

ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เรื่อง คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน

พ.ศ. ๒๕๖๐

เพื่อให้มีคู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินไว้เป็นแนวทางสำหรับการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๘ แห่งประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดเกณฑ์การปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน การตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน การแจ้งข้อมูล รวมทั้งการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน และรายงานเสนอมาตรการควบคุมและมาตรการลดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน พ.ศ. ๒๕๕๙ กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงประกาศใช้คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน โดยคู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินให้เป็นไปตามที่ปรากฏใน “คู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบการอุตสาหกรรม” ที่แนบท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๓ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๐

มงคล พฤกษ์วัฒนา

อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

คู่มือ

การสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบการอุตสาหกรรม

คู่มือนี้ครอบคลุมรายละเอียดวิธีการกำหนดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน การประกันและควบคุมคุณภาพสำหรับเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน การเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน การรักษาตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน การบันทึกข้อมูลระหว่างการเก็บตัวอย่าง การรายงานผล และเกณฑ์การเลือกเทคโนโลยีฟื้นฟู โดยมีจุดประสงค์ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินของผู้ประกอบกิจการโรงงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง



คำนำ

คู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบกิจการอุตสาหกรรมฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจและเผยแพร่แก่หน่วยงานราชการ ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม ที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม สถาบันการศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานที่สอดคล้องกับกฎกระทรวงควบคุมการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินภายในบริเวณโรงงาน พ.ศ. 2559 ของเจ้าหน้าที่กำกับดูแล ผู้ประกอบการ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งจะมีความชัดเจนและเป็นรูปธรรมในทางปฏิบัติ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญครอบคลุมตั้งแต่ การวางแผนสำรวจข้อมูล การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ เครื่องมือและการเก็บตัวอย่าง การนำเสนอข้อมูลจากการสำรวจ ไปจนถึงแนวทางบำบัดหรือฟื้นฟูคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน เพื่อให้ตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินที่เก็บเป็นตัวแทนที่ดีและเพียงพอที่จะสะท้อนสถานะที่แท้จริงของปริมาณสารปนเปื้อนตลอดจนคุณสมบัติอื่น ๆ ในบริเวณพื้นที่โรงงานหรือในดินบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อที่จะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และวางแผนหรือกำหนดมาตรการในการเฝ้าระวังหรือดำเนินการจัดการการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบกิจการอุตสาหกรรมให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการสำรวจต่อไป

ส่วนมลพิษดิน สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อส่วนราชการ และผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานของหน่วยงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ส่วนมลพิษดิน
สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน
กันยายน 2559



สารบัญ

1 บทนำ

1.1 ที่มา ความจำเป็น ภาพรวมคู่มือ	6
1.2 หลักการการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน และน้ำใต้ดินเบื้องต้น	7
1.3 เทคโนโลยีและอุปกรณ์การเจาะและสำรวจ พื้นที่ปนเปื้อนในทางกายภาพ	10
1.4 ปกติติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน.....	11
1.5 การกำหนดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง	14
1.6 การประยุกต์ใช้คู่มือสำหรับกรณีอุบัติเหตุ หรือกรณีเหตุฉุกเฉิน และการลักลอบทิ้ง	16



๒ การสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่าง

2.1 การกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนการสำรวจ และเก็บตัวอย่าง	20
2.2 การวางแผนและเข้าพื้นที่เพื่อสำรวจและเก็บตัวอย่าง.....	22
2.3 เครื่องมือและการเก็บตัวอย่างดิน	35
2.4 เครื่องมือและการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน	41
2.5 การรายงานผลและองค์ประกอบในรายงาน.....	51
2.6 มาตรการติดตามผล	56

๓ แนวทางบำบัดหรือฟื้นฟูคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน

3.1 เทคโนโลยีในการบำบัดดิน.....	58
3.2. เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำใต้ดิน.....	59

เอกสารอ้างอิง	66
---------------------	----

ภาคผนวก.....	69
--------------	----

1. บทนำ

1.1) ที่มา ความจำเป็น ภาพรวมคู่มือ

จากการจัดการสารพิษอันตรายในภาคอุตสาหกรรมที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการในกรณีต่างๆ เช่น ในกระบวนการผลิต ในกรณีอุบัติเหตุ หรือกรณีที่มีการจงใจลักลอบทิ้งในพื้นที่ที่ไม่ได้จัดเตรียมไว้ เป็นต้น อาจเป็นสาเหตุให้มีการปนเปื้อนของสารอันตรายหลายชนิดในดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่อุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและต่อสุขภาพของประชาชน ในที่สุด ในเบื้องต้น การสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำมาประเมินสถานการณ์ได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้น กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญและความจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาคู่มือหรือแนวทางปฏิบัติฉบับนี้ขึ้น โดยเนื้อหาหลักในคู่มือจะประกอบไปด้วยข้อมูลและแนวทางการปฏิบัติสำหรับการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่สถานประกอบการเป็นหลัก

คู่มือเล่มนี้จะไม่ครอบคลุมเทคโนโลยีและวิธีการทุกอย่างที่มีในปัจจุบัน ทั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ทบทวนเอกสารและวิธีการที่มีรายงานไว้ในเอกสารต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศโดยเฉพาะแนวปฏิบัติโดย U.S. EPA และนำเสนอวิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายและไม่ซับซ้อนเกินไปในทางปฏิบัติ เพื่อให้ผู้ศึกษาคู่มือเห็นภาพรวม และสามารถดำเนินการได้ในเบื้องต้นโดยผู้ที่มีประสบการณ์พอสมควรในการเก็บตัวอย่างคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาและสำรวจในกรณีที่มีความซับซ้อน อาจจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางร่วมด้วย



1.2) หลักการการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินเบื้องต้น

โดยทั่วไป น้ำใต้ดินและน้ำบาดาล (Groundwater) (รูปที่ 1) จะหมายถึงน้ำที่อยู่ในระหว่างช่องว่างของชั้นดินหรือหิน ในกรณีที่ชั้นดินหรือหินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเรียกว่าชั้นดินหรือหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ซึ่งจะแบ่งได้เป็นหลักๆ 2 ลักษณะคือ 1) ชั้นดินหรือชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่มีแรงดัน (Unconfined Aquifer) ซึ่งจะพบเป็นชั้นแรกจากระดับผิวดินลงไป ระดับความลึกของชั้นน้ำและทิศทางการไหลอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามพื้นที่และฤดูกาล และมักจะเป็นชั้นน้ำใต้ดินที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษที่มีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรม และ 2) ชั้นดินหรือหินอุ้มน้ำที่มีแรงดัน (Confined Aquifer) เป็นชั้นน้ำใต้ระดับชั้นดาน้ำ มักจะเป็นชั้นที่ถูกสูบขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการอุปโภคบริโภค รวมทั้งในทางอุตสาหกรรม ชั้นดินหรือหินอุ้มน้ำที่มีแรงดันอาจจะมีมากกว่าหนึ่งชั้นได้ขึ้นกับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่

สำหรับนิยามจำเพาะตามกฎหมาย ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินกำหนดว่า “น้ำใต้ดิน” หมายถึง น้ำที่อยู่ใต้ดิน และให้หมายความรวมถึงน้ำบาดาลตามกฎหมายว่าด้วยน้ำบาดาล

ส่วนน้ำบาดาลตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 กำหนดไว้ว่า “น้ำบาดาล” หมายความว่า น้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นดิน กรวด หิน หรือหิน ที่อยู่ลึกจากผิวดินเกินความลึกที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดเขตน้ำบาดาลและความลึกของน้ำบาดาล พ.ศ. 2554 กำหนดให้ท้องที่กรุงเทพมหานคร และท้องที่ของแต่ละจังหวัดทุกจังหวัดในราชอาณาจักรไทย เป็นเขตน้ำบาดาล และให้น้ำใต้ดินที่อยู่ลึกจากผิวดินลงไปเกินกว่า 15 เมตร เป็นน้ำบาดาล ในเขตน้ำบาดาลกรุงเทพมหานคร และเขตน้ำบาดาลจังหวัดทุกจังหวัดในราชอาณาจักรไทย

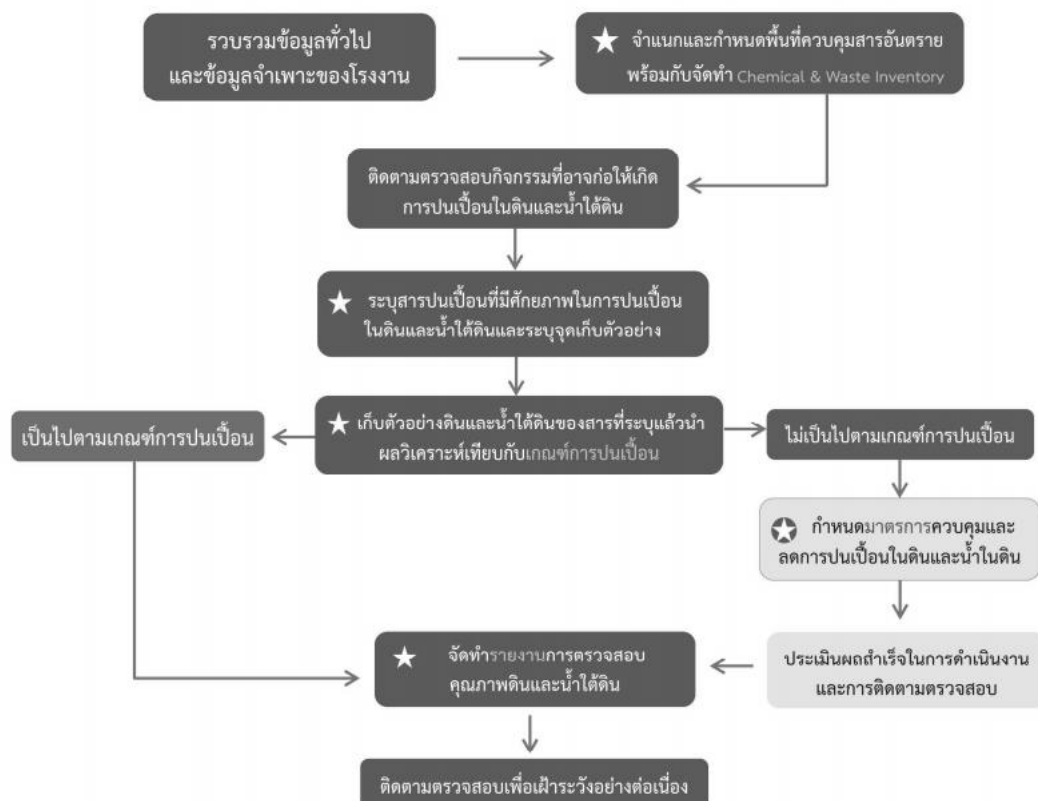
วัตถุประสงค์หลักของการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน คือ การรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องให้ได้มากพอที่จะทำการประเมินสถานการณ์ ซึ่งขั้นตอนในการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนอาจจะแบ่งได้เป็น 8 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2



หลักการสำคัญทั่วไปที่ยึดถือในการเก็บตัวอย่าง คือ ต้องเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสภาพจริง (Representative Samples) ให้มากที่สุด ซึ่งการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสภาพจริงจะต้องคำนึงประเด็นหลัก 2 ประเด็น ได้แก่ ลักษณะขององค์ประกอบที่มีในดินและน้ำใต้ดิน และเทคนิคหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้าถึงตำแหน่งที่ต้องการเก็บตัวอย่าง (Access) และเทคนิคหรืออุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง (Sampling)



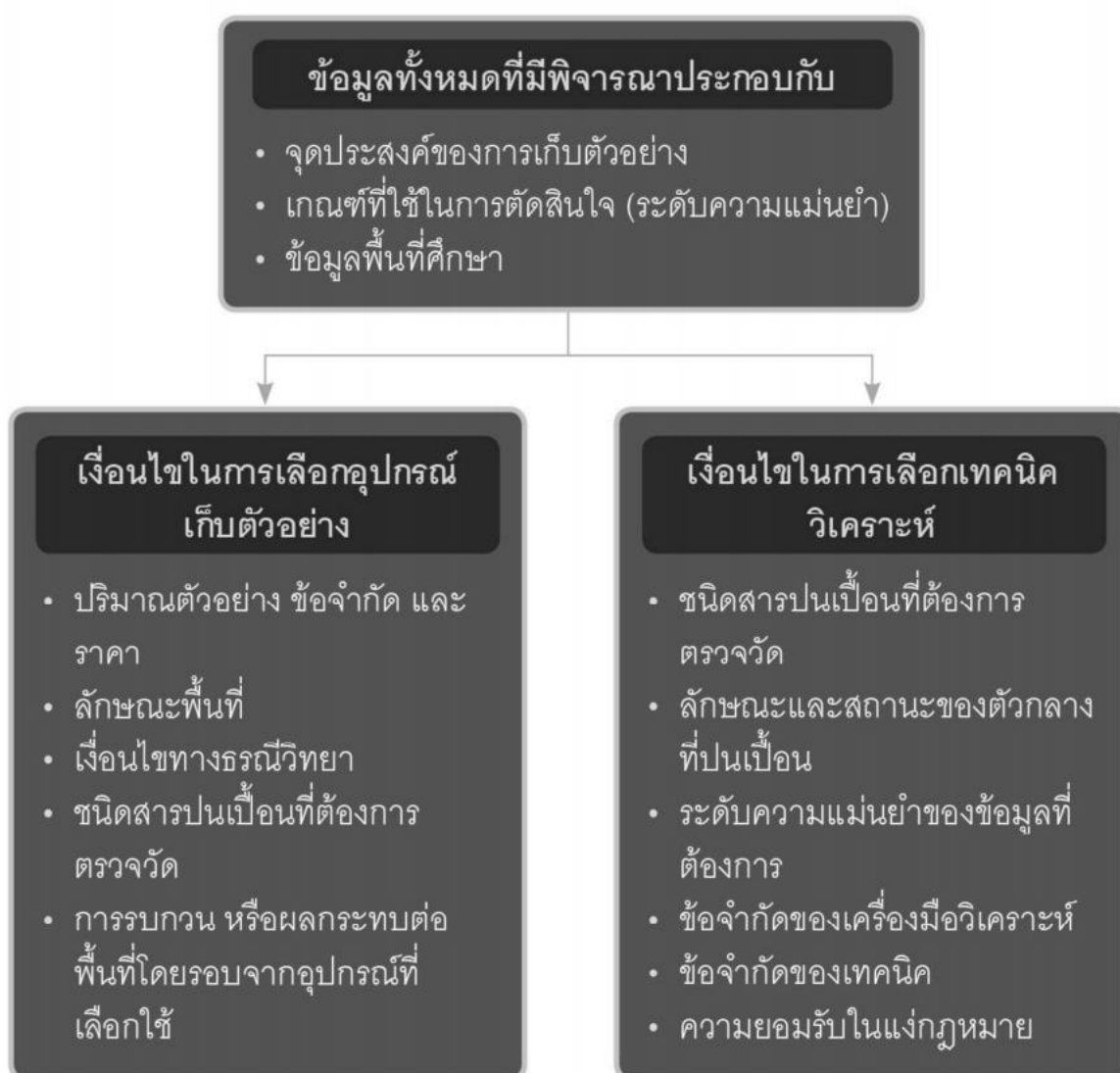
รูปที่ 1 ชั้นน้ำใต้ดิน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน



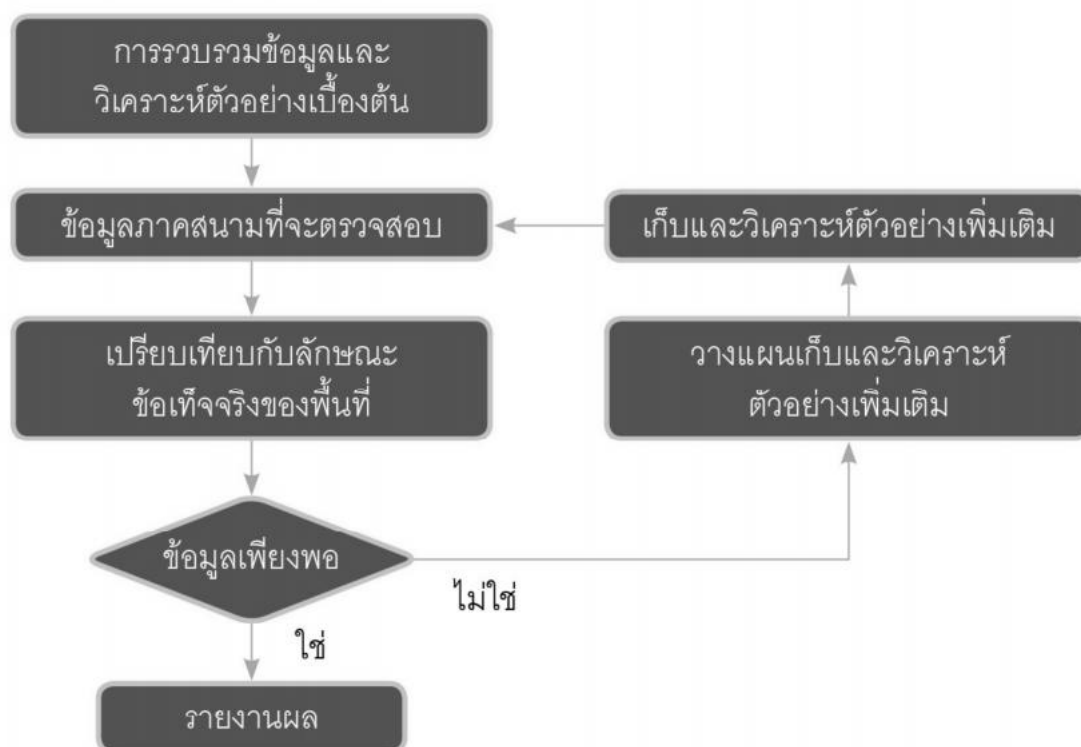
ในกรณีที่ต้องส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จะต้องทำความเข้าใจกับเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ให้ทราบถึงลักษณะเบื้องต้นของตัวอย่างและปัจจัยประกอบอื่นๆ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประจำห้องปฏิบัติการกำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่างและรักษาสภาพตัวอย่างให้ผู้ปฏิบัติงานในภาคสนามปฏิบัติตาม ในภาพรวม ปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการเลือกเครื่องมือเก็บตัวอย่างและเทคนิคการวิเคราะห์อาจจะสรุปได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเครื่องมือเก็บตัวอย่างและเทคนิคการวิเคราะห์



เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์และแปลผล โดยผลที่ได้จะต้องนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับหลักเกณฑ์ที่กำหนดและอาจจะมีการใช้เครื่องมืออื่นๆ ประกอบ เช่น วิธีวิเคราะห์เชิงสถิติ หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น กรณีที่ข้อมูลไม่เพียงพออาจจะต้องทำการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 | ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูล

1.3) เทคโนโลยีและอุปกรณ์การเจาะและสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนในทางกายภาพ

เทคนิคและอุปกรณ์เพื่อการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนในทางกายภาพที่ผลิตและมีการใช้งานมีอยู่หลากหลาย อุปกรณ์สำรวจเหล่านี้จะมีการใช้และแปลผลโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ประเด็นที่สำคัญสำหรับการใช้อุปกรณ์ที่มีการแทรกซ้อน (Intrusive) ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน คือ จะต้องเคร่งครัดในการทำความสะดวก อุปกรณ์ปนเปื้อน (Decontamination) เพื่อป้องกันการเกิดการปนเปื้อนระหว่างจุดเก็บ และจะต้องมีการอุดรูที่เกิดขึ้นจากการเจาะเพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างชั้นน้ำต่างๆ และจากพื้นผิว



ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนในทางกายภาพ ได้แก่ Ground Penetrating radar (GPR), Seismic Refraction และ Electrical Resistivity (ER) เป็นต้น ซึ่งโดยภาพรวมของอุปกรณ์เหล่านี้ใช้สำหรับตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยาของดิน ทำให้ทราบข้อมูลโครงสร้าง หรือสาธารณูปโภคที่อยู่ใต้ดิน เช่น แนวท่อร้อยสายไฟฟ้าหรือโทรศัพท์ แนวท่อประปา ฐานรากของโครงสร้าง เป็นต้น นอกจากนี้ในบางกรณียังสามารถตรวจสอบการปนเปื้อนว่าอยู่บริเวณใดบ้าง และมีการกระจายตัวของสารปนเปื้อนอย่างไร

1.4 บ่อติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน

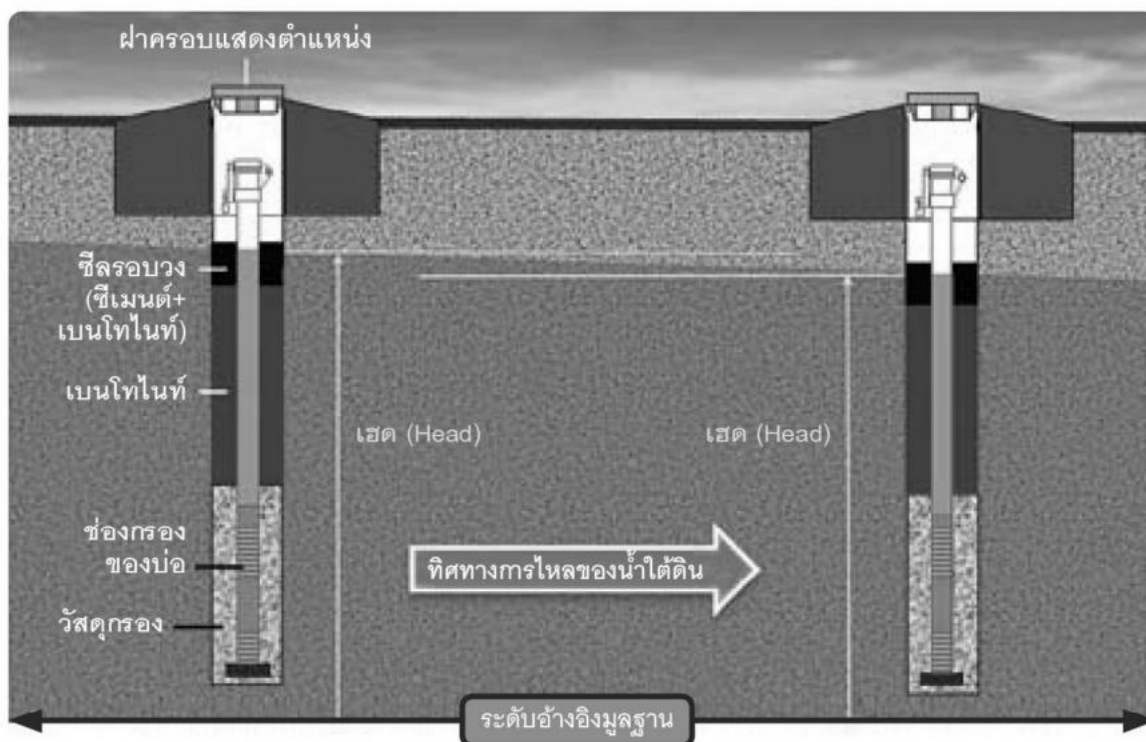
บ่อติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำหรือเรียกว่าบ่อสังเกตการณ์ (Monitoring Well) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าบ่อสูบน้ำโดยทั่วไป โดยมีหน้าที่หลักคือ ทำหน้าที่เป็นมาตรความดันน้ำ (Piezometer) สำหรับติดตามตรวจสอบระดับน้ำ (Hydraulic Head) (รูปที่ 5) และใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้อาจใช้เพื่อทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินอุ้มน้ำ (Aquifer Test) เช่น สภาพความนำน้ำ (Hydraulic Conductivity) ค่าyieldของชั้นดินอุ้มน้ำ (Aquifer Yield) เป็นต้น

การไหลของน้ำใต้ดินจะเป็นไปในทิศทางที่มีพลังงานรวมจากสูงไปต่ำซึ่งในทางเทคนิคเรียกว่า เฮด (Head) ซึ่งก็คือความสูงของระดับน้ำในบ่อติดตามตรวจสอบเทียบกับระดับอ้างอิง เช่น ระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นต้น ระดับเฮดสามารถคำนวณได้จากความลึกของระดับน้ำในบ่อติดตามตรวจสอบ (รูปที่ 5)

องค์ประกอบหลักของบ่อติดตามตรวจสอบที่แสดงในรูปที่ 5 ประกอบด้วย ตัวบ่อ (Riser) ซึ่งเป็นท่อกลวงที่มีการประกอบเข้ากับช่องกรอง (Well Screen) หรือมีการบากให้เป็นช่องกรองในช่วงความลึกที่ต้องการ เพื่อให้ น้ำไหลเข้าและผ่านบ่อได้ และฝาปิดท้ายเพื่อป้องกันตะกอนและน้ำไหลเข้าจากด้านล่าง ช่องว่างระหว่างช่องกรองและหลุมจะถูกบรรจุด้วยวัสดุกรอง เช่น ทรายสะอาด เป็นต้น เพื่อป้องกันตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กผ่านเข้ามาในบ่อ ช่องว่างระหว่างตัวบ่อและหลุมถัดจากวัสดุกรองขึ้นไปจะถูกยัดด้วยวัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยาก เช่น เคลย์ (เบนโทไนท์) เพื่อป้องกันการไหลขึ้นลงในแนวตั้งของน้ำจากผิวดินหรือจากชั้นดินอุ้มน้ำระดับที่อยู่สูง



กว่ารวมทั้งสารปนเปื้อนด้วย ถัดขึ้นมาช่องว่างจะถูกอุดด้วยวัสดุอุดแข็งตัว (Grout) เพื่อกันน้ำและเป็นโครงสร้างให้บ่อมีเสถียรภาพไม่โยกคลอนได้ง่าย ทั้งนี้ การเลือกชนิดวัสดุสำหรับทำเป็นตัวบ่อ และวัสดุกรอง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเก็บตัวอย่าง ชนิดของสารปนเปื้อน เป็นต้น



รูปที่ 5 ตัวอย่างองค์ประกอบของบ่อดิตตามตรวจสอบคุณภาพน้ำและชั้นน้ำใต้ดิน

การเลือกตำแหน่งและกำหนดจำนวนบ่อ การเลือกตำแหน่งและจำนวนบ่อที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งบ่อดิตตามตรวจสอบนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ ลักษณะการปนเปื้อน วัตถุประสงค์ของการศึกษา และกิจกรรมที่อาจจะก่อให้เกิดการปนเปื้อน ในโรงงานโดยสภาพทางธรณีวิทยา ชลศาสตร์ และชนิดของสารปนเปื้อนจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกำหนดตำแหน่งสำหรับติดตั้งบ่อดิตตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ส่วนจำนวนจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา วิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ รวมทั้งงบประมาณด้วย ซึ่งจะต้องครอบคลุมกิจกรรมที่อาจจะก่อให้เกิดการปนเปื้อน ในโรงงานด้วยเช่นกัน โดยทั่วไป ในกรณีที่สามารถกำหนดทิศทางการไหลหลักของ



น้ำใต้ดินได้ อย่างน้อยที่สุด ในชั้นน้ำที่คาดว่าจะมีการปนเปื้อน ควรมีบ่อดิตตาม ตรวจสอบคุณภาพน้ำ ที่ต้นน้ำก่อนถึงพื้นที่ปนเปื้อน 1 บ่อ เพื่อเป็นบ่ออ้างอิง และที่ ท้ายน้ำของแหล่งกำเนิด ในแนวเดียวกับทิศทางการไหลและในแนวขวางเพื่อ ตรวจสอบความเร็วของการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและดูการแพร่กระจาย (รูปที่ 6) ในกรณีที่ไม่ทราบทิศทางการไหลที่แน่นอน สามารถประเมินเบื้องต้นได้จาก ลักษณะสูงต่ำของพื้นที่ การประเมินจากการไหลของแม่น้ำหรือลำธารธรรมชาติ ในพื้นที่ รวมทั้งการประเมินจากระดับน้ำในบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้เคียง โดยเฉพาะ ชั้นน้ำใต้ดินที่ไม่มีแรงดัน มักจะมีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับสภาพสูงต่ำของ ภูมิประเทศโดยรอบ



รูปที่ 6 | การวางตำแหน่งบ่อดิตตามตรวจสอบสำหรับการเฝ้าระวังและติดตามการปนเปื้อน



1.5) การกำหนดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง

สำหรับการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างดินตามความลึก สามารถใช้เกณฑ์เดียวกับการเลือกตำแหน่งสำหรับติดตั้งบ่อติดตามตรวจสอบ เพราะในเบื้องต้นตัวอย่างดินตามความลึกจะเก็บในขั้นตอนที่ทำการขุดเจาะเพื่อติดตั้งบ่อติดตามตรวจสอบ ส่วนตัวอย่างน้ำจะเก็บจากบ่อติดตามตรวจสอบที่ทำการติดตั้งแล้ว สำหรับการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ มีวิธีการกำหนดจุดเก็บหลายลักษณะในเบื้องต้น ดังนี้

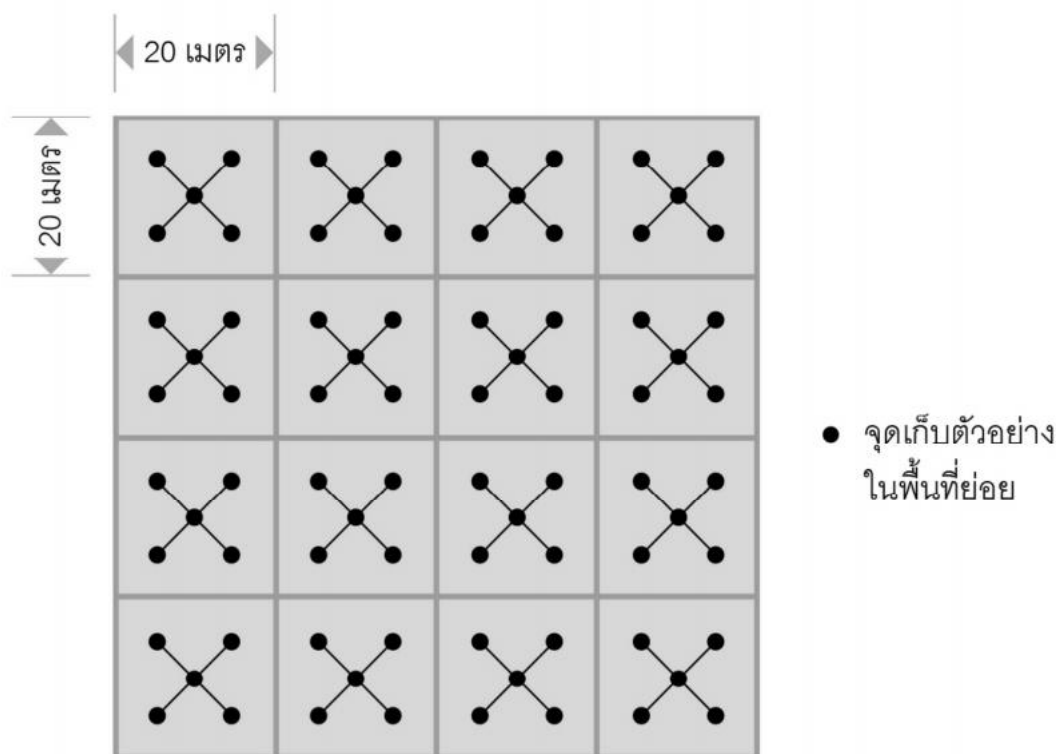
1) การเก็บอย่างไร้รูปแบบ (Haphazard Sampling) เป็นการเลือกเก็บตัวอย่างตามใจชอบ เช่น เก็บเฉพาะจุดที่มีความสะดวก จุดที่เข้าถึงได้ง่าย เป็นต้น โดยไม่มีหลักการใดๆ รองรับ การทำเช่นนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการเก็บตัวอย่างได้มาก โดยเฉพาะในการตรวจสอบพื้นที่ปนเปื้อน อาจจะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเลยหรือในกรณีเร่งด่วน

2) การเก็บแบบสืบค้น (Search Sampling) เป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลเดิมประกอบกับความเป็นมาของพื้นที่เพื่อประเมินส่วนของพื้นที่ที่มีโอกาสการปนเปื้อนสูง เช่น พื้นที่ที่ทราบว่ามี การปนเปื้อนด้วยน้ำมันเครื่องโดยปกติบริเวณพื้นผิวที่มีการปนเปื้อนจะมีสีดำเข้ม หรือมีข้อมูลว่าเคยเป็นพื้นที่ที่มีการกองกาก เป็นต้น ดังนั้น การเก็บตัวอย่างจะเน้นในบริเวณนั้นเป็นหลัก เมื่อเทียบเคียงข้อมูลและแผนผังของพื้นที่แล้วจึงทำการเลือกจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณที่มีการปนเปื้อนมาก่อน เป็นต้น การเก็บแบบสืบค้นอาจจะใช้เทคนิคที่หลากหลายในการเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะอุปกรณ์แบบพกพา เช่น Conductivity meter, pH meter, Soil Moisture meter และ GC FID/PID แบบพกพา เป็นต้น เพื่อให้สามารถระบุพื้นที่ที่น่าจะเป็นแหล่งกำเนิดได้อย่างรวดเร็ว เพื่อที่จะทำการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

3) การเลือกเก็บตามความเห็น (Judgement/Biased Sampling) เป็นการสุ่มเก็บตามความเห็นโดยเลือกเอาตัวอย่างที่คาดว่าจะเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มเก็บตัวอย่างในกรณีที่ต้องเก็บตัวอย่างจำนวนจำกัด รวมทั้งการเก็บตัวอย่างดินจากระดับลึกด้วยเครื่องมือหนัก เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไปได้



4) การเก็บตามการแบ่งพื้นที่ย่อย (Grid) เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีการปนเปื้อนในดินชั้นต้นที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือหนักในการขุดเจาะเพื่อเก็บตัวอย่าง ในกรณิดังกล่าว อาจจะแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็นพื้นที่ย่อยขนาดเท่าๆ กัน หรือแตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะพื้นที่ โดยมากจะแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยขนาดเท่าๆ กัน ซึ่งเกณฑ์การแบ่งพื้นที่อาจจะทำตามหลักสถิติ ลักษณะเครื่องมือที่ใช้เก็บ ตามรูปร่างและขนาดของพื้นที่ หรือเกณฑ์ใดๆ ตามความเหมาะสม การเก็บตัวอย่างในพื้นที่ย่อยจะทำการเก็บตัวอย่างแบบผสม (Composite) โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินจุดละอย่างน้อย 100 กรัม เพื่อผสมให้ได้หนึ่งตัวอย่าง อาจจะใช้รูปแบบ 5 จุด (5-point composite) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ย่อย ในรูปจะเก็บตัวอย่างแบบผสมในรูปแบบ 5 จุดจากแต่ละพื้นที่ย่อย ซึ่งในกรณีนี้จะได้ตัวอย่างที่ต้องนำไปวิเคราะห์ทั้งหมด 16 ตัวอย่าง

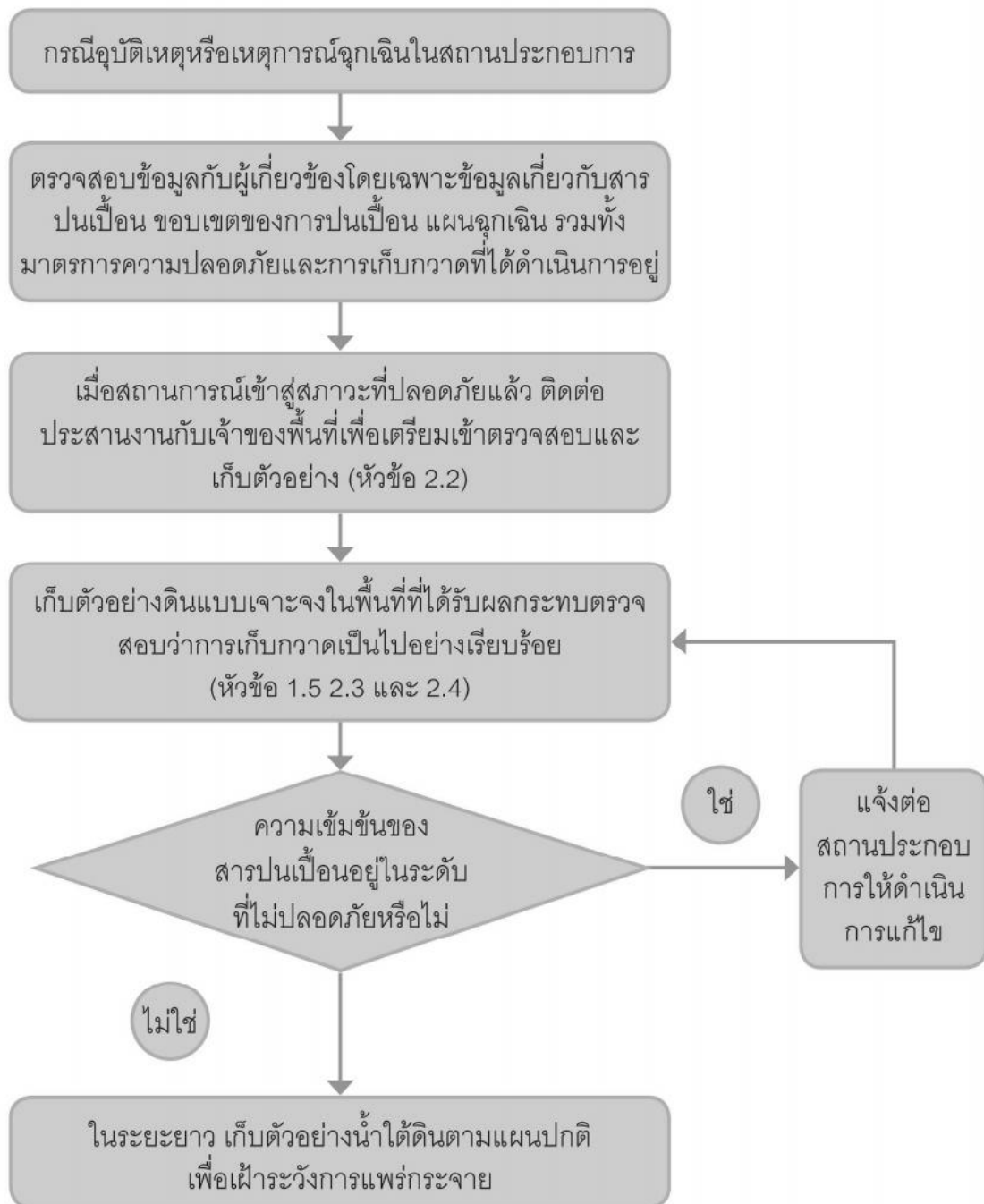


ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่างอาจจะใช้วิธีการมากกว่าหนึ่งวิธีได้ เช่น การเก็บตามการแบ่งพื้นที่ย่อยในพื้นที่ที่มีข้อมูลว่ามีโอกาสปนเปื้อน เป็นต้น จำนวนตัวอย่างต่อพื้นที่นั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างจะขึ้นกับปัจจัยหลากหลายขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการสำรวจ ลักษณะพื้นที่ อุปกรณ์ที่ใช้ เวลา และเงินทุนที่มีด้วย ทั้งนี้ จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะสัมพันธ์กับปริมาณตัวอย่างและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.6 การประยุกต์ใช้คู่มือสำหรับกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีเหตุฉุกเฉินและการลักลอบทิ้ง

1.6.1 กรณีอุบัติเหตุและสถานการณ์ฉุกเฉิน เนื่องจากการปนเปื้อนจากระดับผิวดินจะต้องใช้เวลานานพอสมควรในการซึมลงในแนวดิ่งสู่ชั้นน้ำใต้ดินและแพร่กระจายไปกับน้ำใต้ดิน ดังนั้น การเข้าพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างทันทีหลังจากเกิดเหตุจึงไม่ใช่สิ่งที่มีความสำคัญในลำดับต้น ในภาพรวมอาจจะสรุปขั้นตอนได้ตามรูปที่ 8 ดังนี้

โดยทั่วไป การปนเปื้อนจากระดับผิวดินจะต้องใช้เวลานานพอสมควรในการซึมลงในแนวดิ่งสู่ชั้นน้ำใต้ดินและแพร่กระจายไปกับน้ำใต้ดิน การเข้าเก็บตัวอย่างโดยเจ้าพนักงานหรือโดยสถานประกอบการจึงมักจะเป็นการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบว่าการเก็บกวาดเป็นไปอย่างเรียบร้อยหรือไม่ โดยต้องทำตามมาตรการความปลอดภัยและแผนฉุกเฉินของสถานประกอบการ การเก็บตัวอย่างดินโดยทั่วไปจะทำที่ระดับพื้นผิวเป็นหลัก ส่วนตัวอย่างดินที่ลึกลงไปถ้าไม่มีความจำเป็นว่ามีการปนเปื้อนจากสถานการณ์ดังกล่าวก็ไม่มี ความจำเป็นต้องเก็บ ในกรณีของน้ำใต้ดินสามารถใช้เฝ้าระวังจากบ่อดิตตามตรวจสอบที่มีอยู่เดิมได้และใช้แผนการเก็บตัวอย่างตามปกติ

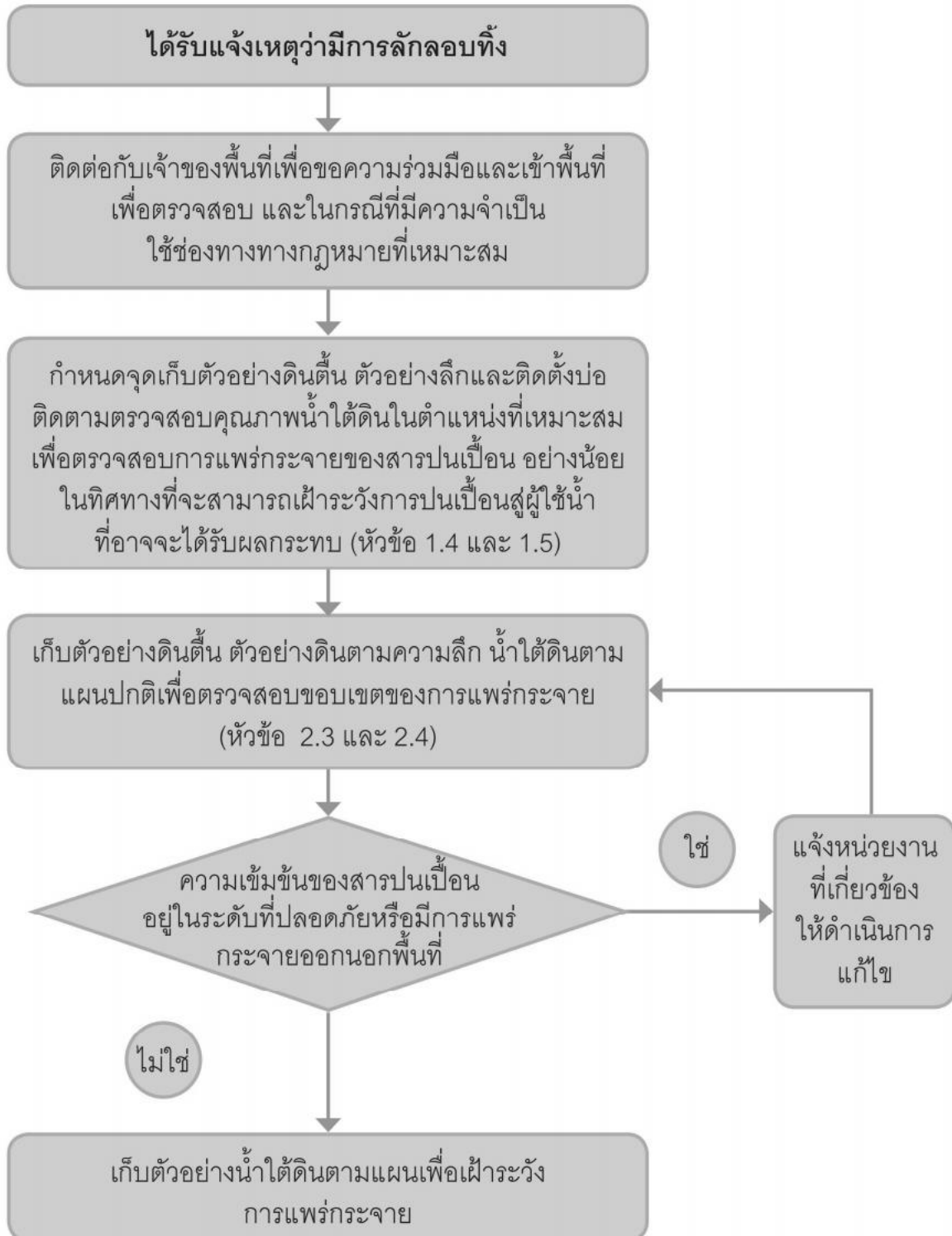


รูปที่ 8 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในกรณีอุบัติเหตุและสถานการณ์ฉุกเฉิน

1.6.2 กรณีลักลอบทิ้ง จะมีปัญหาว่าอาจจะไม่ทราบว่ามีสารปนเปื้อนเป็นสารชนิดใดและถูกทิ้งสะสมในพื้นที่เป็นเวลานานเท่าใด ในภาพรวมขั้นตอนการเก็บตัวอย่างซึ่งอาจจะสรุปขั้นตอนได้ตามรูปที่ 9 การเข้าพื้นที่ต้องคำนึงถึงเจ้าของพื้นที่ว่าเป็นเอกชนหรือเป็นที่สาธารณะหรือดูแลโดยหน่วยงานใด โดยทั่วไป จะต้องติดต่อประสานงานกับเจ้าของพื้นที่เพื่อขอความยินยอม ซึ่งถ้ามีความจำเป็นต้องเข้าพื้นที่



แต่ไม่ได้รับความร่วมมือ คงจะต้องใช้ช่องทางทางกฎหมายที่เหมาะสมต่อไป เช่น การแจ้งเจ้าหน้าที่ตำรวจให้ร้องต่อศาลเพื่อขอหมายค้น เป็นต้น



รูปที่ 9 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างในกรณีลักลอบทิ้ง



ในกรณีที่มีการลักลอบทิ้งเกิดมานาน สารปนเปื้อนอาจจะมีการปนเปื้อน ลึกลงไปถึงน้ำใต้ดินและแพร่กระจายไปกับน้ำใต้ดินได้ การกำหนดพารามิเตอร์ ในเบื้องต้นอาจจะต้องอ้างอิงกับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน เมื่อมีข้อมูลมากขึ้น อาจจะปรับจำนวนพารามิเตอร์ตามความเหมาะสมต่อไป สำหรับการเก็บตัวอย่าง เพื่อเฝ้าระวัง จะต้องมีการติดตั้งบ่อดิตตามตรวจสอบและเก็บตัวอย่างดินตาม ความลึกโดยรอบพื้นที่หรืออย่างน้อยในทิศทางที่จะสามารถเฝ้าระวังการปนเปื้อน ผู้ใช้น้ำที่อาจจะได้รับผลกระทบ

ทั้งนี้ในระหว่างการดำเนินการตรวจสอบการปนเปื้อนและปฏิบัติตามขั้นตอน กรณีเกิดอุบัติเหตุและสถานการณ์ฉุกเฉินหรือในกรณีการลักลอบทิ้ง จนกระทั่ง แล้วเสร็จ ควรมีการดำเนินการชี้แจงเป็นระยะๆ ตามความเหมาะสมต่อสาธารณชน ในส่วนของวิธีการดำเนินการแก้ไขมาตรการในการกำกับดูแล โดยผ่านการประชาสัมพันธ์ ในหลายๆ รูปแบบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน เช่น ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ต หนังสือพิมพ์ สื่อวิทยุชุมชน และชี้แจงต่อผู้นำชุมชน รวมทั้งเปิดโอกาสให้ประชาชนในพื้นที่สามารถ ตรวจสอบสถานการณ์ร่วมกันในพื้นที่จริง เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่และแต่ละสถานการณ์



2. การสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่าง

2.1) การกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนการสำรวจและเก็บตัวอย่าง

การกำหนดวัตถุประสงค์ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ได้ รวมทั้งกำหนดปริมาณของตัวอย่าง จากความถี่ของการเก็บตามเวลา และจากจำนวนตัวอย่างต่อพื้นที่ได้ โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการสำรวจนั้นได้แก่

- การตรวจสอบหาแหล่งกำเนิด
- การตรวจสอบสถานการณ์การแพร่กระจาย
- การติดตามตรวจสอบในกรณีทั่วไป
- การติดตามตรวจสอบในกรณีปนเปื้อน
- การกำหนดวิธีการฟื้นฟู
- การยืนยันว่ากระบวนการฟื้นฟูเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด
- การตรวจสอบหรือเพื่อยืนยันระดับความเสี่ยงต่อคนหรือสิ่งแวดล้อมจากสารปนเปื้อน
- การติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการฟื้นฟู



เมื่อได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์ร่วมกันแล้ว เกณฑ์ต่างๆ เช่น จำนวน ตัวอย่าง ระดับความเข้มข้นของสาร และตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง เป็นต้น สามารถจะถูกกำหนดร่วมกันได้โดยผู้มีส่วนได้เสีย (Stakeholders) ทั้งหมด สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่จะต้องวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละกรณี

ในกรณีที่มีการประเมินพื้นที่ไว้อย่างละเอียดเพียงพอ อาจจะสามารถกำหนดจำนวนตัวอย่างของสารปนเปื้อนและพารามิเตอร์ที่จะทำการตรวจวัดได้ แต่กรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ จะต้องทำการประเมินพื้นที่และกำหนดจำนวนตัวอย่างของสารปนเปื้อนและพารามิเตอร์ที่ต้องตรวจวัด ให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงควบคุมการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินภายในบริเวณโรงงาน พ.ศ. 2559 กำหนด โดยประเภทสารปนเปื้อนและพารามิเตอร์ที่อยู่ในขอบข่ายที่อาจต้องวิเคราะห์ เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย สารโลหะหนัก สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ สารที่มีลักษณะและคุณสมบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมว่าด้วยการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (Total petroleum hydrocarbons, TPHs) และค่าพีเอช เป็นต้น

ในลักษณะเดียวกันกับการเก็บตัวอย่าง การกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาเป็นหลัก โดยทั่วไปสำหรับการติดตามตรวจสอบลักษณะคุณภาพน้ำพื้นฐานทั่วไปเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น (ระยะ 1 – 2 ปี) การเก็บตัวอย่างทุก 3 หรือ 6 เดือนน่าจะพอเพียง สำหรับองค์ประกอบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา เช่น โลหะ และองค์ประกอบที่อ่อนไหวต่อค่าศักยภาพรีดอกซ์ อาจจะต้องทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 เดือนเป็นอย่างน้อย (U.S. EPA, 1991) แนวทางการกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างโดยทั่วไปสำหรับกรณีต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ องค์ประกอบส่วนน้อย (Trace หรือ Minor Constituents) ในตารางที่ 1 ได้แก่ K^+ , Sr^{2+} , F^- , NO_3^- และธาตุอื่นๆ ที่พบในน้ำใต้ดิน ส่วนองค์ประกอบหลัก (Major Constituents) ได้แก่ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , และ SiO_2 เป็นต้น



ตารางที่ 1 แนวทางการกำหนดความถี่สำหรับการเก็บตัวอย่างในกรณีต่างๆ
(ตัวเลขแสดงจำนวนเดือนที่เว้น)

กรณีที่ตรวจวัด	พื้นที่ที่ไม่มี การปนเปื้อน	พื้นที่ปนเปื้อน	
		ต้นน้ำ (Upgradient)	ปลายน้ำ (Downgradient)
ตรวจสอบคุณภาพน้ำทั่วไป			
องค์ประกอบส่วนน้อย (<1.0 mg/L)	2 – 7	1 – 2	2 – 10
องค์ประกอบหลัก	2 – 7	2 – 38	2 – 10
องค์ประกอบทางธรณีเคมี (Geochemical)			
องค์ประกอบส่วนน้อย (<1.0 mg/L)	1 – 2	< 2	1 – 5
องค์ประกอบหลัก	1 – 2	7 – 14	1 – 5
ตรวจสอบการปนเปื้อน			
Total Organic Carbon	2	3	3
Total Halogenated Organics	6 – 7	24	7
สภาพนำไฟฟ้า	6 – 7	24	7
พีเอช	2	2	1

ที่มา U.S.EPA (1991)

2.2 การวางแผนและเข้าพื้นที่เพื่อสำรวจและเก็บตัวอย่าง

การเข้าสำรวจสภาพพื้นที่ที่มีประเด็นที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย 1) ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ลักษณะพื้นผิวของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มีพืชคลุมดิน พื้นดินที่มีพืชปกคลุม พื้นคอนกรีต เป็นต้น 2) ลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ เช่น เป็นลักษณะการกองทิ้งบนผิวดิน เป็นการฝังไว้ใต้ดิน เป็นต้น และ 3) การสำรวจการได้รับผลกระทบของประชาชนโดยรอบ โดยเฉพาะจากการนำอุปกรณ์และเครื่องมือเข้าไปติดตั้งในพื้นที่

2.2.1 การเตรียมตัวก่อนเข้าพื้นที่ จะเป็นการเตรียมความพร้อม เอกสารเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี ภาชนะ น้ำแข็ง รวมทั้งการเตรียมกุญแจและอุปกรณ์ที่อาจจะต้องใช้สำหรับเข้าไปในพื้นที่ จะต้องทำการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้น โดยสอบเทียบ (Calibrate) อุปกรณ์ที่ต้องสอบเทียบตามที่กำหนดในคู่มือ



ของอุปกรณ์นั้นๆ และให้มีสารเคมีที่ใช้สำหรับสอบเทียบพร้อมไว้เสมอ เพื่อกรณีที่ต้องทำการสอบเทียบซ้ำในภาคสนาม เช่น ต้องใช้เครื่องมือต่อเนื่องกันหลายวัน จะต้องล้างทำความสะอาดภาชนะตามที่ห้องปฏิบัติการกำหนดสำหรับตัวอย่างแต่ละประเภท และต้องมีจำนวนเพียงพอที่จะนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ ดังตัวอย่างรายการตรวจสอบที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างรายการตรวจสอบอุปกรณ์

รายการตรวจสอบ	จำนวน / ปริมาณ		หมายเหตุ	ผู้รับผิดชอบ
สมุดบันทึก เครื่องเขียน เครื่องคิดเลข เทปขาว สลาก ปากกาทำเครื่องหมาย กล้องถ่ายรูป		☐	อุปกรณ์บันทึกที่จำเป็นทั้งหมดทั้งเครื่องเขียนและการบันทึกภาพ	
อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง (GPS)		☐		
เครื่องตรวจวัดภาคสนามต่างๆ (รวมถึงอุปกรณ์เสริม เช่น กล้องปิดที่มีน้ำไหลผ่าน (Flow-through Cell))		☐	ตรวจสอบสภาพ และสอบเทียบกับมาตรฐานเพื่อให้พร้อมใช้งาน	
ข้อมูลการวัดค่าภาคสนามในอดีต		☐		
แผนที่ของพื้นที่และแสดงที่ตั้งบ่อ		☐		
แบบฟอร์มบันทึกสำหรับภาคสนาม		☐		
แบบฟอร์มแสดงการครอบครองตัวอย่าง		☐		
กุญแจของแต่ละบ่อ		☐		
กุญแจเพื่อเข้าพื้นที่		☐		
อุปกรณ์วัดระดับน้ำ และสายวัด		☐		
บันทึกประจำบ่อและเอกสารต่างๆ		☐		
อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายน้ำซังออกจากบ่อ		☐		
อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ สายท่อ เชือก สายรัดท่อ		☐		
อุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ		☐		
ภาชนะบรรจุตัวอย่าง และกล่องแช่ตัวอย่าง		☐		
ชุดกรอง และกระดาษกรอง		☐		



รายการตรวจสอบ	จำนวน / ปริมาณ		หมายเหตุ	ผู้รับผิดชอบ
สารรักษาสภาพตัวอย่าง (สารเคมี น้ำแข็ง)		☐		
อุปกรณ์ล้างทำความสะอาด สารปนเปื้อน		☐		
ถังสำหรับล้างอุปกรณ์		☐		
น้ำยาล้างทำความสะอาด		☐		
น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionised Water)		☐		
ผ้าพลาสติก ถุงพลาสติก		☐		
แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย สำรอง		☐		
กล่องเครื่องมือ		☐		
อุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนบุคคล		☐		
ผ้า กระดาษเช็ดทำความสะอาด, Tin Foil		☐		
ของส่วนตัว (ยา หมวก ครีมกันแดด ...)		☐	ส่วนบุคคล	

2.2.2 มาตรการประกันและควบคุมคุณภาพสำหรับการเก็บตัวอย่าง
เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพยอมรับได้ตามวัตถุประสงค์และตามแผนที่วางไว้ เช่น ถ้าเพียงต้องการ การเก็บตัวอย่างเพื่อจะตรวจสอบว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่ คุณภาพของข้อมูลก็อาจจะไม่ต้องสูงมากเมื่อเทียบกับการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบระดับความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ในหลักการ ความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของข้อมูลจะไม่มีถ้าปราศจากกระบวนการประกันและควบคุมคุณภาพ

2.2.2.1 การประกันคุณภาพ (Quality Assurance, QA) จะต้องถูกพิจารณาก่อนการเก็บตัวอย่าง การประกันคุณภาพไม่จำเป็นที่จะต้องซับซ้อน แต่ต้องมีความชัดเจนว่าจะต้องมีการทำอะไรบ้างในระหว่างการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ สำหรับการประกันคุณภาพในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะประกอบด้วย



• การกำหนดคุณภาพข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการเก็บตัวอย่าง เช่น ค่าความสามารถในการตรวจวัด (Detection Limit) และระดับความไม่แน่นอนที่ยอมรับได้

- การกำหนดผู้รับผิดชอบที่ชัดเจนสำหรับแต่ละภารกิจ
- กำหนดเกณฑ์และวิธีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง
- ข้อมูลการครอบครองและวิธีการส่งต่อตัวอย่าง
- ระบุว่าตัวอย่างใดต้องมีตัวอย่างควบคุม (Control Samples) ชนิดใด และปริมาณของตัวอย่างควบคุม
- รายละเอียดภาชนะบรรจุและเก็บตัวอย่าง รวมถึงสารเคมี วิธีการรักษาสภาพตัวอย่างและเวลาที่ตัวอย่างสามารถเก็บรักษาไว้ได้
- กำหนดวิธีการตรวจสอบ ดูแลรักษา ทำความสะอาดอุปกรณ์ปนเปื้อน

2.2.2.2 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control, QC) การควบคุมคุณภาพของการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในหลายลักษณะ ทั้งนี้ผู้วางแผนจะต้องเป็นผู้กำหนดว่าจะใช้แบบใดบ้างเพื่อให้ได้ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างที่บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ อาจประกอบด้วย

1) การเก็บตัวอย่างเปล่า (Blank) และตัวอย่างสอบเทียบในลักษณะต่างๆ (ในที่นี้ไม่กล่าวถึงตัวอย่างเปล่าที่ต้องทำในระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ) ได้แก่

- Reference Samples จะเริ่มจากการนำภาชนะเปล่าและสารละลายมาตรฐานที่รู้ค่าความเข้มข้นแน่นอน เมื่ออยู่ในพื้นที่เก็บตัวอย่าง จะทำการบรรจุภาชนะที่เตรียมไว้ลงในขวดเก็บตัวอย่างและเก็บในสภาวะเดียวกันกับตัวอย่างและ Trip Blanks เพื่อทดสอบการสูญเสียของสารปนเปื้อนในน้ำที่อาจเกิดจากภาชนะและการขนส่ง เช่น ระเหยออกหรือติดติดกับพื้นผิวของภาชนะ เป็นต้น โดยทั่วไปจะทำ Reference Samples 1 ตัวอย่างต่อหนึ่งภาชนะและหนึ่งวิธีการบรรจุตัวอย่าง

- Trip (Transport) Blanks คล้ายกับ Reference Samples เป็นตัวอย่างของภาชนะที่บรรจุด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water) ที่เตรียมมาจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ และถูกนำไปยังพื้นที่เก็บตัวอย่างจริงตลอดเวลาการเก็บตัวอย่างโดยไม่มีการเปิดออกเลย ภาชนะที่ใช้จะเป็นแบบเดียวกับภาชนะที่ใช้



บรรจุตัวอย่างน้ำจริง สมควรทำอย่างยิ่งในกรณีที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย ตัวอย่างเปล่าในลักษณะนี้จะบอกถึงการปนเปื้อนที่อาจจะเกิดจากการขนส่งและเก็บรักษาตัวอย่างในพื้นที่ทำงาน เช่น การแพร่ผ่านของสารอินทรีย์ระเหยผ่านฝาปิดเข้ามาปนเปื้อนน้ำในขวดเก็บตัวอย่าง โดยทั่วไป จะมี Trip Blanks หนึ่งตัวอย่างต่อหนึ่งภาชนะ (ถังน้ำแข็งหรือกระติกน้ำแข็ง) และหนึ่งชนิดการบรรจุตัวอย่าง

- Field Blanks ใช้สำหรับตรวจสอบการปนเปื้อนระหว่างการเก็บตัวอย่างหรือจากอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ ตัวอย่างเปล่าจะถูกเก็บขนานไปกับกระบวนการเก็บตัวอย่าง เช่น ผ่านการกรอง หรือผ่านการเติมสารเคมีรักษาสภาพ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างน้ำ โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนน้ำตัวอย่าง จำนวน Field Blanks ที่จะเก็บอาจจะเป็นร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด หรืออาจจะเก็บวันละครั้งในแต่ละวันที่ออกเก็บตัวอย่าง

- Equipment Reinstatement Blank ใช้สำหรับตรวจสอบการปนเปื้อนที่อาจเกิดจากการล้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไม่สะอาดพอ เพื่อตรวจสอบการเกิดการปนเปื้อนของตัวอย่างระหว่างจุดเก็บ (Cross Contamination) โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนที่เป็นน้ำล้างอุปกรณ์ขั้นสุดท้าย (Final Rinse) ควรจะเก็บ Reinstatement Blank ทุกครั้งที่มีการล้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเพื่อที่จะย้ายที่จากจุดเก็บ (บ่อ) หนึ่งไปยังอีกจุดเก็บหนึ่ง ทั้งนี้ ถ้ามีอุปกรณ์เก็บตัวอย่างมากพอโดยไม่ต้องใช้ชั่วคราวระหว่างการเปลี่ยนจุดเก็บ ถ้าเป็นพื้นที่ที่ต้องมีการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง อาจจะใช้เครื่องมือเก็บที่เจาะจงเฉพาะบ่อ (Dedicate) เช่น เครื่องสูบลบประจำบ่อเก็บตัวอย่าง แต่ละบ่อ ก็จะลดภาระของการทำ Reinstatement Blank ได้

2) การเก็บตัวอย่างซ้ำ (Replicates/Duplicates) จะเป็นการเก็บตัวอย่างซ้ำจากจุดเดียวกัน ณ เวลาเดียวกันทันทีหลังจากการเก็บตัวอย่างแรกผ่านไปด้วยวิธีเดียวกัน ตัวอย่างซ้ำจะใช้สอบเทียบกับตัวอย่างปกติ โดยอาจจะส่งไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการเดียวกันหรือต่างกันกับที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างก็ได้ ซึ่งในลักษณะหลังนี้เรียกว่าการทำ Split Samples ตัวอย่างซ้ำนำมาคำนวณความแม่นยำของผลที่ต้องการโดยการเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างสัมพัทธ์ (Relative Percent Difference, RPD) ที่คำนวณได้จาก



$$RPD = \frac{S_1 - S_2}{\bar{X}} \times 100$$

โดย S_1 และ S_2 = ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างและตัวอย่าง
ที่วิเคราะห์ซ้ำ ตามลำดับ

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสอง

สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำและถูกต้องสูง ค่า RPD ไม่ควรมากกว่า 5% อย่างไรก็ตาม ค่า RPD สูงสุดที่รับได้ไม่ควรเกิน 10% ในกรณีที่ค่า RPD สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ จะต้องมีการเก็บตัวอย่างใหม่และเพิ่มจำนวนตัวอย่าง โดยทั่วไปจะไม่ทำตัวอย่างซ้ำสำหรับทุกตัวอย่างที่เก็บเพราะอาจจะเป็นการเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โดยไม่จำเป็น ในเบื้องต้นอาจจะเก็บตัวอย่างซ้ำร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด หรืออาจจะเก็บวันละครั้งในแต่ละวันที่ออกเก็บตัวอย่าง

ทั้งนี้ การทำการควบคุมคุณภาพประกอบไปด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่เลือกทำทุกวิธี ทั้งนี้การเลือกวิธีการควบคุมคุณภาพบางส่วนมาใช้หรือจะใช้ทุกวิธีนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาและดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญในแต่ละกรณี และต้องมีการบันทึกไว้ทุกครั้งด้วยว่าใช้วิธีใดบ้าง

2.2.3 ห่วงโซ่การครอบครองตัวอย่าง (Chain of Custody) กระบวนการนี้ต้องมีการกำหนดในขั้นตอนการประกันคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้จะซับซ้อนมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณ ลักษณะตัวอย่าง และจำนวนครั้งของการถ่ายโอนตัวอย่างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย โดยทั่วไป ผู้รับผิดชอบในการเก็บตัวอย่างจะเป็นผู้จัดทำและเก็บเอกสาร โดยจะต้องเตรียมเอกสารที่มีจำนวนสำเนาให้เพียงพอในหลักการคือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนการครอบครองจะต้องมีการกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม และผู้ที่ครอบครองเอกสารอยู่ ณ เวลานั้นจะต้องเก็บสำเนาไว้ 1 ชุดเพื่อการตรวจสอบเสนอปลายทางได้ในกรณีที่มีข้อสงสัย ตัวอย่างของแบบฟอร์มแสดงในรูปที่ 10



ฟอร์มบันทึกข้อมูลการครอบครองตัวอย่าง (Chain of Custody)

- คำชี้แจง**
1. ให้ทำสำเนาไว้ที่ผู้รับและผู้ส่งตัวอย่างทุกครั้งที่ตัวอย่างมีการเปลี่ยนมือ
 2. ในกรณีที่ไม่มีสำเนา ให้ส่งแบบฟอร์มนี้ไปกับตัวอย่างทุกครั้งจนถึงผู้รับสุดท้าย
 3. ในทุกกรณีให้ผู้รับสุดท้ายสำเนา (ส่งโทรสาร) กลับมาที่เจ้าของ/ผู้รับผิดชอบตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไป

โครงการ

ชื่อ-ที่อยู่ ของเจ้าของ/ผู้รับผิดชอบตัวอย่าง

โทรศัพท์ โทรสาร

ชื่อ-ที่อยู่ ของหน่วยงานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง

โทรศัพท์ โทรสาร

ข้อมูลของตัวอย่าง

ผู้เก็บตัวอย่าง (ชื่อ และ ลายมือชื่อ)

หมายเลข/รหัส ของตัวอย่าง	วันที่ทำการเก็บ ตัวอย่าง	เวลาทำการเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง และภาชนะบรรจุ

ข้อมูลผู้ครอบครองตัวอย่าง

ผู้ส่งตัวอย่าง (ชื่อ และลายมือชื่อ)	ผู้รับตัวอย่าง (ชื่อ และลายมือชื่อ)	วันที่	เวลา	จำนวน ตัวอย่าง

หมายเหตุ

.....

.....

รูปที่ 10 | ตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับบันทึกการครอบครองตัวอย่าง



2.2.4 การเก็บรักษาตัวอย่าง เป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างมากและต้องกำหนดในขั้นตอนการประกันคุณภาพด้วยเช่นกัน โดยมากการเก็บรักษาตัวอย่างจะขึ้นกับพารามิเตอร์ที่จะตรวจวัดและวิธีที่ใช้ ทั้งนี้ พารามิเตอร์เดียวกันอาจจะไม่ใช้วิธีการรักษาสภาพเหมือนกันก็ได้ จึงต้องมีการสอบถามผู้วิเคราะห์ก่อนเสมอว่าต้องการให้ตัวอย่างถูกเก็บรักษาอย่างไร สำหรับแนวทางการเก็บรักษาสภาพตัวอย่างในเบื้องต้นแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเก็บตัวอย่างและการรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ภาชนะบรรจุ ¹	การรักษาสภาพ ²	ระยะเวลาที่เก็บ รักษาตัวอย่างได้ ³
ลักษณะทางกายภาพ				
อุณหภูมิ	1000	พลาสติก, แก้ว	–	วิเคราะห์ทันที
พีเอช	25	พลาสติก, แก้ว	–	วิเคราะห์ทันที
สี	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
กลิ่น	200	แก้ว เท่านั้น	แช่เย็นที่ 4°C	24 ชั่วโมง
สภาพนำไฟฟ้า	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	28 วัน
ความกระด้าง	100	พลาสติก, แก้ว	เติม HNO ₃ จน pH < 2	6 เดือน
กากของแข็ง				
• กรองผ่านเยื่อกรองได้ (Filterable)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน
• กรองผ่านเยื่อกรองไม่ได้ (Non-Filterable)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน
• ทั้งหมด (Total)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน
• ระเหย (Volatile)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน
ของแข็งจุ่มตัว	1000	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
ความขุ่น	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง



การวิเคราะห์	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ภาชนะบรรจุ ¹	การรักษาสภาพ ²	ระยะเวลาที่เก็บ รักษาตัวอย่างได้ ³
โลหะ¹				
ละลาย	200	พลาสติก, แก้ว	กรอง ณ จุดเก็บ, เติม HNO ₃ จน pH < 2	6 เดือน
แขวนลอย	200	พลาสติก, แก้ว	กรอง ณ จุดเก็บ, เติม HNO ₃ จน pH < 2	6 เดือน ⁴
โครเมียม (VI)	200	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	24 ชั่วโมง
ปรอท ทั้งหมด	100	พลาสติก, แก้ว	เติม HNO ₃ จน pH < 2	28 วัน
ปรอท ละลาย	100	พลาสติก, แก้ว	กรอง ณ จุดเก็บ, เติม HNO ₃ จน pH < 2	28 วัน
สารอนินทรีย์, อโลหะ				
สภาพกรด (Acidity)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	14 วัน
สภาพด่าง (Alkalinity)	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	14 วัน
คลอไรด์ (Cl ⁻)	50	พลาสติก, แก้ว	—	28 วัน
คลอรีน (Cl ₂)	200	พลาสติก, แก้ว	—	วิเคราะห์ทันที
ฟลูออไรด์	300	พลาสติก, แก้ว	—	28 วัน
ไอโอไดต์	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	24 ชั่วโมง
ไฮยาไนต์	500	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม NaOH จน pH > 12 0.6g กรด Ascorbic ⁵	14 วัน
ไนโตรเจน				
• แอมโมเนีย	400	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
• เจดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl)	500	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
• ไนเตรทและไนไตรท์	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
• ไนเตรท ⁶	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
• ไนไตรท์	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
ออกซิเจนละลาย				
• เครื่องวัด (DO Probe)	300	ขวดแก้วมีฝา	—	วิเคราะห์ทันที
• Winkler	300	ขวดแก้วมีฝา	ตรึง (Fix) ออกซิเจน ทันที	8 ชั่วโมง



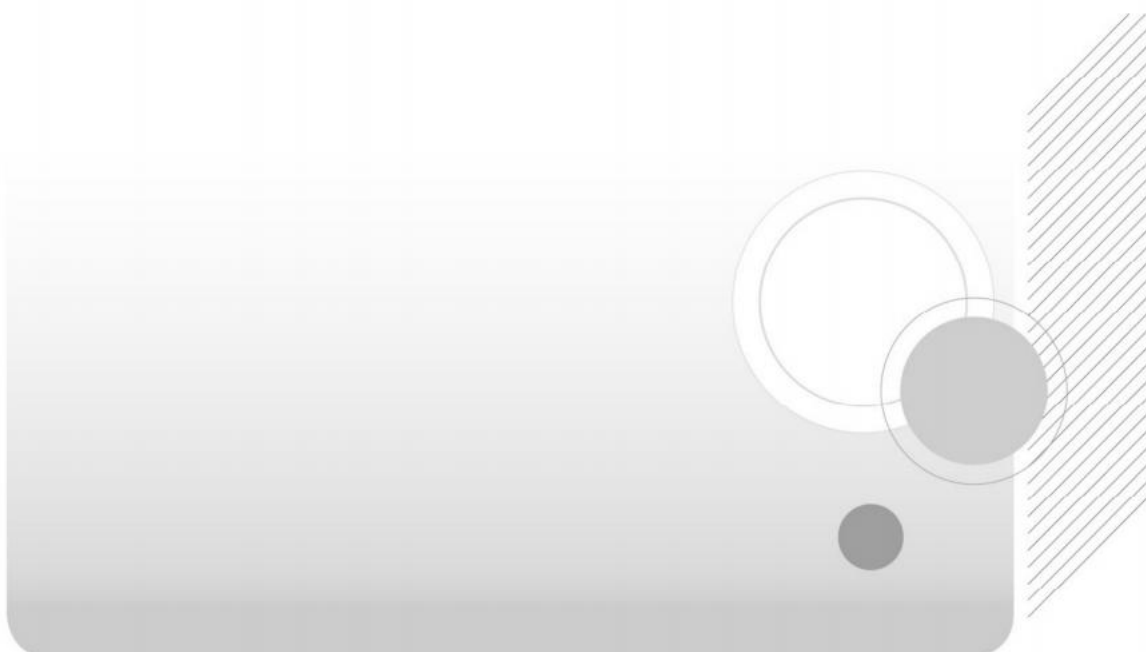
การวิเคราะห์	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ภาชนะบรรจุ ¹	การรักษาสภาพ ²	ระยะเวลาที่เก็บ รักษาตัวอย่างได้ ³
ฟอสฟอรัส				
• ออร์โทโรสเฟส (PO ₄ ³⁻)	50	พลาสติก, แก้ว	กรองทันที แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
• ย่อยสลายได้ (Hydrolyzable)	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
• ไนเตรทและไนไตรท์	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
• ละลายทั้งหมด	50	พลาสติก, แก้ว	กรองทันที แช่เย็นที่ 4°C เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	24 ชั่วโมง
• ทั้งหมด	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	28 วัน
ซัลไฟด์ (S ²⁻)	500	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม Zinc Acetate 2 มิลลิลิตร และ NaOH จน pH > 9	7 วัน
ซัลไฟท์ (SO ₃ ²⁻)	50	พลาสติก, แก้ว	—	วิเคราะห์ทันที
ซิลิกา	50	พลาสติกเท่านั้น	แช่เย็นที่ 4°C	28 วัน
สารอินทรีย์				
บีโอดี	1000	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C	48 ชั่วโมง
ซีโอดี	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	1000	แก้วเท่านั้น	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
สารอินทรีย์ระเหย กึ่งระเหย ⁷	25	แก้วมีเทฟลอน เป็นฝารองใน	แช่เย็นที่ 4°C,	28 วัน
คาร์บอนอินทรีย์ ⁷	25	แก้วมีเทฟลอน เป็นฝารองใน	แช่เย็นที่ 4°C, เติม H ₂ SO ₄ จน pH < 2	28 วัน
ฟีนอล	500	แก้วมีเทฟลอน เป็นฝารองใน	Na ₂ S ₂ O ₃	7 วันก่อนที่จะสกัด 40 วันหลังการสกัด



- ¹ สำหรับการวิเคราะห์โลหะ ขวดแก้วและพลาสติกจะต้องล้าง (Rinse) ด้วย 10% HNO_3 ชนิด Trace Metal Grade ถ้าเป็นไปได้ควรใช้ภาชนะพลาสติกที่เป็น polyethylene ที่มีฝาปิดแต่ไม่มีฝารองใน
- ² การรักษาสภาพต้องทำทันทีที่เก็บตัวอย่างได้
- ³ ควรวิเคราะห์ตัวอย่างเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ⁴ ต้องกรองทันทีก่อนที่จะรักษาสภาพด้วยกรด
- ⁵ เติมนิโตรเจนที่มีคลอรีน (Residual Chlorine) เท่านั้น
- ⁶ ถ้าเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำธรรมชาติที่ไม่มีคลอรีน ควรเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นจน $\text{pH} < 2$ และวิเคราะห์ภายใน 14 วัน
- ⁷ เก็บตัวอย่างจนน้ำล้นภาชนะแล้วปิดฝาไม่ให้มีช่องว่างในขวด (No Headspace)

หมายเหตุ ก่อนการเก็บตัวอย่าง ต้องตรวจสอบกับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ว่าจะให้ปฏิบัติอย่างไรในการเก็บตัวอย่างและรักษาสภาพตัวอย่าง เพราะอาจจะมีรายละเอียดที่แตกต่างจากที่แสดงไว้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์หาสารอย่างเจาะจงชนิด เช่น สารในกลุ่มโลหะหนัก และกลุ่มสารอินทรีย์

ที่มา รวบรวมจาก *Standard Methods* (1995) และ *U.S. EPA* (2004)





2.2.5 มาตรการความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ในการเก็บตัวอย่างในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ด้านความปลอดภัยหลักๆ จะต้องปฏิบัติตามระเบียบความปลอดภัยที่โรงงานหรือสถานที่นั้นกำหนดอย่างเคร่งครัด นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงอันตรายจากการสัมผัสสารพิษ และจากการใช้อุปกรณ์ชุดเจาะและสารเคมีด้วย ส่วนในกรณีที่ทำงานนอกสถานที่ จะต้องมีการกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมกับสถานที่ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงอันตรายจากการจราจรและจากสภาพอากาศด้วย ซึ่งอาจจะต้องมีการติดตั้งสัญลักษณ์แสดงพื้นที่ทำงานอย่างชัดเจน มีการสวมใส่อุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนตัวที่เหมาะสม เป็นต้น

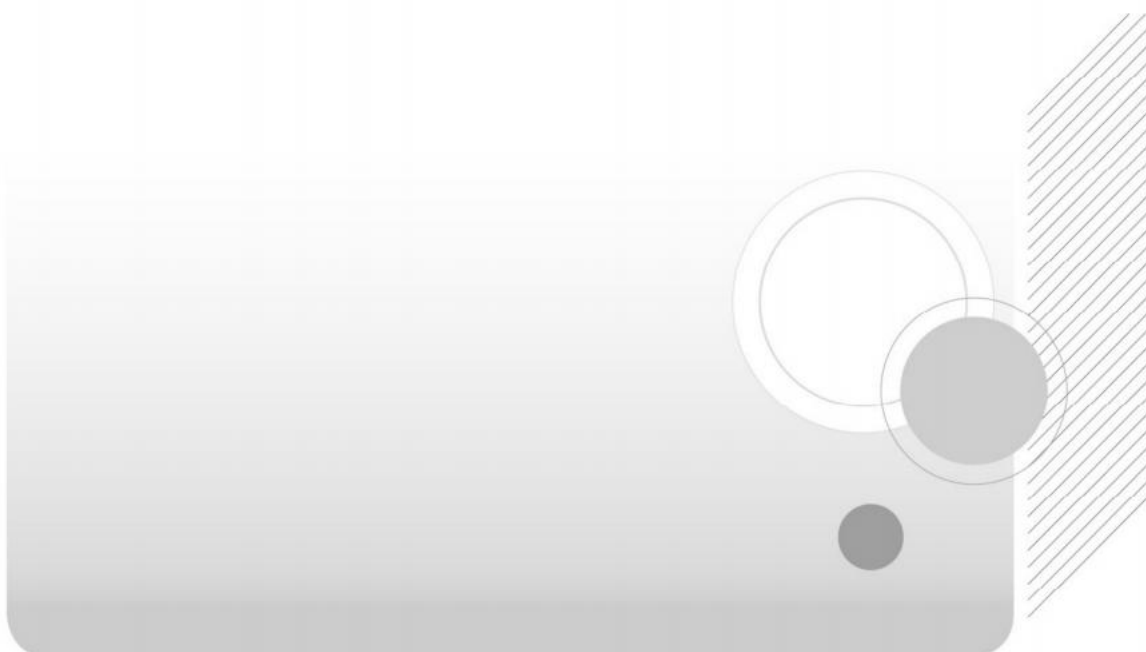
ในกรณีการเก็บตัวอย่าง ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสสัมผัสกับสารพิษและสารอันตราย จึงควรจะมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับความเป็นพิษและอันตรายที่อาจจะเกิดในระหว่างปฏิบัติงาน โดยเน้นไปที่มาตรการป้องกันความเป็นพิษและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ การหลีกเลี่ยงหรือลดการสัมผัสกับสารปนเปื้อนโดยตรงจากการสูดดม สัมผัสกับผิวหนัง หรือจากการดื่มน้ำ โดยอย่างน้อยที่สุดควรมีอุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนตัว เช่น ถุงมือที่ทำจากวัสดุที่เหมาะสม หน้ากาก แว่นตากันสารเคมี และชุดป้องกัน เป็นต้น ในขณะทำงานทุกครั้ง ซึ่งอาจจะแบบใช้แล้วใช้ซ้ำได้หรือใช้แล้วทิ้งแล้วแต่ความเหมาะสม

การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ขึ้นกับพื้นที่ที่จะต้องเข้าไปปฏิบัติการ รวมทั้งลักษณะการปนเปื้อนในแต่ละพื้นที่ด้วย ในกรณีที่จะต้องทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่มีไอของสารระเหย ต้องหลีกเลี่ยงการสูดดมโดยตรงของอากาศที่ขึ้นมาจากบ่อ โดยเฉพาะบ่อที่เพิ่งจะถูกเปิดฝาทิ้งไว้ ให้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดไอสารอินทรีย์ระเหยแบบพกพาถ้ามี และเก็บตัวอย่างโดยมีอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีอันตรายที่ควรระมัดระวัง ได้แก่



- การระเบิดจากการขุดเจาะในกรณีที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย
- การบาดเจ็บจากการยก เคลื่อนย้าย และจากการใช้งานอุปกรณ์และสิ่งของต่างๆ รวมทั้งการใช้ของมีคม เช่น มีดพับในการตัดสายท่อหรือเชือก เป็นต้น
- การลื่นล้ม และสะดุด
- อันตรายจากการถูกบาดเจ็บของมีคม เช่น เศษแก้ว กระเบื้อง เป็นต้น
- อันตรายจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยเฉพาะในกรณีใช้เครื่องสูบลม
- อันตรายจากการสัมผัสกับสารเคมี เช่น กรด ด่าง ที่ใช้อย่างขาดความระมัดระวัง

นอกจากนี้ ในกรณีที่มีการล้างอุปกรณ์ การทิ้งสารเคมีหรือเศษตัวอย่างที่ปนเปื้อน จะต้องมีการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งผลกระทบนั้นไม่จำเป็นว่าจะต้องเกิดจากสารปนเปื้อนเท่านั้น เช่น กรณีการล้างเศษดินจำนวนมากทำให้น้ำขุ่น เป็นต้น ในบางกรณีจึงต้องมีการกำหนดการทิ้งและการกำจัดกากต่างๆ อย่างเหมาะสม ดังนั้น ก่อนการออกปฏิบัติงาน ควรมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรการความปลอดภัยที่จำเป็นแก่ผู้ปฏิบัติงานทุกคนจนมีความเข้าใจเป็นอย่างดี และควรมีข้อมูลติดต่อในกรณีฉุกเฉินพร้อมไว้เสมอ





2.3) เครื่องมือและการเก็บตัวอย่างดิน

2.3.1 การเก็บตัวอย่างดินจากระดับตื้น เป็นการเก็บตัวอย่างดินที่มีระดับความลึกไม่เกิน 0.3 เมตร สามารถทำได้โดยอุปกรณ์ทั่วไป เช่น จอบ เสียม พลั่ว ช้อนตักดิน และหัวเจาะดิน (Soil Probe) เป็นต้น (รูปที่ 11) โดยเริ่มจาก

1) ใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่เหมาะสมวางพื้นที่รอบๆ และเปิดหน้าดินออกจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ จากนั้นใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินที่สะอาดปาดเอาดินชั้นบนสุดซึ่งสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้เปิดหน้าดินออกไป

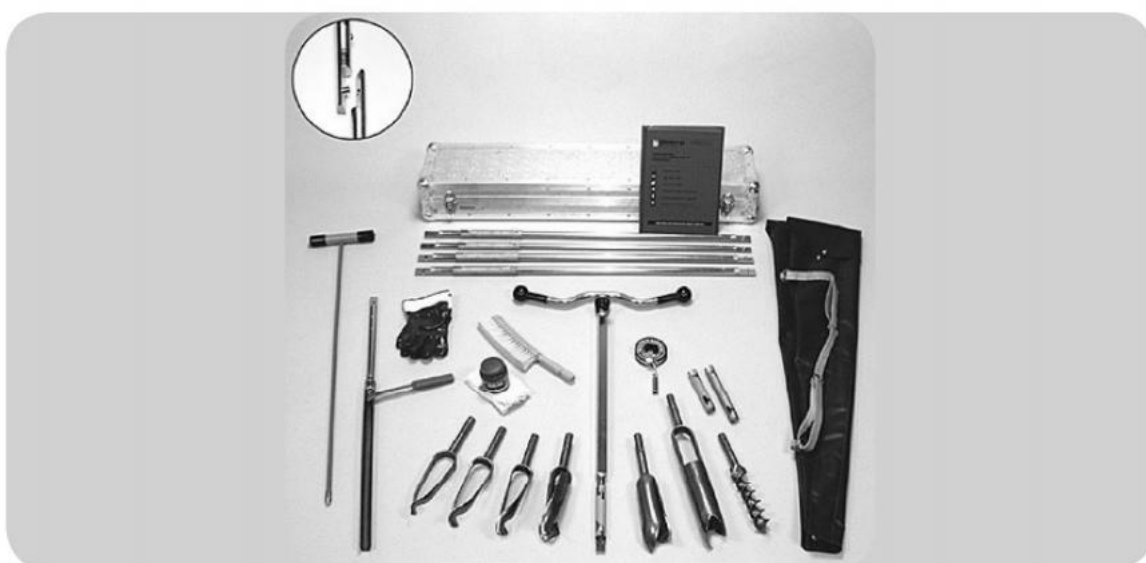
2) ถ้าต้องการเก็บตัวอย่างดินเพื่อไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย ให้เก็บตัวอย่างส่วนหนึ่งลงในภาชนะที่เหมาะสมและเตรียมไว้โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และปิดภาชนะให้แน่น

3) เก็บตัวอย่างส่วนที่เหลือใส่ลงไปในถังกวนผสมและกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างในช่วงที่ทำการเก็บทั้งหมด จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ผสมแล้วลงในภาชนะที่เหมาะสม หรือในกรณีที่ต้องการเก็บตัวอย่างแบบประกอบ (Composite Sample) ให้เก็บตัวอย่างที่ได้จากช่วงอื่นลงไปในภาชนะผสม เมื่อได้ตัวอย่างจากทุกช่วงการเก็บที่ต้องการแล้ว จึงทำการผสมแล้วบรรจุลงในภาชนะที่เหมาะสมต่อไป



รูปที่ 11 การเก็บตัวอย่างที่ผิวดินโดยพลั่ว ช้อนตักดิน และ หัวเจาะดิน

2.3.2 การเก็บตัวอย่างดินจากระดับปานกลาง เป็นการเก็บตัวอย่างดินที่มีระดับความลึกอยู่ระหว่าง 0.3-2.0 เมตร โดยใช้อุปกรณ์จำพวก Hand Auger ที่มีส่วนต่อความยาวของด้ามจับ (รูปที่ 12) โดยเริ่มจากใช้ Auger เจาะลงไปจนได้ระดับที่ต้องการจากนั้นถอนออก ตัวอย่างดินอาจจะเก็บจาก Auger โดยตรง ถ้าต้องการเก็บตัวอย่างดินเป็นแท่ง (Core Sample) ตัว Auger จะถูกเปลี่ยนเป็น Thin-wall Tube Sampler ซึ่งจะถูกหย่อนลงไปในหลุมเพื่อทำการเก็บตัวอย่างดินตัวอย่างเป็นแท่งจะถูกเก็บขึ้นมาพร้อมกับ Thin-wall Tube Sampler



รูปที่ 12 ตัวอย่างชุด Hand Auger



ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดย Auger มีดังนี้

1) ประกอบด้ามต่อความยาวและด้ามจับเข้ากับตัว Auger จากนั้นทำความสะอาดพื้นที่ที่จะเจาะ เช่น เศษกิ่งไม้ หิน เศษขยะ เป็นต้น ควรจะขุดหน้าดินออกเล็กน้อย 5 – 15 เซนติเมตร และรอบจุดเก็บตัวอย่างในรัศมี 10 – 15 เซนติเมตรโดยรอบจุดเก็บตัวอย่าง

2) เริ่มเจาะดินและเก็บดินที่ถูกขุดขึ้นมาออกเป็นระยะๆ ใ้บนผ้าพลาสติกที่ปูอยู่บริเวณปากหลุม การทำเช่นนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ดินเหล่านี้หล่นกลับลงไปในหลุมภายหลังที่ถอน Auger และลดการปนเปื้อนในพื้นที่โดยรอบ

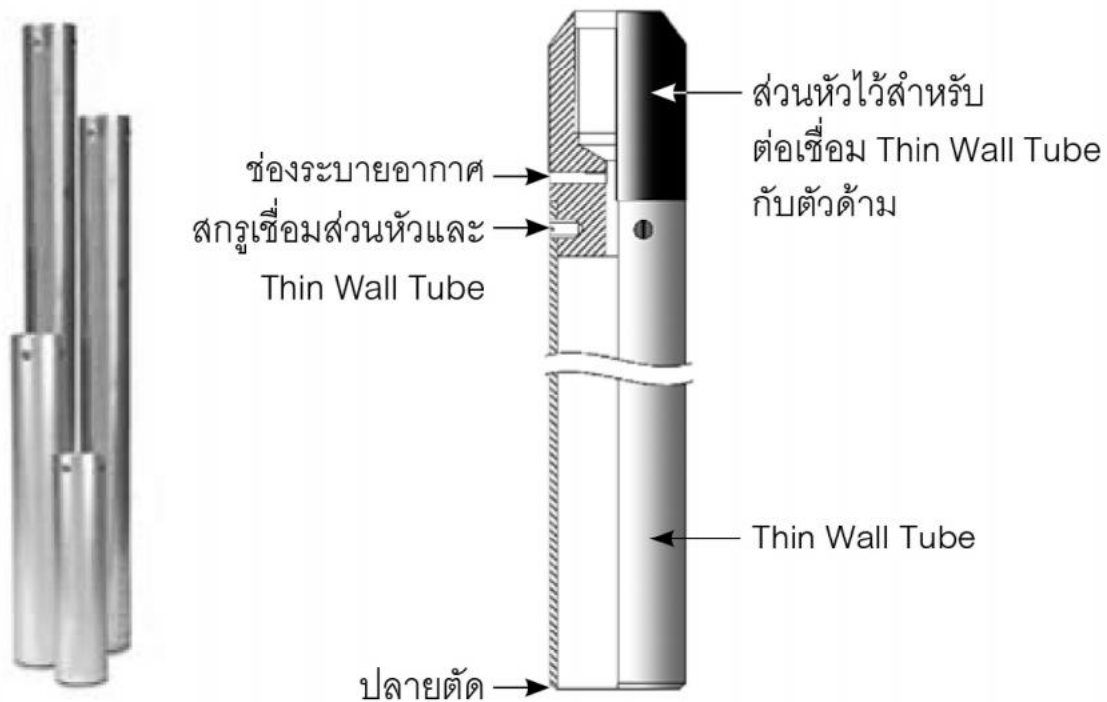
3) เมื่อได้ระดับที่ต้องการ ถอน Auger ขึ้นมาอย่างช้าๆ ถ้าต้องการเก็บตัวอย่างจาก Auger โดยตรงให้ทำหลังจากดึง Auger ขึ้นจากหลุมแล้ว จากนั้นใช้อุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติกหรือเหล็กกล้าไร้สนิมเก็บตัวอย่างโดยพยายามเลือกส่วนของดินที่อยู่ด้านในและไม่ได้สัมผัสกับ Auger โดยตรง

4) แยกตัว Auger ออกจากด้ามต่อและแทนที่ด้วย Thin Wall Tube Sampler (รูปที่ 13) ที่สะอาดแล้วหย่อนลงไปในหลุมอย่างช้าๆ โดยไม่ให้ขูดกับผนังของหลุมและไม่ให้ตอกหรือทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพราะหลุมที่ขุดไว้อาจจะถล่มลงไปได้

5) เมื่อเก็บตัวอย่างได้แล้ว ให้ถอนขึ้นมาอย่างช้าๆ จากนั้นถอดตัว Thin-wall Tube Sampler ออกจากตัวด้ามและถอดส่วนหัว และนำแท่งดินตัวอย่างออก

6) ตัดส่วนบนของแท่งดินตัวอย่างทิ้งไป อย่างน้อย 3 – 5 เซนติเมตร เพราะอาจจะเป็นส่วนที่ได้มาจากส่วนอื่นก่อนที่จะถึงระดับที่ต้องการ บรรจุแท่งดินลงในภาชนะที่เตรียมไว้โดยไม่ต้องกวนผสม

7) ถ้าต้องการนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย ให้เก็บตัวอย่างส่วนหนึ่งลงในภาชนะที่เหมาะสมและเตรียมไว้โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และปิดภาชนะให้แน่น เก็บตัวอย่างส่วนที่เหลือใส่ลงไปในถังกวนผสมและกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างในช่วงที่ทำการเก็บทั้งหมด จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ผสมแล้วลงในภาชนะที่เหมาะสม หรือในกรณีที่ต้องการเก็บตัวอย่างแบบ Composite Sample ให้เก็บตัวอย่างที่ได้จากช่วงอื่นลงไปในภาชนะผสม เมื่อได้ตัวอย่างจากทุกช่วงที่ต้องการแล้ว จึงทำการผสมแล้วบรรจุลงในภาชนะที่เหมาะสมต่อไป



รูปที่ 13 ตัวอย่างของ Thin Wall Tube Sampler

8) ถ้าต้องการเก็บตัวอย่างที่ระดับลึกลงไป ให้ต่อ Auger เข้ากับด้ามจับ จากนั้นทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2) – 7) และต้องทำความสะอาด Auger และ Tube Sampler ทุกครั้งระหว่างตัวอย่าง

9) หลังจากเสร็จสิ้นภารกิจการเก็บตัวอย่าง ให้ใช้ดินที่ขุดขึ้นมาค่อยๆ กลบลงไปในหลุมจนเต็ม

2.3.3 การเก็บตัวอย่างดินจากระดับลึก เป็นการเก็บตัวอย่างดินที่มีระดับความลึกมากกว่า 2.0 เมตร ซึ่งการเก็บตัวอย่างแกนดินยาวต่อเนื่องจะใช้ Split Barrel Sampler (รูปที่ 14) ซึ่งเก็บตัวอย่างแท่งดินยาวต่อเนื่องได้ 45 – 60 เซนติเมตร การเก็บตัวอย่างอาจจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ขุดเจาะอื่นๆ เช่น Auger เพื่อขุดหลุมนำร่องจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ แล้วจึงเปลี่ยนเป็น Split Barrel Sampler เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 14 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้เครื่องจักรชุดเจาะ (ก) บั่นจั่น (ข) ตุ่มน้ำหนักที่ใช้ตอก

สำหรับการเก็บตัวอย่างดินทั่วไปโดย Split Barrel Sampler ทำได้ดังนี้

1) ดัน Split Barrel ที่ประกอบแล้วลงไปในดินอย่างช้าๆ จนถึงระดับประมาณ 1.5 เมตร

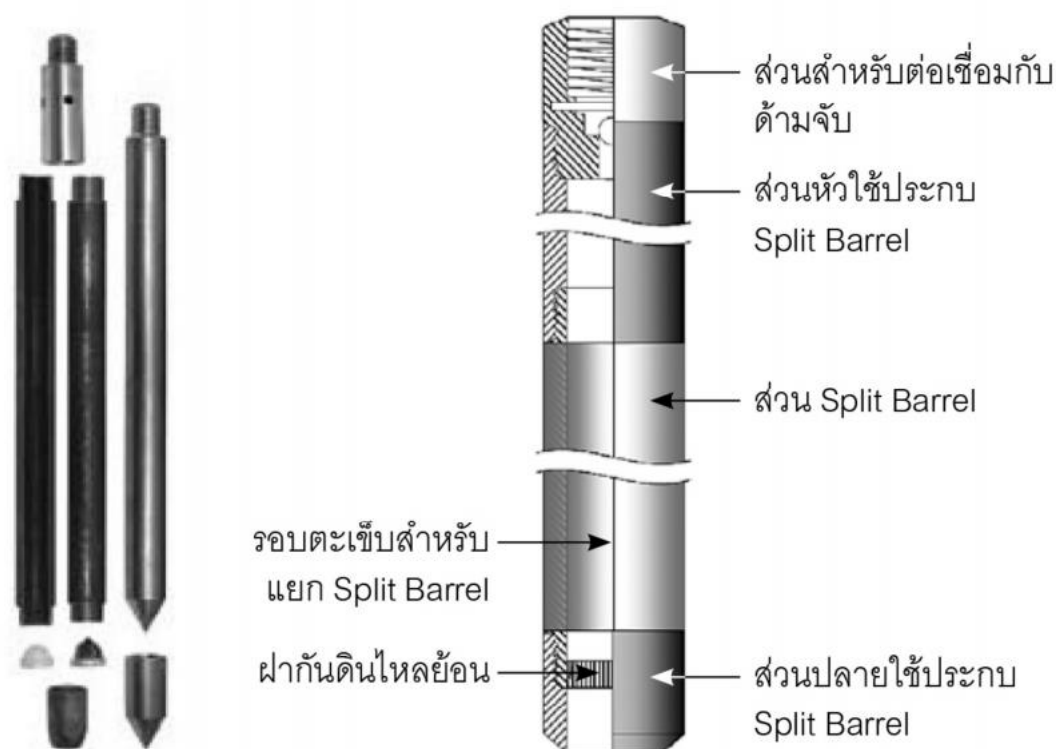
2) ใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 140 ปอนด์ (52.25 กิโลกรัม) ยกสูง 30 นิ้ว (76 เซนติเมตร) ปล่อยกระแทก Split Spoon Sampler ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว บั่นทีกจำนวนครั้งของการกระแทกลูกตุ้มที่กระบอกผ่าจมลงไปทุก 6 นิ้ว รวม 3 ครั้ง ผลรวมจำนวนครั้งของการกระแทก 2 ครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า SPT-N ที่มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต

3) ให้บันทึกความยาวจริงที่ตัว Split Barrel Sampler ได้เจาะลงไปในดินด้วย เนื่องจากอาจจะทำให้ดินถูกอัดตัวมากกว่าเดิม ทำให้ความยาวของตัวอย่างแท่งดินใน Split Barrel และความยาวจริงที่ตัว Split Barrel Sampler ได้เจาะลงไปในดินต่างกัน อาจมีผลทำให้การวิเคราะห์ผลทางกายภาพผิดพลาดไปได้

4) เมื่อได้เก็บตัวอย่างจากความลึกที่ต้องการ ให้ถอนขึ้นมาอย่างช้าๆ ถอดชิ้นส่วนหัวท้ายออก และแยกส่วนที่เป็น Split Barrel ออกจากกันอย่างระมัดระวัง บันทึกปริมาณของดินที่ได้ (วัดความยาวของแท่งดิน) ถ้าต้องการแยกตัวอย่างเป็นส่วนๆ ให้ใช้มีดสะอาดที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมตัดแบ่งแท่งดินออก โดยมากจะแยกเป็นสองส่วน



5) บรรจุตัวอย่างแท่งดินลงในภาชนะโดยพยายามให้คงสภาพเดิมให้มากที่สุด สำหรับระดับลึกมาก สามารถใช้อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างแกนดินที่กล่าวมา ร่วมกับเครื่องเจาะ เช่น Hollow-Stem Auger ได้ ทั้งนี้ การเดินระบบและการเก็บตัวอย่างดินจะต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญด้านงานชุดเจาะ



รูปที่ 15 | ตัวอย่างของ Split Barrel Sampler

ทั้งนี้ ในกรณีที่พบการปนเปื้อน อาจจะต้องมีความจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างที่หลายระดับความลึกลงไปเพื่อกำหนดขอบเขตการปนเปื้อน ซึ่งต้องมีกระบวนการประกันและควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมและเป็นไปอย่างเข้มงวด



2.4) เครื่องมือและการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

2.4.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ในกรณีที่มีข้อมูล การเก็บตัวอย่าง จะเริ่มจากบ่อที่มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด ในขั้นแรก ที่จุดเก็บต้องปูแผ่นพลาสติกกรอง พื้นบริเวณปากบ่อสำหรับวางอุปกรณ์เพื่อลดการปนเปื้อนจากดินและฝุ่น จากนั้น ทำการบันทึกข้อมูลทั่วไป เช่น ตำแหน่ง วัน เวลา เมื่อบันทึกข้อมูลทั่วไปแล้วจึงเปิด ฝาบ่อแล้วเริ่มทำการวัดระดับน้ำในบ่อต่อไป จากนั้นจึงทำการสูบน้ำออกเพื่อถ่ายน้ำ ที่ขังในบ่อออก ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำไปพร้อมกับการวัดพารามิเตอร์พื้นฐานบางอย่าง ได้ จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ ตามลำดับดังนี้

1. สารกลุ่มอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOC) รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 (ได้แก่ Cl, Br, I, และ F) เป็นองค์ประกอบด้วย
2. สารอินทรีย์ที่สกัดจากน้ำได้หรือสารอินทรีย์กึ่งระเหย (Extractable or Semi-volatile Organics) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 – 13 อะตอม ขึ้นไป ซึ่งรวมถึงน้ำมันและสารกำจัดศัตรูพืชต่างๆ และสารพิษและสารอันตรายหลายชนิด
3. องค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องมีการกรองและรักษาสภาพโดยการเติมสารเคมี เช่น การวิเคราะห์ ซัลเฟต (Sulfate) โครเมียมทั้งหมด (Total Chromium) และปรอท (Mercury) เป็นต้น
4. องค์ประกอบที่ไม่ต้องถูกกรองแต่ต้องมีการรักษาสภาพโดยการเติมสารเคมี เช่น สารประกอบไนโตรเจน แอมโมเนีย (Ammonia) ไนเตรท (Nitrates) ไนไตรท์ (Nitrites)) สารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds) โลหะหนักทั้งหมด ไซยาไนด์ (Cyanide) และคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbons) เป็นต้น
5. องค์ประกอบที่ต้องถูกกรองแต่ไม่ต้องมีการกรองและรักษาสภาพโดยการเติมสารเคมี เช่น Cr^{6+} (Chromium VI) ละลาย เป็นต้น
6. องค์ประกอบที่ต้องถูกกรองและต้องมีการกรองและรักษาสภาพโดยการเติมสารเคมีทันที เช่น โลหะหนักละลาย
7. พารามิเตอร์อื่นๆ และจุลินทรีย์ต่างๆ
8. สารกัมมันตรังสี (Radionuclides)



2.4.2 การวัดระดับน้ำใต้ดินในบ่อ เป็นสิ่งแรกที่จะทำการตรวจวัดก่อนที่จะมีการเก็บตัวอย่างใดๆ การวัดระดับน้ำในบ่อที่ขุดใหม่หรือผ่านการสูบน้ำมาจะต้องรอให้ระดับน้ำกลับเข้าสู่ระดับปกติก่อน อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระดับน้ำใต้ดินมีหลายชนิด ได้แก่ อุปกรณ์อย่างง่าย ๆ ที่ใช้สายวัดที่ถ่วงปลายด้วยลูกดิ่งกับชอล์ก หรือชนิดที่เป็นอุปกรณ์วัดระดับที่ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ข้อมูลเพิ่มเติมของตัวอย่างวิธีการวัดระดับน้ำในบ่อด้วยอุปกรณ์บางชนิดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างวิธีการวัดระดับน้ำในบ่อด้วยอุปกรณ์บางชนิด

วิธีการ	ความแม่นยำ (เซนติเมตร)	คำอธิบาย	ปัญหา และข้อจำกัด
ท่อหรือ สายวัด และชอล์ก	0.3	บนท่อหรือสายวัด ใช้ชอล์กสีเขียนกระดานทาที่ผิวเป็นแนวยาวประมาณ 1 เมตร หย่อนลงไปในบ่อจนประมาณว่าส่วนที่ทาชอล์กจมอยู่ใต้น้ำบางส่วน ส่วนที่เปียกปรากฏอยู่บนสายวัดเป็นสีเข้มกว่าส่วนที่แห้งอย่างชัดเจน	• สายวัดอาจจะบิดงอหรือน้ำที่ผนังบ่ออาจจะทำให้เทปเปียกและการวัดผิดพลาด • ในกรณีที่ยังไม่เคยวัดระดับในบ่อนั้นมาก่อนจะต้องมีการลองผิดลองถูก
อุปกรณ์วัดระดับที่ใช้ไฟฟ้า	0.3 – 3	หัวตรวจวัด (Probe) แต่ละหัวน้ำน้ำจะดันให้ขั้วไฟฟ้าสัมผัสกันและทำให้วงจรไฟฟ้าเชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ซึ่งจะมีเสียงเตือนหรือมีไฟขึ้น	• สายไฟอาจจะคดงอทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัด
หัวตรวจวัดความดัน (Pressure Transducer)	0.3 – 3	หัวตรวจวัดความดันจะถูกหย่อนลงไปใต้ระดับน้ำที่ทราบค่าความลึก ค่าที่อ่านได้จะนำมาคำนวณความลึกจากผิวหน้าของหัวตรวจวัด	• ความแม่นยำขึ้นกับชนิดและคุณภาพของหัวตรวจวัด • มีราคาสูง
เรดาร์	0.6	หลักการสะท้อนคลื่นจากผิวน้ำ	• บ่อต้องมีขนาดใหญ่อยู่ในแนวตั้งตรงและไม่มีสิ่งกีดขวาง และลึกไม่เกิน 30 เมตร

ที่มา ดัดแปลงจาก Dalton et al. (2006)



2.4.3 การถ่ายน้ำขัง สิ่งที่มีมักจะเข้าใจผิดเกี่ยวกับการถ่ายน้ำ คือ เป็นการสูบน้ำขังออกจากบ่อจนหมดแล้วปล่อยให้ น้ำใหม่ไหลเข้ามา ซึ่งไม่ถูกต้องเพราะ น้ำใหม่ที่ไหลเข้ามาจะสัมผัสกับอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีได้ หลักเกณฑ์ที่ใช้เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บขึ้นมาเป็นน้ำที่อยู่ในชั้นดินอุ้มน้ำ และไม่ใช่ น้ำที่ขังในบ่อจะเป็นลักษณะทางกายภาพและเคมีพื้นฐาน ซึ่งจะทำให้การวัดไปพร้อมกันในช่วงตอนนี ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการถ่ายน้ำ 3 วิธีดังนี้

2.4.3.1 การถ่ายน้ำออกแบบปกติ วิธีนี้เป็นการสูบน้ำออกจากบ่อที่อัตราการสูบน้ำประมาณ 1 ลิตรต่อนาทีโดยจะสูบน้ำจนกระทั่งค่าพารามิเตอร์บางอย่างคงที่ (หรือเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ) ในระหว่างการสูบน้ำออกอย่างต่อเนื่องเป็นปริมาณอย่างน้อย 1 เท่าของปริมาตรน้ำในบ่อหลังจากการถ่ายน้ำออกไปเป็นปริมาณอย่างน้อย 3 เท่าของน้ำในบ่อ (Barcelona et al., 1994) อาจจะใช้เบลเลอร์ได้แต่ต้องบันทึกปริมาตรน้ำที่ตักออกได้ด้วย ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่เลือกอาจจะเป็นพารามิเตอร์เดียวหรือเป็นชุดก็ได้ ค่าพารามิเตอร์และเกณฑ์ที่ใช้กำหนดว่าคุณภาพน้ำคงที่แสดงในตารางที่ 5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์และช่วงค่าที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	เกณฑ์ที่ใช้
อุณหภูมิ	เปลี่ยนแปลงในช่วง 0.1 – 0.5 °C
พีเอช (pH)	เปลี่ยนแปลงในช่วง 0.05 – 0.10 *
สภาพนำไฟฟ้า (ที่ 25°C) (Conductivity)	เปลี่ยนแปลงในช่วง 10.0 µS/cm หรืออาจใช้ $\pm 3-5\%$
ออกซิเจนละลาย	เปลี่ยนแปลงในช่วง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร
ศักย์รีดอกซ์ (Oxidation-reduction Potential, ORP หรือ Eh)	เปลี่ยนแปลงในช่วง 10.0 มิลลิโวลต์
ความขุ่น	เปลี่ยนแปลงในช่วง 0.10 NTU ในกรณีที่ความขุ่น < 10 NTU เปลี่ยนแปลงในช่วง 10 % ในกรณีที่ความขุ่น ≥ 10 NTU

* ช่วงการเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะวัดไม่ได้เสมอไป โดยเฉพาะถ้าใช้เบลเลอร์ในการถ่ายน้ำ ดังนั้น ค่าอาจจะเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสมหรือใช้เกณฑ์อื่น



2.4.3.2 การถ่ายน้ำออกที่อัตราการไหลต่ำ การถ่ายน้ำที่อัตราการไหลต่ำจะรบกวนสภาพการไหลของน้ำน้อยกว่าวิธีการสูบน้ำออกแบบปกติที่กล่าวมาแล้ว โดยอาศัยหลักการว่าน้ำที่อยู่ในช่วงช่องกรองไม่น่าจะเป็นน้ำนิ่งขังและเคลื่อนที่ผ่านช่องกรองของบ่อและชะล้าง (Flush) ในบริเวณนั้นตลอดเวลา ส่วนน้ำนิ่งขังจะอยู่ที่ช่วงอื่นของบ่อที่ไม่มีช่องกรอง ข้อสังเกตคือเบลเลอร์และกระบอกเก็บน้ำจะไม่ใช้กับการถ่ายน้ำและเก็บตัวอย่างในลักษณะนี้

โดยทั่วไปอัตราการสูบเริ่มต้นที่แนะนำคือ 100 – 500 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งอาจจะปรับเพิ่มหรือลดได้ การถ่ายน้ำจะทำให้ความลึกในช่วงระดับช่องกรองของบ่อ วิธีนี้ไม่มีการกำหนดปริมาตรน้ำเท่าที่จะต้องถ่ายออกอย่างตายตัว แต่จะต้องมีการวัดระดับน้ำในบ่อที่ลดลงเป็นระยะๆ เพื่อให้มั่นใจว่าระดับน้ำลดลงจากเดิมไม่เกิน 10 เซนติเมตร คุณภาพน้ำที่สูบออกมาจะถูกวัดอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งค่าพารามิเตอร์ที่เลือก (ใช้พารามิเตอร์และช่วงค่าเดียวกับที่แสดงในตารางที่ 5) มีค่าคงที่ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เช่น 3 – 5 นาที เป็นต้น จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำที่อัตราสูบเดียวกันหรือน้อยกว่า

2.4.3.3 การเก็บตัวอย่างน้ำแบบรบกวนต่ำหรือไม่มีการถ่ายน้ำ ในกรณี queเก็บตัวอย่างในชั้นดินอุ้มน้ำที่มีความสามารถในการซึมผ่านน้ำต่ำ (Low Permeability) การสูบน้ำออกจนกระทั่งได้ค่าพารามิเตอร์ชี้วัดคงที่อาจจะทำไม่ได้เพราะว่าอาจทำให้บ่อแห้ง ข้อเสนอสำหรับการเก็บตัวอย่างในกรณีเช่นนี้คือให้ใช้การเก็บตัวอย่างน้ำแบบมีการรบกวนต่ำโดยถ่ายน้ำที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 มิลลิลิตรต่อนาที หรืออย่างมากไม่เกิน 300 มิลลิลิตรต่อนาที และต้องระวังไม่ให้ระดับน้ำลดลงต่ำกว่าระดับช่องกรอง ซึ่งอาจทำได้โดยการสูบและหยุดสลับกันโดยระหว่างที่หยุดสูบต้องทิ้งหัวสูบไว้ในบ่อตลอดเวลา (ที่ช่วงช่องกรอง) เพื่อเก็บตัวอย่างหลังจากถ่ายน้ำออกในปริมาณตามที่ต้องการแล้ว

วิธีนี้ทำได้ในกรณีที่จัดชุดเครื่องสูบไว้เฉพาะสำหรับบ่อเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละบ่อ เช่น หัวสูบและสายท่อ ซึ่งจะช่วยให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ในบ่อถาวรตลอดช่วงระยะเวลาที่ต้องการเก็บตัวอย่าง โดยเครื่องสูบที่ใช้ต้องเป็นเครื่องสูบที่ปรับอัตราการไหลได้ต่ำได้เท่านั้น (สูบได้ต่ำกว่า 300 มิลลิลิตร/นาที) หัวสูบที่ถูกทิ้งไว้จะอยู่ที่ระดับช่องกรองของบ่อตลอดเวลา ปริมาตรน้ำที่ต้องสูบออก



อาจจะเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ต้องการเพื่อไล่น้ำที่ค้างในหัวสูบและสายเท่านั้น และทำในควรเป็นบ่อที่มีช่วงช่องกรองยาว (ประมาณ 3 เมตรขึ้นไป) รวมทั้งต้องไม่มีคราบของสารอินทรีย์ หรือ NAPL ในบ่อ

การเปรียบเทียบเทคนิคการถ่ายน้ำทั้งสามแบบแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเทคนิคการถ่ายน้ำซึ่งออกจากบ่อที่กล่าวมาแล้ว

	การถ่ายน้ำ ออกแบบปกติ	การถ่ายน้ำออกที่ อัตราการไหลต่ำ	การเก็บตัวอย่างน้ำ แบบไม่มีการถ่ายน้ำ/ มีการรบกวนต่ำ
อัตราการสูบ	อัตราเดียวกันหรือต่ำกว่าอัตราการสูบที่ใช้ในขณะที่ทำการพัฒนาสภาพบ่อ (ไม่เกิน 1 ลิตรต่อนาที)	เริ่มที่ 0.1 – 0.5 ลิตรต่อนาที ปรับเปลี่ยนได้โดยระวังไม่ให้อัตราลดลงจากเดิมเกิน 10 เซนติเมตร	น้อยกว่า 0.1 – 0.3 ลิตรต่อนาที
ปริมาณ น้ำที่สูบ	สูบน้ำจนค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดคงที่ (เปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ) หลังจากการสูบน้ำออกอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 3 เท่าของปริมาตรน้ำในบ่อ	สูบน้ำจนค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดคงที่ ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เช่น 3-5 นาที เป็นต้น	สำหรับบ่อที่มีเครื่องสูบน้ำติดตั้งประจำ ประมาณว่าสูบน้ำที่ค้างในสายของอุปกรณ์ออก
ข้อดี	- สะดวกและทำได้ทันที - ใช้อุปกรณ์ได้หลากหลาย อาจใช้เบลเลอร์ได้ในกรณีบ่อไม่ลึกมาก	- สูบน้ำออกน้อยกว่า - เสียเวลาน้อยกว่า	- ปริมาตรน้ำที่สูบน้ำออกน้อยมาก - สำหรับบ่อที่มีเครื่องสูบน้ำติดตั้งประจำ จะรวดเร็วมาก - เหมาะกับพื้นที่ที่มีสภาพความนำน้ำต่ำมาก



	การถ่ายน้ำ ออกแบบปกติ	การถ่ายน้ำออกที่ อัตราการไหลต่ำ	การเก็บตัวอย่างน้ำ แบบไม่มีการถ่ายน้ำ/ มีการรบกวนต่ำ
ข้อจำกัด	• อาจต้องสูบน้ำ ออกมาก • อาจใช้เวลานาน • ต้องระวังไม่ให้น้ำลด ระดับลงต่ำกว่าระดับ บนของช่องกรอง	• ต้องใช้อุปกรณ์ สูบน้ำ ที่ปรับอัตรา การไหลได้	• ใช้อุปกรณ์ที่สูบน้ำได้ที่ อัตราการไหลต่ำและ ปรับอัตราการไหลได้ • ทำกับบ่อที่ผ่านการ ปรับสภาพอย่างถูก ต้องแล้วเท่านั้น • เหมาะกับบ่อที่มี เครื่องสูบติดตั้งประจำ • ค่าใช้จ่ายสูง





2.4.4 การวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในพื้นที่ พารามิเตอร์คุณภาพน้ำหลายชนิดสามารถวัดได้ในพื้นที่ ณ จุดเก็บตัวอย่างโดยเฉพาะพารามิเตอร์พื้นฐานซึ่งจะทำไปพร้อมกับการถ่ายน้ำ พารามิเตอร์ที่จะต้องวัดในพื้นที่ทุกครั้งคือ พีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย ศักย์รีดอกซ์ และสภาพน้ำไฟฟ้า การวัดในพื้นที่สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดหย่อนลงไปในบ่อ (In situ) หรือสูบน้ำขึ้นมา

ในกรณีที่สูบน้ำขึ้นมา ถ้ามีการถ่ายน้ำซังออกจากบ่อ ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกวัดไปพร้อมๆ กัน โดยวัดจากน้ำที่ถูกสูบออกมา ถ้าเป็นไปได้ให้วัดในกล่องปิดที่มีน้ำไหลผ่าน (Flow-through Cell) กล่องดังกล่าวสามารถประดิษฐ์ขึ้นใช้เองหรือซื้อแบบสำเร็จรูปมาใช้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 16 ทั้งนี้เพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความต่อเนื่องและลดการสัมผัสของน้ำตัวอย่างกับอากาศ เทคนิคนี้จะไม่ใช้ในระหว่างทำการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 16 ตัวอย่างกล่องปิดที่มีน้ำไหลผ่าน (Flow-through Cell)



2.4.5 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินด้วยเบลเลอร์ องค์ประกอบทั่วไปของเบลเลอร์คือท่อแข็งกลวงขนาดยาวไม่เกิน 1 – 2 เมตร และวาล์วกันย้อน (รูปที่ 17) น้ำตัวอย่างจะไหลเข้าเบลเลอร์จากด้านล่างในขณะที่เบลเลอร์ถูกหย่อนลงไปใบบ่อ การหย่อนและการดึงเบลเลอร์ขึ้นมาจะต้องทำอย่างช้าๆ เพื่อลดการรบกวนน้ำในบ่อ สิ่งที่สำคัญคือห้ามปล่อยเบลเลอร์ลงไปใบบ่ออย่างอิสระ การหย่อนและดึงเบลเลอร์ขึ้นจากบ่อต้องทำอย่างระมัดระวัง ในกรณีที่บ่อลึก อาจใช้สามขาจับบรอกเพื่อช่วยในการหย่อนและดึงเบลเลอร์

เบลเลอร์ทำจากวัสดุหลายประเภทและสามารถทำขึ้นใช้เองได้ อาจใช้ชนิดที่ใช้ซ้ำได้หรือแบบใช้แล้วทิ้งเพื่อจะได้ไม่ต้องกังวลเรื่องการทำความสะอาดอุปกรณ์ และปัญหาการปนเปื้อนข้ามจุดเก็บ (Cross contamination) ในกรณีที่ใช้งานมานาน ถ้ำผนังของเบลเลอร์มีรอยขีดข่วนมากมากอาจทำให้การทำความสะอาดเป็นไปได้ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 17 ตัวอย่างเบลเลอร์ในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ทำจากวัสดุแบบต่างๆ



2.4.6 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินด้วยเครื่องสูบ เครื่องสูบที่ใช้ในงานเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะมีอยู่ 3 แบบหลักๆ ได้แก่ เครื่องสูบบีบรัด (Peristaltic Pump) เครื่องสูบแรงเหวี่ยงแบบจมน้ำ (Centrifugal Submersible Pump) และเครื่องสูบบอลลูน (Bladder Pump) ดังตัวอย่างในรูปที่ 18 ข้อควรระวังคือ เครื่องสูบแรงเหวี่ยงหรือปั๊มหยอชิงทั่วไปจะไม่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเพราะมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการผสมระหว่างน้ำตัวอย่างกับอากาศได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 18 ตัวอย่างเครื่องสูบแบบต่างๆ (ก) เครื่องสูบบีบรัด (ข) เครื่องสูบแรงเหวี่ยงแบบจมน้ำ (ค) และเครื่องสูบบอลลูน

การติดตั้งและการใช้งานเครื่องสูบแต่ละแบบจะต้องศึกษาคู่มือจากผู้ผลิตที่มากับอุปกรณ์ เสมอ ในภาพรวมการใช้งานเครื่องสูบทั้งสามแบบสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 7



ตารางที่ 7 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของอุปกรณ์เครื่องสูบ

อุปกรณ์	ข้อดี	ข้อด้อย
เครื่องสูบแบบรีด (Peristaltic Pump)	• หาได้ง่าย พกพาได้สะดวก ราคาไม่แพงมาก • สามารถควบคุมอัตราการสูบได้ • ใช้ได้กับบ่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก • ตัวอย่างน้ำไม่สัมผัสกับเครื่องสูบโดยตรง	• ใช้ได้กับความลึกจำกัด (6 – 9 เมตร) • การดูดที่เกิดขึ้นอาจทำให้มีการระเหยหรือสูญเสียก๊าซบางชนิดจากน้ำ • ถ้าใช้น้ำมันเป็นพลังงานสำหรับเครื่องสูบ อาจจะเป็นตัวอย่างน้ำได้
เครื่องสูบแรงเหวี่ยง แบบจุ่ม (Centrifugal Submersible Pump)	• สามารถควบคุมอัตราการสูบได้ให้เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างหรือถ่ายน้ำซัง • โดยมากผลิตจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี/สารปนเปื้อนในน้ำพกพาสะดวก และมีขนาดเล็ก	• ใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงไม่ได้ • อาจจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อสูงขึ้น
เครื่องสูบแบบถุง (Bladder Pump)	• ไม่มีปัญหาเรื่องการเติมอากาศ/สูญเสียก๊าซ ของตัวอย่าง และน้ำตัวอย่างที่ได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่น • สามารถควบคุมอัตราการสูบได้ให้เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างหรือถ่ายน้ำซัง	• ชุดอุปกรณ์มีหลายส่วน และการทำงานค่อนข้างยุ่งยาก • การเก็บตัวอย่างจากบ่อลึกใช้เวลานาน • ส่วนใหญ่มีราคาแพง • อาจมีน้ำค้างค้างในชุดอุปกรณ์มากทำให้ต้องสูบน้ำทิ้งในปริมาณสูงในการล้างและการเก็บตัวอย่าง

ที่มา ดัดแปลงจาก Nielsen (1991)



ในทุกกรณี การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อนำไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยจะต้องทำการเก็บตัวอย่างในขวดแก้วปากแคบฝาเกลียวที่มีชั้นรองในฝาเป็นเทฟลอน โดยจะต้องเทน้ำตัวอย่างลงในภาชนะช้าๆ จนกระทั่งน้ำตัวอย่างล้นภาชนะและมีน้ำตัวอย่างหนุนจากปากขวดเล็กน้อย (รูปที่ 19) จากนั้นจึงปิดฝาเกลียวให้แน่น ค่ำว่าขวดลงและตรวจดูว่ามีฟองอากาศในขวดหรือไม่ ถ้ามีฟองอากาศให้ทำการเก็บตัวอย่างใหม่ ขวดที่ไม่มีฟองอากาศ ให้คว่ำเก็บในภาชนะบรรจุที่แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนส่งไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 19 ตัวอย่างขวดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและลักษณะน้ำหนุนบนปากขวด

2.5) การรายงานผลและองค์ประกอบในรายงาน

2.5.1 การบันทึกข้อมูล ในระหว่างการเก็บตัวอย่างจะต้องทำการบันทึกข้อมูลควบคู่กันไป โดยปกติกระบวนการเก็บตัวอย่างควรจะต้องทำในลักษณะเดียวกันทุกครั้ง โดยเฉพาะในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในระยะยาว เพื่อให้ได้ผลที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ทั้งนี้ วิธีการเก็บตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละครั้งจะต้องได้รับการบันทึกไว้อย่างละเอียดและชัดเจน ซึ่งควรจะประกอบไปด้วย



- วัตถุประสงค์ของการเก็บตัวอย่าง
- ข้อมูลตำแหน่งและพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างและบ่อติดตามตรวจสอบ
- ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ในบริเวณนั้น อาจจะใช้การบันทึกภาพไว้รวมไปถึงสภาพและลักษณะบ่อ
- ข้อมูลลักษณะอากาศก่อนและในช่วงวันเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะฝนหรือน้ำท่วม
- วิธีการเตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างรวมถึงขั้นตอนในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ปนเปื้อน โดยในส่วนนี้สามารถอ้างอิงไปยังเอกสารประกันคุณภาพได้
- กระบวนการถ่ายน้ำซึ่งออกจากบ่อและการเก็บตัวอย่าง รวมถึงอัตราการสูบน้ำสำหรับการถ่ายน้ำซึ่งออกจากบ่อและการเก็บตัวอย่าง และปริมาตรน้ำที่สูบออก เพื่อใช้เปรียบเทียบกับครั้งก่อนและเป็นแนวทางในการดำเนินการในครั้งต่อไป
- ระดับน้ำในบ่อ และค่าอื่นๆ ที่วัดในภาคสนาม
- วันและเวลาของการเริ่มและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง วิธีการเก็บตัวอย่างที่ใช้ (อุปกรณ์ที่ใช้)
- จำนวนและปริมาณของตัวอย่างที่เก็บ รหัสของตัวอย่าง รวมถึงตัวอย่างสำหรับการทำารควบคุมคุณภาพ (QC)
- วิธีการรักษาสภาพ การจัดเก็บ และขนส่งตัวอย่าง
- แนวโน้มที่จะมีการปนเปื้อนที่อาจจะเกิดขึ้น และข้อสังเกตอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อตัวอย่างเช่น ปัญหาที่พบที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินตามขั้นตอนการเก็บตัวอย่างที่วางไว้ได้ เป็นต้น



2.5.2 การรายงานผล การรายงานผลจะไม่รายงานเฉพาะข้อมูลผลการวิเคราะห์เท่านั้น แต่จะต้องให้ข้อมูลประกอบอย่างละเอียดเพื่อประกอบการพิจารณา ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาเรื่องการบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำควรจะแสดงร่วมกับข้อมูลต่อไปนี้

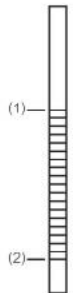
- ข้อมูลของบ่อกายภาพ เช่น การก่อสร้าง ระดับช่องกรอง เป็นต้น ซึ่งจะได้จากบันทึกประจำบ่อ
- อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการถ่ายน้ำซึ่งออกจากบ่อ ให้ระบุปริมาตรน้ำ และเกนท์ (พารามิเตอร์) ที่ใช้กำหนดว่าปริมาตรน้ำที่จะสูบออกเพียงพอแล้ว รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในช่วงสุดท้าย ซึ่งจะใช้เป็นผลการตรวจวัดของพารามิเตอร์นั้นๆ ด้วย
- ข้อมูลทางกายภาพของตัวอย่างน้ำและดินที่สามารถสังเกตได้ เช่น สี ตะกอน ความขุ่น เพื่อประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในภาคสนาม
- ระบว่ามีกรรองน้ำตัวอย่างหรือไม่ และการกรรองทำในภาคสนามหรือในห้องทดลอง
- วิธีการรักษาสภาพและเก็บรักษาตัวอย่างในภาคสนามก่อนการขนส่ง วิธีการการขนส่ง เวลาทั้งหมดที่ใช้ไประหว่างการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างถูกวิเคราะห์ หรือมีการเปลี่ยนการครอบครองจากผู้เก็บไปยังผู้ขนส่ง
- รายละเอียดขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์ปนเปื้อน ซึ่งอ้างอิงจากเอกสารประกันคุณภาพได้
- ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ



ตัวอย่างแบบฟอร์มรายงานผล ดังนี้

ตัวอย่างฟอร์มบันทึกข้อมูลภาคสนาม

1) ข้อมูลเบื้องต้น

พื้นที่	ตำแหน่งจุดเก็บ (บ่อ)	วันที่ เวลา			
ผู้เก็บตัวอย่าง	อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง	สภาพอากาศ			
ระดับน้ำก่อนถ่ายน้ำซังออก	ความยาวของช่องกรอง	ตำแหน่งของช่องกรองลึก จากผิวดิน			
ความลึกของบ่อ (วัด/บันทึกประจำบ่อ)	ปริมาตรของน้ำในบ่อ (คำนวณ)	บน (1)  ล่าง (2)			
ค่าที่วัดในภาค สนามเริ่มต้น	ความนำไฟฟ้า (mS/cm)	pH	ออกซิเจนละลาย (มก./ลิตร)	ศักย์รีดอกซ์ (mV)	อุณหภูมิ (°C)

Flow-through Cell: ☐ ใช้ ☐ ไม่ใช้

2) ค่าที่ทำการวัดและเกณฑ์ที่ใช้ในการหาสภาพคงที่ในระหว่างการถ่ายน้ำ

เวลา	อัตราการ ถ่ายน้ำ (มล./นาท)	ปริมาตร ที่ถ่ายออก (ลิตร)	อุณหภูมิ (°C)	ความนำ ไฟฟ้า (mS/cm)	pH	ศักย์ รีดอกซ์ (mV)	ออกซิเจน ละลาย (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	ระดับน้ำ ในบ่อ (m)



3) ข้อมูลที่บันทึกในการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน

ตัวอย่างดิน

พื้นที่			วันที่		
ผู้เก็บตัวอย่าง			เวลาที่เริ่มเก็บตัวอย่าง		
จำนวนตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด			อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง		
ลำดับ	รหัสตัวอย่าง	พิกัด	รายละเอียดพื้นที่ เก็บตัวอย่าง	ระดับความลึก ที่เก็บตัวอย่าง (m)	หมายเหตุ

หมายเหตุ ข้อมูลรายละเอียดพื้นที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของดิน (สี กลิ่น ลักษณะเนื้อดิน), ลักษณะการปนเปื้อนที่พบ (อาจมีการเก็บภาพประกอบ)

ผู้เก็บตัวอย่าง.....

ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

พื้นที่			ตำแหน่งจุดเก็บ (บ่อ)		วันที่	
ผู้เก็บตัวอย่าง			อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง		เวลาที่เริ่มเก็บตัวอย่าง	
จำนวนตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด			ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด		เวลาที่ปิดเครื่องสูบ	
ลำดับ	รหัส ตัวอย่าง	พิกัด	รายละเอียดพื้นที่ เก็บตัวอย่าง	กรอง/ไม่กรอง	ระดับความลึก ที่เก็บตัวอย่าง (m)	หมายเหตุ

หมายเหตุ ข้อมูลรายละเอียดพื้นที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของดิน (สี กลิ่น ลักษณะเนื้อดิน), ลักษณะการปนเปื้อนที่พบ (อาจมีการเก็บภาพประกอบ)

ผู้เก็บตัวอย่าง.....



ในกรณีตัวอย่างที่ไม่สามารถเก็บน้ำใต้ดินได้ ให้เก็บน้ำผิวดินในบริเวณใกล้เคียงและทำการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มรายงานผลตัวอย่างน้ำผิวดิน

ตัวอย่างน้ำผิวดิน

พื้นที่			ตำแหน่งจุดเก็บ (ป่อ)		วันที่	
ผู้เก็บตัวอย่าง			อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง		เวลาที่เริ่มเก็บตัวอย่าง	
จำนวนตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด			ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด		เวลาที่ปิดเครื่องสูบ	
ลำดับ	รหัส ตัวอย่าง	พิกัด	รายละเอียดพื้นที่ เก็บตัวอย่าง	กรอง/ไม่กรอง	ระดับความลึก ที่เก็บตัวอย่าง (m)	หมายเหตุ

ผู้เก็บตัวอย่าง.....

4) ข้อมูลประกอบอื่นๆ

ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่สังเกตเห็น.....

.....

ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่สังเกตเห็น.....

.....

บันทึกอื่นๆ.....

.....

2.6) มาตรการติดตามผล

ในทุกกรณีที่มีการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน มาตรการติดตามตรวจสอบในระยะยาวจะแบ่งได้เป็น 2 กรณีหลักๆ คือ

2.6.1 การติดตามตรวจสอบในระยะยาวเพื่อการเฝ้าระวังการแพร่กระจาย สำหรับกรณีนี้จะเน้นไปที่การเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน



จากแหล่งกำเนิดหรือสถานประกอบการอาจจะปลดปล่อยมลพิษ เช่น หลุมฝังกลบ เป็นต้น รวมทั้งในกรณีพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแต่ยังไม่มี การดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน โดยการเฝ้าระวังจะเน้นไปที่การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อดิตตามตรวจสอบที่ติดตั้งไว้ เพราะว่าสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะเคลื่อนตัวไปกับน้ำใต้ดินเป็นหลัก

วัตถุประสงค์หลัก 2 อย่างของการติดตามตรวจสอบในลักษณะนี้คือ เพื่อตรวจสอบว่าสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่แหล่งกำเนิดหรือไม่ และเพื่อตรวจสอบว่าผู้รับสาร (Receptors) ซึ่งอาจจะเป็น ผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียงที่ใช้น้ำใต้ดิน หรือหมายถึงพืชและสัตว์ในพื้นที่การเกษตร เป็นต้น มีโอกาสที่จะสัมผัสกับสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดหรือไม่

การติดตามตรวจสอบในกรณีนี้ จะมีการติดตั้งบ่อดิตตามตรวจสอบไว้ที่ในพื้นที่แหล่งกำเนิดซึ่งจะต้องรวมถึงการติดตั้งบ่อดิตตามตรวจสอบที่ขอบเขตของพื้นที่แหล่งกำเนิดในทิศทางท้ายน้ำจากแหล่งกำเนิดด้วย และในพื้นที่ของผู้รับสาร โดยจะมีการเข้าเก็บข้อมูลพารามิเตอร์จำเพาะอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง

2.6.2 การติดตามตรวจสอบในระยะยาวสำหรับกระบวนการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน สำหรับกรณีนี้ จะเป็นการติดตามตรวจสอบในกรณีที่มีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในพื้นที่อาจจะมีการเก็บตัวอย่างดินร่วมกับตัวอย่างน้ำด้วย ทั้งนี้ ความถี่และจุดเก็บตัวอย่าง รวมทั้งพารามิเตอร์ที่วัดจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญที่ทำการเดินระบบ การติดตามตรวจสอบในลักษณะนี้อาจจะมีการวัดพารามิเตอร์อื่นๆที่ไม่ใช่ตัวสารปนเปื้อนโดยตรงแต่อาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ (Products) จากการย่อยสลายของสารปนเปื้อนตั้งต้น รวมทั้งสารเคมีที่เติมลงไปด้วยขึ้นกับระบบที่ใช้

วัตถุประสงค์หลักของการติดตามตรวจสอบในลักษณะนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบฟื้นฟู เพื่อการปรับแผนการฟื้นฟู และเพื่อตรวจสอบว่าระดับของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในพื้นที่ลดลงจนถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งอาจจะเป็นมาตรฐานที่กำหนด หรือเป็นค่าความเข้มข้นที่คำนวณจากการประเมินความเสี่ยง เป็นต้น เพื่อปิดโครงการฟื้นฟู (Remediation Project Closure)

3. แนวทางบำบัดหรือฟื้นฟู คุณภาพดินและน้ำใต้ดิน

เทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนนั้นเป็นการประยุกต์กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดและเพื่อกำจัดหรือบำบัดสารปนเปื้อนในพื้นที่เป้าหมาย ในกรณีที่พบการปนเปื้อนในเบื้องต้น ควรจะดำเนินการตรวจสอบหาแหล่งกำเนิดและดำเนินการจัดการกับสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนที่แหล่งกำเนิดเพื่อหยุดหรือควบคุมการแพร่กระจายของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดซึ่งสามารถดำเนินการไปพร้อมกับการฟื้นฟูคุณภาพดินและน้ำใต้ดินได้ ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่หลากหลาย ซึ่งในที่นี้จะแสดงแนวทางของเกณฑ์ที่ใช้คัดเลือกเทคโนโลยีสำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนบางประเภทที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะประกอบไปด้วย

3.1) เทคโนโลยีในการบำบัดดิน ซึ่งได้แก่

3.1.1 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Biological Treatment)

3.1.2 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Physical/Chemical Treatment)

3.1.3 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยสมมติให้มีการขุดดินเพื่อเคลื่อนย้ายไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Biological Treatment)

3.1.4 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีโดยสมมติให้มีการขุดดินเพื่อเคลื่อนย้ายไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Physical/Chemical Treatment)



3.2) เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำใต้ดิน ซึ่งได้แก่

3.2.1 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบติดตั้งในพื้นที่
(In situ Biological Treatment)

3.2.2 เทคโนโลยีการฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีแบบติดตั้งใน
พื้นที่ (In situ Physical/Chemical Treatment)

3.2.3 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยสมมติให้มีการสูบน้ำไปบำบัด
นอกพื้นที่ (Ex situ Biological Treatment)

3.2.4 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีโดยสมมติให้มีการขุดดิน
เพื่อเคลื่อนย้ายไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Physical/Chemical Treatment)

3.2.5 การกักกัน (Containment) / วิธีการอื่น

สำหรับเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีได้แสดงในตาราง
ต่อไปนี้



เกณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกเทคโนโลยีฟื้นฟู

	ชนิดสารปนเปื้อน								ภาพรวมของระบบ				
	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	น้ำมันเชื้อเพลิง	สารอนินทรีย์	สารกัมมันตรังสี	วัตถุระเบิด	การบำรุงรักษาระบบ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ความเสถียรของระบบ/ความน่าเชื่อถือของระบบ/	เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู	การติดตั้งระบบ
1. ดิน													
1.1 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Biological Treatment)													
1.1.1 Bioventing	●	●	◆	●	●	○	◆	○	●	●	●	○	●
1.1.2 Enhanced Bioremediation	●	●	●	●	●	◆	◆	●	○	○	○	○	●
1.1.3 Phytoremediation	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○
1.2 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Physical/Chemical Treatment)													
1.2.1 Chemical Oxidation (U/S)	○	○	○	○	○	◆	○	●	○	○	○	●	●
1.2.2 Soil Flushing (S)	●	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●
1.2.3 Soil Vapor Extraction (U)	●	○	●	○	●	○	○	○	○	○	●	○	●
1.2.4 Solidification / Stabilization (U/S)	○	○	○	○	○	●	●	○	●	○	●	●	●

ต่อ >



	ชนิดสารปนเปื้อน								ภาพรวมของระบบ				
	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์กึ่งระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์กึ่งระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	น้ำมันเชื้อเพลิง	สารอนินทรีย์	สารกัมมันตรังสี	วัตถุระเบิด	การบำรุงรักษาระบบ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ความเสถียรของระบบ/ความน่าเชื่อถือของระบบ/	เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู	การติดตั้งระบบ
1.3 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยผสมดินให้มีการขุดดินเพื่อเคลื่อนย้ายไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Biological Treatment)													
1.3.1 Biopiles	●	●	○	◇	●	◇	○	○	●	●	●	○	●
1.3.2 Composting	○	○	○	◇	●	◇	○	○	●	●	●	○	●
1.4 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีโดยผสมดินให้มีการขุดดินเพื่อเคลื่อนย้ายไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Physical / Chemical Treatment)													
1.4.1 Chemical Extraction	○	○	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	●
1.4.2 Chemical Reduction/Oxidation	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●	●
1.4.3 Soil Washing	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
1.4.4 Solidification/Stabilization	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●
1.4.5 Incineration	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	●	●

ต่อ >



	ชนิดสารปนเปื้อน								ภาพรวมของระบบ				
	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	น้ำมันเชื้อเพลิง	สารอนินทรีย์	สารกำมันตรังสี	วัตถุระเบิด	การติดตั้งระบบ	เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู	ความน่าเชื่อถือของระบบ/ ความเสถียรของระบบ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	การบำรุงรักษาระบบ	
2. น้ำใต้ดิน													
2.1 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Biological Treatment)													
2.1.1 Enhanced Bioremediation	●	◆	●	◆	●	○	●	○	●	○	●	○	●
2.1.2 Monitored natural Attenuation	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2.1.3 Phytoremediation	○	○	○	○	◆	○	○	○	○	○	●	○	○
2.2 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีแบบติดตั้งในพื้นที่ (In situ Physical/Chemical Treatment)													
2.2.1 Air Sparging	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
2.2.2 Bioslurping	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	●	○	○
2.2.3 Chemical Oxidation	○	○	○	○	◆	○	○	○	○	○	○	○	○
2.2.4 Passive / Reactive Treatment Walls	●	●	●	●	◆	○	●	○	○	○	○	○	○

ต่อ >



	ชนิดสารปนเปื้อน	ภาพรวมของระบบ				
		การติดตั้งระบบ	เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู	ความน่าเชื่อถือของระบบ/ ความเสถียรของระบบ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	การบำรุงรักษาระบบ
	วัตถุระเบิด					
	สารกัมมันตรังสี					
	สารอินทรีย์					
	น้ำมันเชื้อเพลิง					
	สารอินทรีย์กึ่งระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
	สารอินทรีย์กึ่งระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ					
2.3 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยผสมน้ำไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Biological Treatment)						
2.3.1 Bioreactors						
2.3.2 Constructed Wetlands						
2.4 การฟื้นฟูด้วยกระบวนการทางกายภาพ/เคมีโดยผสมน้ำไปบำบัดนอกพื้นที่ (Ex situ Physical / Chemical Treatment)						
2.4.1 Advanced Oxidation Processes						
2.4.2 Air Stripping						
2.4.3 Activated Carbon Adsorption						
2.4.4 Pump & Treat						
2.4.5 Ion Exchange						



ภาพรวมของระบบ	การติดตั้งระบบ	●	●
	เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู	○	○
	ความน่าเชื่อถือของระบบ/ ความเสถียรของระบบ	●	○
	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	○	●
	การบำรุงรักษาระบบ	○	●
ชนิดสารปนเปื้อน	วัตถุระเบิด	●	○
	สารกัมมันตรังสี	○	○
	สารอินทรีย์	●	○
	น้ำมันเชื้อเพลิง	●	○
	สารอินทรีย์ที่ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	●	○
	สารอินทรีย์ที่ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	●	○
	สารอินทรีย์ระเหยที่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	●	○
	สารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มีธาตุหมู่ที่ 7 เป็นองค์ประกอบ	●	○
2.5 การกักกัน (Containment) / วิธีการอื่น			
2.5.1 Physical Barriers			
2.5.2 Deep Well Injection			



คำอธิบาย

ปัจจัย	● สูงกว่าเกณฑ์เฉลี่ย	○ ระดับเกณฑ์เฉลี่ย	○ ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ย	อื่นๆ
การบำบัดสารปนเปื้อนทั้งหมด 8 กลุ่ม	มีประสิทธิภาพดีในระบบนำร่อง (Pilot Scale) หรือระบบจริง (Full Scale)	มีประสิทธิภาพจำกัดในระบบนำร่อง (Pilot Scale) หรือระบบจริง (Full Scale)	ไม่เคยมีการทดสอบประสิทธิภาพในระบบนำร่อง (Pilot Scale) หรือระบบจริง (Full Scale)	♦ ระดับของประสิทธิภาพขึ้นกับชนิดของสารปนเปื้อน การออกแบบระบบ และวิธีการ
การบำรุงรักษาระบบ	ระดับการบำรุงรักษาต่ำ	ระดับการบำรุงรักษาปานกลาง	ระดับการบำรุงรักษาสูง	I/D มีข้อมูลไม่เพียงพอในการประเมิน
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในระดับต่ำ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในระดับปานกลาง	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในระดับสูง	
ความน่าเชื่อถือของระบบ/ความเสถียรของระบบ	มีความน่าเชื่อถือและมีเสถียรภาพสูง	มีความน่าเชื่อถือและมีเสถียรภาพปานกลาง	มีความน่าเชื่อถือและมีเสถียรภาพต่ำ	
เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟู (สำหรับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีดินต้องบำบัด ปริมาณ 18,200 เมตริกตัน และมีน้ำใต้ดินปนเปื้อนที่ต้องบำบัด 3,800 ลบ.ม.)	In situ Soil น้อยกว่า 1 ปี	1 - 3 ปี	มากกว่า 3 ปี	
	En situ Soil น้อยกว่า 0.5 ปี	0.5 - 1 ปี	มากกว่า 1 ปี	
	น้ำใต้ดิน น้อยกว่า 3 ปี	3 - 10 ปี	มากกว่า 10 ปี	
การติดตั้งระบบ	หาผู้รับเหมาในประเทศเพื่อติดตั้งระบบได้	หาผู้รับเหมาในประเทศเพื่อติดตั้งระบบได้ยาก	ต้องอาศัยผู้รับเหมาที่มีประสบการณ์และเชี่ยวชาญเฉพาะและอาจหาผู้รับเหมาในประเทศได้ยากมาก	

ที่มา รวบรวมจาก Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTT) (1993, 1995a, 1995b, 1997)

เอกสารอ้างอิง

สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, 2552. แนวทางปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001a. Standard Test Method for Determining Subsurface Liquid Levels in a Borehole or Monitoring Well (Observation Well), ASTM D4750-87. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, 18 pp.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001b. Standard Guide for Development of Ground-Water Monitoring Wells in Granular Aquifers, ASTM D5521. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, 15 pp.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001c. Standard Practice for Decontamination of Field Equipment Used at Nonradioactive Waste Sites, ASTM D5088. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, 20 pp.

Barcelona, M.J., H.A. Wehrmann, and M.D. Varljen. 1994. Reproducible Well-Purging Procedures and VOC Stabilization Criteria for Ground-Water Sampling. *Groundwater*, 32(1):12-22.

Dalton, M. G., B. E. Huntsman, and K. Bradbury. 1991. Acquisition and Interpretation of Water-Level Data. In: D. M. Nielsen (editor), *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring*. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan. pp. 367-397.



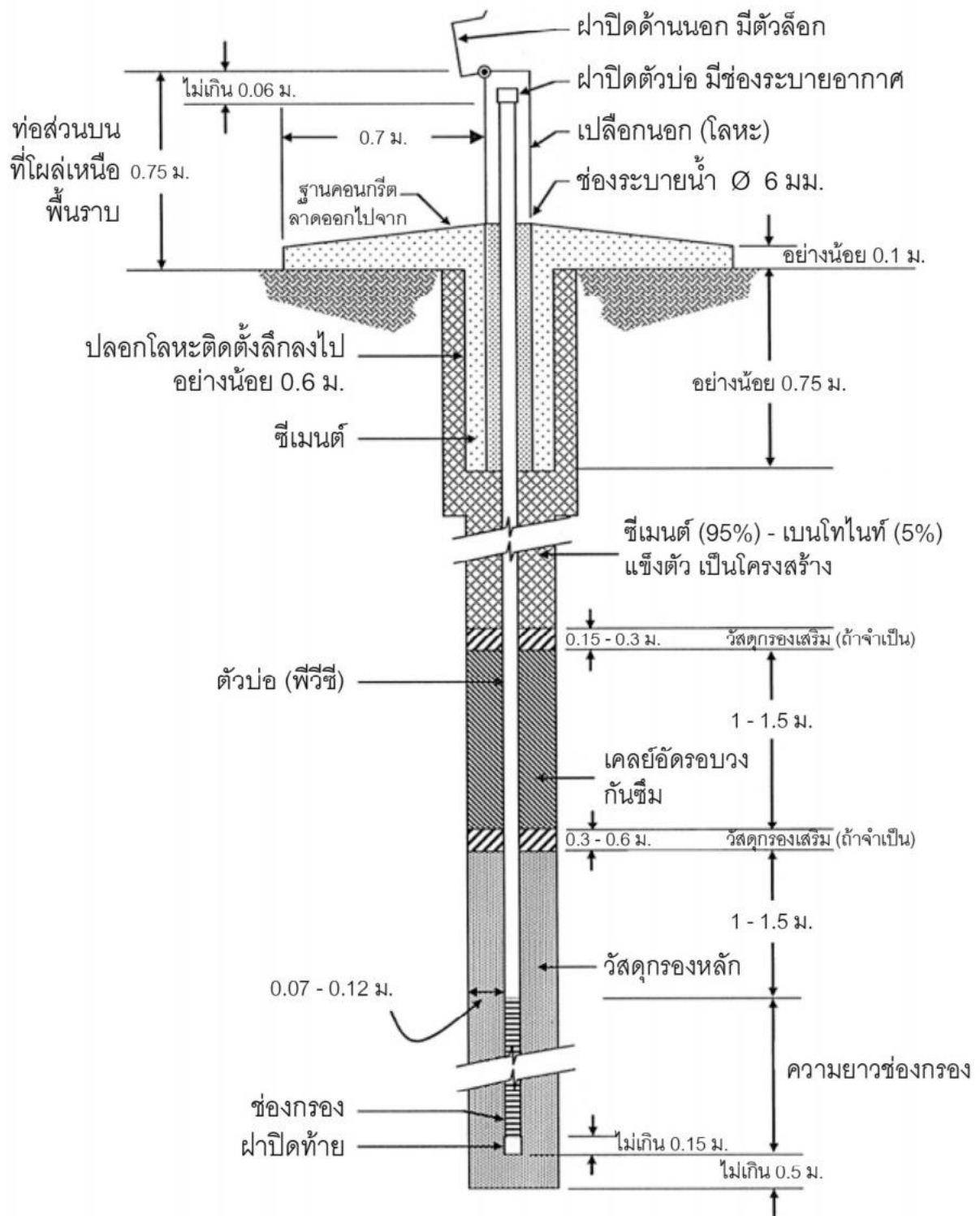
- Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) (1993). Synopses of Federal Demonstrations of Innovative Site Remediation Technologies, Third Edition, August 1993.
- Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) (1995a). Accessing Federal Data Bases for Contaminated Site Clean-Up Technologies, Fourth Edition, October 1995.
- Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) (1995b). Federal Publications on Alternative and Innovative Treatment Technologies for Corrective Action and Site Remediation, Fourth Edition, October 1995.
- Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) (1997). Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version III, November 1997.
- Ministry of the Environment of Japan, 1999. Survey and Countermeasure Guidelines for Soil and Groundwater Contamination Survey and Countermeasure Technologies. Geo-Environmental Protection Center, Tokyo.
- Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) and U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA.), 1998. Field Sampling and Analysis Technologies Matrix and Reference Guide, 1st edition. March 1998.
- Nielsen, D.M. 1991. Practical Handbook of Ground-Water Monitoring. Lewis Publishers, New York. pp. 471–481.



- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, 1995, American Public Health Association, Washington DC.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1991. Site Characterization for Subsurface Remediation. Seminar Publication. Office of Research and Development Washington, DC 20460, EPA/600/113-90/003, p 123 - 148.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1992. RCRA Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance. Office of Solid Waste, Washington, DC EPA/530/R-93/001, NTIS PB 93-139350.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1996. Test Methods for the Evaluation of Solid and Hazardous Wastes. SW-846, Chapter 9.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 2004. Federal Register, Volume 69, No.66, April 6, 2004.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 2005. Groundwater Sampling and Monitoring with Direct Push. Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460 OSWER No. 9200.1-51 EPA 540/R-04/005, August 2005, 78pp.

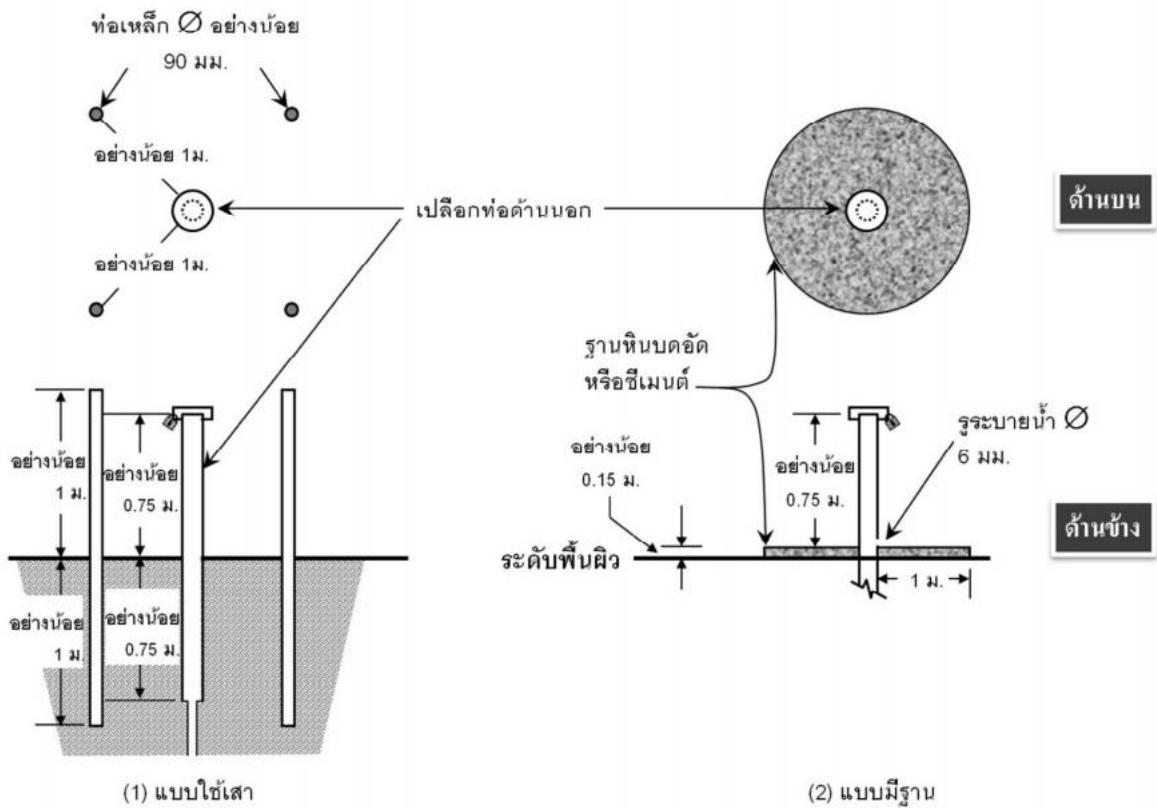
ภาคผนวก

ตัวอย่างแบบบ่อสังเกตการณ์ แบบบ่อโผล่เหนือพื้น





ตัวอย่างการแสดงพื้นที่และการป้องกันความเสียหายส่วนบนของบ่อที่โผล่เหนือพื้น





ตัวอย่างแบบบ่อสังเกตการณ์ แบบราบไปกับพื้น

