

คู่มือวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน  
โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ  
Passive Diffusion Bag



สิงหาคม 2557

จัดทำโดย สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ

## คำนำ

การติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดิน เป็นประเด็นที่มีความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมของประเทศเป็นไปอย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดการปนเปื้อนขึ้นในหลายพื้นที่ ทั้งจากกรณีการหก การรั่วไหลของระบบท่อ การทิ้งของเสีย และการจัดการสารพิษที่ไม่เป็นไปตามหลักวิชาการ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดให้แหล่งกำเนิดมลพิษฝ่ายระวังการปนเปื้อนของดิน และน้ำใต้ดินและจัดทำรายงานอย่างเป็นทางการ (อยู่ในระหว่างการเสนอร่างกฎกระทรวงอุตสาหกรรมในกรณี โรงงานอุตสาหกรรม) อีกทั้งยังไม่มีกลไกการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนอย่างเป็นระบบ การปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินจึง เป็นประเด็นที่มักถูกละเลยจนกระทั่งทำให้การปนเปื้อนแพร่กระจายออกไปในวงกว้างและแก้ไขได้ยากลำบากเมื่อ ตรวจพบ อีกทั้งการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินนั้นยังต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะด้านและผู้เก็บตัวอย่าง จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว จึงทำให้ยังไม่มีมีการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของ แหล่งน้ำใต้ดินอย่างแพร่หลายดังเช่นแหล่งน้ำอื่น

เนื่องจากความยุ่งยากของวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตามวิธีการมาตรฐานด้วยเครื่องสูบน้ำ ในช่วงหลายปี ที่ผ่านมาเทคโนโลยีการติดตามตรวจสอบน้ำใต้ดินจึงได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ ไม่มีปฏิกิริยา (Passive) เป็นเทคโนโลยีทางเลือกใหม่แบบหนึ่งในการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ระเหยง่ายในแหล่งน้ำใต้ดินที่มีจุดเด่นอยู่ที่ไม่จำเป็นต้องมีการสูบน้ำ (purgings) ออกก่อนการเก็บตัวอย่างจึงเป็นการ ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานในภาคสนาม สามารถติดตามการปนเปื้อนในแนวดิ่งได้ดี สามารถป้องกันการปนเปื้อน แบบข้ามไปมา (cross contamination) ที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ชุดเดียวในการเก็บตัวอย่างหลายตำแหน่งได้ มีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ถูกลงกว่า สามารถเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามมาตรฐานได้ทุกชนิด และเนื่องจาก อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ใช้ไฟฟ้าจึงสามารถใช้ในการเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายในพื้นที่ควบคุมของโรงงาน อุตสาหกรรมได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่โรงงานปิโตรเคมีซึ่งมีโอกาสนในการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบไม่มีปฏิกิริยาจึงได้รับความนิยมในต่างประเทศเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ กรมควบคุมมลพิษได้ ดำเนินการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไม่มีปฏิกิริยาแบบ Passive Diffusion Bag ในพื้นที่ปนเปื้อนมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วและพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้อยู่ในระดับที่เปรียบเทียบกับ วิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้แบบเครื่องสูบน้ำ อีกทั้งยังมีข้อดีหลายประการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จึงได้จัดทำ “คู่มือ การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag” เล่มนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การติดตามตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย จึงหวัง เป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือเล่มนี้จะทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบ บ่งชี้ และแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของดินและแหล่งน้ำใต้ ดินได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้นในอนาคต



(นายรังสรรค์ ปันทอง)

ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพน้ำ

# สารบัญ

| หัวข้อ                                                                                                                                                                                                                                                                             | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| คำนำ                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |
| บทที่ 1 บทนำ                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1    |
| 1.1 ปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน                                                                                                                                                                                                                             | 1    |
| 1.2 เหตุผลความจำเป็น และหลักการของ Passive Diffusion Bag                                                                                                                                                                                                                           | 2    |
| 1.3 การเปรียบเทียบวิธีเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag กับวิธีเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ                                                                                                                                                                                  | 6    |
| 1.4 รายละเอียดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag                                                                                                                                                                                                             | 8    |
| บทที่ 2 การเก็บตัวอย่างและการแปลผล                                                                                                                                                                                                                                                 | 9    |
| 2.1 การเตรียมความพร้อมก่อนออกภาคสนาม                                                                                                                                                                                                                                               | 10   |
| 2.2 การติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง                                                                                                                                                                                                                                                      | 14   |
| 2.3 การกู้ถุงเก็บตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง                                                                                                                                                                                                                                        | 18   |
| 2.4 การรักษาสภาพตัวอย่าง                                                                                                                                                                                                                                                           | 20   |
| 2.5 การแปลผลการวิเคราะห์                                                                                                                                                                                                                                                           | 22   |
| บทที่ 3 ข้อจำกัดของการใช้ Passive Diffusion Bag                                                                                                                                                                                                                                    | 25   |
| บทที่ 4 อ้างอิงกรณีศึกษา                                                                                                                                                                                                                                                           | 28   |
| กรณีศึกษาที่ 1 ส่วนการถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์ความเป็นเลิศด้านสิ่งแวดล้อม กองทัพอากาศสหรัฐ (US. Air Force Center for Environmental Excellence, Technology Transfer Division) ได้ประเมินวิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้ passive diffusion bag เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบเดิม | 28   |
| กรณีศึกษาที่ 2 สำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐ (USGS) ได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้เครื่องสูบลำกับวิธี diffusion sampling เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของ Perchlorate และสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นพิษในน้ำใต้ดินที่ฐานทัพบกแคมป์เอดเวิร์ด รัฐแมสซาชูเซตส์     | 29   |
| ภาคผนวก                                                                                                                                                                                                                                                                            | 30   |
| ก. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน                                                                                                       | 30   |
| ข. ข้อมูลทั่วไปของสารอินทรีย์ระเหยง่าย                                                                                                                                                                                                                                             | 34   |
| ค. ตารางเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันของเทคโนโลยี Passive Sampler ชนิดต่างๆ                                                                                                                                                                       | 37   |
| รายการเอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                                                                                                                                | 38   |

# บทที่ 1 บทนำ

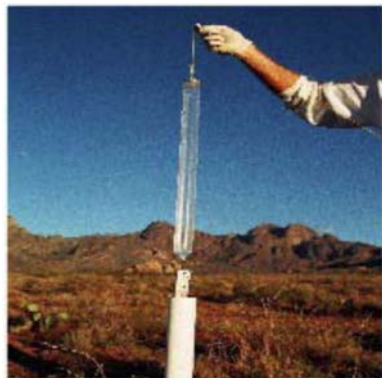
## 1.1 ปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดิน\* เป็นทรัพยากรน้ำที่มีความสำคัญอย่างสูงเนื่องจากมีคุณภาพดีกว่าน้ำผิวดินโดยทั่วไป จึงถูกใช้เป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับการอุปโภคบริโภคในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำอื่นได้ อีกทั้งยังเป็นแหล่งน้ำสำรองในกรณีที่เกิดการขาดแคลนน้ำ อย่างไรก็ตามในระยะที่ผ่านมาคุณภาพน้ำใต้ดินในหลายพื้นที่ของประเทศไทยได้เกิดการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่างๆ และเสื่อมโทรมลงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การลักลอบทิ้งกากสารเคมี การระบายน้ำทิ้งที่มีสารมลพิษปนเปื้อน การรั่วไหลของสารเคมี และการชะจากพื้นที่ฝังกลบขยะที่ไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น ได้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินทั้งโดยตรงหรือโดยทางอ้อมจากการชะล้างของดินที่ปนเปื้อนแล้วเคลื่อนที่ลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินในที่สุด ทั้งนี้ สารมลพิษที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแหล่งน้ำใต้ดินที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOCs) เนื่องจากสารกลุ่มนี้บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็งอย่างร้ายแรงตามนิยามของหน่วยงานวิจัยด้านมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) รวมทั้งยังสามารถพัฒนาไปตามการไหลของน้ำใต้ดินได้เป็นระยะทางไกล อีกทั้งมีความคงตัวในสภาวะใต้ดินสูงและสามารถแทรกซึมอยู่ในดินซึ่งทำให้ยากต่อการประเมินการปนเปื้อนจึงต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะในการตรวจสอบ ทั้งนี้ หากมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินแล้วก็ยากที่จะทำการบำบัดและฟื้นฟูการปนเปื้อนให้กลับมามีได้ดังเดิม และหากไม่มีการฟื้นฟูการปนเปื้อนที่เหมาะสมจะส่งผลให้แหล่งน้ำใต้ดินเสื่อมโทรมลงในระยะยาวและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป

\*น้ำใต้ดิน (subsurface water) ในความหมายของคู่มือเล่มนี้ประกอบด้วยน้ำบาดาล (ground water) ซึ่งอ้างอิงตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดเขตน้ำบาดาลและความลึกของน้ำบาดาล พ.ศ. 2554 โดย พ.ร.บ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 ได้กำหนดว่าเป็นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกจากผิวดินลงไปเกินกว่า 15 เมตร และน้ำตื้น (shallow water) ซึ่งหมายถึงน้ำใต้ดินที่อยู่ระดับผิวดินแต่ลึกลงไปจากผิวดินน้อยกว่า 15 เมตร

## 1.2 เหตุผลความจำเป็น และหลักการของ Passive Diffusion Bag

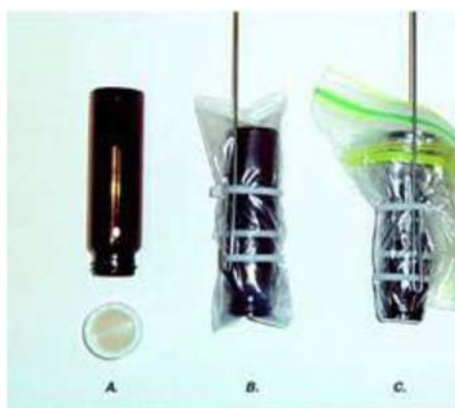
การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อประเมินการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นกระบวนการที่ต้องใช้อุปกรณ์และความชำนาญเป็นการเฉพาะ เนื่องจากต้องคำนึงถึงการรักษาสภาพตัวอย่างเพื่อป้องกันการระเหยหรือการสูญเสียของสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีลักษณะสมบัติที่ระเหยได้เร็วในอุณหภูมิและความดันปกติในระหว่างการเก็บตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องสูบน้ำ (pump) หรือเบลเลอร์ (bailor) แบบดั้งเดิมนั้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการถ่ายเทน้ำออกจากบ่อให้อยู่ในระดับต่ำ (low-flow purging) โดยการใช้เครื่องสูบบแบบจม (submersible pump) ไปจนกระทั่งในระดับต่ำมาก (micro purging) โดยการใช้เครื่องสูบบแบบถุง (bladder pump) เพื่อลดการสูญเสียสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากการเคลื่อนที่ของน้ำ ทั้งนี้ เทคโนโลยีการเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์แบบไม่มีปฏิกิริยาเป็นวิธีการแบบใหม่ในการติดตามการปนเปื้อนของดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และตะกอนดิน ที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วและมีความแม่นยำ เทียบเท่ากับวิธีการติดตามตรวจสอบแบบเดิม โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบไม่มีปฏิกิริยาที่มีใช้แพร่หลายในต่างประเทศมีหลายชนิด เช่น HydraSleeve™, Dialysis Sampler และ Passive Vapor Diffusion Samplers ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1.1 ซึ่งบางชนิดสามารถติดตามตรวจสอบในสื่อ (media) และพารามิเตอร์ได้ครอบคลุมและหลากหลายมากกว่า Passive Diffusion Bag แสดงดังภาคผนวก ค. อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบไม่มีปฏิกิริยาเหล่านี้บางชนิดเป็นสินค้าลิขสิทธิ์ของบางบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น จึงอาจยังไม่เหมาะสมที่จะส่งเสริมการใช้ในวงกว้างในประเทศไทย



HydraSleeve™



Dialysis Sampler



Passive Vapor Diffusion Samplers



A: Diffusion Bag with Polyethylene Mesh  
B: Diffusion Bag Without Mesh  
C: Diffusion Bag and Mesh Attached to Bailer Bottom

Polyethylene (Passive) Diffusion Bag

รูปที่ 1.1 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดินแบบไม่มีปฏิกิริยา

(อ้างอิงความสามารถของอุปกรณ์แต่ละประเภทดังภาคผนวก ค.)

สำหรับในกรณีการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินนั้น การใช้ Polyethylene (Passive) Diffusion Bag ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีปฏิกิริยาและจำเป็นต้องสูบน้ำออกจากบ่อ (no purging) ในการเก็บตัวอย่าง ทำให้สามารถรักษาสภาพตัวอย่างได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถติดตั้งได้หลายระยะตามระดับความลึกของบ่อน้ำใต้ดินทำให้สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแนวตั้งเพื่อบ่งชี้จุดปนเปื้อนได้ จึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในต่างประเทศ ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินด้วย Passive Diffusion Bag ใช้หลักการของความสมดุล (Equilibrium) ของสารโดยกระบวนการแพร่กระจาย (Diffusion) ซึ่งมีหลักการที่ว่า “สารประกอบทางเคมีที่มีคุณสมบัติสามารถละลายในน้ำได้จะแพร่กระจายและเคลื่อนตัวจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยัง

บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ” ซึ่งในกรณีนี้เป็นการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินมายังน้ำบริสุทธิ์ที่บรรจุในถุง Passive Diffusion Bag ซึ่งทำจาก Low Density Polyethylene (LDPE) ที่มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-Permeable Membrane) ซึ่งมีขนาดของรูพรุน (Pore Size) เท่ากับ 10 angstroms หรือน้อยกว่า จึงอาจใช้ชื่อเรียกว่า Polyethylene Diffusion Bag (PDB) Sampler โดยในการเก็บตัวอย่างจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวทิ้งไว้ในบ่อสังเกตการณ์เป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้กระบวนการแพร่ (Diffusion) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายนอกและภายใน Passive Diffusion Bag ถึงจุดสมดุล โดยหลักการของกระบวนการแพร่ จะใช้กฎของ Fick’s Law of Diffusion

$$J = \frac{D(C_1 - C_2)}{L} \quad [1]$$

ซึ่งตามสมการ [1] นี้

J คือ อัตราการแพร่ (ก./ตร.ซม. วินาที),

D คือ Diffusion Coefficient หรือ Diffusivity (ค่าคงที่ของการแพร่ซึ่งขึ้นกับตัวกลาง) (ตร.ซม./วินาที),

C คือ ความเข้มข้นของสารซึ่งมีระดับที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกถุงเก็บตัวอย่าง (ก./ลบ.ซม.),

L คือ ระยะทางในการแพร่ (ซม.)

อีกทั้งระยะเวลาที่การแพร่ถึงจุดสมดุล t (วินาที) สามารถประเมินได้ดังสมการที่ [2]

$$t \approx \frac{L^2}{2D} \quad [2]$$

ทั้งนี้ค่าคงที่ของการแพร่ในน้ำธรรมชาติ สามารถประเมินได้ด้วยสมการ Hayduk and Laudie

$$D = \frac{13.26 \times 10^{-5}}{h^{1.14} (V_B')^{0.589}} \quad [3]$$

ซึ่ง

h ในกรณีนี้คือความหนืด (viscosity) ของน้ำ

$V_B'$  คือ ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมลาร์ (Molar Volume) ซึ่งสามารถประเมินได้ด้วยสมการของ LaBas หรือ FSG-LaBas (Fuller, Schettler and Giddings-LaBas)

ทั้งนี้ กระบวนการแพร่ เป็นการกระจายตัวของโมเลกุลของสารจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าด้วยการเคลื่อนที่เชิงสุ่มของโมเลกุล การแพร่จะทำให้เกิดการผสมของวัสดุอย่างช้าๆ สำหรับเฟสหนึ่งของวัสดุใดๆ ก็ตามที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ และไม่มีแรงภายนอกมากระทำกับอนุภาค กระบวนการแพร่ก็จะยังคงเกิดถึงแม้ว่าสารจะผสมกันโดยสมบูรณ์หรือเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว โดยพื้นฐานแล้ว การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากพื้นที่ที่มีความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นที่ต่ำกว่าเรียกว่าการแพร่ทั้งสิ้น

ทั้งนี้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA.) มีเครื่องมือช่วยคำนวณและค่าคงที่ของการแพร่ของสารต่างๆ อยู่ที่เว็บไซต์ ช่วยเหลือการประเมินพื้นที่ปนเปื้อน (EPA On-line Tools for Site Assessment Calculation) (<http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/estdiffusion.html>) ซึ่งผู้ใช้ควรศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องของสารที่จะเก็บตัวอย่างก่อนนำ Passive Diffusion Bag มาใช้งาน ตัวอย่างเช่นกรณีสารไซลีน (Xylene) มีค่าคงที่ของการแพร่ในน้ำเท่ากับ  $8.5 \times 10^{-6}$  ซม<sup>2</sup>/วินาที และด้วยขนาดถุง Passive Diffusion Bag มาตรฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 นิ้วหรือรัศมี 2.222 ซม. จะใช้เวลาแพร่ผ่านถึงจุดสมดุลที่ 29,000 วินาที หรือ 8 ชั่วโมง ซึ่งหากพิจารณาอื่นๆ แล้ว การวางถุงเก็บตัวอย่างทิ้งไว้ 3 วันก็เพียงพอสำหรับการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายทุกชนิดที่มีอยู่ในมาตรฐาน โดยในกรณีของสารปนเปื้อนในกลุ่มอโรแมติกและลบ โลหะหนัก ของแข็งละลาย คาร์บอนอินทรีย์ละลาย ซัลไฟด์ในรูปละลาย และก๊าซในรูปละลายต่างๆ อาจใช้เวลานานถึง 7 วันในการเข้าถึงจุดสมดุล และสารกลุ่มที่ระเบิดได้ (explosives) อาจใช้เวลานานถึง 2 สัปดาห์จึงจะเข้าถึงจุดสมดุล ทั้งนี้ โดยทั่วไปจึงแนะนำให้ควรติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง Passive Diffusion Bag ไว้ในพื้นที่ไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์ (อ้างอิงจากข้อเสนอแนะของ Technology Overview of Passive Sampler Technologies, ITRC 2006)

**1.3 การเปรียบเทียบวิธีเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag กับวิธีเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ**  
 สำหรับการเปรียบเทียบวิธีเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag กับวิธีเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ  
 แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบวิธีเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag กับวิธีเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ

| ด้านที่เปรียบเทียบ               | Passive Diffusion Bag (PDB)                                                                                                                                                                                                      | การเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม        | 1. ไม่จำเป็นต้องสูบน้ำในบ่อออก เนื่องจากติดตั้งในบ่อน้ำในระยะยาวทำให้ PDB สัมผัสกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่เป็นตัวแทนของชั้นน้ำโดยตรง ทำให้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการดำเนินงาน รวมทั้งไม่ต้องบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนจากการสูบน้ำทิ้ง** | 1. ต้องสูบน้ำในบ่อออกเนื่องจากต้องการตัวอย่างน้ำที่เป็นตัวแทนของชั้นน้ำ ณ เวลาเก็บตัวอย่าง ทำให้ต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องสูบ รวมทั้งจะต้องบำบัดหรือจัดการน้ำที่สูบทิ้งซึ่งอาจมีการปนเปื้อน |
|                                  | 2. ภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างจะใช้ได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้น การปนเปื้อนข้ามไปมาระหว่างบ่อจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้                                                                                                                   | 2. การใช้เครื่องสูบอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามไปมาได้เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกัน                                                                                                     |
| ด้านความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ | 3. สารอื่นไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้จึงไม่อาจมีสารอื่นปนเปื้อนมากับตัวอย่างที่เก็บ                                                                                                                                           | 3. ตัวอย่างที่เก็บได้จากการสูบน้ำจะมีสารปนเปื้อนหลายชนิด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์                                                                                     |
|                                  | 4. ใช้เก็บตัวอย่างได้เฉพาะสารปนเปื้อนในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายและมีเทน ซึ่งสามารถซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านได้                                                                                                                      | 4. ใช้เก็บตัวอย่างได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทุกชนิดที่อยู่ในค่ามาตรฐาน                                                                                                              |
|                                  | 5. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะไม่ได้รับผลกระทบจากแบคทีเรียและเชื้อราเนื่องจากก่อนใช้จะบรรจุอยู่ในซองพลาสติกฆ่าเชื้อ และเป็นการใช้ครั้งเดียว ไม่มีการใช้ซ้ำ จึงไม่เกิดปัญหาจากแบคทีเรียและเชื้อรา                                       | 5. เครื่องสูบอาจได้รับผลกระทบจากแบคทีเรียและเชื้อราหากเก็บรักษาในสถานะที่ไม่เหมาะสม                                                                                                        |
|                                  | 6. สามารถเลือกชั้นน้ำในการเก็บตัวอย่างได้ดี                                                                                                                                                                                      | 6. สามารถเลือกชั้นน้ำในการเก็บตัวอย่างได้หากใช้วิธี micro-purging                                                                                                                          |

| ด้านที่เปรียบเทียบ           | Passive Diffusion Bag (PDB)                                                                                                                                                                          | การเก็บตัวอย่างแบบสูบน้ำ                                                                                                                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ด้านการปฏิบัติงาน<br>ภาคสนาม | 7. ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานน้อย โดยใช้เวลาติดตั้งประมาณ 10 นาทีต่อจุด และใช้เวลาอยู่ที่หน้างานเฉลี่ย 40 นาที ทำให้มีความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากระยะเวลาของเจ้าหน้าที่ที่อยู่ในพื้นที่ปนเปื้อนลดลง | 7. ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานประมาณ 1 ชม. 45 นาที - 3 ชม. 40 นาที ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการสูบน้ำที่ค้างออกจากบ่อ ทำให้เจ้าหน้าที่มีความเสี่ยงเนื่องจากอยู่ในพื้นที่ปนเปื้อนเป็นระยะเวลานาน |
|                              | 8. เก็บตัวอย่างได้ในปริมาณที่จำกัด                                                                                                                                                                   | 8. สามารถเก็บตัวอย่างได้ในปริมาณที่ไม่จำกัด                                                                                                                                           |
|                              | 9. ไม่ต้องทำความสะอาดก่อนใช้งาน                                                                                                                                                                      | 9. จะต้องมีการทำความสะอาดเครื่องสูบน้ำก่อนใช้งาน                                                                                                                                      |
|                              | 10. ไม่ต้องบำบัดน้ำแต่จะต้องนำถุงเก็บตัวอย่างที่อาจปนเปื้อนไปกำจัดอย่างถูกวิธี เช่น เผาทำลาย                                                                                                         | 10. จะต้องบำบัดน้ำที่สูบทั้งออกจากบ่อที่เก็บตัวอย่างเนื่องจากอาจมีสารปนเปื้อน                                                                                                         |
| ด้านค่าใช้จ่าย               | 11. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างมีราคาถูกเนื่องจากใช้พลาสติกชนิด LDPE ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษา                                                                                                              | 11. เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีราคาสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา                                                                                                    |
|                              | 12. ต้นทุนต่อหน่วยถูกกว่าเนื่องจากสามารถดำเนินการได้มากกว่าภายในเวลาเท่ากัน                                                                                                                          | 12. ต้นทุนต่อหน่วยแพงกว่าเนื่องจากใช้เวลานานในการเก็บตัวอย่าง                                                                                                                         |

\*\* การเก็บตัวอย่างด้วย PDB นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินโดยเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง จึงไม่มีความจำเป็นต้องสูบน้ำที่ค้างอยู่ในบ่อเดิมทิ้ง ทั้งนี้ การสูบน้ำที่มีอยู่ในบ่อทั้งนั้นเนื่องจากผู้เก็บตัวอย่างไม่อาจมั่นใจได้น้ำที่เก็บตัวอย่างนั้น เป็นน้ำใหม่ที่เพิ่งไหลเข้ามาในบ่อน้ำใต้ดินหรือไม่จึงจำเป็นต้องสูบน้ำทิ้งเพื่อให้ น้ำใหม่ไหลเข้ามาในบ่อน้ำก่อนการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ หลักการสามารถอ้างอิงได้โดยจากเอกสารทางวิชาการ ตัวอย่างเช่น เว็บไซต์รวบรวมข้อมูลการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา US.EPA. Contaminated Site Clean-Up Information ([https://clu-in.org/characterization/technologies/default.focus/sec/Passive\\_\(no\\_purge\)\\_Samplers/cat/Diffusion\\_Samplers/](https://clu-in.org/characterization/technologies/default.focus/sec/Passive_(no_purge)_Samplers/cat/Diffusion_Samplers/))

#### 1.4 รายละเอียดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag

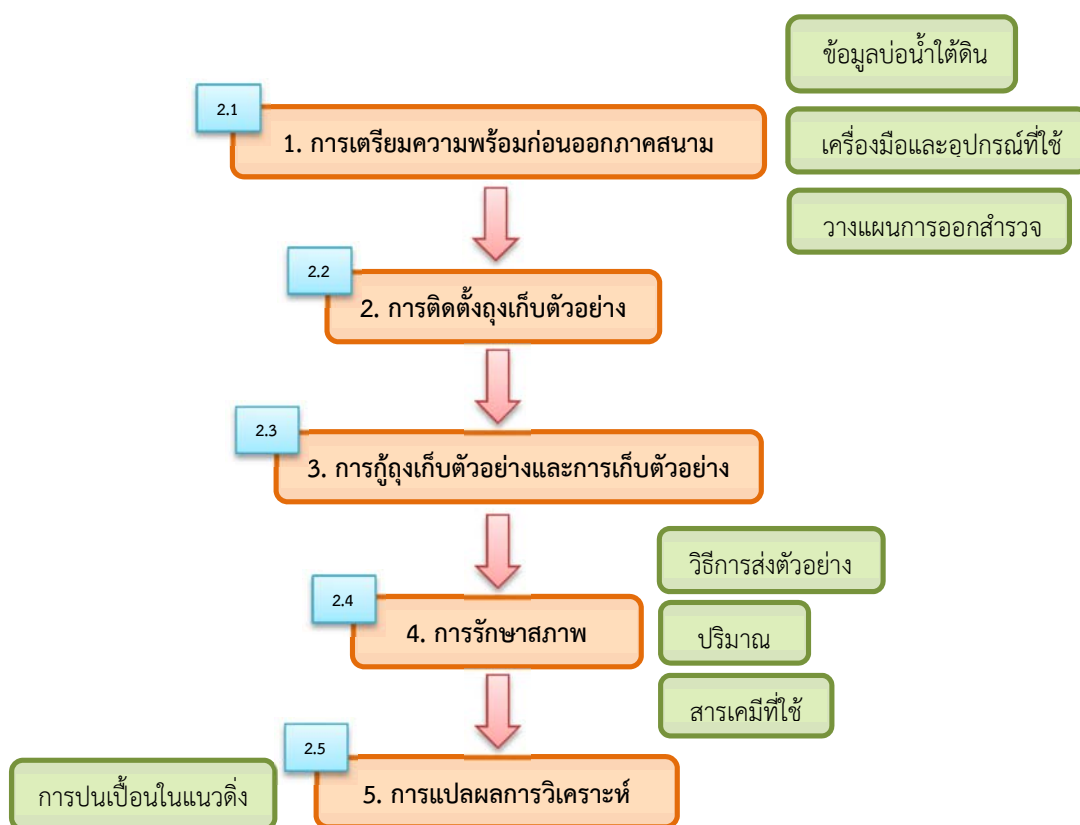
อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag 1 ชุด ประกอบด้วยถุงสำหรับบรรจุน้ำบริสุทธิ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำจากวัสดุ LDPE ตัวอย่างตามรูปที่ 1.2 โดยขนาดมาตรฐานมีความหนาประมาณ 0.016 เซนติเมตร ภายนอกหุ้มด้วยตาข่ายป้องกันการฉีกขาดของถุงเก็บตัวอย่าง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อบรรจุน้ำเต็มประมาณ 4.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 45 เซนติเมตร และสามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 350 มิลลิลิตร ทั้งนี้ Passive Diffusion Bag ที่ผลิตโดยแต่ละบริษัทจะมีขนาดและรูปแบบที่แตกต่างกัน จึงควรศึกษาข้อมูลจากผู้ผลิตทุกครั้งที่จัดหา ทั้งนี้ควรเลือกชนิดเยื่อเลือกผ่านและขนาดของ Passive Diffusion Bag ให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ ขนาดของบ่อน้ำใต้ดินที่นำไปใช้ และปริมาณน้ำที่ต้องการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1.2 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag

## บทที่ 2 การเก็บตัวอย่างและการแปลผล

การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้ได้ตัวแทนที่แท้จริงของคุณภาพน้ำใต้ดิน เนื่องจากหากตัวอย่างไม่เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำใต้ดินที่แท้จริงหรือการเก็บและนำส่งตัวอย่างไม่ถูกต้องตามวิธีการ ก็อาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงตามไปด้วย นอกจากนี้ ควรมีการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ให้ครบถ้วน เช่น ชื่อหรือหมายเลขบ่อ ความลึก ระดับน้ำ และตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ เป็นต้น โดยขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินโดยใช้ Passive Diffusion Bag นั้น จะเริ่มจากการเตรียมความพร้อมก่อนการดำเนินการ การติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง การกักเก็บตัวอย่าง การรักษาสภาพและการแปลผลการวิเคราะห์ โดยมีกระบวนการทำงานเป็นลำดับ แสดงได้ดังแผนผังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินโดยใช้ Passive Diffusion Bag (กล่องสีฟ้าคือหัวข้อในบทนี้)

## 2.1 การเตรียมความพร้อมก่อนออกภาคสนาม

### 2.1.1 การวางแผนการออกสำรวจ

ผู้เก็บตัวอย่างควรมีการวางแผนการดำเนินงานก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง โดยควรมีการศึกษาประวัติการใช้พื้นที่ในบริเวณใกล้เคียงกับที่เก็บตัวอย่างว่าสารมลพิษที่อาจปนเปื้อนในพื้นที่เป็นสารกลุ่มใด และมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนในบริเวณใด เพื่อให้สามารถเลือกตำแหน่งของบ่อเก็บตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งท้ายน้ำของตำแหน่งที่ต้องการเฝ้าระวัง รวมทั้งควรตรวจสอบว่าสามารถใช้ Passive Diffusion Bag เก็บตัวอย่างสารมลพิษชนิดที่สนใจได้หรือไม่ เพื่อให้สามารถเลือกระดับความลึกของการเก็บตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม โดยหากเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความถ่วงจำเพาะสูง (DNAPL) ก็ควรเก็บตัวอย่างในระดับลึกใต้น้ำ และหากเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ (LNAPL) ก็ควรเก็บตัวอย่างในระดับใกล้ผิวน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ผู้ศึกษาสามารถตรวจสอบลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดที่สามารถเก็บตัวอย่างได้โดยใช้ Passive Diffusion Bag ในภาคผนวก ข.

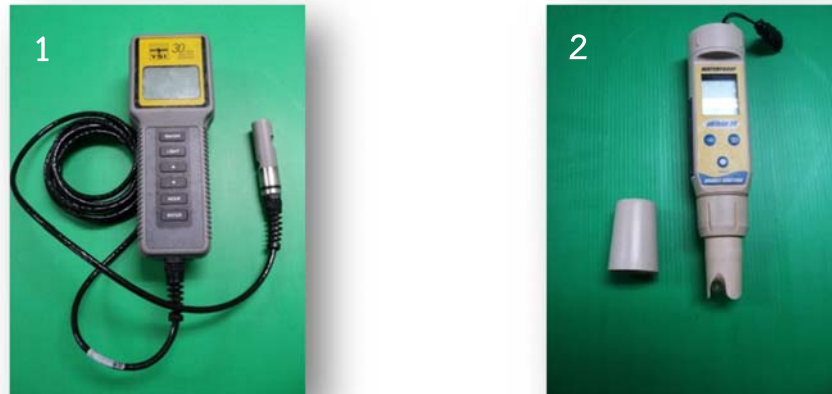
### 2.1.2 อุปกรณ์การสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำ

1) อุปกรณ์การสำรวจ ซึ่งประกอบด้วย [1] เครื่องมือวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ใช้วัดค่าพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างหรือจุดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ [2] กล้องถ่ายรูป ใช้สำหรับถ่ายภาพประกอบในการบันทึกข้อมูลภาคสนาม [3] เครื่องวัดระดับน้ำใต้ดิน [4] ตลับเมตรหรือสายวัด ตัวอย่างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การสำรวจ

2) เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม ซึ่งประกอบด้วย [1] เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า, ความเค็ม และอุณหภูมิ (S - C - T Meter) และ [2] เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH - Meter) ตัวอย่างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม

3) ชุดอุปกรณ์ Passive Diffusion Bag ซึ่งประกอบด้วย [1] น้ำปราศจากไอออน, [2] สายรัดทำจากโพลีเอทิลีน, [3] ถุงเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินหรือ PDB, [4] เชือกทำจากโพลีโพรพิลีนสำหรับแขวน Passive Diffusion Bag [5] หลอดสำหรับเจาะถุงเก็บตัวอย่างทำจาก Teflon และ [6] ต้มถ่วงน้ำหนักทำจากสแตนเลสสตีล ตัวอย่างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ชุดอุปกรณ์ Passive Diffusion Bag

4) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ [1] ฉลากรายละเอียดการเก็บตัวอย่าง, [2] ขวดเก็บตัวอย่าง Volatile Organic Analysis Vial (VOA) สีชาพร้อมฝาปิด ขนาด 40 มิลลิลิตร, และ [3] กรดไฮโดรคลอริก (HCl) สำหรับรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชุดอุปกรณ์ Passive Diffusion Bag

5) อุปกรณ์สำหรับติดฉลากขวดเก็บตัวอย่างน้ำหรืออุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่นๆ เช่น [1] ถุงมือยาง [2] ปากกาสำหรับเขียนฉลาก และ [3] กรรไกร ตัวอย่างดังรูปที่ 2.6

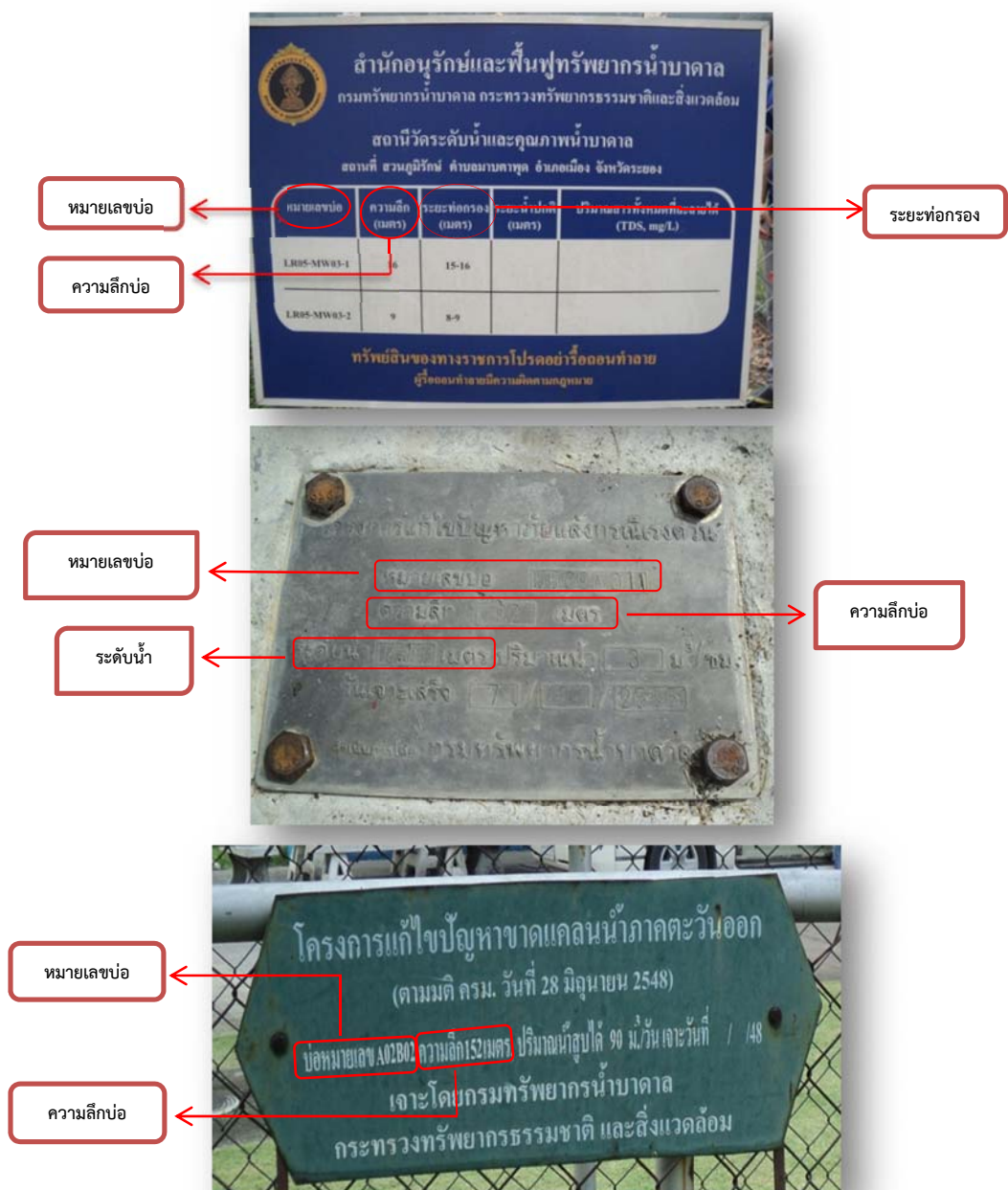


รูปที่ 2.6 อุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่นๆ

6) แบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม สำหรับบันทึกข้อมูลเบื้องต้น เช่น วันที่ - เวลา ที่ตั้ง พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง ลักษณะของบ่อ การใช้ประโยชน์ และผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของตัวอย่าง เช่น ค่าความเป็นกรด - ด่าง อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า ORP ความเค็ม เป็นต้น

### 2.1.3 ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินที่สำคัญ

ข้อมูลทางกายภาพของบ่อน้ำใต้ดิน ได้แก่ หมายเลขบ่อ ความลึกของบ่อ ระดับน้ำ ชนิดของบ่อ ระยะท่อกรอง การใช้งาน วัสดุประกอบบ่อ และพิกัดทางภูมิศาสตร์ เป็นสิ่งจำเป็นในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินอย่างถูกต้องในชั้นน้ำใต้ดินที่สนใจ โดยซึ่งผู้เก็บตัวอย่างควรสอบถามข้อมูลทางกายภาพของบ่อน้ำใต้ดินจากเจ้าของพื้นที่หรือศึกษาจากป้ายแสดงรายละเอียดของบ่อ (nameplate) ตัวอย่างดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การอ่านข้อมูลของบ่อน้ำจากป้ายแสดงรายละเอียดของบ่อ (nameplate)

## 2.2 การติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง

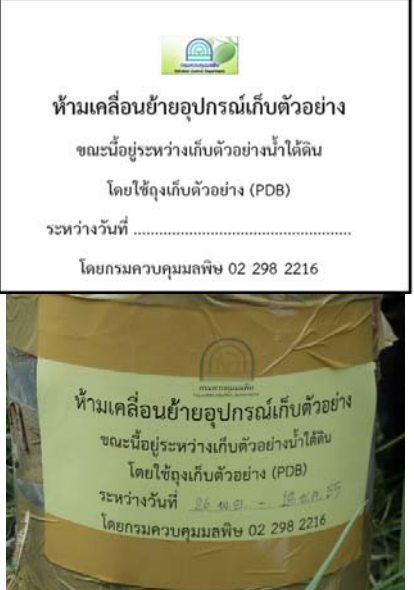
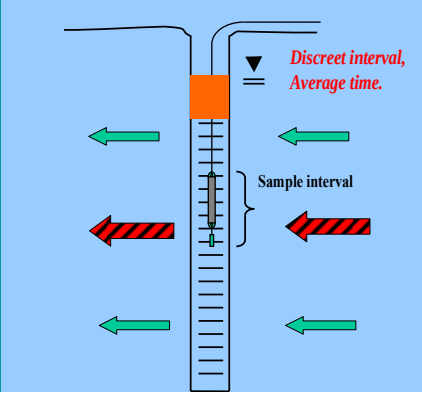
การติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง มีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การวัดระดับน้ำที่อยู่ในบ่อ วัดความยาวของเชือกให้ได้ความยาวในระดับที่ต้องการ เติมน้ำบริสุทธิ์ลงในถุงเก็บตัวอย่าง ติดตั้งเชือกเข้ากับถุงเก็บตัวอย่าง ติดตั้งตุ้มถ่วงน้ำหนักเข้ากับถุงเก็บตัวอย่างและเชือก และหย่อนถุงเก็บตัวอย่าง Passive Diffusion Bag ลงไปในบ่อน้ำใต้ดินในระยะที่กำหนด โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง

| ขั้นตอน               | รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ภาพประกอบ                                                                             |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การวัดระดับน้ำ     | <ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้เครื่องวัดระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งจะมีหัววัดระดับน้ำที่เป็นวงจรมัดติดตั้งอยู่ที่ปลายสายวัด เมื่อหย่อนหัววัดระดับน้ำลงไปสัมผัสกับผิวน้ำจะทำให้ครบวงจรและมีแสงสว่างและเสียงเตือนดังขึ้นที่ตัวเครื่อง โดยค่าที่อ่านได้จากสายวัดจะเป็นค่าความลึกของระดับน้ำ</li> </ul>                           |   |
| 2. การวัดความยาวเชือก | <ul style="list-style-type: none"> <li>นำเชือกทำจากโพลีโพรพิลีนมาวัดให้ได้ระดับความยาวที่ต้องการ (ในกรณีการเก็บตัวอย่างทั่วไปคือความลึกที่ระยะท่อกรองในกรณีของสารปนเปื้อนความถ่วงจำเพาะต่ำคือระดับผิวน้ำ ส่วนกรณีสารปนเปื้อนความถ่วงจำเพาะสูงคือระดับก้นบ่อ) โดยเผื่อความยาวเชือกอีกประมาณ 1 เมตรสำหรับผูกเชือกครอบบ่อ</li> </ul> |  |
| 3. การเติมน้ำ         | <ul style="list-style-type: none"> <li>เติมน้ำปราศจากอ็อกซิเจนลงในถุงเก็บตัวอย่าง จากนั้นปิดฝาให้สนิท</li> <li>ขณะเติมน้ำให้บีบถุงเก็บตัวอย่างตลอดความยาวถุงเพื่อคลายถุงเนื่องจากถุงอาจมีรอยยับเนื่องจากการวางถุงเก็บตัวอย่างซ้อนทับกัน</li> </ul>                                                                                |  |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4. การคล้องเชือก | <ul style="list-style-type: none"> <li>• คล้องสายรัดระหว่างเชือกกับห่วงที่อยู่บริเวณคอถุงเก็บตัวอย่าง</li> <li>• ผูกเชือกเข้ากับตุ้มถ่วงน้ำหนัก</li> <li>• คล้องสายรัดระหว่างตุ้มถ่วงน้ำหนักและถุงเก็บตัวอย่างบริเวณปลายถุง</li> <li>• การผูกเชือกควรผูกเป็นเงื่อนตาย ให้แน่น เพื่อป้องกันการคลายตัวของเชือก ซึ่งอาจส่งผลให้ถุงเก็บตัวอย่างร่วงหล่นได้</li> </ul> |     |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                       |
| 5. ภาพเมื่อประกอบ PDB แล้วเสร็จ | <ul style="list-style-type: none"> <li>● เมื่อเตรียมถุงเก็บตัวอย่างที่พร้อมติดตั้งเสร็จสิ้นจะมีลักษณะดังภาพ</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                   |
| 6. การหย่อนถุง                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● หย่อนถุงเก็บตัวอย่างลงในบ่อที่ระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่าง</li> <li>● ผูกโยงเชือกเข้ากับขอบบ่อให้ได้ระยะที่วัดไว้</li> <li>● ควรผูกเชือกกรอบบ่อให้แน่นโดยอาจใช้เทปกาวปิดทับเชือกอีกชั้น เพื่อป้องกันการคลายตัวของเชือกซึ่งอาจส่งผลให้ถุงเก็บตัวอย่างตกลงไปก้นบ่อได้</li> </ul> |   <div data-bbox="1090 1776 1249 1865" data-label="Text"> <p>ใช้เทปกาวปิดทับ<br/>เชือกที่ผูกกรอบบ่อ</p> </div> |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>7. การติดแผ่นป้าย</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ติดแผ่นป้ายรายละเอียดการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง หน่วยงานที่รับผิดชอบ เบอร์โทรศัพท์ ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ฯลฯ เพื่อป้องกันการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์จากผู้อื่น</li> <li>● แผ่นป้ายแสดงรายละเอียดควรใส่ซองพลาสติกใสก่อนทำการติดแผ่นป้าย เพื่อป้องกันการเปียกน้ำซึ่งอาจทำให้ข้อความเลือนลาง</li> </ul>                                                                                                                                                                       |   |
| <p>8. กระบวนการแพร่</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ทิ้งถุงเก็บตัวอย่างไว้ในบ่อน้ำใต้ดินประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดกระบวนการแพร่จนเข้าสู่ภาวะสมดุล</li> <li>● ไม่ควรทิ้งถุงเก็บตัวอย่างไว้ในบ่อนานเกิน 1 เดือน เพราะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินอาจทำให้ถุงเก็บตัวอย่างอยู่ในระดับสูงกว่าระดับผิวน้ำและจนกระทั่งทำให้ผลการตรวจวัดคลาดเคลื่อนได้</li> <li>● ผู้เก็บตัวอย่างควรศึกษาและเก็บข้อมูลระดับน้ำใต้ดินย้อนหลังของแต่ละบ่อในแต่ละฤดูกาล เพื่อประเมินระดับน้ำต่ำสุดของบ่อนั้นๆ ก่อนการติดตั้งถุงเก็บตัวอย่าง</li> </ul> |  |

### 2.3 การกู้ถังเก็บตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

หลังจากที่ติดตั้งถังเก็บตัวอย่างในบ่อน้ำใต้ดินและทิ้งไว้จนกระบวนการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ผู้เก็บตัวอย่างสามารถเข้าไปในพื้นที่เพื่อกู้ถังเก็บตัวอย่างออกจากตำแหน่งติดตั้งและดำเนินการเก็บตัวอย่างได้ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกู้ถังเก็บตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

| ขั้นตอน                  | รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                      | ภาพประกอบ                                                                                                                                                                  |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การกู้ถังเก็บตัวอย่าง | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ดึงเชือกขึ้นจนกระทั่งถังเก็บตัวอย่างพ้นจากปากบ่อ</li> <li>• ควรดึงเชือกขึ้นในลักษณะให้ถังเก็บตัวอย่างอยู่กึ่งกลางบ่อเพื่อป้องกันถังเก็บตัวอย่างได้รับความเสียหายจากความคมของขอบบ่อบางประเภท</li> </ul> |   |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2. การเก็บตัวอย่าง</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● เก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้หลอดสำหรับเจาะถุงเก็บตัวอย่างเจาะบริเวณก้นถุง โดยให้ตำแหน่งจุดที่เติมน้ำอยู่ด้านบน</li> <li>● น้ำจะไหลผ่านหลอดเจาะเข้าสู่ขวด Volatile Organic Analysis Vial (VOA) ทันที เพื่อป้องกันการสูญเสียหรือปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งอื่น โดยเก็บน้ำตัวอย่างให้เต็มพอดิขวด VOA ให้ผิวของน้ำหนุนขึ้นจากปากขวดเล็กน้อยซึ่งจะทำให้ขณะปิดฝาจะไม่มีความกดอากาศหลงเหลืออยู่ภายในขวด VOA และทำให้ผลวิเคราะห์คลาดเคลื่อน</li> </ul> |  <p>ลักษณะของผิวน้ำที่หนุนขึ้นจากปากขวด</p> |
| <p>3. หลังการเก็บตัวอย่าง</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ควรเก็บวัสดุเหลือใช้จากการเก็บตัวอย่าง เช่น ถุงเก็บตัวอย่าง เข็อก และหลอดเจาะถุง แยกไว้เป็นชุดตามจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง</li> <li>● เมื่อทราบผลการตรวจวิเคราะห์แล้ว หากไม่พบว่าการปนเปื้อนที่จุดเก็บตัวอย่างก็สามารถกำจัดวัสดุเหลือใช้เป็นขยะปกติได้ แต่หากพบการปนเปื้อนก็ควรแยกอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ปนเปื้อนให้เป็นเสมือนของเสียปนเปื้อนน้ำมัน โดยควรไปกำจัดด้วยการเผาหรือส่งกำจัดโดยบริษัทรับกำจัดของเสียที่มีใบอนุญาตประกอบกิจการ</li> </ul>        |                                                                                                                                 |

## 2.4 การรักษาสภาพตัวอย่าง

เป็นการดำเนินการเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสียของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่างก่อนการดำเนินการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังตารางที่ 2.3

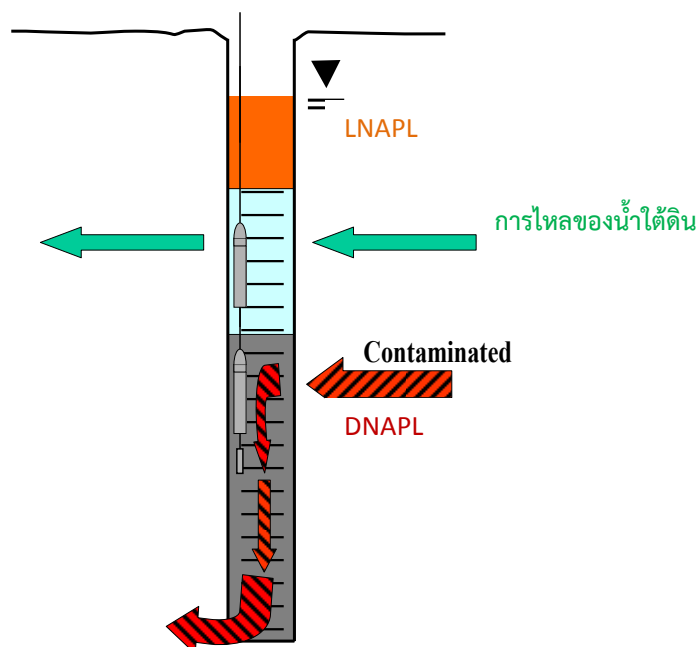
ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการรักษาสภาพตัวอย่าง

| ขั้นตอน      | รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ภาพประกอบ                                                                            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การหยดกรด | <ul style="list-style-type: none"><li>● รักษาสภาพตัวอย่างด้วยการหยดกรดไฮโดรคลอริก (6N HCL/40 ml) เพื่อปรับสภาพของสารตัวอย่างให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2 ซึ่งใช้กรดประมาณ 4 หยด (อ้างอิง Standard Method for the examination of water and wastewater, 6010) ในกรณีที่ไม่มีคลอรีนอิสระในตัวอย่าง</li><li>● เติมกรดแอสคอร์บิก (25 mg/40 ml) ในกรณีที่อาจมีคลอรีนอิสระในตัวอย่าง</li><li>● การหยดกรดควรระมัดระวังไม่ให้กรดกระเด็นออก เนื่องจากอาจมีปริมาณกรดไม่เพียงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างมีค่าความเป็นกรดตามที่ต้องการ</li><li>● ขณะหยดกรดควรเพิ่มความระมัดระวังโดยการใส่ถุงมือและไม่หยดกรดให้เลอะออกภายนอกขวด</li></ul> |  |

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                       |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2. ตรวจสอบการเกิดฟองอากาศ</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ปิดฝาที่มีแผ่นรองฝาด้านในด้วย Teflon ให้แน่น</li> <li>● คว่ำขวดลงเพื่อตรวจสอบว่าไม่มีการเกิดฟองอากาศในขวดโดยหากเกิดฟองอากาศให้ทำการเก็บตัวอย่างใหม่</li> </ul>                                                                                                                                                            |   |
| <p>3. การรักษาตัวอย่าง</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● เก็บรักษาตัวอย่างไว้ในกล่องน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และรีบส่งตัวอย่างกลับห้องปฏิบัติการภายในเวลา 24 ชั่วโมง</li> <li>● ผู้เก็บตัวอย่างควรอ้างอิงการประกันคุณภาพ และการควบคุมคุณภาพ ในบทที่ 7 ของหลักเกณฑ์การปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ที่จัดทำโดยสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ</li> </ul> |  |

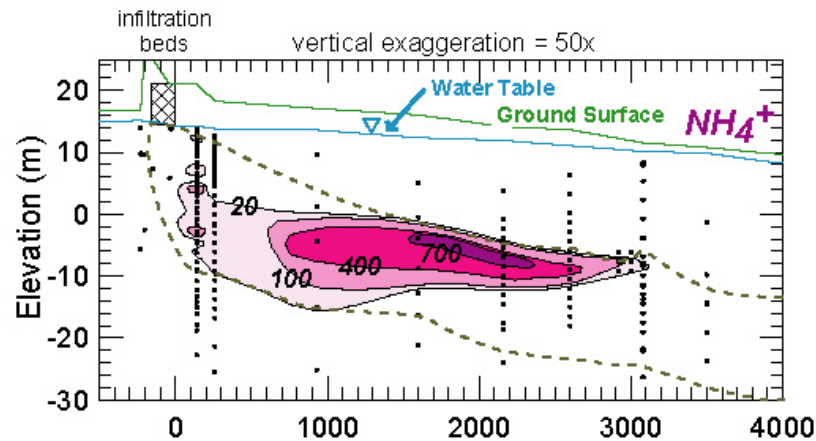
## 2.5 การแปลผลการวิเคราะห์

การใช้ Passive Diffusion Bag ในการติดตามการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบ่อน้ำใต้ดินสามารถติดตามการปนเปื้อนได้ในแนวตั้งตามความลึกของบ่อน้ำใต้ดินและตามชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะของเหลวจำพวกไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย (Non-aqueous phase) ซึ่งแบ่งตามความหนาแน่นได้ 2 ประเภท คือ 1. LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid) ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้ลอยอยู่บนผิวน้ำและสามารถระเหยเป็นไอได้ง่าย และแพร่กระจายไปสู่ชั้นดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) และ 2. DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ทำให้จมลงใต้ผิวน้ำและมักจะกองอยู่บนชั้นหินหรือชั้นดินไต่ น้ำ ดังนั้นการใช้ Passive Diffusion Bag ในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจะทำให้เราสามารถศึกษาการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแนวตั้งของบ่อน้ำใต้ดิน และสามารถเลือกศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละประเภทที่ปนเปื้อนในพื้นที่ได้ โดยรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างของการติดตั้ง Passive Diffusion Bag จำนวน 2 ถุงที่ตำแหน่งระดับบนและล่างของท่อกรอง ทั้งนี้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในกลุ่ม LNAPL และ DNAPL ในน้ำใต้ดินมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ Passive Diffusion Bag ที่ติดตั้งอยู่ที่ระดับล่างของท่อกรองมีโอกาสที่จะตรวจพบการไหลของสารในกลุ่ม DNAPL ได้มากกว่า และ Passive Diffusion Bag ที่ติดตั้งอยู่ที่ระดับบนของท่อกรองมีโอกาสที่จะตรวจพบการไหลของสารในกลุ่ม LNAPL ได้มากกว่า



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการติดตั้ง Passive Diffusion Bag 2 ถุงในบ่อน้ำใต้ดินเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนแบบ LNAPL และ DNAPL ในบ่อน้ำใต้ดิน (ภาพจาก [www.eonpro.com](http://www.eonpro.com))

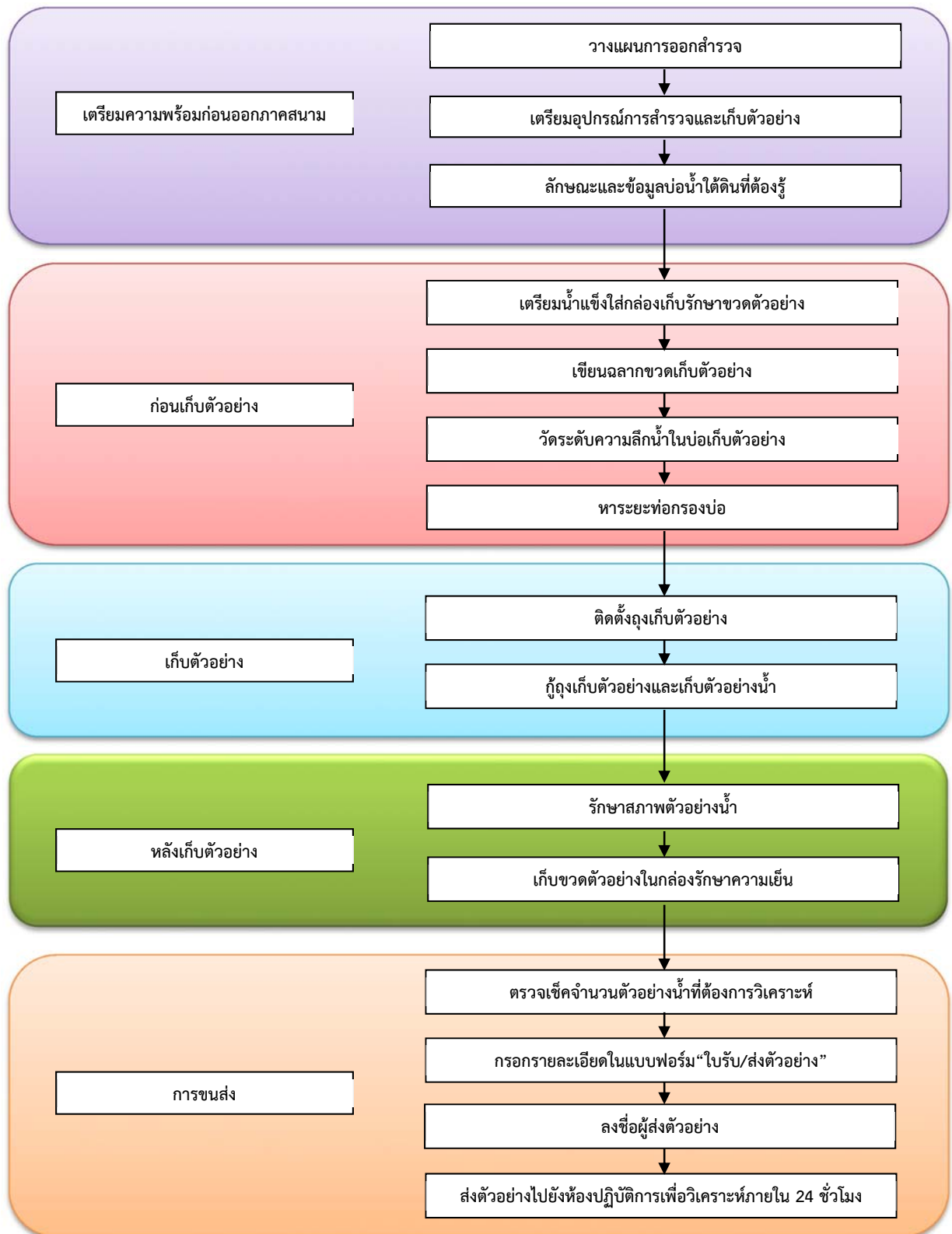
การวิเคราะห์ที่หลายตำแหน่งยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาความลึกของสารปนเปื้อนได้โดยเมื่อรวบรวมการปนเปื้อนในแนวตั้งของหลายๆ บ่อเข้าด้วยกันและเปรียบเทียบกับความสามารถในการละลายน้ำโดยใช้โปรแกรมสร้างภาพการปนเปื้อน เช่น surfer ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)) หรือ ArcGIS ([www.esri.com](http://www.esri.com)) เป็นต้น จะทำให้ได้ภาพตัดการปนเปื้อน ตัวอย่างดังรูปที่ 2.8 ที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนได้



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างภาพตัดการปนเปื้อนที่สร้างด้วย iso-concentration line หรือเส้นชั้นความเข้มข้นเท่า เพื่อวิเคราะห์สภาพการปนเปื้อนในแนวตั้ง

ทั้งนี้ ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทั้งหมด สรุปได้ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 สรุปขั้นตอนวิธีปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน



## บทที่ 3 ข้อจำกัดของการใช้

### Passive Diffusion Bag

ถึงแม้ว่าอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag จะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเก็บตัวอย่างแบบมาตรฐานในการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ผู้นำไปใช้ควรทราบก่อนนำไปใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเลือกใช้ Passive Diffusion Bag ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและตามความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวมีดังนี้

1. Passive (Polyethylene) Diffusion Bag (PDB) รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการติดตั้งและการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ เชือกโพลีเอทิลีน สายรัด และเข็มเจาะ เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างประเภทใช้แล้วทิ้ง เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนแบบข้ามไปมาระหว่างบ่อน้ำใต้ดินแต่ละบ่อ (cross contamination) จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการจัดหาอุปกรณ์ แต่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ลดลงเนื่องจากการเก็บตัวอย่างสามารถดำเนินการได้ด้วยความเร็วยิ่งขึ้น
2. การติดตั้ง Passive Diffusion Bag ที่ระดับผิวน้ำในบ่อน้ำใต้ดินและต้องทิ้งไว้ 2 สัปดาห์นั้น อาจมีความเสี่ยงที่ระดับน้ำใต้ดินจะลดลงต่ำกว่าระดับที่วัดได้ในช่วงวันที่ติดตั้ง ซึ่งจะทำให้ Passive Diffusion Bag ลอยพ้นเหนือระดับน้ำ และทำให้ไม่สามารถรับรองผลการตรวจวัดได้ ดังนั้น จึงควรเก็บข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังของแต่ละบ่อในทุกๆฤดูการ เพื่อประเมินระดับน้ำต่ำสุดก่อนการติดตั้ง Passive Diffusion Bag
3. เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดมีระยะเวลาการถึงจุดสมดุลความเข้มข้นใน Passive Diffusion Bag ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของสารปนเปื้อนและลักษณะการไหลของน้ำใต้ดิน เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดจะถึงจุดสมดุลความเข้มข้นภายในเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส แต่บางชนิด เช่น VCM 1,1,1-trichloroethane 1,2-dichloroethane 1,1 dichloroethane จะถึงจุดสมดุลภายในเวลา 93 - 166 ชั่วโมง ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นต้น ดังนั้น การติดตั้ง Passive Diffusion Bag ไว้ในบ่อน้ำใต้ดินโดยมีระยะเวลาการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลให้ผลการตรวจวัดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดมีความคลาดเคลื่อนได้

4. Passive Diffusion Bag เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ทำจากโพลีเอธิลีน จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้เก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิด เช่น methyl-tert-butyl ether acetone และ semi-volatile compound ซึ่งผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มดังกล่าวด้วย Passive Diffusion Bag ค่าความเข้มข้นจะต่ำกว่าความเข้มข้นของสารในน้ำที่อยู่ล้อมรอบ Passive Diffusion Bag ซึ่งปัจจัยมีผลต่อการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านเยื่อเลือกผ่านชนิดโพลีเอธิลีน ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล รูปร่างและความชอบน้ำของสารประกอบนั้นๆ โดยสารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับ 10 อังสตรอม จะไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านแบบโพลีเอธิลีนได้ เนื่องจากรูพรุนของเยื่อเลือกผ่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 อังสตรอม นอกจากนี้ยังมีข้อมูลผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการที่ไม่ได้รับการเผยแพร่ (D.A. Vroblecky, U.S. Geological Survey, written commun., 1998) แสดงให้เห็นว่ามีการตรวจพบสาร phthalate ในน้ำที่สัมผัสกับ Passive Diffusion Bag โดยมีความเข้มข้นของ phthalate ในน้ำที่อยู่ภายใน Passive Diffusion Bag สูงกว่าน้ำภายนอก นั่นเป็นเพราะโพลีเอธิลีนสามารถปล่อย phthalate ที่เป็นส่วนผสมอยู่ในตัวโพลีเอธิลีนเองปนเปื้อนสู่ น้ำที่สัมผัสกับ Passive Diffusion Bag ได้
5. การใช้ Passive Diffusion Bag ในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินนั้นใช้สมมุติฐานที่ว่ามีการไหลของน้ำใต้ดินผ่านจากชั้นสกรีนหรือช่องเปิดรับน้ำของบ่อน้ำใต้ดินในแนวนอน โดยสภาวะการไหลของน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่ Passive Diffusion Bag นั้น จะเป็นตัวแทนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินและดินในบริเวณใกล้เคียงบ่อ ซึ่งหากเกิดกรณีที่ชั้นสกรีนของบ่อน้ำใต้ดินมีความสามารถในการซึมผ่านน้อยกว่าชั้นน้ำใต้ดินโดยรอบ จะทำให้น้ำใต้ดินไหลอ้อมบ่อน้ำใต้ดินและจะไม่สามารถวัดระดับการปนเปื้อนที่ถูกต้องได้
6. ตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บโดย Passive Diffusion Bag เป็นตัวแทนของความเข้มข้นในน้ำใต้ดินจุดที่ใกล้เคียงกับชั้นสกรีนหรือช่องเปิดรับน้ำของบ่อ ซึ่งจะมีข้อจำกัดในกรณีที่จุดที่มีการปนเปื้อนอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าบริเวณท่อเปิดต่างๆ ของบ่อนั้น กรณีดังกล่าวนี้จึงต้องใช้เครื่องสูบน้ำในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในกรณีนี้แทน
7. การใช้ Passive Diffusion Bag มีข้อจำกัดในกรณีที่การไหลของน้ำในบ่อน้ำใต้ดินมีแรงดันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินระหว่างชั้นสกรีนหรือช่องเปิดรับน้ำ ที่ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตามอาจจะมีการใช้ Passive Diffusion Bag หลายใบร่วมกันตามแนวตั้ง หรือใช้การวัดการไหลของน้ำเพื่อให้มีข้อมูลการเคลื่อนที่ของการปนเปื้อนที่เข้ามาในบ่อและออกจากบ่อน้ำใต้ดินได้ ซึ่งจะสามารถทำให้ช่วยตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งความลึกของจุดที่ต้องการติดตั้งได้

8. การติดตั้ง Passive Diffusion Bag โดยไม่คำนึงถึงความลึกนั้น อาจทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนความเข้มข้นที่สูงที่สุดได้ เนื่องจากเป็นผลของการขึ้น – ลงของระดับน้ำใต้ดินตามฤดูกาล อย่างไรก็ตาม สามารถแก้ไขข้อจำกัดนี้ได้ด้วยการติดตั้ง Passive Diffusion Bag หลายชิ้นตามแนวดิ่งเพื่อให้สามารถบอกได้ว่าบริเวณที่มีการปนเปื้อนและความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ระดับใดของบ่อ
9. ไม่ควรติดตั้ง Passive Diffusion Bag นานเกินกว่า 1 เดือน เพราะผลกระทบจากการใช้งาน Passive Diffusion Bag เป็นระยะเวลานานอาจมีผลให้ความสมบูรณ์ของเยื่อเลือกผ่านของ Passive Diffusion Bag เปลี่ยนไป และส่งผลให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบและระดับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนลดลง
10. อุณหภูมิของน้ำใต้ดินที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน Passive Diffusion Bag คือที่ระดับมากกว่า 50 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 10 องศาเซลเซียส

## บทที่ 4 อ้างอิงกรณีศึกษา

เนื้อหาในบทนี้ ได้รวบรวมกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ Passive Diffusion Bag เพื่อผู้ที่สนใจสามารถใช้อ้างอิง และใช้ประโยชน์ได้ โดยมีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ ดังนี้

**กรณีศึกษาที่ 1** ส่วนการถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์ความเป็นเลิศด้านสิ่งแวดล้อม กองทัพอากาศสหรัฐ (US Air Force Center for Environmental Excellence, Technology Transfer Division) ได้ประเมินวิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Passive Diffusion Bag เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบเดิม ในกรณีของสารปนเปื้อนในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated VOCs) ในปี พ.ศ. 2542

โดยการศึกษาดังกล่าวได้ดำเนินการที่ฐานทัพอากาศที่พบน้ำใต้ดินปนเปื้อนจำนวน 6 แห่งทั่วสหรัฐอเมริกาซึ่งเกิดปนเปื้อนจากการกำจัดสารละลายโดยการเผาในหลุมกำจัดสารละลายในช่วงปี พ.ศ. 2480 - 2510 และได้ดำเนินการประเมินโดยละเอียดที่ฐานทัพอากาศแมคเคลแลน รัฐแคลิฟอร์เนีย (McClellan AFB, California) มีเป้าหมายของโครงการในการเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างวิธีมาตรฐานกับ diffusion sampler 2 ชนิด คือ DMLS™ Sampler ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาดและอุปกรณ์ Passive Diffusion Bag ที่พัฒนาโดยสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USGS) กับวิธีตามมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพคือวิธีที่ใช้เบลเลอร์ (Bailer) หรือเครื่องสูบบแบบจุ่ม (submersible pump) และวิธี micropurging ซึ่งเป็นวิธีที่ควบคุมการสูบที่การ drawdown ด้วยเครื่องสูบน้ำใต้ดินชนิดอัดอากาศ (Bladder Pump)

ผลการศึกษาก่อนหน้านี้สามารถสรุปได้ในหลายมิติ ประกอบด้วย

- [1] ในด้านผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบมาตรฐานเดิม: การเปรียบเทียบความแปรปรวนของผลการทดสอบเชิงสถิติด้วย ANOVA (analysis of variance) test พบว่า ผลการทดสอบระหว่างวิธีมาตรฐานกับ Passive Diffusion Bag มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความเชื่อมั่น (p) ที่ร้อยละ 95 โดยมีข้อควรระวังในการทดลองว่าหากทิ้งถุง Passive Diffusion Bag ไว้ในบ่อน้ำใต้ดินเป็นระยะเวลาที่ยาวนานเกินไปอาจได้รับผลกระทบต่อการขึ้น - ลงของระดับน้ำใต้ดินจนกระทั่งถุงเก็บตัวอย่างอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินและทำให้ผลตรวจวัด

คลาดเคลื่อนได้ อีกทั้งปริมาตรของตัวอย่างที่เก็บโดยใช้ Passive Diffusion Bag บางรุ่นมีเพียง 38 มล. ซึ่งไม่เพียงพอต่อการบรรจุขวดเก็บตัวอย่าง VOA ซึ่งมีขนาด 40 มล.

- [2] ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย: เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย ค่าแรง ค่าอุปกรณ์ และการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเก็บตัวอย่าง พบว่าวิธีเก็บตัวอย่างแบบ Passive Diffusion Bag มีค่าใช้จ่ายต่อตัวอย่างที่ 65 เหรียญสหรัฐ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บตัวอย่างแบบมาตรฐานที่อยู่ระหว่าง 308 – 444 เหรียญสหรัฐ

ทั้งนี้ กองทัพอากาศสหรัฐ ได้สรุปว่าการเทคนิคการเก็บตัวอย่างด้วย Passive Diffusion Bag เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างที่ให้ผลการเก็บตัวอย่างที่แม่นยำและประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการติดตามการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตามวิธีการเก็บตัวอย่างแบบนี้ก็ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ในทุกพารามิเตอร์ จึงยังควรดำเนินการคู่ขนานกับการเก็บตัวอย่างแบบเดิมหากต้องการตรวจสอบการปนเปื้อนในสารกลุ่มอื่นด้วย

**กรณีศึกษาที่ 2** สำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐ (USGS) ได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้เครื่องสุบกับวิธี diffusion sampling เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของ Perchlorate และสารประกอบที่ระเบิดได้ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ฐานทัพบกแคมป์เอดเวิร์ด รัฐแมสซาชูเซตส์ (Camp Edwards, Massachusetts)

เป็นการศึกษาแนวทางการใช้ Passive Diffusion Bag สำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของ Perchlorate และ Explosive Compound ที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในพื้นที่ของฐานทัพบกแคมป์เอดเวิร์ด รัฐแมสซาชูเซตส์ ซึ่งอดีตเคยใช้เป็นพื้นที่ทดลอง ซ่อมบำรุง และทำลายอาวุธสงคราม ในการติดตามตรวจสอบระยะยาว เพื่อบ่งชี้พื้นที่ในกระบวนการฟื้นฟูโดยพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อน ประกอบด้วย Perchlorate, RDX (hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine) และ HMX (octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine)

ผลการทดสอบในกรณีนี้ พบว่าในตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บโดย Passive Diffusion Bag และแบบมาตรฐานโดยใช้เครื่องสุบน้ำมีค่าของ Perchlorate, RDX และ HMX สอดคล้องกันไปทิศทางเดียวกันหลังจากที่ติดตั้ง Passive Diffusion Bag ไว้เป็นเวลา 42 - 52 วัน ในบ่อน้ำใต้ดินที่ทดสอบจำนวน 15 บ่อ โดยผลการศึกษาในกรณีนี้ได้บ่งชี้ว่ากรณีที่ผลการศึกษาที่ไม่สอดคล้องกันระหว่าง Passive Diffusion Bag กับวิธีการเก็บตัวอย่างมาตรฐานแบบใช้เครื่องสุบน้ำมักเกิดจากการที่ระดับการปนเปื้อนในบ่อน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หรือการเกิดการไหลเวียนในแนวตั้งของบ่อน้ำใต้ดินในระดับสูง โดยผู้ศึกษาได้แนะนำว่าควรมีการตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์โดยแปรผันระยะเวลาที่ติดตั้ง Passive Diffusion Bag จากการทดลองนี้เพื่อดูระยะเวลาที่เหมาะสม

## ภาคผนวก

ก. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน



อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 (6) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติออกประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ไว้ดังต่อไปนี้

### ข้อ 1 ในประกาศนี้

“น้ำใต้ดิน” หมายความว่า น้ำที่อยู่ใต้ดิน และให้หมายความรวมถึงน้ำบาดาลตามกฎหมายว่าด้วยน้ำบาดาล

“มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน” หมายความว่า ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เมื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้บริโภค

### ข้อ 2 คุณภาพน้ำใต้ดินต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

#### 2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

- (1) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (3) 1, 2 - ไดคลอโรอีเทน (1, 2 - Dichloroethane) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (4) 1, 1 - ไดคลอโรเอทิลีน (1, 1 - Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 7 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (5) ซิส - 1, 2 - ไดคลอโรเอทิลีน (cis - 1, 2 - Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 70 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (6) ทรานส์ - 1, 2 - ไดคลอโรเอทิลีน (trans - 1, 2 - Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (8) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ต้องไม่เกิน 700 ไมโครกรัมต่อลิตร

- (9) สไตรีน (Styrene) ต้องไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (11) โทลูอีน (Toluene) ต้องไม่เกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (13) 1, 1, 1 - ไตรคลอโรอีเทน (1, 1, 1 - Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (14) 1, 1, 2 - ไตรคลอโรอีเทน (1, 1, 2 - Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes) ต้องไม่เกิน 10,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

## 2.2 โลหะหนัก (Heavy Metals)

- (1) แคดเมียม (Cadmium) ต้องไม่เกิน 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (2) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) ทองแดง (Copper) ต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (4) ตะกั่ว (Lead) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (5) แมงกานีส (Manganese) ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (6) นิกเกิล (Nickel) ต้องไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (7) สังกะสี (Zinc) ต้องไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (8) สารหนู (Arsenic) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (9) ซีลีเนียม (Selenium) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (10)ปรอท (Mercury) ต้องไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2.3 สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)

- (1) คลอเดน (Chlordane) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (2) ดิลดริน (Dieldrin) ต้องไม่เกิน 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (3) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) ต้องไม่เกิน 0.4 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (4) เฮปตาคลอร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (5) ดีดีที (DDT) ต้องไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (6) 2, 4 - ดี (2, 4 - D ) ต้องไม่เกิน 30 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (7) อะทราซีน (Atrazine) ต้องไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (8) ลินเดน (Lindane) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ต้องไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อลิตร

## 2.4 สารพิษอื่นๆ

- (1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (2) ไซยาไนด์ (Cyanide) ต้องไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (3) พีซีบี (PCBs) ต้องไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตร

**ข้อ 3** การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2 ให้ใช้วิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association, American Water Works Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดหรือตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.1 (1) - (15) ให้ใช้วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(2) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (1) - (7) ให้ใช้วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(3) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (8) - (9) ให้ใช้วิธี Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(4) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (10) ให้ใช้วิธี Cold – Vapor Atomic Absorption Spectrometry/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(5) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (1) - (5) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(6) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (6) - (7) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(7) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (8) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(8) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (9) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(9) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (1) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography หรือ Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(10) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (2) ให้ใช้วิธี Pyridine Barbituric Acid หรือวิธี Colorimetry หรือ Ion Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(11) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (3) ให้ใช้วิธี Liquid – Liquid Extraction Gas Chromatography (Method II) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(12) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (4) ให้ใช้วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

**ข้อ 4** วิธีเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำใต้ดินให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศ ณ วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2543

ไตรรงค์ สุวรรณคีรี

รองนายกรัฐมนตรี ปฏิบัติหน้าที่

ประธานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

## ข. ข้อมูลทั่วไปของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่มีความดันไอมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอท สามารถระเหยเป็นไอได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจนหรือคลอรีน เป็นองค์ประกอบรวม สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีการใช้อย่างแพร่หลาย ในหลายประเภทอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี และอุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง เป็นต้น โดยกลุ่มสาร VOCs ที่ปนเปื้อนดินและในน้ำใต้ดินสามารถแบ่งออกตามลักษณะสมบัติได้ ดังนี้

### การแบ่งตามลักษณะของโมเลกุลของสาร

1) กลุ่ม Non - chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated Hydrocarbons ได้แก่กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีอะตอมของฮาโลคลอรีนในโมเลกุล สารกลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม เช่น การเผาไหม้ของขยะ พลาสติก วัสดุสารตัวทำละลาย หรือสีทาวัสดุ ซึ่งทำให้มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้ได้รับ คือ ทำให้ป่วยเป็นโรคทางเดินหายใจ ตัวอย่างกลุ่มสารนี้ เช่น ก) Aliphatic Hydrocarbons เช่น Fuel oils, Industrial Solvents, Propane, 1,3-Butadiene, Gasoline และ Hexane เป็นต้น ข) Alcohols, Aldehyde, Ketone เช่น Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol และ Formaldehyde เป็นต้น ค) Aromatic Hydrocarbons เช่น Toluene, Xylene, Benzene, Naphthalene, Styrene และ Phenol เป็นต้น

2) กลุ่ม Halogenated Hydrocarbons ซึ่งส่วนใหญ่คือ Chlorinated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีอะตอมของฮาโลคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่ใช้สังเคราะห์ในอุตสาหกรรม สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษมากกว่า และมีความเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารในกลุ่มสาร Non-chlorinated VOCs นั่นคือสลายตัวได้ยากในธรรมชาติ และในทางเคมีจะมีความคงตัวสูง สะสมได้นาน รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้

### การแบ่งตามความหนาแน่น

1) LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid) มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ( $< 1 \text{ g/cm}^3$ ) ทำให้ลอยอยู่บนผิวน้ำและสามารถระเหยเป็นไอ และแพร่กระจายไปสู่ชั้นดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone)

2) DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ( $> 1 \text{ g/cm}^3$ ) ทำให้จมลงใต้ผิวน้ำ และมักจะกองอยู่บนชั้นหินหรือชั้นดินไต้

ทั้งนี้ สามารถสรุปลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถตรวจวัดได้ด้วย Passive Diffusion Bag ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่ไม่มีสีและมีขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 10 อังสตรอม ได้ดังตารางด้านล่างนี้

| ที่ | ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย<br>ที่ตรวจวัดได้โดย PDB | ค่ามาตรฐาน<br>(µg/l) | ชนิดตามความ<br>หนาแน่น | ค่าความ<br>ถ่วงจำเพาะ | ความสามารถการ<br>ละลายน้ำ (g/100 mL) | Log K <sub>ow</sub> |
|-----|-----------------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1   | Benzene*                                            | ≤5                   | LNAPL                  | 0.877                 | 0.18                                 | 2.13                |
| 2   | Carbon Tetrachloride*                               | ≤5                   | DNAPL                  | 1.59                  | 0.08                                 | 2.62-2.83           |
| 3   | 1,2 – Dichloroethane*                               | ≤5                   | DNAPL                  | 1.253                 | 0.87                                 | 1.47                |
| 4   | 1,1 – Dichloroethylene*                             | ≤7                   | DNAPL                  | 1.213                 | 0.242                                | 2.13                |
| 5   | cis - 1,2 – Dichloroethylene*                       | ≤ 70                 | DNAPL                  | 1.263-1.292           | 0.4                                  | 1.86                |
| 6   | trans- 1,2 –Dichloroethylene*                       | ≤ 100                | DNAPL                  | 1.263-1.292           | 0.4                                  | 2.07                |
| 7   | Dichloromethane*                                    | ≤ 5                  | DNAPL                  | 1.326                 | 2                                    | 1.25                |
| 8   | Ethylbenzene*                                       | ≤ 700                | LNAPL                  | 0.867                 | 0.0169                               | 3.15                |
| 9   | Styrene*                                            | ≤ 100                | LNAPL                  | 0.91                  | 0.031                                | 2.95                |
| 10  | Tetrachloroethylene*                                | ≤ 5                  | DNAPL                  | 1.6230                | 0.0206                               | 3.4                 |
| 11  | Toluene*                                            | ≤ 1,000              | LNAPL                  | 0.87                  | 0.054 - 0.058                        | 2.75                |
| 12  | Trichloroethylene*                                  | ≤ 5                  | DNAPL                  | 1.476                 | 0.1                                  | 2.71                |
| 13  | 1,1,1-Trichloroethane*                              | ≤ 200                | DNAPL                  | 1.34                  | 0.13                                 | 2.48                |
| 14  | 1,1,2-Trichloroethane*                              | ≤ 5                  | DNAPL                  | 1.4423                | 0.4                                  | 2.05                |
| 15  | Total Xylenes*                                      | ≤ 10,000             | LNAPL                  | 0.87                  | 0.16-0.18                            | 3.12-3.20           |
| 16  | Bromobenzene                                        | -                    | DNAPL                  | 1.50                  | 0.041                                | 2.99                |
| 17  | Bromochloromethane                                  | -                    | DNAPL                  | 1.934                 | 0.9                                  | 1.41                |
| 18  | n-Butylbenzene                                      | -                    | LNAPL                  | 0.8601                | 0.00118                              | 4.38                |
| 19  | sec-Butylbenzene                                    | -                    | LNAPL                  | 0.8580                | 0.00176                              | 4.57                |
| 20  | tert-Butylbenzene                                   | -                    | LNAPL                  | 0.8669                | 0.00295                              | 4.11                |
| 21  | Carbon disulfide                                    | -                    | DNAPL                  | 1.266                 | 0.29                                 | 2.00                |
| 22  | Chlorobenzene                                       | -                    | DNAPL                  | 1.1058                | 0.0498                               | 2.84                |
| 23  | Chloroethane                                        | -                    | LNAPL                  | 0.9214                | 0.568                                | 1.43                |
| 24  | Chloromethane                                       | -                    | LNAPL                  | 0.911                 | 0.532                                | 0.91                |
| 25  | Dibromochloromethane                                | -                    | DNAPL                  | 2.38                  | 0.27                                 | 2.16                |
| 26  | 1,2-Dibromoethane                                   | -                    | DNAPL                  | 2.172                 | 0.391                                | 1.96                |
| 27  | Dibromomethane                                      | -                    | DNAPL                  | 2.4969                | 1.19                                 | 1.70                |
| 28  | 1,2-Dichlorobenzene                                 | -                    | DNAPL                  | 1.3059                | 0.0156                               | 3.43                |

| ที่ | ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย<br>ที่ตรวจวัดได้โดย PDB | ค่ามาตรฐาน<br>(µg/l) | ชนิดตามความ<br>หนาแน่น | ค่าความ<br>ถ่วงจำเพาะ | ความสามารถการ<br>ละลายน้ำ (g/100 mL) | Log K <sub>ow</sub> |
|-----|-----------------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 29  | 1,3-Dichlorobenzene                                 | -                    | DNAPL                  | 1.2884                | 0.0125                               | 3.53                |
| 30  | 1,4-Dichlorobenzene                                 | -                    | DNAPL                  | 1.2475                | 0.0079                               | 3.44                |
| 31  | Dichlorodifluoromethane                             | -                    | DNAPL                  | 1.486                 | 0.028                                | 2.16                |
| 32  | 1,1-Dichloroethane                                  | -                    | DNAPL                  | 1.175                 | 0.504                                | 1.79                |
| 33  | 1,3-Dichloropropane                                 | -                    | DNAPL                  | 1.1876                | 0.275                                | 2.00                |
| 34  | Hexachlorobutadiene                                 | -                    | DNAPL                  | 1.556                 | 0.00032                              | 4.78                |
| 35  | p-Isopropyltoluene                                  | -                    | LNAPL                  | 0.8573                | 0.00234                              | 4.10                |
| 36  | (1-Methylethyl) benzene                             | -                    | LNAPL                  | 0.862                 | 0.00613                              | 3.66                |
| 37  | 1,2,3-Trichlorobenzene                              | -                    | DNAPL                  | 1.4533                | 0.0018                               | 4.05                |
| 38  | 1,2,4-Trichlorobenzene                              | -                    | DNAPL                  | 1.459                 | 0.0049                               | 4.02                |
| 39  | Trichlorofluoromethane                              | -                    | DNAPL                  | 1.494                 | 0.13                                 | 2.53                |
| 40  | 1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoro-ethane              | -                    | DNAPL                  | 1.5635                | 0.017                                | 3.16                |
| 41  | Vinyl chloride*                                     | ≤ 2                  | DNAPL                  | 1.406                 | 0.88                                 | 1.62                |
| 42  | m-Xylene                                            | -                    | LNAPL                  | 0.8684                | 0.0161                               | 3.20                |
| 43  | p-Xylene                                            | -                    | LNAPL                  | 0.86104               | 0.0162                               | 3.15                |
| 44  | o-Xylene                                            | -                    | LNAPL                  | 0.8801                | 0.0178                               | 3.12                |

\* สารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่กำหนดตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินอ้างอิงข้อมูลจาก ITRC -Technical Overview of Passive Sampler Technologies Table 8-2. Field experience sampling VOCs with PDBs (Parsons 2004) และ PubChem Compound (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

ค. ตารางเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันของเทคโนโลยี Passive Sampler ชนิดต่างๆ

| เทคโนโลยี Passive Sampler                                 | สื่อที่สามารถเก็บตัวอย่างได้       | กลุ่มพารามิเตอร์ที่สามารถตรวจสอบได้ |                                    |              |              |                    |              |                 |                  |                   |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------|
|                                                           |                                    | VOCs                                | SVOCs                              | โลหะหนัก     | Anions       | พารามิเตอร์ภาคสนาม | วัตถุระเบิด  | Perchlorate     | Cr <sup>6+</sup> | Oxygenates (MtBE) |
| HydraSleeve™                                              | ของไหล น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน บ่อน้ำ  | ทุกชนิด                             | ทุกชนิด                            | ทุกชนิด      | ทุกชนิด      | ทุกชนิด            | ทุกชนิด      | ทุกชนิด         | ทุกชนิด          | ทุกชนิด           |
| SNAP Sampler™                                             | น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน                | ทุกชนิด                             | ทุกชนิด                            | ทุกชนิด      | ทุกชนิด      | ทุกชนิด            | ทุกชนิด      | ทุกชนิด         | ทุกชนิด          | ทุกชนิด           |
| Dialysis Membrane                                         | น้ำใต้ดิน                          | ทุกชนิด                             |                                    | เกือบทุกชนิด | ทุกชนิด      | บางชนิด            | เกือบทุกชนิด |                 |                  | ทุกชนิด           |
| Nylon-Screen                                              | น้ำใต้ดิน                          | เกือบทุกชนิด                        | เกือบทุกชนิด                       | เกือบทุกชนิด | เกือบทุกชนิด | เกือบทุกชนิด       | เกือบทุกชนิด | เกือบทุกชนิด    | เกือบทุกชนิด     | เกือบทุกชนิด      |
| Passive Vapor Diffusion (PVD)                             | น้ำใต้ดิน น้ำในดิน หรือตะกอนไอดิน  | เกือบทุกชนิด                        |                                    |              |              |                    |              |                 |                  |                   |
| Peeper Samplers (membrane dependent)                      | น้ำใต้ดิน น้ำในดิน หรือตะกอน       | เกือบทุกชนิด                        |                                    | บางชนิด      | เกือบทุกชนิด | บางชนิด            |              | เกือบทุกชนิด    |                  |                   |
| Passive Diffusion Bag (PDB) /Polyethylene Diffusion Bag   | น้ำใต้ดิน                          | เกือบทุกชนิด                        |                                    |              |              |                    |              |                 |                  |                   |
| Rigid Porous Polyethylene                                 | น้ำใต้ดิน                          | เกือบทุกชนิด                        | บางชนิด                            | เกือบทุกชนิด | เกือบทุกชนิด |                    |              | เกือบทุกชนิด    | เกือบทุกชนิด     |                   |
| Semi-permeable Membrane Device (SPMD)                     | น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ดิน ตะกอนอากาศ | บางชนิด                             | เกือบทุกชนิดที่เป็นพวก hydrophobic |              |              | หลายชนิด           |              | ไม่สามารถใช้ได้ |                  |                   |
| GORE™ Sampler                                             | น้ำ อากาศ ไอดิน ตะกอน              | ทุกชนิด                             | เกือบทุกชนิด                       |              |              |                    | เกือบทุกชนิด |                 |                  | ทุกชนิด           |
| Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS)        | น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ตะกอน          | บางชนิด                             | เกือบทุกชนิดที่เป็นพวก hydrophobic |              |              | มากมาย             | มากมาย       |                 |                  |                   |
| Passive In-Situ Concentration Extraction Sampler (PISCES) | น้ำผิวดิน                          | บางชนิด                             | เกือบทุกชนิด                       |              |              |                    |              |                 |                  |                   |

แปลจาก ITRC Technology Overview of Passive Sampler Technologies March 2006 by The Interstate Technology and Regulatory Council, Diffusion Sampler Team

- Hydrophobic คือคุณสมบัติไม่ชอบน้ำของสารที่ไม่ละลายในน้ำ โดยสารกลุ่มนี้ไม่สามารถแตกตัวให้อิออนได้หรือเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้
- Hydrophilic คือคุณสมบัติชอบน้ำของสารที่ละลายในน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของสารคือการที่สารนั้นสามารถจับตัวกับน้ำได้ดีกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำหรือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารนั้น

## รายการเอกสารอ้างอิง

- [1] **Comparison of Pumped and Diffusion Sampling Methods to Monitor Concentrations of Perchlorate and Explosive Compounds in Ground Water, Camp Edwards, Cape Cod, Massachusetts**, 2004 - 05 : Scientific Investigation Report 2008-5109 : USGS Toxic Substances Hydrology Program : Prepared in cooperation with the U.S. Army Environmental Command
- [2] **Diffusion Sampler Evaluation of Chlorinated VOCs in Groundwater** : By John Tunks and Peter Guest, Parsons Engineering Science, Inc., Denver, Colorado, USA and Javier Santillan, Air Force Center for Environmental Excellence, San Antonio, Texas, USA
- [3] **Final Technical Report for Demonstration and Validation of a Regenerated Cellulose Dialysis Membrane Diffusion Sampler for Monitoring Ground-Water Quality and Remediation Progress at DoD Sites (ER-0313)** by Thomas E. Imbriotta U.S. Geological Survey 810 Bear Tavern Road, Suite 206 West Trenton, NJ 08628 Joseph S. Trotsky Naval Facilities Engineering Service Center 1100 23rd Avenue Port Hueneme, CA 93043-4370 Matthew C. Place Battelle 505 King Avenue Columbus, OH 43201, Environmental Security Technology Certification Program August 30, 2007
- [4] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ (MSDS) กรมควบคุมมลพิษ
- [5] หลักเกณฑ์การปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน, สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ
- [6] EPA Guidelines Regulatory monitoring and testing Groundwater sampling JUNE 2007

## คู่มือวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแบบ Passive Diffusion Bag

### ที่ปรึกษา

|              |              |                                     |
|--------------|--------------|-------------------------------------|
| นายวิเชียร   | จูงรุ่งเรือง | อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ                |
| นางสาวอาระยา | นันท์โพธิเดช | รองอธิบดีกรมควบคุมมลพิษ             |
| นายรังสรรค์  | ปิ่นทอง      | ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพน้ำ     |
| นายสมชาย     | ทรงประกอบ    | ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการจัดการมลพิษ |

### ผู้จัดทำ

|               |               |                                    |
|---------------|---------------|------------------------------------|
| นายชยาวิร     | หวังเจริญรุ่ง | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ |
| นายอรุณกิจ    | สิทธิไชย      | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ      |
| นางสาวนฤมล    | บุญแสงเจริญ   | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ    |
| นายเกรียงไกร  | สีปานมัน      | นักวิชาการสิ่งแวดล้อม              |
| นางสาวสินีนาว | บุญวิริยะ     | นักวิชาการสิ่งแวดล้อม              |
| นางสาวสุชาดา  | สังวรพงษ์พนา  | นักวิชาการสิ่งแวดล้อม              |