูบอากาศในรูพรุนขึ้นมาได้ - ใช้เวลานานในการบำบัด โดยเฉพาะเมื่อ VOCs มีความเข้มข้นต่ำ - ถ้าดินมีปริมาณ soil organic carbon (SOM) สูง จะดูดซับ VOCs ได้ดี ทำให้บำบัดด้วยวิธีนี้ได้ยาก
SVE with Air Sparging	- เหมาะกับบำบัดดินในชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ปนเปื้อนสารมลพิษที่ระเหยง่าย (VOCs) และปนเปื้อนในดินที่มีรูพรุน (porosity) หรือ permeability สูง ($> 10-100 \text{ cm}^2$)	- สามารถบำบัดดินในชั้น vadose zone และ saturated zone ได้ - อาจช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากเป็นการเติมออกซิเจนลงไป (Bioventing)	- ประสิทธิภาพขึ้นกับ permeability ของดิน
การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)	- เหมาะกับการปนเปื้อนในระดับต้นที่ไม่ต้องการการฟื้นฟูเร่งด่วน - สารมลพิษไม่มีความเข้มข้นสูงมากจนเกิดความเป็นพิษกับพืช	- ค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ - ใช้ธรรมชาติบำบัด ลดความเสี่ยงจากการใช้สารเคมี - ประหยัดพลังงาน - ช่วยลดการพังทลายของหน้าดิน	- ใช้เวลานาน - บำบัดได้เฉพาะบริเวณที่รากพืชไปถึง - อาจพบปัญหาจากสัตว์และแมลงศัตรูพืช - สภาพภูมิอากาศและดินอาจไม่เหมาะสมกับการปลูกพืชที่ต้องการ

ตารางที่ ๒-๓ เงื่อนไขและข้อดี-ข้อเสีย/ข้อจำกัดของวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนแบบต่างๆ (ต่อ)

วิธีการฟื้นฟู	เงื่อนไข	ข้อดี	ข้อเสีย/ข้อจำกัด
การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation)	- เหมาะกับสารมลพิษที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีความเข้มข้นไม่สูงมากจนเกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์	- ค่อนข้างปลอดภัยต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีที่อาจเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม - ค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำกว่าวิธีอื่น - สามารถทำแบบ in-situ หรือ ex-situ ก็ได้	- ควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียยาก เนื่องจากมีปัจจัยค่อนข้างมาก - จุลินทรีย์มีความเฉพาะเจาะจงในการย่อยสลายสารเคมีแต่ละชนิด และอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกพื้นที่ - Pathway ในการย่อยสลายอาจมีความซับซ้อน และอาจต้องใช้จุลินทรีย์มากกว่า ๑ ชนิด หากไม่ระมัดระวัง อาจทำให้เกิดสารมลพิษ ที่มีความเป็นพิษมากกว่าเดิม
การบำบัดโดยใช้กำแพงทำปฏิกิริยา (Permeable Reactive Barrier)	- เหมาะกับการปนเปื้อนในระดับต้น - เหมาะกับสารมลพิษประเภทสารประกอบคลอรีนหรือโลหะหนัก	- สามารถป้องกันการแพร่กระจายของสารมลพิษไปพร้อมๆกับการบำบัดการปนเปื้อน	- ประสิทธิภาพขึ้นกับทิศทางและอัตราการไหลของน้ำใต้ดินผ่านกำแพง

๒.๖ การดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Site Remediation)

หลังจากมีการตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษแล้ว จะต้องมีการระหว่างกันการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อให้การดำเนินการฟื้นฟูเป็นไปตามแผนที่วางไว้ และไม่ให้เกิดการรบกวนการปนเปื้อนมลพิษมากขึ้นในระดับที่จะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมหรือก่อให้เกิดความกังวลหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญต่อชุมชนรอบข้าง ทั้งนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนประกอบด้วย

๒.๖.๑ การกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการฟื้นฟู จะต้องคำนึงถึง

๑) ความเสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศ ซึ่งเป้าหมายหลักของการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนคือการปกป้องสุขภาพของมนุษย์และคุณภาพสิ่งแวดล้อมตลอดจนระบบนิเวศ

๒) ความเป็นไปได้ในทางทฤษฎีและปฏิบัติ เนื่องจากการกำหนดเป้าหมายของการฟื้นฟูในระดับที่จะลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อาจเป็นไปได้ในทางทฤษฎี หรือทางปฏิบัติ เนื่องจากเมื่อสารมลพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม อาจมีอาณาเขตการปนเปื้อนที่กว้างขวางจนไม่สามารถกำจัดหรือบำบัดได้หมด หรือระดับการปนเปื้อนอาจอยู่ในระดับที่สูง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูอยู่ในระดับสูงจนอาจไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ หรือในบางกรณีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอาจมีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะฟื้นฟูให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน การกำหนดเป้าหมายของการฟื้นฟูจึงต้องมีความรอบคอบและกระทำโดยคณะผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้มีความครอบคลุมรอบด้าน และป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการดำเนินการฟื้นฟูไปแล้ว

๓) งบประมาณที่สามารถใช้ในการฟื้นฟู เนื่องจากวิธีการฟื้นฟูในแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน และใช้งบประมาณแตกต่างกัน ทำให้ข้อจำกัดด้านงบประมาณมีผลต่อการกำหนดเป้าหมายของการฟื้นฟู

๔) ความคาดหวังของประชาชน ซึ่งเป็นผู้ได้รับสัมผัสกับสารมลพิษโดยตรง จะต้องมีการสื่อสารความเสี่ยงกับประชาชนกลุ่มนี้เกี่ยวกับ ข้อดี-ข้อเสีย ผลกระทบจากการปนเปื้อนและการดำเนินการฟื้นฟู และมีการทำความเข้าใจในเรื่องข้อจำกัดทางเทคนิคและงบประมาณ ตลอดจนการตั้งค่าเป้าหมาย

๒.๖.๒ การจัดทำแผนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (Remediation Action Plan) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการตรวจสอบประสิทธิภาพ ประกอบด้วย

๑) เกณฑ์การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน เป็นตัวชี้วัดที่ทำให้สามารถประเมินผลการฟื้นฟูได้โดยง่าย สามารถกำหนดในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- ระดับการปนเปื้อน ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือความเข้มข้นพื้นหลัง
- ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
- ดัชนีชี้วัดสุขภาพของประชาชน เช่น ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างเลือดของประชาชนไม่เกินมาตรฐาน เป็นต้น

๒) วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่ต้องใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ จะต้องมีการเตรียมความพร้อมตามการออกแบบวิธีการฟื้นฟู

๓) บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ต้องมีการแต่งตั้งทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ ที่จำเป็นในการดำเนินการฟื้นฟู การเฝ้าระวัง และการประเมินผล

๔) มาตรการด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เช่น อุปกรณ์การป้องกันอันตรายต่าง ๆ แนวทางการรักษาความปลอดภัย และการแก้ปัญหากรณีฉุกเฉิน

๕) การป้องกันการแพร่กระจายของสารมลพิษในระหว่างการทำงาน เนื่องจากในระหว่างการทำงานอาจมีการแพร่กระจายของสารมลพิษได้ จากการขุด การเคลื่อนย้ายดินปนเปื้อน การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง และภัยธรรมชาติ

๖) การควบคุมคุณภาพและความถูกต้องของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง จะต้องมีการดำเนินการตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น การบันทึกวิธีการดำเนินการ การจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับควบคุมคุณภาพ เช่น Trip Blank

๗) สภาพอากาศ สภาพพื้นที่ ความยากง่ายของการดำเนินการ และความเร่งด่วนของการฟื้นฟู

๘) การมีส่วนร่วมกับชุมชนและผู้มีส่วนได้เสีย เนื่องจากในการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่อาจต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ การขุดและเคลื่อนย้ายดินปนเปื้อน ตลอดจนการปฏิบัติงานของบุคลากรที่อาจรบกวนการอยู่อาศัยและการประกอบอาชีพของประชาชน ดังนั้นจึงต้องมีการรับฟังความคิดเห็นประกอบการวางแผนเสมอ

๒.๗ การตรวจสอบและเฝ้าระวังการปนเปื้อนมลพิษ (Evaluation and Monitoring)

ในระหว่างการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ จะต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพในการฟื้นฟูเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ทราบถึงปัญหา และสามารถปรับปรุงการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ หากไม่มีการติดตามตรวจสอบเป็นระยะ อาจเกิดข้อผิดพลาดในการดำเนินการจากที่วางแผนไว้ และยากที่จะแก้ไขในภายหลัง นอกจากนี้ หลังจากการฟื้นฟูพื้นที่เสร็จสิ้นจะต้องมีการตรวจสอบว่าบรรลุเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่ หากไม่บรรลุจะดำเนินการต่อไปอย่างไร และหากบรรลุเป้าหมายแล้ว จะต้องมีการเฝ้าระวังต่อไปอีกระยะหนึ่งเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีการกลับมาปนเปื้อนจากการหลงเหลือของสารมลพิษ หรือสารพลอยได้ (By-Product) ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการบำบัดฟื้นฟู รวมถึงสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ไม่ทราบมาก่อน โดยความถี่ในการเฝ้าระวังควรทำอย่างน้อยทุก ๖ เดือน – ๑ ปี

๒.๘ การยุติการดำเนินการ (No Further Action)

เมื่อบรรลุเป้าหมายของการฟื้นฟูแล้ว หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องประกาศให้ประชาชนทราบว่ามีการยุติการดำเนินการฟื้นฟู และประกาศอนุญาตการใช้ประโยชน์พื้นที่ ในบางกรณี เป้าหมายการฟื้นฟูอาจเป็นเพียงการลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคนิคหรืองบประมาณ หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องกำหนดข้อจำกัดหรือคำเตือนการใช้ประโยชน์พื้นที่ให้เหมาะสม โดยหน่วยงานท้องถิ่นจะต้องกำกับดูแลการใช้ประโยชน์พื้นที่ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าว เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อประชาชน

บทที่ ๓

แนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น

การประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (Preliminary Assessment, PA) เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้ว รวมถึงการสืบค้นประวัติการใช้พื้นที่โดยเร็วและมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการเข้าสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้นเพื่อประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดกรองพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยและไม่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง และพื้นที่ที่มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงแก่ประชาชนและสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการตัดสินใจทำการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนแบบละเอียด (Detailed Site Investigation, DSI) ต่อไป แนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น ประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- การประเมินเบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว (Preliminary Assessment : PA)
- การตรวจสอบพื้นที่ (Site Inspection : SI)
- แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม
- การจัดทำแบบจำลองโมเดลพื้นที่ปนเปื้อน (Conceptual Site Model, CSM)
- การบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเพื่อตัดสินใจดำเนินการในขั้นตอนต่อไป
- การจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน (Emergency Removal)
- การจัดอันดับความสำคัญของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (กรณีมีหลายพื้นที่)
- การจัดทำรายงานการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้น

แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

๓.๑ การประเมินเบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว (Preliminary Assessment, PA)

๓.๑.๑ ข้อมูลสภาพพื้นที่และประวัติการใช้พื้นที่ก่อนการปนเปื้อนมลพิษ ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

๓.๑.๑.๑ ข้อมูลสภาพพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ประกอบด้วย

- แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้ง จุดพิกัด และอาณาเขตของพื้นที่ปนเปื้อน
- ตำแหน่งที่ตั้งและจุดพิกัดของพื้นที่อ่อนไหวต่อการปนเปื้อนในบริเวณใกล้เคียง เช่น วัด โรงเรียน โรงพยาบาล สถานีอนามัย เป็นต้น
- ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ
- ข้อมูลประชากรในพื้นที่

๓.๑.๑.๒ ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา รวบรวมจาก

- รายงานการสำรวจธรณีวิทยา
- แผนที่ธรณีวิทยาที่เหมาะสมกับงานสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมี ๒ ชนิด คือ แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน ๑:๒๕๐,๐๐๐ และแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐

๓.๑.๑.๓ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนและหลังการปนเปื้อนมลพิษ แสดงรายละเอียดของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ เช่น

- พื้นที่เกษตร
- พื้นที่อุตสาหกรรม
- พื้นที่พาณิชยกรรม
- พื้นที่ป่าไม้หรือป่าชายเลน
- พื้นที่อยู่อาศัย

๓.๑.๑.๔ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน เช่น

- อุณหภูมิ
- ปริมาณน้ำฝน
- ความชื้นสัมพัทธ์
- ทิศทางและความเร็วลม

๓.๑.๑.๕ ข้อมูลอุทกวิทยา เช่น

- แหล่งน้ำหรือทางน้ำไหลในบริเวณที่ปนเปื้อน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ทางระบายน้ำ สระน้ำ หรือทะเลสาบ
- รูปแบบและทิศทางการไหลของทางน้ำ เช่น เป็นแหล่งน้ำนิ่ง หรือน้ำไหล มีอัตราการไหลเท่าใด
- ขอบเขตพื้นที่รับน้ำ สันปันน้ำ
- ข้อมูลแหล่งน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดิน การใช้น้ำของประชาชนเพื่อการอุปโภคบริโภค ข้อมูลคุณภาพน้ำและอัตราการไหลของน้ำ และประชากรกลุ่มที่อาจได้รับผลกระทบจากเส้นทางการรับสัมผัสสารผ่านทางน้ำผิวดิน โดยอาจหาข้อมูลจากกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

ระบบฐานข้อมูลคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินทั่วประเทศ (IWS: <http://iwis.pcd.go.th/>) และเว็บไซต์คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (<http://www.thaiwater.net/>)

- ข้อมูลแหล่งน้ำดิบและผู้ใช้ น้ำจากการประปานครหลวงและการประปาส่วนภูมิภาค โดยครอบคลุมข้อมูลแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา คุณภาพน้ำดิบ จำนวนประชากรที่ใช้บริการระบบประปาและแผนผังระบบการให้บริการ น้ำประปา อัตราการผลิตน้ำประปา ระบบการผลิตประปา และปัญหาที่เกี่ยวข้อง น้ำดิบและการผลิตน้ำประปา

๓.๑.๑.๖ ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ สามารถรวบรวมได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ประกอบด้วย

- แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับภาคมาตราส่วน ๑:๕๐๐,๐๐๐
- แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับจังหวัดมาตราส่วน ๑:๕๐๐,๐๐๐ และ ๑: ๑,๐๐๐,๐๐๐
- แผนที่น้ำบาดาลระดับจังหวัด มาตราส่วน ๑:๑๐๐,๐๐๐
- ข้อมูลการเจาะบ่อบาดาล จากระบบฐานข้อมูล “พสุธารา” ของกรมทรัพยากร น้ำบาดาล ได้แก่
 - ข้อมูลลักษณะชั้นดินและชั้นหินของบ่อบาดาล (Drilling logs of wells) ซึ่งแสดงรายละเอียดของชั้นดินชั้นหินที่เจาะพบที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของบ่ोजาะ
 - ข้อมูลบันทึกรายละเอียดของบ่อบาดาล (Records of wells) ซึ่งแสดง รายละเอียดของบ่อบาดาลทุกบ่อ เช่น ตำแหน่งและหมายเลขบ่อ ความลึก ของบ่ोजาะ ความลึกของชั้นน้ำ ชนิดของชั้นน้ำบาดาล ระดับความลึก ของน้ำในบ่อ ปริมาณน้ำ ระดับน้ำล้นขณะสูบ ชนิดของเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้ง ประจำบ่อ ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาอื่น ๆ
 - ข้อมูลการใช้น้ำใต้ดินของประชาชน โดยการสอบถามข้อมูลจากผู้นำชุมชน เกี่ยวกับการใช้น้ำใต้ดินเพื่อแบ่งชี้ข้อมูลประชากรกลุ่มที่อาจได้รับผลกระทบ จากการรับสัมผัสสารผ่านทางน้ำใต้ดิน โดยระบุความลึกของบ่อ จำนวน ประชากรที่ใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค บริโภค ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ผลการทดสอบน้ำใต้ดิน เช่น คุณภาพน้ำ อัตราการให้น้ำ และทิศทางการไหล ของน้ำใต้ดิน

๓.๑.๒ ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ ประกอบด้วย

๓.๑.๒.๑ ที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่ที่อาจเป็นที่มาของการปนเปื้อนในปัจจุบัน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม หลุมฝังกลบมูลฝอย ที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย เหมืองแร่ และสถานที่ลักลอบทิ้งของเสียอันตราย เป็นต้น

๓.๑.๒.๒ ประวัติการปนเปื้อนของพื้นที่ เช่น การลักลอบทิ้งสารเคมีในพื้นที่ การรั่วไหลจากกระบวนการผลิต ถึงเก็บหรือท่อส่งสารเคมี ชนิด ปริมาณและความเข้มข้นของสารมลพิษ สภาพและการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษ และผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน หรือการแพร่กระจายของสารมลพิษ

๓.๑.๒.๓ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ในอดีตที่สามารถบ่งชี้บริเวณแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในขั้นตอนสำรวจปกติ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นที่ในช่วงปีที่มีการใช้งาน เช่น การวางกองบนพื้นดิน การฝังกลบและการปิดทับ เป็นต้น ภาพถ่ายทางอากาศสามารถสืบค้นได้จากหน่วยงานด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ส่วนเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ กรมชลประทาน สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักจัดการแผนที่และสารบบที่ดิน สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากโดรน หรืออากาศยานไร้คนขับเพื่อถ่ายรูปพื้นที่ปนเปื้อนที่อาจเข้าถึงยาก

๓.๑.๒.๔ ข้อมูลการใช้สารเคมีของสถานประกอบการ และคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ตลอดจนความเป็นพิษของสารเคมี ปริมาณสารเคมี วิธีการเก็บ ขนส่ง ขนถ่าย และการใช้สารเคมี

๓.๑.๒.๕ ข้อมูลจากการเดินสำรวจพื้นที่ (Site Reconnaissance) การเดินสำรวจพื้นที่ให้เน้นความสนใจไปยังลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ เช่น ขนาดและทำเลที่ตั้งของแหล่งกำเนิด อาคารต่าง ๆ และบริเวณโดยรอบ เป็นต้น ให้จดบันทึกข้อสังเกตที่แตกต่างจากลักษณะที่อธิบายในข้อมูลที่รวบรวมก่อนหน้านี้ เช่น การพัฒนาที่อยู่อาศัยใหม่โดยไม่ปรากฏบนแผนที่ภูมิประเทศ เป็นต้น มุมมองอีกด้านที่สำคัญของการสำรวจพื้นที่คือ การประเมินความจำเป็นในการดำเนินการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน (Emergency Removal Action) การดำเนินการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนอาจรวมถึง การทำให้ของเสียอันตรายมีความเสถียร หรือการเคลื่อนย้ายของเสียอันตรายออกนอกพื้นที่ หรือการล้อมรั้วรอบพื้นที่เพื่อจำกัดการเข้าถึง หรือการปิดคลุมของเสียอันตรายไม่ให้สัมผัสกับน้ำหรืออากาศ หรือการดำเนินการตอบโต้เหตุฉุกเฉินอื่น ๆ เพื่อขจัด ควบคุม หรือลดภัยคุกคามที่ร้ายแรงฉุกเฉินที่อาจมีต่อสุขภาพของประชาชนหรือสิ่งแวดล้อม

ในระหว่างการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ให้บันทึกบริเวณแหล่งกำเนิดและหลักฐานแสดงการปนเปื้อนใด ๆ เช่น พืชหรือดินที่ปนเปื้อน ถึงที่เกิดการรั่วไหล พร้อมภาพถ่าย ให้ถ่ายภาพที่แสดง

ทัศนียภาพทั้งหมดของพื้นที่ ถ่ายภาพเพื่อบันทึกมุมมองสำคัญอื่น ๆ ของพื้นที่ เช่น การกั้นรั้วหรือความใกล้เคียงของที่อยู่อาศัย และน้ำผิวดิน เป็นต้น พร้อมทั้งสำเนาภาพนำไปแนบภาพต้นแบบเข้ากับสำเนารายงานเชิงบรรยายได้ โดยให้จัดเก็บภาพถ่ายตามลำดับเวลาในสมุดบันทึกพร้อมทั้งจัดทำคำอธิบายรายละเอียดภาพถ่ายลงในภาพร่างประเด็นที่ควรพิจารณาในการสำรวจสภาพพื้นที่ ประกอบด้วย

๑) สำรวจลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เช่น รูปร่าง ขนาด และที่ตั้งของพื้นที่ปนเปื้อน ลักษณะพื้นผิวที่ได้รับการปนเปื้อน เช่น เป็นพื้นดินหรือพื้นคอนกรีต มีพืชคลุมดินหรือไม่ มีบ่อน้ำหรือแหล่งน้ำในพื้นที่หรือไม่

๒) สำรวจลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ ได้แก่

- ตรวจสอบสภาพลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ เช่น เป็นลักษณะการกองทิ้งบนผิวดินหรือการฝังไว้ใต้ดิน และลักษณะของการรั่วไหลหรือการไหลนองบนผิวดิน เป็นต้น

- ระยะทางจากแหล่งกำเนิดจนถึงโครงสร้างพื้นที่หลัก เช่น อาคาร ถนน และเส้นแบ่งเขตพื้นที่หรือรั้ว

- ระยะทางจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้ที่อาจได้รับผลกระทบทั้งหมด เช่น ผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ บ่อน้ำ แหล่งน้ำผิวดิน สิ่งแวดล้อมอ่อนไหว

- รูปแบบการระบายน้ำและเส้นทางการไหลของน้ำท่าบนพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษสู่แหล่งน้ำผิวดิน

- ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสารมลพิษ เช่น สี กลิ่น และสถานะ

- ตรวจสอบชนิดและลักษณะทางเคมีของสารมลพิษ โดยใช้เครื่องมือภาคสนาม เช่น การตรวจวัดโลหะหนักโดยใช้ X-Ray Fluorescence spectrometer (XRF) การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยใช้ VOC gas detector หรือ การตรวจวัด pH ของของเหลวหรือดินปนเปื้อน โดยใช้ pH meter หรือกระดาษลิตมัส

๓) สัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงาน หรือประชาชนที่อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งอาจเป็นพยานรู้เห็นสาเหตุของการปนเปื้อน และอาจได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน เมื่อทำการสัมภาษณ์ตัวแทนพื้นที่ ให้พยายามรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียในอดีตและปัจจุบันรวมทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น ถามว่าเคยมีการรั่วไหลในพื้นที่หรือไม่ เคยมีปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของบ่อน้ำในพื้นที่หรือไม่ เคยมีข้อร้องเรียนจากผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงเกี่ยวกับปัญหากลั่นไม่พึงประสงค์หรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทอื่น ๆ หรือไม่

๓.๑.๒.๖ การสำรวจบริเวณโดยรอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ประกอบด้วย การเดินหรือขับรถรอบ ๆ พื้นที่แต่ไม่ได้เข้าไปในพื้นที่จริง ให้พยายามหามุมมองของพื้นที่ปนเปื้อนจากพื้นที่สาธารณะและบันทึกข้อสังเกตในสมุดบันทึกภาคสนาม การสำรวจบริเวณโดยรอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษมีวัตถุประสงค์เดียวกันกับการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ซึ่งมุ่งความสนใจไปยังการแจกแจงลักษณะของบริเวณที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดของเสียอันตราย ซึ่งรวมถึงประเภทแหล่งกำเนิด ขนาด สถานที่ตั้ง และหลักฐานการกักเก็บที่ไม่ถูกต้อง ให้ประมาณการขนาดพื้นที่หรือปริมาณแหล่งกำเนิดเท่าที่สามารถทำได้ ถ่ายภาพพื้นที่และ

บริเวณโดยรอบเพื่อการบันทึกเอกสารบันทึกภาพในสมุดบันทึก บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเข้าถึงพื้นที่ของประชาชน นอกจากนี้ ให้สังเกตหลักฐานการแพร่กระจายของสารอันตรายจากพื้นที่ รวมทั้งสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะผิดปกติ เช่น พืชตายหรือเปลี่ยนสี ดินปนเปื้อนที่เห็นชัดเจน หรือจุดระบายน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น ผู้สำรวจสามารถนับจำนวนบ้านเรือนเพื่อการประมาณการจำนวนประชากรในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ บ่งชี้พื้นที่ที่อยู่อาศัยใกล้พื้นที่ปนเปื้อนที่พึ่งพาการใช้น้ำจากบ่อน้ำส่วนบุคคล ตรวจสอบเส้นทางการไหลของน้ำท่าจากพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเข้าสู่แหล่งน้ำผิวดินที่ใกล้ที่สุด หากเป็นไปได้ ให้เดินไปตามเส้นทางการไหลและมองหาหลักฐานการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน บันทึกคุณลักษณะของบริเวณโดยรอบที่อาจไม่ได้มีบ่งชี้ไว้ในแผนที่ภูมิประเทศ เช่น ที่อยู่อาศัยใหม่ แหล่งธุรกิจหรือการพัฒนาที่อยู่อาศัยเชิงพาณิชย์ เป็นต้น ให้คัดลอกข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมระหว่างการสำรวจบริเวณโดยรอบและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ลงในภาพร่างพื้นที่ท้องถิ่นของผู้ประเมินหรือแผนที่ภูมิประเทศ

นอกจากนี้ ผู้ประเมินสามารถเยี่ยมชมหน่วยงานท้องถิ่นหลาย ๆ หน่วยงานเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม หน่วยงานด้านสุขภาพในท้องถิ่นอาจมีข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบพื้นที่ ขอร้องเรียนในอดีตจากผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียง เช่น กลิ่นไม่พึงประสงค์ ควัน สภาพที่ไม่น่าดู เป็นต้น และผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ หน่วยงานด้านทรัพยากรน้ำในพื้นที่อาจสามารถให้แผนที่การแจกจ่ายน้ำหรือทำเครื่องหมายสถานที่ตั้งของแหล่งน้ำดื่มสาธารณะและพื้นที่การแจกจ่ายน้ำบนแผนที่ภูมิประเทศ นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ดูแลด้านทรัพยากรน้ำหรือเจ้าหน้าที่ท้องถิ่น อาทิ เจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบล ผู้นำชุมชน อาจให้ข้อมูลเกี่ยวกับบ่อน้ำส่วนบุคคลในบริเวณใกล้เคียง หน่วยงานองค์กรส่วนท้องถิ่นที่มีข้อมูลด้านการจัดเก็บภาษีอาจมีข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นเจ้าของและประวัติขอบเขตของพื้นที่ซึ่งอาจนำไปสู่การค้นพบแหล่งกำเนิดของเสียอันตรายอื่น ๆ ที่ไม่ได้มีการบ่งชี้ไว้ก่อนหน้านี้

๓.๒ การตรวจสอบพื้นที่ (Site Inspection, SI)

เป้าหมายของการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (SI) คือการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม การตรวจสอบถึงการรับสัมผัสสารอันตรายของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และการทดสอบสมมติฐานที่ได้จากการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PA) สมมติฐานจากขั้นตอนการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PA) เพียงหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้จะส่งผลให้มีการดำเนินการตรวจสอบพื้นที่

- มีการปลดปล่อยหรือการแพร่กระจายของสารอันตรายสู่บ่อน้ำดื่มหรือแหล่งน้ำดิบเพื่อการบริโภค
- มีการปลดปล่อยหรือการแพร่กระจายของสารอันตรายสู่แหล่งน้ำผิวดินที่มีสิ่งแวดล้อมที่อ่อนไหวหรือบริเวณที่มีการประกอบอาชีพประมง
- มีการตรวจพบสารอันตรายในบริเวณที่พักอาศัย โรงเรียน หรือสถานรับเลี้ยงเด็ก หรือ บริเวณสิ่งแวดล้อมที่อ่อนไหว
- มีการปลดปล่อยสารอันตรายสู่บรรยากาศ

การตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเน้นไปที่การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างกากของเสียและตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ที่ปกติแล้วมักจะไม่มีมีการดำเนินการดังกล่าวในขั้นตอนการประเมินเบื้องต้น (PA) ผลการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (SI) ควรสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของความเสี่ยงที่เกิดจากการปนเปื้อนโดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม

การเก็บตัวอย่างเพื่อให้ทราบถึงลักษณะแหล่งกำเนิดของสารอันตราย จะช่วยให้บ่งชี้ได้ว่าสารอันตรายเหล่านั้นมีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่จริงหรือไม่ พื้นที่ใดที่มีปัญหาเกี่ยวกับสารอันตราย ตัวอย่างที่เก็บมาจากพื้นที่จะทำให้บ่งชี้ชนิดของสารอันตรายในพื้นที่ได้ ถ้าพบว่ามีสารอันตรายอยู่ในระดับต่ำผู้ตรวจสอบจะมีความมั่นใจมากขึ้นที่จะใช้ผลข้อมูลวิเคราะห์อื่น ๆ เพื่อคัดกรองพื้นที่ ในทางตรงกันข้าม หากพบสารอันตรายที่เฉพาะเจาะจงบางชนิด ทั้งในบ่อน้ำชุมชนและพื้นที่แหล่งกำเนิด อาจสรุปในเบื้องต้นได้ว่าพื้นที่นี้ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนมลพิษในพื้นที่ผู้ที่อาจได้รับผลกระทบ (Targets)

โดยปกติแล้ว การตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ต้องการตัวอย่างประมาณ ๑๒ - ๒๐ ตัวอย่าง (เฉลี่ย ๑๕ ตัวอย่าง) เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน PA ที่คาดมีการปนเปื้อน และเพื่อบ่งชี้ว่าเป็นการปนเปื้อนสารอันตรายประเภทใด ขอบเขตของการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (SI) กำหนดขึ้นตามจำนวนของสมมติฐานและคำถามที่ยังไม่มีคำตอบภายหลังการประเมินเบื้องต้น (PA) และจำนวนเส้นทางการสัมผัสสารมลพิษที่จะนำไปสู่การให้ข้อเสนอแนะให้มีการดำเนินการในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ อาจมีความจำเป็นในการเก็บตัวอย่างค่าพื้นหลัง (Background) และตัวอย่างเพื่อการรับรองและควบคุมคุณภาพ (QA/QC) เพื่อสนับสนุนผลการประเมินเบื้องต้นสำหรับการบ่งชี้การดำเนินการในขั้นตอนต่อไป รายละเอียดในการวางแผนการเก็บตัวอย่างจะอยู่ในหัวข้อที่ ๓.๓

ผู้ประเมิน (Investigator) จะต้องทำการตรวจทานความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลที่ได้มาจากการประเมินเบื้องต้น (PA) และการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในกระบวนการ SI สิ่งที่ต้องพิจารณา ได้แก่

- วัน เวลา สถานที่ ความลึก และลักษณะของตัวอย่างที่เก็บ
- เทคนิควิธีในการเก็บและรักษาตัวอย่าง
- เทคนิควิธีในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง และการคำนวณผลการวิเคราะห์
- ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์
- ตัวอย่างสำหรับควบคุมคุณภาพ (QA/QC) เช่น การทำตัวอย่างซ้ำ (Replicates) หรือการตรวจสอบการปนเปื้อนโดยใช้ Field Blanks หรือ Trip Blanks เป็นต้น
- เอกสารต่างๆที่รวบรวมได้

เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ผู้ตรวจสอบพื้นที่จะให้ข้อมูลแก่เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ เพื่อให้มีการตัดสินใจดำเนินการว่าจะต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติม หรือบรรลุผลการตรวจสอบ

๓.๓ แนวทางการรวบรวมข้อมูลและการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

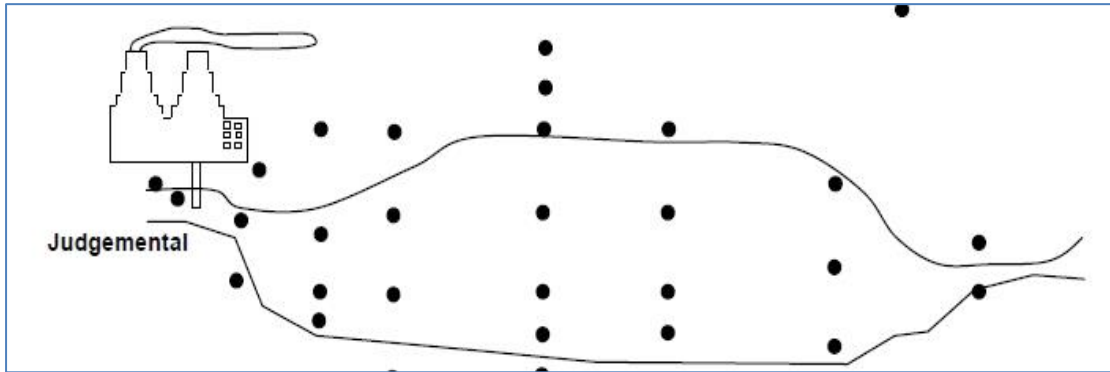
เนื่องจากพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษนั้นแตกต่างกันตามขนาดและความซับซ้อนของพื้นที่ จึงไม่สามารถออกแบบแนวปฏิบัติการเก็บตัวอย่างมาตรฐานที่เหมาะสมกับทุกพื้นที่ได้ วัตถุประสงค์เบื้องต้นของการเก็บตัวอย่างในการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ คือเพื่อประเมินสภาพปัญหาของแต่ละพื้นที่เพื่อการตัดสินใจดำเนินการประเมินพื้นที่แบบละเอียดต่อไป การเลือกบริเวณสำหรับการเก็บตัวอย่างควรเลือกจุดที่มีแนวโน้มว่าจะตรวจพบสารอันตรายในปริมาณที่สูงกว่าค่าระดับความเข้มข้นพื้นฐาน (Background Level Concentrations) ของบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน ผู้ประเมินควรจัดทำแผนการเก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษโดยกำหนดจุดที่จะเก็บตัวอย่าง จำนวนและประเภทของตัวอย่างที่จะเก็บ และพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ควรเก็บมาวิเคราะห์ประกอบด้วย

- ๑) ตัวอย่างของเสียอันตราย หากมีของเสียอันตรายที่เป็นต้นกำเนิดของการปนเปื้อน ให้เก็บตัวอย่างมาตรวจสอบทุกจุด จุดละอย่างน้อย ๓ ตัวอย่าง
- ๒) ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมบริเวณที่มีการปนเปื้อนของเสียอันตรายโดยตรง (Hot Spot) ควรเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน พืช หรือสัตว์ ประเภทละ ๓ ตัวอย่างเป็นอย่างน้อย ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโดยตรงและคาดว่าจะมีการปนเปื้อนอยู่ในระดับสูง
- ๓) ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นหลัง (Background Environment) โดยเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่ได้รับการปนเปื้อนสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดอย่างน้อย ๓ ตัวอย่าง เช่น พื้นที่ที่อยู่นอกเขตของสถานประกอบการที่ต้องสงสัยว่าก่อให้เกิดการปนเปื้อน หรืออยู่นอกขอบเขตของการปนเปื้อนเท่าที่จะสามารถหาร่องรอยได้จากการประเมินเบื้องต้น (PA) หรือ พื้นที่ที่มีระดับความสูงของพื้นดินที่สูงกว่าพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน (Up Gradient) หรืออยู่เหนือน้ำ (Up Stream) ซึ่งจำเป็นต้องทราบทิศทางการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

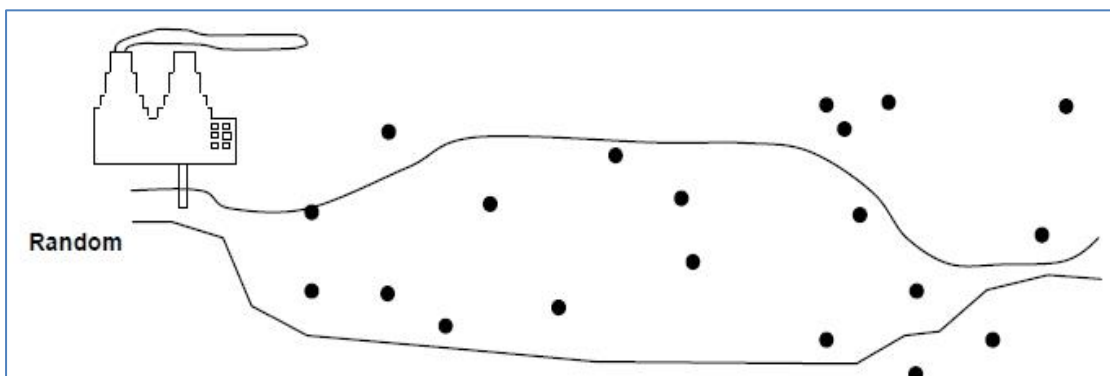
๓.๓.๑ การเก็บตัวอย่างดิน

๓.๓.๑.๑ บ่งชี้ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างดิน ควรเลือกจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้ข้อมูลจากการประเมินเบื้องต้น (PA) โดยเลือกพื้นที่ที่มีแนวโน้มสูงว่าจะมีการปนเปื้อน (Judgmental Sampling) ดังแสดงในภาพที่ ๓-๑ เช่น พื้นที่ที่อยู่ติดกับกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อน พื้นที่ที่มีการกองหรือฝังกลบของเสีย พื้นที่เก็บสารเคมี หรือพื้นที่ที่พบร่องรอยการปนเปื้อน โดยอาจสังเกตจาก สี และกลิ่น อย่างไรก็ตาม หากไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะเลือกจุดเก็บตัวอย่างที่มีแนวโน้มสูง อาจเลือกจุดเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Random) ดังแสดงในภาพที่ ๓-๒ หรือแบบเป็นระบบ (Systematic) หรือแบบตาราง (Grid) ดังแสดงในภาพที่ ๓-๓ ตามลำดับ โดยเก็บอย่างน้อย ๓ ตัวอย่างในแต่ละจุดหรือตาราง ทั้งนี้อาจใช้วิธีการเลือกจุดเก็บตัวอย่างมากกว่า ๑ วิธี ในกรณีที่พื้นที่ปนเปื้อนมีขนาดใหญ่ และข้อมูลในแต่ละจุดอาจมีไม่เท่ากัน การเก็บตัวอย่างในขั้นตอนของการประเมินพื้นที่เบื้องต้น (PSI) ทำเพื่อยืนยันการปนเปื้อนเพื่อตัดสินใจ

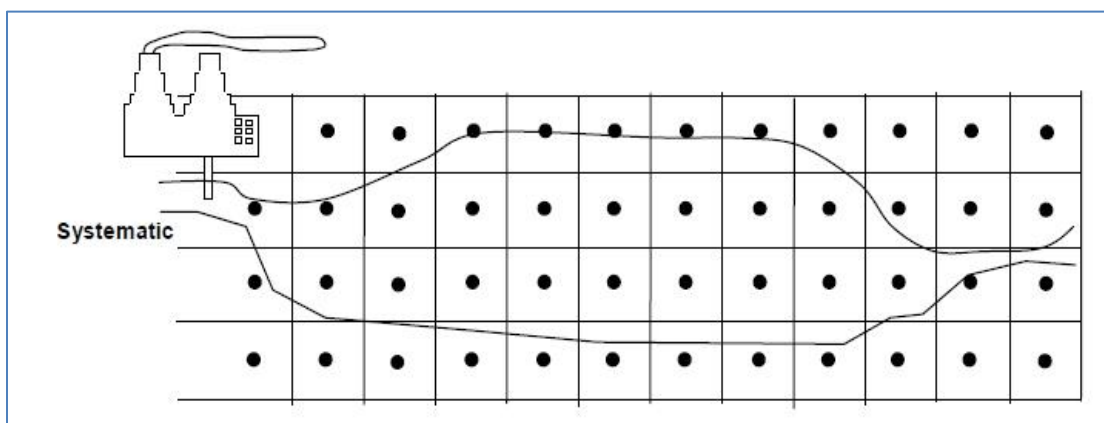
ในการดำเนินการประเมินแบบละเอียด (DSI) ต่อไป ดังนั้น การเก็บตัวอย่างในขั้นตอนนี้จึงยังไม่จำเป็นต้องครอบคลุมทั้งพื้นที่ ทั้งนี้ ให้บันทึกพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง ลักษณะและชนิดของดิน ปริมาณตัวอย่าง วิธีการเก็บตัวอย่าง และวิธีการรักษาตัวอย่าง ซึ่งขึ้นกับพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ และให้ปฏิบัติตามวิธีมาตรฐานสำหรับพารามิเตอร์นั้นๆ



ภาพที่ ๓-๑ จุดเก็บตัวอย่างแบบใช้ดุลพินิจ (Judgmental Sampling) (Source: UNIDO)



ภาพที่ ๓-๒ จุดเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Random Sampling) (UNIDO)



ภาพที่ ๓-๓ จุดเก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic Sampling) หรือแบบตาราง (Grid Sampling) (UNIDO)

๓.๓.๑.๒ เก็บตัวอย่างดินโดยการเปิดหน้าดินออกด้วยเสียมหรือพลั่ว แล้วเก็บตัวอย่างดินด้วยอุปกรณ์ที่ไม่ปนเปื้อนและใส่ในภาชนะเก็บตัวอย่างที่ไม่ปนเปื้อน หากเป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบผสม (Composite Sample) ให้ทำการผสมตัวอย่างดินก่อนในภาชนะขนาดใหญ่ แล้วจึงเก็บตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่าง ก่อนย้ายจุดเก็บตัวอย่าง จะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ให้ทำการเก็บตัวอย่างใน ๓ ระดับความลึก ได้แก่

๑) การเก็บตัวอย่างดินระดับตื้น เป็นการเก็บตัวอย่างดินที่มีระดับความลึกไม่เกิน ๐.๓ เมตร สามารถใช้อุปกรณ์ เช่น จอบ เสียม พลั่ว หรือหัวเจาะดิน (Soil Probe) ใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่เหมาะสมตามพื้นที่รอบ ๆ และเปิดหน้าดินออกจนถึง ระดับความลึกที่ต้องการ จากนั้นใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินที่สะอาดปาดเอาดินชั้นบนสุดซึ่งสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้เปิดหน้าดินออกไป หากต้องการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ให้เก็บตัวอย่างลงในภาชนะที่เหมาะสมโดยใช้อุปกรณ์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และปิดภาชนะให้แน่น

๒) การเก็บตัวอย่างดินระดับปานกลาง เป็นการเก็บตัวอย่างดินระดับความลึกระหว่าง ๐.๓ – ๒.๐ เมตร ทำโดยใช้อุปกรณ์ประเภท Hand Auger ดังแสดงในภาพที่ ๓-๔ โดยตัวอย่างดินอาจจะเก็บจาก Auger โดยตรง หรือหากเป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) ตามมาตรฐาน ASTM D - ๑๕๘๗ จะใช้กระบอกเก็บตัวอย่างชนิดกระบอกบาง (Thin Wall Tube Sampler) ดังแสดงในภาพที่ ๓-๕ กดลงไปในพื้นที่ดิน ตัวอย่างดินจะติดอยู่ภายในกระบอกบาง และถูกดึงขึ้นมาพร้อมกับกระบอกบาง ตัวอย่างดินที่ถูกเก็บขึ้นมาจากหลุมเจาะจะถูกบันทึกชนิดดิน และสีด้วยสายตา (Visual Classification) แล้วใช้พาราฟินปิดที่ปลายกระบอกทั้งสองด้านไว้ก่อนการระเหยของน้ำ หมายเลขตัวอย่าง ความลึก วันที่เก็บตัวอย่าง ชื่อหลุมเจาะ ชื่อโครงการ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะถูกบันทึกลงบนกระดาษติดกระบอกบางทุกกระบอกก่อนส่งเข้าห้องทดสอบต่อไป

๓) การเก็บตัวอย่างดินจากระดับลึก เป็นการเก็บตัวอย่างดินระดับลึกกว่า ๒.๐ เมตร โดยใช้กระบอกผ่า (Split Barrel Sampler) ดังแสดงในภาพที่ ๓-๖ ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างแท่งดินยาวต่อเนื่องได้ ๔๕ – ๖๐ เซนติเมตร เรียกว่า การเก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) การเก็บตัวอย่างอาจจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ชุดเจาะอื่น ๆ เช่น Auger เพื่อชุดหลumnาร่องจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ แล้วจึงเปลี่ยนเป็น Split Barrel Sampler เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป หรือใช้ลูกตุ้มปล่อยกระแทกกระบอกผ่าให้จมดิน ตัวอย่างดินที่ได้จะถูกนำไปจำแนกชนิดและชั้นดินด้วยสายตาตามมาตรฐานของ Unified Soil Classification เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้น แล้วเก็บใส่ภาชนะป้องกันความชื้นสูญหาย ทำการบันทึกชื่อโครงการ ชื่อหลุม ความลึก หมายเลขตัวอย่างและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องลงในสลากปิดปากถุงให้แน่น แล้วนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ ๓-๔ Hand Auger



ภาพที่ ๓-๕ Thin-Wall Tube Sampler



ภาพที่ ๓-๖ Split Barrel Sampler

๓.๓.๒ การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ควรเก็บตัวอย่างจากบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน ซึ่งเจาะความลึกในระดับเดียวกับการปนเปื้อน และควรเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำของประชาชนในพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลการปนเปื้อนที่อาจมีการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดมลพิษ หากทราบทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ตำแหน่งของบ่อน้ำควรจะครอบคลุมเหนือน้ำ (Up Stream) และท้ายน้ำ (Down Stream) โดยจะต้องบันทึกพิกัดและความลึกของบ่อน้ำทุกครั้ง การเก็บตัวอย่างจะเริ่มจากบ่อที่คาดว่าจะมีการปนเปื้อนน้อยที่สุด เช่น บ่อที่อยู่ในจุดเหนือน้ำ ที่จุดเก็บต้องปูแผ่นพลาสติกกรองพื้นบริเวณปากบ่อสำหรับวางอุปกรณ์เพื่อลดการปนเปื้อนจากดินและฝุ่น จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลทั่วไป เช่น ตำแหน่ง วัน เวลา เมื่อบันทึกข้อมูลทั่วไปแล้วจึงเปิดฝาบ่อแล้วเริ่มทำการวัดระดับน้ำในบ่อ จากนั้นจึงทำการสูบน้ำออกเพื่อถ่ายน้ำที่ขังในบ่อออก โดยควรถ่ายน้ำที่ขังในบ่ออย่างน้อย ๓ เท่าของปริมาตรน้ำที่ขังในบ่อ หรือจนกว่า พีเอช หรือค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่สูบออกจะคงที่ จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ที่จะต้องวัดในพื้นที่ทุกครั้งคือ พีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย ศักย์รีดอกซ์ และสภาพนำไฟฟ้า การวัดในพื้นที่สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือตรวจวัดหย่อนลงไปในบ่อ (In situ) หรือสูบน้ำขึ้นมาทำการวัดในภาชนะ

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมีหลายชนิด ได้แก่

1) เบลเลอร์ (Bailer) เป็นท่อแข็งกลวงที่มีวาล์วกันการไหลย้อนที่ด้านล่างสุด ดังแสดงใน **ภาพที่ ๓-๗** เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณไม่มากนัก และบ่อมีความลึกไม่มาก

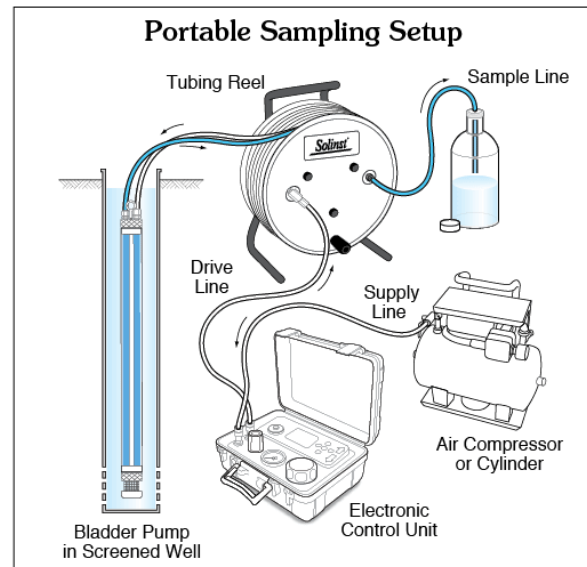
2) เครื่องสูบน้ำ (Pump) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถสูบน้ำจากบ่อในระดับลึกที่อัตราการไหลต่าง ๆ ได้ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในงานเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะมีอยู่ ๓ แบบหลักๆ ได้แก่ เครื่องสูบบีบรัด (Peristaltic Pump) เครื่องสูบแรงเหวี่ยงแบบจม (Centrifugal Submersible Pump) และเครื่องสูบบวม (Bladder Pump) ดังแสดงใน **ภาพที่ ๓-๘**



ภาพที่ ๓-๗ เบลเลอร์ (Bailer)



Centrifugal Submersible Pump



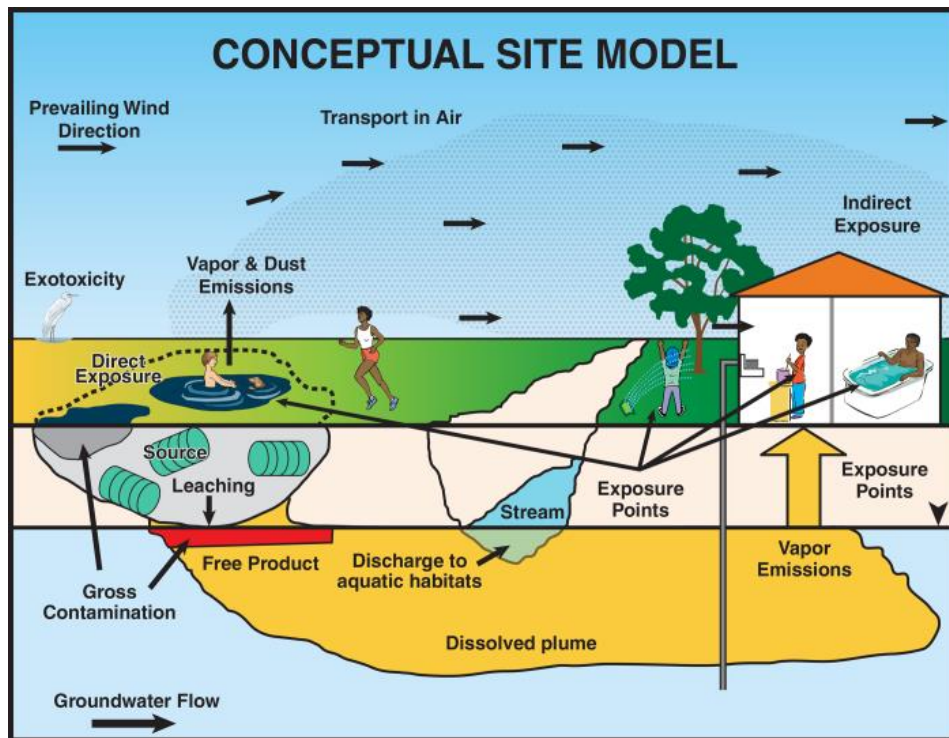
Bladder Pump



Peristaltic Pump

ภาพที่ ๓-๘ เครื่องสูบน้ำ (Pump)

๓.๓.๓ การวิเคราะห์ตัวอย่าง การเลือกพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ให้พิจารณาจากแหล่งกำเนิด การปนเปื้อนดังกล่าวข้างต้น วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ ให้ทำตามวิธีมาตรฐานที่กำหนด ในกฎหมาย ได้แก่ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน และ ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น



ภาพที่ ๓-๑๐ ตัวอย่างแผนภาพมโนทัศน์พื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ Conceptual Site Model

๓.๕ การบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเพื่อตัดสินใจดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

วัตถุประสงค์หลักของการประเมินและตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PSI) คือเพื่อประเมินศักยภาพความเป็นอันตรายของพื้นที่เพื่อพิจารณาถึงความจำเป็นในการดำเนินการใด ๆ กับพื้นที่นั้น ปัจจัยหลักในการพิจารณาตัดสินใจดำเนินการประเมินพื้นที่อย่างละเอียด (DSI) ต่อไป ได้แก่

- ๑) ระดับการปนเปื้อนสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือเกณฑ์การประเมินการปนเปื้อนมลพิษในสิ่งแวดล้อม อาทิ มาตรฐานคุณภาพดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดินในแหล่งน้ำผิวดิน
- ๒) ระดับการปนเปื้อนสูงกว่าระดับการปนเปื้อนพื้นฐานหรือระดับที่พบในธรรมชาติ (Background Level) อย่างมีนัยยะสำคัญ
- ๓) การมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการกำหนดกลยุทธ์ในการลดความเสี่ยงต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม

สำหรับพื้นที่ที่มีการประเมินจัดอันดับความเป็นอันตราย (Hazard Ranking System) หรือการให้คะแนนโดยใช้ข้อมูลจากการประเมินเบื้องต้น (PA) หรือการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (SI) ตามแนวทางขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลหลัก ๓ ประเภท ได้แก่ ข้อมูลของกากของเสียอันตราย (สารมลพิษ) ข้อมูลจากการพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมประเภทต่าง ๆ และข้อมูลผลกระทบต่อผู้ที่มีโอกาสสัมผัสสัมผัส และพื้นที่ที่มีคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ ๒๘.๕๐ คะแนน

เป็นพื้นที่ที่ควรดำเนินการประเมินอย่างละเอียด (DSI) เพื่อบ่งชี้แนวทางและกลยุทธ์ในการจัดและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนต่อไป

ทั้งนี้ ค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมลพิษและค่าความเข้มข้นพื้นหลังสำหรับนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมควรเป็นค่าเฉลี่ยที่สามารถเป็นตัวแทนของพื้นที่ปนเปื้อนและพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสารมลพิษ ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕ (๙๕% Upper Confidence Limit: UCL) เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่แท้จริงมากที่สุดในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕ โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย ๙๕% UCL สามารถใช้โปรแกรม ProUCL ซึ่งดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) (<https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>) ทั้งนี้ การคำนวณค่าเฉลี่ย ๙๕% UCL จะต้องมีข้อมูลความเข้มข้นจากตัวอย่างสิ่งแวดล้อมจำนวนอย่างน้อย ๓ ตัวอย่าง และเพื่อให้การคำนวณได้ค่าที่น่าเชื่อถือควรมีจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่า ๑๐ ตัวอย่าง หากระดับการปนเปื้อนเกินมาตรฐาน แสดงว่ามีแนวโน้มในการก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ แต่การปนเปื้อนนี้อาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ หรืออาจเกิดจากการปนเปื้อนตามธรรมชาติก็ได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการสำรวจระดับความเข้มข้นที่พบในธรรมชาติหรือค่าพื้นหลัง (Background Concentration Level) เพื่อเปรียบเทียบกับระดับการปนเปื้อนของพื้นที่ที่ศึกษา โดยการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งไม่ได้รับการปนเปื้อนสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด เช่น

- พื้นที่ที่อยู่นอกเขตของสถานประกอบการที่ต้องสงสัยว่าก่อให้เกิดการปนเปื้อน หรืออยู่นอกขอบเขตของการปนเปื้อนเท่าที่จะสามารถห่อหุ้มได้จากการทำ PA
- พื้นที่ที่มีระดับความสูงของพื้นดินที่สูงกว่าพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน (Up Gradient) หรืออยู่เหนือน้ำ (Up Stream) ซึ่งจำเป็นต้องทราบทิศทางการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

๓.๖ การจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน (Emergency Removal)

ข้อพิจารณาด้านการตอบโต้เหตุฉุกเฉิน ในระหว่างขั้นตอนการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PSI) อาจต้องมีการดำเนินการจัดการของเสียอันตรายอย่างเร่งด่วนในพื้นที่ปนเปื้อน โดยผู้ประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้นมีหน้าที่บ่งชี้พื้นที่ที่อาจต้องมีการจัดการปนเปื้อนในทันทีอย่างเร่งด่วน และต้องแจ้งต่อเจ้าหน้าที่ประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษระดับภูมิภาค/ส่วนกลางเกี่ยวกับสถานการณ์ดังกล่าว เพื่อพิจารณาว่ามีความจำเป็นต้องมีการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนหรือไม่ โดยเจ้าหน้าที่หน่วยตอบโต้เหตุฉุกเฉินมลพิษจะต้องช่วยประเมินความเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เพื่อตรวจสอบว่ามีความเหมาะสมที่จะดำเนินการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนหรือไม่ อาทิ การรับสัมผัสสารทางการหายใจหรือผิวหนัง อาจก่อให้เกิดอันตรายแบบเฉียบพลัน หรือพื้นที่ดังกล่าวมีโครงสร้างอาคารที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ก่อนที่จะเริ่มการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน

พื้นที่ปนเปื้อนมลพิษที่อาจต้องดำเนินการตอบโต้เหตุอย่างเร่งด่วนนั้นมีสถานการณ์ที่เห็นได้ชัด อาทิ สถานการณ์ที่คนสามารถสัมผัสกับสารอันตรายโดยตรงได้อย่างง่ายดาย สถานการณ์ที่มีการปลดปล่อยสารปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เช่น ประชาชนสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่มีสารปนเปื้อนได้อย่างไม่จำกัด การไม่มีการควบคุมการเอ่อล้นกรณีกักเก็บของเหลวบนพื้นดิน เป็นต้น ประเภทของสถานการณ์ของพื้นที่ปนเปื้อนที่อาจนำไปสู่การประเมินให้มีการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน มีดังต่อไปนี้

๑) ภัยคุกคามจากเพลิงไหม้และ/หรือการระเบิด เช่น

- มีการเก็บสารอันตรายที่มีสถานะไม่เสถียรไว้ในพื้นที่
- มีการกำจัดวัสดุที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายร่วมกัน
- อดีตเป็นพื้นที่ทางทหารที่มีวัตถุระเบิดที่ยังไม่ได้ระเบิด

๒) ภัยคุกคามจากการสัมผัสกับสารอันตรายโดยตรง เช่น

- ไม่มีการจำกัดการเข้าถึงสารปนเปื้อนของประชาชน
- น้ำที่ไหลผ่านพื้นที่นำพาสารปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดินที่มีการนำไปใช้
- สารปนเปื้อนได้แพร่กระจายไปยังบริเวณที่อยู่อาศัย

๓) ภัยคุกคามจากการปลดปล่อยสารอันตรายอย่างต่อเนื่อง เช่น

- แหล่งกำเนิดมีสภาพการกักเก็บไม่ปลอดภัย เช่น ถังขนาด ๒๐๐ ลิตร เสื่อมสภาพ

เป็นต้น อาจจะเป็นอันตรายต่อน้ำใต้ดินโดยการปล่อยสารอันตรายลงบนพื้นดินหรือใต้พื้นดิน

- การกักเก็บบนพื้นดินไม่มีเขื่อนหรือท่อบกั้น และตั้งอยู่บนตลิ่งแม่น้ำที่เสี่ยงต่อน้ำท่วม

๔) ภัยคุกคามจากการปนเปื้อนในน้ำดื่ม เช่น

- มีความเสี่ยงของการปลดปล่อยสารลงสู่ น้ำใต้ดินที่ซึ่งมีประชากรที่ใช้บ่อน้ำตื้นสำหรับน้ำดื่ม
- ถังขนาด ๒๐๐ ลิตร ใต้ดินอาจมีการรั่วไหลใกล้กับแหล่งน้ำของเทศบาล
- มีการรายงานเกี่ยวกับน้ำมีกลิ่นเหม็น และ/หรือ รสชาติแปลก จากผู้ใช้น้ำส่วนบุคคล

สถานการณ์ข้างต้นเป็นเพียงตัวอย่างบางส่วนของสภาพพื้นที่ที่ผู้ประเมินควรทราบในระหว่างการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PSI) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ตัวอย่างเหล่านี้ไม่ได้รวมสภาพพื้นที่ทั้งหมดที่อาจบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ทุกสภาวะความเสี่ยงที่จะสามารถจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน แต่ละพื้นที่มีลักษณะเฉพาะและความจำเป็นในการประเมินการจัดการปนเปื้อนจะต้องอยู่บนพื้นฐานของสภาพเฉพาะแต่ละพื้นที่ เช่น บางพื้นที่สามารถดำเนินการแก้ไขฟื้นฟูในระยะยาวได้เท่านั้น เป็นต้น หากในระหว่างการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ผู้ประเมินได้สังเกตเห็นสภาวะที่เชื่อว่าจะต้องมีการดำเนินการอย่างเฉียบพลันเพื่อบรรเทาภัยคุกคามต่อสุขภาพของประชาชนหรือสิ่งแวดล้อม ให้แจ้งต่อเจ้าหน้าที่ประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษระดับภาค/ส่วนกลางโดยเร็วที่สุดเพื่อหารือเกี่ยวกับสถานการณ์

การจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน (Emergency Removal) เป็นการขจัด ควบคุม หรือลดภัยคุกคามต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนหรือสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากการปลดปล่อยหรือความเสี่ยงที่จะมีการปลดปล่อยสารอันตราย และออกแบบมาเพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์ที่จำเป็นต้องมีการดำเนินการโดยทันทีเพื่อขจัดภัยคุกคามในปัจจุบัน หรือเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจทวีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต และเป็นการดำเนินการในระยะเวลาค่อนข้างสั้น เมื่อเทียบกับการแก้ปัญหาด้วยการฟื้นฟูระยะยาวสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษที่ผ่านการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการดำเนินการจัดการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนสามารถรวมถึงการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

- การล้อมรั้วพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ
- การรักษาความปลอดภัยตลอด ๒๔ ชั่วโมง เพื่อจำกัดการเข้าถึงของประชาชน
- การทำให้แหล่งกำเนิดของเสียมีความเสถียร เช่น ถังขนาด ๒๐๐ ลิตร ที่รั่วไหล หรือบ่อกักเก็บของเสียที่มีการเอ่อล้น เป็นต้น
- การขจัดสารอันตรายด้วยวิธีทางกายภาพ
- การปิดคลุม (capping) บริเวณพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษที่เห็นได้ชัดเจน
- การประเมินความจำเป็นในการย้ายประชากรออกเป็นการชั่วคราว
- การจัดหาแหล่งน้ำดื่มทดแทน

บทที่ ๔

แนวปฏิบัติการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษอย่างละเอียด

เมื่อการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษเบื้องต้น (PSI) พบว่ามีการปนเปื้อนสารมลพิษสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน หรือมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน และมีระดับการปนเปื้อนสูงกว่าระดับการปนเปื้อนที่พบในธรรมชาติหรือค่าพื้นหลัง จะต้องมีการประเมินพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษอย่างละเอียด (Site Characterization) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ศึกษาคุณสมบัติของสิ่งแวดล้อมประเภทต่าง ๆ (Media) ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน อากาศ และดิน ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารมลพิษ
- ศึกษาขอบเขตของการปนเปื้อนมลพิษและการกระจายตัวของสารมลพิษทั้งสามมิติ
- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารมลพิษ
- ศึกษาผู้รับสัมผัสสารมลพิษ (Receptor) และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น
- ปรับปรุงแบบจำลองการปนเปื้อน (Conceptual Site Model: CSM)
- ประเมินความเสี่ยงจากการปนเปื้อนที่มีต่อสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศน์
- ตัดสินใจในการเลือกวิธีการจัดการและ/หรือฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน

๔.๑ การแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน (Site Characterization)

๔.๑.๑ ลักษณะของการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด

การศึกษาลักษณะของการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด จะต้องมีการวางแผนในการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม โดยจุดเก็บตัวอย่างควรจะเน้นบริเวณที่ต้องสงสัย (Areas of Concern, AOC) ซึ่งจะขึ้นกับประเภทและลักษณะของจุดกำเนิดมลพิษที่ต้องสงสัย เช่น

- ถังเก็บสารเคมีและท่อส่งสารเคมี มักจะเกิดการรั่วไหลจากตัวถัง ท่อ ข้อต่อ หรือวาล์ว หรือจุดที่มีการถ่ายเทสารเคมีเข้าหรือออกจากถัง ให้ตรวจสอบบริเวณใต้จุดต่าง ๆ ที่อาจเกิดการรั่วไหล
- อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเครื่องจักรที่มีการใช้สารเคมี ให้ตรวจสอบบริเวณใต้หรือใกล้กับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีการใช้สารเคมี รวมทั้งระบบท่อที่นำสารเคมีเข้าหรือออก
- ถังขยะหรือบ่อเก็บของเสีย อาจมีการรั่วไหลบริเวณใต้ถังหรือบ่อ หรือบริเวณรอบ ๆ ถังหรือบ่อ
- บ่อบำบัดน้ำเสีย อาจมีการรั่วไหลบริเวณบ่อ หรือระบบท่อ
- ท่อระบายน้ำ รางระบายน้ำ และบ่อสูบ อาจมีการรั่วไหลจากรอยร้าวของท่อ ราง และข้อต่อต่าง ๆ
- ประตูหรือหน้าต่างของพื้นที่ทิ้งของเสีย อาจมีการไหลล้นจากจุดเหล่านี้ ให้ตรวจสอบพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าจุดที่อาจมีการไหลล้น

- จุดขนถ่ายสินค้าหรือสารเคมี อาจเกิดการหกรั่วไหลได้ในบริเวณนี้ ให้สังเกตร่องรอยการหก หรือลักษณะของพืชที่ขึ้นโดยรอบอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ
- รางระบายน้ำจากหลังคา และช่องระบายอากาศ อาจมีการรั่วไหลของสารมลพิษออกทางช่องระบายอากาศ และปนเปื้อนบริเวณหลังคา ซึ่งฝนอาจชะละลายและพัดพาลงสู่บริเวณที่ระบายน้ำฝน
- หลุมเก็บ บ่อพัก หรือหลุมฝังกลบของเสีย อาจมีการปนเปื้อนในบริเวณนั้น



ภาพที่ ๔ - ๑ แสดงลักษณะการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด

๔.๑.๒ คุณสมบัติของสารมลพิษ ได้แก่

๑) ความหนาแน่น (Density) หรือความถ่วงจำเพาะ (Specific Density) หากสารมลพิษมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ หรือมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า ๑ สารมลพิษนั้นจะจมลงใต้น้ำ

๒) ความสามารถในการละลาย (Solubility) สามารถบอกได้ในรูปของความเข้มข้นของสารมลพิษที่ละลายในน้ำ (mg/L หรือ ppm) หรืออาจบอกได้ในรูปของ Solubility Product (K_{sp}) หากสารมีความสามารถในการละลายน้ำสูงจะสามารถแพร่กระจายในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ดีและสลายตัวได้ง่าย ส่วนของเหลวที่ละลายน้ำได้น้อย เรียกว่า Non-Aqueous Phase Liquid (NAPL) หาก NAPL มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ เรียกว่า Dense Non-Aqueous Phase Liquid (DNAPL) เช่น Trichloroethylene เป็นต้น หาก NAPL มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ เรียกว่า Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL)

๓) ความสามารถในการระเหย (Volatility) สามารถบอกในรูปของค่าคงที่ Henry's Constant หรือความดันไอ (Vapor Pressure, VP) สารมลพิษที่มีค่าคงที่ Henry's Constant หรือความดันไอ (VP) สูง จะระเหยได้ดีที่อุณหภูมิห้อง หากเป็นสารอินทรีย์จะเรียกว่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) สารเหล่านี้มีโอกาสที่ไอระเหยจะแพร่กระจายจากน้ำใต้ดินสู่ชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil Zone) และขึ้นสู่บรรยากาศ

๔) ความสามารถในการสลายตัว (Degradability) และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัว (Breakdown Products) สารอันตรายสามารถมีการสลายตัวได้ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยารีดอกซ์ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ หรือการสลายตัวโดยแสงแดด ซึ่งการเก็บตัวอย่างหาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัว จะเป็นการพิสูจน์ว่ามีการสลายตัวเกิดขึ้นในพื้นที่ปนเปื้อนหรือไม่ การสลายตัวของสารมลพิษจะทำให้ความเข้มข้นของสารมลพิษตั้งต้นลดลง และลดการแพร่กระจายของสารมลพิษได้ แต่อาจเกิดสารมลพิษผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารที่มีความอันตรายมากกว่าสารตั้งต้น

๕) ความสามารถในการถูกดูดซับ สามารถบอกในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในน้ำมันเทียบกับน้ำ (Octanol-Water Partition Coefficient, K_{ow}) หรือค่าสัมประสิทธิ์การจับตัวกับคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon Partition Coefficient, K_{oc}) หรือค่าสัมประสิทธิ์การจับตัวกับดินเทียบกับน้ำ (Soil Water Distribution Coefficient, K_d) ซึ่งถ้าค่าเหล่านี้มีค่าสูง แสดงว่าสารมลพิษนั้นจะถูกดูดซับกับดินและสารอินทรีย์ในดินได้ดีทำให้การแพร่กระจายช้าลง (Retardation)

๔.๑.๓ กลไกในการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม (Transport Mechanisms)

กลไกในการเคลื่อนที่ของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมมีอยู่ ๓ วิธี ได้แก่

๑) Advection ได้แก่การเคลื่อนที่ของสารเคมีโดยการพาไปของตัวกลาง เช่น น้ำ หรือ อากาศ โดยการเคลื่อนที่วิธีนี้จะมีความเร็วขึ้นกับการเคลื่อนที่ของตัวกลาง หากเป็นน้ำผิวดินหรืออากาศมักจะมีการเคลื่อนที่ได้ค่อนข้างรวดเร็ว หากเป็นน้ำใต้ดินจะมีการเคลื่อนที่ค่อนข้างช้า

๒) Diffusion เป็นการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนที่ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion)

หรือการเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบของโมเลกุลสสาร ดังนั้นแม้ตัวกลางจะอยู่นิ่ง หรือมีการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ สารมลพิษก็ยังสามารถแพร่กระจายออกไปได้ตราบดีที่ยังมีความแตกต่างของความเข้มข้น แต่การเคลื่อนที่โดยกลไกนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน

๓) Hydrodynamic Dispersion เป็นการการแพร่กระจายที่เกิดจากผลของความปั่นป่วน (Turbulence) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านวัสดุที่มีรูพรุน (Porous Media) หรือความปั่นป่วนในการไหลของตัวกลาง (Mechanical Dispersion) บวกกับผลจาก Diffusion กลไกนี้มีผลทำให้สารมลพิษมีการกระจายตัวเร็วขึ้น และไม่สามารถใช้ความเร็วของตัวกลางเป็นตัวแทนของความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารมลพิษได้

ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงกระบวนการต่างๆที่อาจมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เช่น

- การดูดซับ (Adsorption) และการปลดปล่อย (Desorption) โดยดินและสารอินทรีย์ในดิน
- การเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การตกผลึก (Precipitation) การละลาย (Dissolution) ปฏิกิริยารีดอกซ์ และการสลายตัวทางเคมี

- การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (Biodegradation and Biotransformation)

๔.๑.๔ เส้นทางเคลื่อนที่ของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม (Migration Pathways)

เส้นทางเคลื่อนที่ของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมมีได้ดังนี้

๑) น้ำผิวดิน การปนเปื้อนในน้ำผิวดิน มักเกิดจากการทิ้งของเสียลงในแหล่งน้ำโดยตรง หรือการชะละลายของของเสียโดยน้ำฝน โดยอาจมีการเทกองของเสียบนพื้นที่ หรือมีการปนเปื้อนบนผิวดิน เมื่อฝนตกจึงเกิดการชะละลายสารมลพิษ และเกิดการพัดพาโดย Runoff ลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน การปนเปื้อนในน้ำผิวดินหากแหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งน้ำไหลจะมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว หากเป็นแหล่งน้ำนิ่ง เช่น บ่อน้ำ หรือสระน้ำ เป็นต้น มักจะมีการสะสมของสารมลพิษในระดับสูง และอาจเกิดการซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

๒) ดินและน้ำใต้ดิน การปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน มักเกิดจากการรั่วไหลจากถังเก็บสารเคมีใต้ดิน หรือท่อส่งสารเคมีใต้ดิน รวมทั้งรางหรือท่อระบายน้ำต่างๆ ซึ่งอาจมีรอยร้าว และการชะละลายจากของเสียที่เทกองบนพื้นดิน หรือฝังในดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตาม การแพร่กระจายในดินและน้ำใต้ดินมักเป็นไปอย่างช้า ๆ และเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดการชะลอการแพร่กระจาย อาทิ การดูดซับกับดินและสารอินทรีย์ในดิน การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ทำให้คุณสมบัติของสารมลพิษเปลี่ยนไป เช่น คุณสมบัติในการละลาย ประจุ และความเป็นพิษ เป็นต้น รวมทั้ง การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินและน้ำใต้ดิน ทำให้การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดินมีความยุ่งยากซับซ้อน ต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ และอาจต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น MODFLOW เป็นต้น ในการช่วยวิเคราะห์ เป็นต้น

๓) อากาศ การปนเปื้อนในอากาศ เกิดได้เมื่อมีการปลดปล่อยสารมลพิษออกสู่บรรยากาศโดยตรง หรืออาจเกิดจากการระเหยของสารมลพิษจากของเสียที่ปนเปื้อนบนดินและในน้ำ นอกจากนี้

สารมลพิษกลุ่ม VOCs ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินหากมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ อาจระเหยขึ้นมาในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และเข้าสู่อาคารผ่านท่อระบายน้ำใต้ดิน หรือห้องใต้ดินที่มีรอยร้าวต่าง ๆ ได้

๔.๑.๕ ผู้รับสัมผัสสารมลพิษ จะต้องมีการบ่งชี้ว่าผู้รับสัมผัสสารมลพิษเป็นใคร ซึ่งอาจเป็นมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อม อาทิ สัตว์ พืช น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ตะกอนดิน หรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ

๔.๒ แนวทางการรวบรวมข้อมูลและการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนของ DSI จะต้องทำเพื่อระบุขอบเขตและปริมาณการปนเปื้อนที่ชัดเจน และเพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่แพร่กระจายของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่น MODFLOW ในการคาดการณ์ และเพื่อคาดการณ์ปริมาณสารมลพิษที่ผู้รับสัมผัสสารมลพิษจะได้รับ เพื่อนำไปคำนวณค่าความเสี่ยงดังแสดงในหัวข้อที่ ๕.๒ และ ๕.๓ ดังนั้นจะต้องดำเนินการโดยควรเก็บตัวอย่างที่จะแสดงขอบเขตการปนเปื้อนทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ในทุกประเภทสิ่งแวดล้อม อาทิ ดิน น้ำใต้ดิน ก๊าซในดิน (Soil Vapor) และน้ำผิวดิน ดังนี้

- การเก็บตัวอย่างดินควรทำแบบตาราง (Systematic Grid) โดยอาจใช้ตารางในขนาด ๑๐ x ๑๐ – ๕๐ x ๕๐ เมตร ตามระดับความเสี่ยงในการปนเปื้อน โดยพื้นที่ที่น่าจะมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสูงควรใช้ขนาดของตารางค่อนข้างเล็ก และในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำก็ใช้ขนาดของ Grid ค่อนข้างใหญ่ เพื่อใช้ในการวาดเส้นแสดงระดับความเข้มข้นของสารมลพิษ (Concentration Contour) และใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของสารมลพิษ การเก็บตัวอย่างดินในแนวดิ่ง ควรทำทุกๆ ๑๕ เซนติเมตร ในระดับตื้น และทุก ๆ ๕๐ เซนติเมตรในระดับลึก จนกว่าจะไม่พบการปนเปื้อน

- การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ควรเก็บตัวอย่างจากบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดินซึ่งเจาะในความลึกระดับเดียวกับการปนเปื้อน ในระหว่างการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดินควรมีการทดสอบหาชนิดของชั้นดิน คุณสมบัติของชั้นดิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง ความพรุน ความหนาแน่น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) เป็นต้น และควรมีการตรวจสอบความลึก ทิศทางและความเร็วในการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อใช้ในการคาดการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษ ทั้งนี้ สามารถศึกษาการบ่งชี้ขอบเขตการปนเปื้อนมลพิษเพิ่มเติมจาก ๑) คู่มือแนวทางการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตราย (คพ., ๒๕๕๓) Schedule B2: Guideline on Site Characterization (NEPC, 2011) ๓) Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA (EPA, 1988)

๔.๓ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์

ความเสี่ยง หมายถึง ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใดๆที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า ๑ อย่าง โดยไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าจะเกิดผลลัพธ์นั้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์นั้นไม่พึงประสงค์ องค์ประกอบที่สำคัญของความเสี่ยงจึงประกอบด้วยโอกาสและระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่จะเกิดขึ้น ดังนั้น ความเสี่ยงทางสุขภาพ จึงหมายถึง โอกาสและความรุนแรงที่สิ่งคุกคามในสิ่งแวดล้อมจะก่อผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อยู่หรือสัมผัสสิ่งแวดล้อมนั้น

ความเป็นพิษของสารเคมีนั้นเป็นลักษณะสมบัติของสารเคมี โดยอาจก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันและหรือเรื้อรัง (ตัวอย่างความเป็นพิษของสารเคมี ดูภาคผนวก ก) แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อระดับอันตรายหรือระดับผลกระทบต่อสุขภาพของสารเคมี อาทิ ปริมาณการได้รับสัมผัส ระยะเวลาการรับสัมผัส หรือ สถานะสุขภาพของผู้รับสัมผัส ดังนั้นความเสี่ยงทางสุขภาพจากสารเคมี จึงมีความหมายแตกต่างจากความเป็นพิษของสารเคมี

$$\text{Health Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability}$$

$$\text{ความเสี่ยงทางสุขภาพ} = \text{อันตราย} \times \text{การรับสัมผัส} \times \text{ความไว /อ่อนแอ/เปราะบาง}$$

หลักการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพมนุษย์ (Human Health Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการประเมิน (หรือคาดประมาณ) โอกาสและลักษณะความรุนแรงของผลต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์ในทันทีหรือในอนาคตจากการได้รับ/สัมผัสสิ่งคุกคามที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (ในที่นี้คือ สารเคมี) ตามสถานการณ์ที่แจ้งหรือภายใต้เงื่อนไขการรับสัมผัสนั้น รวมทั้งการระบุถึงความไม่แน่นอนที่มีอยู่

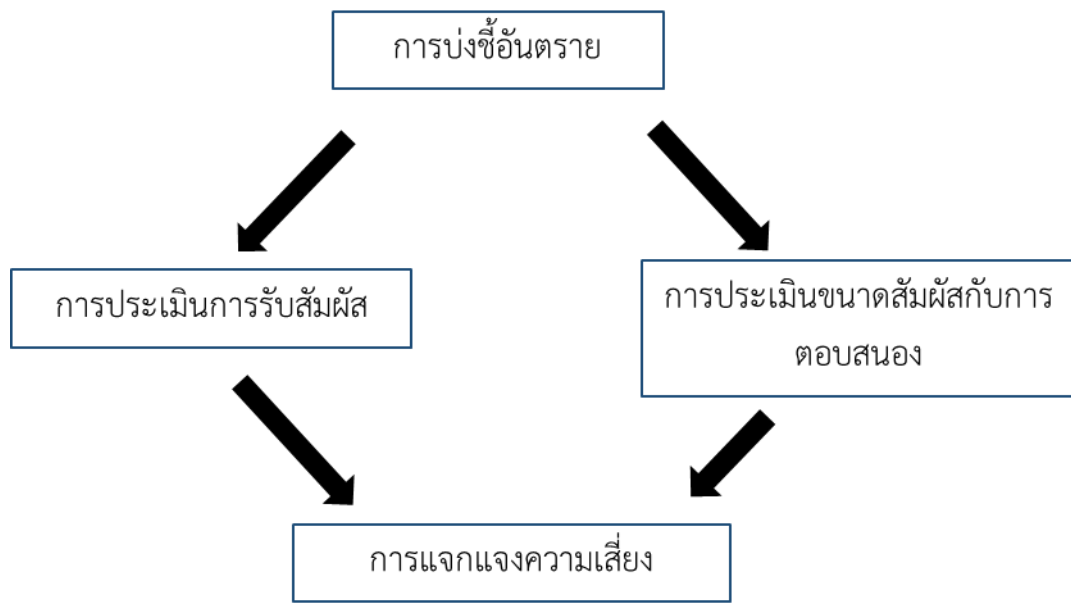
ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย ๔ ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีเนื้อหาสังเขปดังนี้

๑) การบ่งชี้อันตราย/สิ่งคุกคาม (Hazard Identification) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบว่า สิ่งคุกคามนั้นมีศักยภาพที่จะก่ออันตรายต่อมนุษย์ (เพิ่มจำนวนการเจ็บป่วย/โรค ทารกพิการ หรือการเกิดมะเร็ง) ในที่นี้ สิ่งคุกคามเป็นสารเคมีจึงต้องระบุถึงชนิดของสารเคมีอันตราย (Chemicals of Concerns: CoC) ที่ปนเปื้อน และต้องประเมินความเสี่ยง

๒) การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response assessment) เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสัมผัสกับผลต่อสุขภาพที่เกิดจากการรับสัมผัสสารเคมี โดยค่าความเป็นพิษหรืออันตรายของสารเคมี (Toxicity/ Hazard Assessment Values) จะกำหนดเป็น ๒ รูปแบบคือ ค่าการก่อโรคเรื้อรังอื่นที่ไม่ใช่มะเร็ง อาทิ ค่า RfD, RfC และค่าศักยภาพการก่อมะเร็ง เช่น ค่าความชันการก่อมะเร็ง (CSF) ค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งต่อหนึ่งหน่วยความเข้มข้น (Unit Risk) เป็นต้น

๓) การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment) เป็นขั้นตอนตรวจสอบปริมาณ ความถี่ ระยะเวลา และช่วงระยะเวลาการสัมผัสสิ่งคุกคามในสิ่งแวดล้อม เพื่อคาดประมาณขนาดการรับสัมผัส (Exposure Dose) รวมทั้งประเภทของกลุ่มประชากรที่สัมผัส

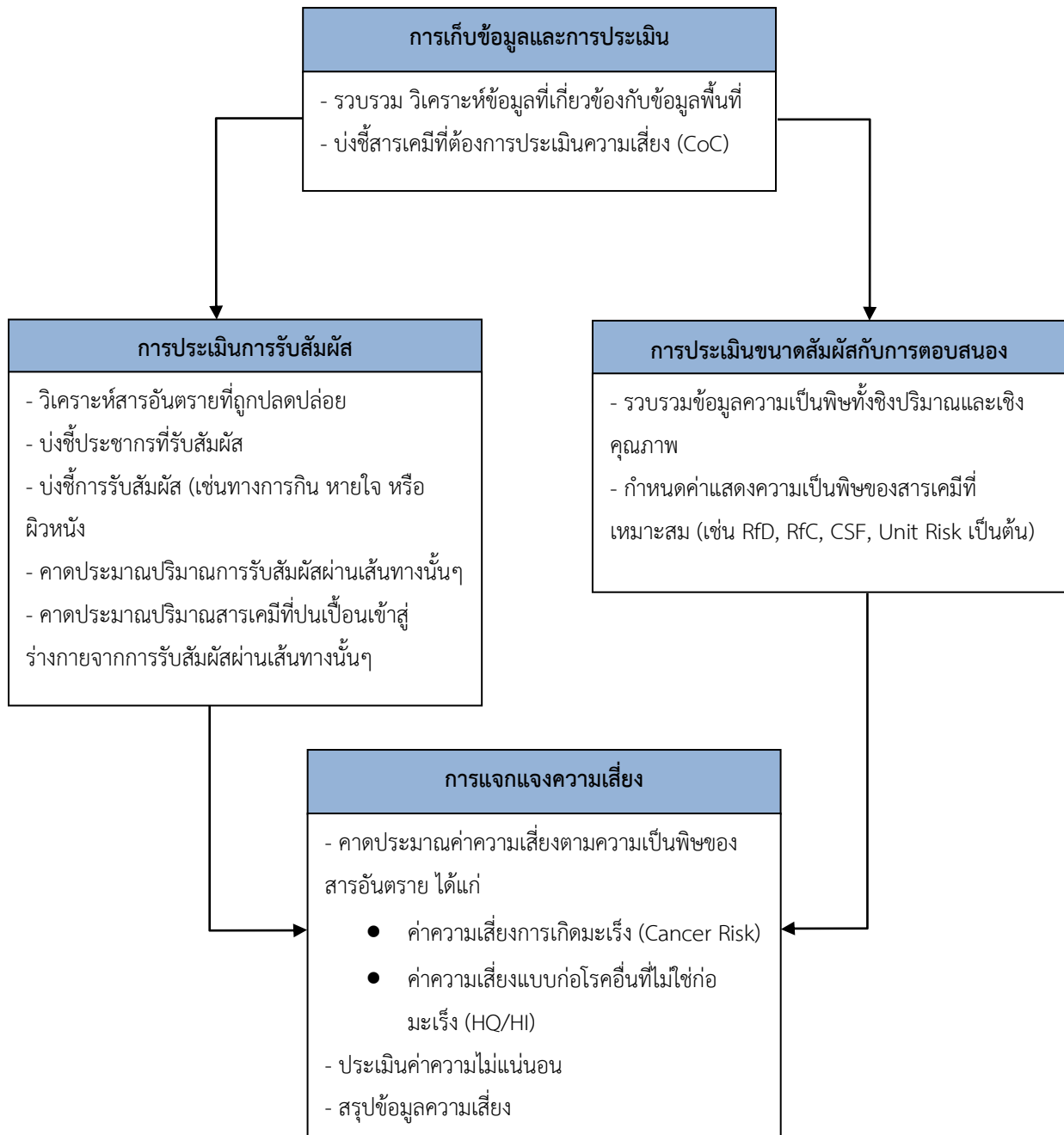
๔) การแจกแจงความเสี่ยง ประกอบด้วยการดำเนินงาน ๒ ส่วน คือ ส่วนที่ ๑) การคาดประมาณค่าความเสี่ยง (Risk estimation) สำหรับกลุ่มประชากรที่สัมผัสสารเคมี โดยการคำนวณค่า Hazard Quotient/Hazard Index เพื่อแสดงความเสี่ยงต่อการเกิดการเจ็บป่วย/โรค (อื่น) และหรือการคำนวณค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) (ถ้ามี) และ ส่วนที่ ๒ คือ การอธิบายความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น ความสัมพันธ์ของขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงดังภาพที่ ๔ - ๓



ภาพที่ ๔ - ๓ ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

๔.๓.๑ แนวทางการประเมินความเสี่ยงพื้นที่ปนเปื้อนต่อสุขภาพมนุษย์

การประเมินความเสี่ยงพื้นที่ปนเปื้อนต่อสุขภาพมนุษย์มุ่งหวังที่จะแสดงข้อมูลที่จำเป็นต่อการตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อลดการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในระดับปลอดภัย ซึ่งประกอบด้วย การอธิบายลักษณะการปนเปื้อน การรับสัมผัสและกลุ่มประชากรที่รับสัมผัส เพื่อประเมินว่าความเสี่ยงใดที่ควรถูกลดหรือกำจัด และการรับสัมผัสโดยเส้นทางใดที่ควรได้รับการป้องกัน ดังนั้นขั้นตอนการบ่งชี้อันตรายในการประเมินความเสี่ยงพื้นที่ปนเปื้อนต่อสุขภาพจึงผนวกเข้ากับขั้นตอนการแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน (DSI) ตั้งแต่การสืบประวัติการใช้พื้นที่ ประวัติการปนเปื้อน และการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อยืนยันผล ข้อมูลของสารเคมี จำนวน ชนิด รูปลักษณะ และปริมาณที่ปนเปื้อนในพื้นที่ ลักษณะและขอบเขตการปนเปื้อน จะถูกนำไปใช้ในการบ่งชี้สารเคมีอันตราย (CoC) ที่ต้องประเมินความเสี่ยง ทั้งนี้ US.EPA. เรียกการประเมินความเสี่ยงพื้นที่ปนเปื้อนต่อสุขภาพมนุษย์ว่า เป็นการจัดทำ **Baseline Risk Assessment** การดำเนินงานของแต่ละขั้นตอนโดยสังเขปดังแสดงในภาพที่ ๔ - ๔



ภาพที่ ๔ - ๔ ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ปนเปื้อน

๔.๓.๑ ขั้นตอนที่ ๑: การบ่งชี้อันตราย ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการตรวจสอบแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน (ขั้นตอน DSI) มาใช้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ (เชิงคุณภาพ) ที่สารเคมีหรือวัตถุนตรายชนิดใดชนิดหนึ่ง (potential chemicals of concern) หรือหลายชนิด จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะนำมาใช้ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะพื้นที่ปนเปื้อนหรือบริเวณที่จะทำการศึกษา ประเมินข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ ลักษณะทางกายภาพ ภูมิศาสตร์ ประวัติของพื้นที่ กลุ่มประชากรที่อยู่อาศัยใกล้เคียงและผลกระทบทางสุขภาพที่ได้รับ

ทั้งนี้อาจแบ่งส่วนของพื้นที่การประเมินความเสี่ยงก็ได้ เช่น พื้นดิน หรือน้ำใต้ดิน หากเป็นสารคนละชนิด หรือ กลุ่มประชากรที่ได้รับผลกระทบเป็นคนละกลุ่ม

- มีสารเคมีชนิดใดบ้างที่ปนเปื้อน ซึ่งอาจมีมากกว่า ๑ ชนิด และสารเคมีที่ต้องสนใจ (potential chemicals of concern) คือชนิดใดบ้าง
- สารเคมีถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดอย่างไร และมีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในสื่อสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆเท่าไร มีผลการตรวจวัดหรือไม่ ในกรณีปนเปื้อนดิน ความเข้มข้นของการปนเปื้อนในดินนั้นมักมีลักษณะไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous nature) ดังนั้นต้องพิจารณาตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างด้วย ความลึกของตัวอย่าง ตำแหน่งจุด hot spots เช่น หากต้องการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสทางผิวหนัง ตัวอย่างควรถูกเก็บระดับผิวดิน
- สารเคมีดังกล่าวสามารถเปลี่ยนรูปได้หรือไม่ ทั้งเชิงเคมี กายภาพ หรือทางชีวภาพ เช่น การเกิด photochemical reaction หรือ biodegradation เป็นต้น
- การเคลื่อนที่ของสารเคมีในสื่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างไร ลักษณะสมบัติของสารเคมีที่ใช้พิจารณาการเคลื่อนย้ายของสารเคมี รวมถึงสภาพแวดล้อมในพื้นที่ศึกษาส่งผลต่อการกระจายเคลื่อนที่ของสารเคมีที่ปนเปื้อนอย่างไร
- ประเมินการสัมผัสเบื้องต้น ผู้รับสัมผัสที่ต้องสนใจคือ ประชากรกลุ่มใด/พื้นที่ใด ที่ตั้งถิ่นที่พักอาศัยหรือประกอบกิจกรรม แต่ละพื้นที่อาจได้รับสารเคมีไม่เท่ากันไม่เหมือนกัน มีโอกาสได้รับสารอันตรายผ่านเส้นทางหรือวิถีทางใด สื่อสิ่งแวดล้อมใดที่ควรสนใจ

สารเคมีที่ปนเปื้อนอาจสะสมในสื่อสิ่งแวดล้อมหนึ่งชนิดหรือมากกว่า ทำให้เส้นทางการสัมผัสและช่องทางการเข้าสู่ร่างกายอาจมีมากกว่า ๑ เส้นทาง โดยปกติการพิจารณาเลือกตัวกลางสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสามารถพิจารณาจากระดับการปนเปื้อนเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดได้ เช่น กากอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนในพื้นที่ ก มีตัวกลางการปนเปื้อน ได้แก่ ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และอากาศ แต่พบว่าการปนเปื้อนสารเคมีเฉพาะในน้ำใต้ดินสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้น ตัวกลางสำคัญที่จะประเมินเพื่อเสนอแนะแนวทางในการฟื้นฟูจะเฉพาะเจาะจงที่ “น้ำใต้ดิน” เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การประเมินความเป็นไปได้ของเส้นทางและช่องทางการสัมผัสจะช่วยให้การกำหนดการลดหรือกำจัดสารเคมีปนเปื้อนรวมถึงการป้องกันการสัมผัสเป็นไปอย่างรอบคอบมากขึ้น โดยควรทบทวนข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่เพื่อ ๑) ประเมินลักษณะพื้นฐานของพื้นที่ ๒) ระบุเส้นทางหรือจุดสัมผัสที่มีศักยภาพ และ ๓) ประเมินข้อมูลที่เป็นจำเป็นอย่างยิ่ง รวมถึงพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ ตัวอย่างข้อมูล/พารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Modeling) ที่ซึ่งอาจต้องจัดเก็บข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนการแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน

ดังตารางที่ ๔ - ๑

ตารางที่ ๔ - ๑ ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์

ประเภทของแบบจำลองฯ	พารามิเตอร์ในแบบจำลองฯ
ลักษณะของแหล่งกำเนิด	ขนาด รูปร่าง สภาวะทางกายภาพและเคมี อัตราการปลดปล่อย ความรุนแรงของการปลดปล่อย ลักษณะภูมิประเทศ
ดิน	ขนาดอนุภาคของดิน น้ำหนักแห้ง พีเอช ศักยภาพรีดอกซ์, ชั้นแร่ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนและดินเหนียว ความหนาแน่นรวม และความพรุนของดิน
น้ำใต้ดิน	Head measurement ความนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) ความหนาของส่วนอึดน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ ลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) พีเอช ศักยภาพรีดอกซ์ การกระจายตัวระหว่างน้ำกับดิน (soil water partition)
อากาศ	ทิศทางลมประจำปี (Prevailing wind) ความเร็วลม เสถียรภาพของบรรยากาศ ภูมิประเทศ ความลึกของช่องเสีย ความเข้มข้นปนเปื้อนในดิน และก๊าซในดิน สัดส่วนสารอินทรีย์ในดิน ปริมาณดินทราย silt ในดิน เปอร์เซ็นต์พืชพรรณ ความหนาแน่นรวมของดิน ความพรุนของดิน
น้ำผิวดิน	ความกระด้าง พีเอช ศักยภาพรีดอกซ์ ออกซิเจนละลาย ความเค็ม อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อัตราการไหลและความลึกของแม่น้ำ/ลำคลอง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปากน้ำชะวากทะเลและคุ้งทะเล (estuary and embayment) เช่น วัฏจักรน้ำขึ้น-ลง ขอบเขตการรุกรานของน้ำเค็ม ความลึกและพื้นที่ พารามิเตอร์เกี่ยวกับทะเลสาบ เช่น พื้นที่ ปริมาตร ความลึก ชั้นความลึกที่อุณหภูมิของน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (depth to thermocline)
ตะกอน	การกระจายของขนาดอนุภาค ปริมาณสารอินทรีย์ พีเอช สภาพออกซิเจนหน้าดิน (benthic oxygen conditions) ปริมาณน้ำ
สิ่งมีชีวิต (Biota)	น้ำหนักแห้ง ทั้งส่วนร่างกาย อวัยวะจำเพาะ และหรือชิ้นส่วนที่กินได้ ความเข้มข้นสารเคมี เปอร์เซ็นต์ความชื้น ปริมาณไขมัน ขนาด/อายุ ระยะช่วงชีวิต (life history stage)

๔.๓.๒ ขั้นตอนที่ ๒: การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment) เป็นขั้นตอนตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัมผัสกับผลที่ไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพที่เกิดจากการได้รับสัมผัสสารอันตราย ในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดค่าที่แสดงความเป็นพิษของสารเคมี (Toxicity Values หรือ Hazard Assessment Values) ซึ่งโดยทั่วไปมักแบ่งเป็น ๒ รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ ๑ การก่อโรคร้ายที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogenic effects) กรณีที่พิจารณาศักยภาพการก่อโรคของสารเคมี (ไม่ใช่การก่อมะเร็ง) จะยึดหลัก “การมีค่าขีดกั้น (Threshold)” ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด (Dose) เมื่อได้รับสัมผัสแล้วร่างกายยังไม่มีอาการตอบสนอง หรือยังไม่แสดงอาการไม่พึงประสงค์ แต่หากร่างกายได้รับสารเคมีมากกว่าค่าขีดกั้นนี้ ร่างกายจะเริ่มตอบสนองโดยมีอาการไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น ค่าขีดกั้นนี้ถูกพัฒนาจากข้อมูลผลการทดสอบทางพิษวิทยาและระบาดวิทยา ในกรณีของหน่วยงาน US.EPA. เรียกค่าขีดกั้นนี้ว่า ค่าอ้างอิง RfD (Reference Dose) [ในส่วนของ EU เรียกว่า DNELs (derived no-effect level)]

รูปแบบที่ ๒ การก่อมะเร็ง (Carcinogenic effect) ในกรณีที่สารเคมีก่อผลทำให้เกิดมะเร็งได้ นั้น ศักยภาพการก่อมะเร็งของสารเคมีจัดว่า “ไม่มีค่าขีดกั้น (no threshold)” กล่าวคือ แม้ได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายเพียงเล็กน้อยก็มีโอกาส (Probability) เกิดมะเร็ง ดังนั้นจึงใช้ค่าศักยภาพการก่อมะเร็ง (Carcinogenic potency slope : CPS) เพื่อบ่งชี้ถึงศักยภาพในการก่อมะเร็งสำหรับสารเคมีแต่ละชนิด (แนวทางการกำหนดค่า Toxicity Values เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงทั้ง ๒ รูปแบบ อ่านได้ในภาคผนวก ข)

ค่าอ้างอิง RfD มีหน่วยวัดเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน ใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารเคมีผ่านช่องทางการกิน โดยมักมีสมมติฐานการได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงชีวิต ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบของค่าอ้างอิงให้สอดคล้องกับการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายง่ายต่อการใช้งาน เช่น การได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การคำนวณค่าความเสี่ยงก็จะใช้ค่าอ้างอิงในรูปของค่า RfC (Reference Concentration) เพื่อใช้ในการคาดประมาณความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีผ่านทางการหายใจของกลุ่มประชากร รวมถึงกลุ่มอ่อนไหว เช่น เด็ก ผู้ป่วยหอบหืด และผู้สูงอายุ เป็นต้น โดยมีหน่วยวัดความเข้มข้นในบรรยากาศเป็น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (อากาศ) ดังนั้น เมื่อทราบความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศก็สามารถนำไปคำนวณค่า HQ สำหรับช่องทางการรับสัมผัสทางการหายใจได้โดยตรง

ค่าศักยภาพการเกิดมะเร็งก็เช่นกันได้มีการพัฒนารูปแบบของค่าให้สอดคล้องกับการรับสัมผัสสารเคมีที่ปนเปื้อนในอากาศผ่านทางการหายใจ จะมีค่าที่เรียกว่า inhalation unit risk หรือ air unit risk ด้วยการนำค่าศักยภาพการก่อมะเร็ง (CPS) ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น [มิลลิกรัม/(กก.น้ำหนักตัว-วัน)]⁻¹ มาคำนวณกับอัตราการหายใจต่อวันและน้ำหนักตัว ก็จะได้หน่วยวัดเป็น ความเสี่ยงต่อความเข้มข้นสารอันตรายในบรรยากาศ [(ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ)⁻¹] ซึ่งเมื่อทราบความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศก็สามารถนำไปคำนวณความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งได้โดยตรง

$$\begin{aligned}\text{Inhalation Unit risk} &= \text{CPS (mg/kg.day)}^{-1} \times 20\text{m}^3/\text{day} \times 1/70 \text{ kg} \times 10^{-3} \\ &= \text{risk per } \mu\text{g/m}^3\end{aligned}$$

ค่า IUR อยู่บนสมมติฐาน คนน้ำหนัก ๗๐ กก. และมีอัตราการหายใจ ๒๐ ลบ.ม./วัน

ในทำนองเดียวกัน ได้มีการพัฒนารูปแบบค่าศักยภาพก่อมะเร็งสำหรับการได้รับสัมผัสผ่านทาง การดื่มน้ำ โดยเรียกว่า water unit risk ด้วยการนำ ค่า CPS มาคำนวณกับอัตราการดื่มน้ำต่อวันและน้ำหนักตัว ก็จะได้หน่วยวัดเป็น ความเสี่ยงต่อความเข้มข้นในน้ำดื่มที่ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ซึ่งเมื่อทราบความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำดื่มก็สามารถนำไปคำนวณความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งได้โดยตรง

$$\begin{aligned}\text{Water Unit risk} &= \text{CPS (mg/kg.day)}^{-1} \times 2\text{L/day} \times 1/70 \text{ kg} \times 10^{-3} \\ &= \text{risk per } \mu\text{g/L}\end{aligned}$$

ค่า WUR อยู่บนสมมติฐาน คนน้ำหนัก ๗๐ กก. และมีอัตราการดื่มน้ำ ๒ ลิตร./วัน

ในขณะที่ยังการรับสัมผัสทางผิวหนังนั้น จะไม่มีค่า RfD หรือ slope factors สำหรับช่องทางการรับสัมผัสทางผิวหนัง ดังนั้นในการประเมินความเสี่ยงทั้งแบบก่อมะเร็งและก่อโรคอื่นที่ไม่ใช่ก่อมะเร็งจากการรับสัมผัสทางผิวหนังนั้น จะอนุโลมให้ใช้ ค่า oral slope factor หรือ oral RfD ในการคำนวณค่าความเสี่ยงตามลำดับ

การเลือกใช้ค่า Toxic Values ต่างๆ จำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับช่องทางการรับสัมผัส และหน่วยวัดตลอดจนสมมติฐานที่ใช้ในการพัฒนาค่าเหล่านี้ เพื่อให้การคำนวณและอธิบายความเสี่ยงได้ถูกต้องและเหมาะสม โดยปกติแล้วสามารถสืบค้นค่า Toxic Values ได้จากฐานข้อมูลของหน่วยงาน เช่น USEPA integrated Risk Information System (<https://www.epa.gov/iris>) หรือ Agency for Toxic Substances and Disease Registry: ATSDR (<https://www.atsdr.cdc.gov/>) หรือ <https://rais.ornl.gov/index.html> เป็นต้น ตัวอย่างค่า Toxic Values ของสารเคมีดังตารางที่ ๔ - ๒

ตารางที่ ๔ - ๒ ตัวอย่างค่าอ้างอิง RfD และค่า CPS ของสารเคมี

(Nazaroff & Alvarez-Cohen, Table 8.E.5 page 572)	สารเคมี	Oral RfD มก./ (กก.วัน)	Oral SF [มก./ (กก.วัน)] ⁻¹	Inhalation SF [มก./ (กก.วัน)] ⁻¹
	Arsenic	3.0×10^{-4}	๑.๕	๕๐
	Benzene	4.0×10^{-3}	1.4×10^{-2}	2.4×10^{-2}
	Benzo(a)pyrene	ไม่มีข้อมูล	๗.๓	๖.๑
	Cadmium	5.0×10^{-4}	ไม่มีข้อมูล	๖.๑
	Chlordane	5.0×10^{-4}	๐.๓๕	๐.๓๕
	Chloroform	๐.๐๑๐	6.1×10^{-3}	8.1×10^{-2}
	Chromium VI	๐.๐๐๓	ไม่มีข้อมูล	๔๑
	1,1-Dichloroethylene	๐.๐๕	๐.๕๘	๑.๑๖
	Methyl mercury	1.0×10^{-4}	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
	Napthalene	๐.๐๒	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
	PCBs	ไม่มีข้อมูล	๗.๗	ไม่มีข้อมูล
	Dioxin	ไม่มีข้อมูล	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}
	TCE	5.0×10^{-4}	๐.๐๔๖	๐.๐๐๒
	Toluene	๐.๐๘	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
	Vinyl chloride (VC)	๐.๐๐๓	๑.๔	๐.๒๙๕

For additional values, consult: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/compare.cfm>

๔.๓.๓ ขั้นตอนที่ ๓ การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) เป็นขั้นตอนตรวจสอบปริมาณ ความถี่ ระยะเวลา และช่วงเวลาการสัมผัสสารเคมีอันตรายในสิ่งแวดล้อม เพื่อคาดประมาณขนาดการสัมผัส (Exposure Dose) ของกลุ่มประชากรแต่ละประเภท โดยการประมาณค่าหรือตรวจวัดปริมาณสารเคมีอันตรายที่กลุ่มประชากรได้รับจากสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปช่องทางการเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีมี ๓ ช่องทางหลัก คือ ๑) การกิน (Ingestion) ๒) การหายใจ (Inhalation) ๓) การดูดซึมผ่านผิวหนัง (Skin)

สารเคมีเมื่อถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแล้ว อาจจะแพร่กระจายหรือเคลื่อนย้ายไปยังสิ่งแวดล้อมประเภทอื่นตามลักษณะสมบัติของสารเคมีนั้น ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ควรทราบเพื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายของสารเคมีระหว่างสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ๔ - ๓

ตารางที่ ๔ - ๓ พารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมีและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน

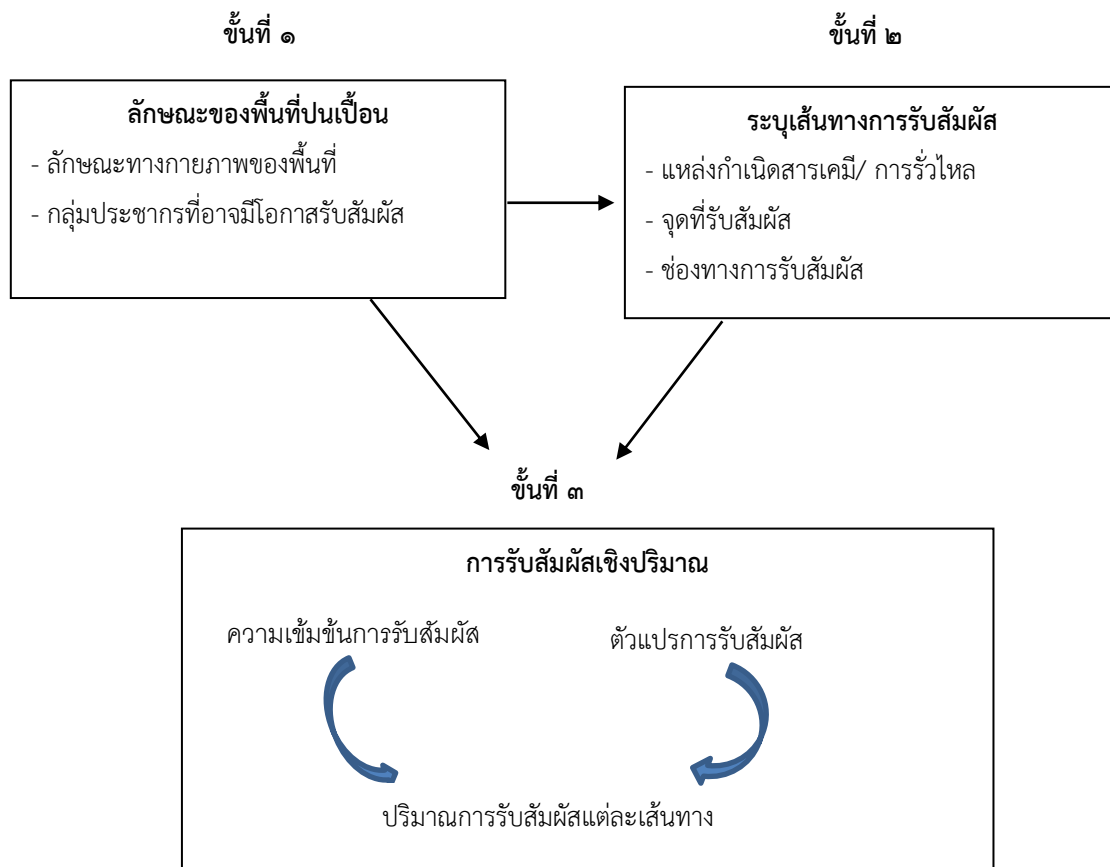
Koc (Soil organic carbon-water partition coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับน้ำที่จุดสมดุล ถ้าค่า Koc สูง บ่งชี้ว่าสารเคมีนั้นอาจถูกดูดซับไว้ในคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนได้มากกว่าในน้ำ
Kd (Soil-water partition coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนระหว่างเฟสดิน หรือตะกอนกับน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสำคัญต่อการดูดซับสารในดิน หากดินมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงจะมีค่า Kd สูงด้วย และถ้าค่า Kd สูง จะสามารถบ่งชี้ว่าสารเคมีนั้นอาจถูกดูดซับไว้ในดิน หรือตะกอนได้มากกว่าในน้ำ
Kow (octanol-water partition coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนระหว่างน้ำกับออกทานอลที่จุดสมดุล ถ้าค่า Kow สูง จะทำให้สารเคมีละลายน้ำได้น้อย โดยค่านี้ใช้เพื่อเป็นตัวบ่งชี้การละลายในไขมัน เนื่องจากออกทานอลมีโครงสร้างคล้ายไขมันของสิ่งมีชีวิต และใช้คาดการณ์โอกาสของการสะสมสารเคมีอยู่ในสัตว์น้ำ
Solubility	ค่าขีดจำกัดบนของสารเคมีในการละลายในน้ำ ซึ่งความเข้มข้นขึ้นกับอุณหภูมิ โดยหากสารมีค่าเกินค่าการละลายน้ำแสดงว่ามีแนวโน้มที่สารจะถูกดูดซับกับตะกอน การมีอยู่ของสารตัวทำละลาย หรือสารจำพวก non aqueous phase liquid
Henry's Law Constant	ค่าคงตัวของการระเหยกลายเป็นไอของสารเคมีที่ละลายในน้ำ ณ จุดสมดุล ถ้าค่าคงตัวของ Henry's Law Constant สูง สารเคมีจะระเหยเป็นไอได้มากกว่าตกค้างในน้ำ
Vapor Pressure	ของแข็งหรือของเหลวที่ระเหยกลายเป็นไอในภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิกำหนด ใช้เพื่อคำนวณอัตราการระเหยของสารบริสุทธิ์จากพื้นผิว หรือตามกฎของเฮนรีส์ กรณีสารเคมีที่มีค่าการละลายน้ำต่ำโดยค่าความดันไอสูง สารเคมีจะยังอยู่ในสถานะก๊าซมากขึ้น
Diffusivity	การแพร่ของโมเลกุลในตัวกลางของของเหลวหรือก๊าซซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น ใช้สำหรับคำนวณองค์ประกอบการกระจายตัวของการเคลื่อนย้ายสารเคมี ถ้าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าสูง ยังมีโอกาสที่สารเคมีจะเคลื่อนที่ตามความลาดเชิงความเข้มข้น กล่าวคือ เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงมาสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ
Bioconcentration Factor (BCF)	ค่าที่ใช้แสดงปัจจัยความเข้มข้นชีวภาพ จากการสะสมสารเคมีในสิ่งมีชีวิต เช่น เนื้อเยื่อปลา หรือ เนื้อเยื่อพืช รวมถึง สืบสิ่งแวดล้อมอื่น เช่น น้ำ ถ้าค่า BCF สูง จะยิ่งทำให้เกิดการสะสมสารเคมีในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น
Media-specific Half-life	ค่าที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตกค้างยาวนานของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ค่าจะขึ้นกับความแตกต่างลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ ถ้าระยะเวลาที่สารเคมีสลายตัวสูงยังมีโอกาสที่สารเคมีจะตกค้างยาวนาน

ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่ประชากรจะได้รับสารเคมีมากกว่า ๑ เส้นทางหรือช่องทาง การพัฒนากรอบแนวคิดที่แสดงลักษณะพื้นที่ปนเปื้อนมลพิษ (site conceptual model) จะช่วยให้มองเห็นภาพว่าสารเคมีมีการเคลื่อนที่อย่างไรในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ปนเปื้อน และประชาชนเข้าไปรับสัมผัสสารเคมีปนเปื้อนเหล่านี้ได้อย่างไร ดังภาพที่ ๔ - ๕

การประเมินการรับสัมผัสจึงต้องตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นทางและช่องทางต่าง ๆ ที่สารเคมีจะเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงมีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน (DSI) ผู้ประเมินจะต้องอธิบายถึงการรับสัมผัส (exposure setting) เช่น ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ สภาพอากาศ พืชพรรณ ชลศาสตร์น้ำใต้ดิน และตำแหน่งที่ตั้งของน้ำผิวดิน เป็นต้น ลักษณะของประชากรที่อยู่ใกล้พื้นที่ปนเปื้อน รวมถึงลักษณะที่ส่งผลให้เกิดการรับสัมผัส อาทิ กลุ่มอ่อนไหว สถานที่อยู่อาศัย รูปแบบกิจกรรม ทั้งนี้นอกจากจะพิจารณาถึงกลุ่มผู้รับสัมผัสในปัจจุบันแล้ว อาจต้องพิจารณาถึงกลุ่มประชากรที่อาจมีโอกาสรับสัมผัสในอนาคตภายหลังการฟื้นฟูและมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการดำเนินงานข้างต้น ข้อมูลการระบุถึงชนิดของสารเคมีที่ถูกปลดปล่อย จุดที่ก่อให้เกิดการรับสัมผัส และเส้นทางการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายที่เป็นไปได้ทุกเส้นทาง (Route) ที่สารเคมีอันตรายเข้าสู่ร่างกาย จะสามารถนำไปสู่การประเมินการรับสัมผัสเชิงปริมาณได้ ขั้นตอนการดำเนินงานประเมินการรับสัมผัสพื้นที่ปนเปื้อนดังแสดงในภาพที่ ๔ - ๖

ที่มา: ATSDR: Public Health Assessment Guidance Manual https://www.atsdr.cdc.gov/pha-guidance/conducting_scientific_evaluations/exposure_pathways/tips_for_conducting_the_exposure_pathway_evaluation.html



ภาพที่ ๔ - ๖ ขั้นตอนการดำเนินการประเมินการรับสัมผัสพื้นที่ปนเปื้อน

เมื่อได้พิจารณาตรวจสอบข้อมูลต่างๆแล้ว อาจทำตารางเมทริกซ์เพื่อแสดงความเป็นไปได้ของการรับสัมผัสของกลุ่มประชากรต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการคำนวณปริมาณการรับสัมผัสของแต่ละกลุ่มได้อย่างถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น ตัวอย่างเมทริกซ์การรับสัมผัสของกลุ่มประชากรในพื้นที่ปนเปื้อน ดังตารางที่ ๔ - ๔

ตารางที่ ๔ - ๔ ตารางเมทริกซ์ของเส้นทางการรับสัมผัสที่มีศักยภาพ

สื่อสิ่งแวดล้อมในการรับสัมผัส/ ช่องทางการรับสัมผัส	ประชากรในพื้นที่ อยู่อาศัย	ประชากรในพื้นที่พาณิชยกรรม/ อุตสาหกรรม	ประชากรในพื้นที่ สันทนาการ
น้ำใต้ดิน			
การกิน	L	A	---
การรับสัมผัสผ่านผิวหนัง	L	A	---
น้ำผิวดิน			
การกิน	L	A	L,C
การรับสัมผัสผ่านผิวหนัง	L	A	L,C
ตะกอน			
การกินโดยไม่ตั้งใจ	C	A	C
การรับสัมผัสผ่านผิวหนัง	C	A	L,C
อากาศ			
การรับสัมผัสไอระเหยของสารเคมีผ่านการหายใจ			
ภายในอาคาร	L	A	---
ภายนอกอาคาร	L	A	L
การรับสัมผัสฝุ่นละอองผ่านการหายใจ			
ภายในอาคาร	L	A	---
ภายนอกอาคาร	L	A	L
ดิน/ฝุ่น			
การกินโดยไม่ตั้งใจ	L,C	A	L,C
การรับสัมผัสผ่านผิวหนัง	L,C	A	L,C
อาหาร			
การกิน			
ปลาและหอย	L	---	L
เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์ป่า	L	---	L
นม	L,C	---	L
ไข่	L	---	L
ผัก	L	---	L

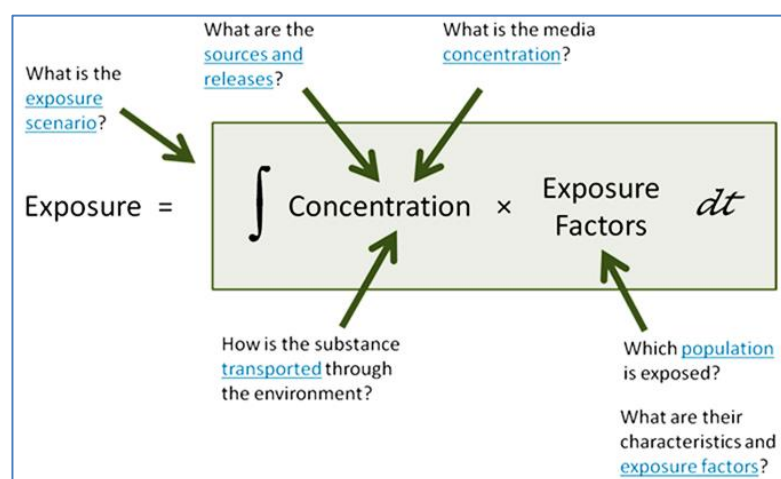
L (Lifetime exposure) หมายถึง การรับสัมผัสตลอดช่วงชีวิต

C (Children) หมายถึง การรับสัมผัสในวัยเด็ก อาจเกิดได้สูงกว่าผู้ใหญ่

A (Adult) หมายถึง การรับสัมผัสวัยผู้ใหญ่ (โดยการรับสัมผัสสูงสุดมักพบจากการประกอบอาชีพ)

--- หมายถึง กลุ่มประชากรไม่มีการรับสัมผัสผ่านช่องทางนี้

การคำนวณค่าปริมาณการรับสัมผัส การคำนวณเพื่อประมาณการปริมาณการรับสัมผัสจะใช้ข้อมูลความเข้มข้นของสารเคมีในอาหาร น้ำดื่ม อากาศ และดิน ที่มีอยู่ ซึ่งอาจจะต้องมีการเก็บตัวอย่างซ้ำ ๆ สำหรับการตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องเพื่อทราบความเข้มข้นที่อาจเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยปกติเมื่อทำการเก็บและวิเคราะห์ความเข้มข้นตัวอย่างสื่อสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดแล้ว จะทำการหาค่าขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าประมาณปริมาณการรับสัมผัสจากการสัมผัสสื่อสิ่งแวดล้อมชนิดนั้น ทั้งนี้ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มประชากร แล้วนำผลการรับสัมผัสแต่ละช่องทางมารวมกัน ดังภาพที่ ๔ - ๗



ภาพที่ ๔ - ๗ แนวคิดการคาดประมาณปริมาณการรับสัมผัสสารปนเปื้อน

CDI หรือ I = (Conc.x CR x EF x ED)/(BW.x AT) [mg/kg bw.-day]

CDI = chronic daily intake หรือ lifetime average daily dose; LADD ปริมาณสารอันตรายที่ได้รับ (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย-วัน)

Conc. = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอันตรายในสื่อสิ่งแวดล้อมที่สัมผัส

CR = อัตราการสัมผัสสื่อสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอันตรายต่อหน่วยเวลา

EF = Exposure frequency ความถี่ในการสัมผัส (วัน/ปี)

ED = Exposure Duration ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)

BW = Body Weight น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.)

AT = Averaging time ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยการรับสัมผัส (วัน)

จากสูตรคำนวณการรับสัมผัสจะเห็นว่านอกจากความเข้มข้นของสื่อสิ่งแวดล้อมที่สัมผัสแล้ว ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสของประชาชนแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าคาดประมาณการรับสัมผัส เช่น น้ำหนักของประชากรแต่ละวัย อัตราการบริโภคอาหาร อัตราการดื่มน้ำ อัตราการหายใจ อัตราการใช้น้ำ เป็นต้น ทั้งนี้จำเป็นต้องกำหนด/เลือกใช้ค่าปัจจัยให้เหมาะสมกับวิถีการดำรงชีวิต รูปแบบกิจกรรม

และสภาพสังคมของกลุ่มประชากร อาทิ แหล่งข้อมูลค่าน้ำหนัก ส่วนสูงเฉลี่ยของคนไทย อาจใช้จาก size Thailand หรือ ข้อมูลตารางจาก สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ข้อมูลการบริโภคอาหาร ของประเทศไทย ปี ๒๕๕๙ ที่จัดทำโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ หรืออาจสืบค้น จาก Exposure Factors Handbook 2011 Edition

๔.๓.๓.๑ ตัวอย่างการคำนวณการรับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย: กรณีการรับสัมผัสไอระเหย (Vapor phase) ที่แพร่กระจายผ่านอากาศที่มีสารเคมีปนเปื้อนผ่านการหายใจ

$$\text{ปริมาณการรับสัมผัส (มก./กก./วัน)} = (CA \times IR \times ET \times EF \times ED) / (BW \times AT)$$

CA = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศ (Chemical Concentration) (มก./ลบ.ม.) ที่ได้จากการตรวจวัดพื้นที่ หรือจาก แบบจำลองคณิตศาสตร์

IR = อัตราการหายใจ (Inhalation Rate) (ลบ.ม./ชม.)

= ๓๐ ลบ.ม./วัน (สำหรับผู้ใหญ่ - ค่าขอบเขตบน; ที่มา EPA 1989d)

= ๒๐ ลบ.ม./วัน (สำหรับผู้ใหญ่ - ค่าเฉลี่ย; ที่มา EPA 1989d)

[อัตราการหายใจ รายชั่วโมง (EPA, 1989d) จำแนกรายกลุ่มอายุ (EPA, 1985a) จำแนกตาม อายุ เพศ และกิจกรรม (EPA, 1985a) เช่น ค่าเฉลี่ย ๐.๖ ลบ.ม./ชม. สำหรับการอาบน้ำ ทุกกลุ่มอายุ (EPA, 1989d)]

ET = ระยะเวลาในการรับสัมผัสในกิจกรรมต่าง ๆ (Exposure Time) (ชั่วโมง/วัน) [๑๒ นาที สำหรับการอาบน้ำ (เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๙๐; EPA, 1989d) และหรือ ๗ นาที สำหรับการอาบน้ำ (เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๕๐; EPA, 1989d)]

EF = ความถี่ในการรับสัมผัสสาร (Exposure Frequency) (วัน/ปี)

ED = ระยะเวลาสัมผัส (Exposure Duration) (ปี)

= ๗๐ ปี (ตลอดอายุขัย) สำหรับสารก่อมะเร็ง โดยในปีพ.ศ. ๒๕๖๕ ได้ใช้อายุไขของคนไทย = ๗๔.๗ ปี สำหรับการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

๒๖ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ระยะเวลาขอบเขตบน เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๙๐ สำหรับที่อยู่อาศัย หนึ่งแห่ง (EPA, 1989d) หรือ

๙ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ค่ามัธยฐานของระยะเวลา คือ เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๕๐ สำหรับที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d)

BW = น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (Body Weight) (กก.)

= ๗๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ - ชาวตะวันตก (EPA 1989d) หรือใช้ค่าจำเพาะในแต่ละช่วงอายุ (ที่มา EPA 1985a, EPA, 1989d)

= ๖๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๕๙)

= ๑๔ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับเด็ก <๑ - ๖ ขวบ- คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๕๙)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (Averaging Time) (วัน)

= ED ปี $\times$ ๓๖๕ วัน/ปี โดย ED = ๗๐ ปี หรืออายุขัยของเฉพาะคนในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับกรณี
ที่ประเมินสารก่อมะเร็ง และ ED = ๒๖ ปี สำหรับกรณีที่ประเมินสารไม่ก่อมะเร็ง

๔.๓.๓.๒ ตัวอย่างการคำนวณการรับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย: กรณีรับสัมผัสจากการกินปลาและ หอยที่ปนเปื้อนสารเคมี

ปริมาณการรับสัมผัส (มก./กก.วัน) = $(CF \times IR \times FI \times EF \times ED) / (BW \times AT)$

CF = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในปลา (Chemical Concentration in Fish) (มก./กก.)

ค่าที่ได้จากการตรวจวัดพื้นที่ หรือค่าจากแบบจำลองคณิตศาสตร์

IR = อัตราการบริโภคปลา (Ingestion Rate) (กก./มื้อ)

= ๐.๒๘๔ กก./มื้อ (เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๙๕ สำหรับปลาที่มีครีบ; Poa et al., 1982) และ/หรือ

๐.๑๑๓ กก./มื้อ จากเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ สำหรับปลาที่มีครีบ (Poa et al., 1982) หรือ

๑๓๒ กรัม/วัน จากเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๙๕ ของปริมาณรายวันโดยเฉลี่ยมากกว่าสามวัน สำหรับ
การกินปลาที่มีครีบ (Poa et al., 1982) หรือ

๓๘ กรัม/วัน จากเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ ของปริมาณรายวันโดยเฉลี่ยมากกว่าสามวัน สำหรับ
การกินปลาที่มีครีบ (Poa et al., 1982) หรือ

๖.๕ กรัม/วัน จากปริมาณรายวันโดยเฉลี่ยมากกว่าหนึ่งปี (Poa et al., 1982) และอาจมีค่า
เฉพาะสำหรับอายุ เพศ เชื้อชาติ ศาสนา และพันธุ์ปลา (EPA, 1989d, 1989h)

FI = สัดส่วนสัดส่วนน้ำที่ปนเปื้อนที่บริโภค (Fraction of Ingestion from Contaminated Source)

= ค่าเฉพาะช่องทางการรับสัมผัส (ควรพิจารณาพื้นที่ปนเปื้อนร่วมด้วย) ไม่มีหน่วย

EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (Exposure Frequency) (บริโภคกี่มื้อ/ปี)

= ๔๘ วัน/ปี ค่าเฉลี่ยต่อคนสำหรับการบริโภคปลาและหอย (EPA, 1988h)

ED = ระยะเวลาสัมผัส (Exposure Duration) (บริโภคกี่ปี)

= ๗๐ ปี (ตลอดอายุขัย) สำหรับสารก่อมะเร็ง โดยในปีพ.ศ. ๒๕๖๕ ได้ใช้อายุไขของคนไทย =

๗๔.๗ ปี สำหรับการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

= ๒๖ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ระยะเวลาขอบเขตบน เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๙๐ สำหรับที่อยู่
อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d) หรือ

= ๙ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ค่ามัธยฐานของระยะเวลา คือ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ สำหรับ
ที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d)

BW = น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (Body Weight) (กก.)

= ๗๐ กก. (ค่าเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่; EPA, 1989d) หรือ ค่าจำเพาะในแต่ละช่วงอายุ (EPA,
1985a; EPA, 1989d)

= ๖๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

= ๑๔ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับเด็ก <๑ - ๖ ขวบ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (Averaging Time) (วัน)

= ED ปี $\times$ ๓๖๕ วัน/ปี โดย ED = ๗๐ ปี หรืออายุขัยของเฉพาะคนในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับ
กรณีที่ประเมินสารก่อมะเร็ง และ ED = ๒๖ ปี สำหรับกรณีที่ประเมินสารไม่ก่อมะเร็ง

๔.๓.๓.๓ ตัวอย่างการคำนวณการรับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย: กรณีการกินดินที่มีสารเคมีปนเปื้อน

ปริมาณการรับสัมผัส (มก./กก.วัน) = $(CS \times IR \times CF \times FI \times EF \times ED) / (BW \times AT)$

CS = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในดิน (Chemical Concentration in Soil) (มก./กก.)
เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีที่ตรวจวัดได้ในดิน

IR = อัตราการกิน (Ingestion Rate) (มก.ดิน/วัน)

= ๒๐๐ มก./วัน สำหรับเด็กที่มีอายุ ๑ - ๖ ปี (EPA 1989g)

๑๐๐ มก./วัน (สำหรับกลุ่มวัยที่มีอายุมากกว่า ๖ ปีขึ้นไป; EPA 1989g)

CF = ค่าสำหรับแปลงหน่วย (Conversion Factor) (10^{-6} กก./มก.)

FI = สัดส่วนของการบริโภคดินที่ปนเปื้อน (Fraction of Ingestion from Contaminated Source)

EF = ความถี่ในการสัมผัส (Exposure Frequency) (วัน/ปี)

= ๓๖๕ วัน/ปี

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (Exposure Duration) (ปี)

= ๗๐ ปี (ตลอดอายุขัย) สำหรับสารก่อมะเร็ง โดยในปีพ.ศ. ๒๕๖๕ ได้ใช้อายุขัยของคนไทย =

๗๔.๗ ปี สำหรับการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

= ๒๖ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ระยะเวลาขอบเขตบน เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๙๐ สำหรับที่อยู่
อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d) หรือ

= ๙ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ค่ามัธยฐานของระยะเวลา คือ เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ ๕๐ สำหรับ
ที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d)

BW = น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (Body Weight) (กก.)

= ๗๐ กก. (ค่าเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่; EPA, 1989d) หรือ ค่าจำเพาะในแต่ละช่วงอายุ (EPA,
1985a; EPA, 1989d)

= ๖๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

= ๑๔ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับเด็ก <๑ - ๖ ขวบ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕;
กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (Averaging Time) (วัน)

= ED ปี $\times$ ๓๖๕ วัน/ปี โดย ED = ๗๐ ปี หรืออายุขัยของเฉพาะคนในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับกรณี
ที่ประเมินสารก่อมะเร็ง และ ED = ๒๖ ปี สำหรับกรณีที่ประเมินสารไม่ก่อมะเร็ง (๗๐ ปี $\times$
๓๖๕ วัน/ปี) (๗๐ ปี $\times$ ๓๖๕ วัน/ปี)

๔.๓.๓.๔ ตัวอย่างการคำนวณการรับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย: กรณีการรับสัมผัสสารเคมีที่ปนเปื้อนดินผ่านผิวหนัง

$$\text{ปริมาณการรับสัมผัส (มก./กก.วัน)} = (CS \times CF \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED) / (BW \times AT)$$

CS = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในดิน (Chemical Concentration in Soil) (มก./กก.)

เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีที่ตรวจวัดได้ในดิน

CF = ค่าสำหรับการแปลงหน่วย (Conversion Factor) (10^{-6} กก./มก.)

SA = บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับดิน (Skin Surface Area Available for Contact) (ตร.ซม.)

= ๕๔๐๕ ตร.ซม. บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับดินของผู้ใหญ่ (คนไทย) จากพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด ๑.๕๗ ตรม. โดยรับสัมผัสกับดินบริเวณศีรษะ มือ ปลายแขน ขาส่วนล่าง และเท้า (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; EPA, 2011)

= ๒๒๔๐ ตร.ซม. บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับดินของเด็ก <๑ – ๖ ขวบ (คนไทย) จากพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด ๐.๕๗ ตรม. โดยรับสัมผัสกับดินบริเวณศีรษะ มือ ปลายแขน ขาส่วนล่าง และเท้า (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; EPA, 2011)

AF = ปัจจัยการยึดเกาะของดินกับผิวหนัง (Soil to Skin Adherence Factor) (มก./ตร.ซม.)

= ๑.๔๕ มก./ตร.ซม. สำหรับดินในพื้นที่เชิงพาณิชย์กรรม หรือ

= ๒.๗๗ มก./ตร.ซม. สำหรับดินขาว (kaolin clay) กรณีใช้มือสัมผัส (EPA 1989d, EPA 1988b)

ABS = ค่าคงที่การดูดซึม (Absorption Factor) (ไม่มีหน่วย) เป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละสารเคมี

EF = ความถี่ในการสัมผัส (Exposure Frequency) (วัน/ปี) โดยควรพิจารณาสภาพอากาศของพื้นที่ เช่น ปริมาณน้ำฝน หิมะ หรือวันที่ไม่มีน้ำค้างแข็ง และ อายุของกลุ่มประชากรที่รับสัมผัส

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (Exposure Duration) (ปี)

= ๗๐ ปี (ตลอดอายุขัย) สำหรับสารก่อมะเร็ง โดยในปีพ.ศ. ๒๕๖๕ ได้ใช้อายุไขของคนไทย = ๗๔.๗ ปี สำหรับการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

= ๒๖ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ระยะเวลาขอบเขตบน เปอร์เซ็นไทล์ที่ ๙๐ สำหรับที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d) หรือ

= ๙ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ค่ามัธยฐานของระยะเวลา คือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ ๕๐ สำหรับที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d)

BW = Body Weight น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.)

AT = Averaging Time ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (วัน)

BW = น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (Body Weight) (กก.)

= ๗๐ กก. (ค่าเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่; EPA, 1989d) หรือ ค่าจำเพาะในแต่ละช่วงอายุ (EPA, 1985a; EPA, 1989d)

= ๖๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ – คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

= ๑๔ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับเด็ก <๑ - ๖ ขวบ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (Averaging Time) (วัน)

= ED ปี × ๓๖๕ วัน/ปี โดย ED = ๗๐ ปี หรืออายุขัยของเฉพาะคนในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับกรณี
ที่ประเมินสารก่อมะเร็ง และ ED = ๒๖ ปี สำหรับกรณีที่ประเมินสารไม่ก่อมะเร็ง (๗๐ ปี ×
๓๖๕ วัน/ปี) (๗๐ ปี × ๓๖๕ วัน/ปี)

๔.๓.๓.๕ ตัวอย่างการคำนวณค่าการรับสัมผัสของผู้อยู่อาศัย: กรณีการรับสัมผัสน้ำที่มีสารเคมี ปนเปื้อนผ่านผิวหนัง

ปริมาณการรับสัมผัส (มก./กก.วัน) = (CW × SA × PC × ET × EV × EF × ED × CF)/(BW × AT)

CS = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในดิน (Chemical Concentration in Soil) (มก./กก.)

เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีที่ตรวจวัดได้ในดิน

SA = บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับน้ำ (Skin Surface Area Available for Contact) (ตร.ซม.)

= ๑๕,๗๐๐ ตร.ซม. บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับน้ำของผู้ใหญ่ (คนไทย) โดยรับสัมผัสกับน้ำจาก
การอาบน้ำด้วยพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; EPA, 2011)

= ๕,๗๐๐ ตร.ซม. บริเวณพื้นผิวร่างกายที่สัมผัสกับน้ำของเด็ก <๑ - ๖ ขวบ (คนไทย) จากพื้นที่ผิว
ร่างกายทั้งหมด ๐.๕๗ ตรม. โดยรับสัมผัสกับน้ำจากการอาบน้ำด้วยพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด
(ศศิวิมล, ๒๕๖๕; EPA, 2011)

PC = ค่าคงที่การซึมผ่านผิวหนังของสารเคมี (Chemical-specific Dermal Permeability
Constant) (ซม./ชั่วโมง) เป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละสารเคมี

ET = ระยะเวลาในการรับสัมผัสสาร (Exposure Time) (ชั่วโมง/ครั้ง)

= ๐.๕๔ ชม./ครั้ง ระยะเวลาเฉลี่ยสำหรับการอาบน้ำของเด็ก <๑ - ๖ ขวบ (EPA, 2011)

= ๐.๗๑ ชม./ครั้ง ระยะเวลาเฉลี่ยสำหรับการอาบน้ำของผู้ใหญ่ (EPA, 2011)

EV = จำนวนครั้งของการรับสัมผัสสาร (ครั้ง/วัน)

= ๒ ครั้ง/วัน เป็นจำนวนครั้งของการอาบน้ำของคนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; EPA, 2011)

EF = ความถี่ในการสัมผัส (Exposure Frequency) (วัน/ปี) โดยควรพิจารณาสภาพอากาศของพื้นที่
เช่น ปริมาณน้ำฝน หิมะ หรือวันที่ไม่มีน้ำค้างแข็ง และ อายุของกลุ่มประชากรที่รับสัมผัส

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (Exposure Duration) (ปี)

= ๗๐ ปี (ตลอดอายุขัย) สำหรับสารก่อมะเร็ง โดยในปีพ.ศ. ๒๕๖๕ ได้ใช้อายุขัยของคนไทย =
๗๔.๗ ปี สำหรับการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

= ๒๖ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ระยะเวลาขอบเขตบน เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๙๐ สำหรับที่อยู่
อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d) หรือ

= ๙ ปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง เมื่อใช้ค่ามัธยฐานของระยะเวลา คือ เพอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ สำหรับที่อยู่อาศัยหนึ่งแห่ง (EPA, 1989d)

CF = ค่าสำหรับการแปลงหน่วยปริมาตรของน้ำ (Volumetric Conversion Factor for water)
(๑ ลิ./๑,๐๐๐ ลบ.ซม.)

BW = น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (Body Weight) (กก.)

= ๗๐ กก. (ค่าเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่; EPA, 1989d) หรือ ค่าจำเพาะในแต่ละช่วงอายุ (EPA, 1985a;

EPA, 1989d)

= ๖๐ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับผู้ใหญ่ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕; กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

= ๑๔ กก. - ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวสำหรับเด็ก <๑ - ๖ ขวบ - คนไทย (ศศิวิมล, ๒๕๖๕;

กรมอนามัย, ๒๕๔๙)

AT = ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัมผัสเฉลี่ย (Averaging Time) (วัน)

= ED ปี × ๓๖๕ วัน/ปี โดย ED = ๗๐ ปี หรืออายุขัยของเฉพาะคนในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับกรณี
ที่ประเมินสารก่อมะเร็ง และ ED = ๒๖ ปี สำหรับกรณีที่ประเมินสารไม่ก่อมะเร็ง (๗๐ ปี × ๓๖๕ วัน/ปี) (๗๐
ปี × ๓๖๕ วัน/ปี)

๔.๓.๔ ขั้นตอนที่ ๔ การแจกแจงความเสี่ยง ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยง โดยข้อมูลจาก ๓ ขั้นตอนแรกจะถูกนำมาประมวลผล ความเป็นพิษ การรับสัมผัส แล้ววิเคราะห์สรุปรวมและผนวกเข้ากันทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อแสดงถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น การหาค่าความเสี่ยงเชิงปริมาณเป็นการนำผลที่ได้จากการประเมินค่าความเป็นพิษ (ขั้นตอนที่ ๒) และค่าปริมาณการรับสัมผัส (ขั้นตอนที่ ๓) มาทำการคำนวณ สูตรคำนวณมีดังนี้

รูปแบบที่ ๑) ค่าความเสี่ยงก่อให้เกิดการเจ็บป่วย/โรคอื่นที่ไม่ใช่มะเร็ง (non-Cancer Risk)
หรือเรียกว่า ค่าสัดส่วนอันตราย (Hazard quotient: HQ) มีสมการคำนวณดังต่อไปนี้

$$HQ = \frac{\text{ค่าคาดการณ์ปริมาณการรับสัมผัส (Exposure)}}{\text{ค่า Reference dose (RfD)}}$$

ในกรณีที่ได้รับสารเคมีตัวเดียวกันมากกว่าหนึ่งช่องทาง หรือได้รับสารเคมีอันตรายที่มีผลต่อระบบร่างกายเดียวกัน สามารถนำค่า HQ มารวมกันได้ เรียกว่า Hazard Index: HI (ดัชนีบ่งชี้อันตราย)

$$HI = HQ_{\text{กิน}} + HQ_{\text{หายใจ}} + HQ_{\text{ผิวหนัง}}$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n$$

การแปลผล

- ถ้าค่า HQ/HI น้อยกว่าหรือใกล้เคียง ๑ หรือ Exposure < Rfd แสดงว่า ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายได้

• ถ้าค่า HQ/HI มากกว่า ๑ หรือ Exposure > Rfd แสดงว่า ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับนั้น มากกว่าค่าอ้างอิงซึ่งผู้รับสัมผัสมีโอกาสเกิดการเจ็บป่วยหรือมีผลต่อสุขภาพ

รูปแบบที่ ๒) ค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) มีวิธีการคำนวณค่าความเสี่ยงโดยนำค่าคาดประมาณขนาดสัมผัสของแต่ละช่องทางและเส้นทางการรับสัมผัสคูณกับค่า CPS ของช่องทางรับสัมผัสนั้น ผลการคำนวณจะแสดงในรูปความน่าจะเป็นที่จะเกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต กรณีที่ได้รับสารอันตรายตัวเดียวกันจากหลายช่องทาง หรือกรณีได้รับสารอันตรายหลายชนิดซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งที่อวัยวะ/ระบบเดียวกันสามารถนำมาหาผลรวมความเสี่ยงการก่อมะเร็งจากการรับสัมผัสสารอันตรายที่ปนเปื้อนได้

$$\text{Cancer Risk} = \text{ค่าคาดประมาณปริมาณการรับสัมผัส (Exposure)} \times \text{ค่า Cancer Potency Slope (CPS)}$$

การแปลผล หากคำนวณแล้วได้รับผลลัพธ์ เช่น 2×10^{-5} หรืออีกนัยหนึ่งคือ ๒ ในหนึ่งแสน หมายถึง มีโอกาสเกิดมะเร็ง ๒ คนในจำนวนผู้รับสัมผัสหนึ่งแสนคนตลอดช่วงชีวิต โดยมีเงื่อนไขการรับสัมผัสดังระบุไว้ใน การคำนวณ

การแจกแจงความเสี่ยงต้องแสดงถึงสมมติฐาน ข้อตัดสินทางวิทยาศาสตร์ และความเป็นไปได้ของการคลาดเคลื่อน ดังนั้นการแจกแจงความเสี่ยงจึงประกอบด้วย ๒ ส่วน คือ ๑) ส่วนที่เป็นตัวเลขแสดงระดับความเสี่ยง และ ๒) ส่วนข้อความคำอธิบายเพื่อแปลและรับรองผล ขั้นตอนการอธิบายความเสี่ยงเป็นตัวเชื่อมโยงและสนับสนุนข้อมูลที่ช่วยต่อการตัดสินใจในการบริหารจัดการความเสี่ยง เสนอแนะมาตรการและแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหา

ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้จะแตกต่างกันไปขึ้นกับหน่วยงาน หรือสภาพสังคมของประเทศนั้นๆ โดยมักจะตั้งค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งไว้อยู่ระหว่าง 1×10^{-4} - 1×10^{-6} ซึ่งหมายความว่า ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้น ๑ ใน ๑๐,๐๐๐ ถึง ๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ นั้นยอมรับได้ (Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), 2014) ทั้งนี้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA.) ได้กำหนดอธิบายค่าความเสี่ยงไว้ดังตารางที่ ๔ - ๕

ตารางที่ ๔ - ๕ การแปลผลค่าความเสี่ยง กำหนดโดย US.EPA.

ระดับความเสี่ยง	HQ/HI	ระดับผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง	ค่าคาดการณ์เกิดมะเร็ง	ระดับความเสี่ยงก่อมะเร็ง
๑	<๐.๑	เล็กน้อย	<๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐	ต่ำมาก
๒	≥๐.๑ <๑	ต่ำ	>๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ - <๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐	ต่ำ
๓	≥๑ <๔	ปานกลาง	>๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ <๑ ใน ๑๐,๐๐๐	ปานกลาง
๔	≥๔	สูง	>๑ ใน ๑๐,๐๐๐ <๑ ใน ๑,๐๐๐	สูง
๕			>๑ ใน ๑,๐๐๐	สูงมาก

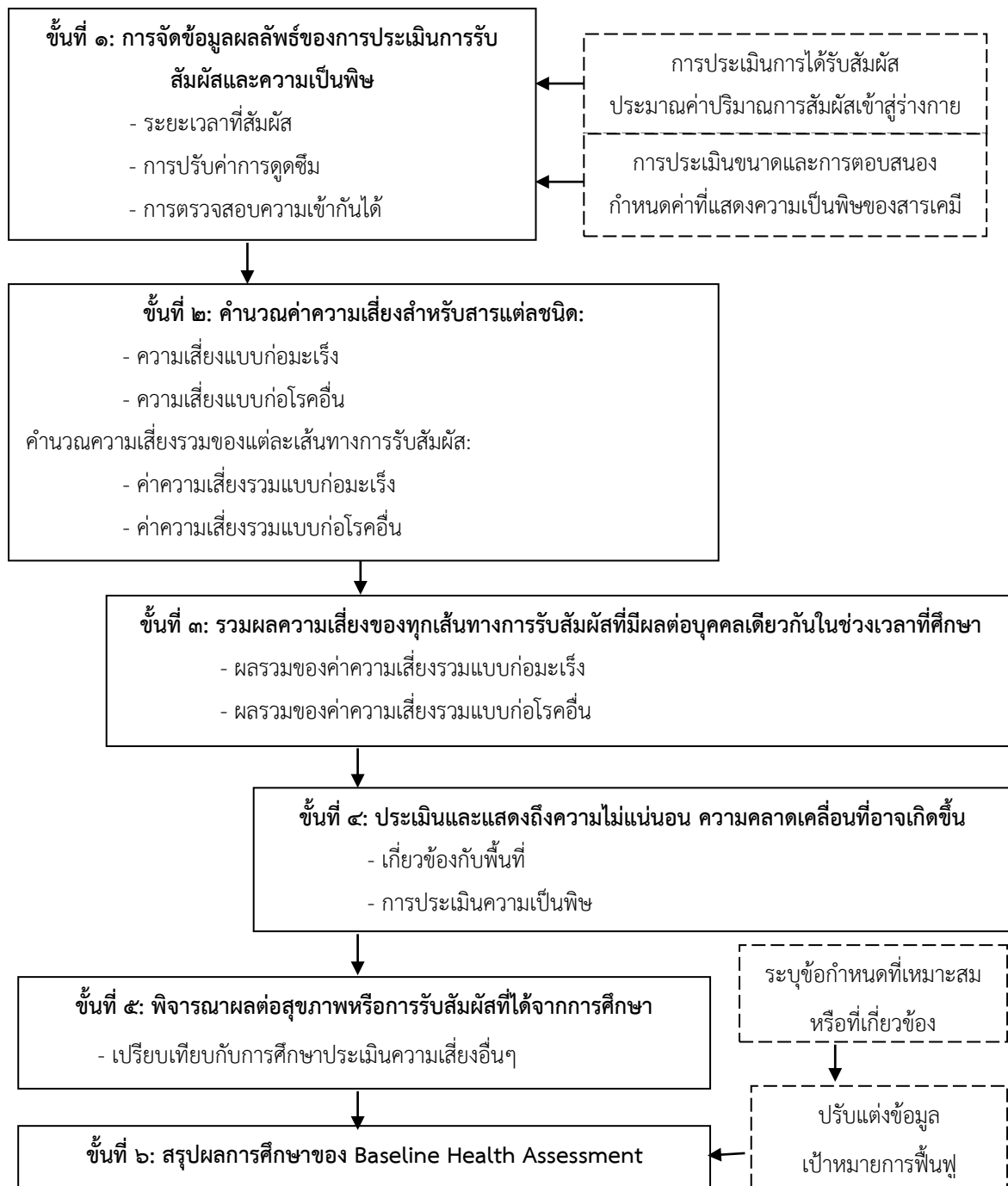
ที่มา: Scales for non-carcinogenic and carcinogenic risk assessment (USEPA, 1999). อ้างใน "Health Risk Assessment from Exposure to Heavy Metals in Surface and Groundwater Resources within Barkin Ladi, North Central Nigeria". https://www.researchgate.net/figure/Scales-for-non-carcinogenic-and-carcinogenic-risk-assessment-USEPA-1999_tbl1_330783392

การสรุปรวมข้อมูลการประเมินความเสี่ยงเชิงเนื้อหาข้อความเป็นสิ่งสำคัญ โดยการประสานรวบรวมข้อมูลต่างๆที่ได้จาก ๓ ขั้นตอน พร้อมประเมินคุณภาพการประเมินในภาพรวม รวมถึงระดับความเชื่อมั่นของผู้ประเมิน แล้วทำสังเคราะห์รวบยอดเพื่ออธิบายผลการประเมินความเสี่ยงพร้อมอภิปรายผล ซึ่งต้องผนวกรวมผลที่ได้จากการคำนวณค่าความเสี่ยงและอันตรายเข้าไปในบริบทของอันตรายที่ทราบชัดเจนในพื้นที่ปนเปื้อน อธิบายความเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับแต่ละคนในกลุ่มประชากรในแง่ขนาดและความรุนแรง และสิ่งที่ยังไม่ทราบหรือยังมีความคลุมเครือ รวมถึงบริบทของการตัดสินใจการเลือกฟื้นฟู พร้อมรายงานผลการศึกษาให้กับผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจ ทั้งนี้การอธิบายความเสี่ยงต้องยึดหลักว่า ข้อมูลและผลการศึกษาต้องจำเพาะต่อพื้นที่ปนเปื้อน ต้องเป็นจริง ชัดเจนและแม่นยำ สามารถเข้าใจได้ โดยเนื้อหาต้องประกอบด้วย

- การปนเปื้อนที่สำคัญในพื้นที่ ความเข้มข้นของการปนเปื้อน และความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration ranges)
- อธิบายถึงมะเร็งประเภทต่างๆ และความเสี่ยงทางสุขภาพอื่นๆ (พิษต่อตับ ระบบประสาท) ที่พบในพื้นที่ แยกแยะระหว่างผลกระทบที่ทราบชัดเจนในมนุษย์กับที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งอยู่บนข้อสันนิษฐานที่ได้จากข้อมูลสัตว์ทดลอง
- ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลความเป็นพิษ ที่นำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยง และแสดงข้อมูลเชิงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษนั้น (ที่ไม่ได้แสดงไว้ในการประเมินค่าความเสี่ยงเชิงปริมาณ)
- ระดับความเชื่อมั่นของการประเมินการได้รับสัมผัสสำหรับช่องทางรับสัมผัสที่มีนัยสำคัญ รวมถึงข้อสมมติฐานที่ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการรับสัมผัสต่าง ๆ
- ระดับค่าความเสี่ยงก่อนมะเร็งที่เป็นเป้าหมายในการฟื้นฟู
- ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเสี่ยงของพื้นที่ (เช่น ตัวสารเคมี เส้นทางการรับสัมผัส)
- ปัจจัยสำคัญที่จะลดความแน่นอนของผล และความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อนที่มีนัยสำคัญ (เช่น การรวมผลความเสี่ยงของสารเคมีหลายชนิดและหลายช่องทางเข้าด้วยกัน)
- ลักษณะกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัส กลุ่มย่อยต่างๆ ได้รับสัมผัสและมีความเสี่ยงแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด กลุ่มบุคคลใดในกลุ่มย่อยที่เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง กิจกรรมหรือพฤติกรรมที่ก่อความเสี่ยง
- การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาทางสุขภาพที่จำเพาะต่อพื้นที่ปนเปื้อน (ถ้ามี)

ขั้นตอนการแจกแจงความเสี่ยงประกอบด้วย ๑) การจัดข้อมูลผลลัพธ์ของการประเมินการรับสัมผัสและความเป็นพิษ ๒) คำนวณค่าความเสี่ยงทั้งแบบก่อโรครื่น (HQ) และแบบก่อมะเร็ง (Cancer Risk) ของสารเคมีแต่ละชนิดแต่ละช่องทาง และกรณีที่มีสารมากกว่า ๑ ชนิดให้คำนวณค่าความเสี่ยงรวม (HI, Total Cancer Risk) ของแต่ละเส้นทางการรับสัมผัส ๓) รวมผลความเสี่ยงของทุกเส้นทางการรับสัมผัส ๔) ประเมินและแสดงถึงความไม่แน่นอน ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ หรือการประเมินความเป็นพิษ

๕) พิจารณาผลต่อสุขภาพหรือการรับสัมผัสที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบกับการศึกษาประเมินความเสี่ยงอื่นๆ ๖) สรุปผลการศึกษาของ Baseline Health Assessment ขั้นตอนดำเนินงานดังภาพที่ ๔ - ๘



ภาพที่ ๔ - ๘ ขั้นตอนการแจกแจงความเสี่ยง

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อโรคอื่นที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง (non Carcinogen)

ในการทำน้ำประปา สารคลอรีนจะถูกใส่ลงไปเพื่อฆ่าเชื้อโรค โดยสารคลอรีนดังกล่าวจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำประปากลายเป็นคลอโรฟอร์มได้ ซึ่งจากการตรวจวัดมักพบว่ามีความเข้มข้นสารคลอโรฟอร์มในน้ำเท่ากับ ๐.๐๖๕ ไมโครกรัม/ลิตร ให้คำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อโรคอื่นที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง (non Carcinogen)

$$\begin{aligned}\text{CDI} &= (\text{Conc.} \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT}) \\ &= [(0.065 \text{ มก./ลิตร}) (2 \text{ ลิตร/วัน}) (350 \text{ วัน/ปี}) (30 \text{ ปี})] / [(70 \text{ กก}) (365 \text{ วัน/ปี} \times 30 \text{ ปี})] \\ &= 1.8 \times 10^{-3} \text{ (มก/กก.วัน)}\end{aligned}$$

RfDoral ของ คลอโรฟอร์มเท่ากับ ๐.๐๑ มก/(กก.วัน)

$$\text{HQ} = \text{CDI} / \text{RfD} = 1.8 \times 10^{-3} \text{ มก/(กก.วัน)} / 0.01 \text{ มก/(กก.วัน)} = ๐.๑๘$$

- ค่า HQ น้อยกว่า ๑ แสดงว่า ความเสี่ยงจากการใส่คลอรีนในน้ำประปาอยู่ในระดับยอมรับได้
- สารคลอโรฟอร์มเป็นสารก่อมะเร็ง กลุ่ม B2 จึงไม่ประเมินความเสี่ยงก่อมะเร็ง แต่สามารถสืบค้นค่า The Oral Slope Factor ได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ $6.10\text{E-}03 \text{ (มก/(กก.วัน))}^{-1}$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อมะเร็ง (Carcinogen)

สมมติว่าตรวจพบเจอสารเบนซีนในอากาศ เท่ากับ ๑ มคก./ลบ.ม

$$\begin{aligned}\text{CDI} &= (\text{Conc.} \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT}) \\ &= [(1 \text{ มคก./ลบ.ม.}) (1 \text{ มก/1000 มคก}) (20 \text{ ลบ.ม./วัน}) (350 \text{ วัน/ปี}) (70 \text{ ปี})] / [(70 \text{ กก}) (365 \text{ วัน/ปี} \times 70 \text{ ปี})] \\ &= 2.7 \times 10^{-4} \text{ (มก/กก.วัน)}\end{aligned}$$

ค่าความเสี่ยงก่อมะเร็ง (Cancer Risk) = CDI x Inhalation CPS

สารเบนซีนจัดเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม A มีค่า inhalation slope factors เท่ากับ $2.9 \times 10^{-2} \text{ (มก/กก.วัน)}^{-1}$

$$\text{ค่าความเสี่ยงก่อมะเร็ง} = 2.7 \times 10^{-4} \text{ (มก/กก.วัน)} \times 2.9 \times 10^{-2} \text{ (มก/กก.วัน)}^{-1} = 7.83 \times 10^{-6}$$

แสดงว่า ในบรรยากาศที่มีสารเบนซีน เท่ากับ ๑ มคก./ลบ.ม. หากมีผู้รับสัมผัสหนึ่งล้านคนจะมีโอกาสมีผู้เป็นมะเร็งเพิ่มขึ้น ๗ – ๘ คน โดยมีเงื่อนไขการรับสัมผัสตามที่ระบุในการคำนวณ ซึ่งจากผลการคำนวณ ค่าความเสี่ยงก่อมะเร็งมากกว่า ๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ จึงเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ประกอบทั้งสารเบนซีนจัดเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม A ดังนั้นจำเป็นต้องมีมาตรการลดความเสี่ยง

กรณีที่มีสารเคมีอันตรายหลายชนิด ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อมะเร็งและค่าความเสี่ยงก่อโรคอื่นและคำอธิบายผล ดูได้ที่ภาคผนวก ค

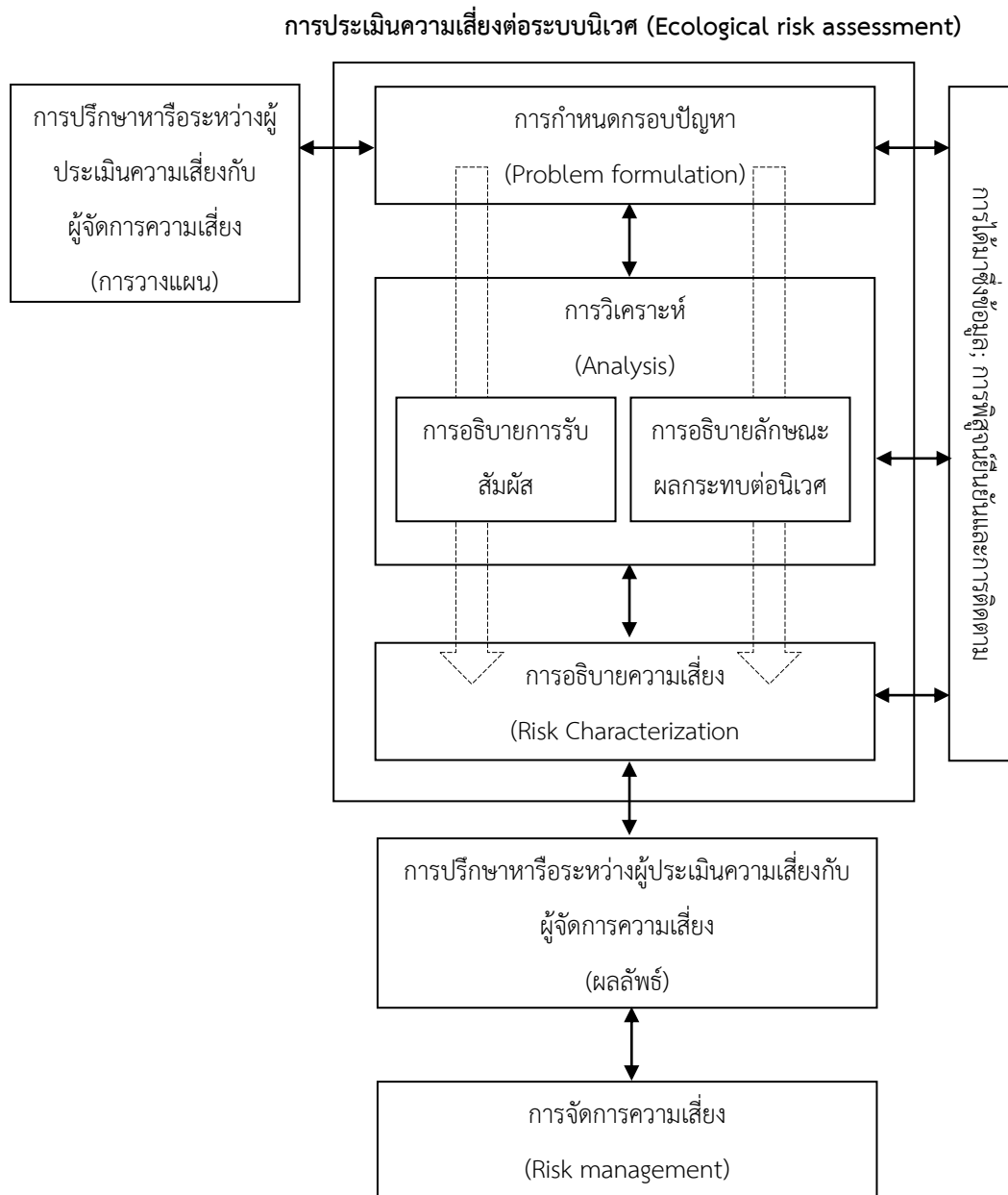
๔.๔ การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ (Ecological risk assessment)

การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศเป็นการประมาณความเป็นไปได้ของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วกับสิ่งมีชีวิต หรือกลุ่มประชากร หรือแหล่งอาศัยในระบบนิเวศ จากผลของการได้รับสิ่งคุกคาม ซึ่งในที่นี้คือ สารเคมีที่ปนเปื้อนในพื้นที่ การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศมีหลักการคล้ายคลึงกับการประเมินเสี่ยงทั่วไป กล่าวคือต้องระบุถึงชนิดสารเคมีอันตรายที่ต้องการประเมิน จากนั้นทำการประเมินความเป็นพิษและประเมินการสัมผัส เพื่อนำมาประเมินค่าความเสี่ยง อย่างไรก็ตาม US.EPA. ได้ปรับกรอบการดำเนินงาน (Framework) และเลือกใช้คำที่แตกต่างออกไปเพื่อความเหมาะสมต่อการดำเนินงาน โดยได้แบ่งกรอบงานการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศเป็น ๓ ขั้นตอน ภาพที่ ๔ – ๙ แสดงขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ และสรุปสังเขปแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ ๑ การกำหนดกรอบปัญหา (Problem Formulation) วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ เพื่อระบุเป้าหมายการประเมินและจุดมุ่งเน้น เป็นการทำงานวางแผนเชิงระบบเพื่อระบุปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา และเชื่อมโยงในบริบทของกฎหมายหรือนโยบายของการประเมิน โดยต้องพิจารณาระบบลักษณะของสิ่งคุกคาม (stressor characteristics) สิ่งมีชีวิตใดในระบบนิเวศที่ต้องปกป้อง ความอ่อนไหวต่อสิ่งคุกคาม รวมทั้งระบุผลกระทบต่อระบบนิเวศ (เป้าหมาย) ที่ต้องการประเมิน

ขั้นตอน ๒ การวิเคราะห์ (Analysis) กระทำการพิจารณาว่าพืชหรือสัตว์ได้รับสัมผัสสิ่งคุกคามระดับใดและมีโอกาสเกิดผลอันตรายต่อระบบนิเวศภายใต้เงื่อนไขการสัมผัสนั้น โดยแบ่งออกเป็น ๒ ส่วนคือ การอธิบายการสัมผัส และการอธิบายลักษณะผลกระทบต่อระบบนิเวศ

ขั้นตอนที่ ๓ การแจกแจงความเสี่ยง (Risk Characterization) ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย ๒ องค์ประกอบ คือ การประมาณค่าความเสี่ยง ซึ่งเป็นการประสาน วิเคราะห์ข้อมูลการสัมผัสกับผลกระทบจากการสัมผัสเข้าด้วยกัน และการอธิบายความเสี่ยงเพื่อเป็นการให้ข้อมูลที่สำคัญ เป็นการแปลผลค่าความเสี่ยงและชี้บ่งระดับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อพืชหรือสัตว์ที่กังวล โดยต้องแสดงถึงความไม่แน่นอน หลักฐานที่ใช้ในการประเมินและการแปลผล ทั้งนี้ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการประมาณค่าความเสี่ยงทางนิเวศ คือ ความเสี่ยงนั้นเป็นแบบเฉียบพลัน หรือเรื้อรัง ระดับความรุนแรงของผลกระทบ ผลกระทบมีต่อ ๑ สปีชีส์หรือมากกว่า และมีขนาดหรือจำนวนเท่าไรที่อยู่ในความเสี่ยง



ภาพที่ ๔ - ๙ กรอบงานการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ (Ecological Risk Assessment Framework)

ขั้นตอนที่ ๑ การกำหนดกรอบปัญหา (Problem formulation) ของการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ
วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ เพื่อทำการวางแผนการประเมิน และการระบุขอบเขตปัญหาที่จะทำการประเมินว่า
สิ่งมีชีวิตใดในนิเวศที่ต้องปกป้อง อาจหมายถึง สปีชีส์ กลุ่มสิ่งมีชีวิต ระบบนิเวศ หรือ แหล่งอาศัย ทั้งนี้ต้อง
แสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของหน่วยในนิเวศ (ecological entity) นั้นต่อระบบนิเวศ ความอ่อนไหวต่อสารเคมี
อันตราย และความสำคัญต่อเป้าหมายการจัดการ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในขั้นตอนการกำหนดกรอบปัญหานี้
ควรต้องผนวกรวมเข้ากับขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ และการแจกแจงลักษณะและขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน
โดยมีแนวคำถามเพื่อใช้ในการกำหนดกรอบปัญหาดังแสดงในกรอบข้อความดังนี้

แนวคำถาม / ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดกรอบปัญหา

๑) คำถามเกี่ยวกับสารเคมี/สิ่งคุกคาม

- ก. พื้นที่ที่เกิดการใช้และปล่อยสิ่งคุกคามสู่สิ่งแวดล้อมขึ้น (เช่น แหล่งผลิต สถานที่ใช้งาน หรือสถานที่
กำจัด)
- ข. อัตราการใช้ได้และ อัตราปกติที่ใช้
- ค. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ
- ง. ชะตาและการเคลื่อนย้ายของสารเคมีอันตราย (Fate and transport properties)
- จ. กลไกการเกิดพิษ หรือ การเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือ ระบบนิเวศ

๒) คำถามเกี่ยวกับการสัมผัส

- ก. สารเคมีอันตรายถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมใด ทางน้ำ ทางบก หรือ อากาศ
- ข. การปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ปริมาณ / ความถี่ / ช่วงเวลา
- ค. ขอบเขต/ การกระจายของสารเคมี เฉพาะที่ / กว้างขวางไปได้ไกล
- ง. การสะสมในสิ่งแวดล้อม ค่าครึ่งชีวิต การสลายตัว

๓) คำถามเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบ

- ก. สิ่งมีชีวิต กลุ่มประชากร หรือแหล่งพักอาศัยที่คาดว่าจะไวต่อการสัมผัส
- ข. อันตรายจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะใด เช่น การสัมผัสเป็นเวลาสั้น หรือ ยาว

ข้อมูลที่ควรนำมาใช้สำหรับประกอบการพิจารณากำหนดกรอบปัญหา (Problem formulation)
มีดังนี้

- พื้นที่ที่เกิดการใช้และปลดปล่อยสารเคมี/สิ่งคุกคาม ระบุแหล่งผลิต สถานที่ใช้งาน หรือสถานที่
กำจัด
- คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสาร
- อัตราปกติและอัตราการใช้ได้ของสารถูกนำมาใช้
- ชะตา (fate) และการเคลื่อนย้าย (transport) ของสิ่งคุกคาม
- กลไกการเกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตหรือระบบนิเวศ

- ข้อมูลของโอกาสสัมผัส ได้แก่ สิ่งคุกคามจะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมใดบ้าง เช่น ทางน้ำ ทางบกหรืออากาศ ปริมาณ/ความถี่/ช่วงเวลาของการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ขอบเขตการกระจายของสาร การสะสมในสิ่งแวดล้อม ค่าครึ่งชีวิต การสลายตัว
- สิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบได้แก่ ชนิดของสิ่งมีชีวิต แหล่งพักอาศัย ระยะเวลาการรับสัมผัส

ขั้นตอนการดำเนินงานกำหนดกรอบปัญหา

- ๑) ทบทวนระบุถึงสารเคมีหรือภาวะคุกคาม (stressor) ที่สนใจในการประเมิน
- ๒) อธิบายลักษณะผลกระทบต่อนิเวศของสารปนเปื้อน
- ๓) ทบทวนและปรับแต่งข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อน
- ๔) เส้นทางที่ได้รับสัมผัสและระบบนิเวศที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบ
- ๕) เลือกเป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoint)
- ๖) พัฒนาสร้างแบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual model) พร้อมข้อสมมุติฐานหรือคำถามที่ต้องการหาคำตอบเมื่อต้องทำการสำรวจพื้นที่ (site investigation)

ผลผลิตที่สำคัญของขั้นตอนการกำหนดกรอบปัญหานี้ คือ

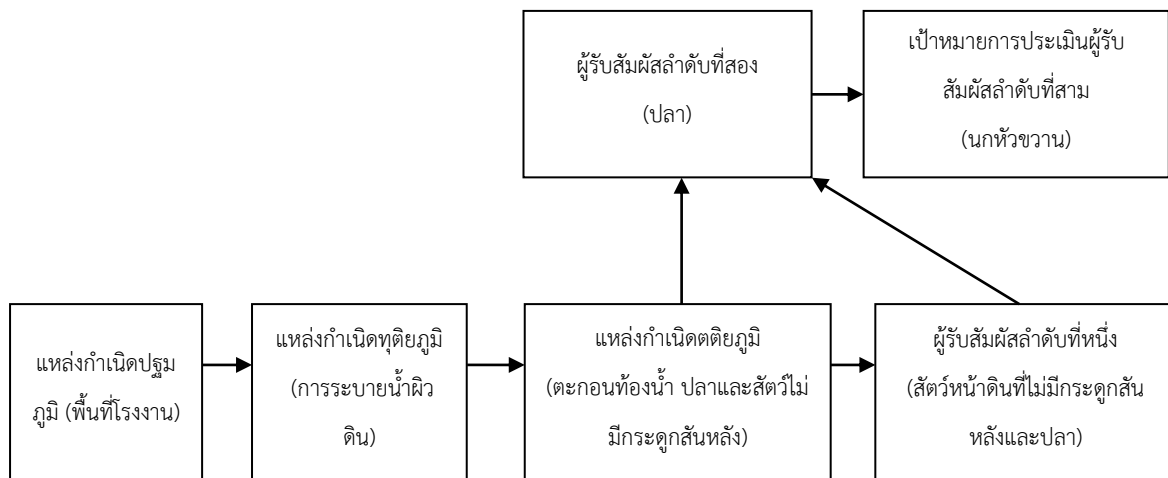
๑) เป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoints) คือ การระบุสิ่งมีชีวิต หรือระบบนิเวศที่สะท้อน เป้าหมายของการจัดการ หรือที่เป็นตัวแทน อาทิ การดำรงอยู่ของสัตว์น้ำ การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

๒) แบบจำลองมโนทัศน์ (Conceptual models) ใช้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างสารเคมีอันตราย วิธีการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของสิ่งคุกคาม และห่วงโซ่เชิงนิเวศของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการปกป้องตามเป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoint) ทั้งนี้สามารถแสดงแบบจำลองมโนทัศน์ ได้ทั้งในลักษณะการเขียน หรือ แผนภาพ โดยมีองค์ประกอบ

- แหล่งกำเนิด สารเคมี/สิ่งคุกคาม
- การปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เส้นทาง/การเคลื่อนย้าย และโอกาสการสัมผัส
- กลุ่มรับสัมผัส หมายถึง สิ่งมีชีวิต กลุ่มประชากร หรือแหล่งอาศัยที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบ
- ลักษณะผลกระทบที่อาจเกิดต่อหน่วยนิเวศ (ecological entity)

๓) แผนการวิเคราะห์ (Analysis plan) เพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินงานตรวจวัดวิเคราะห์ผลกระทบต่อนิเวศ ซึ่งต้องจัดทำ work plan และ sampling and analysis plan ประกอบด้วย แนวทางการสำรวจพื้นที่โดยละเอียด แหล่งของข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งการเก็บวิเคราะห์ตัวอย่าง และเลือกเป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoints) เมื่อดำเนินการลงสำรวจพื้นที่จะได้ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการประเมินความเสี่ยง

ตัวอย่างแบบจำลองโมทัศน์ของพื้นที่ปนเปื้อน DDT ดังภาพที่ ๕ - ๑๐

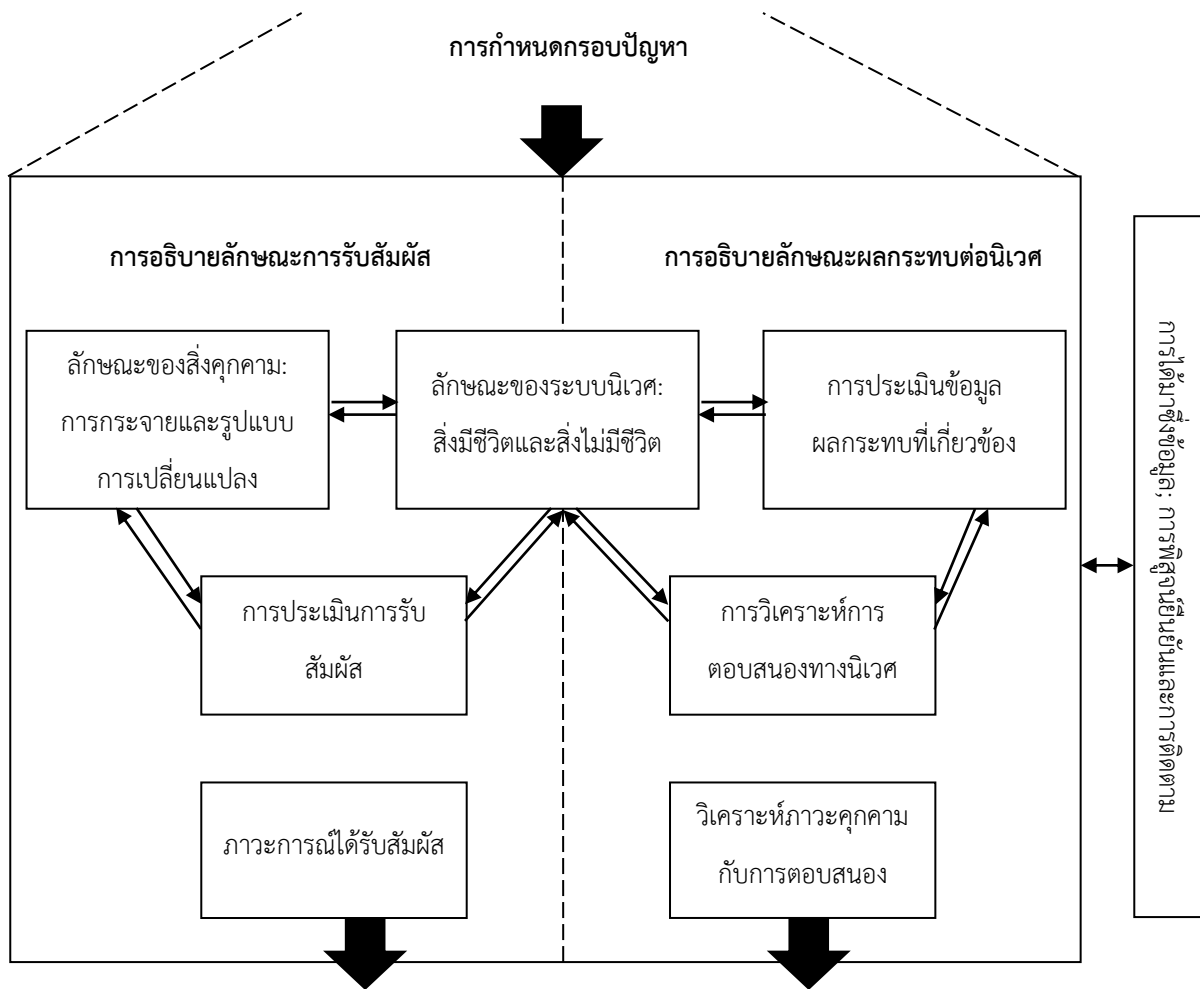


ภาพที่ ๕ - ๑๐ ตัวอย่างแบบจำลองโมทัศน์ของพื้นที่ปนเปื้อน DDT

ที่มา: Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments; Interim Final.US.EPA. 1997

ขั้นตอนที่ ๒ การวิเคราะห์ (Analysis) วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับอธิบายลักษณะและปริมาณการรับสัมผัสสารเคมีของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และข้อมูลแสดงลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้น การตอบสนองทางนิเวศ การวิเคราะห์ภาวะคุกคามกับการตอบสนอง (stressor-response relationship) ภายใต้เงื่อนไขการรับสัมผัส โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) แบ่งส่วนการวิเคราะห์เป็น 2 ประเด็น คือ 1) การอธิบายลักษณะการได้รับสัมผัส (Characterization of exposure) และ 2) การอธิบายลักษณะผลกระทบเชิงนิเวศ (Characterization of effects) ดังแสดงในภาพที่ ๕ - ๑๑

๑) การอธิบายลักษณะการรับสัมผัส (Characterization of exposure) การรับสัมผัสอาจเกิดจากการสัมผัสสารเคมีอันตรายโดยตรงหรือโดยร่วมกัน พร้อมกับองค์ประกอบของทางนิเวศทั้งในเชิงเวลาและสถานที่ โดยระบบนิเวศและสิ่งคุกคามจะต้องถูกอธิบายอยู่บนมาตรเวลาและสถานที่เดียวกัน ผลของการวิเคราะห์การรับสัมผัสนี้จะแสดงภาวะการสัมผัส (Exposure profile) ที่ทราบถึงรูปแบบการรับสัมผัสในเชิงขนาด สถานที่และช่วงเวลาการรับสัมผัส ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับเป้าหมายการประเมิน (assessment endpoints) และคำถามความเสี่ยงที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ ๑ ภาวะการสัมผัส Exposure profile) และพร้อมด้วยคำอธิบายความไม่แน่นอน รวมทั้งข้อสมมติฐานจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการอธิบายค่าความเสี่ยงต่อไป



ภาพที่ ๔ - ๑๑ ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) ของการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ

การอธิบายลักษณะของสารเคมีอันตรายหรือภาวะคุกคาม รวมถึงการกระจายและรูปแบบการเปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งให้ผนวกรวมข้อมูลแบบจำลองชะตาและการเคลื่อนที่ (fate-and-transport modeling) และข้อมูลผลตัวอย่างจากพื้นที่ที่ใช้ในการคาดการณ์ขอบเขตการปนเปื้อนทั้งในปัจจุบันและในอนาคต จากนั้นสรุปผลเพื่อสร้างความเข้าใจในการรับสัมผัสสารเคมีอันตรายของสิ่งมีชีวิตที่ประเมิน โดยระบุปริมาณ/ความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่สิ่งมีชีวิตได้รับสัมผัส (Potential Exposure Concentrations: PEC) ซึ่งอาจใช้การตั้งสถานการณ์จำลอง/ฉากทัศน์การรับสัมผัส (Setting exposure scenario) เพื่อทำการประเมินปริมาณการรับสัมผัส โดยระบุว่าจะมาจากเส้นทางใดได้บ้าง (สถานการณ์การรับสัมผัส) ทั้งนี้เมื่อทราบค่าการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ก็จะสามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์ความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม เช่น Box model เพื่อคาดการณ์ความเข้มข้นในอากาศ หรือ a simple stream flow dilution model เพื่อคาดการณ์ความเข้มข้นในน้ำ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังต้องวิเคราะห์ถึงเส้นทางการรับสัมผัสที่สำคัญ Critical exposure pathways โดยยึดหลัก (๑) เป็นเส้นทางการรับสัมผัสของกลุ่มสัตว์ที่อ่อนแอ (๒) ระดับการรับสัมผัสสัมพัทธ์กลไกชะตาและการเคลื่อนที่ (fate-and-transport) ที่เด่นของพื้นที่

๒) การอธิบายลักษณะผลกระทบเชิงนิเวศ (Characterization of ecological effects)
ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูล ทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยรวมถึงผลทดสอบความเป็นพิษ (Toxicity test) ผสมเข้ากับข้อมูลหลักฐานที่มีอยู่จากการสำรวจพื้นที่เพื่อแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นตามเป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoints) อันเนื่องมาจากการได้รับสัมผัสสารปนเปื้อน การวิเคราะห์การตอบสนองทางนิเวศมีทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง การวิเคราะห์ภาวะคุกคามและการตอบสนอง (Stressor-response profile) เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างขนาด ความถี่และระยะเวลาการได้รับสัมผัสต่อขนาดของผลกระทบเชิงนิเวศที่เกิดขึ้น ทั้งนี้หากมีการอนุมานข้อมูลไปใช้กับสัตว์ต่างสปีชีส์ หรือต่างระดับการตอบสนองต้องทำการอธิบายไว้ด้วย และจะต้องแสดงข้อมูลความเป็นพิษ (Toxic Profile) รวมทั้งค่า Toxic Values ที่เหมาะสมกับเป้าหมายการประเมินเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าความเสี่ยง ประกอบด้วย

(๑) จัดทำข้อมูลด้านพิษวิทยา (Toxic Profile)

(๒) ค่าทำนายความเข้มข้นที่ไม่ก่อผลกระทบ หรือ เรียกว่า PNEC (Predicted No effect Concentration) (แนวทางการจัดทำข้อมูลความเป็นพิษและค่าความเป็นพิษ ดูได้ที่ภาคผนวก ง)

ขั้นตอนที่ ๓: การแจกแจงความเสี่ยง (Risk characterization)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศ มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศจากสารเคมีที่ถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย ๒ องค์ประกอบหลักคือ (๑) การประมาณค่าความเสี่ยง ซึ่งเป็นการผนวกข้อมูลการรับสัมผัส (Exposure profile) เข้ากับข้อมูลขนาดสัมผัสและการตอบสนอง (๒) การอธิบายความเสี่ยง ซึ่งเป็นการให้ข้อมูลที่สำคัญเพื่อแปลผลค่าความเสี่ยงและชี้บ่งระดับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อพืชหรือสัตว์ที่กังวล

๑) การประมาณค่าความเสี่ยง ที่เรียกว่า ค่า Hazard Quotients หรือ Risk Quotient ค่าความเสี่ยงเป็นค่าสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารเคมีปนเปื้อนต่อค่าเปรียบเทียบที่คัดเลือก (selected screening benchmark) โดยการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าปริมาณ/ความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่สิ่งมีชีวิตได้รับสัมผัส (PEC) กับ ค่าทำนายความเข้มข้นที่ไม่ก่อผลกระทบ (PNEC) ซึ่งหากมีค่าเกิน ๑ แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ

ในกรณีเรื้อรังให้ประเมินจำนวนวันที่ค่าการรับสัมผัสมีค่าเกินค่า PNEC ด้วย กล่าวคือ หากมีจำนวนวันที่ปริมาณ/ความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่สิ่งมีชีวิตได้รับสัมผัส (PEC) เกินค่าทำนายความเข้มข้นที่ไม่ก่อผลกระทบ (PNEC) มากกว่า ๒๐ วันต่อปี ให้จัดว่ามีผลกระทบต่อนิเวศแบบเรื้อรัง

$$\text{Risk Quotient} = \text{PEC} / \text{PNEC}$$

นอกจากนี้ยังอาจใช้การเปรียบเทียบพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น การใช้พื้นที่ (สัดส่วนของพื้นที่ปนเปื้อนต่อพื้นที่ที่สัตว์ใช้ในภาวะปกติ (home range) อัตราการบริโภคอาหาร อัตราการสะสมในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation rate) อัตราการเข้าระบบชีวภาพ (Bioavailability) และ ช่วงของชีวิต เช่น ระยะตัวอ่อน ตัวเต็มวัย เป็นต้น

๒) การอธิบายความเสี่ยงเป็นการนำค่าความเสี่ยงที่ได้เข้ากับบริบทคำอธิบายความเสี่ยงในเชิงของขอบเขต ขนาด และนัยสำคัญทางนิเวศ โดยข้อมูลควรประกอบด้วย สถานที่และขอบเขตพื้นที่การปนเปื้อนที่เกิดขึ้นที่มีค่ามากกว่าค่าขีดกั้นของผลกระทบ (threshold for adverse effects) ระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนเกินค่าขีดกั้นมากน้อยเท่าไร และในอนาคตมีโอกาสที่จะเกิดด้วยหรือไม่ ค่าครึ่งชีวิตของสารปนเปื้อน (ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ) ในสื่อสิ่งแวดล้อม (เช่น ตะกอน ห่วงโซ่อาหาร) และศักยภาพสำหรับธรรมชาติที่จะฟื้นฟูเมื่อแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนถูกกำจัดออกไป

ความไม่แน่นอนในการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศเกิดได้จากหลายแหล่ง ตั้งแต่ การเลือกชนิดสารเคมีที่สนใจซึ่งมักขึ้นอยู่กับข้อมูลการเก็บตัวอย่างและข้อมูลความเป็นพิษที่หาได้ นอกจากนี้การคาดประมาณค่าความเป็นพิษที่มีผลต่อนิเวศมักได้จากข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่มีจำกัด เช่น สปีชีส์รวมถึง ความไม่แน่นอนในการประเมินการได้รับสัมผัส ซึ่งเป็นผลมาจากข้อมูลการตรวจวัดและการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการคาดประมาณความเข้มข้นการรับสัมผัส ทั้งนี้ต้องแยกความไม่แน่นอนออกจากความแปรปรวนเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันหรือลักษณะที่หลากหลายของสิ่งแวดล้อมและผู้รับสัมผัส ความไม่แน่นอนสะท้อนถึงการขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับบางปัจจัยที่สามารถลดลงได้เมื่อมีการศึกษาเพิ่มขึ้น

ดังนั้นการแจกแจงความเสี่ยง(Risk characterization) ต้องแสดงให้เห็นสอดคล้องกับหลักการ คือ โปร่งใส ชัดเจน สม่าเสมอและสมเหตุสมผล แสดงถึงผลสรุปความเสี่ยง จุดแข็งและข้อจำกัดของการประเมิน บันทึกเอกสารเกี่ยวกับความเสี่ยง รวมทั้งข้อสันนิษฐาน ค่าพารามิเตอร์ (defaults) ความไม่แน่นอน รวมถึงข้อตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญต้องง่ายต่อการติดตามและเข้าใจ

๔.๕ การตัดสินใจฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน

การตัดสินใจฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนควรคำนึงถึงเกณฑ์ดังต่อไปนี้

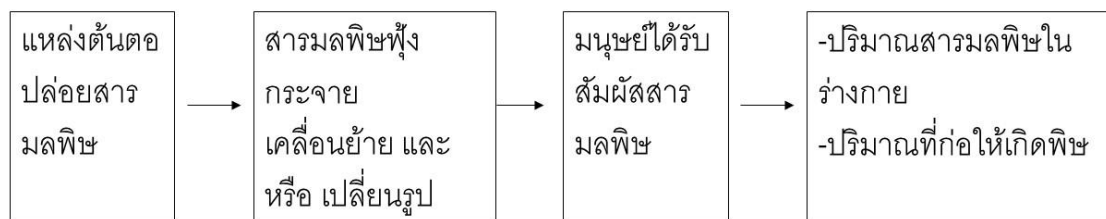
- ๑) ระดับการปนเปื้อนเกินมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- ๒) ระดับการปนเปื้อนสูงกว่าระดับพื้นฐาน (Background Level)
- ๓) ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์เกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ ได้แก่
 - ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารที่ทำให้เกิดมะเร็งสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ อาทิ ๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ (10^{-5}) - ๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ (10^{-6})
 - ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งมีค่าเกิน ๑

ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาวิธีการจัดการที่เหมาะสมในการฟื้นฟูพื้นที่ต่อไป โดยการศึกษาความเหมาะสมในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน (Remedial Investigation/Feasibility Study) ต่อไป

ภาคผนวก ก

ความเป็นพิษของสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายจากการได้รับสารเคมีอันตราย

สารเคมีเมื่อถูกปลดปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และปนเปื้อนในสื่อสิ่งแวดล้อมชนิดต่าง ๆ เช่น ดิน น้ำ อากาศ หรือต่อเนื่องไปยัง สัตว์ และพืช ที่เป็นห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์รับสัมผัสสื่อสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ ทำให้สารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่นั้นเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งหากสารเคมีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอ สารเคมีดังกล่าวจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือ เปลี่ยนแปลงหน้าที่ของเซลล์ หรือเนื้อเยื่อ/อวัยวะ หรือระบบของร่างกายที่เป็นเป้าหมายของสารเคมีนั้น ส่งผลต่อสุขภาพทำให้เกิดอาการ การเจ็บป่วยหรือโรค ซึ่งอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้เกิดการพิการ หรือตายได้



ที่มา: Lioy, 1990 อ้างใน Christian Monn; Atmospheric Environment 35 (2001) 1-32

ความเป็นพิษของสารเคมี หรือผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายนั้น สามารถแบ่งตามระยะเวลาก่อให้เกิดพิษเป็น ๒ รูปแบบ คือ

- พิษเฉียบพลัน หมายถึง การเกิดพิษหรือผลกระทบต่อสุขภาพหลังจากการได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายครั้งเดียวหรือหลายครั้งภายในเวลา ๒๔ ชั่วโมง ดังนั้นมักต้องมีระดับความเข้มข้นของสารเคมีในสื่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณมากพอที่จะก่อให้เกิดพิษ เช่น การรั่วไหล หรือการเกิดเพลิงไหม้ของสารเคมี พื้นที่ล้นกลบทิ้งสารเคมี เป็นต้น
- พิษเรื้อรัง หมายถึง การเกิดพิษหรือผลกระทบต่อสุขภาพหลังจากการได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายซ้ำหลาย ๆ ครั้งเป็นระยะเวลานาน (มากกว่า ๓ เดือน) ดังนั้นความเข้มข้นของสารเคมีในสื่อสิ่งแวดล้อมจึงมักอยู่ในระดับต่ำเมื่อได้รับซ้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจึงเกิดการสะสมในร่างกายและก่อให้เกิดพิษ

ผลการเกิดพิษต่อระบบร่างกาย นอกจากจะขึ้นกับชนิดของสารเคมีแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณ และทางเข้าสู่ร่างกายของสารเคมี ด้วยเหตุนี้ในการพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพจากสารเคมี จึงจำเป็นต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับการปนเปื้อนและช่องทางการรับเข้าสู่ร่างกาย ตัวอย่างพิษของสารเคมีดังแสดงในตารางที่ ก - ๑

ตารางที่ ก - ๑ ตัวอย่างพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรังของสารเคมีบางชนิด

ชนิดสารเคมี	พิษเฉียบพลัน	พิษเรื้อรัง
สารหนู อนินทรีย์	เมื่อกิน เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร อาเจียน ท้องร่วง และ ชัก ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ ปวดศีรษะ	ผิวหนังเป็นปุ่มหนาสีคล้ำ ผมห่นร่วง หนึ่งตาบวมพอง และก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง
แคดเมียม	เมื่อกิน มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ มีน้ำลายไหล ปวดท้อง ช็อค (Shock) ไตและตับถูกทำลาย	มีผลต่อไต และกระดูก มีอาการปวดร้าว แต่หากได้รับทางการหายใจ ก่อให้เกิดมะเร็งปอด
ไตรคลอโรเอทิลีน	ถ้าสูดเข้าไปจะมีอาการเคลิ้ม อารมณ์สนุก อาจถึงขั้นมึนงง เซ คลื่นไส้ อาเจียน และหมดสติได้ หากสัมผัสที่ผิวหนังก็ทำให้ผิวหนังอักเสบ เมื่อได้รับสารเข้มข้นมากไม่ว่าโดยทางใด อาจถึงขั้นภาวะตับและไตล้มเหลว หัวใจเต้นไม่ปกติ	เมื่อได้รับเข้าไปทีละน้อยเป็นเวลานาน คือมีอาการง่วงซึม ไม่รับรู้สิ่งเร้า เหนื่อยหน่าย สับสน ไม่มีสมาธิ รวมทั้งผลทำให้เป็นหมัน
MTBE	ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อปอด มีผลต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ และคลื่นไส้อาเจียน	ตับและไตโต เกิดบาดแผลที่ไต เพิ่มความเสี่ยงในการแท้ง หรือการตายของทารกในครรภ์
เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (สารกำจัดศัตรูพืช: ลินเดน)	สับสน เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ อาเจียน อ่อนเพลีย สัมผัสผิวหนังทำให้เกิดการอักเสบ ผิวหนังแดง หากกินเข้าไปจะทำให้เกิดการชัก ท้องเสีย หายใจลำบาก อาเจียน ส้น กล้ามเนื้อเป็นตะคริว ชิมเศร้า	มีความสัมพันธ์กับการเกิดผลกระทบต่อดับ เลือด ระบบประสาท หลอดเลือดและหัวใจ และระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

หมายเหตุ สืบค้นข้อมูลความเป็นพิษของสารเคมีได้จากฐานข้อมูลทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยสารเคมี (chemtrack.org) ศูนย์พิษวิทยา รพ. ราชวิถี หรือ the Agency for Toxic Substances and Disease Registry's (ATSDR's) เป็นต้น

ภาคผนวก ข

การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response assessment)

การกำหนดค่าที่แสดงความเป็นพิษของสารเคมี (Toxicity Values หรือ Hazard Assessment Values) ถูกพัฒนาจากข้อมูลผลการทดสอบทางพิษวิทยาและระบาดวิทยา ซึ่งโดยทั่วไปมักแบ่งเป็น ๒ รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ ๑ การก่อโรคร้ายที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogenic effects) จะยึดหลักการ “มีค่าขีดกั้น (Threshold)” ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด (Dose) ที่ร่างกายรับสัมผัสแล้วจะยังไม่มีอาการตอบสนอง หรือยังไม่แสดงอาการไม่พึงประสงค์ แต่หากได้รับสารเคมีมากกว่าค่าขีดกั้น ร่างกายจะเริ่มมีอาการไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น ค่าขีดกั้นนี้ถูกพัฒนาจากข้อมูลผลการทดสอบทางพิษวิทยาทั้งในสัตว์ทดลอง ผนวกกับข้อมูลทางระบาดวิทยา (ถ้ามี). โดยหน่วยงาน US.EPA. เรียกว่า ค่าอ้างอิง RfD (Reference Dose) ขณะที่ทาง EU เรียกว่า Derived No Effect Levels (DNELs) โดยมักนำค่า no-observed-adverse-effect level (NOAEL) หรือ lowest-observed-adverse-effect level (LOAEL) หรือ benchmark dose (BMD) ที่ได้มาจากการทดสอบความเป็นพิษ มาคำนวณร่วมกับปัจจัยความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องเนื่องกับข้อมูลที่น่ามาใช้พัฒนาค่าอ้างอิง ดังสมการ

$$\text{ค่าอ้างอิง RfD} = \text{NOAEL หรือ LOAEL} / (\text{UF} \times \text{MF})$$

NOAELs คือ ปริมาณสารเคมีมากที่สุดที่ไม่สังเกตเห็นผลกระทบหรืออาการไม่พึงประสงค์ในสัตว์ทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว: mg/kg BW)

LOAELs คือ ปริมาณสารเคมีต่ำสุดที่เริ่มสังเกตเห็นผลกระทบหรืออาการไม่พึงประสงค์ในสัตว์ทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว: mg/kg BW)

UFs คือ ค่า Uncertainty factors ปัจจัยความไม่แน่นอน อาทิ ความไวต่อการตอบสนองของมนุษย์ที่แตกต่างกัน ความไม่แน่นอนจากการอนุมานผลการทดสอบจากสัตว์สู่คน หรือการใช้ข้อมูลผลการทดสอบกึ่งเรื้อรัง

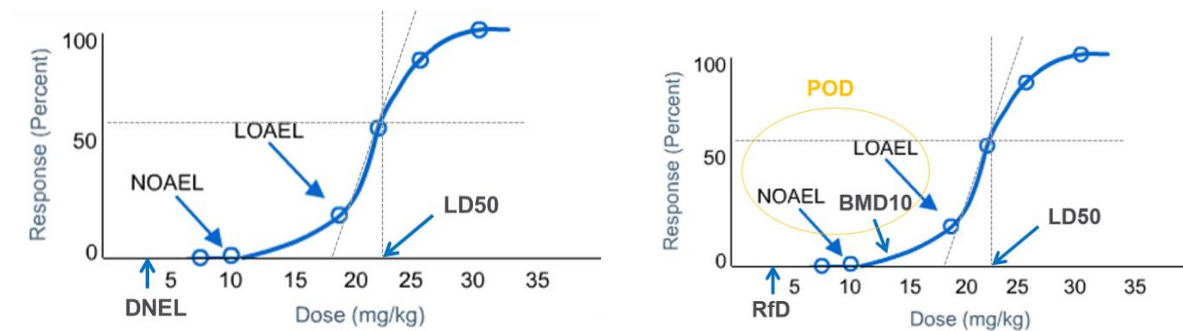
MF (Modifying factor) คือค่าที่ใช้สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่น่ามาใช้

ทั้งนี้ US.EPA ได้กำหนดค่า UF และ MF สำหรับการประเมินความเสี่ยง ดังแสดงในตารางที่ ข-๑

ตารางที่ ข - ๑ ค่า UF และ MF สำหรับการประเมินความเสี่ยง ของ US. EPA.

ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนสำหรับการประเมินความเสี่ยง		ค่าที่ใช้
UF1	สำหรับความแตกต่างด้านความไวต่อการเกิดโรคในมนุษย์ (Human Variability)	๑๐
UF2	สำหรับความไม่แน่นอนเมื่ออนุมานข้อมูลจากสัตว์ทดลองมาสู่มนุษย์ (Inter-species difference)	๑๐
UF3	สำหรับความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า NOAELs จากการทดสอบแบบกึ่งเรื้อรังมาใช้เป็น NOAELs แบบเรื้อรัง	๑๐
UF4	สำหรับความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า LOAELs แทนที่ใช้ NOAELs	๑๐
MF	สำหรับปัจจัยความไม่แน่นอนเพิ่มเติม เช่น คุณภาพของข้อมูล ความมั่นใจต่อชุดข้อมูล	๑-๑๐

หากพิจารณาแนวทางการพัฒนาค่าอ้างอิง RfD จากข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าอ้างอิง RfD ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่า NOAEL ที่ได้จากผลการทดสอบความเป็นพิษ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและการตอบสนอง (Dose-Response curve) ทั้งนี้ ค่า DNELs ของ EU ก็เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ ข - ๑ ดังนั้นค่าเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความเสี่ยง หากค่าการรับสัมผัส (dose) มีค่าต่ำกว่าค่าขีดกั้น (Toxic Threshold Values) ก็แสดงว่าภาวะการรับสัมผัสนั้นมีความเสี่ยงต่ำมาก



ภาพที่ ข - ๑ การพัฒนาค่า RfD และ DNEL

ที่มา: <https://www.chemsafetypro.com/Topics/CRA/>

ตัวอย่างการพัฒนาค่าอ้างอิง RfD

สมมุติให้สาร X มีรายงานการทดสอบทางพิษวิทยาโดยศึกษาแบบกึ่งเรื้อรังในหนูแรท ระยะเวลาศึกษา ๓ เดือน โดยการทดสอบอ้างอิงว่าได้ปฏิบัติตาม OECD guideline และทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GLP พบว่าขนาดหรือปริมาณสูงสุดของสาร X ที่หนูแรทได้รับแล้วไม่แสดงอาการอันไม่พึงประสงค์ (adverse effect) เท่ากับ ๒๐๐ mg/kg.BW.

$$\text{ค่าอ้างอิง RfD} = \text{NOAELs/UFs}$$

จากตารางที่ ๕-๒ จะสามารถกำหนดค่า UFs = 10 x 10 x 10 ซึ่งมาจาก

UF1 Human Variability คิดเป็น ๑๐

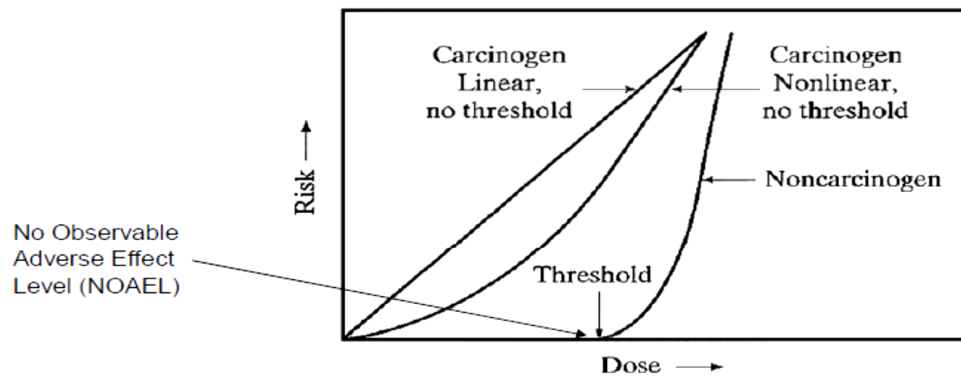
UF2 Inter-species difference คิดเป็น ๑๐

UF3 NOAEL ได้จากแบบแผนการศึกษาจากกึ่งเรื้อรัง คิดเป็น ๑๐

แทนค่าในสูตร $\text{ค่าอ้างอิง RfD} = 200/1000 = 0.2 \text{ mg/kg. BW.}$

หมายเหตุ โดยปกติแล้วการพัฒนา RfD จะใช้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านพิษวิทยาในรูปของคณะกรรมการ เนื่องจากต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของการทดสอบในสัตว์ทดลองก่อนจะนำค่าเหล่านั้นมาใช้

รูปแบบที่ ๒ การก่อมะเร็ง (Carcinogenic effect) ในกรณีที่สารเคมีก่อผลทำให้เกิดมะเร็งได้นั้น ศักยภาพการก่อมะเร็งของสารเคมีจัดว่า “ไม่มีค่าขีดกั้น (no threshold)” กล่าวคือ แม้ได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายเพียงเล็กน้อย ก็มีโอกา (Probability) เกิดมะเร็ง ดังนั้นจึงใช้ค่าศักยภาพก่อมะเร็ง (Carcinogenic potency slope : CPS) เพื่อบ่งชี้ถึงศักยภาพในการก่อมะเร็งสำหรับสารเคมีแต่ละชนิด โดยที่สารก่อมะเร็งที่มีค่า CPS สูง แสดงว่ามีโอกา ก่อให้เกิดมะเร็งได้มากกว่า สารก่อมะเร็งที่มีค่า CPS ต่ำ ทั้งนี้แนวทางการกำหนดค่า CPS มีหลายวิธีขึ้นกับความสมบูรณ์ของข้อมูลและความแน่ชัดในกลไกการเกิดมะเร็ง อาทิ One-hit model, Multihit model, Multistage model, Probit model, หรือ Weibull model เป็นต้น โดยที่ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดมะเร็ง (Cancer Incidents) กับปริมาณสารเคมี (Dose) อาจมีรูปแบบทั้งแบบเป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรง ดังภาพที่ ข - ๒



Dose-response curves for carcinogens are assumed to have no threshold; that is, any exposure produces some chance of causing cancer.

(Source: Masters, 1998, Figure 4.8 page 137)

ภาพที่ ข - ๒ ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดมะเร็ง (Cancer Incidents) กับปริมาณสารเคมี (Dose)

ค่า CPS ได้จากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดมะเร็งกับขนาด (Dose response curve) มีหน่วยเป็น $(\text{mg/kg. day})^{-1}$ จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็ง โดยแสดงในรูปของโอกาสการเกิดมะเร็งในมนุษย์ตลอดช่วงชีวิตเมื่อรับสัมผัสสารเคมีที่มีศักยภาพก่อมะเร็ง ทั้งนี้การพิจารณาใช้ค่า CPS ต้องควบคู่ไปกับการพิจารณาหลักฐานการจำแนกกลุ่มของสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ซึ่ง US.EPA. ได้จำแนกกลุ่มสารก่อมะเร็งเป็น กลุ่ม A-E ตามน้ำหนักหลักฐานการก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ ดังตารางที่ ข - ๒

ตารางที่ ข - ๒ การจำแนกกลุ่มสารก่อมะเร็งของ US.EPA.

กลุ่มสารก่อมะเร็ง		หลักฐานการก่อมะเร็ง
A		เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ Human carcinogen โดยที่มีหลักฐานการก่อมะเร็งในมนุษย์ชัดเจน
B	B1	มีความน่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง โดยที่มีหลักฐานการก่อมะเร็งในมนุษย์จำกัด
	B2	มีความน่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง โดยที่มีหลักฐานเพียงพอของการก่อมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานในมนุษย์ไม่เพียงพอ หรือไม่มี
C		มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารก่อมะเร็ง
D		ไม่จัดเป็นกลุ่มสารก่อมะเร็งในมนุษย์
E		มีหลักฐานแสดงว่าไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์

ข้อควรทราบ สารเคมีตัวหนึ่ง ๆ อาจก่อให้เกิดโรคหรือการเจ็บป่วยอื่นและอาจมีศักยภาพก่อมะเร็ง ในขณะที่สารบางชนิดอาจไม่มีศักยภาพก่อมะเร็งก็ได้ สารบางชนิดมีผลก่อพิษเฉียบพลันเท่านั้น หรือบางชนิดมีผลก่อพิษแบบเรื้อรังร่วมด้วย ดังนั้นการทบทวนความเป็นพิษจึงสำคัญมาก รวมทั้งการพิจารณาเส้นทางการสัมผัสและช่องทางเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากสารเคมีอาจมีค่าอ้างอิง RfD ที่แตกต่างกันสำหรับช่องทางเข้าสู่ร่างกายที่ไม่เหมือนกัน เช่น หากสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการกิน จะใช้ค่าอ้างอิง RfD oral หรือ RfDo แต่กรณี que เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ จะใช้ค่าอ้างอิง Reference Concentration หรือ RfC เป็นต้น นอกจากนี้ค่าอ้างอิง RfD มักใช้สำหรับประเมินความเสี่ยงโรคเรื้อรังหรือการได้รับสารเคมีระยะเวลานาน เพื่อหาค่าความเสี่ยงที่จะเกิดโรคตลอดช่วงเวลารับสัมผัส แต่ถ้าต้องการประเมินความเสี่ยงแบบพิษเฉียบพลัน ให้พิจารณาเลือกใช้ค่า acute RfD

สำหรับการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็ง มักดำเนินการในสารก่อมะเร็งกลุ่ม A หรือ B1 หรือ B2 แต่หากสารเคมีนั้นจัดเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม C D หรือ E ก็มักจะไม่ต้องดำเนินการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็ง ซึ่งผู้ประเมินต้องแสดงหลักฐานที่นำไปสู่ข้อสรุปนี้ให้ชัดเจน ทั้งนี้ควรเลือกใช้ ค่า CPS ให้เหมาะสมกับช่องทาง การเข้าสู่ร่างกายด้วยเช่นกัน สามารถสืบค้นข้อมูล Hazard Assessment Values ได้ที่ <http://www.epa.gov/iris> ซึ่งเป็นของหน่วยงานของ US.EPA. หรือ <https://rais.ornl.gov/index.html> (the risk assessment information system) ซึ่งจะมีทั้งข้อมูล chemical profile และ Toxicity values นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานของ EU ที่ <https://echa.europa.eu/registration-dossier> หรือ <https://gestis-database.dguv.de/> เป็นต้น ตัวอย่างค่า Hazard Assessment Values ดังตารางที่ ข - ๓ และ ข - ๔

ตารางที่ ข - ๓ ค่าอ้างอิง RfD ระดับความเชื่อมั่นข้อมูล และค่า UF และ MF ของฟีนอลและไนโตรเบนซีน

สารเคมี	Chronic RfD ^a (มก./กก.วัน)	ค่าความ เชื่อมั่น ^b	ผลกระทบที่ สำคัญ	มูลฐานของ RfD/แหล่งที่มา	UF และ MF
ช่องทางทางการกิน					
ฟีนอล	๐.๖*	ปานกลาง	ไตและตับ	น้ำ ^c /IRIS	UF = ๑,๐๐๐ ^d สำหรับ H,A,S,L MF = 1
ไนโตรเบนซีน	๐.๐๐๐๕*	ปานกลาง	ระบบเลือด ต่อมหมวกไต ไตและตับ	น้ำ ^c /IRIS	UF = ๑๐,๐๐๐ สำหรับ H,A,S,L MF = 1
ช่องทางทางการหายใจ					
---	---	---	---	---	---

* ค่าที่ใช้สำหรับการอธิบายในตัวอย่างเท่านั้น

a ค่าความเป็นพิษแบบกึ่งเรื้อรังหรือ ความเป็นพิษระยะสั้นสามารถใช้รูปแบบตารางที่คล้ายกันได้

b ค่าความเชื่อมั่นจากฐานข้อมูล IRIS ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ

c ค่าอ้างอิง (RfD) แสดงปริมาณการรับสัมผัสจากน้ำดื่ม โดยสมมติให้สัดส่วนการดูดซึมเท่ากับ 1

d ค่าปัจจัยค่าความไม่แน่นอน (1,000) โดยอนุมานข้อมูลจาก H,A,S และ L

กำหนดให้: H คือ ความแตกต่างด้านความไวต่อการเกิดโรคในมนุษย์

A คือ ความไม่แน่นอนเมื่ออนุมานข้อมูลจากสัตว์ทดลองมาสู่มนุษย์

S คือ ความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า NOAELs จากการทดสอบแบบกึ่งเรื้อรังมาใช้เป็น NOAELs แบบเรื้อรัง

L คือ ความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า LOAELs แทนที่ใช้ NOAELs

ตารางที่ ข - ๕ ค่าศักยภาพการก่อมะเร็ง CPS การจำแนกกลุ่มสารก่อมะเร็ง ของเบนซีนและคลอเดน

สารเคมี	Slope Factor (มก./กก.วัน) ⁻¹	หลักฐานการจำแนกกลุ่ม ของสารก่อมะเร็ง	ชนิดของมะเร็ง ^a	มูลฐานของ SF/ แหล่งที่มา
ช่องทางการกิน				
เบนซีน	0.02๙*	A*	ลูคีเมีย	น้ำ ^b /IRIS
คลอเดน	๑.๓*	B2*	---	น้ำ ^c /IRIS
ช่องทางการหายใจ				
---	---	---	---	---

* ค่าที่ใช้สำหรับการอธิบายในตัวอย่างเท่านั้น

a ค่าความเป็นพิษแบบกึ่งเรื้อรังหรือ ความเป็นพิษระยะสั้นสามารถใช้รูปแบบตารางที่คล้ายกันได้

b ค่าศักยภาพก่อมะเร็ง (Slope factor) มีรากฐานจากการรับสัมผัสจากน้ำดื่ม โดยสมมติให้สัดส่วนการดูดซึมเท่ากับ ๑

ตัวอย่างการพัฒนา ค่า DNELs สำหรับเอทานอล ethanol โดย EU ตั้งอยู่บนพื้นฐานการเป็นไปได้ของการรับสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเอทานอลไม่มีพิษแบบเฉพาะที่ (no adverse local effects), จึงไม่มีค่า DNELs สำหรับผลเฉพาะที่ โดยค่า DNELs กำหนดขึ้นสำหรับผู้รับสัมผัส ๒ กลุ่ม คือ คนงาน และประชาชนทั่วไป และให้เหมาะสมกับรูปแบบการรับสัมผัส ดังตารางที่ ข - ๕

ตารางที่ ข - ๕ ค่า DNELs ของสารเอทานอลจำแนกตามรูปแบบการสัมผัสและกลุ่มผู้สัมผัส

รูปแบบการสัมผัส	คนงาน	ประชาชนทั่วไป
เฉียบพลัน – การหายใจ, พิษตามระบบร่างกาย	๙๕๐ mg/m ³	๙๕๐ mg/m ³
เฉียบพลัน – ผิวหนัง, พิษเฉพาะที่	X (ไม่เกี่ยวข้อง)	X (ไม่เกี่ยวข้อง)
เฉียบพลัน – การหายใจ, พิษเฉพาะที่	X (ไม่เกี่ยวข้อง)	X (ไม่เกี่ยวข้อง)
ระยะยาว – ผิวหนัง, พิษตามระบบร่างกาย	๓๔๓ mg/kg bw/day	๒๐๖ mg/kg bw/day
ระยะยาว – การหายใจ, พิษตามระบบร่างกาย	๑,๙๐๐ mg/m ³ /day	๑๑๔ mg/m ³ /day
ระยะยาว – ปาก, พิษตามระบบร่างกาย	X (ไม่เกี่ยวข้อง)	๘๗ mg/kg bw/day
ระยะยาว – ผิวหนัง, พิษเฉพาะที่	X (ไม่เกี่ยวข้อง)	X (ไม่เกี่ยวข้อง)
ระยะยาว – การหายใจ, พิษเฉพาะที่	X (ไม่เกี่ยวข้อง)	X (ไม่เกี่ยวข้อง)

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อดมเร่งและค่าความเสี่ยงก่อโรคอื่นและคำอธิบายผล

ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าความเสี่ยงแบบก่อดมเร่ง

สารเคมี	CDI (มก./กก. วัน)	CDI Adj. for Absorption	SF (มก./ กก.วัน) ⁻¹	Weight of Evidence	Type of Cancer ^a	SF Source	SF Basis (Vehicle)	Chemical - specific Risk ^b	Total Pathway Risk ^b	Total Exposure Risk ^b
เส้นทางการรับสัมผัส: การกินน้ำบาดาลจากบ่อส่วนตัวที่มีสารปนเปื้อน										
เบนซีน	0.00025*	ไม่มี	0.029*	A*	ลูคีเมีย	HEA	น้ำ ^c	7x10 ⁻⁶		
คลอเดน	0.00015*	ไม่มี	1.3*	B2*		IRIS	น้ำ ^c	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁶	
เส้นทางการรับสัมผัส: การกินเนื้อปลาที่มีสารปนเปื้อน										
คลอเดน	0.00008*	ไม่มี	1.3*	B2*		IRIS	น้ำ ^c	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	
ประชากรที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ Y: ค่าความเสี่ยงรวม (Total cancer risk) โดยหลักฐานการก่อดมเร่งจัดอยู่ในกลุ่ม B2 ^d										3x10 ⁻⁶

* ค่าที่ใช้สำหรับการอธิบายในตัวอย่างเท่านั้น

SF = Slope Factor

a ระบุชนิดของมะเร็งในตารางเฉพาะที่มีหลักฐานการก่อดมเร่งในกลุ่ม A เท่านั้น

CDI = Chronic

Daily Intake

b ความเสี่ยงการก่อดมเร่งทั้งหมดควรแสดงเป็นค่าเดียวเท่านั้น

c ค่าศักยภาพก่อดมเร่ง (Slope factor) แสดงปริมาณการรับสัมผัสจากน้ำดื่ม โดยสมมติให้สัดส่วนการดูดซึมเท่ากับ 1

d สรุปหลักฐานการจำแนกกลุ่มของสารก่อดมเร่งเพื่อการประมาณความเสี่ยงการก่อดมเร่ง

คำอธิบายของตัวอย่างรูปแบบตารางสำหรับการประมาณค่าความเสี่ยงการก่อดมเร่ง

รูปแบบตารางตัวอย่างสำหรับสรุปค่าคาดประมาณค่าความเสี่ยงก่อดมเร่งแสดงในเอกสารข้างต้น สำหรับการดำเนินงานประเมินความเสี่ยงพื้นฐาน (Baseline Risk Assessment) แต่ครั้ง โดยทั่วไปจะต้องมีตารางสรุปอย่างน้อยสองตาราง: ตารางแรกสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ณ ปัจจุบันและอีกตารางหนึ่งสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ทั้งนี้ตัวอย่างในภาคผนวกนี้ เส้นทางการรับสัมผัสสองเส้นทางถูกกำหนดให้มีส่วนทำให้เกิดการสัมผัสของประชากรที่อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงภายใต้การใช้ที่ดินในปัจจุบัน เป็นกรณีที่เหมาะสมการรับสัมผัสของประชากรที่อยู่ใกล้เคียงที่อยู่อาศัยซึ่งได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน สำหรับเส้นทางการรับสัมผัส ประกอบด้วย การดื่มน้ำจากบ่อบาดาลส่วนตัวซึ่งปนเปื้อนด้วยสารเบนซีนและคลอรีน และการกินปลาที่ปนเปื้อนด้วยคลอเดน ยิ่งไปกว่านั้น ประชากรบางส่วนในพื้นที่ Y ได้รับสัมผัสน้ำจากบ่อที่มีสารปนเปื้อนสูงที่สุด และบริโภคปลาที่จับได้ในท้องถิ่นมากกว่าประชากรส่วนที่เหลือ

ค่าปริมาณการรับสัมผัส (CDI) โดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาของการสัมผัสของสารปนเปื้อนแต่ละชนิด โดยเส้นทางการรับสัมผัสแต่ละเส้นทางจะพิจารณาจากตารางที่แสดงไว้ สำหรับค่าปริมาณการรับสัมผัสในน้ำบาดาลไม่มีการปรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม เนื่องจากค่าศักยภาพก่อดมเร่ง (SF) ของสารเหล่านี้ตั้งอยู่บน

ข้อสันนิษฐานของการกินน้ำและสัดส่วนการดูดซึม (๑.๐) ทั้งนี้ปริมาณการรับสัมผัสสารคลอเดนในปลาไม่ได้ถูกปรับสำหรับตัวกลางการรับสัมผัสเช่นกัน เนื่องจากข้อมูลสัมประสิทธิ์การดูดซึมมีจำกัด และตั้งข้อสันนิษฐานเชิงอนุรักษ์ จึงใช้ค่าสัดส่วนการดูดซึม (๑.๐) แต่หากมีข้อมูลที่บ่งชี้ว่าร่างกายสามารถดูดซึมสารคลอเดนจากการกินปลาที่ปนเปื้อนได้เพียงร้อยละ ๑๐ เท่านั้น ดังนั้น ปริมาณการรับสัมผัสสำหรับสารคลอเดนอาจถูกปรับลงเป็น ๐.๐๐๐๐๐๘ มก./กก.วัน (เช่น ๐.๐๐๐๐๘ มก./กก.วัน $\times$ ๐.๑๐ หรือค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม)

ค่าศักยภาพก่อมะเร็ง (SF) หลักฐานการจำแนกกลุ่มของสารก่อมะเร็ง ชนิดของมะเร็ง (สำหรับสารก่อมะเร็งในกลุ่ม A) แหล่งที่มาของค่าศักยภาพก่อมะเร็ง (SF) และพื้นฐานของค่าศักยภาพก่อมะเร็ง (สื่อสิ่งแวดล้อมและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม) จะพิจารณาจากตารางที่แสดงไว้ ค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งของสารเคมีจำเพาะคำนวณจากค่า $CDI \times SF$ ผลรวมความเสี่ยงของสารเคมีทั้งสองชนิดจากการดื่มน้ำบาดาล และนำค่าความเสี่ยงของทั้งสองเส้นทางมารวมกันจะได้ค่าความเสี่ยงรวม (Total Cancer Risk) ของประชากรในพื้นที่ Y

ข้อสังเกต แม้ว่าค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งจากการรับสัมผัสสารคลอเดนส่งผลต่อค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งรวมทั้งหมดมากกว่าสารเบนซีน แต่จากหลักฐานการจำแนกกลุ่มสารก่อมะเร็ง สารคลอเดนจัดเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม B2

ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณค่าความเสี่ยงโรคอื่นที่ไม่ใช่ก่อมะเร็ง

สารเคมี	CDI (มก./กก. วัน)	CDI Adj. for Absorption	RfD (มก./ กก.วัน)	Confi dence Level	Critical Effect	RfD Source	RfD Basis (Vehicle)	RfD uncertainty Adjustments	Modifying Factor	Hazard Quotient ^a	Pathway Hazard Index ^a	Total Exposure Hazard Index ^a
เส้นทางการรับสัมผัส: การกินน้ำบาดาลจากบ่อส่วนตัวที่มีสารปนเปื้อน												
ฟีนอล	๐.๑*	ไม่มี	๐.๖*	ปาน กลาง	ไต ตับ	IRIS	น้ำ ^c	H,A,S,L ^{*d}	๑*	๐.๒		
ไนโตรเบนซีน	๐.๐๐๐๑*	ไม่มี	๐.๐๐๐๕*	ปาน กลาง	มีผล หลาย ระบบ	IRIS	น้ำ ^c	H,A,S,L*	๑*	๐.๒		
ไซยาไนด์	๐.๐๐๐๓*	ไม่มี	๐.๐๒*	ปาน กลาง	ไทรอยด์	IRIS	น้ำ ^c	H,A*	๕*	๐.๐๒		๐.๔ ^b
เส้นทางการรับสัมผัส: การกินปลาที่มีสารปนเปื้อน												
ฟีนอล	๐.๘*	มี	๐.๖*	ปาน กลาง	ไต ตับ	IRIS	น้ำ ^c	H,A,S,L ^{*d}	๑*	๐.๑		
MEK	๐.๐๐๕*	มี	๐.๐๕*	ปาน กลาง	ระบบ ประสาท ส่วนกลาง fetotox	IRIS	น้ำ ^c	H,A,S*	๑*	๐.๑		๐.๒ ^b
ประชากรที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ Y: ค่าความเสี่ยงรวม (Total Chronic hazard Index)												๐.๖ ^b

* ค่าที่ใช้สำหรับการอธิบายในตัวอย่างเท่านั้น

a ดัชนีอันตรายทั้งหมด และสัดส่วนอันตรายควรแสดงและนำเสนอเป็นค่าเดียวเท่านั้น

b ถ้าดัชนีอันตรายมากกว่า ๑

c ค่าอ้างอิง (RfD) แสดงปริมาณการรับสัมผัส

d ค่าปัจจัยค่าความไม่แน่นอน (๑,๐๐๐) โดยอนุมานข้อมูลจาก H,A,S และ L โดย ค่าความเชื่อมั่นจากฐานข้อมูล IRIS ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ

ตัวอย่างของค่าปัจจัยค่าความไม่แน่นอน: ปัจจัย (๑๐)

H คือ ความแตกต่างด้านความไวต่อการเกิดโรคในมนุษย์

A คือ ความไม่แน่นอนเมื่ออนุมานข้อมูลจาก

สัตว์ทดลองมาสู่มนุษย์

S คือ ความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า NOAELs จากการทดสอบแบบกึ่งเรื้อรังมาใช้เป็น NOAELs แบบเรื้อรัง

L คือ ความไม่แน่นอนเมื่อนำค่า LOAELs แทนที่ใช้ NOAELs

MF = Modifying factor
for EPA verified RfDs.This factor represents
professional judgementon overall data base
not specificallyaddressed by
uncertainty

adjustments

CDI = Chronic Daily
IntakeRfD = Chronic
Reference Dose

คำอธิบายของตัวอย่างรูปแบบตารางสำหรับการประมาณค่าดัชนีความเป็นอันตรายเรื้อรัง

รูปแบบตารางตัวอย่างสำหรับการสรุปค่าประมาณดัชนีความเป็นอันตรายเรื้อรังแสดงในภาคผนวกนี้ สำหรับการประเมินความเสี่ยงพื้นฐานแต่ละครั้ง โดยทั่วไปจะต้องมีตารางสรุปอย่างน้อยสองตาราง ตารางแรกสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ณ ปัจจุบันและอีกตารางหนึ่งสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ทั้งนี้ตัวอย่างเป็นกรณีที่ประเมินการสัมผัสของประชากรที่อยู่ใกล้แหล่งที่อยู่อาศัยซึ่งได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน สำหรับเส้นทางการสัมผัส ประกอบด้วย การดื่มน้ำจากบ่อบาดาลส่วนตัวซึ่งมีสารปนเปื้อน ได้แก่ ฟีนอล ไนโตรเบนซีน และไซยาไนด์ และการกินปลาที่ปนเปื้อนด้วยฟีนอลและเมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ยิ่งไปกว่านั้น ประชากรบางส่วนในพื้นที่ Y ได้รับสัมผัสน้ำจากบ่อที่มีสารปนเปื้อนสูงที่สุด และบริโภคปลาที่จับได้ในท้องถิ่น มากกว่าประชากรส่วนที่เหลือ

ค่าปริมาณการสัมผัส (CDI) โดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาของการสัมผัสของสารปนเปื้อนแต่ละชนิด โดยเส้นทางการสัมผัสแต่ละเส้นทางจะพิจารณาจากตารางที่แสดงไว้ สำหรับค่าปริมาณการสัมผัสในน้ำบาดาล ไม่มีการปรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม เนื่องจากค่า RfD ของสารเหล่านี้ขึ้นกับการกินน้ำและสัดส่วนการดูดซึม (๑.๐) ทั้งนี้ ปริมาณการสัมผัสของฟีนอลและสาร MEK ในปลาไม่ได้ถูกปรับสำหรับตัวกลางการสัมผัสเช่นกัน (เช่น อาหาร และน้ำ) เนื่องจากข้อมูลสัมประสิทธิ์การดูดซึมมีจำกัด และใช้ค่าสัดส่วนการดูดซึม (๑.๐) ซึ่งถือเป็นสมมติฐานทั่วไป ทั้งนี้หากมีข้อมูลที่บ่งชี้ว่าร่างกายสามารถดูดซึมสาร MEK จากการกินปลาที่ปนเปื้อนได้เพียงร้อยละ ๒๐ เท่านั้น ดังนั้น ปริมาณการสัมผัสสำหรับ MEK อาจถูกปรับลงเป็น ๐.๐๐๑ มก./กก.วัน (เช่น ๐.๐๐๕ มก./กก.วัน x ๐.๒๐ หรือค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม)

ค่าอ้างอิง (RfD) ระดับความเชื่อมั่นในค่าอ้างอิง ผลกระทบที่สำคัญ แหล่งที่มาของค่าอ้างอิง และพื้นฐานของค่าอ้างอิง (สื่อสิ่งแวดล้อมและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม) จะพิจารณาจากตารางที่แสดงไว้ ค่าสัดส่วนอันตรายของสารเคมีเท่ากับปริมาณการสัมผัส (CDI) หารด้วยค่าอ้างอิง (RfD) กรณีนี้มีสารมากกว่า ๑ ชนิดจึงคำนวณค่าความเสี่ยงรวม (HI) ของแต่ละเส้นทางการสัมผัส จากนั้นให้หาค่า HI ทั้งสองเส้นทางการสัมผัสรวมกัน เพื่ออธิบายความเสี่ยงของประชากรในพื้นที่ Y

ภาคผนวก ง

แนวทางการจัดทำข้อมูลความเป็นพิษและค่าความเป็นพิษ

ตัวอย่างลักษณะและการทดสอบผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

- การทดสอบนิเวศทางน้ำ และตะกอนท้องน้ำ (Freshwater Aquatic and Sediment Tests)
 - ไรสน้ำตาล (Daphnia), ปลาสร้อย (minnow), สาหร่าย (algae), แอมฟิพอด (amphipod)
- การทดสอบนิเวศทางทะเลและน้ำเค็ม (Marine and Estuarine Tests)
 - Sheepshead minnow, silverside, mysid shrimp
- การทดสอบนิเวศทางบก (Terrestrial Tests)
 - Earthworm, collembola, seed germination and root elongation, growth on rooted plants, FETAX (Frog embryo teratogenesis assay - Xenopus)
- เป้าหมายการวัดทางพิษวิทยา (Toxicological Endpoints)
 - ค่า NOAEL = No observable adverse effect level
 - ค่า LOAEL = Lowest observable adverse effect level
 - ค่า LC₅₀ = Lethal Concentration 50
 - ค่า EC = Effective Concentration
- เป้าหมายการทดสอบเรื้อรัง (Endpoint of Chronic Testing)
 - การเจริญเติบโต (Growth)
 - การสืบพันธุ์ (Reproduction)
 - การทำลายระบบประสาท (Nerve function impairment)
 - การลดการเคลื่อนไหว หรือการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Immobility or behavioral changes)
 - รูปร่างเจริญผิดปกติ (Development of morphological abnormalities)

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงสำหรับวิธีการทดสอบมาตรฐาน

- Greene, J.C., Bartels, W.J. Warren-Hicks, B.R. Parkhurst, G.L. Linder, S.A. Peterson, and W.E. Miller. 1989. Protocols for Short-Term Toxicity Screening of Hazardous Waste Sites. EPA/600/3-88/029. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA, Corvallis, OR
- Weber, C.I., W.I. Horning, D.J. Claim, T.W. Neiheisel, P.A. Lewis, E.L. Robinson, J. Menkedick, and F. Kessler. 1988. Short-Term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Marine and Estuarine Organisms. EPA/600/4-87/028. Environmental Monitoring and Support Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA, Cincinnati, OH.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1992. Standard Guide for Conducting Sediment Toxicity Tests with Freshwater Invertebrates. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 23 pp.
- OECD. No 171: Fish toxicity framework test และ No 95: Detailed review paper on fish life-cycle tests

๑) **การจัดทำข้อมูลด้านพิษวิทยา (Toxicity profile)** โดยการรวบรวมข้อมูลแสดงความเป็นพิษเชิงนิเวศของสารเคมี/สิ่งคุกคาม ต่อเป้าหมายการประเมิน (Assessment endpoints) ทั้งนี้อาจได้จากการทดสอบหรือใช้ โปรแกรม Structure Activity Relationship (SAR) ในการคาดการณ์ความเป็นพิษ โดยอาจแสดงพิษเฉียบพลัน หรือ พิษเรื้อรัง ของสัตว์ ๓ สปีชีส์ ที่เป็นตัวแทนของการทดสอบ เช่น หากคาดการณ์ผลกระทบต่อนิเวศน้ำ ข้อมูลแสดงความเป็นพิษเชิงนิเวศดังแสดงในตารางที่ ง - ๑

ตารางที่ ง - ๑ พิษเฉียบพลัน หรือ พิษเรื้อรัง ของสัตว์ ๓ สปีชีส์

พิษเฉียบพลัน	พิษเรื้อรัง
ค่า LC50 ปลา	ค่า ChV ปลา
ค่า LC50 ไรสีน้ำตาล Daphnid-48 ชม.	ค่า ChV ไรสีน้ำตาล Daphnid
ค่า EC50 green algae-96 ชม.	ค่า ChV green algae

หมายเหตุ ChV = Chronic Value

กรณีที่มีค่าการทดสอบเฉพาะพิษแบบเฉียบพลัน สามารถนำผลมาใช้ในการแปลงค่าเป็นระดับความเป็นพิษแบบเรื้อรังได้ โดยใช้ สัดส่วนเฉียบพลันต่อเรื้อรัง (Acute-to-chronic ratios: ACR) ดังแสดงในตารางที่ ง - ๒

ตารางที่ ง - ๒ สัดส่วนเฉียบพลันต่อเรื้อรัง (Acute-to-chronic ratios) จำแนกตามประเภทสารเคมี

ประเภทสารเคมี	Acute-to-Chronic Ratios		
	ปลา	Daphnid	Green Algae
Neutral organic	๑๐	๑๐	๔
Classes with excess toxicity	๑๐	๑๐	๔
Polycationic Polymers	๑๘	๑๔	๔
Nonionic Surfactants	๕	๕	๔
Anionic Surfactants	๖.๕	๖.๕	๔

หมายเหตุ

- ๑) Neutral Organics หมายถึง nonionizable and nonreactive and act via simple nonpolar narcosis (ภาวะง่วงหลับ หมดความรู้สึก) ประเภทของสารเคมีที่มีผลทำให้เกิด narcosis ได้แก่ alcohols, ketones, ethers, alkyl halides, aryl halides, aromatic hydrocarbons, aliphatic hydrocarbons, cyanates, sulfides, และ disulfides
- ๒) Organic Chemicals with Excess Toxicity – สารอินทรีย์บางประเภทมีการเกิดพิษที่จำเพาะซึ่งขึ้นอยู่กับ reactive functional groups (Hermens 1990). สารเคมีเหล่านี้จะเป็นพิษมากกว่าที่ทำนายและมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากกว่าหนึ่งชนิด Chemicals which exhibit excess toxicity ได้แก่, acrylates, methacrylates, aldehydes, anilines, beta-diketones (linear forms), benzotriazoles, esters, phenols, aziridines, และ epoxides.
- ๓) Cationic Polymers – Cationic polymers มักก่ออันตรายต่อนิเวศทางน้ำ หมายถึง โพลีเมอร์ที่มีประจุสุทธิเป็นบวก (net positive charge) หรือ ที่จะกลายเป็นประจุบวกเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อม (become cationic in the environment)
- ๔) ภายในโปรแกรม ECOSAR, สารลดแรงตึงผิว (surfactants) จะถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มโดยใช้เกณฑ์ประจุสุทธิ (total charge) ได้แก่ anionic (net negative charge), cationic (net positive charge), nonionic (neutral), และ amphoteric surfactants.

๒) ค่าทำนายความเข้มข้นที่ไม่ก่อผลกระทบ หรือ เรียกว่า PNEC (Predicted No Effect Concentration)

เมื่อจัดทำข้อมูลของความเป็นพิษ (Toxicity Profile) ได้แล้ว ให้ใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่า PNEC ตามสูตรดังนี้

สำหรับการตั้งค่า PNEC พิษเฉียบพลัน: ให้นำค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน หาด ด้วย ตัวเลขที่ใช้ในการปรับค่า (assessment factor) ดังนี้

- ค่า PNEC พิษเฉียบพลัน สำหรับปลา fish = $LC_{50} / (๕)$
- ค่า PNEC พิษเฉียบพลัน สำหรับ daphnia = $LC_{50} / (๕)$
- ค่า PNEC พิษเฉียบพลัน สำหรับ algae = $ChV \text{ or } EC_{50} / (๔)$

สำหรับการตั้งค่า PNEC พิษเรื้อรัง: ให้นำค่าความเป็นพิษเรื้อรัง หาด ด้วย ตัวเลขที่ใช้ในการปรับค่า (assessment factor) ดังนี้

- ค่า PNEC พิษเรื้อรัง สำหรับปลา fish = $ChV / (๑๐)$
- ค่า PNEC พิษเรื้อรัง สำหรับ daphnia = $ChV / (๑๐)$
- ค่า PNEC พิษเรื้อรัง สำหรับ algae = $ChV / (๑๐)$

ตัวอย่าง: หากสมมติว่า ค่าพิษเรื้อรัง Daphnid $ChV = ๐.๐๒ \text{ mg/L}$ ดังนั้น ค่า PNEC พิษเรื้อรัง สำหรับ daphnia = $(๐.๐๒ \text{ mg/L}) / ๑๐ = ๐.๐๐๒ \text{ mg/L (ppm)}$

ในกรณีที่ข้อมูลความเป็นพิษมีจำกัด กล่าวคือ มีข้อมูลในสัตว์ไม่ครบ ๓ สปีชีส์ หรือ มีการทดสอบระยะสั้นเท่านั้น (กล่าวคือ ไม่มีการทดสอบระยะยาว) การนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้กำหนด ค่าทำนายความเข้มข้นที่ไม่ก่อผลกระทบ หรือ PNEC จะต้อง หาด ด้วย ตัวเลขที่ใช้ในการปรับค่า (assessment factor) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ ง-๓

ตารางที่ ง - ๓ ตัวเลขใช้ปรับค่า (Assessment factors) ในกรณีที่ข้อมูลมีจำกัด ใช้สำหรับคาดการณ์ค่า PNEC สำหรับนิเวศน้ำจืด

ข้อมูลที่มี (Available Data)	Assessment factors
มีการทดสอบระยะสั้นเพียง ๑ แบบ-LC50 โดยมีข้อมูลทดสอบของทั้ง ๓ สปีชีส์ (fish, Daphnia และ algae)	๑,๐๐๐
มีการทดสอบระยะยาว ๑ แบบ-NOEC (ทดสอบในปลา หรือ Daphnia)	๑๐๐
มีการทดสอบระยะยาว ๒ แบบ-NOECs จากการทดสอบในสปีชีส์ที่มีลำดับชั้นการบริโภคต่างกัน	๕๐
มีการทดสอบระยะยาว -NOECs จากการทดสอบใน ๓ สปีชีส์ (ปกติทดสอบใน fish, Daphnia และ algae) เป็นตัวแทน ๓ ลำดับชั้นการบริโภค	๑๐
ทดสอบด้วยวิธีกระจายสปีชีส์ที่ไวต่อการสัมผัส Species sensitivity distribution (SSD) method	๕-๑ (พิจารณาแบบเคสต่อเคส)
มีการทดสอบภาคสนามหรือจำลองระบบนิเวศ	พิจารณาแบบเคสต่อเคส

ทั้งนี้สามารถเลือกใช้ตาราง Assessment factors ในกรณีที่ข้อมูลจำกัด ใช้สำหรับคาดการณ์ ค่า PNEC สำหรับนิเวศด้านอื่น อาทิ น้ำทะเล ตะกอนท้องน้ำ หรือดิน ซึ่งสืบค้นได้จาก Technical Guidance Document on Risk Assessment. Institute for Health and Consumer Protection; European Chemicals Bureau. EUR 20418 EN/2

เอกสารอ้างอิง

- บริษัท กรีน วอเตอร์ ทรีท จำกัด. (๒๕๕๘). การบำบัดน้ำเสียชีวภาพ. แหล่งอ้างอิง: <https://www.greenwatertreat.com/๑๕๔๖๘๔๑๐/> สืบค้นเมื่อวันที่ ๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๖.
- สันติ แสงเลิศไสว. (๒๕๖๕). การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: วิธีวัดความพึงพอใจโดยตรง (*Economic Valuation for Natural Resources and Environment: Stated Preference Method*). คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมหญิง ทัททิกรณ์. (๒๕๖๔). โครงการประเมินมูลค่าบางประการของสัตว์ป่าทางเศรษฐศาสตร์: กรณีศึกษานกแว่นสีเทาเพื่อเป็นต้นแบบ ในการประเมินมูลค่าสัตว์ป่า ตาม พรบ. สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. ๒๕๖๒. หน้า ๑๐๙ -๑๒๕. ใน ผลงานวิจัยและ รายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี ๒๕๖๓. กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและ พันธุ์พืช. กรุงเทพฯ.
- อดิษฐ์ อีสรางกูร ณ อยุธยา. (๒๕๔๒). การประเมินมูลค่าสิ่งแวดล้อม: คืออะไร ทำอย่างไร และทำเพื่อใคร. คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ, อันดับที่ ๓๒๗๙.
- DEFRA. (2002). Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies. *Remediation of Contaminated Land Technology Implementation in Europe*. Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), Federal Environment Agency. Austria.
- FAO. (2015). *Revised World Soil Charter*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved on 17 January 2023 from URL: <http://www.fao.org/3/a-i4965e.pdf>.
- Kaliampakos, D.; Damigos, D.; Karachaliou, T. (2007). *Using the “dry-tomb” technique in the remediation of heavily contaminated land*. Proceedings of the 10th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP 2007) on 11–13 December 2007 at Bangkok, Thailand. pp. 375–389.
- Lohani, B., J.W. Evans, H. Ludwig, R.R. Everitt, Richard A. Carpenter, and S.L. Tu. (1997). *Environmental Impact Assessment for Developing Countries in Asia, 1*, pp. 356.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- MITR WATER. (๒๕๖๕). น้ำผิวดินคืออะไร. แหล่งอ้างอิง <https://mitrwater.com/what-is-surface-water/> สืบค้นเมื่อวันที่ ๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๖.
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L. Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., Armsworth, P., Christie, M., Cornelissen, H., Eppink, F., Farley, J., Loomis, J., Pearson, L., Polasky, S., (2010). *TEEB: the Ecological and Economic Foundations - Chapter 5 – The*

- economics of valuing ecosystem services and biodiversity*. TEEB Publication.
[http://www.teebweb.org/wpcontent/uploads/2013/04/D0-Chapter-5 -The-economics-of-valuing-ecosystem-services-andbiodiversity.pdf](http://www.teebweb.org/wpcontent/uploads/2013/04/D0-Chapter-5-The-economics-of-valuing-ecosystem-services-andbiodiversity.pdf)
- Pierzynski, G.M., Sims, J.T. & Vance, G.F. (2005). *Soils and Environmental Quality*. 2nd edition. Boca Raton, CRC Press. pp. 459.
- Quah, E. and T. S. Tan. (2019). *Valuing the Environment*. ADBI Working Paper 1012. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <https://www.adb.org/publications/valuingenvironment>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. and Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp. 142.
- Scullion, J. (2006). *Remediating Polluted Soils*. *Naturwissenschaften*, 93(2): 51–65.
<https://doi.org/10.1007/s00114-005-0079-5>.
- United States Environmental Protection Agency (US.EPA.). (2000). *A Guide to Developing and Documenting Cost Estimates During the Feasibility Study*. EPA 540-R-00-002.
- United States Environmental Protection Agency (US.EPA.). (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals)*. Interim. Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/R-92/003.
- World Bank. (1994). *Chile: Managing Environmental Problems: Economic Analysis of Selected Issues*. Report No.13061-CH. Washington: World Bank.
- World Bank. (1998). *Environmental Assessment Sourcebook Update: Economic Analysis and Environmental Assessment*. April 1998 No. 23. Washington: World Bank.



0 2298 2387



ส่วนมลพิษจากกากของเสียและสารอันตราย
กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย