คพ.08-044

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

คู่มือ การประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน นับเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่หลายฝ่ายต่างให้ความสนใจ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวล้วนสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ระบบนิเวศ สุขอนามัยและการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ตามมา ทั้งนี้กระบวนการในการจัดการมลพิษจำเป็นจะต้องมีการประเมินค่าเสียหายที่เกิดขึ้น ประเมินความเสี่ยงของประชาชนต่อการได้รับผลกระทบ และกำหนดแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงการชดเชยค่าเสียหายที่เหมาะสม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำคู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย รวมทั้งการประเมินค่าเสียหายหรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวปฏิบัติในการจัดการปัญหาจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษกากของเสียและสารอันตรายในดินหรือน้ำใต้ดิน

กรมควบคุมมลพิษหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการมลพิษ ในการดำเนินการจัดการปัญหาอันเกิดจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษกากของเสียและสารอันตรายในดินหรือน้ำใต้ดินให้ไปในทิศทางเดียวกัน

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหาย รวมทั้งการประเมินค่าเสียหายหรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือขจัดมลพิษเป็นคู่มือที่จัดทำขึ้นภายใต้โครงการศึกษาแนวทาง มาตรการและวิธีการดำเนินการในการฟื้นฟูและประเมินความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้มอบหมายให้มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทยเป็นผู้ดำเนินการ

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

กรมควบคุมมลพิษ

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย

สารบัญ

ส่วนที่ 1 บทนำ 3

1.1 ความจำเป็นของการจัดทำคู่มือ 3

1.2 ความเชื่อมโยงและองค์ประกอบของแต่ละคู่มือ 4

1.3 นิยามศัพท์ 5

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปนเปื้อน 9

ขั้นตอนที่ 1: การตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น 9

ขั้นตอนที่ 2: การตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียด 18

ส่วนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงและการแปลผล 39

ขั้นตอนที่ 1: การบ่งชี้ความเสี่ยงหรืออันตราย 39

ขั้นตอนที่ 2: ความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับและการตอบสนอง 42

ขั้นตอนที่ 3: การประเมินการสัมผัส 44

ขั้นตอนที่ 4: การประเมินลักษณะของความเสี่ยง 48

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ส่วนที่ 1 บทนำ

ส่วนที่ 1 บทนำ...

1.1 ความจำเป็นของการจัดทำคู่มือ

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

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

- คู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน
- คู่มือการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน
- คู่มือการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน

ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นกรอบแนวทางปฏิบัติในการตรวจสอบ การประเมินความเสี่ยง การฟื้นฟูและการประเมินค่าเสียหายจากการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน สำหรับเจ้าหน้าที่วิชาการของกรมควบคุมมลพิษและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ไปในทิศทางเดียวกัน

1.2 ความเชื่อมโยงและองค์ประกอบของแต่ละคู่มือ

คู่มือทั้ง 3 เล่มที่จัดทำขึ้น ได้จัดทำเป็นขั้นตอนและวิธีการทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติสำหรับการตรวจสอบ การประเมินความเสี่ยง การฟื้นฟูและการประเมินค่าเสียหายจากการปนเปื้อนสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน เพื่อให้เกิดการวางแผนการจัดการบรรเทาความรุนแรงและฟื้นฟูพื้นที่อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยมีกรอบความเชื่อมโยงของแต่ละคู่มือดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ความเชื่อมโยงของคู่มือ

สำหรับคู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดินฉบับนี้ เป็นหนึ่งในสามคู่มือที่จัดทำขึ้น โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้นักวิทยาศาสตร์หรือเจ้าหน้าที่วิชาการที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปเป็นแนวทางปฏิบัติในการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินหรือน้ำใต้ดินที่เกิดจากการแพร่กระจายของสารมลพิษ ซึ่งภายในคู่มือเล่มนี้กล่าวถึงลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ ตั้งแต่การเข้าตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้น การประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียด รวมถึงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงจากการแพร่กระจายของสารมลพิษ โดยครอบคลุมทั้งการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยจากสารเคมี ความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยจากการพัฒนาเปลี่ยนแปลงสารเคมี และการประเมินปริมาณที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

1.3 นิยามศัพท์

พื้นที่ปนเปื้อน หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีระดับมลพิษสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือมีระดับมลพิษสูงผิดปกติเมื่อเทียบกับพื้นที่อ้างอิงที่ไม่ได้รับผลกระทบจากมลพิษนั้น

น้ำใต้ดิน (Groundwater) หมายถึง น้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณชั้นดินหรือชั้นหินอิ่มตัว

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง กลุ่มโลหะที่มีความเป็นพิษแบบสะสมและมีความหนาแน่นมากกว่า 4 kg/dm^3 เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว อาร์เซนิก

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 50-260 องศาเซลเซียส โดยปกติสาร VOCs จะอยู่ในรูปของก๊าซหรือไอ

ความเสี่ยง (Risk) หมายถึง ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใดๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่าง ผลลัพธ์ที่ว่านี้ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากความเสี่ยงนี้จะเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) หมายถึง การประเมินทางวิทยาศาสตร์จากสิ่งที่มีความเป็นไปได้ว่าจะมีผลกระทบทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคน

$BMDL_{5/10}$ หมายถึง ปริมาณสารที่ทำให้เกิดผลกระทบทบที่สังเกตได้ 5% หรือ 10% ของสัตว์ทดลอง

Inhalation Carcinogenic Potencial Slope (CPSi) หมายถึง ค่าศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งที่มนุษย์ได้รับโดยการหายใจ (หน่วย: 1/(มล./กก./วัน))

Inhalation Reference Dose (RfDi) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย (หน่วย: มล./กก./วัน)

Oral Carcinogenic potencial slope (CPSo) หมายถึง ค่าศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งที่มนุษย์ได้รับโดยการกิน (หน่วย: 1/(มล./กก./วัน))

Oral Reference dose (RfDo) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกินได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย (หน่วย: มล./กก./วัน)

NOAEL (No Obervable Adverse Effect Level) หมายถึง ระดับที่ไม่สามารถสังเกตเห็นผลอันไม่พึงประสงค์หรือผลกระทบด้านลบใดๆ

Reference dose (RfD) หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย (มล./กก./วัน)

Threshold Limit Value (TLV) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศซึ่งคนปกติที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัมและไม่ป่วยเป็นโรคใดๆ จะสามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ หรือ อาจนิยามว่าเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่มีได้ในอากาศที่ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นได้รับทุกวันๆ ละ 8 ชั่วโมง โดยไม่เป็นอันตราย

ส่วนที่ 2

การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปนเปื้อน

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปนเปื้อน...

การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปนเปื้อน เป็นการประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหาการปนเปื้อนสารมลพิษในพื้นที่ โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันพิจารณาเทียบกับข้อมูลลักษณะพื้นที่เดิมก่อนที่มีการปนเปื้อน โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น และ (2) การตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่เชิงลึก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : การตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น

การตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ รวมถึงการสืบค้นประวัติการใช้พื้นที่โดยเร็วและมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการเข้าสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้นเพื่อประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน (รูปที่ 2) ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องและประวัติการใช้พื้นที่

ดำเนินการโดย

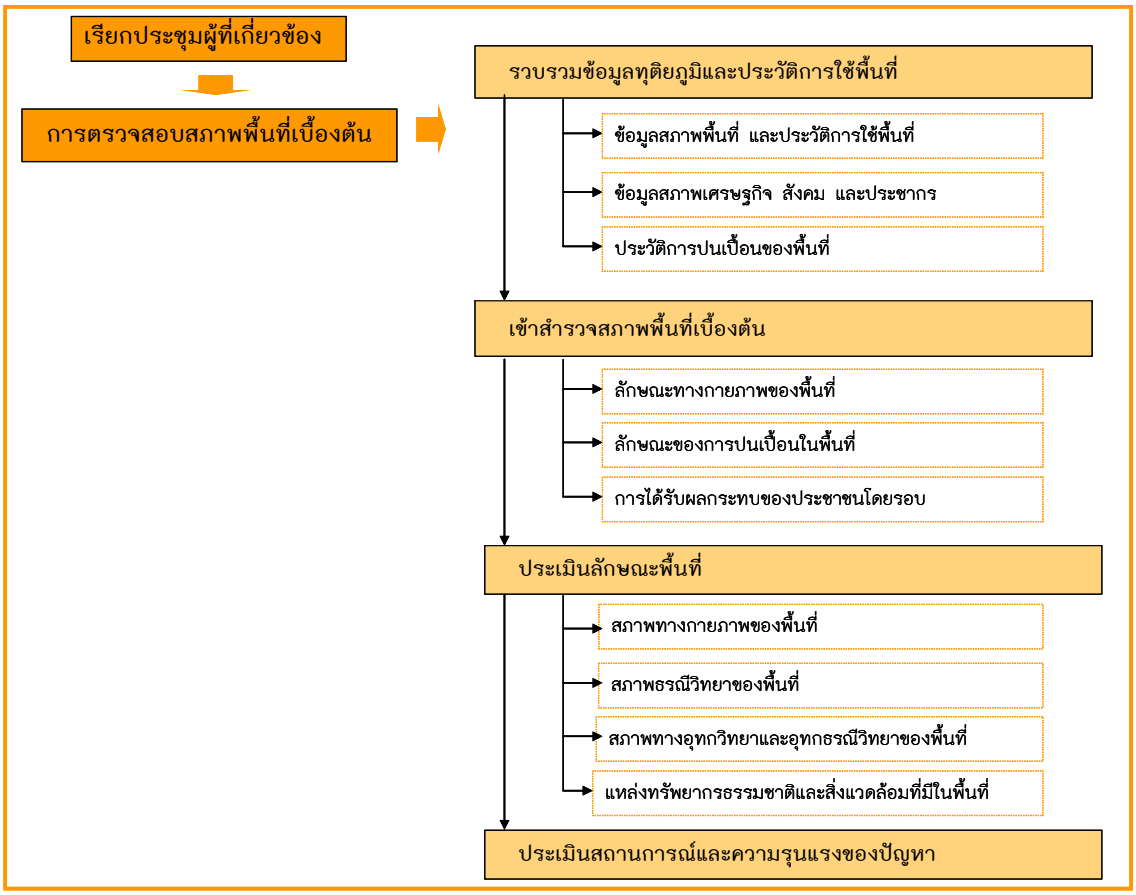
1) รวบรวมข้อมูลสภาพพื้นที่ และประวัติการใช้พื้นที่ก่อนที่ได้รับการปนเปื้อนสารมลพิษ ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1.1) ข้อมูลสภาพพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ประกอบด้วย

- ตำแหน่งที่ตั้ง จุดพิกัด และอาณาเขตของพื้นที่ปนเปื้อน
- ตำแหน่งที่ตั้งและจุดพิกัดของพื้นที่อ่อนไหวต่อการปนเปื้อนในบริเวณใกล้เคียง เช่น วัด โรงเรียน โรงพยาบาล สถานีอนามัย เป็นต้น

1.2) ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน ซึ่งแสดงลักษณะภูมิประเทศและสัณฐานของพื้นที่ปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียง

สิ่งสำคัญลำดับแรกที่ต้องคำนึงถึง ภายหลังจากทราบหรือมีเหตุสงสัยว่ามีการปนเปื้อนของมลพิษในพื้นที่ คือ ผู้ประเมินควรต้องประสานกับส่วนราชการที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ เช่น องค์การบริหารส่วนตำบล และทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด เป็นต้น เพื่อสอบถามสถานการณ์และสาเหตุของปัญหา ตลอดจนเข้าตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อนร่วมกัน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น

1.3) **ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา** รวบรวมจาก

- รายงานการสำรวจธรณีวิทยา (ตามระวางพื้นที่ประเมิน)
- แผนที่ธรณีวิทยาที่เหมาะสมกับงานสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนมี 2 ชนิด คือ แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:250,000 และแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 (ตามพื้นที่ที่ประเมิน)

1.4) **ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนและหลังการปนเปื้อนสารมลพิษ** แสดงรายละเอียดของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในพื้นที่ เช่น นาข้าว พื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่ป่าไม้ ป่าชายเลน พื้นที่พืชไร่ พืชสวน เป็นต้น

1.5) **ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา** ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางและความเร็วลม ซึ่งสามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน เป็นต้น

1.6) **ข้อมูลอุทกวิทยา** ได้แก่ รูปแบบของทางน้ำ ความหนาแน่นของทางน้ำ ทิศทางการไหลของทางน้ำ ขอบเขตพื้นที่รับน้ำ สันปันน้ำ รวมไปถึงขนาดพื้นที่แหล่งรับน้ำเพื่อประมาณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และแอ่งกักเก็บน้ำบาดาลในแต่ละปี

1.7) **ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่** สามารถรวบรวมได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ประกอบด้วย

- แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับภาคมาตราส่วน 1:500,000 แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับจังหวัดมาตราส่วน 1:500,000 และ 1:1,000,000 หรือที่สามารถสืบค้นได้จากระบบฐานข้อมูล
- ฐานข้อมูลบ่อบาดาล และแผนที่น้ำบาดาลระดับจังหวัด มาตราส่วน 1:100,000 หรือที่สามารถสืบค้นได้จากระบบฐานข้อมูล
- ข้อมูลการเจาะบ่อบาดาล จากระบบฐานข้อมูล “พสุธารา” ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้แก่
  - ข้อมูลลักษณะชั้นดินและชั้นหินของบ่อบาดาล (Drilling logs of wells) ซึ่งแสดงรายละเอียดของชั้นดินชั้นหินที่เจาะพบที่ระดับความลึกต่างๆ ของบ่อเจาะ
  - ข้อมูลบันทึกรายละเอียดของบ่อบาดาล (Records of wells) ซึ่งแสดงรายละเอียดของบ่อบาดาลทุกบ่อ เช่น ตำแหน่งและหมายเลขบ่อ ความลึกของบ่อเจาะ ความลึกของชั้นน้ำ ชนิดของชั้นน้ำบาดาล ระดับความลึกของน้ำในบ่อ ปริมาณน้ำ ระดับน้ำลดขณะสูบ ชนิดของเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งประจำบ่อ ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาอื่นๆ

1.8) **ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ** ประกอบด้วย

- ที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษที่เคยเกิดขึ้นในอดีต โดยรอบพื้นที่ที่อาจได้รับการปนเปื้อนในปัจจุบัน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม แหล่งกำจัดหรือฝังกลบมูลฝอย ที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและเหมืองแร่ เป็นต้น
- ผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน หรือการแพร่กระจายของสารมลพิษ (ถ้ามี)

2) **รวบรวมข้อมูลสภาพเศรษฐกิจ สังคม และประชากร** ได้แก่

- ขอบเขตการปกครองและจำนวนประชากรในพื้นที่ปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียง
- สภาพเศรษฐกิจของคนในชุมชน

3) **ประวัติการปนเปื้อนของพื้นที่** เพื่อเป็นการคัดกรองถึงชนิด ประเภท สมบัติและความเป็นพิษของสารมลพิษที่คาดว่าจะปนเปื้อนในพื้นที่เบื้องต้น ซึ่งข้อมูลที่จำเป็น ประกอบด้วย

- ประวัติของการปนเปื้อน ประวัติการลักลอบทิ้งสารเคมีในพื้นที่ และแสดงรายละเอียดของขอบเขตและที่ตั้งของพื้นที่ปนเปื้อน

- ชนิด ปริมาณและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน คุณลักษณะของสารและการเปลี่ยนรูป
- สถานะของสารมลพิษและลักษณะการปนเปื้อนที่ตรวจพบ เช่น
  - สถานะของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ เป็นต้น
  - ลักษณะการปนเปื้อนแบบต่อเนื่องหรือเป็นครั้งคราว เป็นต้น

2. การเข้าสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้น

ในการเข้าสำรวจสภาพพื้นที่ปนเปื้อน ผู้ประเมินต้องประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งส่วนกลางและส่วนท้องถิ่นเพื่อร่วมตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อน ทั้งนี้ในกรณีพื้นที่ปนเปื้อนเป็นพื้นที่ของเอกชนอาจจำเป็นต้องให้เจ้าหน้าที่ท้องถิ่น หรือส่วนราชการที่รับผิดชอบในพื้นที่ออกหนังสือขอเข้าตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งการเข้าสำรวจสภาพพื้นที่มีประเด็นที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย

1) สำรวจลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เช่น รูปร่าง ขนาด และที่ตั้งของพื้นที่ปนเปื้อน ลักษณะพื้นผิวที่ได้รับการปนเปื้อน เช่น พื้นดินที่ไม่มีพืชคลุมดิน พื้นดินที่มีพืชปกคลุม พื้นคอนกรีต เป็นต้น

2) สำรวจลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ ได้แก่

- **ตรวจดูสภาพลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่** เช่น เป็นลักษณะการกองทิ้งบนผิวดิน ลักษณะการฝังไว้ในดิน และลักษณะการไหลนองหกบนผิวดิน เป็นต้น
- **ตรวจสอบลักษณะสารปนเปื้อน** โดยการเก็บตัวอย่างดินและสารปนเปื้อนเพื่อตรวจหาชนิด จำนวน และสถานะของสารปนเปื้อน โดยการทำการตรวจประเมินเบื้องต้น (Screening test) ซึ่งพารามิเตอร์สำหรับการตรวจประเมินเบื้องต้น ประกอบด้วย
  - ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี, pH, ความขุ่น, ความนำไฟฟ้า, Acidity, Alkalinity, Total Hardness, Chloride, Sulfide, Sulfate, BOD, COD, NH_3-N, NO_3-N, Total Solids, TDS, Fe, Mn
  - ตรวจหาชนิดและประเภทของสารปนเปื้อน โดยพิจารณาตามมาตรฐานคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน[1]

[1] 1) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

2) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117 ตอนพิเศษ 95 ง ลงวันที่ 15 กันยายน 2543

3) สำรวจการได้รับผลกระทบของประชาชนโดยรอบ โดยใช้แบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ เพื่อให้ทราบถึงสภาพความเป็นอยู่ที่แท้จริงของประชากรในบริเวณพื้นที่และโดยรอบพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ โดยประเด็นของการสอบถาม ประกอบด้วย

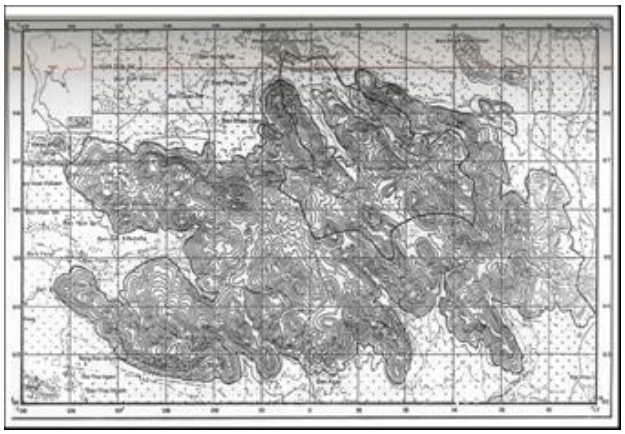
- **สภาพการทำมาหากิน** ได้แก่ รายได้และรายจ่ายต่อคนต่อเดือนหรือต่อปี
- **การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นอยู่เดิม หรือผลกระทบที่ได้รับจากการปนเปื้อน** ทั้งผลกระทบด้านเศรษฐกิจ การทำการเกษตร สิ่งแวดล้อม รวมถึงด้านปัญหาสุขภาพอนามัย เป็นต้น

3. การประเมินลักษณะพื้นที่

ภายหลังจากได้ข้อมูลทั้งจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ และจากการเข้าสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้นแล้ว ให้ผู้ประเมินนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินลักษณะพื้นที่ ดังนี้

1) ประเมินสภาพทางกายภาพของพื้นที่

1.1) สำรวจลักษณะและสภาพภูมิประเทศ ลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่และพื้นที่ใกล้เคียง โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลการรับรู้ระยะไกลมาใช้ประโยชน์ร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ (ดังรูปที่ 3 และ 4)



รูปที่ 3 **ตัวอย่างแผนที่ภูมิประเทศ**

รูปที่ 4 **ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศ**

1.2) กำหนดขอบเขตลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานของพื้นที่ปนเปื้อน และจัดทำเป็นแผนที่ แสดงตำแหน่งและขอบเขตของพื้นที่ที่เป็นจุดเริ่มต้นของการปนเปื้อนและพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับการปนเปื้อน

2) **การสำรวจสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่** แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) **การแปลความหมายจากแผนที่ธรณีวิทยา**

- **แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000** เป็นแผนที่ที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยาโดยภาพรวมของพื้นที่ศึกษา ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับชนิดหิน การวางตัวของชั้นหิน รอยเลื่อน ส่วนประกอบของแร่ในหินแต่ละชนิด แหล่งทรัพยากรหินและแร่ แหล่งวัสดุก่อสร้าง

- **แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000** เป็นแผนที่ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ใช้ในกรณีที่ต้องการศึกษาสภาพธรณีวิทยาเฉพาะแหล่ง หรือเฉพาะพื้นที่แคบๆ หรือมีขอบเขตพื้นที่ศึกษาขนาดเล็ก และเพื่อใช้ในการสำรวจลักษณะธรณีวิทยาภาคสนามซึ่งทำให้ทราบข้อมูลทางธรณีวิทยาที่มีรายละเอียดมากกว่า

2.2) **การสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาภาคสนาม** เพื่อยืนยันความถูกต้องของแผนที่และข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้อ้างอิง สามารถสรุปขั้นตอนได้ ดังนี้

- **ขั้นตอนการเตรียมการสำรวจ** กำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินการสำรวจ โดยการรวบรวมข้อมูลเก่าที่เคยมีการศึกษามาแล้ว ทั้งในพื้นที่เป้าหมายและบริเวณใกล้เคียง ทำการแปลภาพถ่ายทางอากาศ ภาพจากดาวเทียม และแปลความหมายจากแผนที่ภูมิประเทศ เป็นลักษณะธรณีสัณฐานก่อนการสำรวจควรเตรียมแผนที่ภูมิประเทศที่ใช้เป็นแผนที่หลัก หรือ แผนที่สนามสำหรับวางแผนและบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ จัดเตรียมและตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือสำรวจภาคสนาม ได้แก่ ค้อนธรณี เข็มทิศ เลนส์ขยาย เครื่องมือวัดความลาดชัน กล้องถ่ายรูปและอุปกรณ์ช่วยบันทึกในสนามอื่นๆ รวมถึงอุปกรณ์ระบุตำแหน่งพิกัด เช่น GPS (Global Positioning System) เป็นต้น

- **ขั้นตอนการสำรวจภาคสนาม**

  - กำหนดแนวการสำรวจและศึกษาธรณีวิทยาเบื้องต้น แล้วจึงเดินสำรวจเก็บรายละเอียดทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา เมื่อพบหินโผล่ในพื้นที่ต้องกำหนดตำแหน่ง หรือขอบเขตลงในแผนที่สนามและจุดอ้างอิงของตำแหน่งที่พบพร้อมกับบรรยายลักษณะของหิน เช่น ชนิดของแร่องค์ประกอบของหิน ขนาดและสีของเม็ดแร่ การผุกร่อน โครงสร้างธรณีวิทยาต่างๆ ทั้งปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ เช่น รอยเลื่อน รอยสัมผัส รอยแยกหรือรอยคดโค้ง เป็นต้น และบันทึกภาพและแสดงมาตราส่วนเพื่อเป็นหลักฐานประกอบการเขียนรายงานการสำรวจ

- การสำรวจทางธรณีเคมี[2] โดยการเก็บตัวอย่าง หิน ดิน พืช ตะกอนท้องน้ำ ฯลฯ มาทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี เพื่อประเมินหาพื้นที่ที่มีปริมาณธาตุและแร่สูงกว่าพื้นที่โดยรอบ ทั้งนี้ข้อมูลทางธรณีเคมีเป็นข้อมูลที่สามารถบ่งบอกได้ว่าอาจจะมีแหล่งแร่สะสมตัวอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว

ทั้งนี้ ตัวอย่างรูปภาพจากการสำรวจพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ตัวอย่างรูปภาพจากการสำรวจพื้นที่

2.3) **การจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่** หลังจากสำรวจเก็บข้อมูลในภาคสนามแล้ว ตัวอย่างที่ได้จะนำไปทำการวิเคราะห์ทางด้านต่างๆ โดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์อายุ การวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ทางฟิสิกส์และการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ซึ่งข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการจะช่วยสนับสนุนข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม จากนั้นนำข้อมูลมารวบรวม ประมวลผล และแปลความหมายทางธรณีวิทยา เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่

ทั้งนี้ สามารถดูรายละเอียดการสำรวจสภาพพื้นที่ทางกายภาพ อุทกวิทยา และธรณีวิทยาเพิ่มเติมได้จาก “โครงการการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล” กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)

3) ประเมินลักษณะและสภาพทางอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่

3.1) **ประเมินลักษณะและสภาพทางอุทกวิทยาของพื้นที่** โดยพิจารณาจากลักษณะของพื้นที่รับน้ำ สภาพการซึมซาบน้ำ และลักษณะการไหลของน้ำในพื้นที่รับน้ำ ลักษณะและสภาพการระบายน้ำสู่ลำธารหรือระบบลำน้ำ โดยปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย

[2] กรมทรัพยากรธรณี, เทคนิคการสำรวจธรณีเคมี, (สืบค้นจาก http://www.dmr.go.th/main.php?filename=survey6)

(1) **ปริมาณน้ำฝน** ลักษณะการกระจายปริมาณน้ำฝนตามพื้นที่และตามเวลาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณ น้ำไหลบ่าเหนือผิวดิน น้ำที่ไหลผ่านใต้ผิวดินและซึมซาบลงไปสู่ระบบน้ำใต้ดินของพื้นที่ ซึ่งการไหลของน้ำในกระบวนการดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดลักษณะการแพร่กระจายมลพิษลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- **วิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของพื้นที่** โดยการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนจากหน่วยงานต่างๆ ที่มีสถานีตรวจวัดฝนในรัศมี 10 กิโลเมตร เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน เป็นต้น

- **วิเคราะห์การกระจายปริมาณน้ำฝนตามพื้นที่และเวลา** โดยรวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่ ในกรณีที่สถานีตรวจวัดน้ำฝนอยู่ห่างจากพื้นที่ที่ประเมินเกินกว่า 10 กิโลเมตร นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนของทุกสถานีมาวิเคราะห์เป็นปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ย

- **วิเคราะห์เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี ปริมาณน้ำฝนรายฤดู** เพื่อแสดงลักษณะการกระจายของฝนในพื้นที่ที่ประเมิน

- **วิเคราะห์การกระจายปริมาณน้ำฝนในระดับต่างๆ ในแต่ละฤดูกาล** เพื่อทราบลักษณะการตกของฝนและลักษณะการทิ้งช่วงของฝน

(2) **ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่** เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการกระจายตัวของสารพิษลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน โดยปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย

- **ระบบลำน้ำของพื้นที่** พิจารณารูปแบบของลำน้ำและความหนาแน่นของลำน้ำในพื้นที่ เพื่อทราบสภาพการระบายน้ำของพื้นที่ที่ประเมิน

  - วิเคราะห์ได้จากแผนที่ลักษณะภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ร่วมกับข้อมูลการสำรวจในพื้นที่ศึกษา

- **ปริมาณน้ำท่าของพื้นที่**

  - วิเคราะห์ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทานหรือกรมอุทกศาสตร์ที่อยู่ในพื้นที่หรือใกล้เคียง ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์แยกเป็นค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย

  - ในกรณีที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ ให้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน มีลักษณะทางปฐพีวิทยาและธรณีวิทยาคล้ายกัน มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินคล้ายกัน มีลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานคล้ายกัน แล้วทำการประเมินทั้งปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้ทราบปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนกับช่วงฤดูแล้ง

- วิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดของน้ำไหลบ่าเหนือผิวดิน ควรพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลบ่าของน้ำกับความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) และลักษณะการไหลนอง เพื่อประเมินปริมาณน้ำบ่าเหนือผิวดินและปริมาณน้ำที่ซึมซาบลงสู่น้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ประเมิน

3.2) การประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ โดยการสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ ประกอบด้วย

(1) การสำรวจบนผิวดิน

- **การสำรวจอุทกธรณีวิทยาบนผิวดิน** โดยการสำรวจลักษณะภูมิประเทศ ธรณีสัณฐาน และธรณีโครงสร้างในพื้นที่อย่างละเอียด เพื่อรวบรวมข้อมูลชนิดของชั้นหิน สภาพการซึมผ่านของน้ำ โครงสร้างของชั้นหิน รอยแตก และช่องว่าง เป็นต้น

- **การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน** สำรวจโดยการตรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบกริดไดโพล-ไดโพล เพื่อทำแผนที่สามมิติใต้พื้นดิน

(2) การสำรวจใต้ดิน

- **การเจาะสำรวจ**[3] โดยการเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างชั้นดินและชั้นหินของบริเวณพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน เพื่อทราบชนิดของดินและหิน ความหนาของชั้นดินและชั้นหิน ความลึกของชั้นดินและชั้นหินอุ้มน้ำ ขนาดอนุภาค ความพรุน และสภาพการซึมผ่านของน้ำในชั้นดินและชั้นหิน นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินและตัวอย่างชั้นดินและชั้นหิน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ลักษณะของดินและหินในห้องปฏิบัติการ

ในเบื้องต้นสามารถทำการสำรวจบ่อน้ำใต้ดินระดับตื้น และบ่อบาดาลที่ชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงพื้นที่สูบขึ้นมาใช้ โดยการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เช่น ระดับของน้ำใต้ดิน ความลึกของบ่อ และตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน รวมถึงการประเมินระยะทางในการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน สำหรับการตัดสินใจในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินสำหรับการประเมินการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษ กากของเสียและสารอันตรายของพื้นที่

---

[3] 1) สามารถดูรายละเอียดการเจาะสำรวจเพิ่มเติมได้ที่ ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล ภายใต้โครงการการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)

2) การเจาะสำรวจมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงควรทำการเจาะสำรวจเมื่อมีการวิเคราะห์สภาพอุทกธรณีวิทยาจากการสำรวจบนผิวดินแล้ว

4) แหล่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่มีในพื้นที่

ทำการรวบรวมและจัดทำรายการแสดงทรัพยากรทุกประเภท ที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบในพื้นที่และพื้นที่โดยรอบ โดยพิจารณาประเภท ปริมาณ และความสมบูรณ์ของทรัพยากรที่มีก่อนได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของสารมลพิษ ดังนี้

4.1) นิเวศวิทยาบนบก ประกอบด้วย

- ทรัพยากรป่าไม้ โดยให้ระบุถึงทรัพยากรป่าไม้ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่อนุรักษ์ตามธรรมชาติต่างๆ ประเภท ชนิด ความหลากหลายและความสมบูรณ์ของทรัพยากรป่าไม้ การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรป่าไม้ในปัจจุบัน

- ทรัพยากรสัตว์ป่า โดยให้ระบุถึงประเภท ชนิด จำนวนของสัตว์ป่า ความหลากหลาย ลักษณะของแหล่งที่อยู่อาศัย

4.2) นิเวศวิทยาทางน้ำ โดยให้ระบุถึงสภาพทางนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ เช่น ลักษณะประเภท (น้ำนิ่ง หรือ น้ำไหล) ขนาด ที่ตั้ง ปริมาณและคุณภาพน้ำเบื้องต้น รวมถึงสิ่งมีชีวิตและพืชน้ำประเภทต่างๆ

4. ประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหา

ผู้ประเมินจะต้องนำผลจากการประเมินลักษณะพื้นที่ และผลการตรวจประเมินเบื้องต้น (Screening test) มาพิจารณาถึงสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยในกรณีที่ผลการประเมินลักษณะพื้นที่บ่งชี้ว่าพื้นที่ดังกล่าวมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และระบบนิเวศในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมในดิน น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ผู้ประเมินจำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 : การตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียด

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบหาสารปนเปื้อนในพื้นที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 6)

1. กำหนดขอบเขตพื้นที่

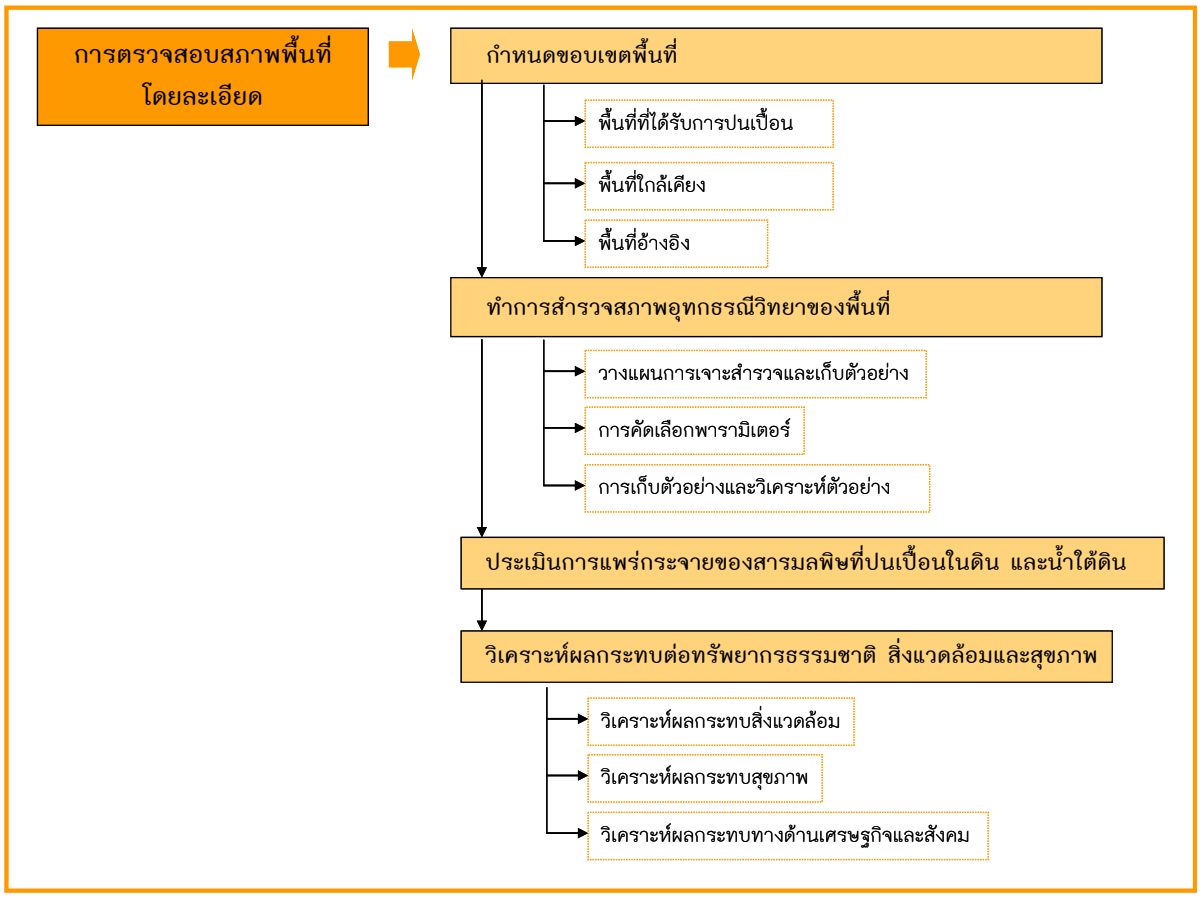
ทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่ โดยพิจารณาแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 แหล่ง ได้แก่

1) พื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ และเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมมากที่สุด เช่น บริเวณพื้นที่ที่มีการลักลอบทิ้งสารเคมี เป็นต้น

2) พื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบโดยตรง ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่

3) **พื้นที่อ้างอิง** ได้แก่ พื้นที่ที่นอกเหนือจากพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน โดยพิจารณาจากทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งปกติจะเป็นพื้นที่ต้นน้ำที่มีระดับความสูงหรือมีระดับน้ำผิวดินสูงกว่าพื้นที่ได้รับการปนเปื้อน (Up gradient)

ทั้งนี้ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลประวัติการปนเปื้อนและไม่ทราบขอบเขตพื้นที่ชัดเจน ให้กำหนดขอบเขตพื้นที่โดยนำผลจากการประเมินลักษณะพื้นที่มาพิจารณา โดยต้องคำนึงผลการสำรวจ (1) สภาพทางกายภาพของพื้นที่ (2) ชนิด ปริมาณและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน และ (3) ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน



รูปที่ 6 ขั้นตอนการตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียด

2. การสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่

ดำเนินการโดย

1) วางแผนการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง

1.1) วางแผนการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

การกำหนดจุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อให้ตัวอย่างดินเป็นตัวแทนของพื้นที่ปนเปื้อน สามารถดำเนินการเก็บตัวอย่างโดย

(1) แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อยๆ โดยขนาดของแปลงย่อยขึ้นอยู่กับพื้นที่และสภาพภูมิประเทศ

(2) กำหนดจำนวนหลุมที่เจาะตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ โดยกระจายอยู่ทั่วแปลง ซึ่งตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) กำหนดจำนวนหลุมที่เจาะสำรวจ 1 หลุมต่อพื้นที่ 1 ไร่ หรืออาจกำหนดจุดมากกว่านี้ได้ตามความเหมาะสม

(3) ความลึกของหลุมเจาะ โดยหลุมที่เจาะอาจมีความลึกจากผิวดินประมาณ 0.3–0.45 เมตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เพื่อประเมินคุณภาพดินตามมาตรฐาน หรือความลึกที่ระดับอื่นๆ เพื่อประเมินการปนเปื้อนในชั้นดิน โดยเก็บที่ระดับความลึกน้อยกว่า 1.50 เมตร (สำหรับดินตื้น) และที่ระดับความลึกมากกว่า 1.50 เมตร (สำหรับดินชั้นล่าง) โดยเก็บตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของการปนเปื้อน

กรณีตัวอย่างการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปนเปื้อน A (ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาพื้นที่ แล้วทำการแบ่งพื้นที่เป้าหมายออกเป็น 3 ส่วน คือ

(1) พื้นที่ที่ไม่มีความเสี่ยง : ไม่จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่าง

(2) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ : กำหนดจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง 1 จุด ต่อพื้นที่ 900 ตร.ม. (สำหรับกรณีที่เป็นสาร VOCs ดำเนินการเก็บเป็นรายตัวอย่าง และ สำหรับกลุ่มโลหะหนักสามารถนำตัวอย่างทั้งหมดมาผสมรวมกันด้วยสัดส่วนที่เท่ากันให้เป็น 1 ตัวอย่าง)

(3) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง ได้แก่ บริเวณที่มีการทำงานและมีการสัมผัสกับมลพิษโดยตรง : กำหนดจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง 1 จุด ทุกๆ 100 ตร.ม. โดยให้เก็บตัวอย่างแยกสำหรับการวิเคราะห์กลุ่มสารอินทรีย์ระเหย ส่วนกลุ่มโลหะหนักสามารถเก็บตัวอย่างแยกหรือผสมรวม

1.2) วางแผนการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

การกำหนดจุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน สามารถดำเนินการได้ดังนี้

(1) ประเมินหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ปนเปื้อน[6] เพื่อกำหนดทิศทางของจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีหลักการเบื้องต้น ดังนี้

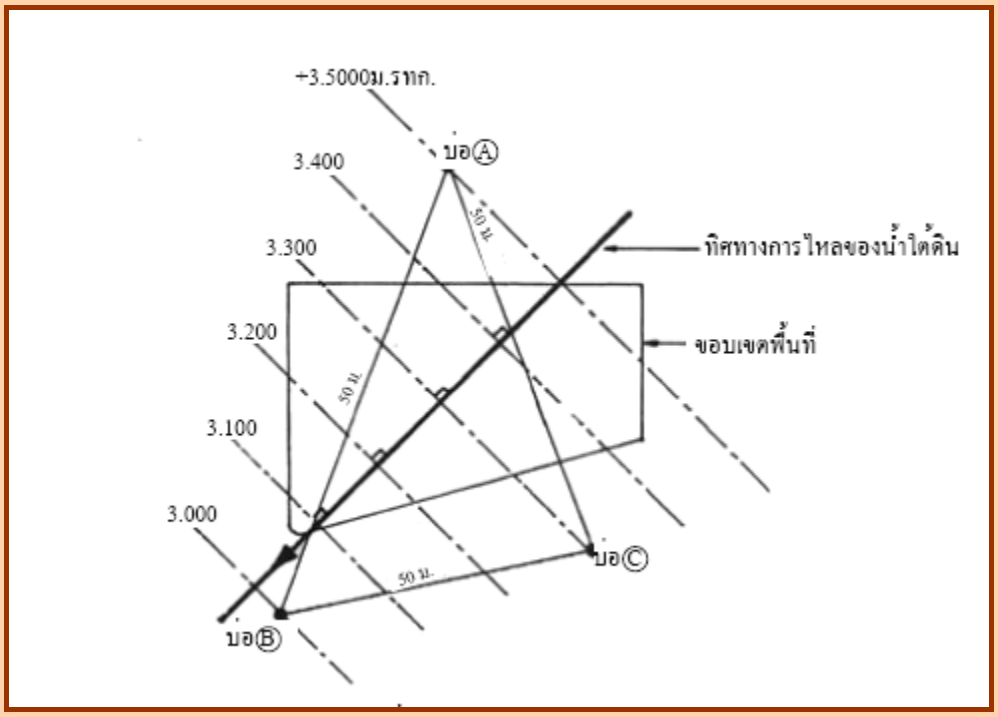
- ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมิน ประกอบด้วย
  - ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในบ่อ (อย่างน้อย 3 บ่อ) ซึ่งมีตำแหน่งการจัดเรียงตัวเป็นรูปสามเหลี่ยม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิง เช่น ระดับน้ำทะเลปานกลาง
  - ตำแหน่งที่ถูกต้องแน่นอนของบ่อทั้ง 3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะห่างระหว่างบ่อทั้ง 3
- ขั้นตอนในการประเมิน มีดังนี้
  - กำหนดตำแหน่งของบ่อทั้ง 3 ลงในแผนที่
  - กำหนดระดับน้ำใต้ดินในบ่อจากข้อมูลที่วัดได้ให้ถูกต้อง (หน่วยเป็นเมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือ ม.รทก.)
  - จากสมมติฐานที่ว่าน้ำใต้ดินไหลโดยมีค่า Hydraulic Gradient คงที่ ดังนั้นสามารถกำหนดระดับน้ำใต้ดินบนเส้นที่ลากเชื่อมบ่อทั้ง 3 ได้ โดยลากเส้นเชื่อมต่อจุดที่มีระดับน้ำใต้ดินเท่ากัน ซึ่งจะได้เส้นแสดงระดับ (Contour) ของน้ำใต้ดิน จากนั้นให้ลากเส้นแนวระดับของน้ำใต้ดิน ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินได้ โดยทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจะตั้งฉากกับเส้นแสดงระดับ

[6] กรมควบคุมมลพิษ, คู่มือการตรวจสอบการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอย, 2547 (สืบค้นจาก http://202.29.21.6/~envi/book%20for%20environment/hazard/LeachateMonitor.pdf)

ตัวอย่างเช่น พื้นที่ปนเปื้อนแห่งหนึ่งมีบ่อตรวจสอบ 3 ตำแหน่ง A B และ C โดยมีระยะห่างระหว่างบ่อ AB เท่ากับ 60 เมตร BC เท่ากับ 40 เมตร และ AC เท่ากับ 50 เมตร โดยบ่อ A มีระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ +3.500 ม.รทก. บ่อ B อยู่ที่ระดับ +3.000 ม.รทก. และบ่อ C อยู่ที่ระดับ+3.300 ม.รทก. ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวให้ลากเส้นตรงเชื่อมระหว่างบ่อ A และ B และคำนวณหาระดับน้ำใต้ดิน ดังนี้

- ระยะระหว่างบ่อ A และ B = 60 เมตร
- ระดับน้ำใต้ดินแตกต่างกัน = 3.500-3.000 = 0.500 เมตร
- ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนแปลง 10 เซนติเมตร ทุกระยะ 12 เมตร

ดังนั้นบนเส้น AB จะสามารถกำหนดตำแหน่งที่มีระดับน้ำใต้ดิน +3.400, +3.300, +3.200 และ +3.100 ได้ โดยแต่ละจุดจะมีระยะห่างกันเท่ากับ 12 เมตรบนเส้น AB ซึ่งในหลักการเดียวกันจะสามารถกำหนดตำแหน่งระดับ +3.400 บนเส้น AC และระดับ +3.200 และ +3.100 ม.รทก. บนเส้น BC ได้ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 **ตัวอย่างการหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน**

(2) กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน โดยระบุจุดพิกัดที่ชัดเจน ประกอบด้วย

- กำหนดจุดอ้างอิง อยู่เหนือน้ำของพื้นที่ปนเปื้อน อย่างน้อย 1 จุด
- กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อน อย่างน้อย 1 จุด
- กำหนดจุดท้ายน้ำของพื้นที่ปนเปื้อน อย่างน้อย 1 จุด โดยมีระยะห่างจากพื้นที่ปนเปื้อนตามที่ประเมินได้เบื้องต้นจากสมการ Darcy's Law

ทั้งนี้ ความเหมาะสมของจำนวนจุดเก็บตัวอย่างและความลึกในการเจาะบ่อเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะขึ้นอยู่กับสภาพและลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาตามหลักวิชาการ

1.3) ประเมินหาระยะทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนเบื้องต้น โดยประเมินจากสมการ Darcy's Law ซึ่งบ่งชี้ไว้ว่าอัตราการไหลของน้ำเป็นสัดส่วนกับค่าสภาพนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) ความลาดชันเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) และพื้นที่หน้าตัดของตัวกลางการไหล (Area of flow) ตามสมการดังนี้

$$Q = -KA\ \Delta h/\Delta l$$

เมื่อ Q = อัตราของการไหลที่ไหลผ่านตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลาและความกว้าง (ลบ.ม./วัน)

K = สภาพนำชลศาสตร์ (ม./วัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวกลางการไหล (ตร.ม.)

$\Delta h/\Delta l$ = ความลาดชันเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient)

หมายเหตุ : ความเร็วที่คำนวณได้จากสมการ เป็นความเร็วของน้ำใต้ดิน ซึ่งสารมลพิษจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเดียวกับน้ำใต้ดินในกรณีที่ไม่มีกระบวนการอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง เช่น กระบวนการดูดซับ เป็นต้น

ในการประเมินอัตราการไหลจำเพาะ (Specific discharge, q) สามารถหาได้จากสมการ

$$q = Q/A = -K\ \Delta h/\Delta l$$

โดยสมการนี้สามารถนำไปหาค่าความเร็วของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านรูพรุนในชั้นดิน ซึ่งค่าความเร็วดังกล่าวสามารถคำนวณจากสมการ

$$v = q/n_e = -K\ \Delta h/\Delta l/n_e$$

เมื่อ q = อัตราของการไหลจำเพาะ (ม./วัน)

n_e = ความพรุนประสิทธิผลของชั้นหินอุ้มน้ำ (%)

v = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ (ม./วัน)

$\Delta h/\Delta l$ = ความลาดชันเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient)

ตัวอย่างเช่น ถ้าสภาพนำชลศาสตร์มีค่า 54.9 เมตร/วัน ความลาดชันเชิงชลศาสตร์มีค่าเท่ากับ 0.001 เมตร/เมตร และค่าความพรุนประสิทธิผลมีค่าเป็น 0.2 (ร้อยละ 20)

หาอัตราการไหลจำเพาะได้จาก

$$q = 54.9 \times 0.001 = 0.0549 \text{ เมตร/วัน}$$

หาอัตราเร็วได้จาก

$$v = q/n_e = 0.0549/0.2 = 0.2745 \text{ เมตร/วัน}$$

ดังนั้นสรุปได้ว่าในแต่ละวันน้ำสามารถไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำได้ 0.2745 เมตร

1.4) ประเมินหาระดับความลึกของน้ำใต้ดินและประเภทของชั้นดิน เพื่อกำหนดระดับความลึกสำหรับเก็บตัวอย่าง โดยสามารถประเมินจากข้อมูลชั้นดิน ซึ่งอาจรวบรวมจากข้อมูลการเจาะบ่อบาดาลในพื้นที่ หรือการเจาะดินสำหรับการก่อสร้างอาคาร หรือทำถนนในพื้นที่ รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับบ่อน้ำตื้นและระดับน้ำในบ่อน้ำตื้นที่มีอยู่ในพื้นที่บริเวณข้างเคียง

2) การคัดเลือกพารามิเตอร์ (Parameter) สามารถดำเนินการได้ดังนี้

การคัดเลือกพารามิเตอร์ในการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและขึ้นอยู่กับชนิดของสารปนเปื้อนในพื้นที่ โดยผู้ประเมินอาจไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์พารามิเตอร์ทุกตัวตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

- **ในกรณีที่ประวัติการปนเปื้อนมีการบันทึกไว้อย่างละเอียด** สามารถคัดเลือกพารามิเตอร์ในการตรวจวัด โดยดูจากประวัติของสารมลพิษที่ตรวจพบ
- **ในกรณีที่มีประวัติการปนเปื้อนน้อยหรือไม่มี** สามารถคัดเลือกพารามิเตอร์ในการตรวจวัด โดยดูจากผลการตรวจประเมินเบื้องต้น

ทั้งนี้ สามารถแบ่งกลุ่มพารามิเตอร์ตามมาตรฐานคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน ออกเป็น 5 กลุ่ม (ตารางที่ 1) ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ตามมาตรฐานคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน

คุณภาพดิน[1]	คุณภาพน้ำใต้ดิน[2]
1. **ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่** สี, pH, ความขุ่น, ความนำไฟฟ้า, Acidity, Alkalinity, Total Hardness, Chloride, Sulfide, Sulfate, BOD, COD, NH_3- N, NO_3- N, Total Solids, TDS, Fe, Mn	
2. **กลุ่มสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs)**	
1) เบนซีน (Benzene)	1) เบนซีน (Benzene)
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)
3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)
4) 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน (1,1-Dichloroethylene)	4) 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน (1,1-Dichloroethylene)
5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene))
6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)
8) เอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene)	8) เอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene)
9) สไตรีน (Styrene)	9) สไตรีน (Styrene)
10) เตตระคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene)	10) เตตระคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene)
11) โทลูอีน (Toluene)	11) โทลูอีน (Toluene)
12) ไตรคลอโรเอทธิลีน (Trichloroethylene)	12) ไตรคลอโรเอทธิลีน (Trichloroethylene)
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)
15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)
3. **กลุ่มโลหะหนัก (Heavy Metals)**	
1) สารหนู (Arsenic)	1) สารหนู (Arsenic)
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	2) แคดเมียม (Cadmium)
3) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium)	3) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium)
4) ตะกั่ว (Lead)	4) ตะกั่ว (Lead)
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	5) แมงกานีส (Manganese)
6) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)	6) ปรอท (Mercury)

คุณภาพดิน[1]	คุณภาพน้ำใต้ดิน[2]
7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts)	7) นิกเกิล (Nickel)
8) ซีลีเนียม (Selenium)	8) ซีลีเนียม (Selenium)
	9) สังกะสี (Zinc)
	10) ทองแดง (Copper)
4. กลุ่มสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)	
1) อะทราซีน (Atrazine)	1) อะทราซีน (Atrazine)
2) คลอเดน (Chlordane)	2) คลอเดน (Chlordane)
3) 2,4-ดี (2,4-D)	3) 2,4-ดี (2,4-D)
4) ดีดีที (DDT)	4) ดีดีที (DDT)
5) ดิลดริน (Dieldrin)	5) ดิลดริน (Dieldrin)
6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)
7) เฮปตาคลอร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide)	7) เฮปตาคลอร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide)
8) ลินเดน (Lindane)	8) ลินเดน (Lindane)
9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)
5. กลุ่มสารอันตรายอื่นๆ	
1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene)	1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene)
2) ไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide and compounds)	2) ไซยาไนด์ (Cyanide)
3) พีซีบี (PCBs)	3) พีซีบี (PCBs)
4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride))	4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride))

อ้างอิงจาก 1 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

2 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117 ตอนพิเศษ 95 ง ลงวันที่ 15 กันยายน 2543

3) การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1) ตัวอย่างดิน

(1) การเก็บตัวอย่างดิน

(1.1) เจาะเก็บตัวอย่างดินแต่ละระดับด้วยสว่านเจาะดิน สำหรับดินตื้นระดับความลึกน้อยกว่า 1.50 เมตร และเครื่องเจาะแบบหมุน (Rotary drilling) สำหรับดินชั้นล่างที่ระดับความลึกมากกว่า 1.50 เมตร โดยใช้การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash boring) ฝังท่อคุ้มกัน (Casing) กันดินพังในชั้นดินอ่อนและใช้ Bentonite slurry ช่วยกันดินพังในชั้นทราย

(1.2) เก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) ตามมาตรฐาน ASTM D-1587

- ทำการเก็บตัวอย่างทุกระยะ 1.50 เมตร
- บันทึกเนื้อดิน โครงสร้างดิน หรือความคงทน หรือการจับตัวเป็นก้อนของดินและสีดิน ด้วยสายตา (Visual classification)
- ปิดปลายกระบอกทั้งสองข้างด้วยขี้ผึ้งร้อนเพื่อป้องกันความชื้นสูญหาย หรือฝาปิดที่สามารถป้องกันความชื้นสูญหาย
- บันทึกชื่อโครงการ ชื่อหลุม ความลึก หมายเลขตัวอย่าง และสภาพแวดล้อม (เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะภูมิประเทศ และจุดพิกัดภูมิศาสตร์เก็บตัวอย่างดินและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องลงในฉลากก่อนส่งเข้าห้องทดลองต่อไป

(1.3) เก็บตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed sample) จะทำพร้อมกับการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTMD-1586

- ทำการทดสอบทุกระยะ 1.50 เมตร
- ใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 140 ปอนด์ยกสูง 30 นิ้ว ปล่อยกระแทกกระบอกผ่า (Split spoon sample) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว บันทึกจำนวนครั้งของการกระแทกลูกตุ้มที่กระบอกผ่าจมลงไปทุก 6 นิ้ว รวม 3 ครั้ง ผลรวมจำนวนครั้งของการกระแทก 2 ครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า SPT-N ที่มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต
- บันทึกพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง ชนิดดิน สี โครงสร้างดิน หรือความคงทน หรือการจับตัวเป็นก้อนของดินและสีดิน และเก็บใส่ภาชนะป้องกันความชื้นสูญหาย ทำการบันทึกชื่อโครงการ ชื่อหลุม ความลึก หมายเลขตัวอย่างและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องลงในฉลาก ปิดปากถุงให้แน่น เพื่อนำไปเข้าห้องทดลองต่อไป

ทั้งนี้ ตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนามก่อนส่งเข้าห้องปฏิบัติการ

(1.4) บันทึกระดับน้ำใต้ดินธรรมชาติ

- ตรวจวัดบันทึกระดับน้ำในหลุมเจาะก่อนเริ่มงานเจาะทุกเช้าและภายหลังการเจาะสำรวจแล้วเสร็จ
- เมื่อได้ทำการถอนท่อเหล็ก (Casing) กันดินพังแล้ว 1 วัน จะมีการบันทึกเป็นครั้งสุดท้าย
- การตรวจวัดระดับน้ำจะวัดจากระดับปากหลุมเจาะลงไปถึงระดับน้ำที่พบในหลุมและลงวันที่และเวลาทุกครั้ง
- ภายหลังการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดิน และตรวจวัดระดับน้ำในหลุมเจาะเสร็จสิ้นให้ทำการกลบหลุมเจาะสำรวจเพื่อป้องกันน้ำชะสิ่งปนเปื้อนลงไปในหลุมเจาะ

(1.5) ภาชนะในการเก็บตัวอย่างดิน

- เก็บตัวอย่างดินใส่ขวด Amber vial สำหรับตรวจหาสารอินทรีย์ระเหยเป็นลำดับแรกทันที
- เก็บตัวอย่างดินใส่ Polyethylene box สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก และขวด Amber glass bottle สำหรับวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช ตามลำดับ

ข้อควรระวัง ผู้เก็บตัวอย่างต้องใส่ถุงมือชนิด Nonlatex เพื่อป้องกันการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่างและจะต้องเก็บรักษาตัวอย่างดินไว้ที่อุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส และนำส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาสารปนเปื้อนทันที ทั้งนี้วิธีการเก็บและการรักษาตัวอย่างให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

(2) การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

(2.1) วิเคราะห์สัณฐานทางปฐพีวิทยา ดังนี้

(2.1.1) ตรวจสอบคุณสมบัติดินตามลักษณะดินพื้นฐาน

- บันทึกจุดพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่าง
- บันทึกรายละเอียดของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความสูง (Elevation) ความลาดชัน (Slope gradient) ทิศทางลาด (Slope aspect) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- บันทึกลักษณะสัณฐานดิน ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) โครงสร้างดิน (Soil structure) การยึดตัวของดิน (Soil consistence) สถานะดินชื้นและดินเปียก ปฏิกิริยาดิน (Soil reaction) การระเหยน้ำของดิน จำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในดิน สีพื้นของดิน และจุดประสีในดิน

(2.1.2) **ตรวจสอบคุณสมบัติดินพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ**

- ปฏิกิริยาดิน เช่น pH
- สภาพนำไฟฟ้าของดิน (Electrical conductivity)
- ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
- ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหรืออินทรียวัตถุ
- ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (Base Saturation, BS)
- ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม
- ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

(2.2) **วิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินแต่ละชั้นด้วย Atterberg's Limit** เลือกทดสอบกับดินเหนียวและดินปนทราย ชั้นละ 1-2 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D-423, 424

- การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ประกอบด้วย ความชื้นของดิน เนื้อดิน ช่องว่างภายในดิน

(2.3) **วิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพดินเพื่อหาปริมาณสารปนเปื้อน** ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

3.2) ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

(1) **การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน** มีข้อพึงระวังดังนี้

- การเก็บตัวอย่างจะต้องทำการตรวจวัด ณ จุดเก็บตัวอย่างทันทีที่กระบวนการถ่ายน้ำขังออกจากบ่อเสร็จ
- เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ สามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การเก็บตัวอย่างแบบ Grab โดยใช้เครื่อง Peristaltic Pump ดูดน้ำขึ้นมาถ่ายใส่ขวด หรือการเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกตัก (Bailer) โดยการค่อยๆ หย่อน Bailer ลงไปจนกระทั่งสัมผัสกับผิวน้ำ จากนั้นปล่อยให้ Bailer ค่อยๆ จมลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการเกิดระลอกคลื่นในบ่อ และดึง Bailer ออกจากน้ำซึ่งต้องค่อยๆ ดึงเช่นเดียวกัน เป็นต้น
- นำตัวอย่างน้ำถ่ายใส่ขวดตัวอย่างที่ได้จัดเตรียมไว้อย่างระมัดระวัง

- ทำการตรวจวัดค่า pH อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ ความนำไฟฟ้า ความเค็ม ลักษณะที่มองเห็น (Appearance) บันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐาน

- ลำดับการเก็บตัวอย่าง โดยเริ่มจากกลุ่มที่มีแนวโน้มที่จะระเหยออกจากน้ำตัวอย่าง หรือทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่ายสุด

- ตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ให้ควบคุมรักษาคุณภาพน้ำให้คงสภาพเดิมมากที่สุด โดยใช้การเติมสารเคมีหรือแช่เย็นตามลักษณะเฉพาะของดัชนีคุณภาพแต่ละตัวที่ต้องทำการวิเคราะห์

- ขนส่งตัวอย่างน้ำทั้งหมดกลับไปยังห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โดยเร็วที่สุด

ทั้งนี้ ตัวอย่างการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในภาคสนาม ดังแสดงในรูปที่ 9

รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในภาคสนามก่อนส่งเข้าห้องปฏิบัติการ

(2) **การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน** มีข้อพึงระวังดังนี้

วิธีการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117 ตอนพิเศษ 95 ง ลงวันที่ 15 กันยายน 2543

โดยรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ใน คู่มือการตรวจสอบการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม[7] และ คู่มือ Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies[8]

3. ประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน และน้ำใต้ดิน

ประมวลผลที่ได้จากการประเมินลักษณะพื้นที่ร่วมกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการแพร่กระจายของสารมลพิษ ในกรณีที่ต้องการผลการวิเคราะห์เชิงการคำนวณ สามารถดำเนินการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถือเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถเลือกใช้ได้ และมีให้เลือกใช้ได้หลายประเภทตามความเหมาะสมของงานแต่การใช้ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถแบ่งออกเป็น

- โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับใช้จำลองสถานการณ์การไหลและการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินทั่วไป เช่น โปรแกรมในกลุ่ม MODFLOW/MT3D, MODFLOW based software, FEFLOW-2D/3D, TWODAN-2D, AQUA3D, MODTECH, SLAEM เป็นต้น

- โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับจำลองสถานการณ์การไหลและการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่มีหลายสถานะ เช่น โปรแกรมในกลุ่ม TOUGH, BIOSLURP, UTCHEM, MARS 2-D/3-D, MOFAT, MOVER, FEFLOW-2D/3D เป็นต้น

ทั้งนี้ ในการประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินนอกเหนือจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว ผู้ประเมินยังสามารถใช้เครื่องมืออื่นๆ เช่น การวางบ่อหรือการวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ได้ด้วย โดยปัจจัยสำคัญ คือ จะต้องทราบทิศทางการไหลของน้ำและปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณของสารมลพิษที่ตรวจพบในตำแหน่งต่างๆ เพื่อทำการจำลองสถานการณ์ (Simulate) การไหลของน้ำใต้ดิน การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ซึ่งจะให้ทราบความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน รวมถึงการทำนายการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในกรณีต่างๆ ได้

---

[7] http://www.pcd.go.th

[8] U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460, Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies, August 2005.

4. วิเคราะห์ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ดำเนินการโดย

1) **วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม** โดยดูการเปลี่ยนแปลงการใช้หรือการมีอยู่ของทรัพยากรทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งมีอิทธิพลต่อประชาชนในพื้นที่ ประกอบด้วย

2.1) **ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ** โดยดูจาก

(1) **ทรัพยากรดิน** พิจารณาจาก

- การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ที่ส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกในพื้นที่
- ความเหมาะสมของคุณภาพดินเพื่อการใช้ประโยชน์

(2) **ทรัพยากรน้ำใต้ดิน** พิจารณาจาก

- ปริมาณและคุณภาพน้ำใต้ดินต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่
- ความเหมาะสมของคุณภาพน้ำใต้ดินในการใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น การอุปโภคบริโภค การเกษตร การสูญเสียแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น

2.2) **ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ** ได้แก่ สิ่งมีชีวิตในดินและน้ำใต้ดิน

- ประเมินผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทั้งด้านโครงสร้างและหน้าที่ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงความสามารถในการฟื้นสภาพของระบบนิเวศตามธรรมชาติ
- ประเมินผลกระทบต่อกลุ่มสัตว์และพืช ทั้งด้านชนิด ปริมาณ และการแพร่กระจายของพืชและสัตว์

2) **ผลกระทบสุขภาพ** โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัย (การลดลงหรือการเพิ่มขึ้นของการเกิดโรคหรือความบาดเจ็บ) ทั้งนี้ปัจจัยทางสุขภาพที่ใช้พิจารณาในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้แก่

2.1) **ปัจจัยด้านชนิดของสารอันตราย** ได้แก่ กากของเสียอันตราย สารอันตราย

2.2) **ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม** ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดิน การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำใต้ดิน

2.3) **ปัจจัยที่เกี่ยวกับการสัมผัส** ได้แก่

- เส้นทางในการสัมผัส เช่น ดิน อาหาร น้ำ
- การสัมผัสของสาธารณชน
- การสัมผัสของคนงาน
- การจำแนกกลุ่มเสี่ยง

2.4) **ผลกระทบต่อสุขภาพ** ได้แก่

- อัตราการตาย อัตราการป่วยด้วยโรคเรื้อรัง อัตราการป่วยเฉียบพลัน
- ผลกระทบต่อคนรุ่นต่อไป
- ผลกระทบต่อกลุ่มผู้มีความเสี่ยงสูง
- การกระตุ้นหรือส่งเสริมให้เกิดความรุนแรงของโรคมากขึ้นจากที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น หอบ หืด
- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสะสม

2.5) **ผลกระทบต่อการบริการทางการแพทย์** ได้แก่

- ความจำเป็นทางด้านการบริการทางการแพทย์ที่เพิ่มขึ้น
- การเปลี่ยนแปลงด้านการบริการทางการแพทย์ที่มีอยู่เดิม

2.6) **ผลกระทบต่อความเป็นอยู่ที่ดี** ได้แก่

- ผลกระทบต่อรายได้ การจ้างงาน สภาพเศรษฐกิจ-สังคม
- ผลกระทบต่อรายได้ของชุมชน หรือธุรกิจในท้องถิ่น
- การอพยพ ย้ายถิ่น การตั้งถิ่นฐานใหม่
- ผลกระทบต่อการบริการ เช่น การศึกษา เครือข่ายสนับสนุนสังคม เป็นต้น
- ผลกระทบต่ออนามัยสิ่งแวดล้อม
- ผลกระทบต่อจิตใจ
- ผลประโยชน์ทางด้านสุขภาพ

เกณฑ์ในการประเมินความสำคัญของผลกระทบทางสุขภาพมีดังต่อไปนี้

- **ขนาดของผลกระทบ** เป็นการประเมินความรุนแรงจากผลกระทบในทางลบว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากหรือไม่ มีความรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหรือไม่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกินขีดความสามารถของท้องถิ่นที่จะจัดการได้หรือไม่ การเปลี่ยนแปลงนั้นเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้หรือไม่

- **ขอบเขตทางภูมิศาสตร์** เป็นการประเมินว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายวงกว้างออกไปเพียงใด เช่นในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค หรือระดับโลก หรือขยายไปสู่พื้นที่ที่มีความสำคัญหรือไม่ เช่น พื้นที่สงวนหรือพื้นที่อนุรักษ์ เป็นต้น

- **ระยะเวลาและความถี่** เป็นการประเมินความยาวของเวลาที่เกิดผลกระทบและลักษณะของการเกิดผลกระทบ เช่น เกิดขึ้นเป็นช่วงๆ หรือเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

- **ผลกระทบสะสม** เป็นการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นว่าจะทำให้ผลกระทบเดิมที่มีอยู่เพิ่มขึ้นหรือไม่ จะสะสมเกินกว่าระดับสูงสุดที่ยอมรับได้หรือไม่

- **ความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจและสังคม** เป็นการประเมินว่าระดับของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจะส่งผลต่อเศรษฐกิจของชุมชนหรือโครงสร้างทางสังคมหรือไม่

- **ประชาชนที่ได้รับผลกระทบ** เป็นการประเมินการกระจายผลกระทบไปยังประชากรกลุ่มต่างๆ ที่มีลักษณะทางประชากรแตกต่างกันและประชากรกลุ่มเสี่ยง เช่น ชุมชนดั้งเดิม เด็ก ผู้สูงอายุ สตรีมีครรภ์ เป็นต้น

- **ความไวรับของชุมชน** เป็นการประเมินว่าประชาชนมีความรู้สึกที่ไวหรือตระหนักต่อผลกระทบที่จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด เคยมีปัญหาลักษณะที่คล้ายกัน เกิดขึ้นในอดีตมาแล้วในพื้นที่หรือไม่ มีการจัดตั้งกลุ่มหรือองค์กรที่มีการเคลื่อนไหวในประเด็นเหล่านี้หรือไม่

- **การฟื้นคืนสภาพเดิม** เป็นการประเมินว่าต้องใช้เวลาในการลดผลกระทบหรือเวลาในการฟื้นคืนสู่สภาพเดิม ทั้งโดยมนุษย์หรือธรรมชาติเป็นเวลานานมากน้อยเพียงใด

- **ค่าใช้จ่าย** เป็นการประเมินค่าใช้จ่ายในการลดผลกระทบว่ามากน้อยเพียงใด ใครเป็นผู้จ่าย ต้องใช้เงินในทันทีหรือไม่

- **ศักยภาพของหน่วยงาน** เป็นการประเมินศักยภาพปัจจุบันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกฎหมายหรือ ระเบียบที่มีอยู่สามารถรองรับได้หรือไม่ หน่วยงานท้องถิ่นสามารถจัดการกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้หรือไม่

- **ผลกระทบในทางบวก** เป็นการประเมินว่าผลจากการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นได้ก่อให้เกิดผลกระทบในทางบวกหรือไม่ หรือมีส่วนสนับสนุนในด้านคุณภาพชีวิต หรือความเป็นอยู่ของชุมชนหรือไม่ อย่างไร

3) **ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม** โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของการจ้างงานในพื้นที่ รายได้ของประชาชน แหล่งที่ดินทำกิน เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลจะได้มาจากการสัมภาษณ์ประชาชนในพื้นที่ ซึ่งในบางครั้งผลกระทบทางด้านสุขภาพอาจมีผลสืบเนื่องต่อผลกระทบด้านเศรษฐกิจด้วย เช่น การเจ็บป่วยของประชาชนในพื้นที่ ย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง อันเป็นผลให้รายได้ลดลงไปด้วย เป็นต้น

ทั้งนี้ สามารถจำแนกผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายสารมลพิษในด้านต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน

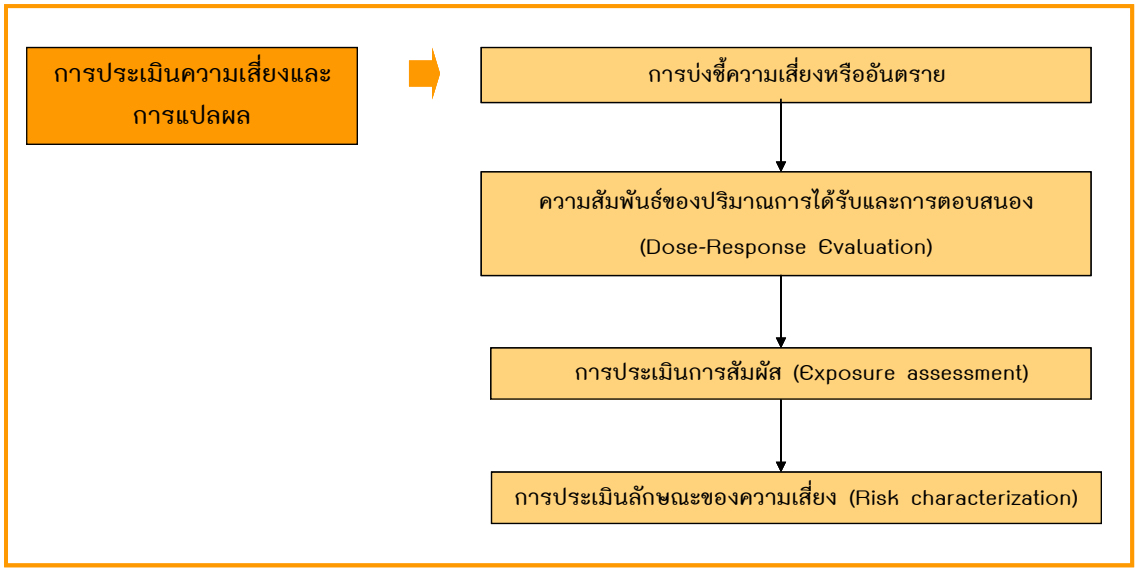
ผลกระทบ		
ด้านสิ่งแวดล้อม	**ด้านสุขภาพ**	**ด้านเศรษฐกิจและสังคม**
■ ดินเป็นพิษ ธาตุอาหารพืชอาจเปลี่ยนรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือถูกตรึง สมบัติดินเปลี่ยนเป็นเหตุให้ดินเสื่อมโทรม ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรดินได้เท่าเดิม ส่งผลต่อลักษณะภูมิทัศน์ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ต้นไม้แคระแกร็น หรือไม่มีต้นไม้ปกคลุม เป็นต้น	■ ปัญหาด้านสุขภาพอนามัย ■ ความตึงเครียดและปัญหาต่อสุขภาพจิต	■ การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยหรือเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลง ■ เกิดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเนื่องจากเจ็บป่วย ■ เกิดค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้น
■ เกิดความเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศเนื่องจากปริมาณสัตว์ที่ลดลง	■ การปนเปื้อนของสารมลพิษเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสัตว์	■ การสูญเสียรายได้เนื่องจากปริมาณสัตว์เศรษฐกิจลดลง
■ เกิดความเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศเนื่องจากปริมาณพืชที่ลดลง	■ มีการปนเปื้อนของสารมลพิษ	■ การสูญเสียรายได้เนื่องจากพืชผลทางการเกษตรมีผลผลิตลดลง
■ ปัญหาคุณภาพดิน ■ ปัญหาคุณภาพน้ำใต้ดิน		■ กระทบต่อการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ ■ ราคาที่ดินในบริเวณที่ได้รับการปนเปื้อนลดลง ■ ค่าใช้จ่ายในการหาแหล่งน้ำทดแทน

ส่วนที่ 3

การประเมินความเสี่ยง และการแปลผล

ส่วนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงและการแปลผล...

จากขั้นตอนการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งจะมีการสืบประวัติการปนเปื้อน การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อยืนยันผลจะทำให้ทราบถึงชนิด ปริมาณของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในพื้นที่และขอบเขตการปนเปื้อน ซึ่งในขั้นตอนต่อไป ผู้ประเมินจะต้องประเมินความเสี่ยง เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อลดการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในระดับปลอดภัย (รูปที่ 10) ดังนี้



รูปที่ 10 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงและการแปลผล

ขั้นตอนที่ 1 : การบ่งชี้ความเสี่ยงหรืออันตราย

การบ่งชี้ความเสี่ยงหรืออันตรายจะเป็นการนำข้อมูลจากการประเมินพื้นที่ในส่วนที่ 2 (การตรวจสอบสภาพพื้นที่ปนเปื้อน) มาใช้ โดยผู้ประเมินจะพิจารณาถึงความเป็นไปได้ (เชิงคุณภาพ) ที่สารเคมีหรือวัตถุอันตรายชนิดใดชนิดหนึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ผู้ประเมินจะต้องนำข้อมูลที่รวบรวมมาระบุในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1) **แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง** หมายถึง ต้นเหตุของความเสี่ยงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่การปนเปื้อน ได้แก่ สารเคมีหรือกากอุตสาหกรรมปนเปื้อนในพื้นที่ เป็นต้น

2) ตัวกลางของการปนเปื้อน ได้แก่ สื่อที่นำพาสารเคมีจากแหล่งกำเนิดของความเสี่ยงไปสู่ผู้รับความเสี่ยงต่อไป เช่น ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน อากาศ สัตว์ หรือพืช เป็นต้น ทั้งนี้ การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนอาจมีกลไกอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องทำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นหรือช้าลง ซึ่งกระบวนการแพร่กระจายจะมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการประเมินการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน (Fate assessment) โดยกลไกหลักๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ได้แก่ 1) สมดุลกรด-ด่าง (Acid-base equilibrium) 2) การดูดติดผิว (Sorption) 3) การตกผลึก-การละลาย (Precipitation-dissolution) 4) การระเหย (Volatilization) ซึ่งในแต่ละกลไกมีรายละเอียดดังนี้

- **สมดุลกรด-ด่าง** มีผลกับความสามารถในการละลายและความสามารถในการแพร่กระจายของสารมลพิษ เช่น กรณีดินที่มีสภาพความเป็นกรดสูง จะทำให้โลหะหนักละลายน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถแพร่กระจายไปกับน้ำใต้ดินได้มากขึ้นด้วย

- **กลไกการดูดติดผิว** เป็นกลไกที่มีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักและสารอินทรีย์ โดยจะใช้เป็นกลไกหลักในการประเมินการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ตัวอย่างเช่น การดูดซับ (Adsorption) เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการที่สารปนเปื้อนเกาะติดบนตัวกลางที่เป็นของแข็ง เช่น ดินเหนียว ทำให้สารปนเปื้อนที่เกาะยึดติดได้ดีเคลื่อนที่ได้ยาก นอกจากนี้ หากมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินสูง จะทำให้เกิดการดูดติดผิวของสารมลพิษในกลุ่มสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย เช่น เบนซีน หรือ ไตรคลอโรเอธิลีน เป็นต้น

- **กลไกการตกผลึกและการละลาย** การตกผลึกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปของสารปนเปื้อนจากสารละลายเป็นตะกอนแข็งและแยกออกจากสารละลาย ซึ่งการตกผลึกจะทำให้สารปนเปื้อนที่เป็นสารละลายเคลื่อนที่ได้ช้าลงจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ของโลหะหนักหรือสารอนินทรีย์ ส่วนการละลายเป็นการเปลี่ยนรูปสารปนเปื้อนจากของแข็งหรือก๊าซให้กลายเป็นสารละลาย ซึ่งเป็นกลไกที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนรวดเร็วขึ้น

- **การระเหย** เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในอากาศ โดยเปลี่ยนสถานะสารปนเปื้อนจากของเหลวกลายเป็นไอ กลไกนี้ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในตัวกลางดินหรือน้ำใต้ดิน แต่ก่อให้เกิดการสูญหายของสารปนเปื้อนหากสารนั้นสามารถระเหยได้ง่าย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสในชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความดันไอของสารปนเปื้อน อัตราการระเหยของสารปนเปื้อน โดยทั่วไปสารที่มีค่าความดันไอเกินกว่า 14 mm Hg ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะระเหยได้ดี

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ได้แก่

- **ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)** ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน โดยมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง การดูดซับสารปนเปื้อน และการตกผลึก-การละลาย ซึ่งหากค่า pH ต่ำ ก่อให้เกิดการละลายของสารปนเปื้อนมากขึ้น เช่น โลหะหนัก ซึ่งเป็นผลให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น แต่หากถ้า pH สูง โลหะหนักส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปตะกอนผลึก ทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

- Oxidation reduction potential (ORP) เป็นค่าบ่งชี้ปริมาณสารออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ในตัวกลาง โดยจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น กลายเป็นประจุ หรือสารประกอบเชิงซ้อน และมีผลต่อเนื่องโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

- ค่าความเค็ม (Salinity) เป็นค่าบ่งชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยนำไปใช้ประกอบในการพิจารณาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และประเมินความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

- Soil and aquifer matrix เป็นค่าที่แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวกลางและบ่งชี้ถึงองค์ประกอบสำคัญ เช่น สารฮิวมัส ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกาะยึดกับสารปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก หรือสารอินทรีย์อันตราย ก่อให้เกิดการสะสมในดินและลดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน อย่างไรก็ตามเมื่อสารฮิวมัสถูกทำลาย สารปนเปื้อนก็สามารถหลุดออกจากตัวกลางได้ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

- อุณหภูมิและความดัน (Temperature and pressure) มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน รวมทั้งส่งผลทางอ้อมที่ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้เกิดการผลิตกรดซึ่งมีผลต่อการชะละลาย เป็นผลให้ค่า pH ลดลง สารปนเปื้อนละลายได้ดีขึ้นและสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น

โดยปกติการพิจารณาเลือกตัวกลางการปนเปื้อน สามารถพิจารณาจากระดับการปนเปื้อนเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดได้ เช่น กากอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนในพื้นที่ ก มีตัวกลางการปนเปื้อน ได้แก่ ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และอากาศ แต่พบว่าการปนเปื้อนสารเคมีเฉพาะในน้ำใต้ดินสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้น ตัวกลางสำคัญที่จะประเมินเพื่อเสนอแนะแนวทางในการฟื้นฟูจะเฉพาะเจาะจงที่ “น้ำใต้ดิน” เท่านั้น

3) ผู้รับความเสี่ยง ได้แก่ สิ่งที่ได้รับผลกระทบจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นผ่านทางตัวกลางของการปนเปื้อน ได้แก่ คน พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ตัวอย่าง กรณีกากอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนในพื้นที่ AA มีน้ำใต้ดินเป็นตัวกลางของการปนเปื้อน ผู้รับความเสี่ยงในกรณีนี้ ได้แก่

- คน นำน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนมาอุปโภคบริโภค จึงได้รับผลกระทบโดยตรง
- พืช ในกรณีนี้ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้น พืชที่ได้รับสารปนเปื้อนนี้จะได้รับความเสียหายต่างๆ เช่น ผลผลิตลดลง หรือตาย เป็นต้น
- สัตว์ จะต้องพิจารณาทั้งสัตว์ที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติและสัตว์เศรษฐกิจที่ประชาชนเลี้ยงไว้เพื่อจำหน่าย เช่น สุกร ไก่ โค และปลาน้ำจืด เป็นต้น
- สิ่งแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ความเสี่ยง

4) **ผลกระทบต่อความเสี่ยง** หมายถึง ผลกระทบในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากความเสี่ยง โดยผู้ประเมินจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบให้ครอบคลุมทุกด้าน ได้แก่ สุขภาพ สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม แต่ในขอบเขตของคู่มือฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2: ความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับและการตอบสนอง (Dose-Response Evaluation)

เป็นการบ่งชี้อันตรายของปริมาณสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกายและก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยมีเป้าหมายเพื่อกำหนดค่าความปลอดภัยสำหรับคนจากสารเคมีนั้นๆ ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่จะได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และการศึกษาในมนุษย์

การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีจะต้องทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเป็นพิษและปริมาณสารเคมีที่ได้รับ ซึ่งสามารถแบ่งสารเคมีออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) **สารไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogen)** รวมถึงสารก่อมะเร็งที่ไม่มีผลต่อยีน (Nongenetic carcinogen) และความเป็นพิษอย่างอื่นที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง (Non-carcinogenic effects) จากสารก่อมะเร็ง

การประเมินสำหรับสารเคมีในกลุ่มนี้ จะแสดง Threshold ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด ทั้งนี้ หากปริมาณสารเคมีมีค่ามากกว่าค่า Threshold ร่างกายจะเริ่มตอบสนองกับสารเคมีนั้น ซึ่งสูตรการกำหนดระดับปลอดภัย คือ

$$RfD = NOAEL \text{ หรือ } BMDL_{5/10}/(UF \times MF)$$

เมื่อ

- RfD (Reference dose) คือ ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย (หน่วย: mg/kg/day)

- NOAEL (No observable adverse effect level) คือ ระดับที่ไม่สามารถสังเกตเห็นผลอันไม่พึงประสงค์หรือผลกระทบด้านลบใดๆ

- $BMDL_{5/10}$ คือ Benchmark dose เป็นปริมาณสารที่ทำให้เกิดการตอบสนองในสัตว์ทดลอง 5% หรือ 10% ตามที่กำหนดไว้

- UF (Uncertainty factor) เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อชดเชยความไม่แน่นอนที่เกิดจากการอนุมานผล เช่น จากการอนุมานผลการทดสอบจากสัตว์สู่คน หรือการอนุมานจากปริมาณสารที่สูงซึ่งใช้

ในการทดลองสู่ปริมาณสารที่ต่ำซึ่งเกิดขึ้นจริง โดยค่า Default ของ UF เท่ากับ 100 ทั้งนี้ อาจเพิ่มค่า Uncertainty factor ได้อีกถ้าข้อมูลที่มีอยู่นั้นยังไม่ดีพอ[8] ดังนี้

ค่า Uncertainty factor	กรณีการใช้
10X	เป็นการอนุมานผลสำหรับคนที่มีความไวต่อการตอบสนองต่างกัน เช่น กลุ่มเด็กหรือผู้สูงอายุ
10X	เป็นการอนุมานผลสำหรับเป็นการอนุมานผลจากสัตว์สู่มนุษย์
10X	เป็นการอนุมานผลจากการทดลองที่ทำจากระยะสั้นไปสู่ระยะยาว
10X	เป็นการอนุมานผลเมื่อใช้ค่า LOAEL แทน NOAEL

- MF (Modifying factor) เป็น factor ที่แสดงถึงความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำมาใช้ เช่น จำนวนสัตว์ทดลองในแต่ละกลุ่มที่ใช้ ความละเอียดและถูกต้องจากการตรวจทางพยาธิวิทยา ซึ่งค่าที่ใช้อยู่ระหว่าง 1-10 (แทนคุณภาพจากมากไปน้อย) แต่ผู้ประเมินสามารถกำหนด Default value ของ MF มีค่าเท่ากับ 1 ได้

ตัวอย่างการคำนวณ Reference dose Reference dose มีค่าเท่ากับเท่าไร เมื่อใช้ค่า LOAEL ที่ได้จากการทดลองในสัตว์ 50 mg/kg/day ในการแปลผล และข้อมูลที่ใช้มีความหลากหลายของกลุ่มทดลอง

จากกรณีศึกษาดังกล่าว สามารถเพิ่มค่า Uncertainty factor ได้ คือ (1) ความแตกต่างของสายพันธุ์ทดลอง (10X), (2) ความแตกต่างระหว่างมนุษย์ (10X), (3) ใช้ค่า LOAEL แทน NOAEL (10X) ทั้งนี้ ค่า MF หรือค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล เท่ากับ 10 (เนื่องจากข้อมูลมีคุณภาพน้อย)

$$\text{ดังนั้น RfD} = \text{NOAEL} / (\text{UF} \times \text{MF}) = \frac{50 \text{ mg/kg/day}}{10 \times 10 \times 10 \times 10}$$

$$= 0.005 \text{ mg/kg/day}$$

2) สารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จะใช้แนวความคิดที่ว่าสารกลุ่มนี้ไม่มี threshold ซึ่งหมายความว่า ปริมาณสารก่อมะเร็งที่ร่างกายได้รับไม่ว่าจำนวนน้อยหรือมาก จะมีโอกาส (Probability) ที่จะเกิดมะเร็ง

ซึ่งการประเมินจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น One-hit model, Multihit model, Multistage model, Probit model, Logistic model, Weibull model และ Hartly-Sielken model เป็นต้น ทั้งนี้ เกณฑ์การเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับข้อมูลเป็นหลัก ได้แก่ ข้อมูลทางชีววิทยา กลไกการเกิดมะเร็ง และสถิติอื่นๆ ดังนี้

[8] the Institute for Environment and Health, 2003, **Uncertainty factors:Their use in human healthrisk assessmentby UK Government.** (สืบค้นจาก http://ieh.cranfield.ac.uk เมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2552)

2.1) มีข้อมูลจำกัดและไม่ทราบกลไกการก่อให้เกิดมะเร็งของปัจจัยเสี่ยง

US.EPA. นิยมใช้ Multistage model ในการคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารก่อมะเร็ง โดยสมมติฐานของโมเดล คือ เซลล์ปกติต้องมีการเปลี่ยนมากกว่าหนึ่งขั้นตอน (Stage) จึงจะเกิดเป็นมะเร็งได้ กล่าวคือ การที่เซลล์เปลี่ยนจาก Stage หนึ่งไปอีก Stage หนึ่งได้นั้น เซลล์ต้องถูก Hit มากกว่าหนึ่งครั้ง ดังนั้นโอกาสของการเกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการ

$$Risk = CPS \times CDI$$

เมื่อ

- Chronic daily intake (CDI) คือ ปริมาณสารก่อมะเร็งที่ได้รับในแต่ละวัน (หน่วย mg/kg-day)

- Carcinogenic potency slope (CPS) คือ ค่าศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ถ้าสารใดมีค่า CPS มาก ก็แสดงว่าสารนั้นมีศักยภาพที่จะทำให้เกิดมะเร็งได้สูง หรือทำให้เกิดมะเร็งได้ในปริมาณต่ำๆ (หน่วย 1 mg/kg-day)

สำหรับค่า RfDo, RfDi, CPSo และ CPSi ของสารเคมีประมาณ 550 สาร สามารถสืบค้นข้อมูลได้จากอินเตอร์เน็ทที่ http://www.epa.gov/iris

2.2) มีข้อมูลเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและการก่อให้เกิดมะเร็งเป็นแบบ Non-linear

ผู้ประเมินจะต้องกำหนดจุดมาตรฐานในการอนุมานผล (Standard point of departure for extrapolation) หรือที่เรียกว่าค่า LED_{10} ซึ่งเท่ากับค่าล่างที่ 95% confidence limit ของขนาด (dose) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น 10% โดยส่วนใหญ่ LED_{10} จะเป็นค่าเดียวกับ NOAEL

ขั้นตอนที่ 3 : การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment)

เป็นการประเมินทุกวิถีทาง (Route) ที่สารเคมีหรือสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งผู้ประเมินจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของสารเคมีในอาหาร น้ำดื่ม อากาศ และดินที่เกี่ยวข้องกับประชาชนแต่ละกลุ่ม โดยจะต้องมีการเก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบความเข้มข้นที่อาจเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

ขั้นตอนการประเมินการสัมผัสมีดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อพิจารณาวิถีทางของสารอันตรายที่มีความสำคัญต่อการได้รับสัมผัสของประชากรหลัก ซึ่งข้อมูลที่พิจารณาได้แก่

- **วิถีทางและปริมาณของสารอันตรายที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกาย (Intake)** เช่น การดื่มน้ำ การแปรงฟัน การอาบน้ำ การหายใจ การบริโภค และการสัมผัส

- **แหล่ง สถานที่ ช่วงเวลา และปริมาณที่สารอันตรายถูกปล่อยจากแหล่งต้นกำเนิด** (แหล่งต้นกำเนิด เช่น ท่อน้ำทิ้งของโรงงาน ปล่องไฟของโรงงาน เป็นต้น) ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยชี้ให้ผู้ประเมินทราบว่า มนุษย์ได้รับสัมผัสกับสารอันตรายที่ต้องการประเมินหรือไม่ ในลักษณะใด

- **ความเข้มข้นของสารอันตรายในตัวกลางต่างๆ เพื่อประเมินการได้รับสัมผัส** ได้แก่ อากาศ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และดิน

- **ลักษณะและจำนวนกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัส** เป็นการหาขนาดที่กลุ่มประชากรหรือกลุ่มบุคคลได้รับสารอันตราย โดยผู้ประเมินต้องอธิบายลักษณะของกลุ่ม เช่น อายุ เพศ สุขอนามัย ช่วงเวลาการได้รับสัมผัส เป็นต้น

2) การคำนวณปริมาณสารอันตรายที่ได้รับ

ใช้สูตรการคำนวณหลัก คือ

$$\text{การสัมผัส} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสาร X ปริมาณที่ได้รับเข้าร่างกาย X ระยะเวลา X ความถี่}}{\text{น้ำหนักร่างกาย}}$$

ทั้งนี้ การประเมินการได้รับสัมผัสจะสามารถแยกสารเคมีที่ได้รับตามความเป็นพิษ ได้แก่

- **สารที่ไม่ก่อมะเร็ง** เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (Average daily dose, ADD) มีหน่วยเป็น (มก./กก.-วัน)

$$ADD = \frac{C \times IR \times D}{BW \times AT_{ADD}}$$

- **สารที่ก่อมะเร็ง** เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยตลอดช่วงชีวิต (Life time average daily dose, LADD) มีหน่วยเป็น (มก./กก.-วัน)

$$LADD = \frac{C \times IR \times D}{BW \times AT_{LADD}}$$

เมื่อ

C	=	ความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (มก./ล.)
IR	=	อัตราการสัมผัสปริมาณสารเคมี (ลิตร/วัน)
D	=	ช่วงเวลาในการสัมผัส (ปี)
BW	=	น้ำหนักร่างกาย (กก.)
AT_{LADD}	=	เวลาตลอดช่วงชีวิต (วัน) (ปกติจะคิดตลอด 65 ปี)
AT_{ADD}	=	เวลาเฉลี่ย (วัน)

สำหรับการประเมินการสัมผัสผ่านทางวิถีเข้าสู่ร่างกายต่างๆ มีสูตรคำนวณดังนี้

- **การได้รับสารเคมีจากการดื่มน้ำ**

$$I_1 = \frac{C_1 R_I f_e D_t}{W_B t_{avg}}$$

โดยที่ I_1 = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับจากการดื่มน้ำ (มก./กก.-วัน)

C_1 = ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำดื่ม (มก./ล.)

R_1 = อัตราการดื่มน้ำ (ลิตร/วัน)

f_e = ความถี่ในการสัมผัส (วัน/ปี)

D_t = ช่วงเวลาในการสัมผัส (ปี)

W_B = น้ำหนักร่างกาย (กก.)

t_{avg} = ช่วงเวลาเฉลี่ยที่สัมผัส(วัน)

- **การได้รับสารเคมีจากการดื่มน้ำในขณะแปรงฟัน**

$$I_2 = \frac{C_2 R_c t_e f_e D_t}{W_B t_{avg}}$$

โดยที่ I_2 = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับจากการดื่มน้ำขณะแปรงฟัน (มก./กก.-วัน)

C_2 = ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ (มก./ล.)

R_C = อัตราการสัมผัส (ลิตร/ชม.)

t_e = ระยะเวลาที่สัมผัส (ชม./วัน)

- **การได้รับสารเคมีจากการสัมผัสทางผิวหนังขณะอาบน้ำ**

$$I_3 = \frac{C_3 A_s R_D t_e f_e D_t K_v}{W_B t_{avg}}$$

โดยที่ I_3 = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับจากการสัมผัสขณะอาบน้ำ (มก./กก.-วัน)

C_3 = ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ (มก./ล.)

A_s = พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัส (ตร.ซม.)

R_D = ค่าคงที่การซึมเข้าผิวหนัง (ซม./ซม.)

K_v = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าปริมาตร (1 ลิตร/1000 ลบ.ซม.)

- **การได้รับสารเคมีจากดิน ตะกอน และฝุ่น**

$$I_4 = \frac{C_4 R_I K_M f_I f_E D_t}{W_B t_{avg}}$$

โดยที่ I_4 = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับดิน ตะกอน หรือฝุ่น (มก./กก.-วัน)

C4 = ความเข้มข้นของสารเคมีในดิน (มก./กก.)

R_I = อัตราการได้รับ (มก./ชม.)

K_M = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าน้ำหนัก (10^{-6} กก./มล.)

f_I = สัดส่วนการได้รับจากแหล่งที่ปนเปื้อน

f_E = ความถี่ในการสัมผัส (365 วัน)

D_t = ช่วงเวลาในการสัมผัส (ปี)

- **การได้รับสารเคมีจากการสัมผัส ดิน ตะกอน และฝุ่น**

$$I_5 = \frac{C_5 K_M A_s R_A ABS f_E D_t}{W_B t_{avg}}$$

โดยที่ I_5 = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายดูดกลืนทางผิวหนัง (มก./กก.-วัน)

C_5 = ความเข้มข้นของสารเคมีในดิน (มก./กก.)

R_I = อัตราการได้รับ (มก./ชม.)

K_M = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าน้ำหนัก (10^{-6} กก./มล.)

AS = พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัส (ตร.ซม.)

R_A = ปัจจัยการเข้าสู่ผิวหนัง (มก./ตร.ซม.)

ABS = ปัจจัยการดูดกลืน

f_E = ความถี่ในการสัมผัส (365 วัน)

D_t = ช่วงเวลาในการสัมผัส (ปี)

ตารางที่ 3 ข้อมูลประกอบที่ใช้ในการประเมินค่าความเสี่ยง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ใช้
C_1,C_2,C_3 = ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำดื่ม	มก./ล.	จากการตรวจวัด
C_4 = ความเข้มข้นของสารเคมีในดิน	มก./กก.	จากการตรวจวัด
R_1 = อัตราการดื่มน้ำ	ลิตร/วัน	2.0
f_e = ความถี่ในการสัมผัส	วัน/ปี	365
D_t = ช่วงเวลาในการสัมผัส	ปี	65
W_B = น้ำหนักร่างกาย	กก.	70.0
t_{avg}= ช่วงเวลาเฉลี่ยที่สัมผัส	วัน	Dt * fe
R_C = อัตราการสัมผัส	ลิตร/ชม.	0.5
t_e = ระยะเวลาที่สัมผัส	ชม./วัน	0.5
A_s = พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัส	ตร.ซม.	1.69
R_D = ค่าคงที่การซึมเข้าผิวหนัง	ซม./ชม.	0.00084
K_v = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าปริมาตร	1 ลิตร/1000 ลบ.ซม.	0.001
K_M = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าน้ำหนัก	กก./มก.	10^{-6}
R_I = อัตราการได้รับ	มก./ชม.	100 -200
R_A = ปัจจัยการเข้าสู่ผิวหนัง	มก./ตร.ซม.	1.45-2.77

ที่มา: Joseph F. Louvar and B. Diane Louvar., Health and Environmental Risk Analysis: Fundamentals with Applications, 1998.

ขั้นตอนที่ 4 : การประเมินลักษณะของความเสี่ยง (Risk characterization)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลจาก 3 ขั้นตอนแรกมาประมวลผล เพื่อประเมินลักษณะของความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น และทำการเปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกายกับอันตรายต่อสุขภาพ เพื่อเสนอแนะมาตรการและแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหา ซึ่งการอธิบายลักษณะความเสี่ยงจะออกมาเชิงปริมาณ ทั้งนี้การประเมินลักษณะความเสี่ยงจะแบ่งตามลักษณะความเป็นพิษของสาร ได้แก่

1) สารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง

ความเสี่ยงของสารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็งสามารถอธิบายได้โดยค่า Hazard quotient (HQ) ซึ่งมีสมการคำนวณดังต่อไปนี้

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

การแปลผล

- **ถ้าค่า HQ น้อยกว่าหรือใกล้เคียง 1 หรือ Exposure < Rfd** แสดงว่าปริมาณปัจจัยเสี่ยงที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้
- **ถ้าค่า HQ มากกว่า 1 หรือ Exposure > Rfd** แสดงว่า ปริมาณปัจจัยเสี่ยงที่ร่างกายได้รับนั้น เกินค่ามาตรฐาน หรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ

2) สารที่เป็นสารก่อมะเร็ง

เป็นการนำค่าความเสี่ยงจากที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 (การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง) มาอธิบายผล ซึ่งมีวิธีการดังนี้

2.1) คำนวณหาความเสี่ยง (Carcinogen risk (unitless))

โดยนำค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ได้รับจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การดื่มน้ำ การสัมผัส การหายใจ หรือการกิน มาแปลงเป็นปริมาณสารปนเปื้อนได้รับ มีหน่วยเป็น มก./กก./วัน ซึ่งปริมาณที่ได้รับในแต่ละเส้นทาง (Pathway) จะถูกนำมาประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของการได้รับสารปนเปื้อน โดยนำปริมาณสารปนเปื้อนที่ได้รับจากแต่ละทางคูณกับค่า Slope factor ของเส้นทางนั้นๆ และนำมาหาผลรวมความเสี่ยงทุกเส้นทางของการได้รับสารปนเปื้อน

2.2) ประเมินค่าความเสี่ยงเทียบกับระดับความเสี่ยง

นำค่าผลรวมความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากสารปนเปื้อนจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้มาประเมินมาเทียบกับระดับความเสี่ยง ดังนี้

ระดับความเสี่ยง	ค่าความเสี่ยง
ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้	10^{-4}
ความเสี่ยงปานกลาง	10^{-5}
ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	10^{-6}

ที่มา: U.S. EPA., Guideline for Ecological Risk Assessment, 1998 (สืบค้นจาก http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=36512)

2.3) พิจารณาว่าค่าความเสี่ยงที่ประเมินได้อยู่ในช่วงใดให้แปลผลตามความเสี่ยงนั้น

กรณีตัวอย่าง การประเมินความเสี่ยงที่ประชาชนได้รับสารหนู โดยกำหนดให้ค่าประมาณสูงสุดสำหรับคนทั่วไปที่มีน้ำหนัก 70 กก. ดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร

การประเมินค่าความเสี่ยงของสารหนูที่ร่างกายได้รับซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ซึ่งปกติสารหนูเข้าสู่ร่างกายได้ทางการบริโภค ดังนั้น สามารถประเมินจากสมการข้างล่างนี้

ค่าความเสี่ยง (Risk) = ค่าปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ (In take) x oral cancer slope factor

ดังนั้น ปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคมีค่าประมาณ 1.70 x 10^{-2} มก./กก.-วัน ค่า Oral cancer slope factor ที่กำหนดไว้โดย EPA ที่จำแนกสารหนูเป็นสารประเภท Group A, human carcinogen มีค่าเป็น 1.5 ต่อมก./กก./วัน ดังนั้นค่าความเสี่ยงของการได้รับสารหนูมีค่าเป็น 2.55 x 10^{-2} ซึ่งค่านี้ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าระดับความเสี่ยง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยงและระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของสารหนู โดยระดับความเสี่ยงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับความเสี่ยงสูง หมายถึงเป็นระดับความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ระดับความเสี่ยงปานกลางหมายถึงระดับความเสี่ยงที่มีค่าความเสี่ยงมากกว่า 10^{-5} และระดับความเสี่ยงน้อยซึ่งมีค่าความเสี่ยงมากกว่า 10^{-6} ซึ่งจากการประเมินค่าความเสี่ยงของพื้นที่ศึกษาพบว่ามีค่าเกินกว่า 10^{-4} ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าหากมนุษย์หรือสัตว์บริโภคน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนสารหนูในปริมาณ 1.70 x 10^{-2} มก./กก.-วัน มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งอยู่ในระดับสูง

การจัดการกับความเสี่ยง

จากความเสี่ยงทั้ง 3 ระดับ สามารถแสดงและวิธีการจัดการดังนี้

1. **ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้** ในกรณีที่มีการปนเปื้อนในดินหรือน้ำใต้ดิน ต้องทำการลดความเสี่ยงทันทีอย่างเร่งด่วน โดยปกติ US EPA กำหนดให้ฟื้นฟูพื้นที่ให้ค่าความเสี่ยงลดลงให้เหลือต่ำกว่า 10^{-6} ภายในระยะเวลา 3 ปี

2. **ความเสี่ยงปานกลาง** ต้องลดความเสี่ยงในพื้นที่ปนเปื้อนโดยดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนภายในระยะเวลา 5 ปี ให้ค่าความเสี่ยงลดลงให้เหลือต่ำกว่า 10^{-6}

3. **ความเสี่ยงที่ยอมรับได้** สามารถจัดการโดยการดำเนินการเฝ้าระวัง และการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินอย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ รายละเอียดมาตรการและเทคโนโลยีในการฟื้นฟูความเสียหายที่ได้รับ ได้กล่าวไว้ใน “คู่มือการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของมลพิษ กากของเสียและสารอันตรายในดินหรือน้ำใต้ดิน”

เอกสารอ้างอิง

Joseph F. Louvar and B. Diane Louvar., Health and Environmental Risk Analysis: Fundmentals with Application, 1998.

Suter II, G.W. *et al*., Ecological Risk Assessment (HC), 2007. page 1-88.

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460, Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push Technologies, August 2005.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) : Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, 2005. (สืบค้นจาก www.epa.gov/riskassessment/)

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) : Guidelines for Ecological Risk Assessment, 1998. (สืบค้นจาก http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=36512)

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, คู่มือการตรวจสอบการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอย, 2547.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, โครงการสำรวจและประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของสารตะกั่วในลุ่มน้ำแม่กลองตอนบน, 2546.

กรมทรัพยากรธรณี, เทคนิคการสำรวจธรณีเคมี, (สืบค้นจาก http://www.dmr.go.th/main.php?filename=survey6)

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล ภายใต้โครงการการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล, 2551.

กลุ่มพัฒนาความปลอดภัยด้านผลิตภัณฑ์และสารเคมี สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. เอกสารทางวิชาการเรื่องการดำเนินงานความเสี่ยงต่อสุขภาพ, 2547.

ผศ.ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, แนวทางปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน, 2550.

พาลาภ สิงหเสนี, การประเมินความเสี่ยงจากพิษของวัตถุอันตราย: หลักการและการประยุกต์ใช้, 2540.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, แนวทางการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย, 2544.

ภาคผนวก

ภาคผนวก เกณฑ์การศึกษาสภาพภูมิประเทศ...

การศึกษาสภาพภูมิประเทศเพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษาสามารถดำเนินการใน 2 ลักษณะ คือ ขอบเขตพื้นที่การปกครอง และขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยพิจารณาข้อมูลทิศทาง มาตราส่วนและระยะทาง พิกัดภูมิศาสตร์ เส้นชั้นความสูง และจุดระดับความสูงบนแผนที่ภูมิประเทศ รวมถึงเส้นทางของลำน้ำหลัก ลำน้ำย่อย และแหล่งน้ำผิวดินในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถใช้ลักษณะสัณฐานภูมิประเทศและความลาดชันของพื้นที่ศึกษาในการวางแผนสำรวจและประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน หรือน้ำบาดาล จากนั้นทำการสำรวจระดับน้ำใต้ดินจากบ่อตื้นหรือบ่อน้ำบาดาลเพื่อทำแผนที่ระดับน้ำใต้ดินและกำหนดทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเกณฑ์ในการกำหนดลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานดังนี้

- **สัณฐาน** สามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะ คือ สัณฐานที่ระดับสูงกว่าปกติ สัณฐานระดับปกติ และสัณฐานที่ระดับต่ำกว่าปกติ (เกณฑ์การจำแนกตามตารางที่ 1) การศึกษาสภาพภูมิประเทศทำให้สามารถอธิบายลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญของพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยทิศทางของความลาดและความสูงของเทือกเขาหรือภูเขา เขตพื้นที่และความสูงของที่ลาดเชิงเขา ที่ราบ หรือลักษณะสัณฐานอื่นๆ ที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา หรือพื้นที่ใกล้เคียงที่คาดว่ามีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษา

- **ความลาดชัน** สามารถแสดงความลาดชันของพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ความลาดชันระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด เช่น ระหว่างบริเวณแหล่งกำเนิดกับพื้นที่อ่อนไหว หรือแสดงเป็นพื้นที่ความลาดชันโดยอาศัยระบบข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geographic information system, GIS) หรืออาจแสดงภาพตัดด้านข้าง ระหว่างจุดอ้างอิงดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนสำรวจพื้นที่ หรือประเมินความเป็นไปได้ของวิธีการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม ในกรณีที่มีการปนเปื้อนมลพิษบริเวณพื้นที่ศึกษา

เกณฑ์การจำแนกลักษณะสัณฐานภูมิประเทศ

ลักษณะสัณฐานภูมิประเทศ	เกณฑ์การจำแนก
สัณฐานที่สูงจากระดับปกติ (Positive forms)	
เทือกเขา (Mountain)	
เทือกเขาสูงมาก (Very high mountain)	ความสูงสัมพัทธ์ ≥ 800 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 500 ≤ h < 800 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ ≥ 2,000 เมตร
เทือกเขาสูงปานกลาง (Moderate high mountain)	ความสูงสัมพัทธ์ 500 ≤ h < 800 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ < 2,000 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 300 ≤ h < 500 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ ≥ 2,000 เมตร
เทือกเขาต่ำ (Low mountain)	ความสูงสัมพัทธ์ 300 ≤ h < 500 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ < 2,000 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 200 ≤ h < 300 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ ≥ 2,000 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 200 ≤ h < 500 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ < 2,000 เมตร
ภูเขา (hill)	
ภูเขาสูง (High hill)	ความสูงสัมพัทธ์ 100 ≤ h < 200 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ ≥ 2,000 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 100 ≤ h < 200 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ 500 ≤ h < 2,000 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 100 ≤ h < 200 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ < 500 เมตร
ภูเขาต่ำ (Low hill)	ความสูงสัมพัทธ์ 50 ≤ h < 100 เมตร
เนินเขา (Hillock)	
เนินเขาสูง (High hillock)	ความสูงสัมพัทธ์ 25 ≤ h < 50 เมตร
เนินเขาต่ำ (Low hillock)	ความสูงสัมพัทธ์ 5 ≤ h < 25 เมตร
ระดับการสูงขึ้น (Rise)	
ระดับการสูงขึ้นมาก (High rise)	ความสูงสัมพัทธ์ 1.5 ≤ h < 5 เมตร
ระดับการสูงขึ้นไม่มาก (Low rise)	ความสูงสัมพัทธ์ 0 ≤ h < 1.5 เมตร

ลักษณะสัณฐานภูมิประเทศ	เกณฑ์การจำแนก
ที่ราบสูง (Plateau)	
ที่ราบสูงมาก (High Plateau)	ความสูงสัมพัทธ์ ≥ 200 เมตร
	ความสูงสัมพัทธ์ 30 ≤ h < 200 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ ≥ 500 เมตร
ที่ราบสูงไม่มาก (Low plateau)	ความสูงสัมพัทธ์ 30 ≤ h < 200 เมตร หรือ ความสูงสมบูรณ์ < 500 เมตร
ที่ราบสูงเสมือน(Plateau-like form)	ความสูงสัมพัทธ์ < 30 เมตร
ตะพัก (Terrace)	ลักษณะภูมิประเทศแบบขั้นบันไดริมตลิ่งหรือชายฝั่ง ที่เรียกว่า ลานตะพักลำน้ำ (river terrace) ตะพักคลื่นสร้าง (wave-built terrace) และตะพักคลื่นเซาะ (wave-cut terrace) ในการกำหนดความสูงของตะพัก มักจะใช้ความสูงจากระดับแม่น้ำ หรือทางน้ำสายหลัก เช่น ตะพักสูงสุด (highest terrace) อยู่สูงจากระดับน้ำจากแม่น้ำสายหลัก 10 เมตร เป็นต้น
สัณฐานปกติ (Neutral forms)	
ที่ราบ (plain)	ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ ซึ่งอาจจะราบเรียบหรือมีลักษณะเป็นลูกคลื่นน้อยๆ โดยไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของความสูงหรือต่ำของพื้นที่ราบนั้นได้อย่างชัดเจน
สัณฐานที่ต่ำจากระดับปกติ (Negative forms)	
แอ่ง (Depression)	พื้นที่ซึ่งมีผิวหน้าต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง
ร่อง (Valley)	พื้นที่ที่เป็นลักษณะร่อง เช่น ร่องน้ำ ร่องธารน้ำแข็ง ที่มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้าง โดยระดับความต่ำของร่องให้วัดจากระดับความลึกของร่อง เช่น ร่องลึก 5-30 เมตร เป็นต้น ส่วนรูปร่างของร่องให้กำหนดตามรูปร่างจริง เช่น ร่องรูปตัวยู (U-shaped valley) ร่องรูปตัววี (V-shaped valley) เป็นต้น

หมายเหตุ : ความสูงสัมบูรณ์ หมายถึง ความสูงจากระดับน้ำทะเล

ความสูงสัมพัทธ์ หมายถึง ความสูงที่แตกต่างกันระหว่างสัณฐาน หรือ รูปร่าง 2 ชนิด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Choowong et.al. (2002)

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
1. การตรวจสอบสภาพพื้นที่เบื้องต้น				
(1) รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง	☐ ข้อมูลสภาพพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน	☐ ตำแหน่งที่ตั้ง จุดพิกัด และอาณาเขตของพื้นที่ปนเปื้อน ☐ ตำแหน่งที่ตั้งและจุดพิกัดของพื้นที่อ่อนไหวต่อการปนเปื้อนในบริเวณใกล้เคียง เช่น วัด โรงเรียน โรงพยาบาล สถานีอนามัย เป็นต้น		
	☐ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานของพื้นที่ปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียง	☐ แผนที่ภูมิประเทศ (ตามระวางพื้นที่ประเมิน) o มาตรส่วน 1:250,000 o มาตราส่วน 1:50,000	กรมแผนที่ทหาร	
	☐ ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา	☐ รายงานการสำรวจธรณีวิทยา (ตามระวางพื้นที่ประเมิน) ☐ แผนที่ธรณีวิทยาที่เหมาะสมกับงานสำรวจพื้นที่ปนเปื้อน (ตามระวางพื้นที่ที่ประเมิน) o แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:250,000 o แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000	กรมทรัพยากรธรณี	
	☐ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนและหลังการปนเปื้อนสารมลพิษ	☐ รายละเอียดของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในพื้นที่	กรมพัฒนาที่ดิน	
	☐ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	☐ อุณหภูมิ ☐ ปริมาณน้ำฝน ☐ ความชื้นสัมพัทธ์ ☐ ทิศทางและความเร็วลม	กรมอุตุนิยมวิทยา, กรมชลประทาน	

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
	☐ ข้อมูลอุทกวิทยา	☐ รูปแบบของทางน้ำ ☐ ความหนาแน่นของทางน้ำ ☐ ทิศทางการไหลของทางน้ำ ☐ ขอบเขตพื้นที่รับน้ำ สันปันน้ำ ☐ ขนาดพื้นที่แหล่งรับน้ำ	กรมชลประทาน,กรมอุทกศาสตร์	
	☐ ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่	☐ แผนที่อุทกธรณีวิทยา o แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับภาคมาตราส่วน 1:500,000 o แผนที่อุทกธรณีวิทยาระดับจังหวัดมาตราส่วน 1:500,000 และ 1:1,000,000 หรือเท่าที่สามารถสืบค้นได้จากระบบฐานข้อมูล ☐ ฐานข้อมูลบ่อบาดาล และแผนที่น้ำบาดาลระดับจังหวัด มาตราส่วน 1:100,000 หรือสามารถสืบค้นได้จากระบบฐานข้อมูล ☐ ข้อมูลการเจาะบ่อบาดาล o ข้อมูลลักษณะชั้นดินและชั้นหินของบ่อบาดาล (Drilling logs of wells) แสดงรายละเอียดของชั้นดินชั้นหินที่เจาะพบที่ระดับความลึกต่างๆ ของบ่อเจาะ o ข้อมูลบันทึกรายละเอียดของบ่อบาดาล (Records of wells) แสดงรายละเอียดของบ่อบาดาลทุกบ่อ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ระบบฐานข้อมูล “พสุธารา” ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล	
	☐ ข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ	☐ ที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม เหมืองแร่ หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย เป็นต้น ☐ ผลการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของสารมลพิษฯ (ถ้ามี)	สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด, เทศบาล, สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่	

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
	☐ ข้อมูลสภาพเศรษฐกิจ สังคมและประชากร	☐ กลุ่มคน และจำนวนประชากรในพื้นที่ ☐ สภาพเศรษฐกิจและการประกอบอาชีพ	เทศบาล, องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่รับผิดชอบ	
	☐ ข้อมูลประวัติการปนเปื้อนของพื้นที่	☐ การปนเปื้อนในอดีต ☐ การลักลอบทิ้งสารเคมีในพื้นที่ ☐ รายละเอียดขอบเขตและที่ตั้งของพื้นที่ ☐ ชนิด ปริมาณและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ☐ คุณลักษณะ สถานะของสารและการเปลี่ยนรูป	ข้อมูลจากราชการส่วนท้องถิ่น	(ถ้ามี)
(2) การเข้าสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้น	☐ สำรวจลักษณะทางกายภาพของพื้นที่	☐ รูปร่าง ขนาด และที่ตั้งของพื้นที่ปนเปื้อน ☐ ลักษณะพื้นผิวที่ได้รับการปนเปื้อน เช่น พื้นดินที่ไม่มีพืชคลุมดิน พื้นดินที่มีพืชปกคลุม พื้นคอนกรีต เป็นต้น	จากการสังเกต	
	☐ สำรวจลักษณะการปนเปื้อนของพื้นที่	☐ ลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ o ลักษณะการกองทิ้งบนผิวดิน o ลักษณะการฝังไว้ในดิน o ลักษณะการไหลนองบนผิวดิน o อื่นๆ ..... ☐ การเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจหาชนิด ปริมาณ และสถานะของสารปนเปื้อน เป็นต้น	การสังเกต ร่วมกับ การทำ screening test	
	☐ สำรวจการได้รับผลกระทบของประชาชนโดยรอบ	<u>ก่อนได้รับการปนเปื้อน</u> ☐ การประกอบอาชีพ ☐ รายได้รายจ่าย/คน <u>หลังได้รับการปนเปื้อน</u>	แบบสอบถาม หรือแบบสัมภาษณ์	

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
		☐ การเปลี่ยนแปลงทางด้านการประกอบอาชีพ ☐ การเปลี่ยนแปลงทางด้านรายได้รายจ่าย/คน ☐ ผลกระทบที่ได้รับจากการปนเปื้อนฯ o ผลกระทบด้านปัญหาสิ่งแวดล้อม o ผลกระทบด้านปัญหาสุขภาพอนามัย o ผลกระทบอื่นๆ ..... ☐ ระยะเวลา ความต่อเนื่องของการได้รับผลกระทบ ☐ การได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน		
(3) การประเมินลักษณะพื้นที่	☐ ประเมินสภาพทางกายภาพของพื้นที่	☐ สำรวจลักษณะและสภาพภูมิประเทศของพื้นที่และพื้นที่ใกล้เคียง ☐ สำรวจลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่และพื้นที่ใกล้เคียง ☐ กำหนดขอบเขตลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานของพื้นที่ปนเปื้อน ☐ จัดทำแผนที่แสดงตำแหน่งและขอบของพื้นที่ที่เป็นจุดเริ่มต้นของการปนเปื้อนและพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับการปนเปื้อน	กรมแผนที่ทหาร (ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศการรับรู้ระยะไกลร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ)	
	☐ สำรวจสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่	☐ ทำการแปลความหมายจากแผนที่ธรณีวิทยา ☐ สำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาภาคสนาม เพื่อยืนยันความถูกต้องของแผนที่และข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้อ้างอิง ☐ จัดทำแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่		

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
	☐ ประเมินลักษณะและสภาพทางอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่	☐ ปริมาณน้ำฝน o วิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของพื้นที่ o วิเคราะห์การกระจายปริมาณฝนตามพื้นที่และเวลา o วิเคราะห์เส้นชั้นปริมาณฝนจากข้อมูลปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายฤดู o วิเคราะห์การกระจายปริมาณฝนในระดับต่างๆ ในแต่ละฤดูกาล ☐ ปริมาณน้ำท่า o รูปแบบของลำน้ำและความหนาแน่นของลำน้ำในพื้นที่ o วิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของพื้นที่ ☐ วิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำไหลบ่าเหนือผิวดิน		
	☐ ประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่	☐ สำรวจอุทกธรณีวิทยาบนผิวดิน ☐ สำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน ☐ เจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างชั้นดินและชั้นหินของบริเวณพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน		
	☐ จัดทำรายการแหล่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่มีในพื้นที่	☐ รายการแสดงนิเวศวิทยาบนบก ☐ รายการแสดงนิเวศวิทยาทางน้ำ		

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
(4) ประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหา		☐ ทำการประเมินสถานการณ์และความรุนแรงของปัญหาโดยพิจารณาจากผลการประเมินลักษณะพื้นที่ ร่วมกับผลการตรวจสอบพื้นที่เบื้องต้น		
2. การตรวจสอบและประเมินสภาพพื้นที่โดยละเอียด				
(1) กำหนดขอบเขตพื้นที่	☐ กรณีที่ไม่ทราบขอบเขตพื้นที่ชัดเจน ☐ กรณีที่ทราบขอบเขตชัดเจน	☐ พื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน ☐ พื้นที่ใกล้เคียง ☐ พื้นที่อ้างอิง		
(2) การสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่	☐ วางแผนการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง	☐ กำหนดจุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง ☐ ประเมินหาระยะทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนเบื้องต้น จากสมการ Darcy's Law ☐ ประเมินหาระดับความลึกของน้ำใต้ดินและประเภทของชั้นดิน		อาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ
	☐ การคัดเลือกพารามิเตอร์	☐ พารามิเตอร์ : ลักษณะทางกายภาพ ☐ พารามิเตอร์ : กลุ่มสาร VOCs ☐ พารามิเตอร์ : กลุ่มโลหะหนัก ☐ พารามิเตอร์ : กลุ่ม Pesticides ☐ พารามิเตอร์ : กลุ่มสารอันตรายอื่นๆ	พรบ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2535.	
	☐ การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง	☐ การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ☐ การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน	พรบ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2535.	วิธีการเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน
(3) ประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน		☐ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ☐ วิธีการหรือเครื่องมืออื่นๆ.....		ผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
(4) วิเคราะห์ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ	☐ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	☐ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ☐ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ		
	☐ ผลกระทบสุขภาพ	☐ ปัจจัยด้านชนิดของสารอันตราย ☐ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ☐ ปัจจัยที่เกี่ยวกับการสัมผัส ☐ ผลกระทบต่อสุขภาพ ☐ ผลกระทบต่อการบริการทางการแพทย์ ☐ ผลกระทบต่อความเป็นอยู่ที่ดี		
	☐ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม	☐ การเปลี่ยนแปลงการจ้างงาน ☐ รายได้ของประชาชน ☐ แหล่งที่ดินทำกิน		
3. การประเมินความเสี่ยงและการแปรผล				
(1) การบ่งชี้ความเสี่ยงหรืออันตราย	☐ แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง	☐ สารเคมี ☐ กากอุตสาหกรรม		
	☐ ตัวกลางของการปนเปื้อน	☐ ดิน ☐ น้ำผิวดิน ☐ น้ำใต้ดิน ☐ อากาศ ☐ สัตว์ ☐ พืช ☐ อื่นๆ.....		

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
	☐ ผู้รับความเสี่ยง	☐ คน ☐ พืช ☐ สัตว์ ☐ สิ่งแวดล้อม		
	☐ ผลกระทบต่อความเสี่ยง	☐ ด้านสุขภาพ ☐ ด้านสิ่งแวดล้อม ☐ ด้านเศรษฐกิจและสังคม		
(2) ความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับและการตอบสนอง	☐ สารไม่ก่อมะเร็ง	☐ ประเมินจากค่า RfD		
	☐ สารก่อมะเร็ง	☐ มีข้อมูลจำกัดและไม่ทราบกลไกการก่อให้เกิดมะเร็งของปัจจัยเสี่ยง ☐ มีข้อมูลเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและการก่อให้เกิดมะเร็งเป็นแบบ non-linear		
(3) การประเมินการสัมผัส	☐ วิเคราะห์ข้อมูล	☐ วิถีทางและปริมาณของสารอันตรายที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกาย ☐ แหล่ง สถานที่ ช่วงเวลาและปริมาณที่สารอันตรายถูกปล่อยจากแหล่งต้นกำเนิด ☐ ความเข้มข้นของวัตถุอันตรายในตัวกลางต่างๆ เพื่อประเมินการได้รับสัมผัส ☐ ลักษณะและจำนวนกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัส		
	☐ คำนวณปริมาณสารอันตรายที่ได้รับ	☐ การได้รับสารเคมีจากการดื่มน้ำ ☐ การได้รับสารเคมีจากการดื่มน้ำในขณะแปรงฟัน ☐ การได้รับสารเคมีจากการสัมผัสทางผิวหนังในขณะอาบน้ำ		

ขั้นตอน	รายละเอียด	รายการ	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
(4) การประเมินลักษณะของความเสี่ยง	☐ สารที่ไม่ก่อมะเร็ง	☐ ดูได้จากค่า Hazard quotient (HQ)		
	☐ สารที่ก่อมะเร็ง	☐ คำนวณหาความเสี่ยง ☐ ประเมินค่าความเสี่ยงเทียบกับระดับความเสี่ยง ☐ พิจารณาว่าค่าความเสี่ยงที่ประเมินได้อยู่ในช่วงใด o ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ o ความเสี่ยงปานกลาง o ความเสี่ยงที่ยอมรับได้		

คณะผู้จัดทำ

ที่ปรึกษา

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

ผู้ทรงคุณวุฒิ

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

คณะกรรมการกำกับ

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

คณะทำงานตรวจสอบคุณภาพงาน

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

คณะผู้จัดทำ

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