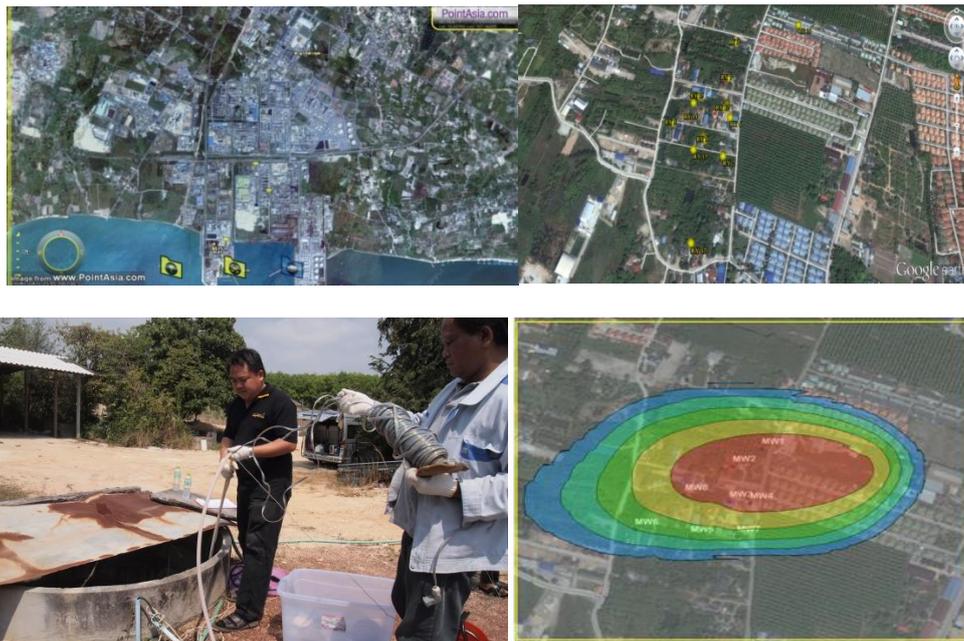




## รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นฟูน้ำใต้ดิน  
ที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ปี 2558

การบำบัดฟื้นฟูตามธรรมชาติเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ และใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศที่มีปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในชั้นน้ำใต้ดิน เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน และสหราชอาณาจักร เป็นต้น ทั้งนี้ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ซึ่งได้ตรวจพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำประชาชนที่มีการอุปโภคบริโภค หลายหน่วยงานได้เห็นความสำคัญในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย ศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูน้ำใต้ดินในพื้นที่ รายละเอียดปรากฏตามรายงานฉบับสมบูรณ์นี้

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม หวังว่ารายงานฉบับสมบูรณ์นี้จะเป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการ สำหรับผู้สนใจจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คณะวิจัย

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

## บทคัดย่อ

ในบริเวณพื้นที่ชุมชนวัดโชดหินซึ่งอยู่ในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ซึ่งมีรายงานว่าได้ตรวจพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบในบ่อน้ำใต้ดินระดับตื้นของชาวบ้าน (บ่อขุด) โดยสารที่ตรวจพบมีทั้งที่เป็นสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่มาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น สารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมและพบสาร ซิส-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-DCE) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการสลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวดังกล่าวจึงน่าจะเป็นพื้นที่ๆ มีศักยภาพทางธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟู

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ศึกษาหาสาเหตุการปนเปื้อนในพื้นที่นี้โดยการสำรวจสอบถามจากประชาชนในพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงประวัติการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ประกอบกับการศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ คุณสมบัติทางชีวภาพ และเคมีของพื้นที่ และจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารอันตราย ซึ่งจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่ทราบว่าบริเวณใกล้กับบ่อน้ำชาวบ้านที่ตรวจพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยห่างประมาณ 200-300 เมตร เคยเป็นหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการในช่วงปี 2546-2547 โดยพื้นที่ดังกล่าวถูกขุดหน้าดินเป็นบ่อขนาดใหญ่ขนาดพื้นที่ประมาณ 10 ไร่ลึกประมาณ 6-8 เมตรและรับทิ้งกากอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ต่อมาได้รับการต่อต้านจากประชาชนที่อาศัยใกล้เคียงเนื่องจากมีกลิ่นที่แรงมากและเกิดไฟไหม้หลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรมดังกล่าว เจ้าของพื้นที่จึงฝังกลบหลุมดังกล่าวและเลิกการใช้พื้นที่ แต่ทั้งนี้แม้มีการเลิกใช้พื้นที่สำหรับเป็นหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรม แต่กากอุตสาหกรรมที่ถูกฝังไว้ใต้ดินยังไม่ได้ถูกกำจัด จึงอาจทำให้พบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในบ่อชาวบ้าน ต่อมาทราบข้อมูลเพิ่มเติมจากชาวบ้านในพื้นที่และกรมควบคุมมลพิษว่าพื้นที่ที่ติดกับหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นสถานประกอบการรับซื้อของเก่าซึ่งอาจจะมีการเททิ้งสารเคมีลงดิน และอาจเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนอีกแห่งหนึ่งด้วย ผลการศึกษาแบบจำลองพบว่าแนวการเคลื่อนที่ของมวลสารที่ไหลผ่านบ่อที่พบการปนเปื้อนโดยสารปนเปื้อนมีความเร็วการเคลื่อนที่ประมาณ 30 เมตรต่อปี โดยหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรมและสถานประกอบการรับซื้อของเก่าที่อยู่ติดกันเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน และการคาดการณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดว่า ณ แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยชนิด Tetrachloroethylene และ Trichloroethylene ประมาณ 20 และ 110 ppm

ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่ชุมชนวัดโชดหิน พบว่าศักยภาพของธรรมชาติของชั้นหินอุ้มน้ำที่พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยผ่านกระบวนการดูดซับของดินและกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยด้วยจุลินทรีย์สามารถทำให้ขอบเขตการปนเปื้อนไม่เคลื่อนขยายตัวกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่เวลา 12 ปีนับจากวันแรกของการปนเปื้อน

## สารบัญ

สารบัญรูป  
สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การสำรวจ เก็บตัวอย่างภาคสนาม

บทที่ 4 วิธีการวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ประเมินศักยภาพการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยโดย  
ธรรมชาติ

บทที่ 5 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหย  
ในน้ำใต้ดิน

บทที่ 6 ปัจจัยทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ที่มีผลต่อการสลายตัวโดยธรรมชาติ

บทที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำใต้ดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

บทที่ 8 แบบจำลองเพื่อประเมินศักยภาพและระยะเวลาในการย่อยสลาย

เอกสารอ้างอิง

## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 1-1 บ่อสำรวจตรวจวัดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองและสภาพการปนเปื้อน  | 1-3  |
| 1-2 พื้นที่ศึกษาชุมชนโคตหินในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง  | 1-6  |
| 2-1 สถิติการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ (MNA) ในสหรัฐอเมริกาในช่วงปี ค.ศ. 2005 ถึง 2008 สูงถึง 63%ของการฟื้นฟูจำนวน 164 กรณี (EPA, 2010)  | 2-2  |
| 2-2 การปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินด้วยสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยแหล่งของการปนเปื้อน(Source Zone)ในรูปของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำและไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ง่าย(Dense Non-aqueous Phase Liquid(DNAPL)และสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบที่ถูกละลายมากับน้ำใต้ดินและเคลื่อนที่ไปถึงผู้ใช้น้ำใต้ดิน (Plume) (รูปถูกคัดลอกมาจาก (Stewart 2008)) | 2-4  |
| 2-3 สภาพทางธรณีวิทยาเป็นตัวกำหนดว่าออกซิเจน ไนเตรต ซัลเฟต หรือ เหล็ก(+3) จะเป็นสารหลักที่ทำหน้าที่รีดิวซ์คลอรีน ซึ่งสำคัญต่อการบำบัดตามธรรมชาติโดยกระบวนการทางชีวภาพ (สำหรับสารอินทรีย์ระเหย) และทางเคมีสำหรับโลหะหนัก (รูปคัดลอกมาจาก EPA, 2007   | 2-5  |
| 2-4 กระบวนการบำบัดตามธรรมชาติแบบชีวภาพสำหรับสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ(รูปดัดแปลงมาจาก NRC, 2000)   | 2-6  |
| 2-5 การใช้เทคโนโลยีต่างๆกันในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในส่วนที่มีการปนเปื้อนเล็กน้อยต่างกันไป โดยการบำบัดตามธรรมชาติถูกใช้พร้อมกับเทคโนโลยีอื่นๆ แต่ถูกใช้เฉพาะในบริเวณที่มีการปนเปื้อนมีความเข้มข้นมลสารต่ำและความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนนั่นต่ำ (รูปคัดลอกมาจาก Hughes, 2001)  | 2-7  |
| 2-6 ผลการศึกษารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด  | 2-11 |
| 2-7 ผลการศึกษาโครงการจัดทำแผนที่ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน   | 2-12 |
| 2-8 ตำแหน่งบ่อบำบัดในแนว ก และแนว ข วางตัวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน   | 2-14 |
| 2-9 ระบบ Bioremediation ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและประสิทธิภาพระบบ  | 2-15 |
| 2-10 ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในไอดินในเขตพื้นที่ศึกษา  | 2-16 |
| 2-11 ลักษณะโครงสร้างดินและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ความลึกต่างๆ  | 2-17 |
| 2-12 บ่อสกัดไอดิน เครื่อง SVE จุดตรวจวัดไอดิน และผลการทดสอบประสิทธิภาพ   | 2-18 |
| 2-13 กระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญในการบำบัดตามธรรมชาติ   | 2-20 |
| 3-1 ตำแหน่งจุดเจาะสำรวจดินและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์   | 3-2  |
| 3-2 การขุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ได้ใช้รถขุดเจาะดินแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®)   | 3-3  |
| 3-3 เก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณี  | 3-4  |
| 3-4 พัฒนาหลุมเจาะสำรวจดินให้เป็นบ่อสังเกตการณ์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว   | 3-5  |
| 3-5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน   | 3-7  |
| 3-6 ตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดินดำเนินการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหย   | 3-7  |
| 4-1 ตัวอย่างการทดสอบด้วยวิธี slug test ในบ่อบาดาล  | 4-6  |

|   |      |
|---|------|
| 4-2 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการทดสอบ                       | 4-6  |
| 4 3 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)                                       | 4-8  |
| 4 4 ขั้นตอนการทดสอบการสลายตัวของ PCE/TCE  | 4-11 |
| 4 5 ประมวลผลการทดสอบการย่อยสลายใน Microcosm Experiment                              | 4-12 |
| 5-1 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์   | 5-3  |
| 5-2 การแบ่งชั้นหินอุ้มน้ำออกเป็นส่วนๆ ของแบบจำลอง                                   | 5-4  |
| 5 3 แนวคิด (concept) ในการจำลองของโมดูล Aerobic/Anaerobic Dechlorination            | 5-6  |
| 6-1 ลักษณะการวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนในพื้นที่ศึกษา (solid model)                     | 6-1  |
| 6-2 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW1  | 6-2  |
| 6-3 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW2  | 6-3  |
| 6-4 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW3  | 6-4  |
| 6-5 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW4  | 6-5  |
| 6-6 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW5  | 6-6  |
| 6-7 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW6  | 6-7  |
| 6-8 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW7  | 6-8  |
| 6.9 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW1  | 6-10 |
| 6.10 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW2 | 6-11 |
| 6.11 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW3 | 6-12 |
| 6.12 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW4 | 6-13 |
| 6.13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW5 | 6-14 |
| 6.14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW6 | 6-15 |
| 6.15 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW7 | 6-16 |
| 6.16 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW8 | 6-17 |
| 6.17 แสดงค่าการเลี้ยวเบนของตัวอย่าง MW1-MW4   | 6-19 |
| 6.18 ผลการศึกษาหาค่า Kd ในการดูดซับสาร PCE และ TCE ของดินในพื้นที่                  | 6-21 |
| 6.19 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน                         | 6-24 |
| 6.20 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน                         | 6-26 |
| 6.21 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน   | 6-28 |
| 6.22 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน   | 6-30 |
| 6.23 โปรแกรม (source code) ภาษา FORTRAN-90 สำหรับแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์           | 6-32 |
| 6.24 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าคงที่การสลายตัว (กรณีไม่มีการฆ่าเชื้อ)           | 6-33 |
| 6.25 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าคงที่การสลายตัว (กรณีมีการฆ่าเชื้อ)              | 6-34 |
| 7.1 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY3)                          | 7-12 |
| 7.2 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY6)                          | 7-13 |
| 7.3 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY10)                         | 7-14 |
| 7.4 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY12)                         | 7-15 |
| 8.1 ขอบเขตการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์  | 8-2  |
| 8.2 การออกแบบกริด (grid design) สำหรับการจำลอง                                      | 8-3  |

|   |      |
|---|------|
| 8.3 ตัวอย่างการกระจายตัวของดิน-ตะกอน (materials) ใน Model Layer 6 และ 8                   | 8-3  |
| 8.4 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล   | 8-5  |
| 8.5 เส้นทางการไหล (top view) และขอบเขตพื้นที่ๆ ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิด (capture zone) | 8-6  |
| 8.6 เส้นทางการไหลในภาคตัดขวางและภาพสามมิติ  | 8-7  |
| 8.7 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ PCE: กรณีที่ไม่มีการสลายตัว                                | 8-10 |
| 8.8 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ TCE: กรณีที่ไม่มีการสลายตัว                                | 8-11 |
| 8.9 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ TCE และ PCE: กรณีมีการสลายตัว (เมื่อ stabilized แล้ว)      | 8-12 |
| 8.10 ผลการจำลองกรณีที่มีการสลายตัว (cis-DCE และไวนิลคลอไรด์)                              | 8-13 |
| 8.11 ผลการจำลองกรณีที่มีการสลายตัว (เอทธิลีนและคลอไรด์)                                   | 8-14 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2-1 กระบวนการที่มีผลต่อการลดลงของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน   | 2-21 |
| 4-1 ค่า $K_{oc}$ สำหรับสารอินทรีย์ระเหยชนิดต่างๆ   | 4-3  |
| 5 1 แพ้เคจต่างๆ ของโปรแกรม MODFLOW   | 5-5  |
| 5 2 แพ้เคจต่างๆ ของโปรแกรม RT3D  | 5-7  |
| 6-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมในบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา   | 6-9  |
| 6-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่แบบกึ่งปริมาณจากผลวิเคราะห์ค่า XRD  | 6-18 |
| 6-3 ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน  | 6-20 |
| 6-4 ค่า $K_d$ ในการดูดซับสาร PCE และ TCE ของดินในพื้นที่   | 6-21 |
| 6-5 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6   | 6-23 |
| 6-6 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6   | 6-25 |
| 6-7 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6                                 | 6-27 |
| 6-8 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6                                 | 6-29 |
| 6-9 ค่าคงที่การสลายตัวจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีเชิงตัวเลข  | 6-31 |
| 7-1 ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของการตรวจวัด pH, Temperature, Conductivity, Oxidation-Reduction Potential, Turbidity, Nitrate, Dissolved Oxygen | 7-1  |
| 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน   | 7-2  |
| 7-3 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์   | 7-9  |
| 7-4 สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้านในชุมชนโคตหิน  | 7-11 |
| 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน  | 7-16 |
| 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์  | 7-24 |
| 7-7 ปริมาณไอออนหลักในตัวอย่างน้ำใต้ดิน   | 7-40 |
| 7-8 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำใต้ดิน  | 7-42 |

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

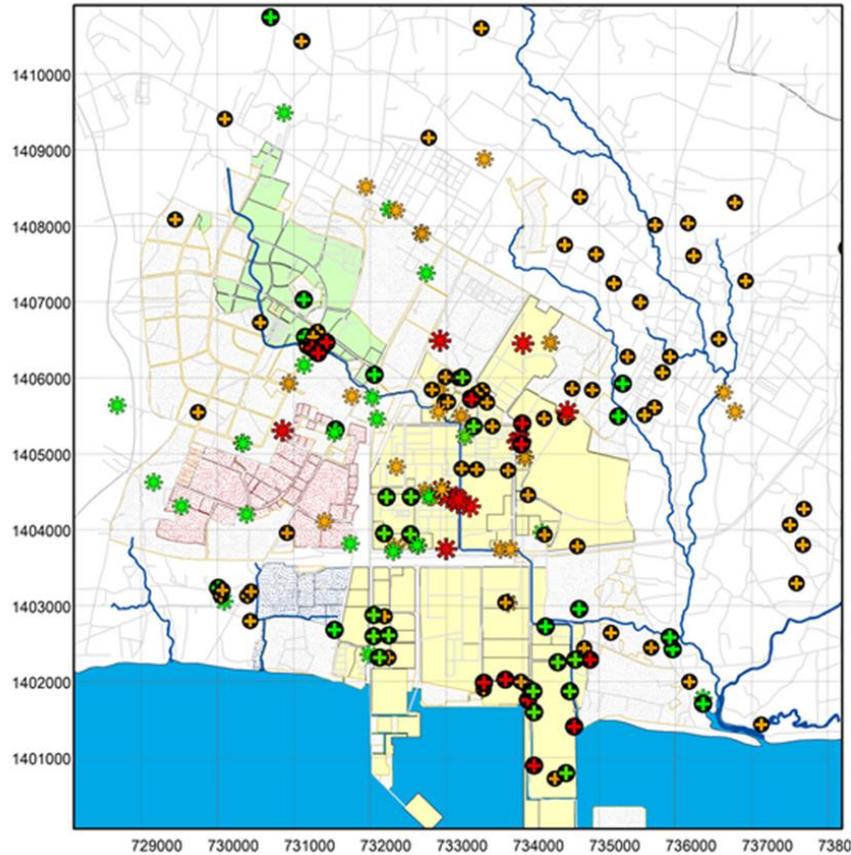
จากประเด็นปัญหามลพิษในพื้นที่มาบตาพุดเป็นที่ตั้งของอุตสาหกรรมหนักหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตสารเคมี เป็นต้น และปัญหามลพิษนั้น รวมถึงปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินซึ่งสืบเนื่องจากผลการดำเนินงานของคณะทำงานเพื่อบูรณาการข้อมูล และกำกับการดำเนินงานการปนเปื้อนมลพิษของแหล่งน้ำใต้ดินและดินในพื้นที่จังหวัดระยอง ซึ่งแต่งตั้งโดย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น (นางอนงค์วรรณ เทพสุทิน) ในฐานะ ประธานคณะกรรมการเฉพาะกิจเพื่อแก้ไขปัญหาพิษและกำหนดการพัฒนาในพื้นที่จังหวัดระยอง และมีหน่วยงานที่ดำเนินงานในพื้นที่มาบตาพุดเป็นคณะทำงาน ซึ่งประกอบด้วย สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กรมโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด กรมอนามัย กรมควบคุมโรค สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย พร้อมหน่วยงานราชการในพื้นที่ (เทศบาลนครระยอง เทศบาลเมืองมาบตาพุด ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม เทศบาลบ้านฉาง สาธารณสุขจังหวัดระยอง) และผู้แทนภาคประชาชน โดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นเลขานุการคณะทำงานฯ และกรมควบคุมมลพิษ เป็นผู้ช่วยเลขานุการ คณะทำงานฯ จากผลการบูรณาการข้อมูลซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่มาบตาพุด

สารอินทรีย์ระเหยที่พบปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในพื้นที่มาบตาพุด เป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ประชาชนหากมีการใช้น้ำที่ปนเปื้อนสารดังกล่าวในการอุปโภค และบริโภค ดังนั้นการที่พบสารดังกล่าว ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินในพื้นที่มาบตาพุดอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของประชาชนและคุณภาพ สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ด้วย และปัจจุบันส่งผลให้เกิดคดีความระหว่างภาคประชาชนและหน่วยงานภาครัฐ และท้ายที่สุดคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติออกประกาศให้ท้องที่ตำบลมาบตาพุด ตำบลห้วยโป่ง ตำบลเนินพระ และตำบลทับมา อำเภอเมืองระยอง ทั้งตำบล ตำบลมาบตา อำเภอนิคมพัฒนา ทั้งตำบล ตำบลบ้านฉาง อำเภอบ้านฉาง ทั้งตำบล ในจังหวัดระยอง รวมทั้งพื้นที่ทะเลภายในแนวเขตเป็น **เขตควบคุมมลพิษ** โดยนายกรัฐมนตรี (นายอภิสิทธิ์ เวชชาชีวะ) ในฐานะประธานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ลงนามใน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 32 (พ.ศ.2552) เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2552 และลงในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 65 ง หน้า 99 วันที่ 1 พฤษภาคม 2552 เพื่อให้องค์กรปกครองส่วน ท้องถิ่นในท้องที่ที่ได้ประกาศกำหนดเป็นเขตควบคุมมลพิษจัดทำแผนปฏิบัติการลดและขจัดมลพิษในเขต ควบคุมมลพิษต่อไป

การปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง ซึ่งได้มีการบูรณา การข้อมูลกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำนักงานนิคม อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ภายใต้คณะทำงานเพื่อบูรณาการข้อมูลและกำกับการดำเนินงานการปนเปื้อน มลพิษของแหล่งน้ำใต้ดิน และดินในพื้นที่จังหวัดระยองในปี 2552 พบว่าจากการตรวจสอบการปนเปื้อน สารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อบาดาลและบ่อสังเกตการณ์ ในเขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง ประมาณ

250 บ่อ พบว่า 17% ของบ่อดังกล่าวมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินที่มีค่าเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน รูปที่ 1-1 สรุปตำแหน่งพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยที่มีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน (สีแดง) ซึ่งคิดเป็นประมาณ 17% จากจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด บ่อที่พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยแต่มีปริมาณไม่สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน (สีเหลือง) และบ่อที่ไม่พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยเลย (สีเขียว) โดยสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย Trichloroethylene (TCE), Tetrachloroethylene (PCE), cis-dichloroethylene, 1,1-dichloroethylene, 1,2-dichloroethane, Benzene, 1,2-dichloroethane, vinylchloride เป็นต้น ซึ่งในพื้นที่นี้กรมอุตสาหกรรมมาตาดำตรวจพบใน โรงงานประเภทกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม โรงงานปิโตรเคมี โรงงานผลิตเชื้อเพลิง โรงงานผลิตเหล็ก และโรงงานผลิตก๊าซ ส่วนพื้นที่ชุมชน การปนเปื้อนพบในร้านรับซื้อของเก่าและในอดีตมีการล้างถังเก็บสารเคมีโดยเทศบาลเมืองอรัญญิตร์ลงบนพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ความลึกของบ่อที่ทำการตรวจวัดมีความลึกของบ่อน้อยกว่า 30 เมตร ซึ่งถือเป็นบ่อน้ำตื้น เพราะตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 กำหนดว่าความลึกน้ำบาดาลในเขตจังหวัดระยองมีความลึกจากผิวดินลงไปเกินกว่า 30 เมตร อย่างไรก็ตามกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้รายงานการตรวจพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในบ่อน้ำบาดาล (บ่อความลึกมากกว่า 30 เมตร) มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน ซึ่งผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับผลการศึกษาโดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งปริมาณความปนเปื้อนแตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยมีการกระจายตัว ซึ่งต้องใช้งบประมาณอย่างจํานวนมหาศาลในการบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนดังกล่าว ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะดำเนินการบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนทุกที่ และอีกทั้งอาจไม่มีความจำเป็นในการที่จะต้องบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนในทุกที่ โดยเฉพาะหากพื้นที่นั้นมีศักยภาพของธรรมชาติที่จะสามารถบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยได้โดยใช้เวลาไม่นานและไม่ส่งผลกระทบต่อประชาชน

การประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษา เพื่อการวางแผนและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ



- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | บ่อต้นที่ไม่พบการปนเปื้อน                  |  | บ่อบาดาลที่ไม่พบการปนเปื้อน                  |
|  | บ่อต้นที่พบการปนเปื้อนแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน |   | บ่อบาดาลที่พบการปนเปื้อนแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน |
|  | บ่อต้นที่พบการปนเปื้อนและเกินค่ามาตรฐาน    |   | บ่อบาดาลที่พบการปนเปื้อนและเกินค่ามาตรฐาน    |

รูปที่ 1-1 บ่อสำรวจตรวจวัดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองและสภาพการปนเปื้อน

จากสถานการณ์มลพิษที่ทวีความรุนแรงด้วยสาเหตุการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีประสิทธิภาพของประเทศไทย ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสุขภาพประชาชน และในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นพื้นที่ตั้งของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปัญหามลพิษ ส่งผลกระทบต่อภาพรวมทางเศรษฐกิจของประเทศ ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) ได้กำหนดชัดเจนในยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ในการลดมลพิษ และส่งเสริมการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างระบบบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ และค่าแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรีปัจจุบัน ณ วันที่ 23 สิงหาคม 2554 ได้กล่าวถึงการดูแลรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ปรับปรุงกฎหมายสิ่งแวดล้อม ลดมลพิษ สร้างกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมระหว่างการพัฒนาอุตสาหกรรมและการรักษาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งหลักการตอบแทนคุณค่าระบบนิเวศอย่างเป็นรูปธรรม

## 1.2 พื้นที่ศึกษา

ชุมชนโคกหินตั้งอยู่ในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยองเป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้ตรวจพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยบางชนิดในปริมาณที่สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดินในบ่อน้ำของประชาชนซึ่งใช้น้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภค ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยที่พบประกอบด้วย Vinyl Chloride, Trichloroethylene (TCE), Carbon Tetrachloride, 1,2 Dichloroethane, Cis-1,2-Dichloroethylene, Tetrachloroethylene (PCE)

การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในปริมาณที่เกินและไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน ทำให้ร่างกายรับสารอินทรีย์ระเหยอย่างต่อเนื่องและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดการสารอันตรายของแต่ละคน ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการที่ร่างกายรับสารอินทรีย์ระเหย เช่น ระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ และระบบประสาท อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในชุมชนโคกหินเป็นสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม Dense Non-aqueous Phase Liquid (DNAPL) ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ หรือเรียกว่า Chlorinated Solvent ซึ่งเป็นสารกลุ่มที่มีความอันตรายต่อสุขภาพสูง เช่น Trichloroethylene, Vinyl Chloride และ Carbon Tetrachloride เป็นสารก่อมะเร็ง และ cis-1,2-Dichloroethylene ส่งผลทำให้ระบบภูมิคุ้มกันถูกรบกวนหรือทำลาย ศักยภาพทางการป้องกันโรคการติดเชื้อจะลดและพร้อมลงจากเดิม

จากการสอบถามประชาชนในพื้นที่ทราบว่าบริเวณใกล้กับบ่อน้ำชาวบ้านที่ตรวจพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยห่างออกไปประมาณ 200-300 เมตรเหนือน้ำมีพื้นที่เคยเป็นหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรม โดยพื้นที่ดังกล่าวถูกขุดหน้าดินเป็นบ่อขนาดใหญ่ขนาดพื้นที่ประมาณ 10 ไร่ ลึกประมาณ 6-8 เมตรและรับทิ้งกากอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องในช่วงระหว่างปี 2546-2547 ต่อมาได้รับการต่อต้านจากประชาชนที่อาศัยใกล้เคียงเนื่องจากมีกลิ่นที่แรงมากและเกิดไฟไหม้หลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรมดังกล่าว เจ้าของพื้นที่จึงฝังกลบหลุมดังกล่าวและเลิกการใช้พื้นที่ แต่ทั้งนี้แม้มีการเลิกใช้พื้นที่สำหรับเป็นหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรม แต่กากอุตสาหกรรมที่ถูกฝังไว้ใต้ดินยังไม่ได้ถูกกำจัด จึงส่งผลทำให้พบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในบ่อน้ำบ้านอีกทั้งพื้นที่ที่ติดกับหลุมทิ้งขยะอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นสถานประกอบการรับซื้อของเก่าซึ่งกรมมลพิษได้เข้าไปตรวจสอบในปี 2558 และพบว่ามีการเททิ้งสารเคมีลงดิน ซึ่งอาจเป็นอีกแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนด้วย (รูปที่ 1-2)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง และบ่งชี้ความจำเป็นในการกำจัดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน

1.2.2 เพื่อจัดทำฐานข้อมูลศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นผิวน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการทำวิจัยเรื่องนี้ คณะวิจัยได้กำหนดขอบเขตของโครงการวิจัย (Scope of Research) ดังนี้

### 1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา/ตัวแปรที่วิจัย

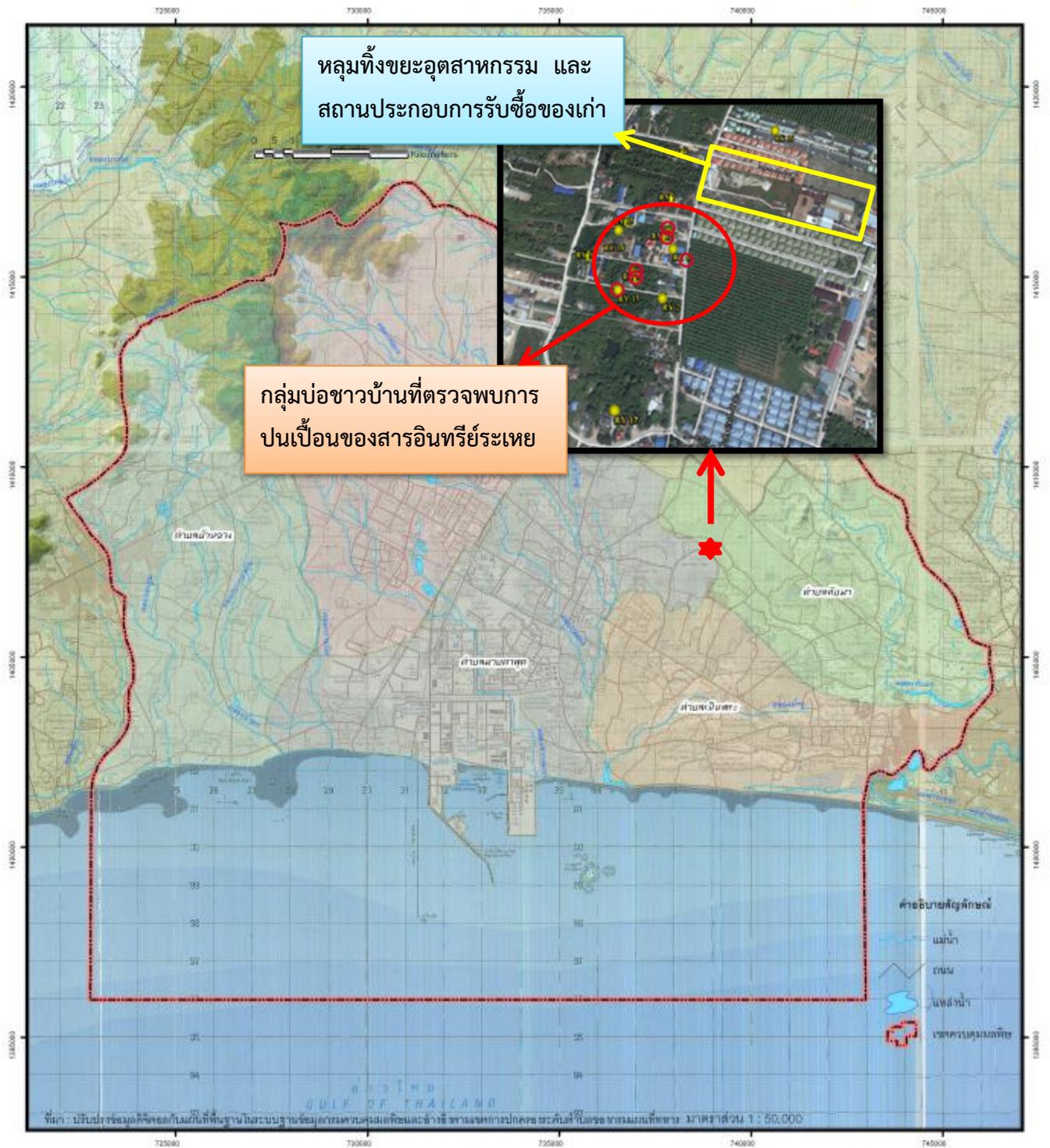
เป็นการวิจัยเฉพาะเพื่อการวางแผนการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน โดยการศึกษาปัจจัยและกระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญในการบำบัดตามธรรมชาติ และประเมินระยะเวลาที่ศักยภาพของพื้นที่ปนเปื้อนในการใช้การบำบัดตามธรรมชาติเพื่อการฟื้นฟูโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 1.3.2 ขอบเขตด้านประชากรที่วิจัย

ปัจจัยและกระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญในการบำบัดตามธรรมชาติประกอบด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Degradation) การระเหย (Volatilization) การแปลงสภาพทางเคมี (Chemical Transformation) การเจือจาง (Dispersion and Dilution) รวมทั้งสภาพทางธรณีวิทยา ธรณีเคมี อุทกวิทยา ชีวธรณี ของพื้นที่ปนเปื้อน

### 1.3.3 ขอบเขตด้านสถานที่วิจัย

- พื้นที่เก็บข้อมูล คือ พื้นที่เขตหิน เขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง
- พื้นที่วิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ คือ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1-2 พื้นที่ศึกษาชุมชนโชดหิน (★) ในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง (อ้างอิง แผนที่ท้ายประกาศเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๓๒ (พ.ศ. ๒๕๕๒))

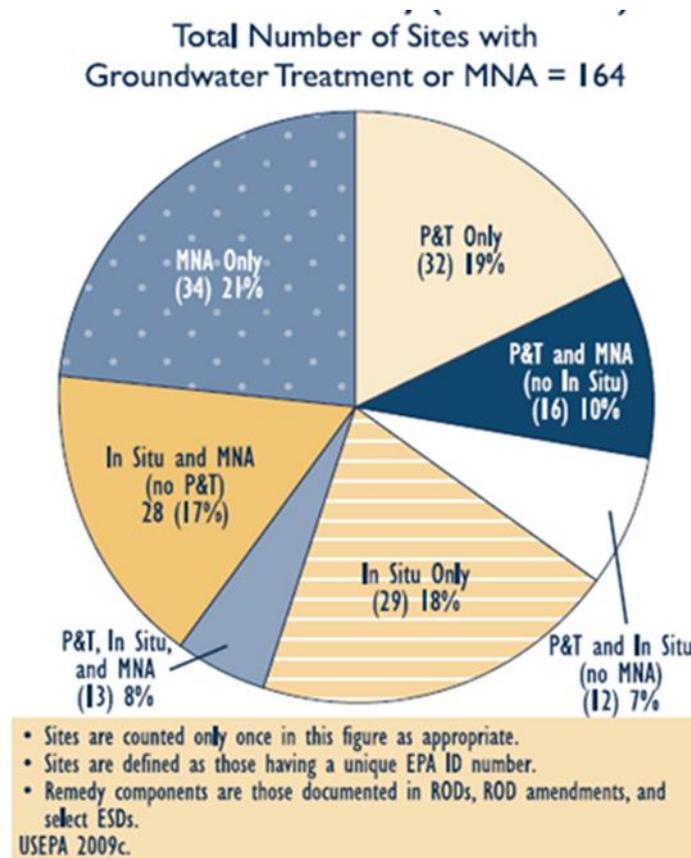
## 2.1 การปนเปื้อนสารอันตรายและการจัดการพื้นที่ปนเปื้อน

สารอันตรายกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่มักพบปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น สารประเภททำละลายมักเป็นสารที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น สาร Trichloroethylene (TCE), 1,1,1 trichloroethane (TCA) และ Tetrachloroethylene หรือ Perchloroethylene (PCE) เป็นต้น ใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับการล้างคราบไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ระเหยเชื้อเพลิง เช่น Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene และสารอินทรีย์ระเหยที่มีความเป็นพิษสูงมาก เช่น vinyl chloride ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการผลิตพลาสติก สารอินทรีย์ระเหยอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพหากได้รับสารดังกล่าวอย่างต่อเนื่องจากการอุปโภคบริโภค เช่น ก่อให้เกิดมะเร็งในเม็ดเลือด ทำลายระบบประสาทส่วนกลาง เป็นต้น

เมื่อคำนึงถึงผลกระทบของการปนเปื้อนสารอันตรายดังกล่าวข้างต้น และนโยบายคุ้มครองพื้นที่วิกฤติสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนของประเทศไทย การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติที่ปนเปื้อน (Remediation) สารอันตรายเหล่านี้ให้กลับมาคืนสภาพดั้งเดิม เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน (Remediation technologies) มีมากกว่า 60 วิธี ประกอบด้วยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มานาน (Conventional technology) เช่น การสูบน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นมาบำบัด (Pump-and-treat) จนถึงเทคโนโลยีขั้นสูงสมัยใหม่ (Novel technology) เช่น การใช้วัสดุนาโนที่ทำปฏิกิริยาละลายสารปนเปื้อนได้แบบในที่ (In situ treatment) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีที่สำคัญมากที่สุดอันหนึ่งในทางปฏิบัติคือการบำบัดตามธรรมชาติ (Natural Attenuation) ซึ่งการบำบัดตามธรรมชาติ คือการใช้กระบวนการทางธรรมชาติในการควบคุมการแพร่กระจาย ลดความเข้มข้น และปริมาณของสารเคมีอันตรายในพื้นที่ปนเปื้อนเพื่อปกป้องสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน (EPA, 1999) โดยการบำบัดแบบตามธรรมชาตินี้ต้องสำเร็จลุล่วงในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล นั่นคือไม่นานจนเกินไป และไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในระดับที่ยอมรับไม่ได้จากการเลือกทำการบำบัดโดยวิธีนี้ การบำบัดตามธรรมชาติมิได้ใช้กระบวนการทางวิศวกรรมอื่นช่วยนอกจากการติดตามผลโดยบ่อเฝ้าระวังและการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวัด

โดยทั่วไปแล้วจากประสบการณ์ของต่างประเทศ การบำบัดตามธรรมชาติจะถูกใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในสามลักษณะ ขึ้นอยู่กับความเร่งด่วนและความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากการปนเปื้อนนั้นๆ ดังแสดงได้ดังต่อไปนี้ 1) ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นหลังจากการกำจัดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน (Contaminant Hotspot or Source Zone) โดยวิธีที่มีความรุนแรงในการบำบัดและมักมีค่าใช้จ่ายสูง เช่น การใช้อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ในการสลายแหล่งกำเนิด (Phenrat และคณะ 2011) ทั้งนี้การบำบัดตามธรรมชาติพร้อมด้วยการติดตามการปนเปื้อนจะถูกใช้เพื่อค่อยๆ ฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนให้กลับมาดีดังเดิมอย่างค่อยเป็นค่อยไปตามธรรมชาติซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้วิธีการฟื้นฟูทางวิศวกรรมอื่นๆ และมีผลกระทบข้างเคียงน้อยกว่า 2) ใช้พร้อมกับเทคโนโลยีอื่นในบริเวณที่การปนเปื้อนมีความเข้มข้นมลสารต่ำและความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนน้นต่ำ และ 3) ใช้เป็นวิธีหลัก วิธีเดียวในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่อาจจะมีการปนเปื้อนสูงหรือต่ำก็ได้แต่ความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนน้นต่ำ เนื่องจากไม่มีผู้ได้รับ

ผลกระทบจากการปนเปื้อน ยกตัวอย่างเช่นการปนเปื้อนในพื้นที่ท่าอากาศยานและระบบนิเวศที่เปราะบาง ในประเทศสหรัฐอเมริกา (ผู้นำด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตราย) มีการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ (MNA)ร่วมกับเทคโนโลยีบำบัดฟื้นฟูอื่นสูงถึง 63% ของการฟื้นฟูจำนวน 164 กรณี (EPA, 2010) (รูปที่ 2-1)



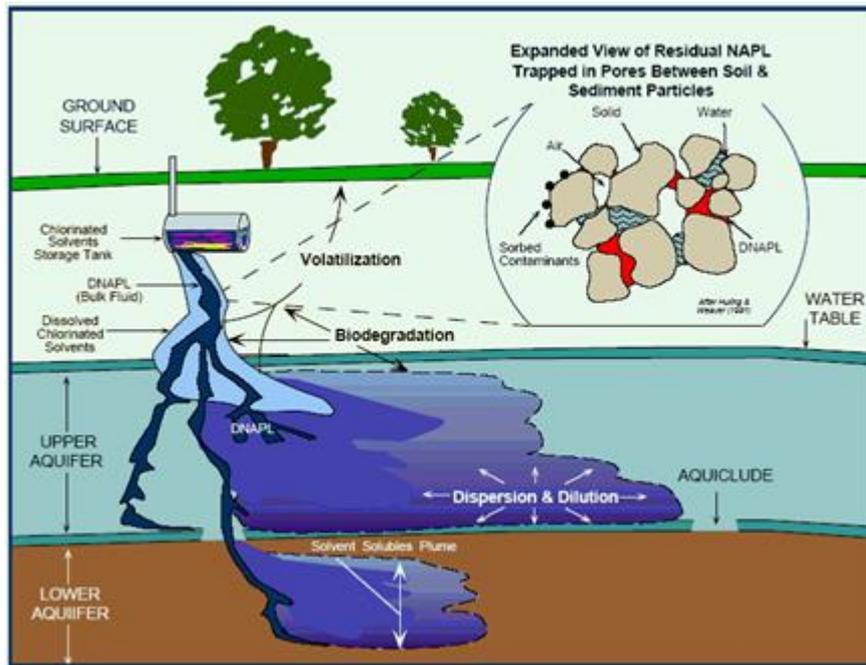
รูปที่ 2-1 สถิติการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ (MNA) ในสหรัฐอเมริกาในช่วงปี ค.ศ. 2005 ถึง 2008 สูงถึง 63%ของการฟื้นฟูจำนวน 164 กรณี (EPA, 2010)

ก่อนที่การบำบัดตามธรรมชาติจะถูกใช้อย่างแพร่หลาย ในอดีตผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่ายในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่นประชาชน และผู้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนที่ต้องรับผิดชอบในการฟื้นฟูมักจะเข้าใจว่าการบำบัดตามธรรมชาติแปลว่าไม่ต้องทำอะไรกับการปนเปื้อนเลยและปล่อยให้ตามบุญตามกรรม ความเข้าใจที่ผิดนี้ทำให้ประชาชนหรือแม้แต่หน่วยงานราชการของสหรัฐอเมริกาไม่ยอมรับว่าการบำบัดตามธรรมชาติเป็นวิธีการฟื้นฟูการปนเปื้อน ในทางตรงกันข้ามผู้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนมักจะเสนอให้ใช้การบำบัดตามธรรมชาติเพราะคิดว่าตนไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ (Hughes, 2001) จนกระทั่งปี ค.ศ. 1994 ที่ EPA และหน่วยงานราชการของสหรัฐอเมริกาออกคู่มือแนวทางการใช้การบำบัดตามธรรมชาติในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนทำให้วิธีนี้เป็นที่ยอมรับและเพิ่มความมั่นใจให้ทุกภาคส่วน คู่มือแนวทางการนี้ระบุอย่างชัดเจนว่าไม่ใช่ทุกกรณีที่สามารถใช้การบำบัดตามธรรมชาติได้ กรณีการปนเปื้อนที่สามารถใช้การบำบัดตามธรรมชาติได้ต้องมีองค์ประกอบครบสามประการคือ

1) พื้นที่มีศักยภาพในการบำบัดตามธรรมชาติ (Natural Attenuation Capacity) ทำให้ไม่ใช้เวลานานเกินไปสำหรับการสลายมลสารตามธรรมชาติ ซึ่งศักยภาพที่วัดนี้สามารถประเมินได้จากการสำรวจตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยา อุทกวิทยา เคมี กายภาพ และชีวภาพของพื้นที่ปนเปื้อนพร้อมด้วยการวิเคราะห์สารปนเปื้อน และลักษณะการแพร่กระจายของการปนเปื้อน 2) ระหว่างที่รอการฟื้นฟูระยะยาวโดยการบำบัดตามธรรมชาติ นั้น การปนเปื้อนต้องไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม หมายความว่าถ้ามีแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนอยู่ในพื้นที่ เทคโนโลยีอื่นมักถูกใช้ในการกำจัดก่อนการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ และ 3) ต้องมีการเฝ้าระวังและติดตามการบำบัดตามธรรมชาติตลอดเวลาดำเนินการ แปลว่าถ้าผู้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนเลือกใช้การบำบัดตามธรรมชาติอย่างไม่เหมาะสมอาจเสียค่าใช้จ่ายในการเฝ้าระวังและติดตามการปนเปื้อนมากกว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีอื่นที่สามารถฟื้นฟูได้ในระยะสั้น

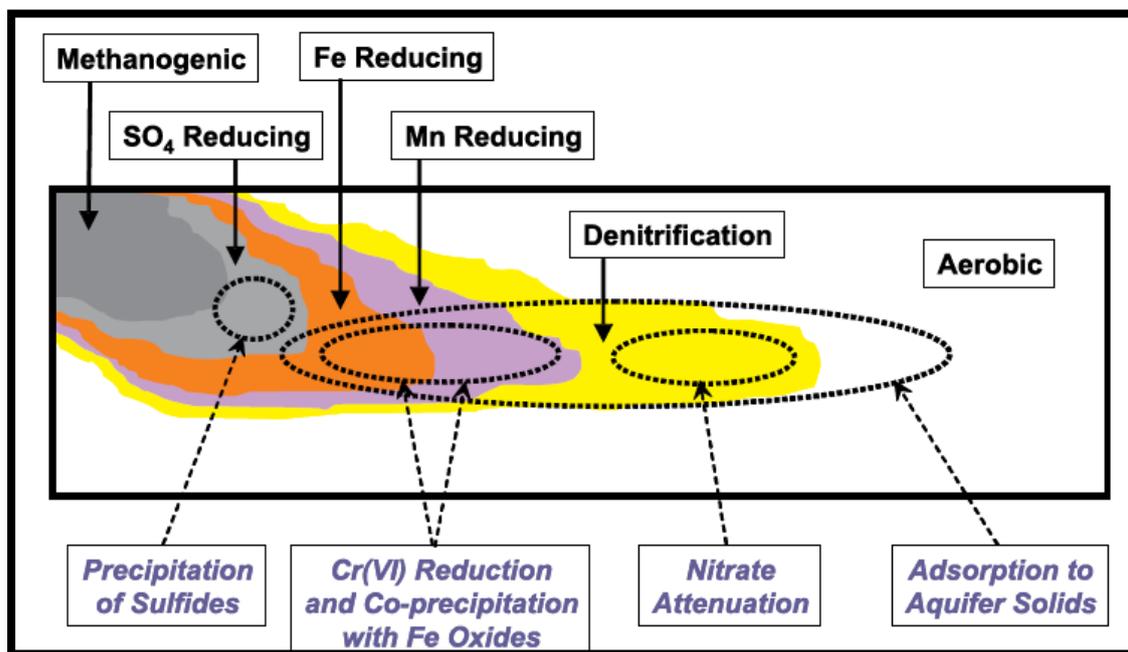
สารกลุ่ม DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ตัวอย่างสารกลุ่ม DNAPL เช่น Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, 1-1 dichloroethylene, Carbon tetrachloride เป็นต้น มีรายงานซึ่งนำเสนอโดย US EPA หน่วยงาน Office of Solid Waste and Emergency Response กล่าวว่า กิจกรรมหรืออุตสาหกรรมที่มีประวัติการใช้ และมีการปล่อยสาร DNAPL สู่สิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย อุตสาหกรรมผลิตสารรักษาเนื้อไม้ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ตัวทำละลาย อุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง ส่วนบำรุงรักษาเครื่องบิน การชักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือ เป็นต้น ซึ่งในขบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสาร DNAPL เช่น การทำความสะอาดคราบไขมันและโลหะ การล้างสี บริเวณเก็บสารเคมีทั้งการเก็บในถังเก็บ (Drums) และถังที่ฝังใต้ดิน (Underground Storage Tank) ขบวนการถ่ายเทสารเคมี การทิ้งสารที่เป็นของเสียจากการผลิตในพื้นที่ฝังกลบ ในระบบการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้สารกลุ่ม DNAPL อย่างแพร่หลาย สารกลุ่มนี้มักถูกพบปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

สารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene (TCE)) และ เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene (PCE)) เป็นสารอันตราย (สารก่อมะเร็ง) ที่มีการตรวจพบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในประเทศไทย สารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบเป็นตัวทำละลายที่ติดมากที่สุดนั้นสารประเภทนี้จึงถูกใช้ในปริมาณมากในอุตสาหกรรมหลายประเภทเช่นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิตโลหะ และอุตสาหกรรมกระดาษในฐานที่เป็นตัวขจัดไขมันจากโลหะ ผ้า และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ด้วยความไม่รู้และการขาดการศึกษาถึงผลกระทบของสารเคมีเหล่านี้ต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างถาวรในอดีต (ช่วง 70 ปีที่แล้วเป็นต้นมา) กากอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนด้วยสารเคมีอันตรายเหล่านี้ไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมจึงก่อให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เมื่อเกิดการปนเปื้อน สารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบจะแทรกซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินและก่อตัวเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน (Source Zone) ในรูปของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำและไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ง่าย (Dense Non-aqueous Phase Liquid(DNAPL)) คล้ายน้ำมันแต่ทว่าเป็นน้ำมันที่หนักกว่าน้ำ (รูปที่ 2-2) ซึ่งจะเป็นต้นกำเนิดของการชะละลายของมลสารในน้ำอย่างต่อเนื่อง (dissolved phase) และเป็นมลสารที่เคลื่อนที่ระยะไกลไปกับน้ำใต้ดิน มลสารที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำใต้ดินนี้เองสามารถส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชุมชนหรือพื้นที่การเกษตรข้างเคียงแม้ว่าแหล่งปนเปื้อน (DNAPL) จะอยู่ในพื้นที่อุตสาหกรรมที่ห่างกันมากก็ตาม

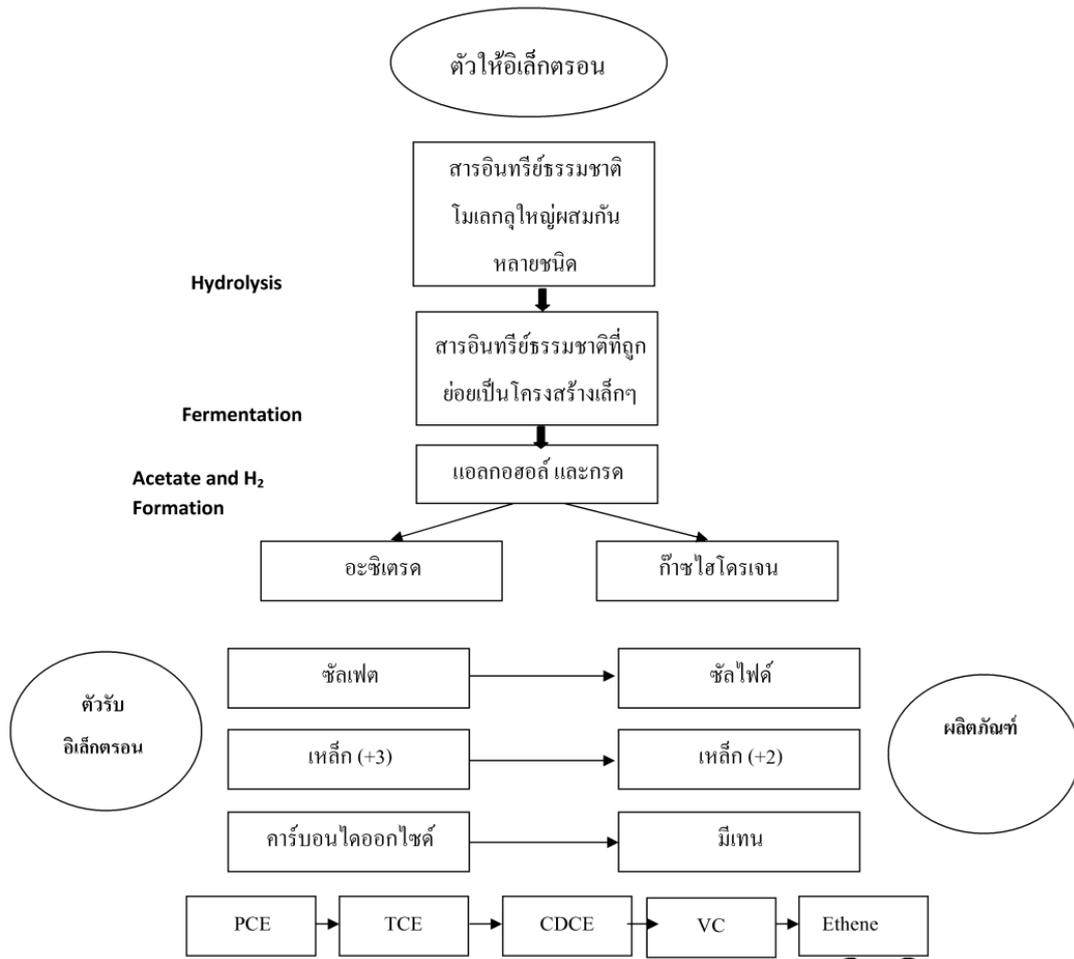


รูปที่ 2-2 การปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินด้วยสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วย แหล่งของการปนเปื้อน(Source Zone)ในรูปของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำและไม่สามารถรวมตัวกับ น้ำได้ง่าย(Dense Non-aqueous Phase Liquid(DNAPL)และสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ที่ถูกละลายมากับน้ำใต้ดินและเคลื่อนที่ไปถึงผู้ใช้น้ำใต้ดิน (Plume) (รูปถูกคัดลอกมาจาก (Stewart 2008))

กลไกการบำบัดตามธรรมชาติแบบชีวภาพสำหรับสารอินทรีย์ระเหย เช่น BTEX นั้น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเกิดขึ้นโดยมีจุลชีพเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยที่มลสารเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ส่วนออกซิเจน ไนเตรต ซัลเฟต หรือ เหล็ก(+3) นั้นเป็นสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน สภาพแวดล้อมและการมีอยู่ของสารแต่ละชนิดจะเป็นตัวกำหนดว่าสารใดจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนดังแสดงในรูปที่ 2-3 ในทางตรงกันข้าม การบำบัดตามธรรมชาติแบบชีวภาพสำหรับสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น PCE และ TCE นั้น มลสารจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนโดยมีสารอินทรีย์ในธรรมชาติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนหลังจากผ่านกระบวนการทางชีวภาพหลายขั้นตอนดังแสดงในรูป 2-4 โดย PCE และ TCE ต้องแย่งอิเล็กตรอนกับซัลเฟต เหล็ก (+3) และคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้มีประสิทธิในการแปรสภาพด้อยกว่าการบำบัดตามธรรมชาติแบบชีวภาพของสารอินทรีย์ที่ไม่มีคลอรีนเช่น BTEX อย่างไรก็ตามกระบวนการทางเคมีในธรรมชาติ เช่น Hydrolysis และการปลดคลอรีนออกด้วยแร่เหล็กที่ถูกรีดิวซ์ เช่น สารประกอบเหล็ก(+2) เหล็กประจุศูนย์ และเหล็กซัลไฟด์ สามารถแปรสภาพสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบให้เป็นสารที่ไม่อันตรายเช่น อะเซทิลีน อีเทน และ เอทิลีนได้ ในขณะที่กระบวนการนี้ไม่มีประโยชน์สำหรับสารอินทรีย์ระเหยทั่วไป

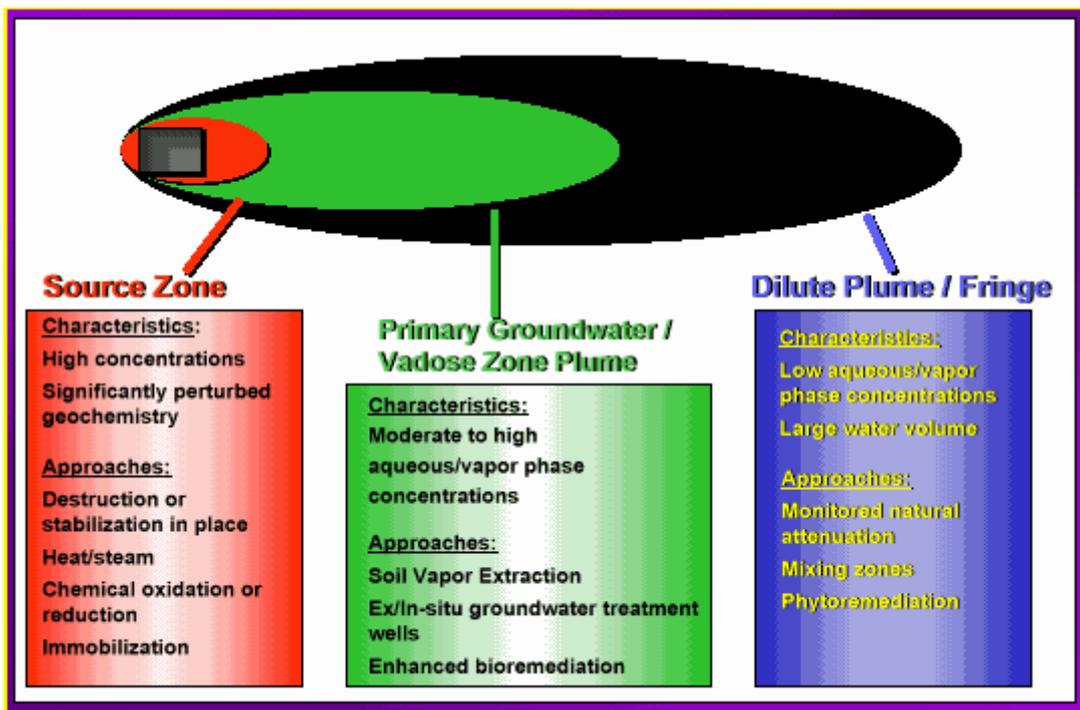


รูปที่ 2-3 สภาพทางธรณีวิทยาเป็นตัวกำหนดว่าออกซิเจน ไนเตรต ซัลเฟต หรือ เหล็ก(+3) จะเป็นสารหลักที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน ซึ่งสำคัญต่อการบำบัดตามธรรมชาติโดยกระบวนการทางชีวภาพ(สำหรับสารอินทรีย์ระเหย) และทางเคมีสำหรับโลหะหนัก (รูปคัดลอกมาจาก EPA, 2007)



รูปที่ 2-4 กระบวนการบำบัดตามธรรมชาติแบบชีวภาพสำหรับสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (รูปดัดแปลงมาจาก NRC, 2000)

โดยทั่วไปแล้ว การบำบัดตามธรรมชาติจะถูกใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในสามลักษณะ 1) ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นภายหลังจากที่แหล่งกำเนิดการปนเปื้อน (Contaminant Hotspot or Source Zone) ถูกกำจัดออกไปแล้ว ยกตัวอย่างเช่นสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบที่มีแหล่งปนเปื้อน (DNAPL) อยู่ในพื้นที่ ซึ่งเพื่อลดความเข้มข้นของสารอันตรายในสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่ได้รับผลกระทบอย่างเร่งด่วน วิธีที่มีความรุนแรงในการบำบัด (และราคาแพง) เช่นการใช้อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ในการสลาย DNAPL อาจจะถูกใช้ในขั้นแรกเพื่อกำจัดแหล่งกำเนิดออกไปให้มากที่สุดอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้นมลสารลดลงและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แล้ว การบำบัดตามธรรมชาติพร้อมด้วยการติดตามการปนเปื้อนจะถูกใช้เพื่อค่อยๆฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนให้กลับมาดีดังเดิมอย่างค่อยเป็นค่อยไปตามธรรมชาติซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้วิธีการฟื้นฟูทางวิศวกรรมอื่นๆ และมีผลกระทบข้างเคียงน้อยกว่า 2) ใช้พร้อมกับเทคโนโลยีอื่นในบริเวณที่การปนเปื้อนมีความเข้มข้นมลสารต่ำและความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนนั้นต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2-5 และ 3) ใช้เป็นวิธีหลัก วิธีเดียวในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่อาจจะมีการปนเปื้อนสูงหรือต่ำก็ได้แต่ความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนนั้นต่ำ เนื่องจากไม่มีผู้ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน ยกตัวอย่างเช่นการปนเปื้อนในพื้นที่ห่างไกลชุมชนและระบบนิเวศที่เปราะบาง



รูปที่ 2-5 การใช้เทคโนโลยีต่างๆกันในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนในส่วนที่มีการปนเปื้อนมากน้อยต่างกันไปโดยการบำบัดตามธรรมชาติถูกใช้พร้อมกับเทคโนโลยีอื่นๆ แต่ถูกใช้เฉพาะในบริเวณที่การปนเปื้อนมีความเข้มข้นมลสารต่ำและความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนนั้นต่ำ (รูปคัดลอกมาจาก Hughes, 2001)

## 2.2 นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง

จังหวัดระยองถือเป็นเมืองอุตสาหกรรมใหม่ของประเทศ มีแหล่งกำเนิดมลพิษอุตสาหกรรมอยู่เป็นจำนวนมากกว่า 1,700 แห่ง โดยอำเภอเมือง จังหวัดระยอง มีจำนวนโรงงานตั้งอยู่มากที่สุดจำนวน รองลงมาคืออำเภอปลวกแดง อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา อำเภอบ้านฉาง อำเภอวังจันทร์ และกิ่งอำเภอเขาชะเมา ตามลำดับ ซึ่งเป็นโรงงานนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม 1,259 แห่ง และในพื้นที่นิคมฯ และเขตประกอบการฯ 445 แห่ง

จังหวัดระยองมีนิคมอุตสาหกรรมจำนวน 8 แห่ง และเขตประกอบการอุตสาหกรรมจำนวน 5 เขต โดยเขตนิคมฯที่มีจำนวนโรงงานมากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด อ.ปลวกแดง นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อ.เมือง นิคมอุตสาหกรรมอมตะ อ.ปลวกแดง และนิคมอุตสาหกรรมตะวันออก อ.เมือง สำหรับเขตประกอบการอุตสาหกรรมที่มีจำนวนโรงงาน มากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ เขตประกอบการอุตสาหกรรมสยามอีสเทิร์นอินดัสเตรียลพาร์ค อ.ปลวกแดง เขตประกอบการอุตสาหกรรมไออาร์พีซี อ.เมือง เขตประกอบการอุตสาหกรรมระยองที่ดินอุตสาหกรรม อ.บ้านค่าย เขตประกอบการอุตสาหกรรมโรจนะ อ.บ้านค่าย

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีเนื้อที่กว่า 10,000 ไร่ เป็นพื้นที่สำหรับอุตสาหกรรม 7,000 ไร่ มีจำนวนโรงงาน 62 แห่ง (รวมโรงไฟฟ้าบริเวณท่าเทียบเรือ 2 แห่ง) อุตสาหกรรมหลักคือ กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เหล็ก เคมีภัณฑ์ ไฟฟ้า จากการที่มีนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นผลให้ อุตสาหกรรมขึ้นต่อเนื่องเกิดขึ้นตามมา เช่น นิคมอุตสาหกรรมเหมราชตะวันออก(อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์) นิคมอุตสาหกรรมผาแดง (อุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก) นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย(อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และซิลิโคนส์) นิคมอุตสาหกรรมอีสเทอร์นซีบอร์ดและ นิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ เป็นต้น นอกจากนี้ในพื้นที่อำเภอเมืองยังมีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่อยู่ ภายนอกเขตนิคมอุตสาหกรรม เช่น โรงแยกก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้า และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ไอ อาร์ พี ซี

## 2.3 การปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่มาบตาพุด

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการตรวจสอบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในดิน น้ำใต้ดิน และในอากาศ ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและพื้นที่โดยรอบตามแผนปฏิบัติการลดและขจัดมลพิษในพื้นที่จังหวัดระยอง พ.ศ. 2550-2554 กำหนดโดยคณะอนุกรรมการเฉพาะกิจเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษและกำหนดการพัฒนาในพื้นที่จังหวัดระยอง ซึ่งมีแผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการมีระยะเวลาตั้งแต่ปี 2550-2553 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์การปนเปื้อน เพื่อหาแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อน และบ่งชี้ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน เพื่อศึกษาหาเทคนิคที่เหมาะสมในการบำบัดฟื้นฟูสารอันตรายที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนบำบัดฟื้นฟูการปนเปื้อนสารอันตรายในสิ่งแวดล้อมบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาในปี 2550 และ 2551 ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดิน น้ำใต้ดิน และอากาศ ทั้งในและนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ทั้งนี้ข้อมูลการกระจายตัวของสารปนเปื้อนทั้งในดิน น้ำใต้ดิน และในอากาศ จะแสดงความเชื่อมโยงของการปนเปื้อนและช่วยในการบ่งชี้พื้นที่หรือแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแนวคิดเกี่ยวกับการปนเปื้อนนั้น หากพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในดิน เป็นการบ่งบอกโอกาสที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

สารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน เนื่องจากการชะล้างจากชั้นดินสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และการปนเปื้อนในชั้นดินทำให้เกิดการระเหยเข้าสู่บรรยากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การดำเนินงานด้านสถานการณ์การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดิน

พบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในไอสารในดินในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 180 จุดสุ่มตัวอย่าง โดยสารอินทรีย์ระเหยที่พบ ประกอบด้วย เบนซีน (Benzene) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) และไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)

(2) การดำเนินงานด้านสถานการณ์การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินจำนวน 51 บ่อ ในพื้นที่โรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด พบการปนเปื้อนเกินมาตรฐานน้ำใต้ดินจำนวน 10 บ่อ สำหรับผลการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินจากตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อชาวบ้านที่อาศัยอยู่รอบๆ พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จำนวน 25 บ่อ พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยชนิด Toluene, Ethylbenzene, Xylenes และ Tetrachloroethylene (PCE) โดย Toluene, Ethylbenzene และ Xylene ทั้งหมด มีค่าความเข้มข้นไม่เกินค่าที่กำหนดในมาตรฐานสารอันตรายในน้ำใต้ดิน แต่ Tetrachloroethylene (PCE) ซึ่งพบในบ่อชาวบ้าน บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีค่าความเข้มข้นของสาร PCE เกินกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานสารอันตรายในน้ำใต้ดินประมาณ 5 เท่า บ่อดังกล่าวมีความลึกบ่อ 35 เมตร โดยสาร PCE นี้เป็นสารชนิดหนึ่งในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่จัดเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง ดังนั้นการได้รับสารพิษนี้เข้าไปสะสมในร่างกายอย่างต่อเนื่องอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำในบ่อน้ำดังกล่าวได้ ดังนั้นบ่อน้ำดังกล่าวควรกำหนดให้เลิกใช้และหาน้ำแหล่งใหม่ทดแทน

(3) การดำเนินงานด้านสถานการณ์การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในอากาศ

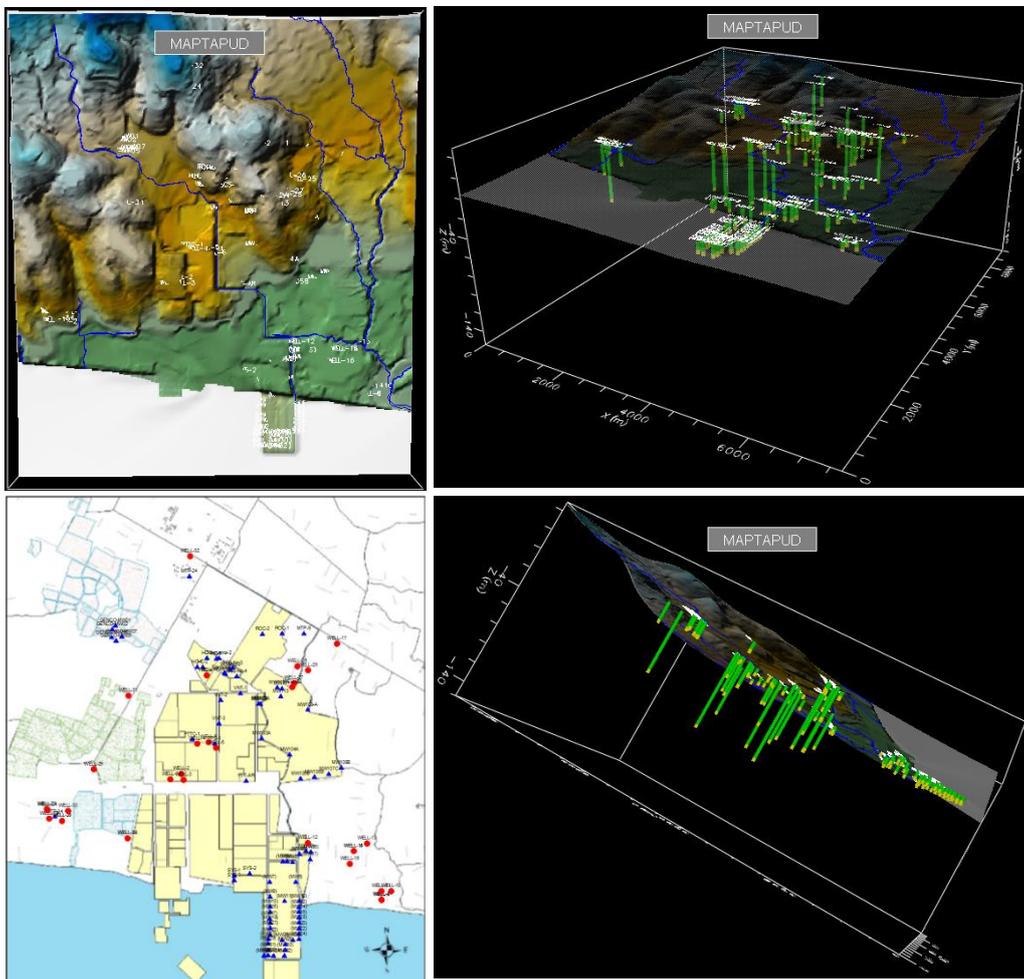
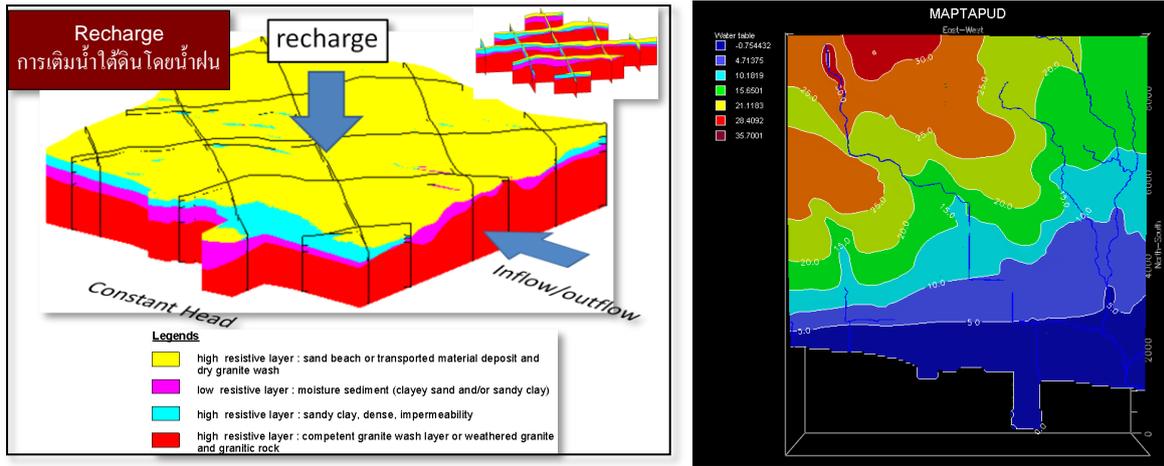
ดำเนินการตรวจวัดสาร VOCs ในบรรยากาศ จำนวน 3 ครั้ง ตามแผนการเก็บตัวอย่าง คือเดือน พฤษภาคม สิงหาคม และพฤศจิกายน 2550 พบสาร VOCs ทุกจุดเก็บตัวอย่างบริเวณรอบนอกนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 28 ชนิด และบริเวณรอบในนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 31 ชนิด สาร VOCs ที่ตรวจพบสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) กลุ่มแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons) กลุ่มอะลิฟาติกฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน (aliphatic halogenated hydrocarbons) กลุ่มแอโรมาติกฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน (aromatic halogenated hydrocarbons) กลุ่มออกซิเจนเนตไฮโดรคาร์บอน (oxygenated hydrocarbons) โดยในการตรวจวัดทั้ง 3 ครั้ง พบว่ามีสารกลุ่ม แอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด

ผลการศึกษาข้างต้นบ่งชี้ว่ามีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในไอสารในดินและน้ำใต้ดิน กระจายในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ของการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยทั้งในดินและน้ำใต้ดินเป็นบริเวณกว้าง แต่เนื่องจากพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีการดำเนินกิจการเป็นเวลามากกว่า 20 ปี โรงงานมีการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมในการดำเนินการ ดังนั้นการที่พบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณ

สูงในบางพื้นที่ ไม่ได้แสดงว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนเสมอไปแต่อาจมาจากแหล่งอื่นได้ ส่งผลให้กระบวนการสืบหาแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนในพื้นที่จึงค่อนข้างซับซ้อน

ในปี พ.ศ. 2550-2552 กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2552) ได้ดำเนินการศึกษาโครงการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงสถานะและรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินระดับต้นในพื้นที่ศึกษา โดยการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินด้วยโปรแกรม MODFLOW (Harbaugh et al., 2000) และนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นแนวทางในประกอบการกำหนดมาตรการป้องกัน บรรเทา และบำบัดพื้นฟู แหล่งทรัพยากรน้ำบาดาล โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดการปนเปื้อนน้ำใต้ดินระดับต้นจากสารเคมีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดการแพร่และการกระจายตัวของสารปนเปื้อนจากน้ำใต้ดินเข้าสู่แหล่งแหล่งน้ำผิวดินบริเวณโดยรอบของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม ซึ่งอาจทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน

ผลการศึกษาลักษณะและรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินระดับต้นทั้งในระดับสเกลใหญ่ (regional scale) และในชั้นรายละเอียด (detailed flow regime) ของชั้นน้ำใต้ดินระดับต้น พบว่าระดับน้ำใต้ดินและทิศทางการไหลของพื้นที่ศึกษา ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งมีแนวโน้มการไหลโดยทั่วไป จะไหลจากที่สูงด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เข้าสู่พื้นที่ราบและลงสู่อ่าวไทยในที่สุด โดยพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหรือทิศทางการไหลมากที่สุด ได้แก่ อัตราการเติมน้ำใต้ดิน (recharge) และค่าสัมประสิทธิ์ความซึม (hydraulic conductivity) (รูปที่ 2-6)

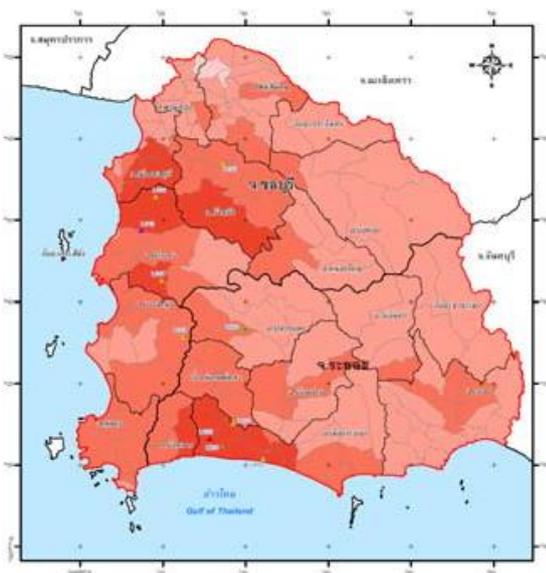


รูปที่ 2-6 ผลการศึกษาแบบการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาตาพุด

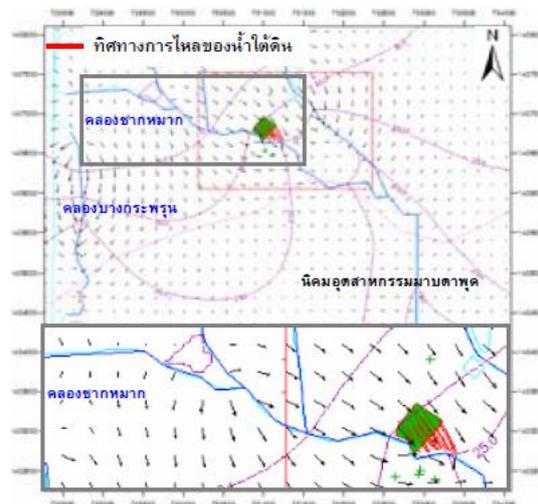
(ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2552)

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2550) ได้ดำเนินการศึกษาโครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล การวางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียด การฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพอุทกธรณีวิทยา ศึกษาลักษณะการใช้สารเคมีอันตราย สถานการณ์และแนวโน้มการปนเปื้อนมลสารลงสู่แหล่งน้ำบาดาลในปัจจุบัน ทราบถึงสถานการณ์ความรุนแรงและความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมลสารลงสู่แหล่งน้ำบาดาล เพื่อวางระบบติดตามคุณภาพน้ำบาดาล เพื่อทราบสถานการณ์การปนเปื้อน และนำมาใช้เป็นมาตรการควบคุมและมาตรการป้องกัน และเพื่อจัดหาแนวทางและแผนการปฏิบัติงานเพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี

ผลการดำเนินงานโครงการดังกล่าว ทำให้ทราบถึงสถานการณ์ด้านคุณภาพน้ำบาดาลและความปนเปื้อนในปัจจุบัน และได้มีการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล แผนที่ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน และแผนที่ศักยภาพแหล่งมลสารรวม มาตรฐาน 1:100,000 นอกจากนี้ ยังได้มีการจัดทำบัญชีสารเคมีอันตรายและบัญชีแหล่งมลสาร และมีการติดตั้งระบบติดตามคุณภาพน้ำบาดาลที่แหล่งกำเนิดมลสารจำนวน 10 พื้นที่ซึ่งได้มีการดำเนินการเจาะบ่อสังเกตการณ์เพิ่มเติม จำนวน 30 บ่อ ความลึกรวมไม่น้อยกว่า 900 เมตร ตลอดจนได้มีการเสนอแนวทางการฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่พบการปนเปื้อนมลสาร (รูปที่ 2-7)



(ก) แผนที่จุดเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในชลบุรีและระยอง



(ข) เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินในมาบตาพุด

รูปที่ 2-7 ผลการศึกษาโครงการจัดทำแผนที่ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน

(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

## 2.4 การบำบัดฟื้นฟูน้ำใต้ดินและดินในพื้นที่มาบตาพุด

จากการที่หน่วยงานภาครัฐ โดยเฉพาะกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและกรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการตรวจสอบและพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในดิน และน้ำใต้ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตามแผนปฏิบัติการลดและขจัดมลพิษในพื้นที่จังหวัดระยองนั้น กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2553, 2555) ได้ดำเนินการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อหาเทคนิคการบำบัดฟื้นฟูชั้นดินและน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหย โดยได้มีการทดสอบจริงในพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

### 2.4.1 การบำบัดฟื้นฟูชั้นน้ำใต้ดินระดับต้นโดยใช้จุลินทรีย์

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2553) ได้ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบบำบัดฟื้นฟูน้ำใต้ดินระดับต้นในพื้นที่โรงงานกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ (bioremediation) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาใช้บำบัดฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยไม่สูงมากนัก โดยสารอินทรีย์ระเหยมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ในบริเวณกว้างแต่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนที่ชัดเจน การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนให้เป็นสารที่ไม่มีอันตรายจึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสม เนื่องจากมีรายงานการศึกษาว่าเป็นเทคนิคที่การลงทุนต่ำกว่าเทคนิคอื่น ทั้งนี้หลักการทั่วไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินโดยจุลินทรีย์ในการศึกษาค้นคว้านี้ ใช้การเติมสารอาหารที่เหมาะสมลงในน้ำใต้ดินให้กับจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายอินทรีย์ระเหยในบริเวณที่พบการปนเปื้อน โดยออกแบบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยให้เหมาะสม เช่น ตำแหน่งบ่อเติมสารอาหาร ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ ชนิดของสารอาหาร ความถี่ของการให้สารอาหาร เป็นต้น

เทคนิคการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินโดยจุลินทรีย์เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและมีการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยมีการนำไปใช้ในการบำบัดในหลายพื้นที่ในต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานในประเทศไทย เกี่ยวกับการใช้วิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยโดยจุลินทรีย์เพื่อการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่ปนเปื้อน ดังนั้นเพื่อให้มีการออกแบบระบบการใช้จุลินทรีย์เพื่อบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่ปนเปื้อนอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีได้มีโครงการศึกษาทดสอบความเหมาะสมของการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหย โดยจุลินทรีย์เพื่อการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน โดยคัดเลือกพื้นที่เพื่อทำการทดสอบในพื้นที่ปนเปื้อน (pilot scale) ซึ่งจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดฟื้นฟูพื้นที่ๆ ได้รับการปนเปื้อน และสามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางการบำบัดฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่เกิดจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และบริเวณใกล้เคียงในระดับ full scale ต่อไป

ในโครงการดังกล่าวฯ ได้คัดเลือกพื้นที่ทดสอบซึ่งเป็นหลุมฝังกลบขยะของเสียอุตสาหกรรม ที่มีการตรวจพบการปนเปื้อนในบ่อสังเกตการณ์รอบๆ หลุมฝังกลบ (ดูรูปที่ 2-8) จากนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาคูณลักษณะเฉพาะของพื้นที่ (site characterization) ซึ่งประกอบด้วย การสำรวจทางธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ การสำรวจด้านอุทกธรณีวิทยาและอุทกธรณีเคมี การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายสารปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในพื้นที่ (indigenous microbes) ฯลฯ ซึ่งผลการทดสอบระบุว่า พื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่สลายสารอินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (ใช้ซัลเฟตและเหล็ก(III) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน) จึงได้ดำเนินการเจาะกลุ่มบ่อในแนว “ก” เพื่อทำการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยการเติมสารอาหาร ตัวรับอิเล็กตรอน สารละลายบัฟเฟอร์ ฯลฯ



รูปที่ 2-8 ตำแหน่งบ่อบำบัดในแนว ก และแนว ข วางตัวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

โดยปริมาณสารที่เติมนั้น ได้จากการออกแบบระบบบำบัดซึ่งใช้ข้อมูล mass flux เป็นตัวกำหนดระดับความเข้มข้นในการบำบัด (mass flux หมายถึงปริมาณสารปนเปื้อนที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อเวลา ซึ่งอาจมีหน่วยเป็น  $\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$  หรือ  $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ) โดยจะคำนวณปริมาณสารอาหาร ปริมาณตัวรับอิเล็กตรอน (ซัลเฟต) และปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อควบคุม pH ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งค่า mass flux นี้จะสามารถคำนวณได้จากการใช้อัตราการไหลของน้ำใต้ดินคูณกับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ความลึกต่างๆ ซึ่งความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ความลึกต่างๆ ได้มาจากการเก็บตัวอย่างน้ำแบบ multi-level sampling โดยใช้ diffusion sampler ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการวัดค่า mass flux ในแนว “ก” และในการเติมสารอาหาร ก็จะใช้กลุ่มบ่อในแนว “ก” นี้เองในการเติมสารอาหาร ตัวทำละลาย และสารละลายบัฟเฟอร์ และใช้กลุ่มบ่อในแนว “ข” เพื่อสังเกตการณ์

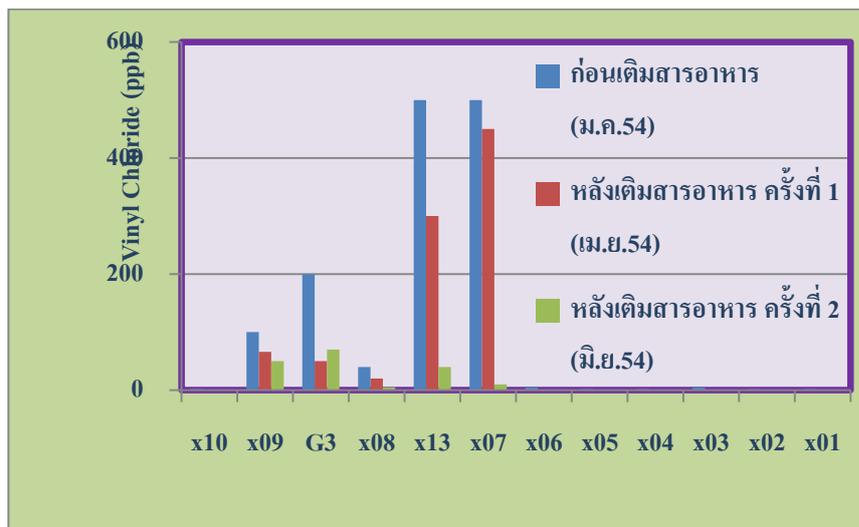
สำหรับการออกแบบระบบบำบัดในชั้นรายละเอียดซึ่งประกอบด้วย design parameter ต่างๆ เช่น อัตราการเติมสาร ระยะเวลาการเติม จำนวนครั้งหรือความถี่ในการเติมสารอาหาร ฯลฯ ทั้งนี้ การออกแบบในชั้นรายละเอียดจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าว จะนำปัจจัยทั้งหมด ทั้งในแง่ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา อุทกธรณีเคมี และจุลชีววิทยา มาใช้ในการออกแบบ

เดือนกันยายน-ตุลาคม 2553 ได้มีการดำเนินการขุดเจาะบ่อทั้ง 15 บ่อ จากนั้นได้ทำการเป่าล้างและพักบ่อเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้ระบบน้ำใต้ดิน (groundwater system) กลับคืนสู่สถานะเดิมหรือใกล้เคียงกับสภาพเดิมมากที่สุด จากนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในทุกๆ บ่อเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำและหา

ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย แล้วเก็บไว้เป็นข้อมูล baseline เพื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำหลังทำการบำบัดต่อไป

หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำในเดือนธันวาคม 2553 ได้ดำเนินการเติมสารอาหาร (ในที่นี้ได้เลือกใช้ glucose เป็นแหล่งคาร์บอน) และสารละลายบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) โดยสารอาหารดังกล่าวมีอัตราส่วนคาร์บอน:ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส หรือ C:N:P เท่ากับ 100:10:1 และมีปริมาณคาร์บอนโดยรวมประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อบำบัดแนว “ก” ซึ่งประกอบด้วย X01-X10 และบ่อ 3 (บ่อเดิมที่มีอยู่แล้ว) จากนั้นได้ปิดปากบ่อไว้และดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินทุกๆ บ่อ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยทุกๆ 3 เดือน (เมษายน กรกฎาคม และกันยายน 2554) เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินประสิทธิภาพ

จากการประเมินประสิทธิภาพระบบในช่วงปี 2554 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งเมื่อดูการลดลงของปริมาณสาร cis-dichloroethylene (cis-DCE) และ Vinyl Chloride (VC) ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนหลักในพื้นที่ทดสอบ พบว่าปริมาณสารปนเปื้อนดังกล่าวในบ่อเติมสารอาหารและบ่อสังเกตการณ์บางบ่อ มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยสรุปประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 95% (รูปที่ 2-9) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2554)



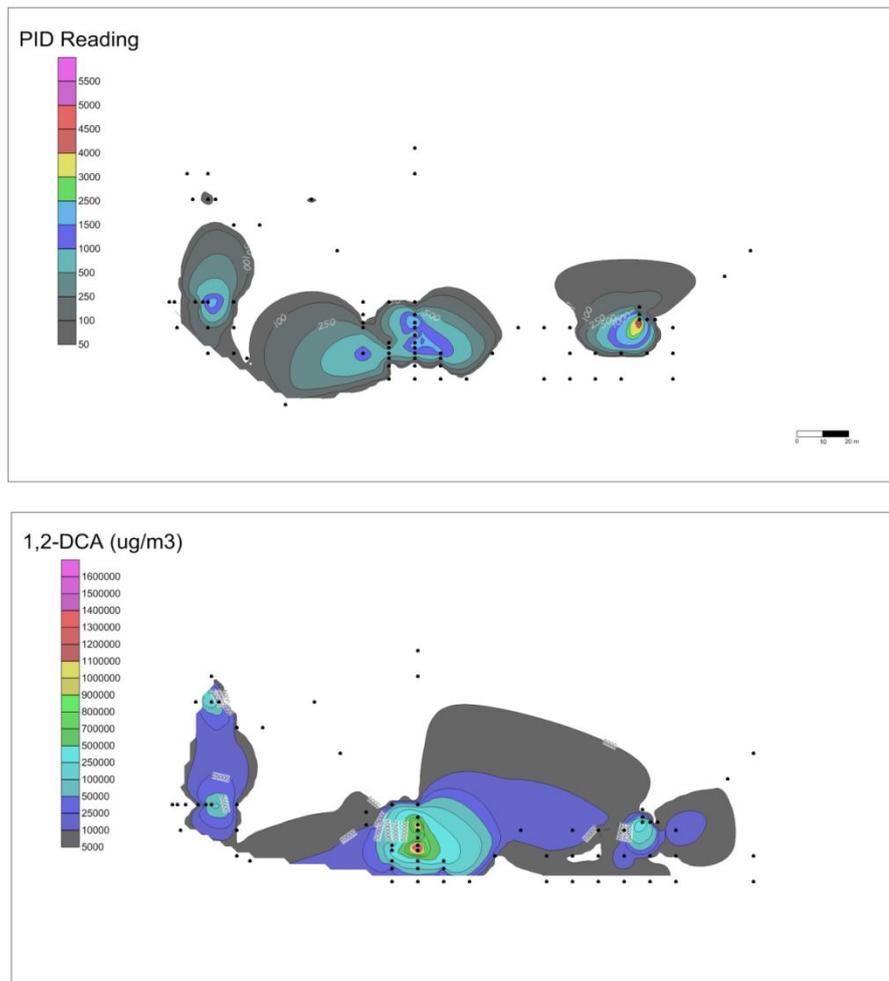
รูปที่ 2-9 ระบบ Bioremediation ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและประสิทธิภาพระบบ

#### 2.4.2 การบำบัดพื้นฟูชั้นดินโดยใช้เทคนิค Soil Vapor Extraction (SVE)

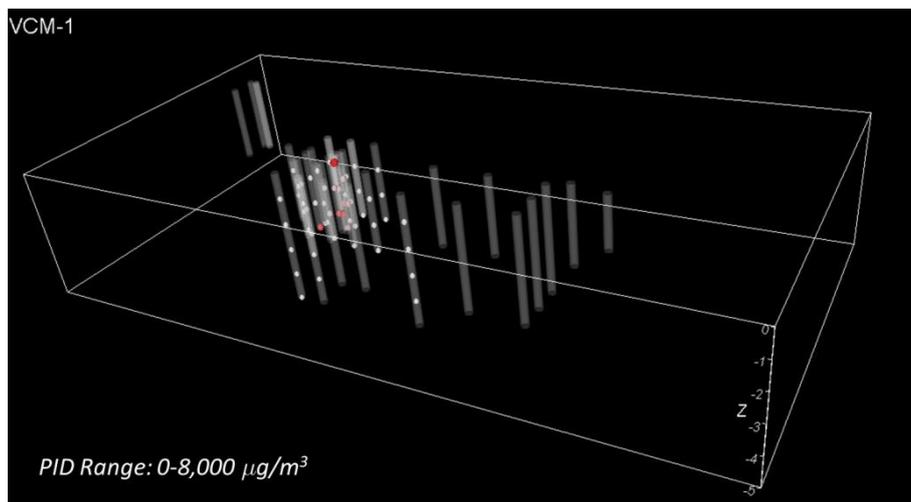
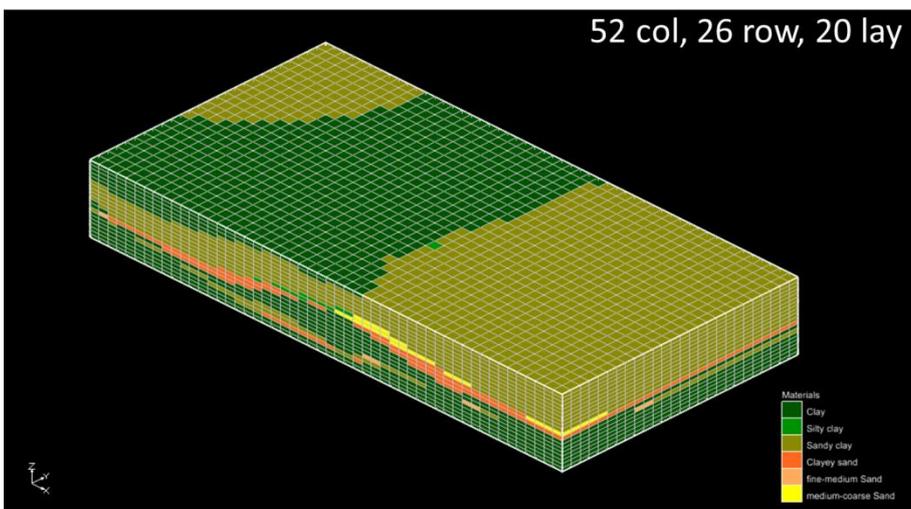
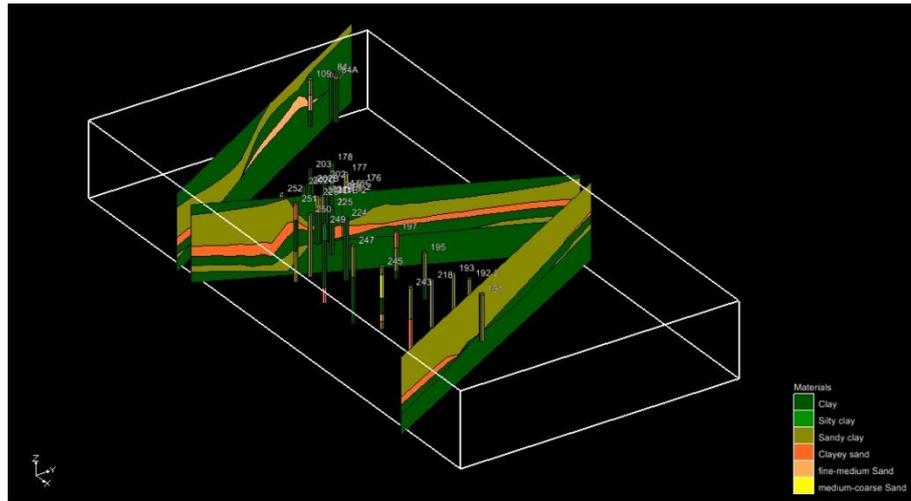
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2555) ได้ดำเนินการโครงการวางระบบโครงข่ายตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในไอดิน (Soilgas Monitoring Network) โดยขุดเจาะชั้นดิน โดยใช้เครื่องขุดเจาะแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®) และติดตั้งระบบและทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดิน โดยใช้ระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เคลื่อนที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตั้งระบบโครงข่ายตรวจสอบไอสารอินทรีย์ระเหยในดิน (Soilgas Monitoring Network) ในพื้นที่ๆ จะดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดพื้นฟูดินในพื้นที่ๆ พบการปนเปื้อน และติดตั้งระบบและทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดิน โดยใช้ระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เคลื่อนที่

ในโครงการดังกล่าว ได้คัดเลือกพื้นที่โรงงานแห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ที่ตรวจพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่ม chlorinated solvents (โดยเฉพาะ 1,2-Dichloroethane) และดำเนินการเก็บตัวอย่างไอน้ำและดินไปทำการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งผลการวิเคราะห์ไอน้ำแสดงใน

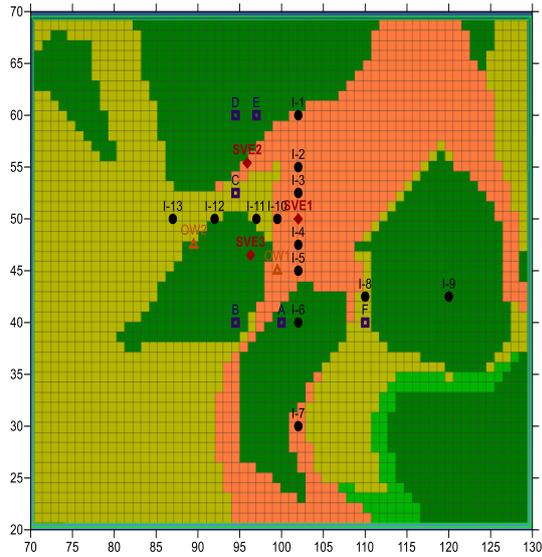
รูปที่ 2-10 ส่วนลักษณะโครงสร้างดินและปริมาณสารอินทรีย์แสดงในรูปที่ 2-11



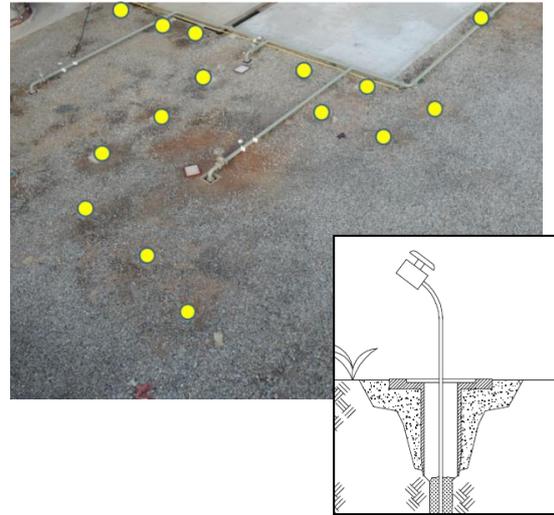
รูปที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในไอน้ำในเขตพื้นที่ศึกษา



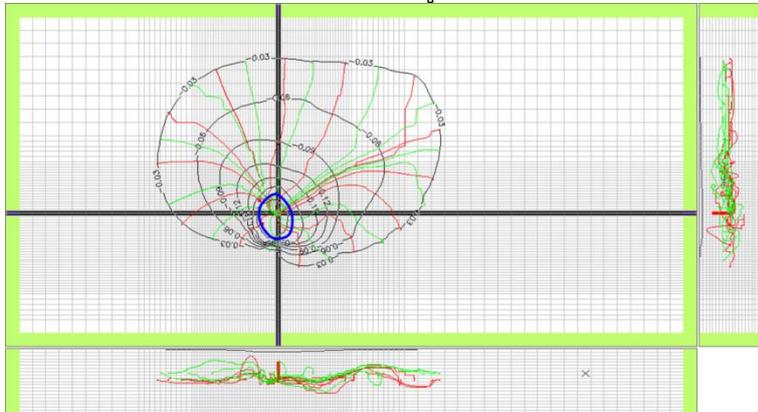
รูปที่ 2-11 ลักษณะโครงสร้างดินและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ความลึกต่างๆ



(ก) ตำแหน่งบ่อสกัดไอน้ำและบ่อสูบน้ำอากาศ



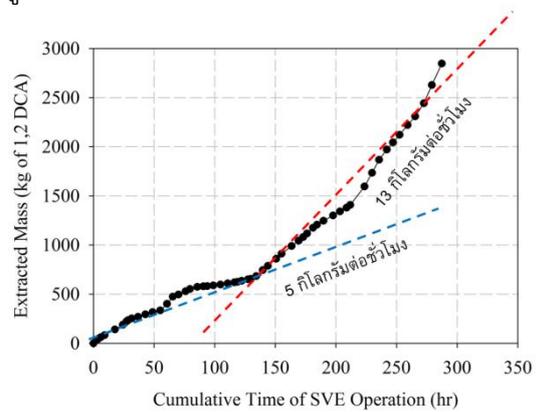
(ข) ภาพถ่ายพื้นที่จริงของจุดตรวจวัดไอน้ำ



(ค) รัศมีอิทธิพลของบ่อสูบน้ำอากาศ SVE-1



(ง) เครื่อง SVE



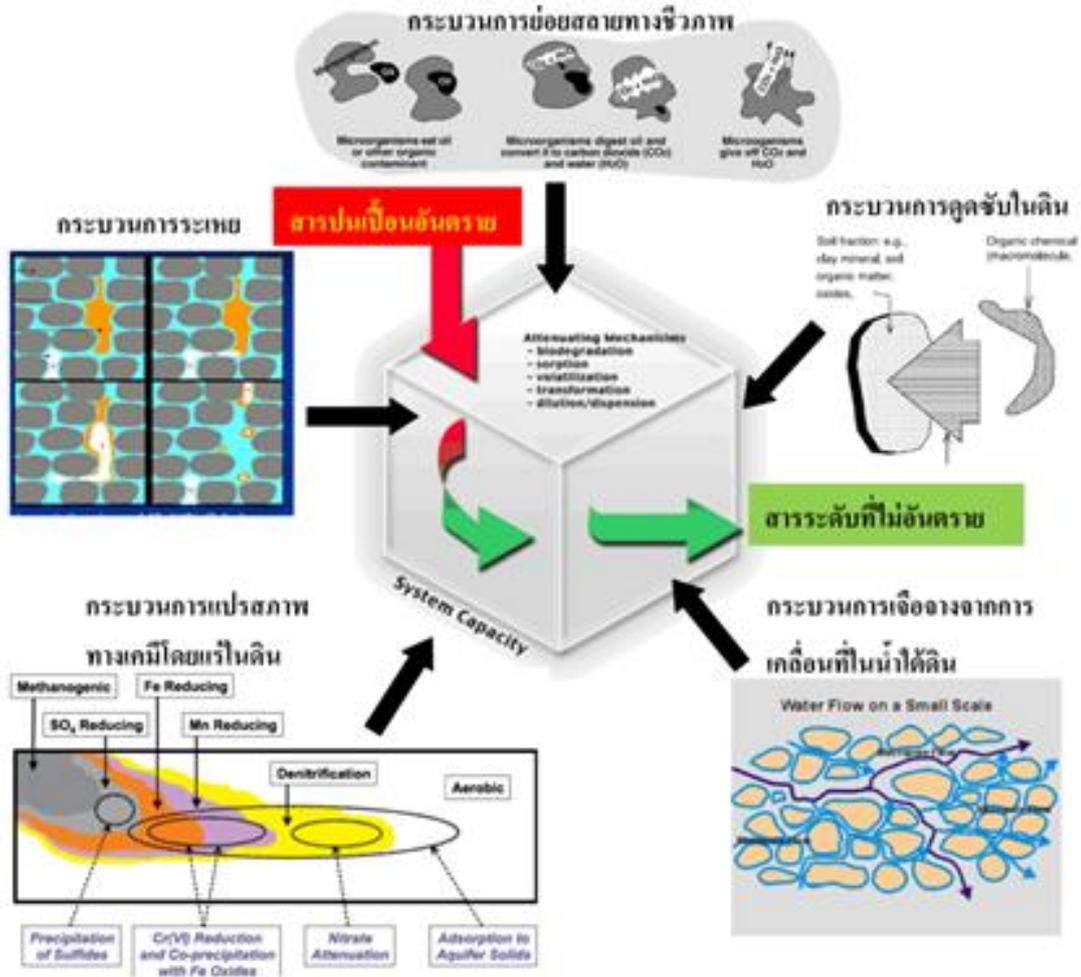
(จ) ปริมาณ 1,2-DCA ที่สกัดได้

รูปที่ 2-12 บ่อสกัดไอน้ำ เครื่อง SVE จุดตรวจวัดไอน้ำ และผลการทดสอบประสิทธิภาพ

หลังจากที่ได้ศึกษาสำรวจพื้นที่โดยละเอียดและติดตั้งระบบสกัดและตรวจสอบไอดินแล้ว จึงได้ดำเนินการเดินเครื่องสกัดไอดินเป็นเวลา 300 ชั่วโมงทำงาน (โดยสามารถเดินระบบวันละประมาณ 4-8 ชั่วโมง) ซึ่งอัตราการสูบอากาศอยู่ในช่วง 20-80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยอากาศหรือไอดินที่สูบขึ้นมาได้นั้น จะถูกนำเข้าไปในระบบกำจัดโดยการเผา (incineration) ผลการสกัดไอดินเป็นเวลานานประมาณ 300 ชั่วโมงทำงาน สามารถสกัดไอดินออกมาได้ปริมาตร 100 PV หรือประมาณ 15,000 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ได้ทำการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยเป็นปริมาณ 2,800 กิโลกรัม (คิดโดยรวมในรูปของ 1,2-ไดคลอโรอีเทน หรือ 1,2-DCA) โดยคิดเป็นอัตราการสกัดสารอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 5 และ 13 กิโลกรัมต่อชั่วโมงทำงาน ในช่วงฝนตก และช่วงฝนทิ้งช่วงตามลำดับ (รูปที่ 2-12)

## 2.5 การบำบัดพื้นฟูตามธรรมชาติ

กระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญในการบำบัดตามธรรมชาติประกอบด้วย การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Degradation) การระเหย (Volatilization) การแปลงสภาพทางเคมี (Chemical Transformation) การเจือจาง (Dispersion and Dilution) การสลายตัวทางกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Decay) และการถูกดูดซับโดยองค์ประกอบอินทรีย์และแร่ดินเหนียวในดิน (Sorption onto the organic matter and clay mineral in the soil) ดังแสดงในรูปที่ 2-13 ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถูกกำหนดโดยสภาพทางธรณีวิทยา ธรณีเคมี อุทกธรณีวิทยา ชีวเคมีธรณี ของพื้นที่ปนเปื้อนผนวกกับลักษณะทางเคมีและกายภาพของสารปนเปื้อน ด้วยเหตุนี้ศักยภาพของพื้นที่ปนเปื้อนในการใช้การบำบัดตามธรรมชาติเพื่อการฟื้นฟูจึงแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่สำหรับสารปนเปื้อนแต่ละชนิด พื้นที่ซึ่งไม่มีศักยภาพที่เอื้อต่อการใช้การบำบัดตามธรรมชาติจึงไม่เหมาะสำหรับการใช้วิธีนี้



รูปที่ 2-13 กระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญในการบำบัดตามธรรมชาติ

การติดตามตรวจสอบการบำบัดพื้นฟูตามธรรมชาติ (Monitored Natural Attenuation, MNA) หมายถึง การลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินอันเนื่องมาจากกระบวนการสลายตัวทางเคมี กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในดิน การดูดซับ การระเหย หรือกระบวนการทางกายภาพอื่นๆ ที่มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยลดลง เช่นกระบวนการแพร่กระจายหรือ dispersion (Fetter, 1999) โดยไม่ต้องอาศัยกิจกรรมอื่นใดหรือปัจจัยภายนอกเข้าช่วย ซึ่งพื้นที่ปนเปื้อนแต่ละแห่งจะมีคุณลักษณะเฉพาะของพื้นที่ และมีศักยภาพในการบำบัดพื้นฟูตามธรรมชาติไม่เท่ากัน ดังนั้น ในการศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนแต่ละแห่ง จึงควรมีการประเมินด้วยว่า การลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ มีความแตกต่างกันอย่างไร เพราะการบำบัดพื้นฟูด้วยเทคนิคอื่นๆ (active remediation) อาจไม่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนให้หมดไปในระยะเวลาสั้นๆ ส่วนใหญ่จะต้องปล่อยให้ระบบน้ำใต้ดินมีการจัดการตัวเองโดยการบำบัดพื้นฟูตามธรรมชาติต่อไป ตาราง 2-1 สรุปกระบวนการต่างๆ ที่มีผลต่อการลดลงของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

ตาราง 2-1 กระบวนการที่มีผลต่อการลดลงของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

| กระบวนการ   |                     | พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง               |
|-------------|---------------------|--|
| กายภาพ      | การแพร่กระจาย       | สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ( $\alpha$ ) |
|             |                     | อัตราการใช้ของน้ำใต้ดิน ( $v$ )        |
|             | การระเหยโดยตรง      | ความดันไอ/Raoult's Law                 |
|             | การระเหยจากสารละลาย | ค่าคงที่เฮนรี ( $K_H$ )                |
| กายภาพ+เคมี | การดูดซับ           | ค่าคงที่การดูดซับ ( $K_d$ )            |
|             |                     | ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน ( $f_{oc}$ )    |
| เคมี        | การสลายตัวทางเคมี   | ค่าคงที่การสลายตัว ( $k_h$ )           |
| ชีวภาพ      | การสลายตัวทางชีวภาพ | ค่าคงที่การสลายตัว ( $k_b$ )           |

## การสำรวจ เก็บตัวอย่างภาคสนาม

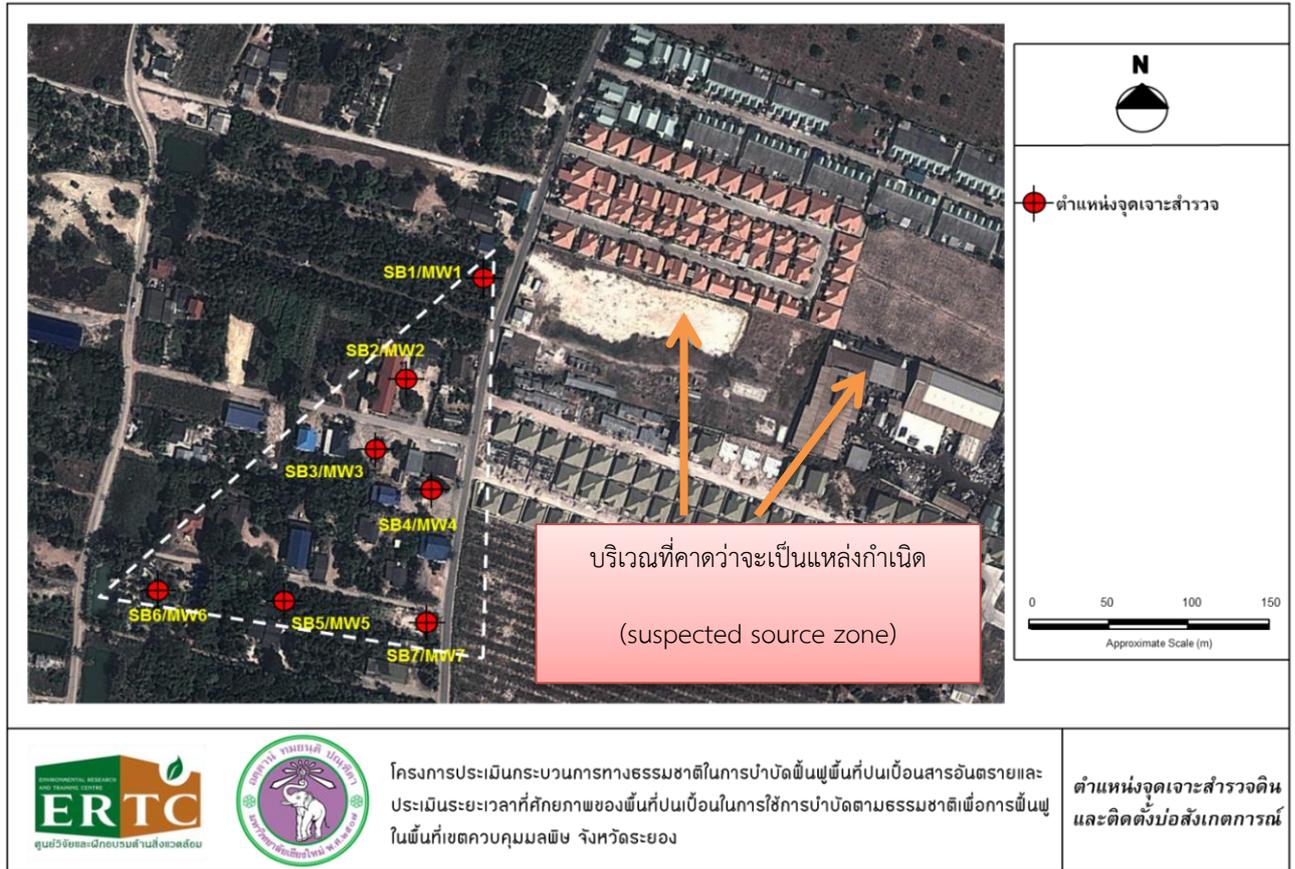
### 3.1 การขุดเจาะสำรวจและวิเคราะห์ดิน

จากการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากชาวบ้านในชุมชนโคกหินที่พบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน พบว่าในบริเวณพื้นที่ในด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของชุมชนที่ตรวจพบการปนเปื้อนดังกล่าว ได้เคยมีกิจกรรมการฝังกลบและเผาขยะอุตสาหกรรม ซึ่งอาจส่งผลให้มีการรั่วไหลของสารอินทรีย์ระเหยลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น จึงได้มีแนวคิดในการขุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินดินเพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินศักยภาพและระยะเวลาการสลายตัวตามธรรมชาติของสารปนเปื้อน และคาดการณ์ระยะเวลาการบำบัดพื้นฟูตามธรรมชาติ

ได้กำหนดตำแหน่งขุดเจาะสำรวจไว้ 7 ตำแหน่ง แสดงด้วยจุดสีแดงดังรูปที่ 3-1 (SB = Soil Borehole และ MW = Monitoring Well) ซึ่งตำแหน่งทั้งหมดอยู่ใกล้กันกับบ่อที่มีการตรวจพบการปนเปื้อน นอกจากนี้ ตำแหน่งบ่อจะอยู่ในกรอบรูปสามเหลี่ยมเส้นประ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทางอุทกธรณีวิทยาว่าด้วยการหาทิศทางการไหลของน้ำบาดาล แต่ละบ่อมีความลึกประมาณ 10-12 เมตร

การขุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ได้ใช้รถขุดเจาะดินแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®) เพื่อเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกทุกๆ 1 เมตร (รูปที่ 3-2) เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณี (รูปที่ 3-3) ทั้งนี้ ในกรณีที่ดินมีการเปลี่ยนชนิด/ประเภทอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับความลึก ก็จะเก็บตัวอย่างดินมากกว่า 1 ตัวอย่างต่อความลึกหนึ่งเมตร หลังจากนั้นได้ให้บริษัทขุดเจาะน้ำบาดาลมาพัฒนาหลุมเจาะสำรวจดินให้เป็นบ่อสังเกตการณ์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (รูปที่ 3-4)

หลังจากการพัฒนาบ่อบาดาลเสร็จสิ้นได้ทิ้งระยะเวลาให้ระดับน้ำใต้ดินระดับตื้นเข้าสู่ภาวะคงตัวประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากนั้นจึงทำการการวัดระดับน้ำบาดาลในบ่อที่พัฒนาไว้ เมื่อวัดระดับน้ำเสร็จแล้ว ก็ได้ดำเนินการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึม (hydraulic conductivity, K) ในบ่อที่พัฒนาไว้ด้วยวิธีการ Slug Test



รูปที่ 3-1 ตำแหน่งจุดเจาะสำรวจดินและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์



รูปที่ 3-2 การขุดเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ได้ใช้รถขุดเจาะดินแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®)



รูปที่ 3-3 เก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณี



รูปที่ 3-4 พัฒนาหลุมเจาะสำรวจดินให้เป็นบ่อสังเกตการณ์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว

### 3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

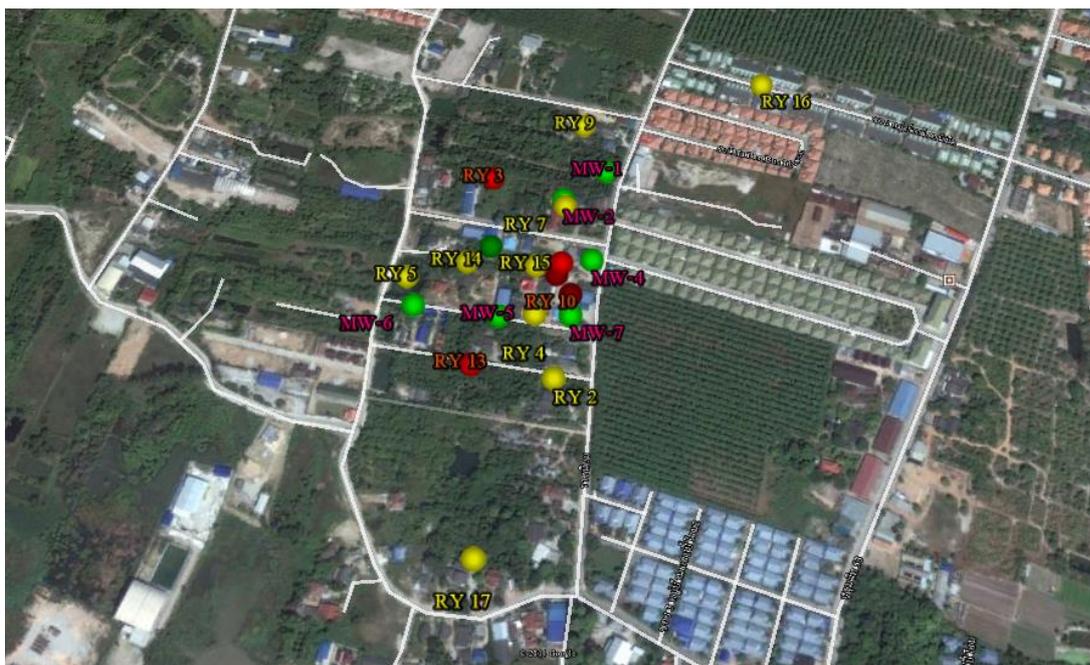
จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย (รูปที่ 3-5)

1. บ่อน้ำตื้นของประชาชนในพื้นที่ที่มีการใช้ในการอุปโภคและบริโภค จำนวน 14 บ่อ (RY2 ,RY3 ,RY4 ,RY5 ,RY6, RY7 ,RY9 ,RY10 ,RY12 ,RY13 ,RY14 ,RY15 ,RY16 ,RY17)
2. บ่อขุดเจาะใหม่ที่พัฒนาเป็นบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 7 บ่อ (MW1, MW2, MW4, MW5, MW6, MW7, MW8)

การเก็บตัวอย่างในบ่อน้ำตื้นประชาชนใช้ submersible pump เป็นการเก็บตัวอย่างที่ความลึกเดียวในแต่ละบ่อโดยกำหนดเป็นการเก็บที่ความลึกกึ่งกลางน้ำ โดย submersible pump สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ สำหรับบ่อขุดเจาะใหม่ที่พัฒนาเป็นบ่อสังเกตการณ์ใช้การเก็บตัวอย่างน้ำแบบ multi-level sampling โดยใช้ diffusion sampler ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างหลายระดับตามความลึก

น้ำใต้ดินจะถูกคุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดิน เช่น pH, Temperature, Conductivity, Oxidation-Reduction Potential, Turbidity, Nitrate, Dissolved Oxygen รวมทั้งปริมาณโลหะหนัก (As, Cd, Pb, Hg, Zn) ปริมาณอ็อกซิเจนในน้ำ (ประกอบด้วย HCO<sub>3</sub>, nitrate, sulfate, manganese, dissolved iron, และปริมาณสารอินทรีย์ระเหย 16 ชนิด (ประกอบด้วย 1,1-Dichloroethylene, trans-Dichloroethylene, cis-Dichloroethylene, Benzene, Trichloroethylene, Toluene, Tetrachloroethylene, Ethylbenzene, xylene, Dichloromethane, 1,1,1-trichloromethane, Carbon Tetrachloride, 1,2-dichloromethane, 1,1,2-trichloromethane, Styrene, Vinyl chloride)

การตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดินดำเนินการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดพารามิเตอร์แบบหั่วรวม ยี่ห้อ In-situ รุ่น TROLL 9500 สำหรับตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยถูกเก็บในขวด VOA Vial ขนาด 40 ml. โดยเก็บเต็มขวดไม่ให้มีฟองอากาศ และรักษาตัวอย่างด้วยสารละลาย NaHSO<sub>4</sub> จำนวน 120 ไมโครลิตร (เพื่อรักษาสภาพน้ำตัวอย่างโดยการควบคุม pH และยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์) (รูปที่ 3-6) ปิดฝาโดยไม่ให้มีฟองอากาศ ปิดทับด้วยพาราฟิล์ม แฉะเย็นในคูเลอร์ ส่งตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยใช้เทคนิค Purge and Trap, Capillary-Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry (อ้างอิงตาม วิธีการวิเคราะห์ US.EPA 5360) การวิเคราะห์หาปริมาณอ็อกซิเจนในน้ำใช้เครื่อง Ion Chromatography การวิเคราะห์โลหะหนักใช้ ICP-MS (วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการกลาง)



รูปที่ 3-5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3-6 ตรวจสอบวัดคุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดินดำเนินการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหย

## วิธีการวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ประเมินศักยภาพการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยโดยธรรมชาติ

การประเมินศักยภาพมักรวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวตามธรรมชาติของสารอินทรีย์ระเหยในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลหลายๆ ด้านร่วมกันกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากระบบน้ำใต้ดินเป็นระบบพลวัต (dynamic system) ที่มีอัตราการไหลซึ่งเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ (spatial variation) อยู่ตลอดเวลา และขนาดและขอบเขตการปนเปื้อนก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาได้อีกด้วย (temporal variation) นอกจากนี้ ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดิน-ตะกอนในชั้นน้ำใต้ดิน (heterogeneity) ยังเพิ่มความซับซ้อนให้กับการประเมิน ทั้งนี้ในแต่ละตำแหน่งหรือพื้นที่ปนเปื้อนจะมีอัตราการย่อยสลายที่ไม่เท่ากัน และระยะเวลาในการย่อยสลายในแต่ละตำแหน่งก็ยังไม่เท่ากันอีกด้วย บางตำแหน่ง/ความลึกสารปนเปื้อนอาจมีการย่อยสลายเชิงกายภาพได้มาก ในขณะที่บางตำแหน่ง/ความลึกสารปนเปื้อนอาจมีการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้มากกว่า

ความซับซ้อนของการประเมินอาจเพิ่มมากขึ้นเป็นทวีคูณหากการสลายตัวของสารปนเปื้อนมีโอกาสเกิดได้หลายทาง (multiple pathways) โดยเฉพาะสารปนเปื้อนในกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (PCE/TCE) ในชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นที่อาจมีแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำฝนและซึมลงไปเติม (recharge) ชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น ทำให้สารปนเปื้อนสามารถสลายตัวด้วยกระบวนการทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (aerobic/anaerobic dechlorination) และผลิตภัณฑ์ (daughter products) ก็สามารถสลายตัวต่อเนื่องไปได้ อีก ดังนั้นการประเมินศักยภาพและระยะเวลาของการสลายตัวตามธรรมชาติ จึงต้องอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) ที่สามารถจำลองผลของปัจจัยดังกล่าวข้างต้นได้ทั้งหมด หรือให้ได้มากที่สุด ซึ่งข้อมูลที่แบบจำลองคณิตศาสตร์จำเป็นต้องใช้ในการประเมิน ประกอบด้วย

- ก. ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่ง ขนาดและอัตราการรั่วไหลของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด (source characteristics) และการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน หรือขนาดขอบเขตของการปนเปื้อน (plume size)
- ข. ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งในที่นี้หมายถึงคุณสมบัติการไหลและการแพร่กระจายตัวของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งได้จากการทดสอบในภาคสนาม
- ค. ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี/ชีวเคมีของสารปนเปื้อน โดยข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ ค่าคงที่การสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยทั้งทางกายภาพและชีวภาพ (abiotic และ biotic transformation; ka และ kb)
- ง. ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี/ชีวเคมีของตัวกลางดิน-ตะกอน ได้แก่ ข้อมูลคุณสมบัติการดูดซับ (sorption coefficients หรือ Kd)

ปัจจัยที่ควบคุมการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยโดยธรรมชาติ ประกอบด้วย ปัจจัยทางกายภาพ เคมี และ ชีวภาพ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามสภาพทางธรรมชาติของพื้นที่ปนเปื้อนนั้นๆ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ค่าคงที่การดูดซับ (Kd) และปริมาณสารอินทรีย์ (TOC หรือ foc) ค่าคงที่การสลายตัวทางเคมี (kh) และทางชีวภาพ (kb) โดยใช้เทคนิค Microcosm (Alvarez and Illman, 2006) ซึ่งในส่วนนี้ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ดำเนินการทดสอบ

#### 4.1 การหาการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (foc) หรือสัดส่วนสารอินทรีย์ในดิน (fraction of organic carbon)

การหาค่า foc หรือสัดส่วนสารอินทรีย์ในดิน (fraction of organic carbon) มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประกอบการคำนวณหา Kd ซึ่งใช้ในการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อทำการเคลื่อนที่และนายการแพร่กระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในชั้นน้ำใต้ดิน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำตัวอย่างดินที่ได้จากการขุดเจาะสำรวจเพื่อทดสอบหาค่า foc ที่ความลึกต่างๆ ด้วยวิธี gravimetric analysis เมื่อได้ค่า foc แล้ว จะสามารถคำนวณหาค่า Kd ได้จากความสัมพันธ์

$$Kd = Koc \times foc$$

โดยค่า Koc (Octanol-Water Partition Coefficient) แสดงไว้ในตารางที่ 4-1

##### วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

1. ดินตัวอย่าง
2. ตู้อบ อุณหภูมิ 100-105 °C
3. ตู้ควบคุมความชื้น
4. ถ้วยกระเบื้องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร
5. ช้อนตักสาร
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
7. เตาเผาอุณหภูมิ 1,300 °C

##### วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น
2. นำตัวอย่างดินมาบดให้ละเอียดโดยร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 12 (ขนาด 2 มิลลิเมตร)
3. นำถ้วยกระเบื้องเข้าตู้อบ อุณหภูมิ 100-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น
4. ชั่งถ้วยกระเบื้องพร้อมบันทึก (น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อนเผา)
5. ชั่งดินตัวอย่างน้ำหนัก 10 กรัม พร้อมบันทึก (น้ำหนักดินตัวอย่างก่อนเผา )
6. นำถ้วยกระเบื้อง+ดินตัวอย่างเข้าตู้เผา ที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น
7. ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ดิน ที่เผาแล้ว (น้ำหนักหลังเผา)
8. คำนวณการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ) =  $\left[ \frac{(\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ดิน ก่อนเผา}) - (\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ดินหลังเผา})}{\text{น้ำหนักดินตัวอย่าง}} \right] \times 100$

ตารางที่ 4-1 ค่า  $K_{oc}$  สำหรับสารอินทรีย์ระเหยชนิดต่างๆ

| สารอินทรีย์ระเหย                                       | $\text{Log}(K_{oc})^1$ |
|--|------------------------|
| เบนซีน (Benzene)                                       | 1.92                   |
| คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)             | 2.35                   |
| 1,2-คลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)                    | 0.51                   |
| 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)              | 1.81                   |
| ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)      | 2.10                   |
| ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene) | 1.77                   |
| ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)                         | 1.68                   |
| เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)                             | 1.98                   |
| สไตรีน (Styrene)                                       | 2.87                   |
| เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)                | 2.42                   |
| โทลูอีน (Toluene)                                      | 2.06                   |
| ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)                    | 1.81                   |
| 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)            | 2.18                   |
| 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)            | 1.75                   |
| ไซลีน (Xylenes)  | 2.11-3.20              |

<sup>1</sup>Suthersan, S.S. (1997) Remediation Engineering: *Design Concepts*. CRC Press, Inc.

#### 4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (Kd)

การทดสอบ ค่า Kd โดยตรง โดยใช้ตัวอย่างดิน/ตะกอนที่ได้จากหลุมเจาะสำรวจ เพื่อยืนยันค่า Kd ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ( $K_d = K_{oc} \times f_{oc}$ ) ในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับสารอินทรีย์ (adsorption) ทำได้โดยนำตัวอย่างดินหรือตะกอนของชั้นน้ำใต้ดิน (จากหลุมเจาะ) นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีวิธีการดังนี้ นำตัวอย่างดินที่ได้มาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นและสาร VOC ออกจากตัวอย่างดิน ที่อุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้น นำตัวอย่างดินที่อบเสร็จแล้ว มาทำการร่อน (sieve) และนำดินที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร) มาทำการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับสาร VOC ซึ่งทำได้โดยเติมดินไปในสารละลาย VOC ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทั้งไว้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ววัดปริมาณการดูดซับ

##### วัสดุและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

1. ตัวอย่างดิน จำนวน 3 ตัวอย่าง
2. ตู้อบ 100-105 องศาเซลเซียส
3. โกร่ง
4. ซ้อนตักสาร
5. ขวดแก้ว (vial) ขนาด 50 ml
6. ชุด mininert valve
7. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
8. เครื่อง GC-ECD/FID

##### วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น
2. นำตัวอย่างดินมาบดให้ละเอียด โดยร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 12 (ขนาด 2 มิลลิเมตร)
3. ชั่งดินตัวอย่างจำนวน 20 กรัม ใส่ในน้ำใต้ดินไป 15 มิลลิลิตร ให้มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของดินต่อน้ำ 4:3
4. ใส่ TCE และ PCE ความเข้มข้นในขวดทดลอง = 1, 5, 10, 20, และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง 2 ครั้ง หรือจนกว่าจะมีสองขวดการทดลองที่ค่าใกล้เคียงกัน
5. เขย่าขวดทดลอง 2 วัน และวัดค่า TCE และ PCE ใน Headspace โดยทำการปรับเทียบกับ Calibration Curve

#### 4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมด้วยวิธีการ Slug Test

การทดสอบบ่อบาดาลเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ซึ่งในที่นี้หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความซึม (hydraulic conductivity, K) ที่จะนำไปใช้ประกอบการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow model) ในพื้นที่ศึกษา การทดสอบด้วยวิธี slug test นี้ ทำได้โดยการติดตั้งเครื่องบันทึกระดับน้ำอัตโนมัติ (pressure transducer) ในบ่อที่จะทดสอบ และตั้งโปรแกรมให้เครื่องบันทึกระดับน้ำทุกๆ 1 วินาที จากนั้นให้หย่อนมวลแท่งสแตนเลส (slug) ลงไปในบ่อทันที โดยให้แท่งสแตนเลส ดังกล่าวอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำตลอดเวลา และไม่มีการเคลื่อนไหวใดๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ โดยจะสังเกตได้จากระดับน้ำเริ่มคืนตัวเข้าสู่สภาวะปกติหรือใกล้เคียงระดับเดิม (static water level, SWL) ซึ่งจะดูได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทดสอบแบบ real-time monitoring (ดูรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2)

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการ slug test นี้ จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีที่เสนอโดย Bouwer and Rice (1976) โดยในทฤษฎีนี้ได้กล่าวไว้ว่า อัตราการไหลของน้ำออกจากบ่อบาดาลเมื่อมีระดับน้ำเพิ่มขึ้นจากระดับเดิมทันทีทันใด (instantaneous) เป็นไปตามสมการของ Theim (1906)

$$Q = 2\pi KL \frac{h_t}{\ln R_e/r_w} \quad (4-1)$$

โดยที่พารามิเตอร์ในสมการคือ

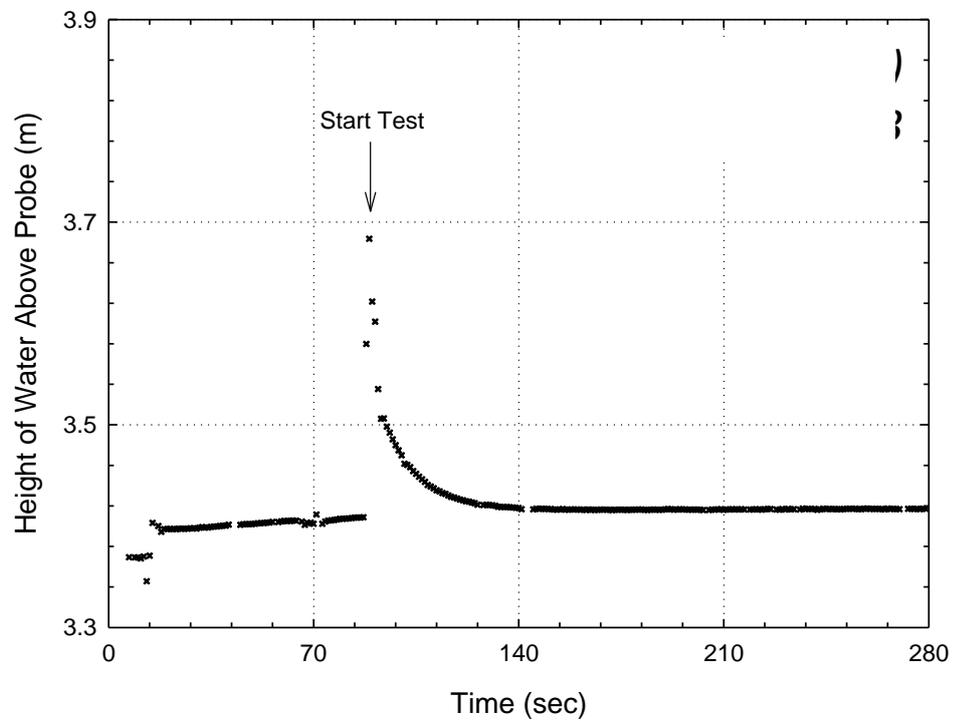
|       |   |
|-------|---|
| Q     | อัตราการไหล   |
| K     | สัมประสิทธิ์ความซึม   |
| L     | ความยาวของท่อกรอง   |
| $h_t$ | ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับน้ำคงตัว (เปลี่ยนแปลงกับเวลา) |
| $R_e$ | รัศมีประสิทธิผลของบ่อ   |
| $r_w$ | รัศมีของบ่อบาดาล  |

อัตราการลดลงของน้ำ เป็นไปตามความสัมพันธ์  $dh/dt = -Q/pr_c^2$  เมื่อ  $r_c$  คือรัศมีของท่อกรอง (casing) ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมสามารถคำนวณได้จากสมการ (3-2)

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นพูนน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง



รูปที่ 4-1 ตัวอย่างการทดสอบด้วยวิธี slug test ในบ่อบาดาล



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการทดสอบ

$$K = \frac{r_c^2 \ln R_e / r_w}{2L} \frac{1}{t} \ln \left[ \frac{h_0}{h_t} \right] \quad (4-2)$$

ซึ่งค่าของ  $\ln[R_e/r_w]$  นั้น Bower and Rice (1976) เสนอสมการคณิตศาสตร์ซึ่งได้จากการทดลองในภาคสนามสำหรับบ่อบาดาลหลายๆ บ่อ ซึ่งในกรณีที่เป็นบ่อบาดาลแบบ partially penetrating well จะใช้สมการ (3-3) แต่หากเป็นบ่อที่เป็น fully-penetrating well นั้น จะใช้สมการ (3-4) ดังนี้

$$\ln \left[ \frac{R_e}{r_w} \right] = \left[ \frac{1.1}{\ln H/r_w} + \frac{A + B \ln (b-H)/r_w}{L/r_w} \right]^{-1} \quad (4-3)$$

$$\ln \left[ \frac{R_e}{r_w} \right] = \left[ \frac{1.1}{\ln H/r_w} + \frac{C}{L/r_w} \right]^{-1} \quad (4-4)$$

ซึ่งค่า A, B, และ C ไม่มีหน่วยและเป็นฟังก์ชันของ  $L/r_w$  ซึ่งหาได้จากตารางที่เสนอโดย Bower and Rice (1976)

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ของ Hvorslev (1951) นั้น จะนำค่าอัตราส่วนของ  $h_t/h_0$  ที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา t (ให้เวลาเป็นแกนนอน) มาพล็อตในกราฟ semi-log โดยให้แกนตั้งเป็น log scale และแกนนอนเป็น linear scale โดยค่า  $h_t$  คือระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และค่า  $h_0$  คือระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตอนเริ่มต้นเมื่อมีการหย่อนแท่งเหล็กลงไปในบ่อบาดาล ดังนั้น อัตราส่วนของ  $h_t/h_0$  ในตอนเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 1 และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความซึม (K) สามารถหาได้จากสมการ (3-5)

$$K = \frac{r_w^2 \ln L/R_e}{2L \cdot t_{37}} \quad (4-5)$$

เมื่อ L คือระยะความยาวของท่อกรอง  $r_w$  คือรัศมีของบ่อบาดาล  $R_e$  คือรัศมีประสิทธิผลของบ่อบาดาล (รวมระยะกรุกรวดด้วย) และ  $t_{37}$  คือเวลาที่ค่าอัตราส่วนของ  $h_t/h_0$  ลดลงจาก 1 ไปเป็น 0.37

#### 4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในดินด้วยเทคนิค XRD

การหาชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน/ตะกอนของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษา ทำได้โดยการ ร่อนตะกอนดินที่เก็บตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างดินขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (mesh #200) ไปทำการ วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer) ของ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (รูปที่ 4-) ซึ่งผลการวิเคราะห์ถือว่าเป็นแบบกึ่ง เชิงปริมาณหรือ semi-quantitative โดยสามารถนำไปคำนวณชนิดแร่และสัดส่วนของปริมาณแร่ต่างๆ ที่อยู่ในดินได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งชนิดของแร่ที่อยู่ในดินจะเป็นตัวบ่งบอกว่า สามารถดูดซับหรือเป็นพื้นที่ว่างให้เกิดการ ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางกายภาพ/เคมี ได้ดีมากน้อยเพียงใด

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยนำตัวอย่างดินที่ต้องการวิเคราะห์มาบดให้ละเอียด แล้วนำมาอัดใส่แผ่น กระดาษสไลด์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Bruke D: Advance) โดยผล การวิเคราะห์สามารถนำมาแปลความหมายด้วยโปรแกรมฐานข้อมูล EVA



รูปที่ 4-3 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

#### 4.5 การทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์

สำหรับการทดสอบค่าคงที่การสลายตัวทางเคมี ( $k_n$ ) และทางชีวภาพ ( $k_b$ ) ใช้เทคนิค Microcosm (Alvarez and Illman, 2006) ซึ่งจะใช้ขวดทดลองขนาดเล็กหลายๆ ขวด โดยในขวดทดลองจะประกอบไปด้วยตัวอย่างดิน น้ำ และสารอินทรีย์ระเหยที่ทราบความเข้มข้นเริ่มต้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ จะเกิดการย่อยสลาย และสามารถนำขวดออกมาที่ละขวดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เหลือ หรือสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เวลาต่างๆ กัน เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลา จะสามารถวิเคราะห์หาอัตราการย่อยสลายได้ โดยเรียกการทดลองแบบนี้เรียกว่า Laboratory Microcosm Experiment (LME)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหย 2 ชนิด ประกอบด้วย [Trichloroethylene](#) (TCE) และ [Tetrachloroethylene](#) (PCE) ทั้งโดยมีกระบวนการทางชีวภาพร่วมด้วย (Biotic Process) และแบบที่ไม่รวมกระบวนการทางชีวภาพ (Abiotic Process) โดยทำการทดสอบ 2 ชุด สำหรับ Biotic Process และ Abiotic Process

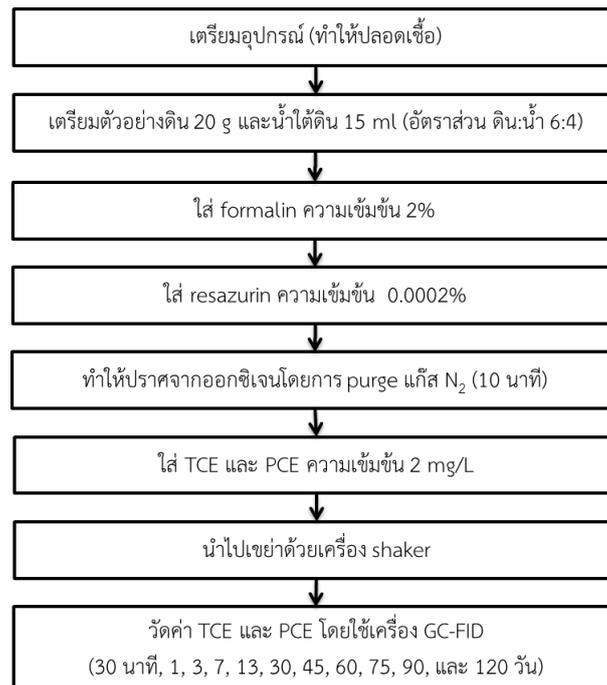
วิธีการทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งชุดทดลองออกเป็นสองชุดใหญ่ๆ โดยทั้งสองชุด จะมีการเติมสารละลายที่มีสารอินทรีย์ระเหยซึ่งทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (ในที่นี้ใช้สาร PCE และ TCE ซึ่งพบมากในพื้นที่ศึกษา) ลงในขวดทดลองขนาดเล็กที่เรียกว่า จำนวนหลายๆ ขวด (ประมาณ 5-10 ขวดต่อสารต่อดินหนึ่งชนิด) แล้วตั้งทิ้งไว้ให้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติ จากนั้นจะนำขวดตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่หายไปทีละเวลาต่างๆ กัน (เช่น เดือนละครั้ง หรือสัปดาห์ละครั้ง หรืออาจจะทุกวัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารว่าสลายตัวได้เร็วช้าเพียงใด) ซึ่งขวดทดลองหนึ่งขวดเมื่อนำมาเปิดวิเคราะห์แล้วจะใช้ต่อไม่ได้อีก ส่วนการทดลองในชุดที่สอง เป็นการทดลองแบบเดียวกันกับชุดแรก แต่ชุดที่สองให้จะเติมสารฆ่าเชื้อ (disinfectants) เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหยจะเกิดจากจากกระบวนการทางกายภาพ/เคมีเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ความถี่ของการนำขวดทดลองในชุดที่สองมาวิเคราะห์ อาจจะต้องใช้เวลาห่างกันมากกว่า เพราะการสลายตัวในชุดทดลองที่สองนี้เกิดขึ้นได้เฉพาะกระบวนการทางกายภาพ/เคมีเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากชุดทดลองแรกที่การสลายตัวเกิดขึ้นจากทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพร่วมกัน

เมื่อนำความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย (ที่ลดลง) หรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไปสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลา จะสามารถวิเคราะห์หาอัตราการสลายตัวได้ โดยหากสมมติให้การสลายตัวเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจะได้ค่าคงที่การสลายตัว ( $k$ ) ซึ่งในชุดทดสอบที่ 2 จะได้ค่า  $k_a$  (abiotic transformation) ส่วนในชุดทดสอบที่ 1 จะได้ค่าคงที่การสลายตัวที่เป็นผลรวมของของ  $k_b$  และ  $k_a$  (หมายเหตุ: กรณีนี้ ได้สมมติโดยให้ปฏิกิริยาการสลายตัวทางกายภาพ/เคมี เกิดคู่ขนานกับปฏิกิริยาการสลายตัวทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์) หากปฏิกิริยาการสลายตัวเกิดขึ้นซับซ้อนกว่านั้น (multiple degradation pathways) ก็ยังสามารถคำนวณหาค่า  $k_b$  และ  $k_a$  ได้แต่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ (รูปที่ 4-7 และ 4-8)

ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ ได้แก่ MW1-6, MW3-5 และ MW5-6 ที่ผ่านการอบไล่ไอน้ำที่โดยจะนำดินตัวอย่างประมาณ 20 กรัม และเติมน้ำใต้ดินปริมาณ 15 มิลลิลิตร ให้มีอัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 6:4 จากนั้นให้เติมอินดิเคเตอร์ resazurin เข้มข้นร้อยละ 0.0002 ลงในขวดทดลอง แล้วเติมสารละลาย TCE/PCE ลงในขวดทดลองและปรับปริมาตรจนมีความเข้มข้นอย่างละประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตั้งทิ้งไว้แล้วบันทึกปริมาณ PCE/TCE ที่เหลือ ณ เวลา 30 นาที และ 1, 3, 7, 13, 30 และ 50 วัน



(ก) ลำดับขั้นตอนในการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพ (รวมถึงทางเคมี)



(ข) ลำดับขั้นตอนในการทดสอบการสลายตัวทางเคมี

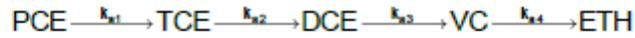
รูปที่ 4-4 ขั้นตอนการทดสอบการสลายตัวของ PCE/TCE



รูปที่ 4-5 ประมวลภาพการทดสอบการย่อยสลายใน Microcosm Experiment

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการคำนวณหาค่าคงที่การสลายตัวด้วยวิธีเชิงตัวเลข (numerical methods) โดยใช้วิธีรุงเง-คุตตาอันดับ 4 (4th-order Runge-Kutta) ซึ่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ดำเนินการเขียนโปรแกรมภาษา FORTRAN-90 ควบคู่กับเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter estimation) โดยใช้โปรแกรม UCODE (Poeter and Hill, 1998) เพื่อหาค่าคงที่การสลายตัวที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ การคำนวณนี้วิเคราะห์หาค่าคงที่การสลายตัวทั้งในกรณี biotic และ abiotic นั้น โดยสมมุติให้กลไกการสลายตัว (degradation pathways/mechanisms) เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบลูกโซ่ ดังนี้

กรณีที่ 1: มีการฆ่าเชื้อในหลอดทดลอง ดังนั้น การย่อยสลายจึงเป็นไปด้วยกระบวนการ abiotic transformation เพียงอย่างเดียวเท่านั้น



เมื่อ  $k_{a_i}$  คือค่าคงที่การสลายตัวแบบ abiotic ขั้นตอนที่  $i$

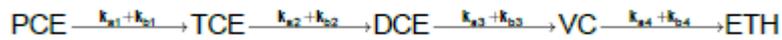
หากสมมุติให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของสารเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first-order reaction) ดังนั้น สมการสมดุลมวลของแต่ละสารประกอบสามารถเขียนได้ในรูปของระบบสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งมีความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร) ของ PCE, TCE, DCE, และ VC เป็นตัวแปร ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}[\text{PCE}] &= -k_{a1}[\text{PCE}] \\ \frac{d}{dt}[\text{TCE}] &= Y_{\text{TCE/PCE}}k_{a1}[\text{PCE}] - k_{a2}[\text{TCE}] \\ \frac{d}{dt}[\text{DCE}] &= Y_{\text{DCE/TCE}}k_{a2}[\text{TCE}] - k_{a3}[\text{DCE}] \\ \frac{d}{dt}[\text{VC}] &= Y_{\text{VC/DCE}}k_{a3}[\text{DCE}] - k_{a4}[\text{VC}] \end{aligned}$$

ทั้งนี้ ค่าคงที่  $Y_{\text{TCE/PCE}}$ ,  $Y_{\text{DCE/TCE}}$  และ  $Y_{\text{VC/DCE}}$  มีค่าเท่ากับ 0.7923, 0.7377 และ 0.6445 ตามลำดับ โดยระบบสมการดังกล่าวสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ ได้คือ

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [\text{PCE}] \\ [\text{TCE}] \\ [\text{DCE}] \\ [\text{VC}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_{a1} & 0 & 0 & 0 \\ Y_{\text{TCE/PCE}}k_{a1} & -k_{a2} & 0 & 0 \\ 0 & Y_{\text{DCE/TCE}}k_{a2} & -k_{a3} & 0 \\ 0 & 0 & Y_{\text{VC/DCE}}k_{a3} & -k_{a4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\text{PCE}] \\ [\text{TCE}] \\ [\text{DCE}] \\ [\text{VC}] \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

กรณีที่ 2: **ไม่มี**การฆ่าเชื้อในหลอดทดลอง ดังนั้น การย่อยสลายจึงเป็นไปด้วยกระบวนการ biotic และ abiotic transformation พร้อมๆ กัน



เมื่อ  $k_{a,i}$  และ  $k_{b,i}$  คือค่าคงที่การสลายตัวแบบ abiotic และ biotic ชั้นตอนที่ i ตามลำดับ หากสมมติให้ ปฏิกิริยาการสลายตัวดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง สมการสมดุลมวลสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [\text{PCE}] \\ [\text{TCE}] \\ [\text{DCE}] \\ [\text{VC}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(k_{a1}+k_{b1}) & 0 & 0 & 0 \\ Y_{\text{TCE/PCE}}(k_{a1}+k_{b1}) & -(k_{a2}+k_{b2}) & 0 & 0 \\ 0 & Y_{\text{DCE/TCE}}(k_{a2}+k_{b2}) & -(k_{a3}+k_{b3}) & 0 \\ 0 & 0 & Y_{\text{VC/DCE}}(k_{a3}+k_{b3}) & -(k_{a4}+k_{b4}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\text{PCE}] \\ [\text{TCE}] \\ [\text{DCE}] \\ [\text{VC}] \end{bmatrix} \quad (4-7)$$

ระบบสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (4-6) และ (4-7) สามารถประมาณค่าคงที่การสลายตัวได้

## แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย 1) แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 2) แบบจำลองการเคลื่อนที่และการสลายตัวของมวลสารในชั้นน้ำใต้ดิน

แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยา ทั้งในแง่ปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำหรือในชั้นตะกอนกรวด-ทรายที่สามารถกักเก็บและจ่ายน้ำได้ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา เมื่อได้ผลการจำลองรูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินแล้ว จึงนำผลลัพธ์ดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม (input data) ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร เพื่อทำนายการเคลื่อนที่และแนวโน้มการแพร่กระจายตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินต่อไป การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินนั้นได้ดำเนินการทั้งที่เป็นการจำลองสภาวะการไหลแบบคงที่ (steady-state) และไม่คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา (transient) ซึ่งในการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ต้องอาศัยข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา การวางตัวของชั้นหินอุ้มน้ำ การเติมน้ำใต้ดินโดยธรรมชาติ ปริมาณการใช้น้ำ ฯลฯ มาประกอบการสร้างแบบจำลอง โดยจัดทำเป็นแบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual model) ขึ้นก่อน แล้วจึงเปลี่ยนแบบจำลองมโนทัศน์ให้เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่อไป เมื่อได้แบบจำลองคณิตศาสตร์แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือต้องมีการปรับแบบจำลอง (model calibration) โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำใต้ดินมาประกอบ

รูปที่ 5-1 แสดงขั้นตอนทั่วไปที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Anderson and Woessner, 1992)

การจำลองการเคลื่อนที่/การสลายตัวของมวลสาร ต้องอาศัยอัตราการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน โดยในการจัดทำแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารนี้ ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับ คุณสมบัติการแพร่กระจายตัวและคุณสมบัติการดูดซับของสารเคมีในชั้นดิน และข้อมูลความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ต้องการจำลอง นอกจากนี้ ในแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ในดิน ยังต้องมีข้อมูลค่าคงที่การสลายตัวที่จำเป็นต้องนำเข้าไปในแบบจำลองอีกด้วย

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย (1) แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน MODFLOW (Harbaugh et al., 2000; Harbaugh et al., 2005) และ (2) แบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร RT3D (Clement, 1997; Johnson et al., 2006) โดยในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองแต่ละชนิดอย่างคร่าวๆ ดังนี้

### 5.1 แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน MODFLOW

แบบจำลอง MODFLOW เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงตัวเลขชนิดไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite-difference method) ซึ่งแบบจำลองที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย United States Geological Survey หรือ USGS แบบจำลอง MODFLOW นี้ ใช้สำหรับ “ประมาณ” คำตอบของสมการการ

ไหลของน้ำใต้ดินดังแสดงในสมการ (5-1) โดยการแบ่งชั้นหินอุ้มน้ำออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม (

รูปที่ 5-2) (Anderson and Woessner, 1992) แล้วทำการคำนวณค่าแรงดันน้ำหรือเฮด (head, h) ในแต่ละส่วนหรือในกริดที่แบ่งย่อยออกไป ซึ่งถูกกำหนดโดยเงื่อนไขขอบ (boundary conditions) และเงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) ของพื้นที่ศึกษา

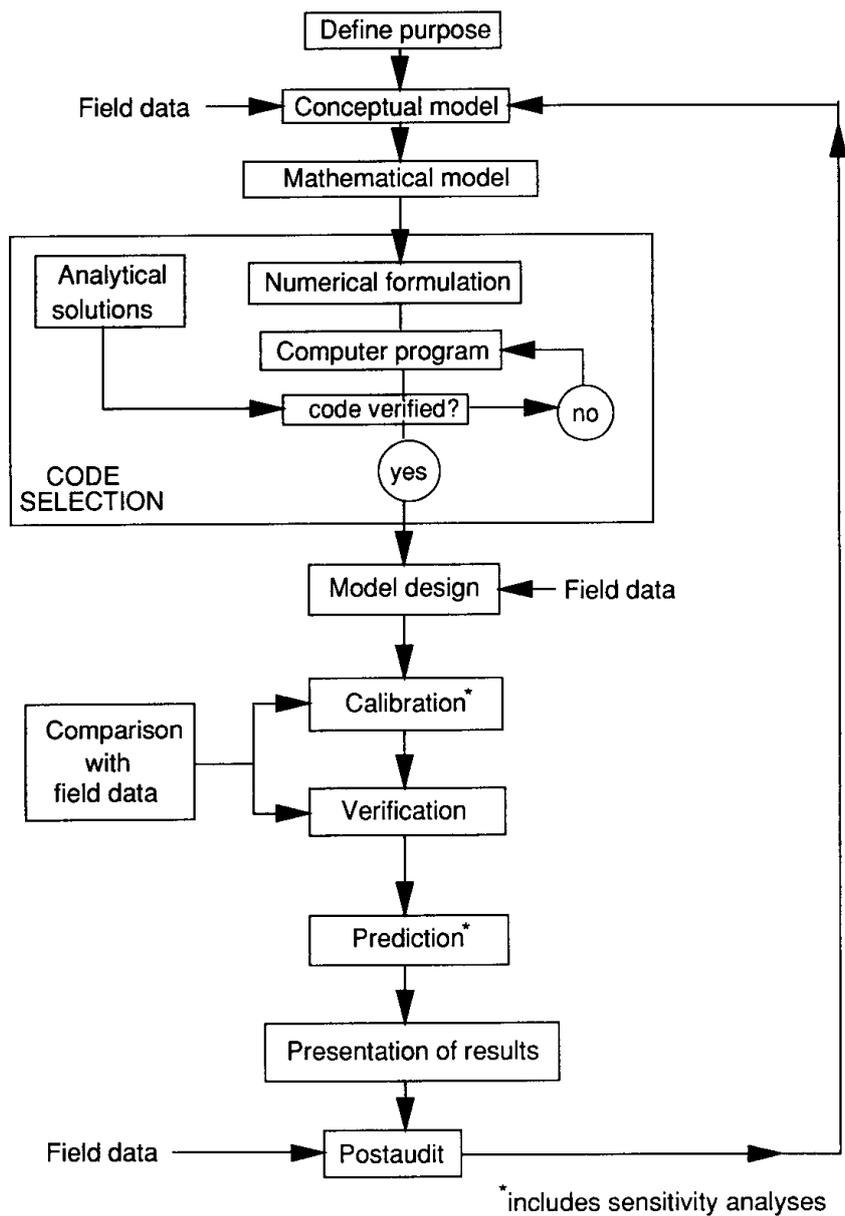
$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \bar{\nabla} \cdot K \nabla h + q_s \quad 5-1$$

$$\bar{\mathbf{v}} = -K \nabla h \quad 5-2$$

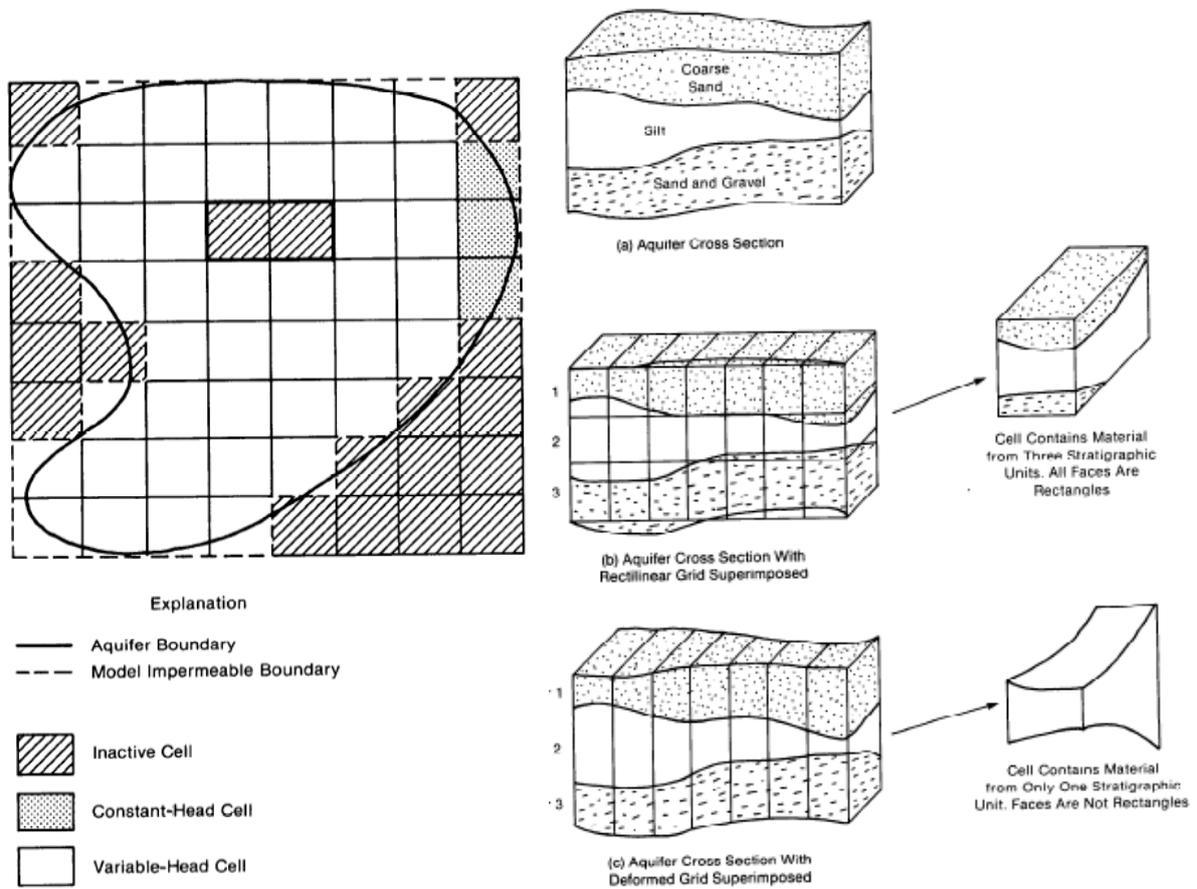
$$R_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right]}_{\text{dispersion}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \bar{\mathbf{v}} C_i}_{\text{advection}} + \underbrace{\frac{q_s}{\phi}}_{\text{flow}_{in}^{out}} \pm \underbrace{R_{ss,i}}_{\text{reaction}} \quad 5-3$$

ในการสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องมีการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เข้าไปในแบบจำลอง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของน้ำ (hydraulic conductivity, K) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (storage coefficient, S) สำหรับพารามิเตอร์  $q_s$  ในสมการ (5-1) นั้น หมายถึงอัตราการไหลเข้า-ออกของน้ำใต้ดินซึ่งเป็นผลมาจากเงื่อนไขขอบ เช่น อัตราการเติมน้ำใต้ดินโดยธรรมชาติ (recharge), การสูบน้ำในแบบจำลอง (pumping rate) และอัตราการคายระเหย (evapotranspiration) เป็นต้น ส่วนความเร็ว ( $\bar{\mathbf{v}}$ ) ของน้ำใต้ดินคำนวณจากค่าของเฮด (h) ที่ได้จากสมการ (5-1) โดยใช้กฎของดาร์ซีดังสมการ (5-2) ซึ่งความเร็วนี้ จะนำไปใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารต่อไป

โปรแกรม MODFLOW ประกอบด้วยแพ็คเกจ (packages) หรือ subroutines ต่างๆ มากมายกว่า 40 แพ็คเกจ โดยผู้ใช้สามารถเลือกใช้แพ็คเกจเหล่านี้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบ internal source/sink หรือกระบวนการอื่นๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง ตาราง 5-1 ได้สรุปบางส่วนของแพ็คเกจในโปรแกรม MODFLOW ที่พบว่ามีการใช้บ่อยๆ ในการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน แพ็คเกจ RIV, RCH, GHB, และ WEL เป็นแพ็คเกจของ MODFLOW ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้แพ็คเกจ MNW (multi-node well) แทนแพ็คเกจ WEL เนื่องจากบ่อสูบน้ำ/บ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษามีการเปิดรับน้ำ (screen interval) หลายๆ ชั้น (multiple model layers) การใช้ MNW จึงเหมาะสมกับสภาพที่แท้จริงมากกว่า



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Anderson and Woessner, 1992)



รูปที่ 5-2 การแบ่งชั้นหินอุ้มน้ำออกเป็นส่วนๆ ของแบบจำลอง (McDonald and Harabugh, 1988)

ตาราง 5-1 แพ้คเกจต่างๆ ของโปรแกรม MODFLOW

| แพ้คเกจ               |                | ชื่อแพ้คเกจ<br>ใน<br>MODFLOW | คำอธิบาย   |
|-----------------------|----------------|------------------------------|--|
| แม่น้ำ                |                | RIV                          | ใช้จำลองการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างน้ำใต้ดินและแม่น้ำ  |
| การเติมน้ำใต้ดิน      |                | RCH                          | ใช้จำลองในกรณีที่มีการเติมน้ำใต้ดินโดยธรรมชาติ เช่น ฝน   |
| การคายระเหย           |                | EVT                          | ใช้จำลองการคายระเหย (evapotranspiration) ของน้ำใต้ดินจากชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น  |
| ขอบเปิด               |                | GHB                          | ใช้จำลองขอบเปิดอันเนื่องมาจากการตัดขอบของแบบจำลองออก ทั้งๆ ที่ยังมีการไหลเข้า-ออกของน้ำใต้ดินอยู่  |
| บ่อสูบน้ำ             |                | WEL                          | ใช้จำลองการสูบน้ำออกจากชั้นน้ำ   |
|                       |                | MNW                          | ใช้จำลองการสูบน้ำออกจากบ่อใต้ดินที่มีระยะเจาะร่องหลายๆ ช่วง  |
| Internal Flow Package |                | HUF                          | ใช้แทน BCF และ LPF ในกรณีที่ชั้นหินอุ้มน้ำหรือตะกอนกรวดทรายมีการวางตัวค่อนข้างซับซ้อน ทั้งนี้ จะช่วยให้การปรับเทียบแบบจำลองหรือ model calibration ง่ายขึ้น |
| Process               | บ่อสังเกตการณ์ | OBS                          | ใช้คำนวณค่า hydraulic head ในบ่อสังเกตการณ์  |
|                       | ความอ่อนไหว    | SEN                          | ใช้คำนวณความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการปรับเทียบแบบจำลอง  |
| การปรับแบบจำลอง       |                | PEST*                        | ใช้ปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (optimized) โดยวิธี non-linear regression (Doherty et al., 1994)                                 |

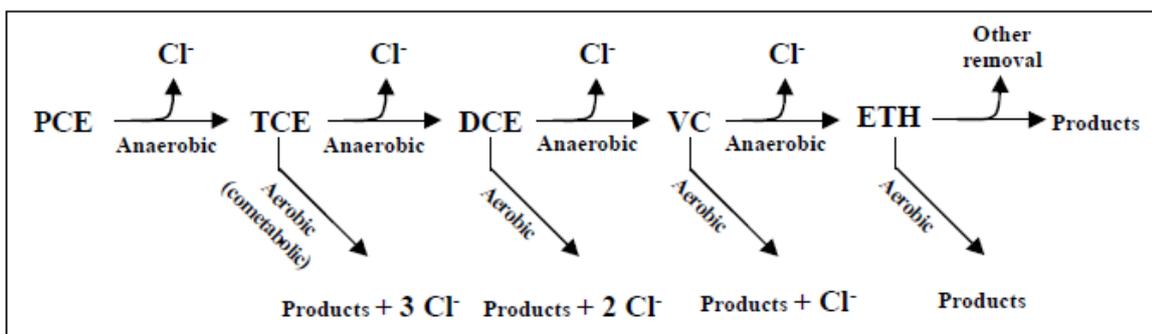
\*โปรแกรม PEST ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของ MODFLOW แต่ใช้ควบคู่กันกับ MODFLOW เพื่อปรับเทียบแบบจำลอง

## 5.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร RT3D

โปรแกรม RT3D (Reactive Transport in 3-D Groundwater Aquifer) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจาก MT3DMS (Zheng and Wang, 1999) และเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีหลายโมดูลที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่และการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหย โดยโมดูลที่มีให้เลือกนี้มีความแตกต่างกันที่ชนิดของปฏิกิริยาเคมี/ชีวเคมีที่ผู้ใช้ต้องการทำการจำลอง ซึ่งอาจประกอบด้วย ปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำใต้ดิน ปฏิกิริยาการดูดซับสารอินทรีย์โดยตัวกลาง ปฏิกิริยาการละลายของ NAPL (หรือ VOCs) ฯลฯ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้โมดูล Aerobic/Anaerobic Reductive Dechlorination เนื่องจากโมดูลดังกล่าวสามารถจำลองปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่ม chlorinated ethenes (PCE/TCE/DCE/VC) ในน้ำใต้ดินทั้งที่เป็นการสลายตัวโดยธรรมชาติ (natural attenuation, NA) และการสลายตัวแบบมีการบำบัด (enhanced attenuation, EA) รูปที่ 5-3 แสดงแนวคิดในการจำลองการสลายตัวของ chlorinated ethenes (เช่น PCE หรือ TCE) โปรแกรม RT3D นี้ใช้สำหรับประมาณคำตอบของสมการ (5-3) ซึ่งใช้อธิบายการเคลื่อนที่และการสลายตัวของมวลสารในน้ำใต้ดิน ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ กระบวนการพา (advection) กระบวนการแพร่กระจาย (dispersion) แหล่งกำเนิด (source/sink) กระบวนการดูดซับ (sorption) และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมี (chemical or microbial reaction) โดย  $C_i$  เป็นความเข้มข้นของสปีชีส์  $i$  ในน้ำใต้ดิน ดังนั้น ถ้าการจำลองประกอบไปด้วย 6 สปีชีส์ (PCE, TCE, DCE, VC, ETH, Cl) ก็จะต้องแก้สมการ (5-3) จำนวน 6 สมการพร้อมๆ กัน สำหรับแพ็คเกจต่างๆ ของโปรแกรม RT3D แสดงไว้ใน

ตาราง 5-2 แพ็คเกจต่างๆ ของโปรแกรม RT3D ซึ่งต้องเลือกใช้แพ็คเกจ User's Define (rxns.dll) ในโปรแกรม GMS 7.1 สำหรับรายละเอียดสมการคณิตศาสตร์ของโมดูลดังกล่าวสามารถดูได้จาก Johnson et al. (2006)



รูปที่ 5-3 แนวคิด (concept) ในการจำลองของโมดูล Aerobic/Anaerobic Dechlorination

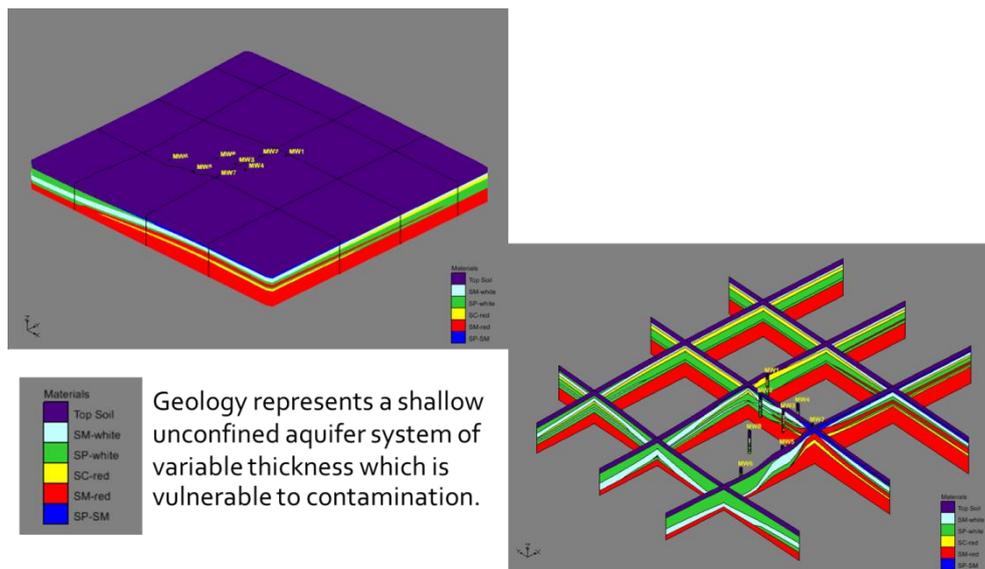
ตาราง 5-2 แพ็คเกจต่างๆ ของโปรแกรม RT3D

| แพ็คเกจ                               | ชื่อ แพ็ค เกจ ใน RT3D  | คำอธิบาย   |
|---------------------------------------|------------------------|--|
| Basic Transport                       | BTN                    | ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับจำนวนและขนาดของกริด ความพรุน เวลาในการจำลอง จำนวนสปีชีส์ที่จำลอง  |
| Advection                             | ADV                    | จำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารโดยการพา  |
| Dispersion                            | DSP                    | จำลองเคลื่อนที่ของมวลสารโดยการแพร่กระจาย   |
| Source/Sink/Mixing                    | SSM                    | จำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารโดยการไหลเข้าออกตามเงื่อนไขขอบ เช่น การสูบน้ำ การรั่วไหลของสารปนเปื้อน ฯลฯ  |
| Sorption Reaction                     | RCT                    | จำลองปฏิกิริยาการดูดซับของสารอินทรีย์โดยตัวกลางดิน/ตะกอน   |
| Redox-Linked Reductive Dechlorination | User Define (rxns.dll) | จำลองการย่อยสลาย PCE/TCE กลายเป็น cis-DCE, VC, และ ET โดยใช้ตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ กัน (เช่น O <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Fe <sup>III</sup> ) และมีการใช้สารอาหารซึ่งอยู่ในรูป dissolved organic carbon (substrate utilization) อีกด้วย |

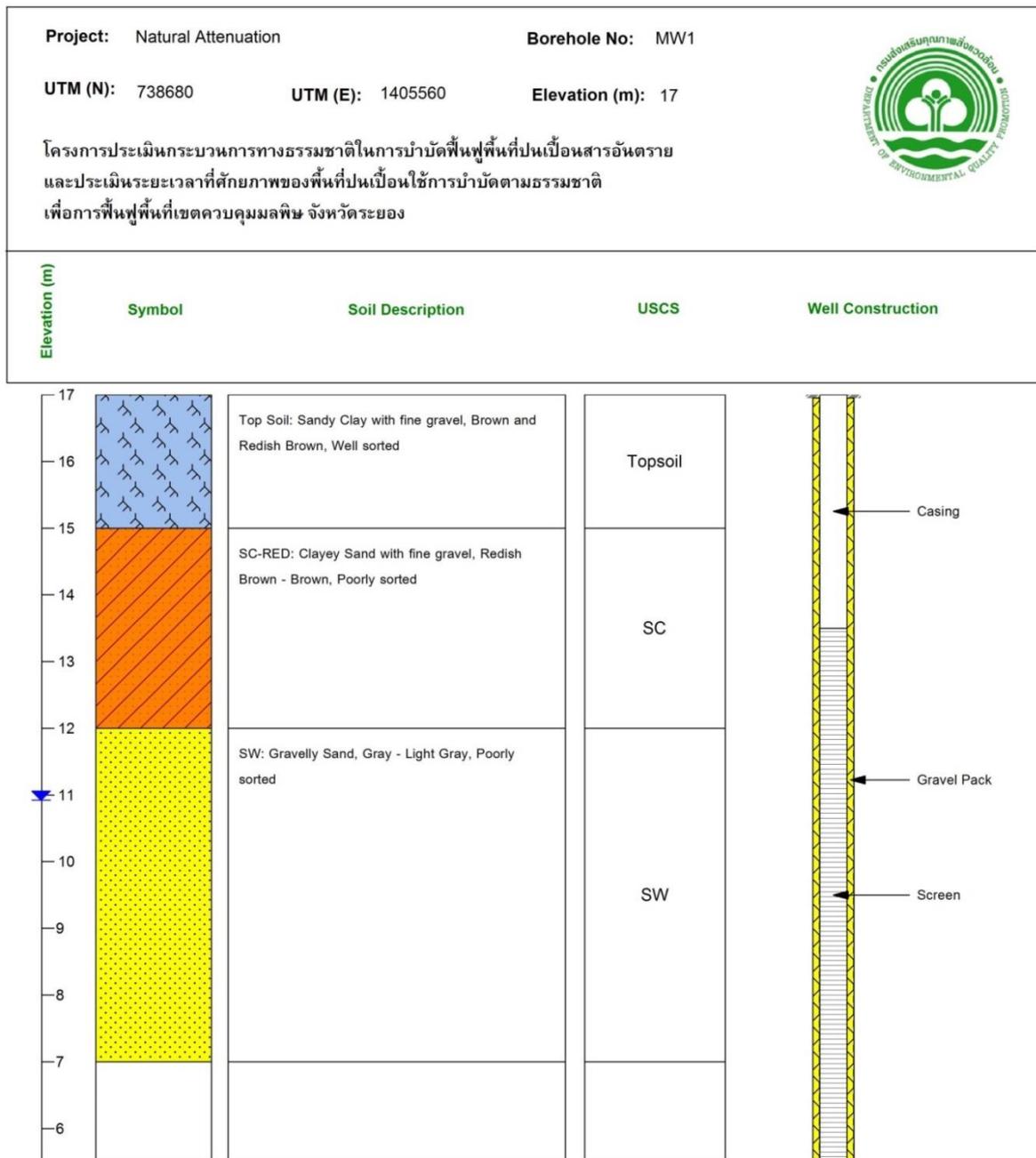
## ปัจจัยทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ที่มีผลต่อการสลายตัวโดยธรรมชาติ

### 6.1 ลักษณะชั้นดิน-ตะกอนในพื้นที่ศึกษา

จากการขุดเจาะสำรวจชั้นดินโดยใช้รถขุดเจาะแบบต่อเนื่อง (Geoprobe) ได้จัดทำ soil boring logs การวางตัวของชั้นดินตะกอนในชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น ซึ่งพบว่าการวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนที่ไม่ต่อเนื่องและมีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอในพื้นที่ศึกษาโดยได้แบ่งชั้นดิน-ตะกอนออกเป็น 6 ประเภทแสดงตามแผนภาพรั้วหรือ fence diagram (รูปที่ 6-1) ลักษณะของชั้นดิน-ตะกอนในแต่ละหลุมขุดเจาะแสดงในรูปที่ 6-2 ถึง 6-8

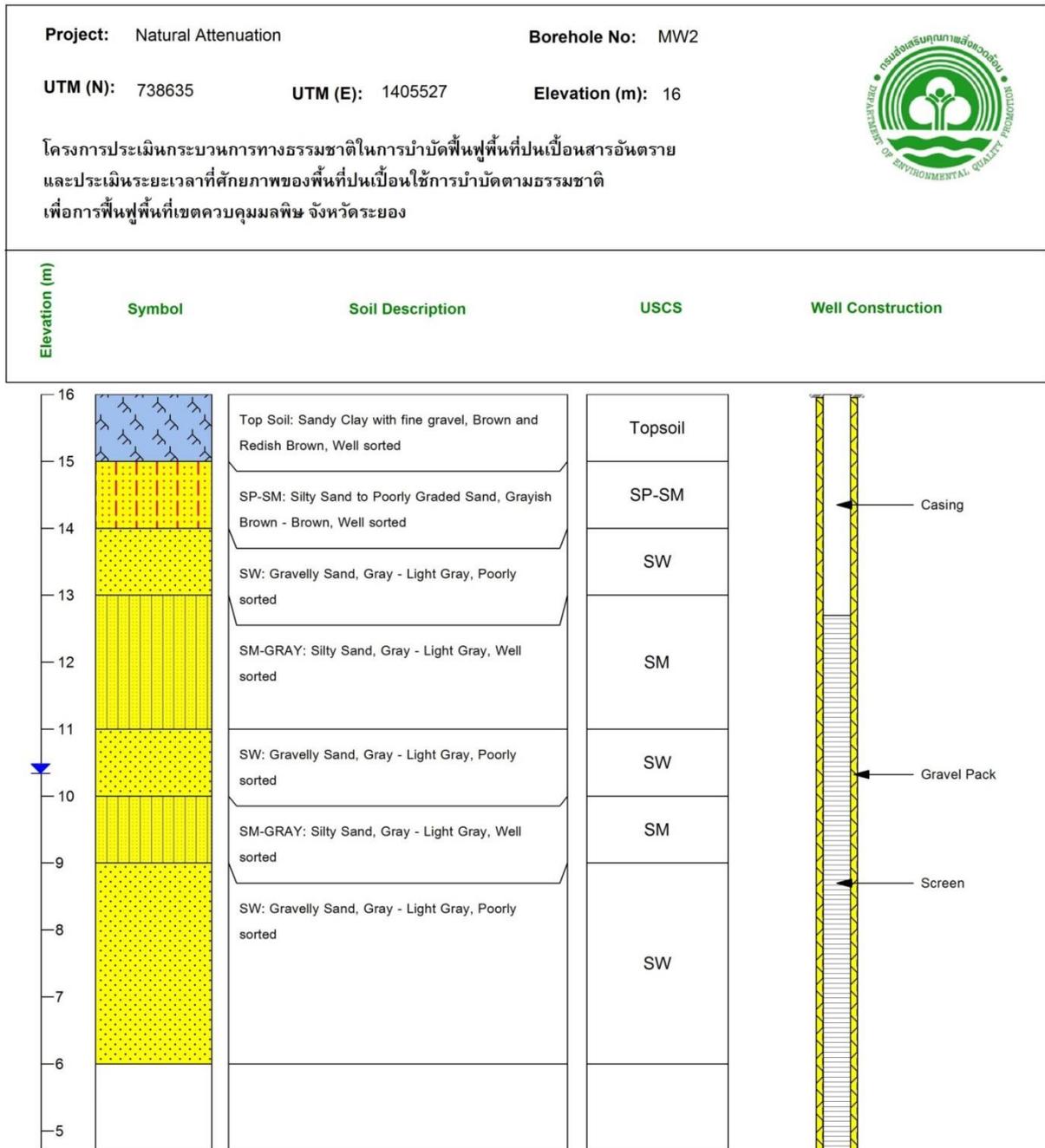


รูปที่ 6-1 ลักษณะการวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนในพื้นที่ศึกษา (solid model)



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

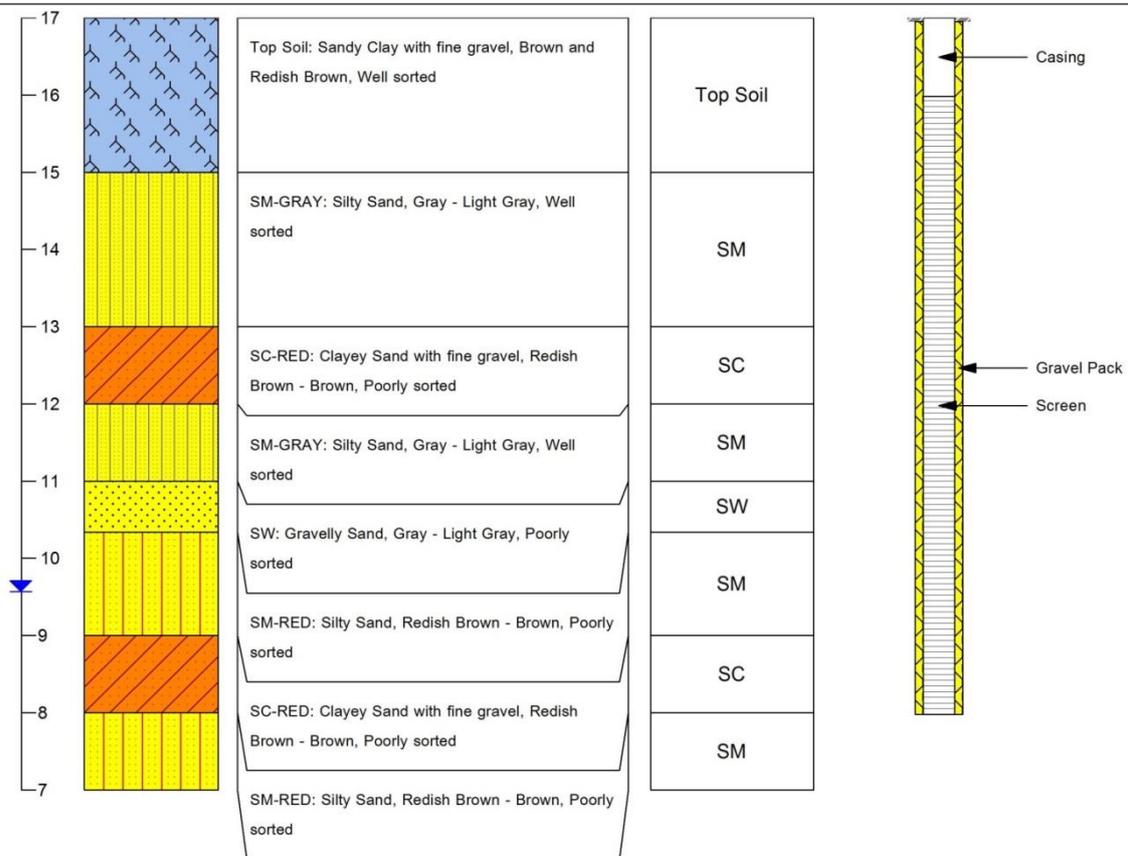
รูปที่ 6-2 soil boring logs ของบ่อจุดเจาะ MW1



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

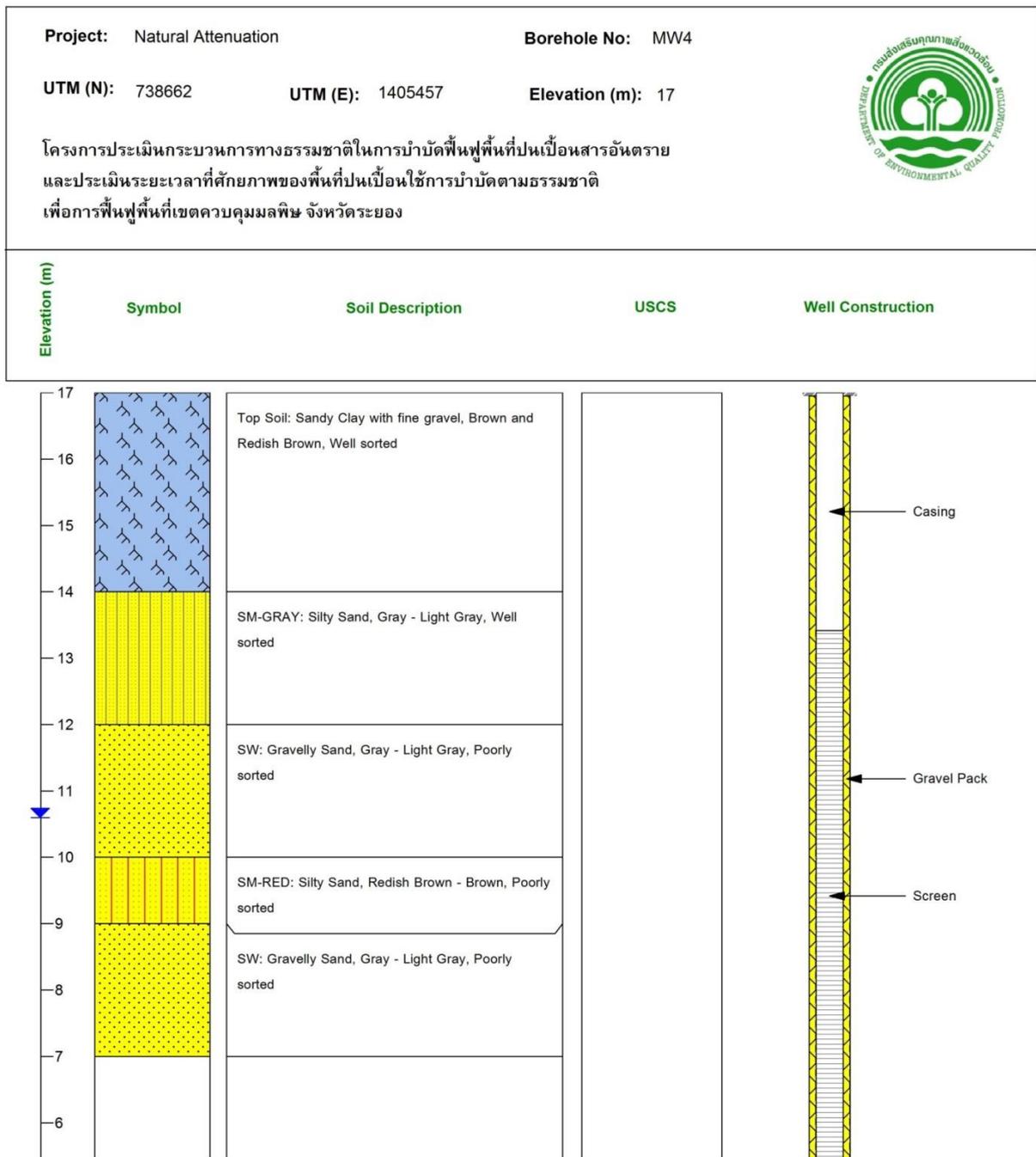
รูปที่ 6-3 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW2

|  |                         |   |                          |                          |
|--|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| <b>Project:</b> Natural Attenuation  | <b>Borehole No:</b> MW3 |  |                          |                          |
| <b>UTM (N):</b> 738630   | <b>UTM (E):</b> 1405460 |   | <b>Elevation (m):</b> 17 |                          |
| <p>โครงการประเมินกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตราย และประเมินระยะเวลาที่ศักยภาพของพื้นที่ปนเปื้อนใช้การบำบัดตามธรรมชาติ เพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง</p> |                         |   |                          |                          |
| <b>Elevation (m)</b>   | <b>Symbol</b>           | <b>Soil Description</b>   | <b>USCS</b>              | <b>Well Construction</b> |



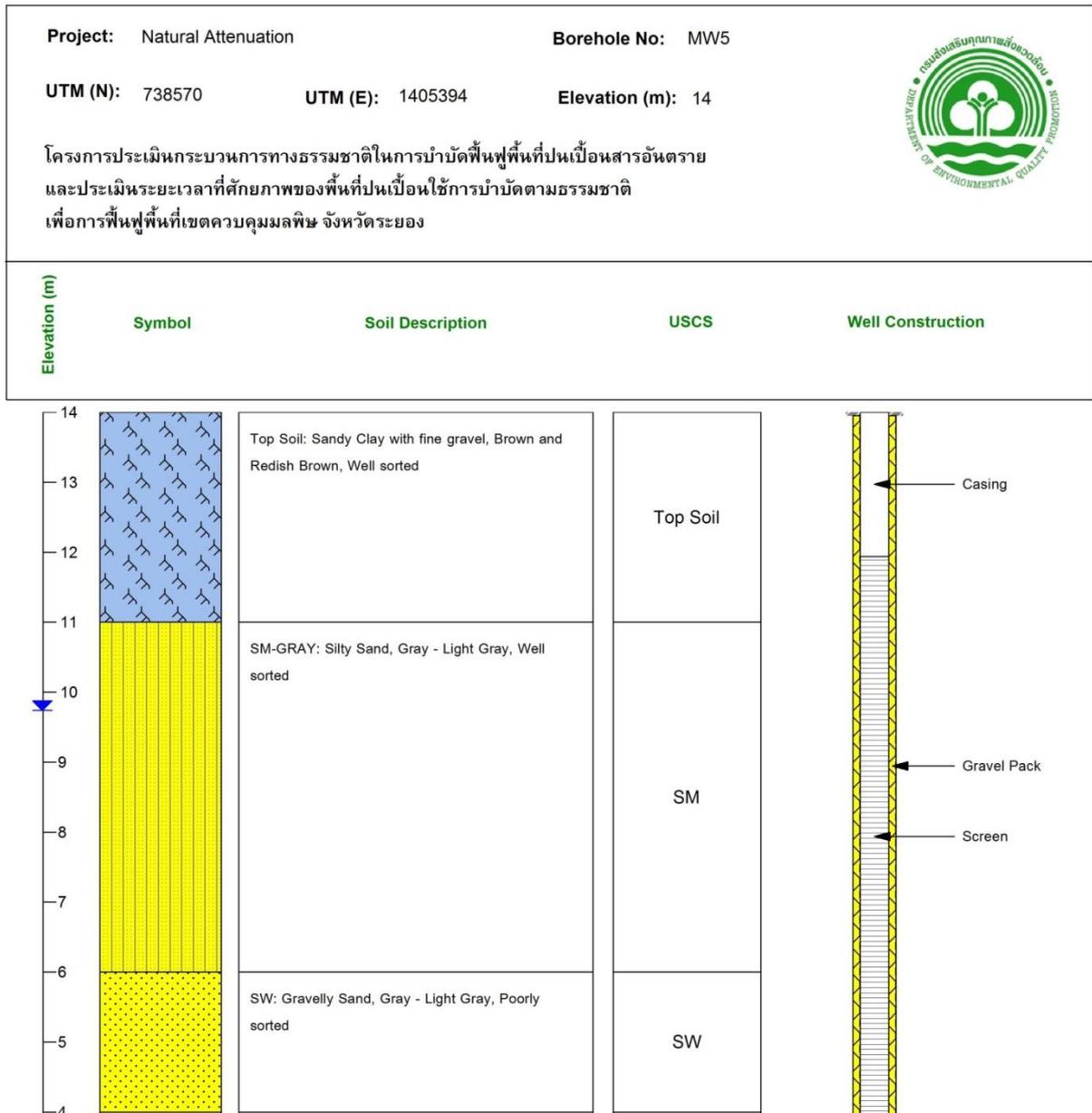
Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

รูปที่ 6-4 soil boring logs ของบ่อชุดเจาะ MW3



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

รูปที่ 6-5 soil boring logs ของบ่อชุดเจาะ MW4



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

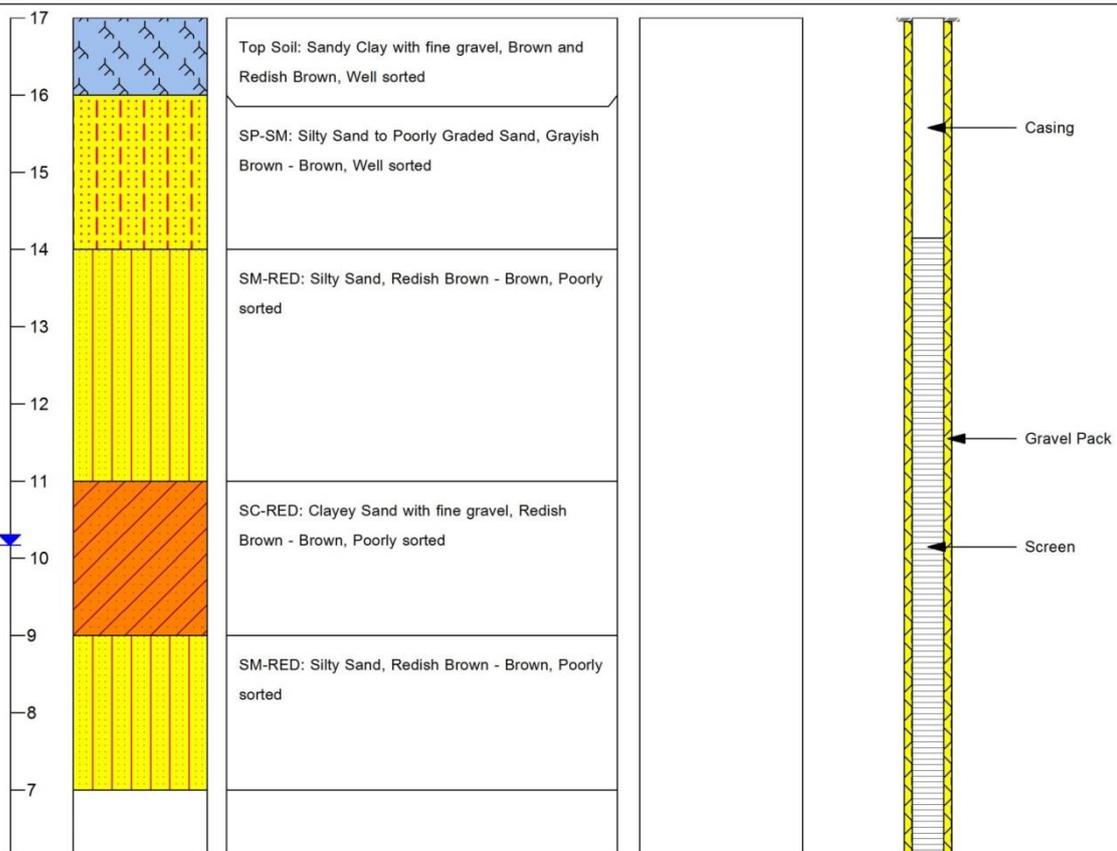
รูปที่ 6-6 soil boring logs ของบ่อขุดเจาะ MW5



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

รูปที่ 6-7 soil boring logs ของบ่อชุดเจาะ MW6

|   |                         |   |                          |                          |
|---|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| <b>Project:</b> Natural Attenuation   | <b>Borehole No:</b> MW7 |  |                          |                          |
| <b>UTM (N):</b> 738642  | <b>UTM (E):</b> 1405394 |   | <b>Elevation (m):</b> 17 |                          |
| โครงการประเมินกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตราย และประเมินระยะเวลาที่ศักยภาพของพื้นที่ปนเปื้อนใช้การบำบัดตามธรรมชาติ เพื่อการฟื้นฟูพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง |                         |   |                          |                          |
| <b>Elevation (m)</b>  | <b>Symbol</b>           | <b>Soil Description</b>   | <b>USCS</b>              | <b>Well Construction</b> |



Department of Geological Sciences  
Faculty of Science, Chiang Mai University

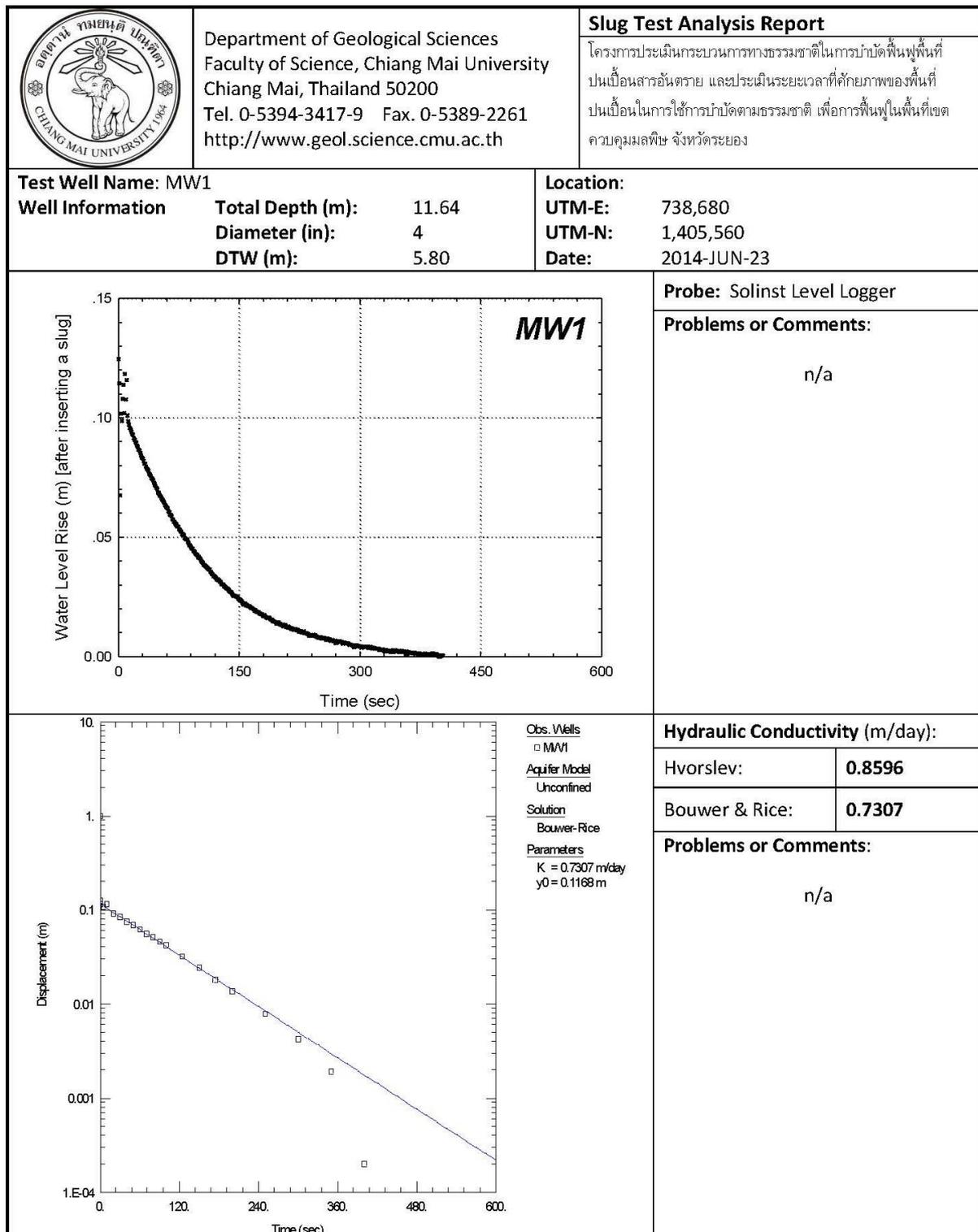
รูปที่ 6-8 soil boring logs ของบ่อชุดเจาะ MW7

## 6.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นด้วยวิธีการ Slug Test

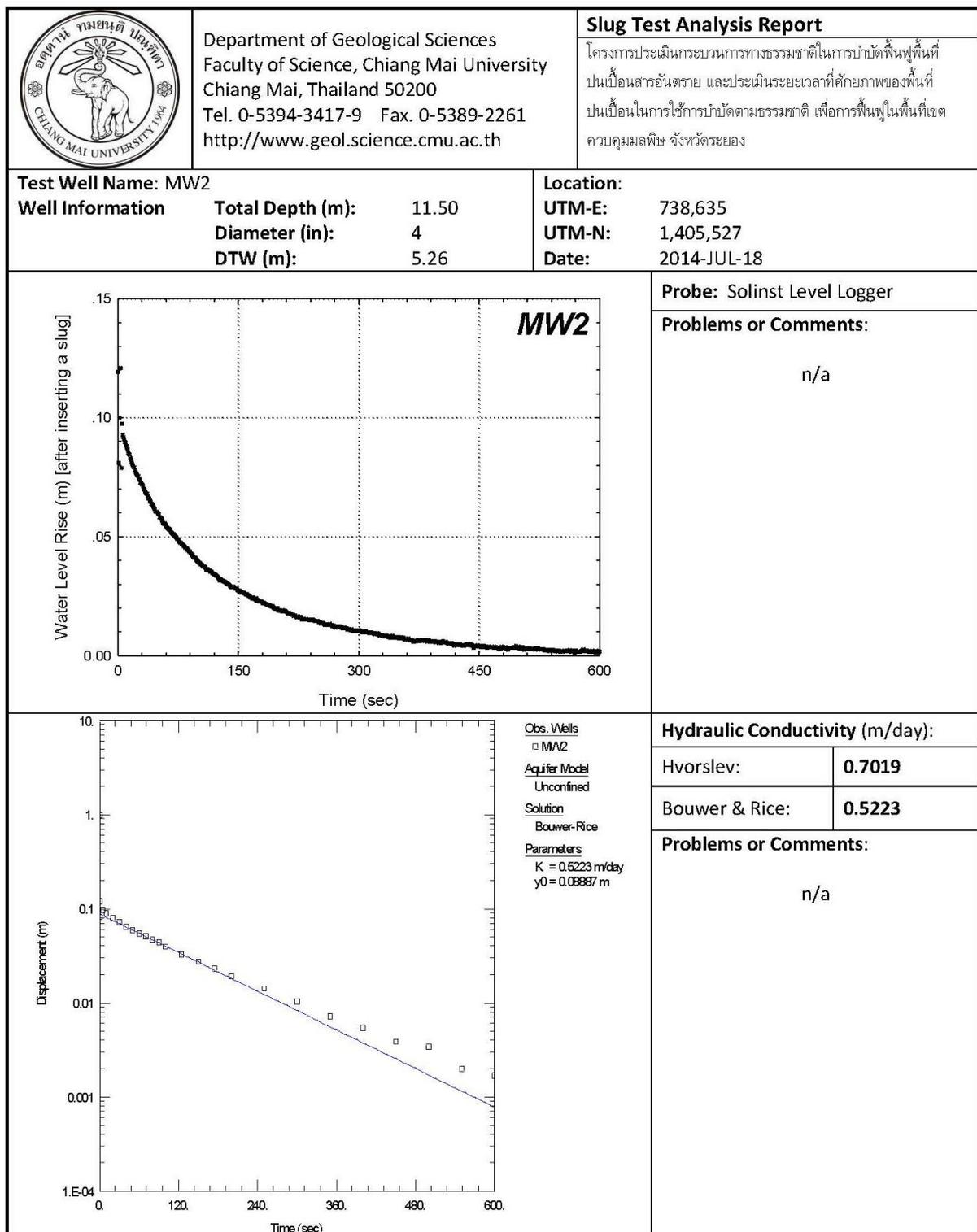
จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธี slug test พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.5-4.6 เมตร/วัน แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นของชั้นดินอุ้มน้ำในแต่ละบ่อทดสอบโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของ Hvorslev และ Bouwer and Rice ในตารางที่ 6-1 และผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6-9 ถึง 6-16

ตารางที่ 6-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นในบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา

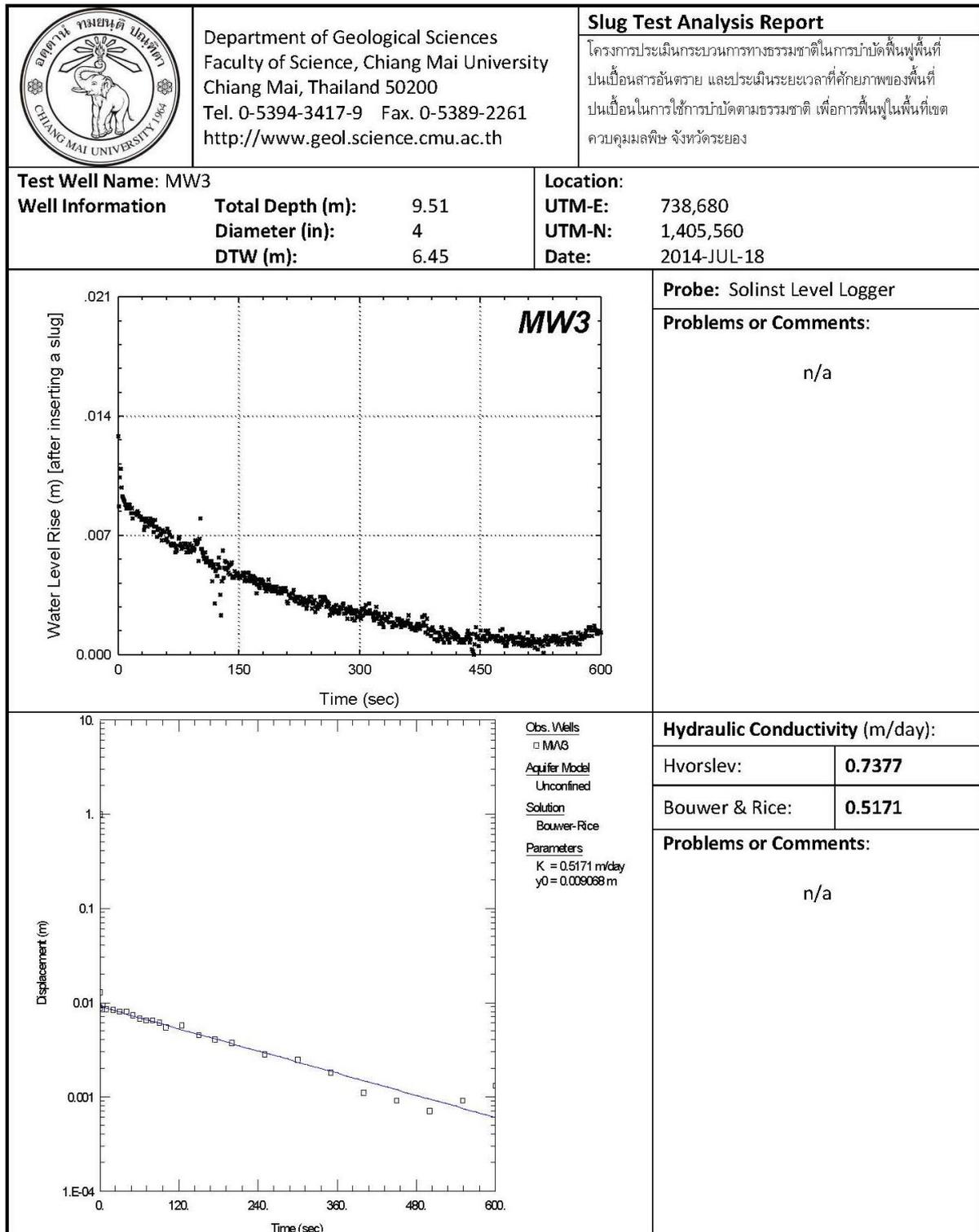
| ตำแหน่งทดสอบ | ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้น (เมตร/วัน) |
|--------------|------------------------------------|
| MW1          | 0.7                                |
| MW2          | 0.5                                |
| MW3          | 0.5                                |
| MW4          | 1.2                                |
| MW5          | 1.4                                |
| MW6          | 4.6                                |
| MW7          | 1.2                                |
| MW8          | 1.3                                |



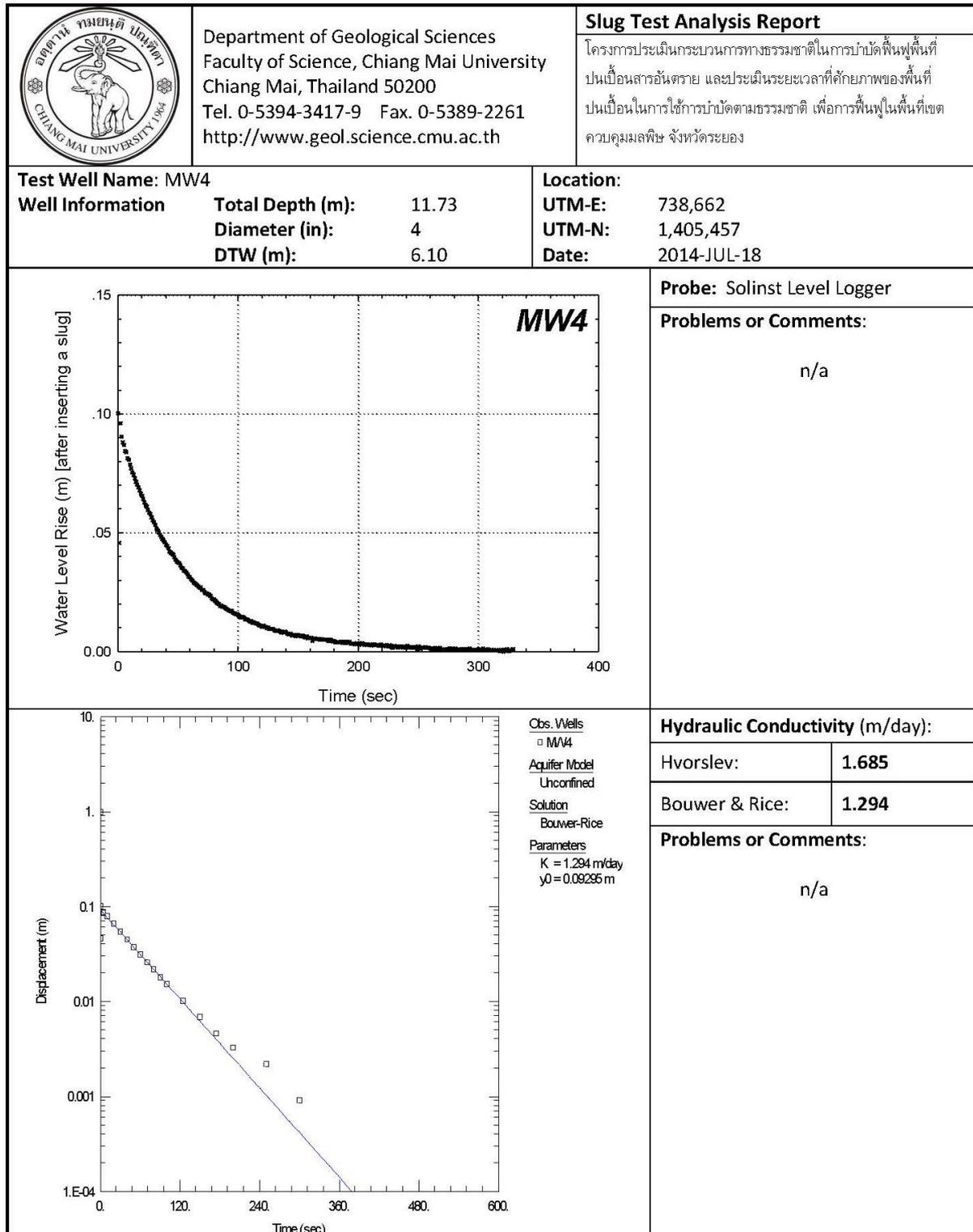
รูปที่ 6.9 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW1



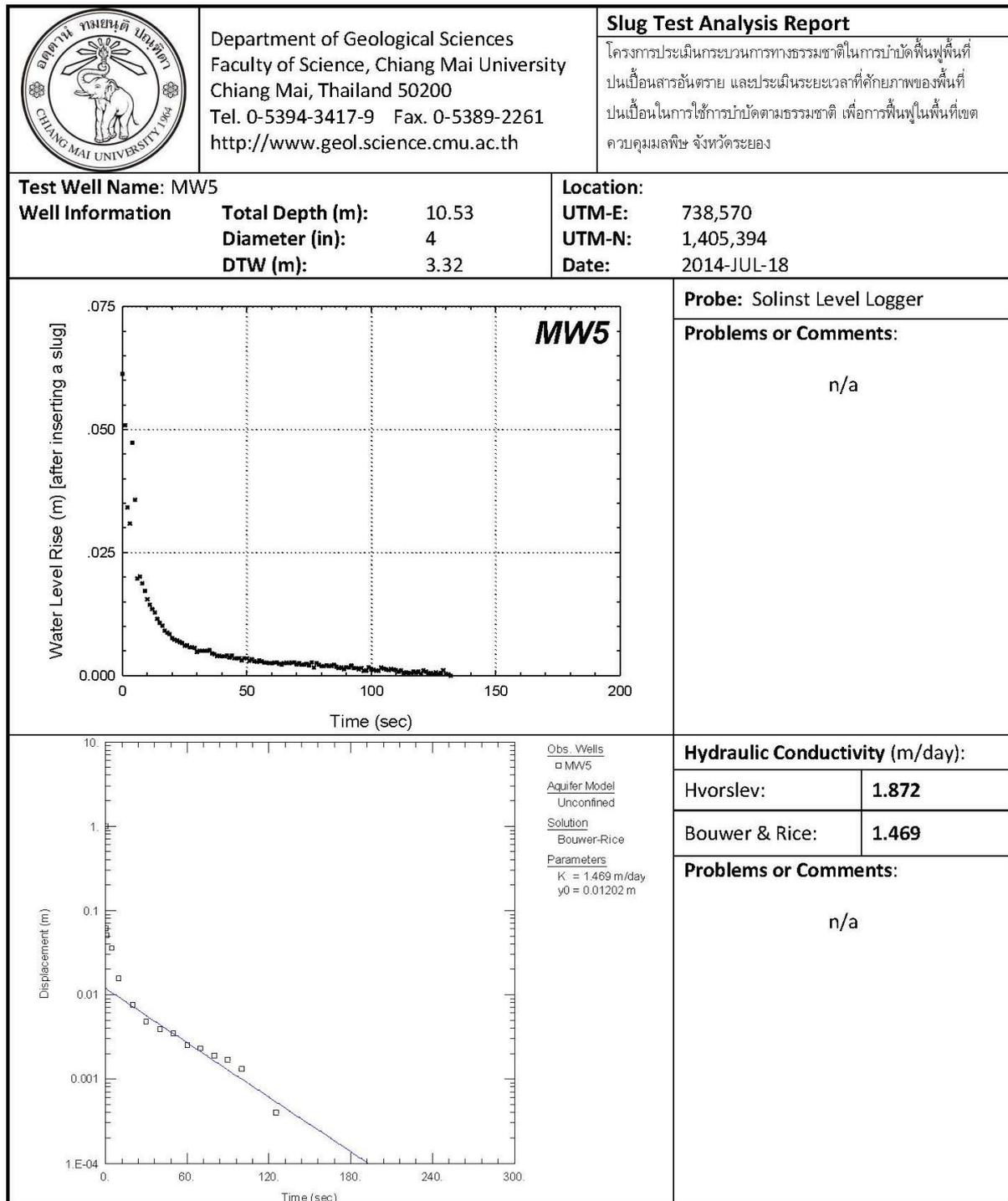
รูปที่ 6.10 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW2



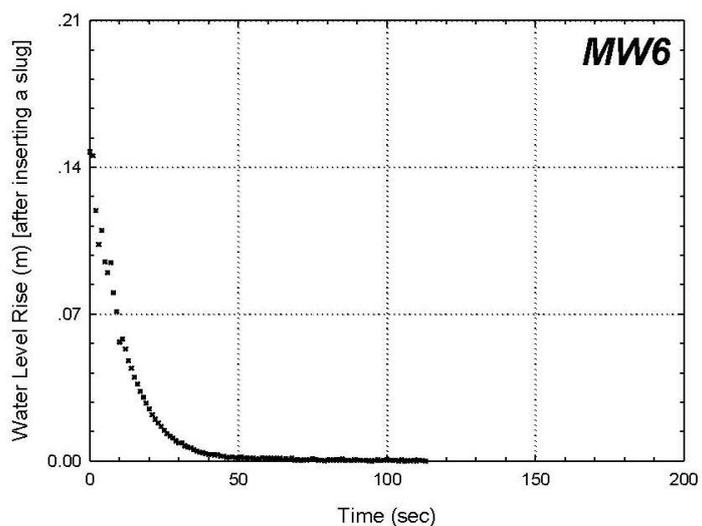
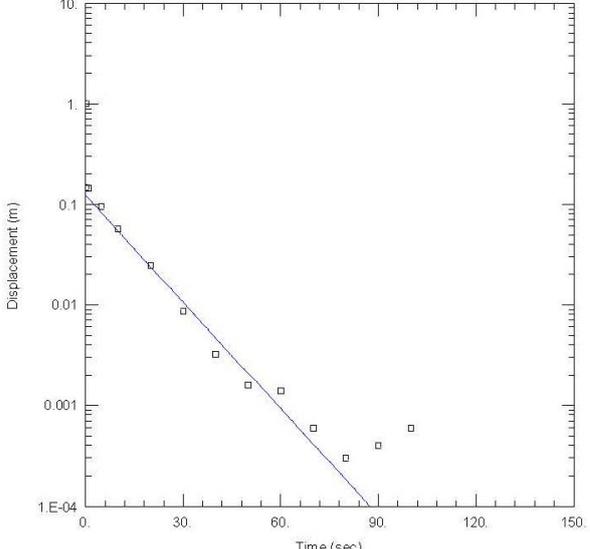
รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW3



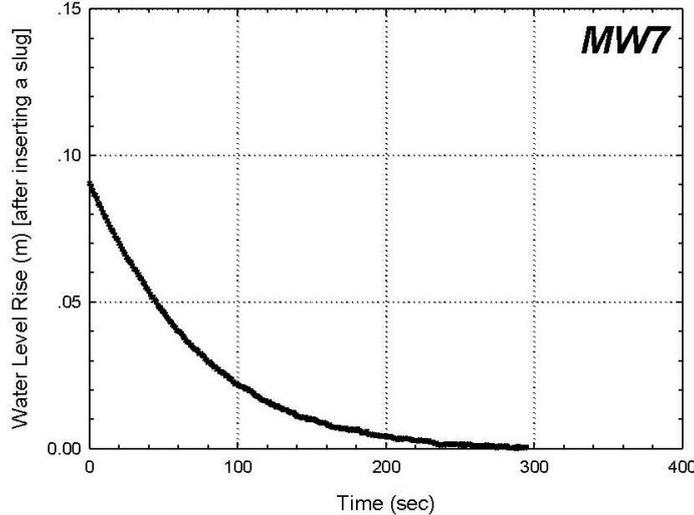
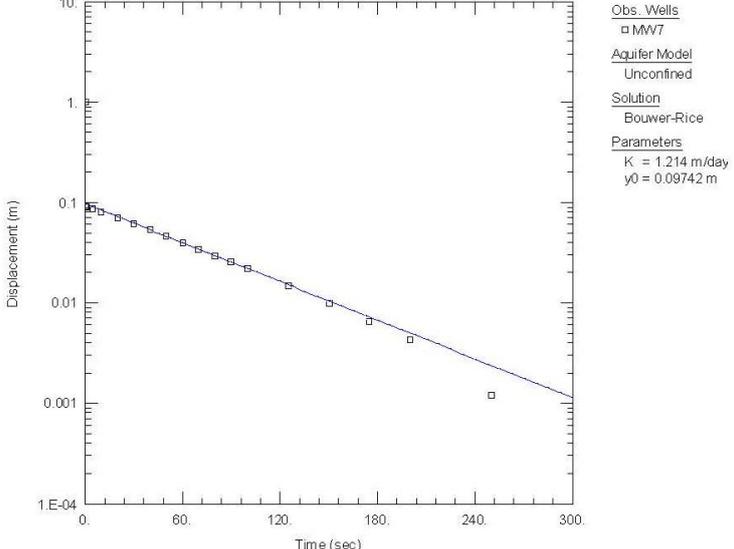
รูปที่ 6.12 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW4



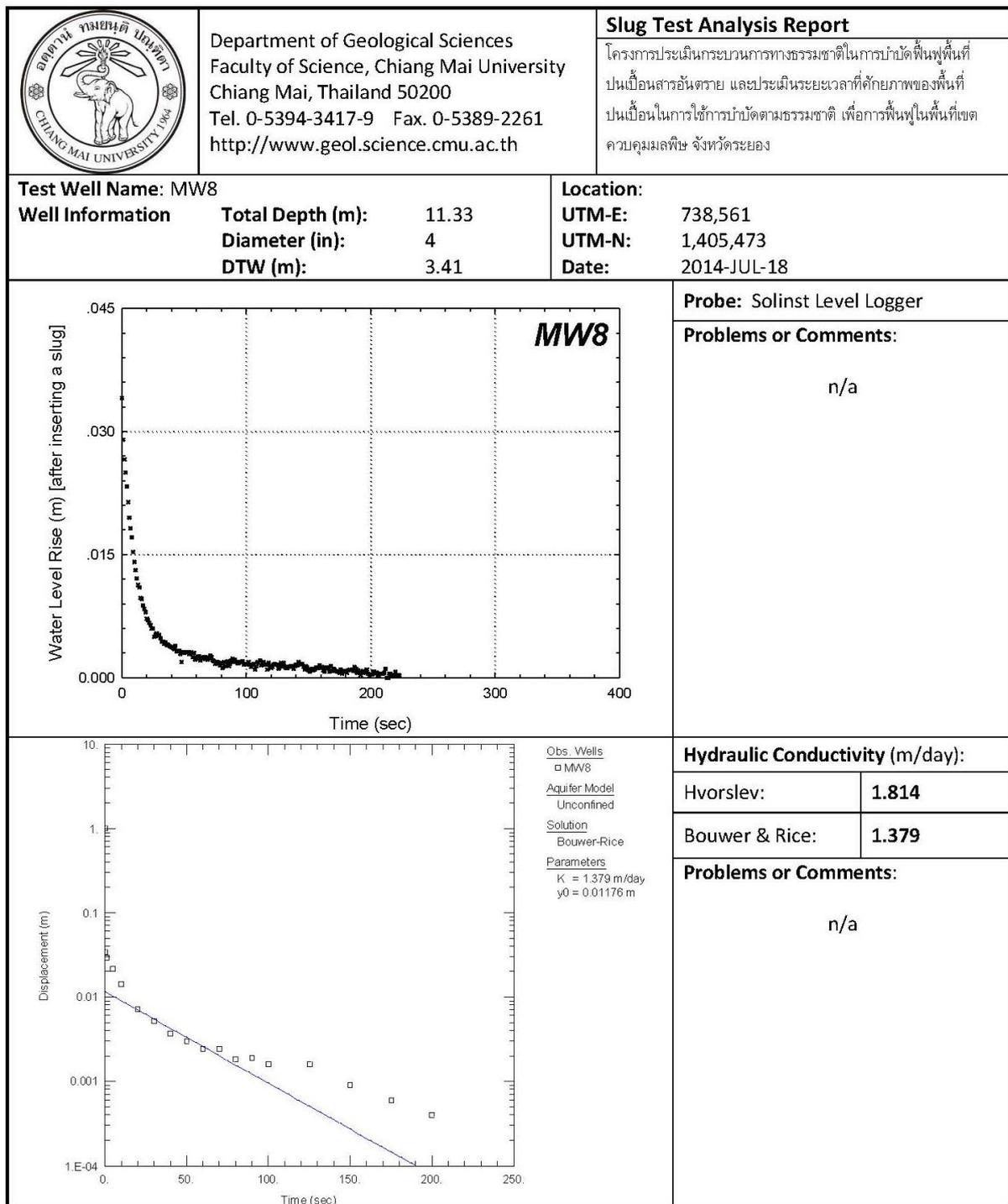
รูปที่ 6.13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW5

|   |  |  |   |  |
|---|--|--|---|--|
|    | Department of Geological Sciences<br>Faculty of Science, Chiang Mai University<br>Chiang Mai, Thailand 50200<br>Tel. 0-5394-3417-9 Fax. 0-5389-2261<br><a href="http://www.geol.science.cmu.ac.th">http://www.geol.science.cmu.ac.th</a> |  | <b>Slug Test Analysis Report</b><br>โครงการประเมินกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูพื้นที่<br>ปนเปื้อนสารอินทรีย์ และประเมินระยะเวลาที่ศักยภาพของพื้นที่<br>ปนเปื้อนในการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ เพื่อการฟื้นฟูในพื้นที่เขต<br>ควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง |  |
|   | <b>Test Well Name: MW6</b><br><b>Well Information</b>  |  | <b>Location:</b>  |  |
|   | <b>Total Depth (m):</b> 9.43<br><b>Diameter (in):</b> 4<br><b>DTW (m):</b> 1.97  | <b>UTM-E:</b> 738,484<br><b>UTM-N:</b> 1,405,408<br><b>Date:</b> 2014-JUL-18 |   |  |
|   |  |  | <b>Probe:</b> Solinst Level Logger<br><b>Problems or Comments:</b><br>n/a   |  |
|  |  |  | <b>Hydraulic Conductivity (m/day):</b>  |  |
|   |  |  | <b>Hvorslev:</b> 6.084  |  |
|   |  |  | <b>Bouwer &amp; Rice:</b> 4.699   |  |
|   |  |  | <b>Problems or Comments:</b><br>n/a   |  |

รูปที่ 6.14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW6

|   |  |  |   |  |
|---|--|--|---|--|
|    | Department of Geological Sciences<br>Faculty of Science, Chiang Mai University<br>Chiang Mai, Thailand 50200<br>Tel. 0-5394-3417-9 Fax. 0-5389-2261<br><a href="http://www.geol.science.cmu.ac.th">http://www.geol.science.cmu.ac.th</a> |  | <b>Slug Test Analysis Report</b><br>โครงการประเมินกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดฟื้นฟูพื้นที่<br>ปนเปื้อนสารอินทรีย์ และประเมินระยะเวลาที่ศักยภาพของพื้นที่<br>ปนเปื้อนในการใช้การบำบัดตามธรรมชาติ เพื่อการฟื้นฟูในพื้นที่เขต<br>ควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง |  |
|   | <b>Test Well Name: MW7</b><br><b>Well Information</b>  |  | <b>Location:</b>  |  |
|   | <b>Total Depth (m):</b> 11.09<br><b>Diameter (in):</b> 4<br><b>DTW (m):</b> 6.34   | <b>UTM-E:</b> 738,484<br><b>UTM-N:</b> 1,405,408<br><b>Date:</b> 2014-JUL-18   |   |  |
|   |  | <b>Probe:</b> Solinst Level Logger<br><b>Problems or Comments:</b><br>n/a  |   |  |
|  |  | <b>Hydraulic Conductivity (m/day):</b><br>Hvorslev: <b>1.508</b><br>Bouwer & Rice: <b>1.214</b><br><b>Problems or Comments:</b><br>n/a |   |  |

รูปที่ 6.15 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW7



รูปที่ 6.16 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นดินอุ้มน้ำด้วยวิธี slug test ในบ่อ MW8

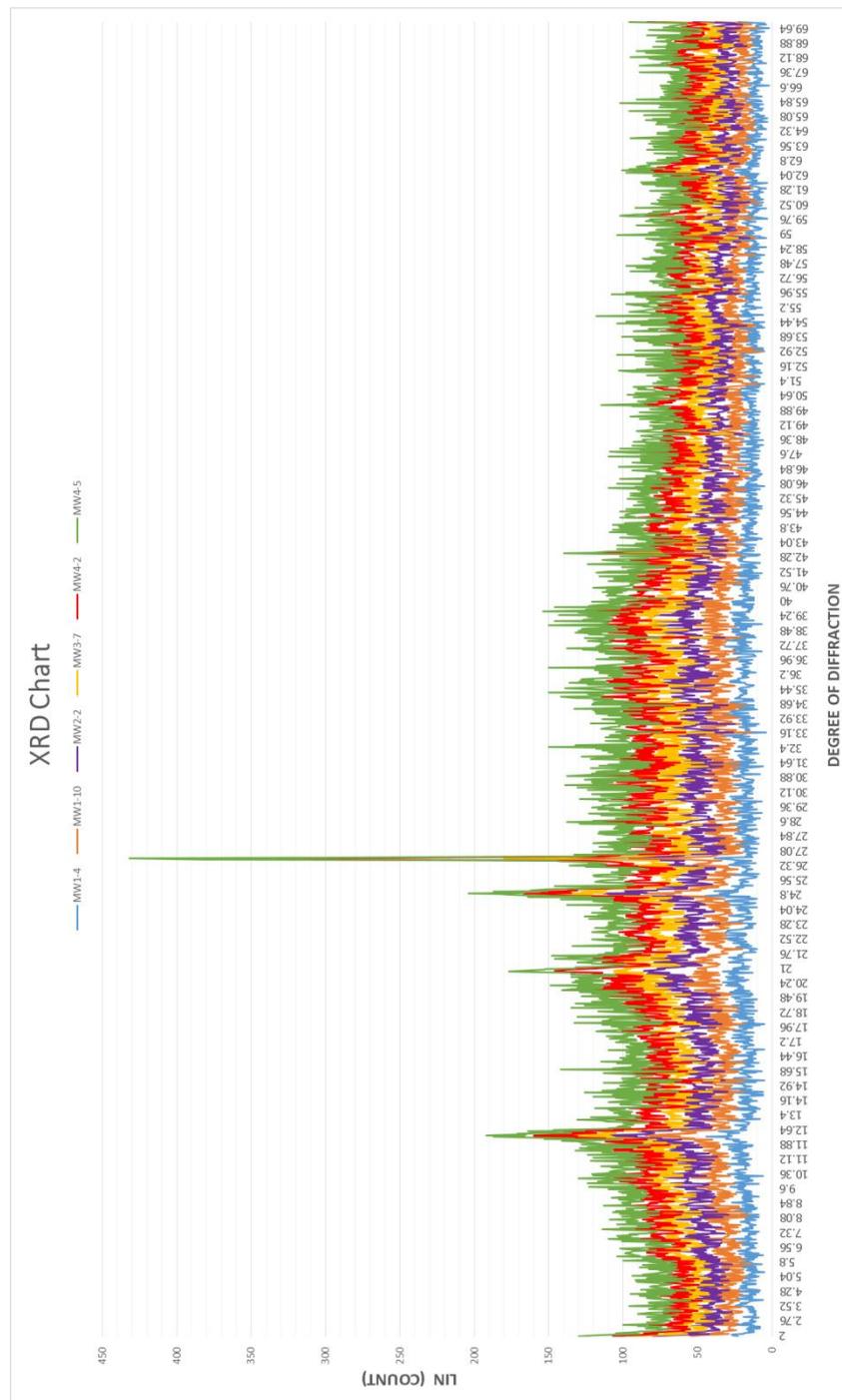
### 6.3 การวิเคราะห์หาลองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค XRD

ผลการทดสอบพบว่าดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ และคลอไรต์ โดยมีช่วงองศาการเลี้ยวเบนของรังสีดังนี้ แร่ควอตซ์  $26^{\circ}$ - $27^{\circ}$ , แร่เคโอลิไนต์  $12^{\circ}$ - $13^{\circ}$ , แร่คลอไรต์  $5^{\circ}$ - $13^{\circ}$  และแร่อิลไลต์  $8^{\circ}$ - $9^{\circ}$  ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ XRD สามารถบ่งบอกปริมาณของแร่ต่างๆ คร่าวๆ แบบกึ่งปริมาณ (หรือ semi-quantitative) ดังตาราง 6-2

ตาราง 6-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่แบบกึ่งปริมาณจากผลวิเคราะห์ค่า XRD

| ตัวอย่างที่ | หลุมที่-ความลึก | ปริมาณของแร่ต่างๆ (ร้อยละโดยมวล) |            |         |         |
|-------------|-----------------|----------------------------------|------------|---------|---------|
|             |                 | ควอตซ์                           | เคโอลิไนต์ | อิลไลต์ | คลอไรต์ |
| 1           | MW1-4           | 45.51                            | 38.94      | 0.94    | 4.61    |
| 2           | MW1-10          | 40.94                            | 38.75      | 7.50    | 12.81   |
| 3           | MW2-2           | 60.56                            | 30.99      | 5.63    | 2.82    |
| 4           | MW3-7           | 29.41                            | 32.35      | 16.18   | 22.06   |
| 5           | MW4-2           | 89.41                            | 8.24       | 1.18    | 1.18    |
| 6           | MW4-5           | 55.22                            | 23.88      | 10.45   | 10.45   |
| 7           | MW5-1           | 86.05                            | 5.81       | 2.33    | 5.81    |
| 8           | MW5-7           | 14.00                            | 54.00      | 15.00   | 17.00   |
| 9           | MW6-9           | 31.58                            | 48.03      | 10.53   | 9.87    |
| 10          | MW6-10          | 44.90                            | 31.29      | 10.88   | 12.93   |
| 11          | MW7-3           | 67.02                            | 23.40      | 6.38    | 3.19    |
| 12          | MW7-6           | 31.34                            | 41.04      | 10.45   | 17.16   |
| 13          | MW7-7           | 41.60                            | 38.40      | 9.60    | 10.40   |
| 14          | MW8-9           | 25.51                            | 40.82      | 22.45   | 11.22   |

ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ยังพบอีกว่า ในตัวอย่างดินทุกๆ ตัวอย่าง มีแร่ที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ในประมาณ 1 ถึง 500 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ได้แก่ แร่เฟอร์ริไฮดรไรต์ (Ferrihydrite,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) แร่เกอไทต์และไลม์มอไนต์ (Goethite และ Limonite;  $\text{FeOOH}$ ) แร่ฮีมาไทต์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) และแร่แม็กนีไทต์ ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา (เช่น Lee and Batchelor, 2003a; Lee and Batchelor, 2003b; Brown et al., 2009; Dong et al., 2009; Tobiszewski and Namieśnik, 2012 เป็นต้น) พบว่าดินที่ประกอบด้วยแร่ที่มีธาตุเหล็กทั้งในรูปเป็น Fe(III) หรือ Fe(II) เช่น แร่ซิเดไรต์  $\text{FeCO}_3$ ; แร่ไพไรต์  $\text{FeS}_2$ ; แร่พิโรไทต์  $\text{FeS}_{1-x}$  ซึ่งมีความสามารถในการ(ช่วย)ย่อยสลาย PCE และ TCE ได้ ซึ่งอัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นผิว (specific surface area) ของอนุภาคแร่เหล่านี้



รูปที่ 6.17 แสดงค่าการเลี้ยวเบนของตัวอย่าง MW1-MW4

#### 6.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (foc) และ ค่าคงที่การดูดซับ (Kd)

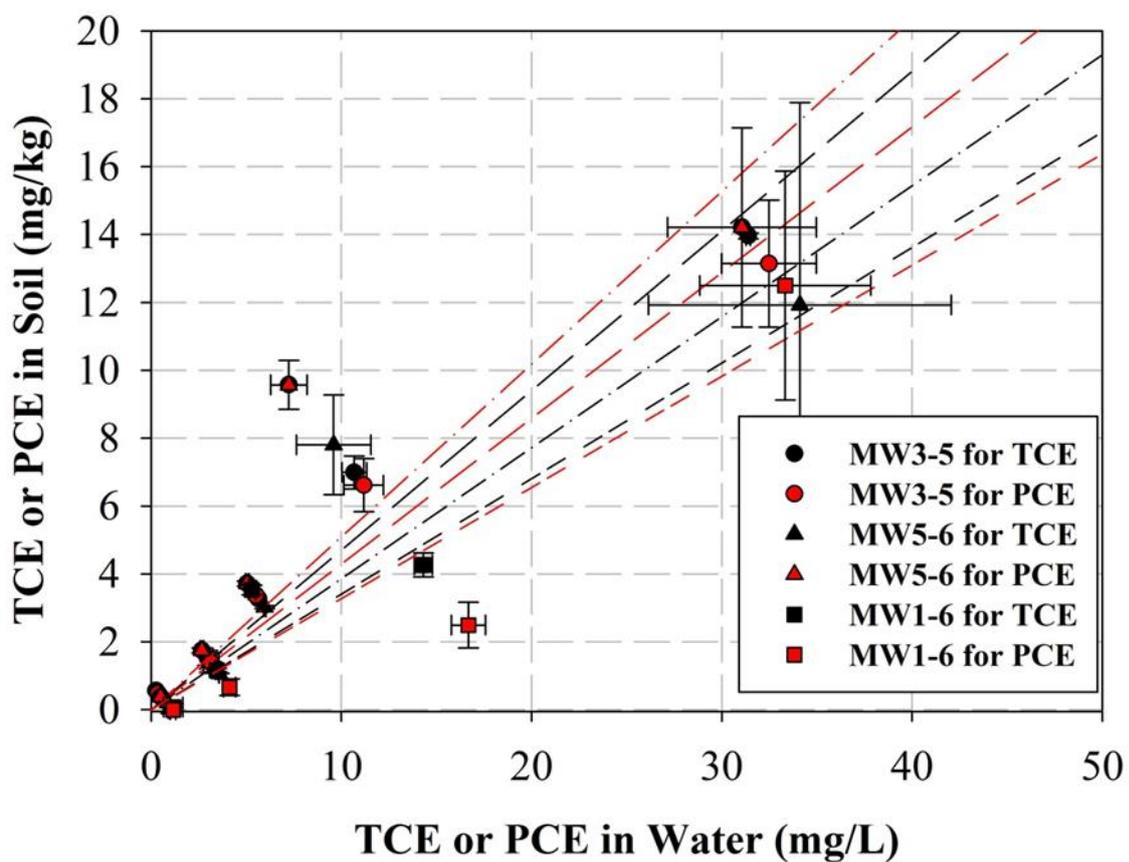
ตารางที่ 6-3 และ 6-4 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (foc) และ ค่าคงที่การดูดซับ (Kd) จากผลการทดสอบ ซึ่งพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 1.1-7.1 ซึ่งถือว่ามีความไม่สูงมากนัก บ่งบอกเป็นนัยว่าการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยโดยตัวกลางดินในพื้นที่ปนเปื้อนอาจไม่สูงเหมือนพื้นที่อื่นๆ ที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในดินเป็นปริมาณมาก หากมีสารปนเปื้อนไหลมาในพื้นที่ดังกล่าว จะมีโอกาสถูกดูดซับไม่สูงมากนัก การทดสอบค่า Kd ในการดูดซับสาร PCE และ TCE ของดินในพื้นที่ ผลทดสอบแสดงในรูปที่ 6.18

ตาราง 6-3 ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

| ตัวอย่างที่ | ชื่อตัวอย่าง | f <sub>oc</sub> (ร้อยละ) |
|-------------|--------------|--------------------------|
| 1           | MW1-3        | 2.32                     |
| 2           | MW1-6        | 1.38                     |
| 3           | MW1-9        | 1.12                     |
| 4           | MW2-6        | 1.89                     |
| 5           | MW3-5        | 7.13                     |
| 6           | MW4-5        | 1.94                     |
| 7           | MW5-6        | 7.19                     |
| 8           | MW6-6        | 2.22                     |
| 9           | MW7-6        | 5.70                     |
| 10          | MW8-5        | 4.44                     |

ตารางที่ 6-4 ค่า Kd ในการดูดซับสาร PCE และ TCE ของดินในพื้นที่

| ตัวอย่าง | Kd (L/kg) for TCE | Kd (L/kg) for PCE |
|----------|-------------------|-------------------|
| MW 3-5   | 0.47              | 0.43              |
| MW 5-6   | 0.39              | 0.51              |
| MW 1-6   | 0.34              | 0.33              |



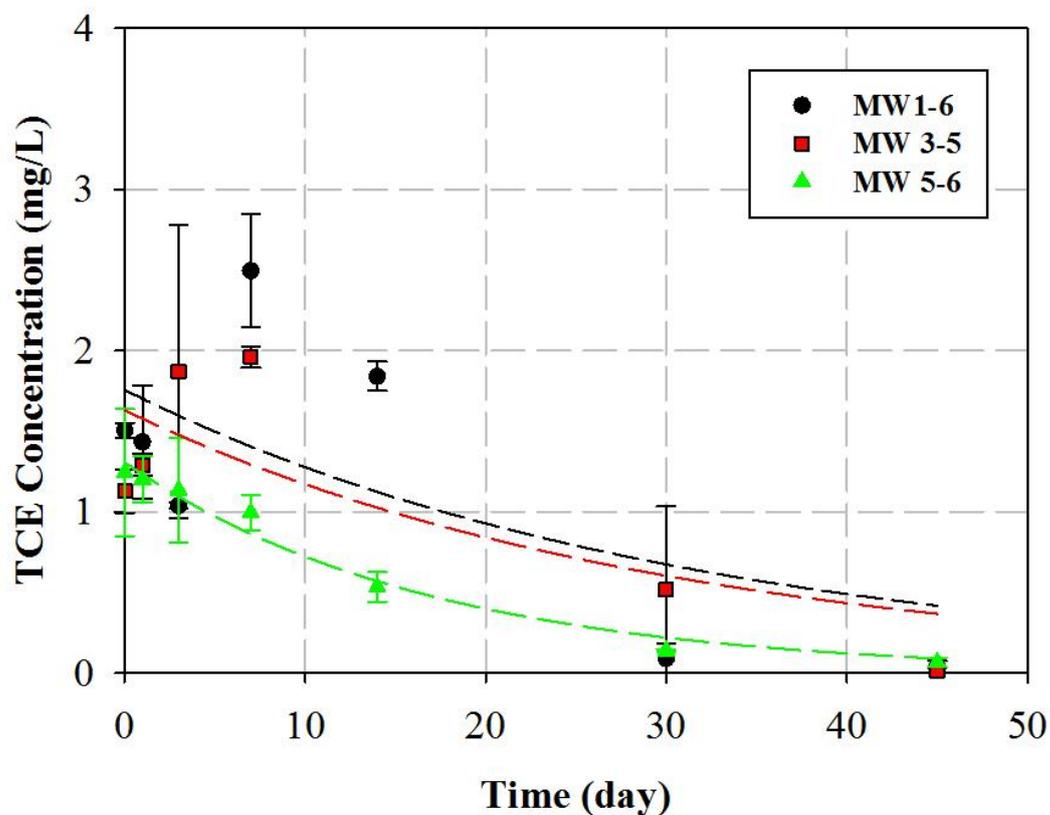
รูปที่ 6.18 ผลการศึกษาหาค่า Kd ในการดูดซับสาร PCE และ TCE ของดินในพื้นที่

## 6.5 การทดสอบค่าคงที่การสลายตัวทางเคมี (kh) และทางชีวภาพ (kb) โดยใช้เทคนิค Microcosm

ผลการทดสอบการสลายตัวของ Tetrachloroethylene (PCE) และ Trichloroethylene (TCE) ในตัวอย่างดิน 3 จุด (MW1-6, MW3-5 และ MW5-6) ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการฆ่าเชื้อและมีการฆ่าเชื้อ แสดงในตารางที่ 6-5 ถึง 6-8 และรูปที่ 6.19 ถึง 6.22 จากกราฟดังกล่าว จะเห็นว่าความเข้มข้นของ PCE และ TCE ในหลอดทดลองจะค่อยๆ ลดลง ทั้งในกรณีที่มีการฆ่าเชื้อ (ถือว่าการสลายตัวแบบ abiotic degradation) และในกรณีที่ไม่มีการฆ่าเชื้อซึ่งน่าจะเป็นผลลัพธ์ของทั้งสองกระบวนการ (คือ biotic และ abiotic degradation) จากการอ่านกราฟด้วยตาเปล่าในเบื้องต้น จะเห็นว่าอัตราการสลายตัวของทั้งสองกรณีไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ (1) ปริมาณแร่ (ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ) ทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าการสลายตัวด้วยจุลินทรีย์ หรือ (2) ปริมาณจุลินทรีย์มีไม่เพียงพอหรือสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการสลายตัวได้ช้ามาก จนแทบสังเกตความแตกต่างของอัตราการสลายตัวในทั้งสองกรณีไม่ได้

ตารางที่ 6-5 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6

| MW1-6       |                        | MW3-5       |                        | MW5-6       |                        |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) |
| 0.0208      | 1.5044                 | 0.0208      | 1.1281                 | 0.0208      | 1.2437                 |
| 1           | 1.4325                 | 1           | 1.2915                 | 1           | 1.2018                 |
| 3           | 1.038                  | 3           | 1.8714                 | 3           | 1.1343                 |
| 7           | 2.4955                 | 7           | 1.9611                 | 7           | 0.995                  |
| 14          | 1.8403                 | 30          | 0.5168                 | 14          | 0.5344                 |
| 30          | 0.0914                 | 45          | 0.0165                 | 30          | 0.1394                 |
| 45          | 0.0374                 |             |                        | 45          | 0.0673                 |

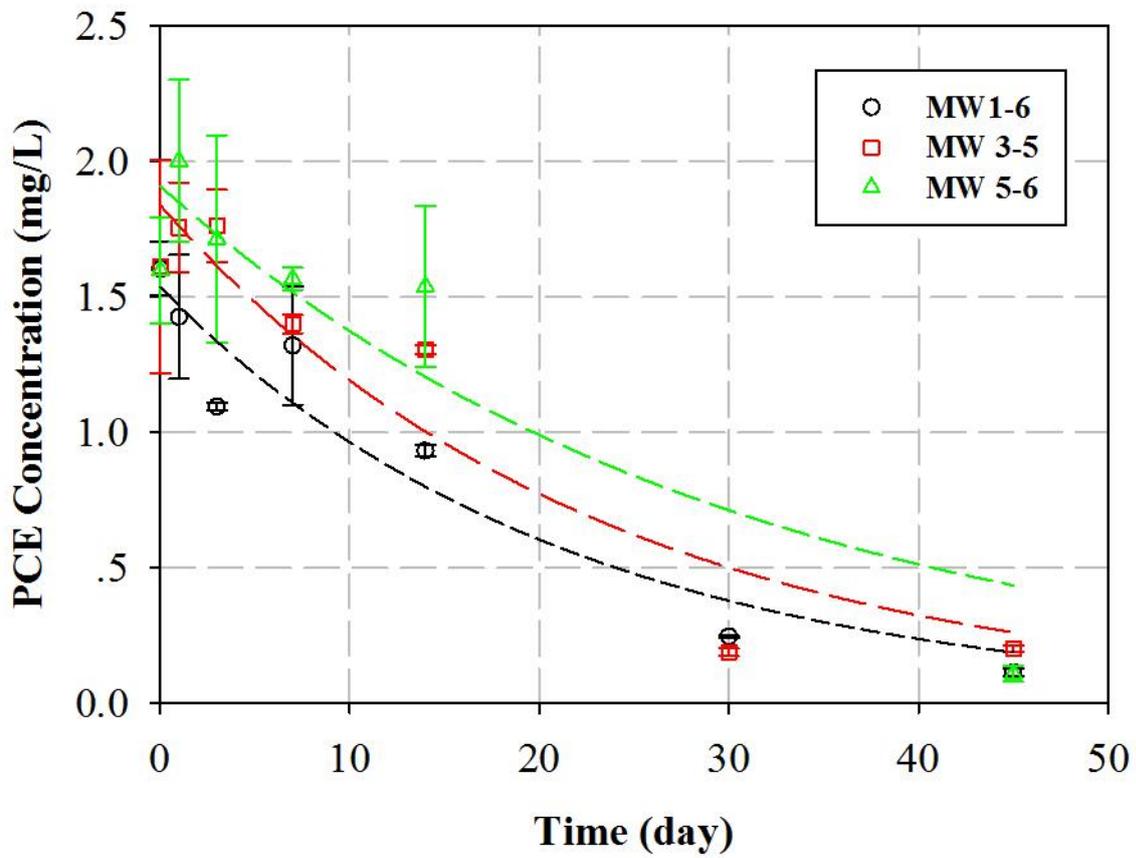


| Sample | K (day <sup>-1</sup> ) | R      |
|--------|------------------------|--------|
| MW 1-6 | 0.0320±0.0256          | 0.6752 |
| MW 3-5 | 0.0332±0.0219          | 0.7938 |
| MW 5-6 | 0.0595±0.0073          | 0.9895 |

รูปที่ 6.19 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน

ตารางที่ 6-6 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6

| MW1-6       |                        | MW3-5       |                        | MW5-6       |                        |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) |
| 0.0208      | 1.6051                 | 0.0208      | 1.6117                 | 0.0208      | 1.599                  |
| 1           | 1.4271                 | 1           | 1.7567                 | 1           | 2.0028                 |
| 3           | 1.0957                 | 3           | 1.7635                 | 3           | 1.7147                 |
| 7           | 1.321                  | 7           | 1.4008                 | 7           | 1.5685                 |
| 14          | 0.9328                 | 14          | 1.3061                 | 14          | 1.5403                 |
| 30          | 0.2466                 | 30          | 0.1894                 | 30          | 0.1094                 |
| 45          | 0.1146                 | 45          | 0.2024                 | 45          |                        |



| Sample | K (day <sup>-1</sup> ) | R      |
|--------|------------------------|--------|
| MW 1-6 | 0.0468 ± 0.0102        | 0.9619 |
| MW 3-5 | 0.0434 ± 0.0105        | 0.9521 |
| MW 5-6 | 0.0329 ± 0.0122        | 0.9198 |

รูปที่ 6.20 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีในตัวอย่างดิน

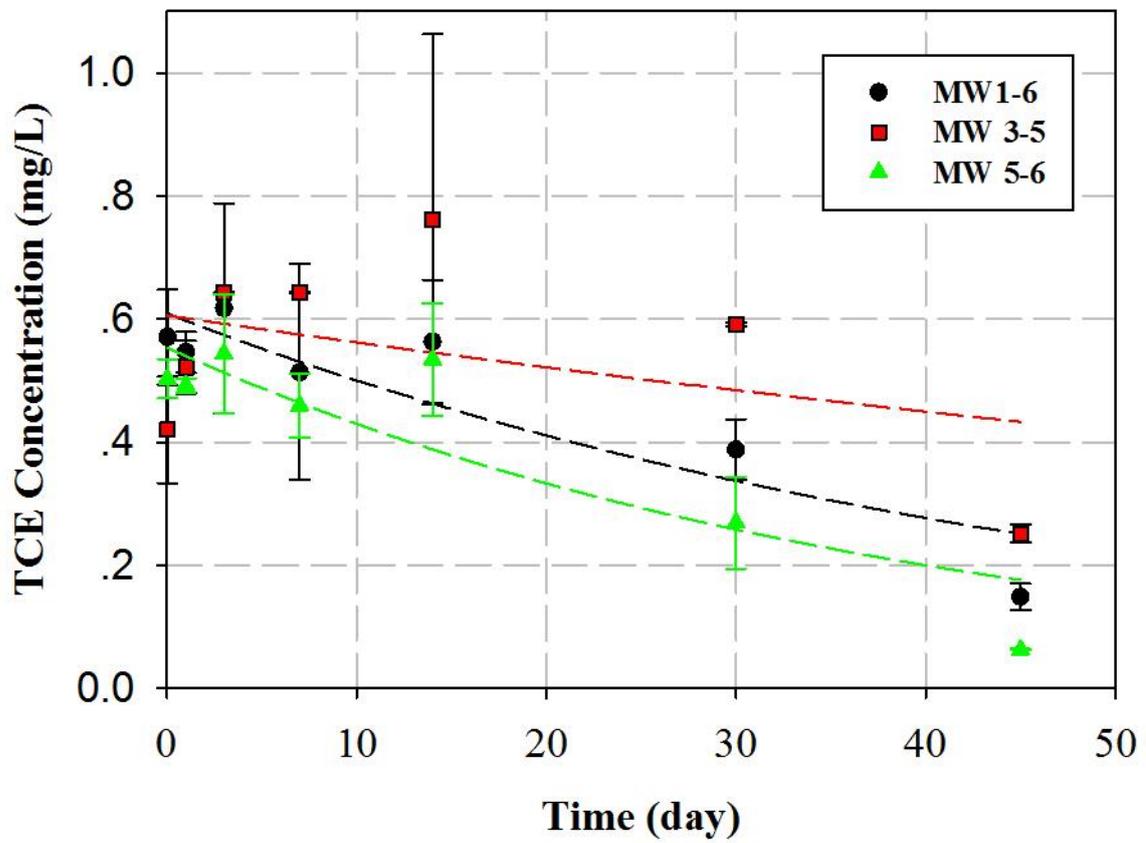
ตารางที่ 6-7 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน MW1-6, MW3-5, MW5-6

MW1-6

MW3-5

MW5-6

| Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น TCE (mg/L) |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| 0.0208      | 0.5707                 | 0.0208      | 0.5707                 | 0.0208      | 0.5033                 |
| 1           | 0.5461                 | 1           | 0.5461                 | 1           | 0.4922                 |
| 3           | 0.6175                 | 3           | 0.6175                 | 3           | 0.5439                 |
| 7           | 0.5137                 | 7           | 0.5137                 | 7           | 0.4594                 |
| 14          | 0.5632                 | 14          | 0.5632                 | 14          | 0.5344                 |
| 30          | 0.3876                 | 30          | 0.3876                 | 30          | 0.2691                 |
| 45          | 0.1485                 | 45          | 0.1485                 | 45          | 0.063                  |



| Sample | K (day <sup>-1</sup> ) | R      |
|--------|------------------------|--------|
| MW 1-6 | 0.0198±0.0055          | 0.9019 |
| MW 3-5 | 0.0075±0.0082          | 0.4297 |
| MW 5-6 | 0.0255±0.0083          | 0.8889 |

รูปที่ 6.21 การสลายตัวของ TCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน

ตารางที่ 6-8 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน

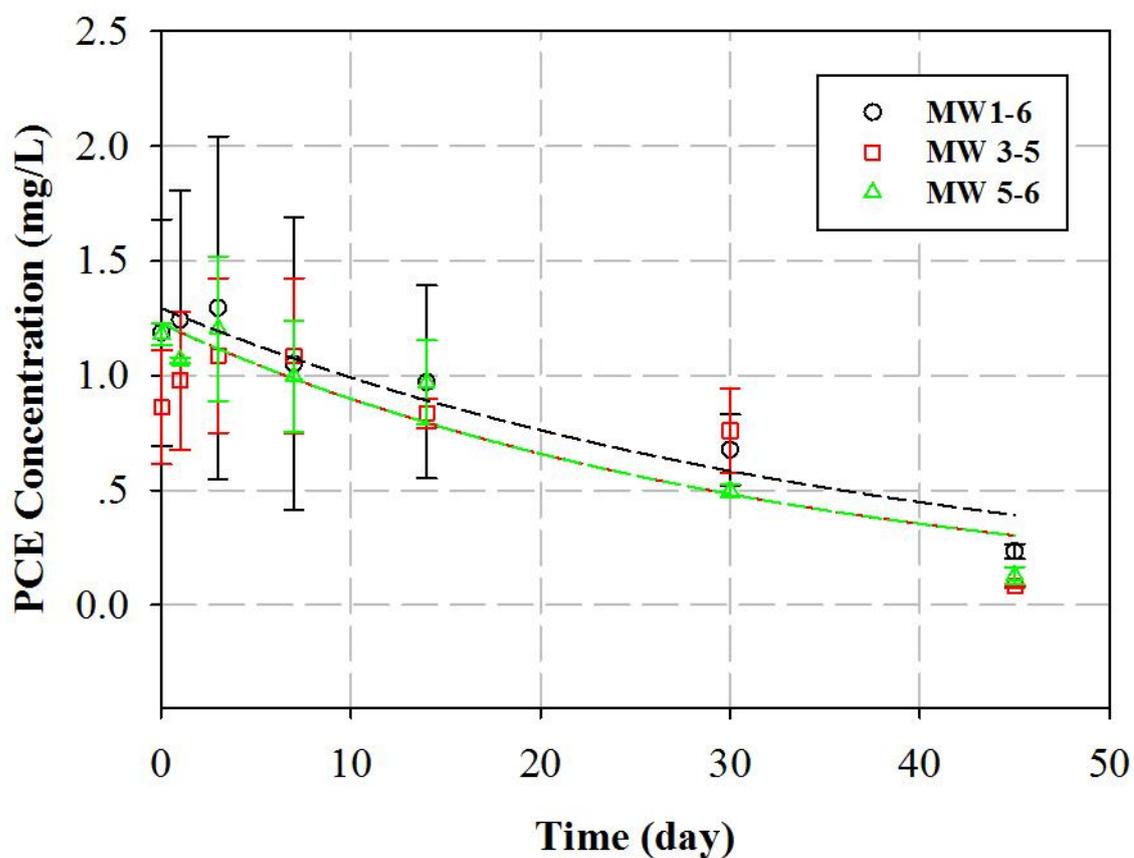
MW1-6, MW3-5, MW5-6

MW1-6

MW3-5

MW5-6

| Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) | Time (days) | ความเข้มข้น PCE (mg/L) |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| 0.0208      | 1.187                  | 0.0208      | 0.8617                 | 0.0208      | 1.1806                 |
| 1           | 1.243                  | 1           | 0.9785                 | 1           | 1.0679                 |
| 3           | 1.2951                 | 3           | 1.0873                 | 3           | 1.2042                 |
| 7           | 1.052                  | 7           | 1.0873                 | 7           | 0.9965                 |
| 14          | 0.9716                 | 14          | 0.8365                 | 14          | 0.9701                 |
| 30          | 0.6758                 | 30          | 0.7593                 | 30          | 0.497                  |
| 45          | 0.2342                 | 45          | 0.0806                 |             |                        |



| Sample | K (day <sup>-1</sup> ) | R      |
|--------|------------------------|--------|
| MW 1-6 | 0.0266±0.0046          | 0.9634 |
| MW 3-5 | 0.0224±0.0094          | 0.8255 |
| MW 5-6 | 0.0311±0.0065          | 0.9541 |

รูปที่ 6.22 การสลายตัวของ PCE จากอิทธิพลปัจจัยทางเคมีร่วมกับปัจจัยทางชีวภาพในตัวอย่างดิน

จากการคำนวณหาค่าคงที่การสลายตัวด้วยวิธีเชิงตัวเลข (numerical methods) โดยใช้วิธีรุงเง-คุดตาอันดับ 4 (4th-order Runge-Kutta) ซึ่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ดำเนินการเขียนโปรแกรมภาษา FORTRAN-90 ควบคู่กับเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter estimation) โดยใช้โปรแกรม UCODE (Poeter and Hill, 1998) เพื่อหาค่าคงที่การสลายตัวที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ การคำนวณนี้วิเคราะห์หาค่าคงที่การสลายตัวทั้งในกรณี biotic และ abiotic นั้น ซึ่งผลการคำนวณพบว่า ค่าคงที่การสลายตัวโดยกระบวนการ biotic หรือกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์มีค่าต่ำมาก (ตาราง 6-9

รูปที่ 6.23 ถึง

รูปที่ ) แสดงว่าการสลายตัวของ PCE และ TCE ในพื้นที่น้ำเป็นแบบ abiotic มากกว่า (คือเกิดการสลายตัวจากกระบวนการที่มีแร่ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการสลายตัวแบบ biotic มีค่าต่ำนั้น อาจมีสาเหตุต่างๆ กัน เช่น ดิน-ตะกอนในพื้นที่ศึกษาไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ หรือสารอาหาร (nutrients) มีปริมาณไม่เพียงพอ หรือสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ตาราง 6-9 ค่าคงที่การสลายตัวจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีเชิงตัวเลข

| ปริมาณ   | ค่าคงที่การสลายตัว ( $d^{-1}$ ) |
|----------|---------------------------------|
| $k_{a1}$ | $5.60 \times 10^{-2}$           |
| $k_{a2}$ | $2.17 \times 10^{-2}$           |
| $k_{b1}$ | $3.75 \times 10^{-15}$          |
| $k_{b2}$ | $3.56 \times 10^{-9}$           |

หมายเหตุ: ค่าคงที่การสลายตัวขั้นที่ 3 และ 4 นั้น มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่ได้ทำการวัดความเข้มข้นของ ไดคลอโรเอทธิลีน (DCE) และไวนิลคลอไรด์ (VC)

```
program degrade_rk4
implicit none

integer :: Nstep, i
double precision :: time, delta_t, pce0, tce0, dce0, vc0
double precision :: k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce
double precision, dimension(4) :: y, y_old, dydt, rk_k1, rk_k2, rk_k3, rk_k4

y = 0.0; y_old = 0.0; dydt = 0.0
rk_k1 = 0.0; rk_k2 = 0.0; rk_k3 = 0.0; rk_k4 = 0.0
time = 0.0

open (unit = 1, file = 'output.dat')

print*, 'Input Number of Time Steps and Time-Step Size'
read*, Nstep, delta_t
print*, 'Input Initial Concentrations (one line per species)'
read*, pce0
read*, tce0
read*, dce0
read*, vc0
print*, 'Input Degradation Constants (one line for each)'
read*, k1
read*, k2
read*, k3
read*, k4
print*, 'Input Yield Coefficients (one line for each)'
read*, Ytcepce
read*, Ydce0
read*, Yvdcce

y(1) = pce0; y(2) = tce0; y(3) = dce0; y(4) = vc0
write(1,'(lg15.5,4e15.6)') time, y(1), y(2), y(3), y(4)

do i = 1, Nstep

y_old = y

call derivs(y,dydt,k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce)
rk_k1 = dydt

y = y_old + rk_k1*delta_t/2.0
call derivs(y,dydt,k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce)
rk_k2 = dydt

y = y_old + rk_k2*delta_t/2.0
call derivs(y,dydt,k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce)
rk_k3 = dydt

y = y_old + rk_k3*delta_t
call derivs(y,dydt,k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce)
rk_k4 = dydt

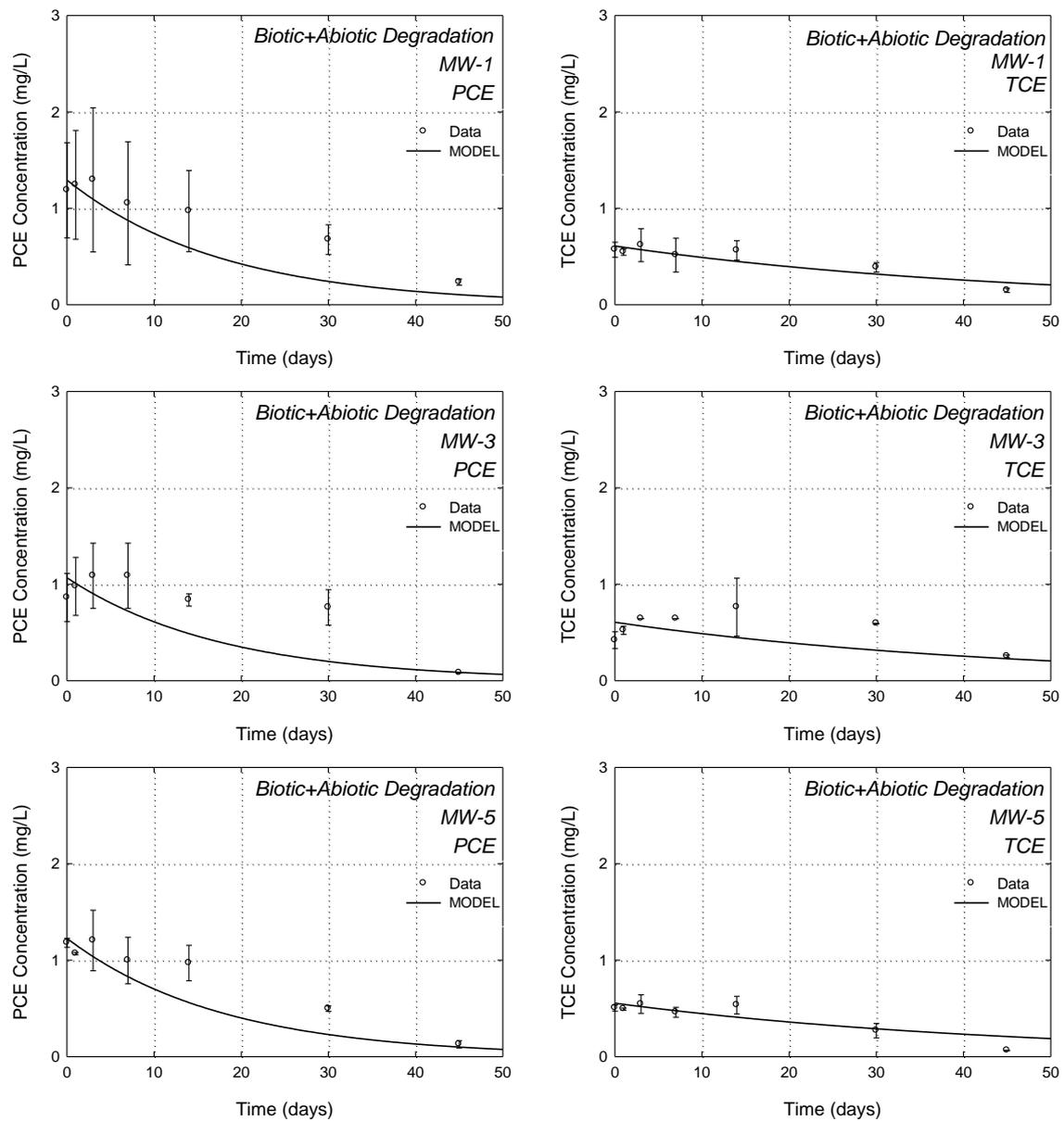
y = y_old + (delta_t/6.0)*(rk_k1 + 2.0*rk_k2 + 2.0*rk_k3 + rk_k4)
time = time + delta_t

write(1,'(lg15.5,4e15.6)') time, y(1), y(2), y(3), y(4)
end do

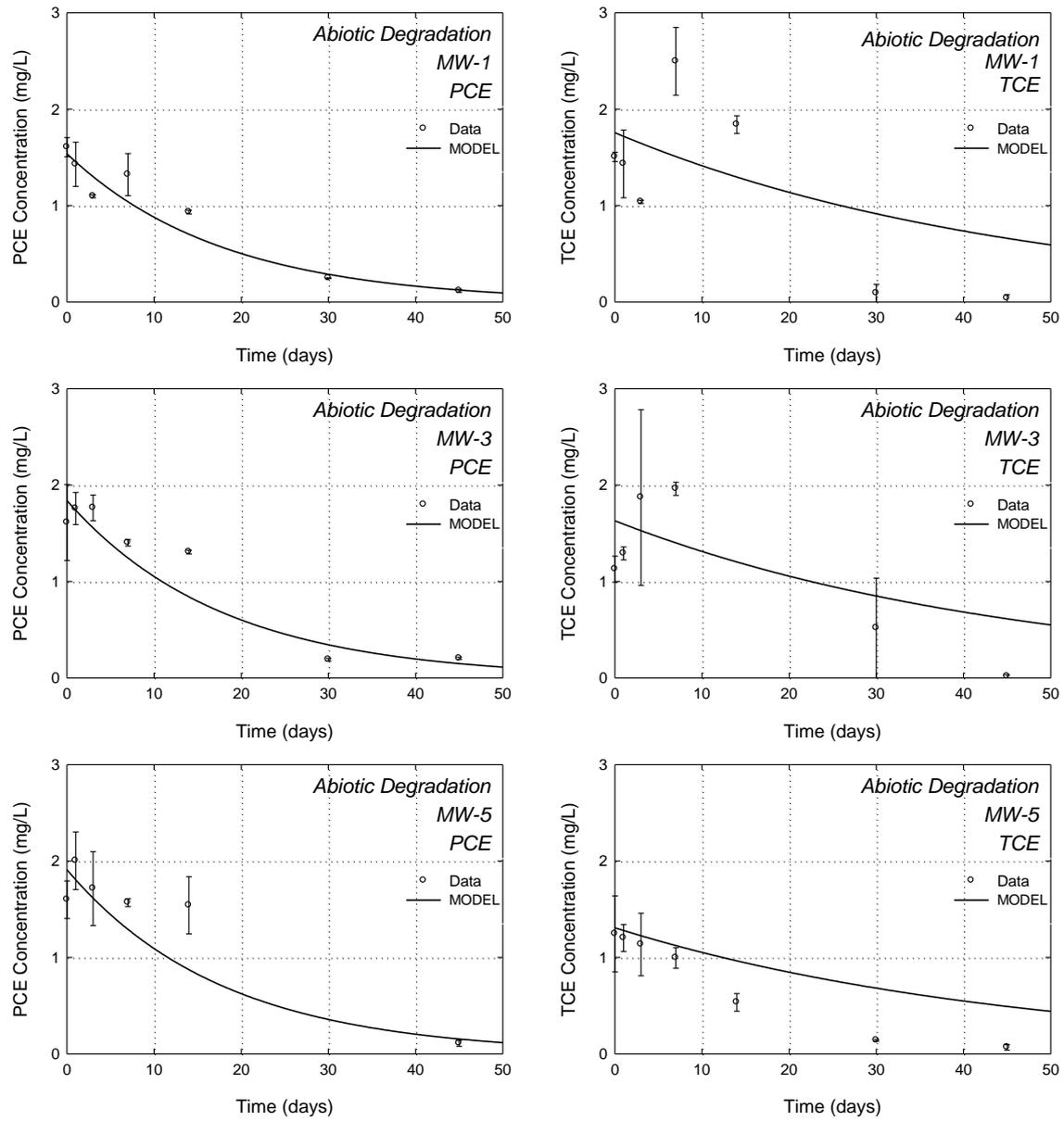
end program degrade_rk4

subroutine derivs(y,dydt,k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce)
double precision, dimension(4) :: y, dydt
double precision :: k1, k2, k3, k4, Ytcepce, Ydce0, Yvdcce
dydt(1) = -k1*y(1)
dydt(2) = Ytcepce*k1*y(1) - k2*y(2)
dydt(3) = Ydce0*k2*y(2) - k3*y(3)
dydt(4) = Yvdcce*k3*y(3) - k4*y(4)
end subroutine derivs
```

รูปที่ 6.23 โปรแกรม (source code) ภาษา FORTRAN-90 สำหรับแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์



รูปที่ 6.24 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าคงที่การสลายตัว (กรณีไม่มีการฆ่าเชื้อ)



รูปที่ 6.25 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าคงที่การสลายตัว (กรณีมีการฆ่าเชื้อ)

## คุณสมบัติทางเคมีของน้ำใต้ดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

### 7.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของน้ำใต้ดิน

คุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดิน เช่น pH, Temperature, Conductivity, Oxidation-Reduction Potential, Turbidity, Nitrate, Dissolved Oxygen รวมทั้งปริมาณโลหะหนัก (As, Cd, Pb, Hg, Zn) ปริมาณอ็อกซิเจนในน้ำ (ประกอบด้วย HCO<sub>3</sub>, nitrate, sulfate, manganese, dissolved iron) โดยการตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของน้ำใต้ดินดำเนินการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดพารามิเตอร์แบบหิ้วรวม ยี่ห้อ In-situ รุ่น TROLL 9500 การวิเคราะห์หาปริมาณอ็อกซิเจนในน้ำใช้เครื่อง Ion Chromatography การวิเคราะห์โลหะหนักใช้ ICP-MS (วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการกลาง) ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของการตรวจวัด pH, Temperature, Conductivity, Oxidation-Reduction Potential, Turbidity, Nitrate, Dissolved Oxygen แสดงในตารางที่ 7-1 รายละเอียดค่าการตรวจวัดในบ่อชาวบ้านแสดงในตารางที่ 7-2 และบ่อสังเกตการณ์ในตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-1 ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของการตรวจวัด pH, Temperature, Conductivity, Oxidation-Reduction Potential, Turbidity, Nitrate, Dissolved Oxygen

| พารามิเตอร์                         | หน่วยการวัด | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| pH                                  |             | 3.5       | 5.7       |
| Temperature (Temp.)                 | (°C)        | 28        | 31        |
| Conductivity                        | (µs)        | 116       | 536       |
| Oxidation-Reduction Potential (ORP) | (mv.)       | 3.1       | 335       |
| Turbidity                           | (NTU)       | 0.3       | 545       |
| Nitrate                             | (ppm)       | 0.22      | 7.39      |
| Dissolved Oxygen (DO)               | (mg/L)      | 0.43      | 10.9      |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน

| NAME            | CODE    | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | water<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|-----------------|---------|-------------|--------|---------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                 |         |             |        |         |                          |                           | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| ป่าสาละ         | RY No 2 | 19 ก.พ. 57  | 738625 | 1405326 | 8.9                      | 5.4                       | 134                                  | 29            | 3.66         | 318          | 10.8         | 10.44              | 1.6              |
|                 |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 147                                  | 30            | 3.5          | 335          | 4.2          | 1.3                | -                |
|                 |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 116                                  | 30            | 4.3          | 295          | 6.8          | 1.2                | -                |
|                 |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 123                                  | 30            | 4.3          | 253          | 6.7          | 1.2                | 0.8              |
|                 |         | 18-พ.ย.-57  |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 159                                  | 30            | 4.2          | 184          | 3.7          | 1.2                | 3                |
|                 |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 177                                  | 29            | 4.5          | 279          | 7.5          | 6.5                | 1.5              |
|                 |         | 11-มี.ค.-58 |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 164                                  | 29            | 4.3          | 322          | 2.2          | 1.4                | 8.5              |
|                 |         | 28-เม.ย.-58 |        |         | 8.9                      | 5.4                       | 190                                  | 30            | 4.4          | 295          | 1.8          | 0.9                | 1.1              |
| ห้องเช่าป่าอรัญ | RY No 3 | 18 ก.พ. 57  | 738562 | 1405553 | 8.97                     | 3.6                       | 172                                  | 28            | 4.4          | 277          | 5.3          | 37.84              | 1.9              |
|                 |         | 26 มิ.ย. 57 |        |         | 8                        | 3.7                       | 314                                  | 29            | 4.2          | 284          | 5.2          | 17.2               | -                |
|                 |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 282                                  | 30            | 4.1          | 305          | 6.8          | 3.2                | -                |
|                 |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 267                                  | 30            | 4.4          | 319          | 7            | 1.3                | -                |
|                 |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 28                                   | 29            | 4.4          | 233          | 6.8          | 3.1                | 3                |
|                 |         | 17-พ.ย.-57  |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 370                                  | 30            | 4.5          | 220          | 3.3          | 2.1                | 5.8              |
|                 |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 295                                  | 29            | 4.8          | 304          | 6.7          | 26.9               | 6.6              |
|                 |         | 11-มี.ค.-58 |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 328                                  | 29            | 4.5          | 312          | 3.3          | 2                  | 3.2              |
|                 |         | 28-เม.ย.-58 |        |         | 8.97                     | 3.6                       | 385                                  | 29            | 4.57         | 327          | 2.9          | 1.1                | 4.4              |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินศักยภาพของธรรมชาติในการบำบัดพื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง

| NAME             | CODE    | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | water<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|------------------|---------|-------------|--------|---------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                  |         |             |        |         |                          |                           | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| ป่าอรัญ          | RY No 4 | 18 ก.พ. 57  | 738606 | 1405396 | 8.97                     | 3.7                       | 171                                  | 29            | 4.4          | 287          | 5.6          | 32                 | 1.8              |
|                  |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 307                                  | 31            | 4.1          | 304          | 4.7          | 1.3                | -                |
|                  |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 244                                  | 30            | 4.4          | 316          | 6.7          | 1.1                | -                |
|                  |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 260                                  | 30            | 4.4          | 231          | 6.5          | 1.3                | 3.3              |
|                  |         | 17-พ.ย.-57  |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 259                                  | 30            | 4.6          | 216          | 3.6          | 2                  | 2.4              |
|                  |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 383                                  | 30            | 4.7          | 278          | 6.7          | 40                 | 1.5              |
|                  |         | 11-มี.ค.-58 |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 349                                  | 30            | 4.5          | 296          | 2.5          | 1.6                | 3.3              |
|                  |         | 28-เม.ย.-58 |        |         | 8.97                     | 3.7                       | 400                                  | 30            | 4.2          | 304          | 1.3          | 0.9                | 4.6              |
| ชุมชนวัดญี่เมือง | RY No 5 | 19 ก.พ. 57  | 738476 | 1405440 | 6.4                      | 2.2                       | 226                                  | 29            | 5.2          | 246          | 11           | 15                 | 7                |
|                  |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 201                                  | 31            | 5.1          | 287          | 6.7          | 5.4                | -                |
|                  |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 157                                  | 31            | 5.1          | 271          | 6.6          | 8.2                | -                |
|                  |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 172                                  | 30            | 5.2          | 210          | 4.5          | 5.2                | 0.4              |
|                  |         | 17-พ.ย.-57  |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 357                                  | 30            | 5.6          | 244          | 1.9          | 4                  | 6.5              |
|                  |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 306                                  | 30            | 5.7          | 257          | 6.6          | 18                 | 6.1              |
|                  |         | 11-มี.ค.-58 |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 244                                  | 29            | 5.5          | 267          | 3.7          | 7.1                | 5.4              |
|                  |         | 28-เม.ย.-58 |        |         | 6.4                      | 2.2                       | 273                                  | 30            | 5.4          | 50           | 3.7          | 6.3                | 0.7              |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| NAME               | CODE    | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well depth (meter) | static level (meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |            |           |           |           |                 |               |
|--------------------|---------|-------------|--------|---------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|---------------|
|                    |         |             |        |         |                    |                      | Conductivity (µs)                    | Temp. (°C) | pH (S.U.) | ORP (mv.) | DO (mg/L) | turbidity (NTU) | Nitrate (ppm) |
| คุณพิษณุ (ร้านค้า) | RY No 6 | 18 ก.พ. 57  | 738642 | 1405417 | 9.42               | 6                    | 193.2                                | 30         | 4.77      | 250       | 7.2       | 45              | 2             |
|                    |         | 26 มิ.ย. 57 |        |         | 9.4                | 6.4                  | 328                                  | 30         | 4.6       | 261       | 4.9       | 2.3             | -             |
|                    |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 9.42               | 6                    | 313                                  | 30         | 4.1       | 263       | 4.8       | 2.2             | -             |
|                    |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 9.42               | 6                    | 288                                  | 30         | 4.7       | 294       | 6.7       | 1.3             | -             |
|                    |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 9.42               | 6                    | 317                                  | 30         | 4.9       | 211       | 6.6       | 1.4             | 3.4           |
|                    |         | 17-พ.ย.-57  |        |         | 9.42               | 6                    | 386                                  | 30         | 4.7       | 170       | 3.1       | 1.6             | 6.5           |
|                    |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 9.42               | 6                    | 411                                  | 30         | 5.2       | 203       | 7.8       | 3.1             | 1.5           |
|                    |         | 12-มี.ค.-58 |        |         | 9.42               | 6                    | 374                                  | 30         | 4.6       | 284       | 3.5       | 1.9             | 6.9           |
|                    |         | 28-เม.ย.-58 |        |         | 9.42               | 6                    | 374                                  | 30         | 4.9       | 300       | 2.1       | 1.4             | 5.9           |
| คุณสมปอง           | RY No 7 | 19 ก.พ. 57  | 738637 | 1405519 | 9                  | 5.4                  | 396                                  | 30         | 4         | 309       | 10        | 3.1             | 1.8           |
|                    |         | 16 ก.ค. 57  |        |         | 9                  | 6.2                  | 463                                  | 31         | 4         | 301       | 4         | 41              | -             |
|                    |         | 14 ส.ค. 57  |        |         | 9                  | 6.2                  | 379                                  | 31         | 4.2       | 307       | 6.6       | 3.4             | -             |
|                    |         | 2 ก.ย. 57   |        |         | 9                  | 6.2                  | 378                                  | 30         | 4.1       | 236       | 6.4       | 2.7             | 0.2           |
|                    |         | 17-พ.ย.-57  |        |         | 9                  | 6.2                  | 518                                  | 31         | 4.2       | 198       | 3.1       | 1.8             | 1.2           |
|                    |         | 22-ม.ค.-58  |        |         | 9                  | 6.2                  | 511                                  | 30         | 4.4       | 225       | 7.7       | 5.8             | 1.6           |
|                    |         | 12-มี.ค.-58 |        |         | 9                  | 6.2                  | 447                                  | 31         | 4.1       | 310       | 3.2       | 1.9             | 7.5           |
|                    |         | 27-เม.ย.-58 |        |         | 9                  | 6.2                  | 487                                  | 30         | 4.4       | 3.3       | 1.6       | 1.3             | 0.7           |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| NAME         | CODE     | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | water<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|--------------|----------|-------------|--------|---------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|              |          |             |        |         |                          |                           | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| คุณประสิทธิ์ | RY No 9  | 19 ก.พ. 57  | 738657 | 1405616 | 10.5                     | 6.8                       | 164                                  | 30            | 4            | 291          | 10           | 4.9                | 1.6              |
|              |          | 16 ก.ค. 57  |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 183                                  | 31            | 3.8          | 325          | 4.1          | 1.5                | -                |
|              |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 148                                  | 31            | 4.2          | 290          | 6.6          | 1.1                | -                |
|              |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 155                                  | 30            | 4.1          | 267          | 6.5          | 1.1                | 4.5              |
|              |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 192                                  | 30            | 3.7          | 158          | 4            | 1.8                | 1.1              |
|              |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 222                                  | 30            | 5            | 321          | 6.5          | 35                 | 1.4              |
|              |          | 12-มี.ค.-58 |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 191                                  | 30            | 4.1          | 334          | 2.6          | 1.4                | 3.9              |
|              |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | 10.5                     | 6.8                       | 215                                  | 30            | 4.2          | 3.1          | 3.8          | 1.4                | 3.4              |
| ป่าเหรียญ    | RY No 10 | 18 ก.พ. 57  | 738634 | 140542  | 10.55                    | 6.9                       | 220                                  | 30.2          | 4.9          | 268          | 8.3          | 211                | 1.8              |
|              |          | 26 มิ.ย. 57 |        |         | 10.5                     | 6.9                       | 394                                  | 30            | 4.7          | 308          | 4.8          | 5.2                | -                |
|              |          | 16 ก.ค. 57  |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 384                                  | 31            | 4.7          | 267          | 4.5          | 1.6                | -                |
|              |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 338                                  | 31            | 4.7          | 285          | 6.5          | 1.4                | -                |
|              |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 349                                  | 31            | 4.7          | 244          | 6.3          | 1.5                | 2.2              |
|              |          | 17-พ.ย.-57  |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 467                                  | 31            | 4.8          | 154          | 3.3          | 2.1                | 5.1              |
|              |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 516                                  | 31            | 5            | 256          | 7.4          | 29                 | 1.7              |
|              |          | 12-มี.ค.-58 |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 470                                  | 31            | 4.8          | 201          | 2.5          | 2                  | 3.9              |
|              |          | 27-เม.ย.-58 |        |         | 10.5                     | 7.3                       | 515                                  | 31            | 5.1          | 245          | 6.1          | 1.3                | 5.2              |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| NAME                                  | CODE     | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | static<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|---------------------------------------|----------|-------------|--------|---------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                                       |          |             |        |         |                          |                            | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| คุณรุ่งสุริยา (ข้างบ้านป่า<br>เหรียญ) | RY No 12 | 18 ก.พ. 57  | 738628 | 1405440 | 8.13                     | 5.2                        | 263                                  | 30            | 5.15         | 238          | 5.9          | 82                 | 2.5              |
|                                       |          | 26 มิ.ย. 57 |        |         | 8.2                      | 5.3                        | 528                                  | 30            | 5.4          | 285          | 4.8          | 1                  | -                |
|                                       |          | 16 ก.ค. 57  |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 240                                  | 30            | 4.2          | 223          | 4.2          | 1.5                | -                |
|                                       |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 367                                  | 31            | 5.3          | 271          | 6.5          | 1.1                | -                |
|                                       |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 494                                  | 31            | 5.4          | 211          | 6.6          | 1.2                | 3.2              |
|                                       |          | 17-พ.ย.-57  |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 400                                  | 31            | 5.2          | 164          | 3            | 1.8                | 3.6              |
|                                       |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 536                                  | 30            | 5.5          | 255          | 7.4          | 34                 | 1.6              |
|                                       |          | 12-มี.ค.-58 |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 477                                  | 31            | 5.3          | 262          | 2.3          | 1.9                | 5.9              |
|                                       |          | 27-เม.ย.-58 |        |         | 8.13                     | 5.2                        | 411                                  | 31            | 5.3          | 304          | 1.6          | 0.9                | 6.2              |
| ในสวนป่าสาละ                          | RY No 13 | 19 ก.พ. 57  | 738544 | 1405342 | 7.4                      | 2.7                        | 262                                  | 29            | 4.1          | 294          | 13           | 13.7               | 1.7              |
|                                       |          | 26 มิ.ย. 57 |        |         | 8                        | 3.7                        | 314                                  | 29            | 4.2          | 284          | 5.2          | 17.2               | -                |
|                                       |          | 16 ก.ค. 57  |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 240                                  | 30            | 4.2          | 223          | 4.2          | 1.5                | -                |
|                                       |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 194                                  | 30            | 4.5          | 266          | 6.7          | 1.3                | -                |
|                                       |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 204                                  | 30            | 4.5          | 240          | 6.5          | 1.5                | 4.1              |
|                                       |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 315                                  | 30            | 4.2          | 207          | 3.6          | 2.6                | 4.3              |
|                                       |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 360                                  | 29            | 4.8          | 247          | 7.3          | 33                 | 1.5              |
|                                       |          | 11-มี.ค.-58 |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 275                                  | 29            | 4.5          | 305          | 1.8          | 1.8                | 3.7              |
|                                       |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | 7.4                      | 3.3                        | 283                                  | 30            | 4.6          | 227          | 1.31         | 1                  | 4.5              |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| NAME        | CODE     | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well depth (meter) | static level (meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |            |           |           |           |                 |               |
|-------------|----------|-------------|--------|---------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|---------------|
|             |          |             |        |         |                    |                      | Conductivity (µs)                    | Temp. (°C) | pH (S.U.) | ORP (mv.) | DO (mg/L) | turbidity (NTU) | Nitrate (ppm) |
| ลูกสาวป่าดำ | RY No 14 | 19 ก.พ. 57  | 738537 | 1405456 | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 144                                  | 29         | 4.9       | 221       | 10        | 11              | 2             |
|             |          | 16 ก.ค. 57  |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 225                                  | 30         | 4.7       | 270       | 4.2       | 150             | -             |
|             |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 190                                  | 30         | 5.2       | 244       | 6.7       | 29              | -             |
|             |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 162                                  | 30         | 4.8       | 227       | 6.2       | 0.8             | 3             |
|             |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 217                                  | 31         | 4.5       | 184       | 3.5       | 1.6             | 3.1           |
|             |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 223                                  | 29         | 5         | 302       | 7.3       | 20              | 2.5           |
|             |          | 11-มี.ค.-58 |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 253                                  | 30         | 5.1       | 270       | 3.6       | 49              | 2.2           |
|             |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | บ่อปิด             | บ่อปิด               | 2553                                 | 30         | 5.2       | 189       | 4.5       | 0.5             | 3.6           |
| คุณจำลอง    | RY No 15 | 16 ก.ค. 57  | 738558 | 1405474 | 7.5                | 4.3                  | 178                                  | 31         | 4.9       | 294       | 4.1       | 1.5             | -             |
|             |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | 7.5                | 4.3                  | 143                                  | 31         | 4.5       | 273       | 6.7       | 1.5             | -             |
|             |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 7.5                | 4.3                  | 152                                  | 31         | 4.6       | 247       | 6.5       | 1.3             | 4.2           |
|             |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | 7.5                | 4.3                  | 215                                  | 30         | 4.3       | 179       | 2.5       | 1.3             | 1.4           |
|             |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 7.5                | 4.3                  | 207                                  | 29         | 5.2       | 250       | 7.7       | 34              | 1.5           |
|             |          | 12-มี.ค.-58 |        |         | 7.5                | 4.3                  | 189                                  | 29         | 4.6       | 285       | 2.6       | 2.1             | 7.3           |
|             |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | 7.5                | 4.3                  | 193                                  | 30         | 4.8       | 292       | 2.36      | 1               | 5.8           |

ตารางที่ 7-2 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| NAME              | CODE     | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | static<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|-------------------|----------|-------------|--------|---------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                   |          |             |        |         |                          |                            | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| บ่อประปาโซคนิมิตร | RY No 16 | 16 ก.ค. 57  | 738847 | 1405664 | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 170                                  | 31            | 4.6          | 261          | 3.9          | 0.6                | -                |
|                   |          | 14 ส.ค. 57  |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 120                                  | 32            | 5            | 262          | 6.3          | 0.3                | -                |
|                   |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 135                                  | 31            | 4.9          | 225          | 6.2          | 0.3                | 1.7              |
|                   |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 163                                  | 30            | 5.1          | 158          | 4.3          | 5.3                | 2.9              |
|                   |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 164                                  | 29            | 4.7          | 279          | 6.8          | 10                 | 1.6              |
|                   |          | 11-มี.ค.-58 |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 152                                  | 31            | 4.9          | 296          | 4            | 2.8                | 1.7              |
|                   |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | บ่อปิด                   | บ่อปิด                     | 217                                  | 32            | 5.3          | 206          | 4.1          | 0.3                | 2                |
| ลุงเหวี่ยง        | RY No 17 | 14 ส.ค. 57  | 738511 | 1405145 | 7                        | 3.6                        | 135                                  | 30            | 4.4          | 259          | 7.1          | 1.4                | -                |
|                   |          | 2 ก.ย. 57   |        |         | 7                        | 3.6                        | 140                                  | 29            | 4.5          | 222          | 6.8          | 1.4                | 1.1              |
|                   |          | 18-พ.ย.-57  |        |         | 7                        | 3.6                        | 182                                  | 29            | 4.5          | 206          | 5.4          | 1.3                | 3                |
|                   |          | 22-ม.ค.-58  |        |         | 7                        | 3.6                        | 201                                  | 29            | 4.5          | 291          | 6.8          | 13                 | 1.4              |
|                   |          | 12-มี.ค.-58 |        |         | 7                        | 3.6                        | 170                                  | 29            | 4.6          | 261          | 1.8          | 15                 | 1.7              |
|                   |          | 28-เม.ย.-58 |        |         | 7                        | 3.6                        | 197                                  | 29            | 4.5          | 3.1          | 1.7          | 1.1                | 2.2              |
| คุณนิพล           | RY No 18 | 28-เม.ย.-58 | 739033 | 1405316 | 8.8                      | 7.2                        | 192                                  | 29            | 4.6          | 312          | 2.9          | 2                  | 3                |

ตารางที่ 7-3 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์

| NAME               | CODE | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | static<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|--------------------|------|-------------|--------|---------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                    |      |             |        |         |                          |                            | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| สวนป่าอรุณ         | MW-1 | 19 พ.ย. 57  | 738680 | 1405560 | 11.5                     | 4.7                        | 171                                  | 31            | 4            | 168          | 5.3          | 545                | 4.9              |
|                    |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 11.5                     | 4.7                        | 186                                  | 30            | 4.2          | 203          | 4.3          | 236                | 5.1              |
|                    |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 11.5                     | 4.7                        | 208                                  | 31            | 4.1          | 307          | 3.5          | 13                 | 6                |
|                    |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 11.5                     | 4.7                        | 208                                  | 31            | 4.35         | 358          | 1.6          | 42                 | 4.2              |
| ป่าสมปอง           | MW-2 | 19 พ.ย. 57  | 738635 | 1405527 | 11.5                     | 5.4                        | 299                                  | 31            | 4.1          | 194          | 5.8          | 38                 | 6.8              |
|                    |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 11.5                     | 5.4                        | 254                                  | 30            | 4.3          | 212          | 4.3          | 94                 | 5.3              |
|                    |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 11.5                     | 5.4                        | 268                                  | 31            | 4.5          | 259          | 2.9          | 42                 | 1.4              |
|                    |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 11.5                     | 5.4                        | 232                                  | 32            | 4.5          | 323          | 2.3          | 101                | 1.3              |
| หน้าบ้านป่าเหลี่ยม | MW-4 | 19 พ.ย. 57  | 738662 | 1405457 | 11.7                     | 5.6                        | 313                                  | 31            | 4.1          | 196          | 5.6          | 89                 | 1.8              |
|                    |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 11.7                     | 5.6                        | 220                                  | 31            | 4.3          | 155          | 4.2          | 130                | 1.8              |
|                    |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 11.7                     | 5.6                        | 350                                  | 31            | 4.5          | 245          | -            | 151                | 5.1              |
|                    |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 11.7                     | 5.6                        | 180                                  | 31            | 4.6          | 284          | 3.6          | 172                | 1.4              |
| ป่าอรัย            | MW-5 | 19 พ.ย. 57  | 738570 | 1405394 | 10.7                     | 3.5                        | 333                                  | 31            | 4.3          | 227          | 5.9          | 56                 | 1.1              |
|                    |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 10.7                     | 3.5                        | 321                                  | 30            | 4.3          | 173          | 4.3          | 245                | 3.6              |
|                    |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 10.7                     | 3.5                        | 310                                  | 30            | 4.5          | 309          | 1.4          | 56                 | 2.9              |
|                    |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 10.7                     | 3.5                        | 319                                  | 31            | 4.6          | 309          | 0.4          | 123                | 2.9              |
| คุนข้วยเมือง       | MW-6 | 19 พ.ย. 57  | 738484 | 1405408 | 9.5                      | 2.3                        | 250                                  | 30            | 4.8          | 232          | 5.9          | 148                | 4.1              |
|                    |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 9.5                      | 2.3                        | 196                                  | 30            | 4.9          | 151          | 4.5          | 76                 | 3.2              |
|                    |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 9.5                      | 2.3                        | 210                                  | 29            | 5.3          | 262          | 2.1          | 51                 | 3.8              |
|                    |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 9.5                      | 2.3                        | 250                                  | 30            | 5.3          | 86           | 1.1          | 25                 | 0.7              |

ตารางที่ 7-3 ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

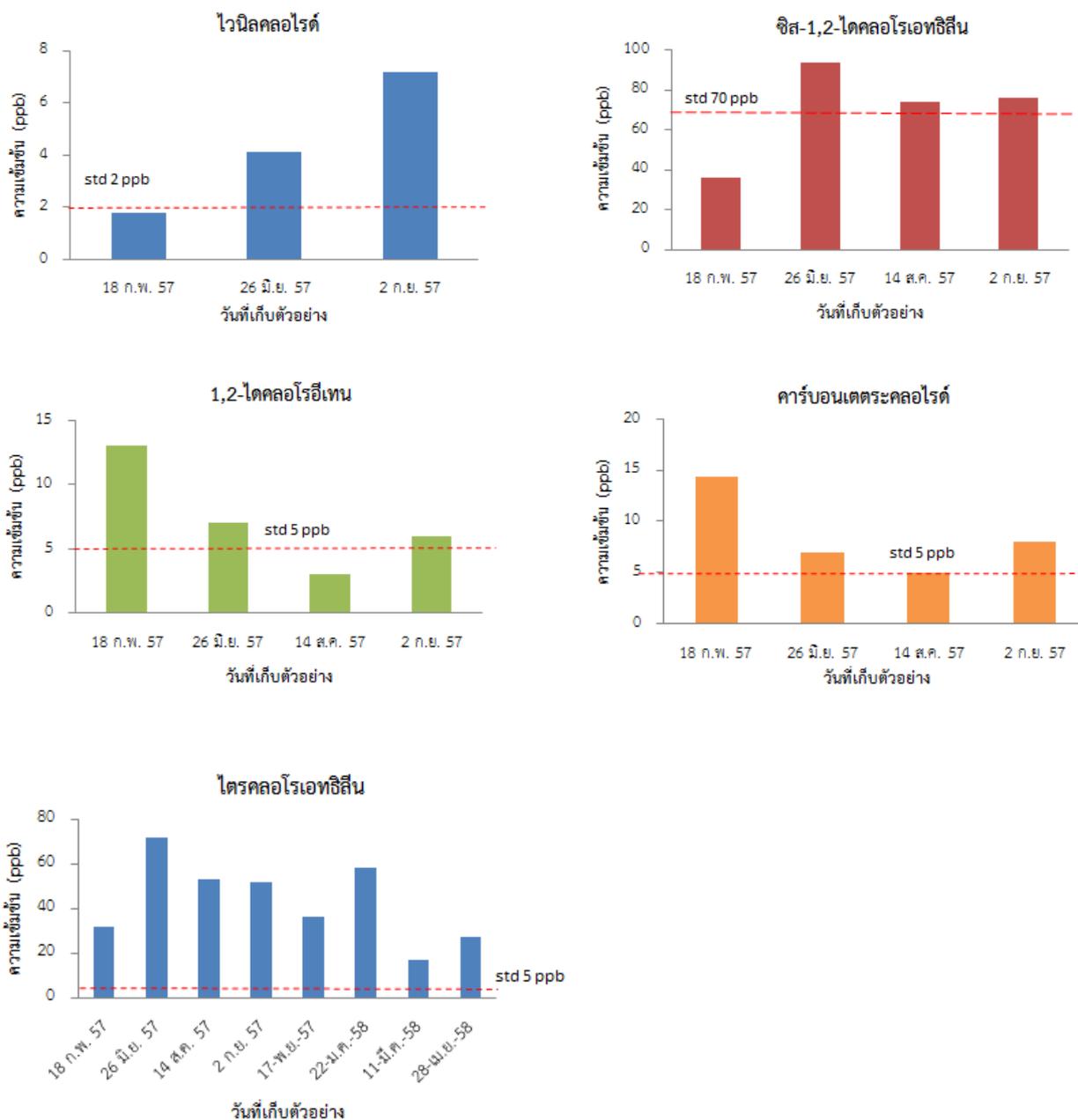
| NAME             | CODE | วันที่เก็บ  | UTM-E  | UTM-N   | well<br>depth<br>(meter) | static<br>level<br>(meter) | PARAMETER MULTI-PARAMETER TROLL 9500 |               |              |              |              |                    |                  |
|------------------|------|-------------|--------|---------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|
|                  |      |             |        |         |                          |                            | Conductivity<br>( $\mu$ s)           | Temp.<br>(°C) | pH<br>(S.U.) | ORP<br>(mv.) | DO<br>(mg/L) | turbidity<br>(NTU) | Nitrate<br>(ppm) |
| ข้างร้านคุณวิษณุ | MW-7 | 19 พ.ย. 57  | 738642 | 1405394 | 11.2                     | 6.71                       | 231                                  | 31            | 4.1          | 215          | 5.8          | 65                 | 1.6              |
|                  |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 11.2                     | 6.71                       | 201                                  | 30            | 4.2          | 166          | 4.3          | 104                | 2.5              |
|                  |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 11.2                     | 6.71                       | 216                                  | 31            | 4.4          | 283          | 2.3          | 9.1                | 3.7              |
|                  |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 11.2                     | 6.71                       | 222                                  | 31            | 4.5          | 307          | 1.3          | 180                | 2.8              |
| คุณจำลอง         | MW-8 | 19 พ.ย. 57  | 738635 | 1405527 | 11.2                     | 3.6                        | 236                                  | 31            | 4.2          | 234          | 5.9          | 12.1               | 4.9              |
|                  |      | 18 ม.ค. 58  |        |         | 11.2                     | 3.6                        | 191                                  | 30            | 4.2          | 214          | 4.3          | 388                | 2.1              |
|                  |      | 10 มี.ค. 58 |        |         | 11.2                     | 3.6                        | 198                                  | 30            | 4.6          | 272          | 3.1          | 59                 | 8.2              |
|                  |      | 28-เม.ย.-58 |        |         | 11.2                     | 3.6                        | 173                                  | 30            | 5.23         | 178          | 1.3          | 38                 | 1.2              |

## 7.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

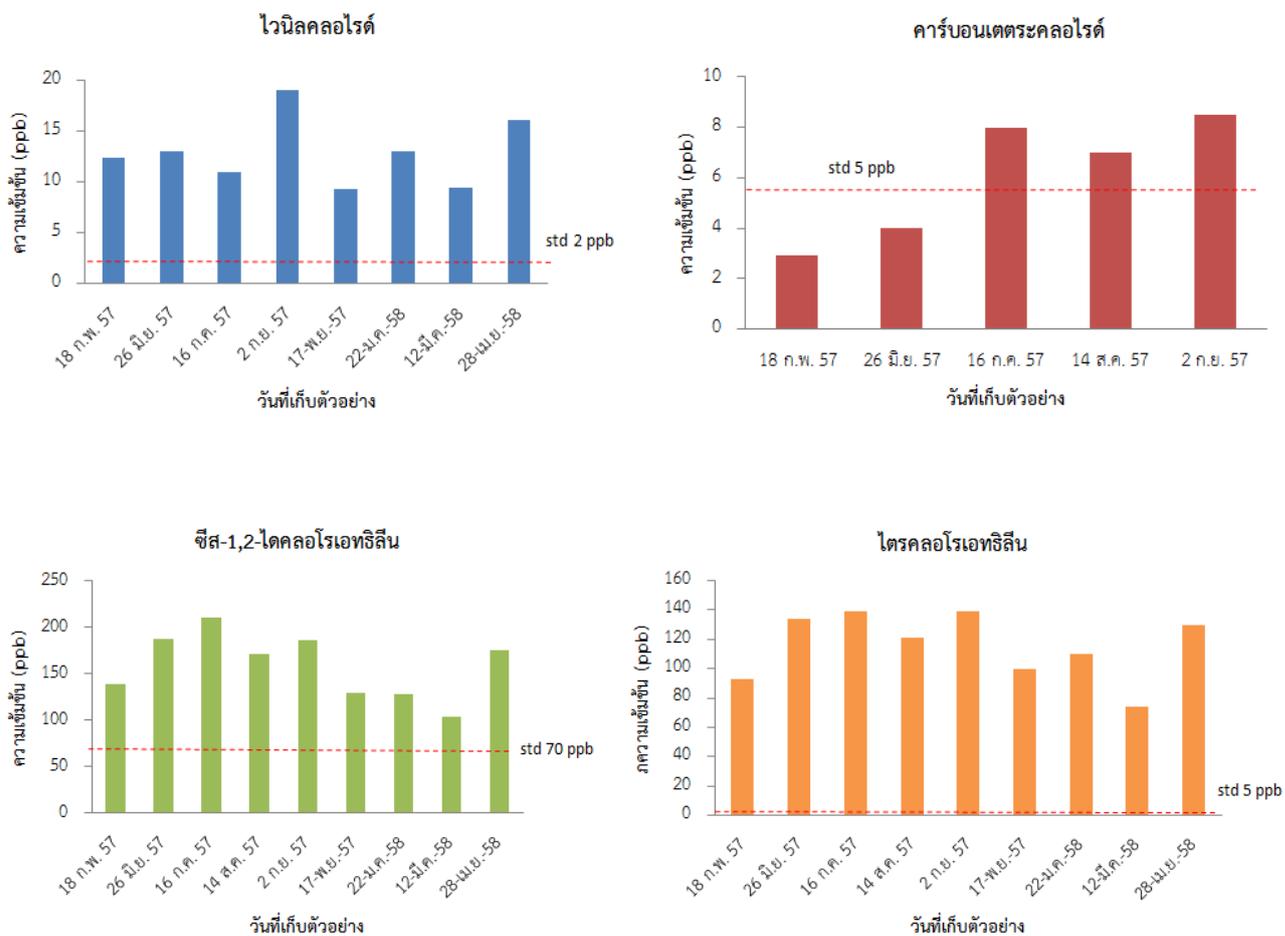
จากการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่โชดหิน เขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยองพบว่าการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้านทุกบ่อจากการสุ่มตรวจ 10 บ่อ และมีจำนวน 4 บ่อที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยบางชนิดสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน และทั้ง 4 บ่อมีประชากรใช้น้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคไม่น้อยกว่า 10 หลังคาเรือนโดยมีประชากรไม่น้อยกว่า 40 คน ปริมาณสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้านในชุมชนโชดหิน แสดงในตารางที่ 7-4 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบเกินค่ามาตรฐานในบ่อน้ำใต้ดินของชาวบ้านบางบ่อแสดงในรูปที่ 7.1 -7.4 ซึ่งพบว่าในแต่ละบ่อจะพบสารอินทรีย์ระเหยต่างชนิดกันและตรวจพบหลายชนิดในบ่อเดียวกัน โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่มีรูปแบบ และยังพบว่าบางบ่อมีการตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยหลายชนิดเช่นกันแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน บ่งชี้ว่าบ่อน้ำของประชาชนได้รับการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยอย่างต่อเนื่อง ปริมาณรายละเอียดของปริมาณการตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยในบ่อน้ำประชาชน และบ่อสังเกตการณ์แสดงในตารางที่ 7-5 และ 7-6 สำหรับปริมาณออกนอกหลักในบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละบ่อ และปริมาณโลหะหนักในพื้นที่โดยทั่วไปพบในปริมาณน้อยดังแสดงในตารางที่ 7-7 และ 7-8

ตารางที่ 7-4 สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้านในชุมชนโชดหิน

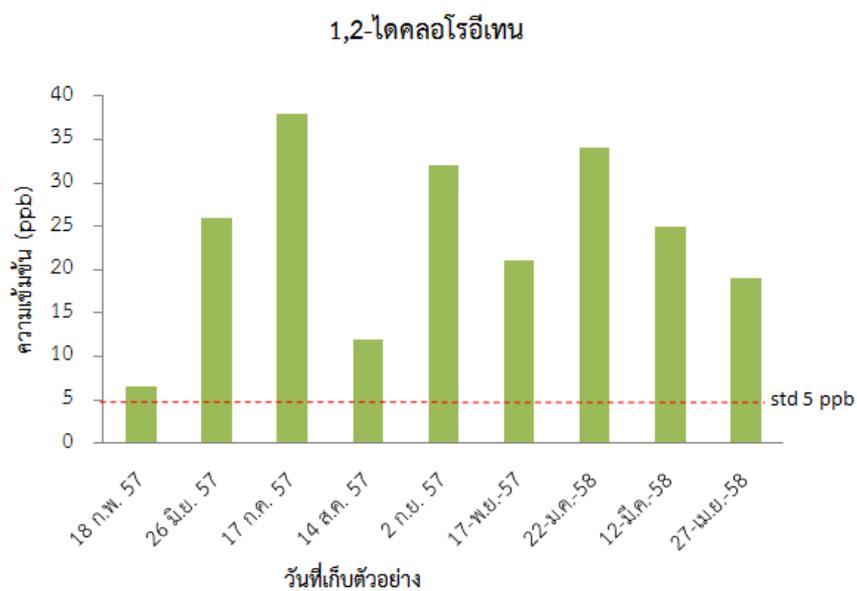
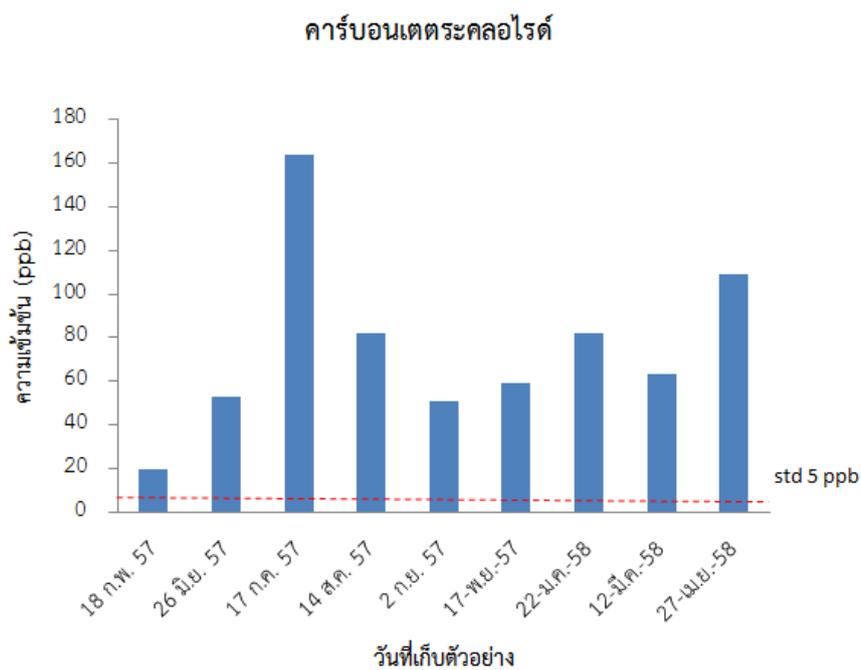
| ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบเกินค่ามาตรฐาน | ปริมาณสูงสุดที่ตรวจพบ (ไมโครกรัมต่อลิตร) | มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ไมโครกรัมต่อลิตร) |
|--|--|---|
| Vinyl Chloride                                 | 30                                       | 2   |
| Trichloroethylene (TCE)                        | 210                                      | 5   |
| Carbon Tetrachloride                           | 176                                      | 5   |
| 1,2 Dichloroethane                             | 53                                       | 5   |
| Cis-1,2-Dichloroethylene                       | 416                                      | 70  |
| Tetrachloroethylene (PCE)                      | 10                                       | 5   |



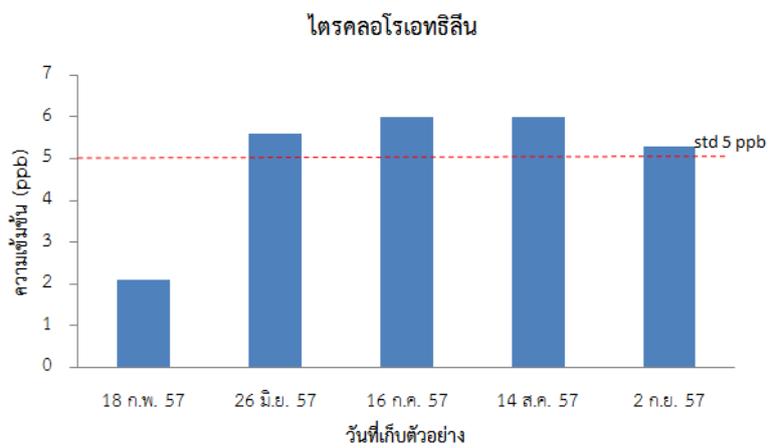
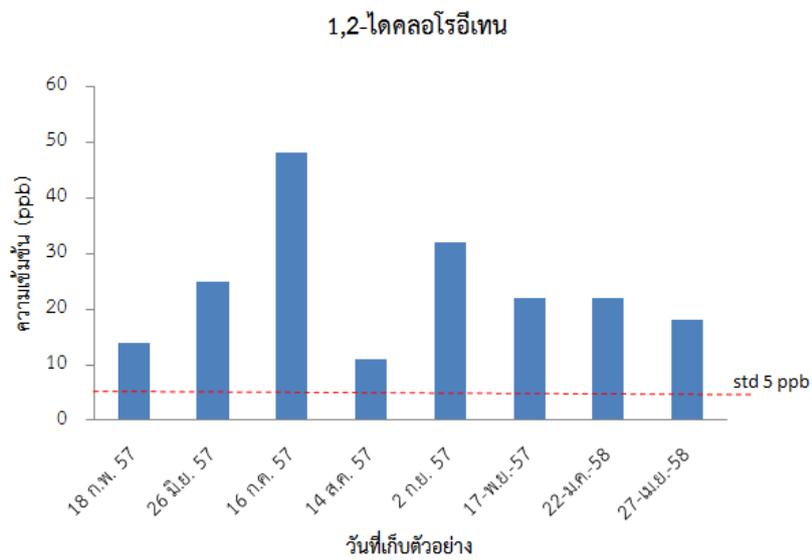
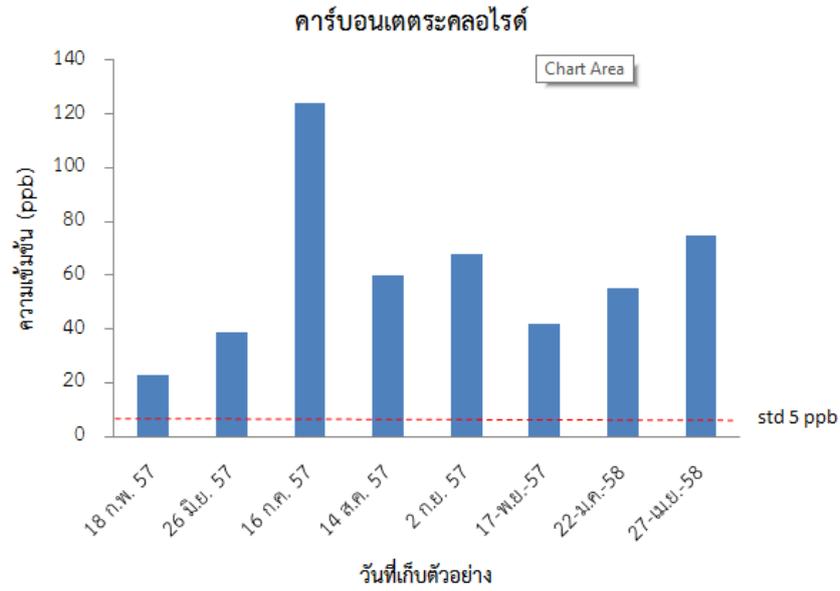
รูปที่ 7.1 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY3)



รูปที่ 7.2 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY6)



รูปที่ 7.3 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY10)



รูปที่ 7.4 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อน้ำชาวบ้าน (RY12)

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน

|                 | ชื่อ<br>ตัวอย่าง | วันที่เก็บ<br>ตัวอย่าง | วันที่<br>วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |        |
|-----------------|------------------|------------------------|---------------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|-------|--------|
|                 |                  |                        |                     | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน |
| คุณป้าสาลี      | RY NO.2          | 19 ก.พ. 57             | 26-ก.พ.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 16 ก.ค. 57             | 6 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 2 ก.ย. 57              | 7 ก.ย. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 18-พ.ย.-57             | 22-พ.ย.-57          | -  | 0.16               | -            | 0.4                       | 56                     | -                   | 2.08                | 2.8              | -      | 38              | -       | 0.2                 | 1.05              | -           | -     |        |
|                 |                  | 22-ม.ค.-58             | 20-ก.พ.-58          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 28-เม.ย.-58            | 14-พ.ค.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
| บ้านเช่า 6 ห้อง | RY NO.3          | 18 ก.พ. 57             | 21-ก.พ.-57          | 1.8                                      | 0.4                | 0.7          | 1.3                       | 37                     | -                   | 14                  | 13               | 0.8    | 32              | -       | -                   | 3.2               | -           | -     |        |
|                 |                  | 26 มิ.ย. 57            | 29 มิ.ย. 57         | 4.1                                      | 0.3                | 0.9          | 0.5                       | 94                     | -                   | 7                   | 7                | -      | 72              | -       | -                   | 2.3               | -           | -     |        |
|                 |                  | 16 ก.ค. 57             | 6 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | 3                      | -                   | 3                   | 3                | -      | 2               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | 0.2                | -            | -                         | 74                     | -                   | 5                   | 3                | -      | 53              | -       | -                   | 2                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 2 ก.ย. 57              | 7 ก.ย. 57           | 7.2                                      | 0.2                | 0.5          | 0.5                       | 76                     | -                   | 8                   | 6                | -      | 52              | -       | -                   | 2                 | -           | -     |        |
|                 |                  | 17-พ.ย.-57             | 22-พ.ย.-57          | -  | 0.22               | 0.35         | 0.32                      | 52                     | -                   | 7                   | 5.2              | -      | 36              | -       | -                   | 1.02              | -           | -     |        |
|                 |                  | 22-ม.ค.-58             | 20-ก.พ.-58          | -  | 0.12               | -            | -                         | 62                     | -                   | 0.32                | 0.9              | -      | 58              | -       | -                   | 1.9               | -           | -     |        |
|                 |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | 0.15         | -                         | 26                     | -                   | 2.3                 | 3.8              | -      | 17              | -       | -                   | 2.5               | -           | -     |        |
| 28-เม.ย.-58     | 15-พ.ค.-57       | -                      | 0.22                | -  | -                  | 33           | -                         | 7.1                    | 1.5                 | -                   | 27               | -      | -               | 3.6     | -                   | -                 |             |       |        |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อ<br>ตัวอย่าง | วันที่เก็บ<br>ตัวอย่าง | วันที่<br>วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |        |   |
|---------------------|------------------|------------------------|---------------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|-------|--------|---|
|                     |                  |                        |                     | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน |   |
| คุณอรทัย<br>หอมหวาน | RY NO.4          | 18 ก.พ. 57             | 23-ก.พ.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | 1.1              | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      |   |
|                     |                  | 16 ก.ค. 57             | 6 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | 1.1              | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | -                  | -            | -                         | 3                      | -                   | 0.9                 | 1.1              | -      | 2               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 2 ก.ย. 57              | 7 ก.ย. 57           | -  | -                  | -            | -                         | 2                      | -                   | 0.5                 | 1.5              | -      | 1.3             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 17-พ.ย.-57             | 22-พ.ย.-57          | -  | -                  | -            | 0.2                       | 49                     | -                   | -                   | 0.3              | -      | 43              | -       | -                   | 1.5               | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 22-ม.ค.-58             | 20-ก.พ.-58          | -  | 0.34               | -            | -                         | 8.2                    | -                   | 13                  | 8.4              | -      | 8.4             | -       | -                   | 0.4               | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | 0.18         | -                         | 2                      | -                   | 5.9                 | 4.5              | -      | 1               | -       | -                   | 1.9               | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 28-เม.ย.-58            | 14-พ.ค.-57          | -  | 0.2                | -            | -                         | 1.4                    | -                   | 6.9                 | -                | -      | 0.7             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
| คุณขวัญเมือง        | RY NO.5          | 19 ก.พ. 57             | 26-ก.พ.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      |   |
|                     |                  | 16 ก.ค. 43             | 6 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 2 ก.ย. 57              | 7 ก.ย. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 17-พ.ย.-57             | 22-พ.ย.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 22-ม.ค.-58             | 20-ก.พ.-58          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |
|                     |                  | 28-เม.ย.-58            | 14-พ.ค.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ         | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                     |              |                            |                         |                        |                     |                     |        |                  |         |                        |                    |             |       |        |
|--------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------|------------------|---------|------------------------|--------------------|-------------|-------|--------|
|                    |              |                    |                 | ไวเมิลคลอไรด์                            | 1,1-ไดคลอโรเอเทอรีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอรีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอรีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทอรีน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทอรีน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอรีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทอรีน | เตตระคลอโรเอเทอรีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน |
| คุณวิษณุ (ร้านค้า) | RY NO.6      | 18 ก.พ. 57         | 23-ก.พ.-57      | 12                                       | 0.2                 | 0.3          | 1.2                        | 139                     | -                      | 2.9                 | 4.1                 | -      | 93               | -       | -                      | 3.8                | -           | -     | -      |
|                    |              | 26 มิ.ย. 57        | 29 มิ.ย. 57     | 13                                       | 0.4                 | 0.6          | 0.4                        | 187                     | -                      | 4.0                 | 2.2                 | -      | 134              | -       | -                      | 3.8                | -           | -     | -      |
|                    |              | 16 ก.ค. 57         | 6 ส.ค. 57       | 11                                       | 0.3                 | -            | -                          | 210                     | -                      | 8.0                 | 4.0                 | -      | 139              | -       | -                      | 4                  | -           | -     | -      |
|                    |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | 0.3                 | -            | -                          | 172                     | -                      | 7.0                 | 2.0                 | -      | 121              | -       | -                      | 4                  | -           | -     | -      |
|                    |              | 2 ก.ย. 57          | 7 ก.ย. 57       | 19                                       | 0.3                 | 0.4          | 0.5                        | 186                     | -                      | 8.5                 | 2.9                 | -      | 139              | -       | -                      | 4                  | -           | -     | -      |
|                    |              | 17-พ.ย.-57         | 22-พ.ย.-57      | 9.3                                      | 0.12                | -            | 0.3                        | 130                     | -                      | 2.4                 | 1.1                 | -      | 100              | -       | 0.3                    | 2.6                | -           | -     | -      |
|                    |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | 13                                       | 0.2                 | -            | 0.13                       | 128                     | -                      | 2.1                 | 1.5                 | -      | 110              | -       | -                      | 3.6                | -           | -     | -      |
|                    |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | 9.4                                      | 0.1                 | 0.1          | -                          | 104                     | -                      | 1.6                 | 1.5                 | -      | 74               | -       | -                      | 3.9                | -           | -     | -      |
| 28-เม.ย.-58        | 15-พ.ค.-57   | 16                 | 0.4             | -  | -                   | 176          | -                          | 2.2                     | -                      | -                   | 130                 | -      | 1.9              | 5.9     | -                      | -                  | -           |       |        |
| คุณสมปอง           | RY NO.7      | 19 ก.พ. 57         | 21-ก.พ.-57      | -  | -                   | -            | -                          | -                       | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 17 ก.ค. 57         | 6 ส.ค. 57       | -  | -                   | -            | -                          | -                       | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | -                   | -            | -                          | -                       | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 2 ก.ย. 57          | 7 ก.ย. 57       | -  | -                   | -            | -                          | 0.2                     | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 17-พ.ย.-57         | 22-พ.ย.-57      | -  | -                   | -            | -                          | -                       | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | -  | -                   | -            | -                          | 0.2                     | -                      | -                   | -                   | -      | 0.4              | -       | -                      | -                  | -           | -     |        |
|                    |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | data fault                               |                     |              |                            |                         |                        |                     |                     |        |                  |         |                        |                    |             |       |        |
|                    |              | 27-เม.ย.-58        | 14-พ.ค.-57      | -  | -                   | -            | -                          | -                       | -                      | -                   | -                   | -      | -                | -       | -                      | -                  | -           | -     | -      |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ   | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |        |   |   |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|-------|--------|---|---|
|              |              |                    |                 | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอิน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน |   |   |
| คุณประสิทธิ์ | RY NO.9      | 19 ก.พ. 57         | 21-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | 1.6         | 2.1   | -      |   |   |
|              |              | 17 ก.ค. 57         | 6 ส.ค. 57       | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
|              |              | 2 ก.ย. 57          | 7 ก.ย. 57       | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
|              |              | 18-พ.ย.-57         | 23-พ.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
|              |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
|              |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
|              |              | 28-เม.ย.-58        | 15-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - | - |
| นางเหลียน    | RY NO.10     | 18 ก.พ. 57         | 23-ก.พ.-57      | -  | 0.4                | 0.3          | 1.1                       | 2.9                    | -                   | 20                  | 6.6              | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      |   |   |
|              |              | 26 มิ.ย. 57        | 29 มิ.ย. 57     | 0.3                                      | 0.8                | 2.9          | 0.6                       | 4.2                    | -                   | 53                  | 26.0             | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 17 ก.ค. 57         | 6 ส.ค. 57       | -  | 0.92               | 4            | -                         | 4                      | -                   | 164                 | 38.0             | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | 0.9                | 0.8          | -                         | 4                      | -                   | 82                  | 12.0             | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 2 ก.ย. 57          | 7 ก.ย. 57       | 2  | 0.5                | 2.2          | 0.6                       | 4                      | -                   | 51                  | 32.0             | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 17-พ.ย.-57         | 23-พ.ย.-57      | -  | 0.58               | 1.4          | 0.55                      | 2.4                    | -                   | 59                  | 21               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | -  | 1.2                | -            | 0.12                      | 4.3                    | -                   | 82                  | 34               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | 1.5                                      | -                  | 1.9          | -                         | 3.1                    | -                   | 63                  | 25               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |
|              |              | 27-เม.ย.-58        | 14-พ.ค.-57      | -  | 1.1                | 0.39         | -                         | 2.3                    | -                   | 109                 | 19               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -      | - |   |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอิน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| คุณรุ่งสุริยา       | RY NO.12     | 18 ก.พ. 57         | 23-ก.พ.-57      | -  | 0.4                | 2.1          | 1.3                       | 4                      | -                   | 23                  | 14               | -      | 2.1             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 26 มิ.ย. 57        | 29 มิ.ย. 57     | 0.6                                      | 0.7                | 4            | 0.6                       | 6.3                    | -                   | 39                  | 25               | -      | 5.6             | -       | -                   | 0.24              | -           | -        | -      |
|                     |              | 17 ก.ค. 43         | 7 ส.ค. 57       | -  | 0.62               | 8            | -                         | 6.6                    | -                   | 124                 | 48               | -      | 6               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | 0.6                | 2            | -                         | 5.4                    | -                   | 60                  | 11               | -      | 6               | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 2-ก.ย.-57          | 9-ก.ย.-57       | 2.2                                      | 0.8                | 3.9          | 0.8                       | 5.9                    | -                   | 68                  | 32               | -      | 5.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 17-พ.ย.-57         | 23-พ.ย.-57      | -  | 0.5                | 2.2          | 0.5                       | 3.2                    | -                   | 42                  | 22               | -      | 4.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 22-ม.ค.-58         | 19-ก.พ.-58      | -  | 0.82               | -            | -                         | 4                      | -                   | 55                  | 22               | -      | 3.9             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 14-พ.ค.-57      | -  | 0.7                | 1.4          | -                         | 3                      | -                   | 75                  | 18               | -      | 2               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ   | ชื่อ<br>ตัวอย่าง | วันที่เก็บ<br>ตัวอย่าง | วันที่<br>วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |        |
|--------------|------------------|------------------------|---------------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|-------|--------|
|              |                  |                        |                     | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน |
| โนสวนป่าสาละ | RY<br>NO.13      | 19 ก.พ. 57             | 26-ก.พ.-57          | -  | 0.2                | -            | 1                         | 8.6                    | -                   | 3.3                 | 5                | -      | 7.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 26 มิ.ย. 57            | 29 มิ.ย. 57         | -  | -                  | -            | -                         | 2.4                    | -                   | -                   | 0.5              | -      | 1.5             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 17 ก.ค. 57             | 7 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | 6                      | -                   | -                   | 0.48             | -      | 1.7             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | -                  | -            | -                         | 4                      | -                   | -                   | -                | -      | 2.8             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 2-ก.ย.-57              | 9-ก.ย.-57           | -  | -                  | -            | -                         | 2.2                    | -                   | -                   | 0.3              | -      | 1.5             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 18-พ.ย.-57             | 23-พ.ย.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
|              |                  | 22-ม.ค.-58             | 21-ก.พ.-58          | -  | 0.21               | -            | -                         | 9                      | -                   | 3.6                 | 5                | -      | 8               | -       | -                   | 0.3               | -           | -     |        |
|              |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | -            | -                         | 2.3                    | -                   | 0.2                 | 0.6              | -      | 1.8             | -       | -                   | -                 | -           | -     |        |
| 28-เม.ย.-58  | 15-พ.ค.-57       | -                      | -                   | -  | -                  | 4.2          | -                         | 0.3                    | -                   | -                   | 2.2              | -      | -               | 3.5     | -                   | -                 |             |       |        |
| ลูกสาวป่าคำ  | RY<br>NO.14      | 19 ก.พ. 57             | 23-ก.พ.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 17 ก.ค. 57             | 7 ส.ค. 57           | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 14 ส.ค. 57             | 19 ส.ค. 57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 18-พ.ย.-57             | 23-พ.ย.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 22-ม.ค.-58             | 21-ก.พ.-58          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 11-มี.ค.-58            | 21-มี.ค.-58         | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |
|              |                  | 28-เม.ย.-58            | 14-พ.ค.-57          | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           |       |        |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวเมทคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| คุณจำลอง            | RY NO.15     | 17 ก.ค. 57         | 7 ส.ค. 57       | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        |        |
|                     |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        |        |
|                     |              | 18-พ.ย.-57         | 21-พ.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 15-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| บ่อประปาไซคนิมิตร   | RY NO.16     | 17 ก.ค. 57         | 7 ส.ค. 57       | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        |        |
|                     |              | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        |        |
|                     |              | 18-พ.ย.-57         | 21-พ.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 22-ม.ค.-58         | 21-ก.พ.-58      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 11-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 14-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-5 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อชาวบ้าน (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวเมทิลคลอไรด์                           | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| ลุงเหวียง           | RY NO.17     | 14 ส.ค. 57         | 19 ส.ค. 57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 18-พ.ย.-57         | 21-พ.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 22-ม.ค.-58         | 22-ก.พ.-58      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 12-มี.ค.-58        | 22-มี.ค.-58     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 14-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | RY NO.18     | 28-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |   |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|---|
|                     |              |                    |                 | ไวโพลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |   |
| สวนป่าอรุณ          | MW1 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |   |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW1 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW1 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |   |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| สวนป่าอรุณ          | MW1 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW1 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW1 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |   |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|---|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรอีเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |   |
| ป่าสมpong           | MW2 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |   |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW2 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW2 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |   |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |   |   |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|---|---|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |   |   |
| ป่าสมปอง            | MW2 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |   |   |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |   |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | 3.9                                      | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     | MW2 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     | MW2 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - | - |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |   |   |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ            | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                       |              |                    |                 | ไวโพลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| หน้าบ้านป่า<br>เหรียญ | MW4 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.2                | 4.6          | -                         | 3.3                    | -                   | 113                 | 20               | -      | 4               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.6                | 6.3          | 1.6                       | 7.7                    | -                   | 149                 | 46               | -      | 3.6             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 1.7                | 1.9          | 0.6                       | 9.4                    | -                   | 153                 | 91               | -      | 4.4             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | 0.5                | 4.1          | -                         | 4.9                    | -                   | 52                  | 36               | -      | 1.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.6                | 4.5          | -                         | 5.7                    | -                   | 247                 | 65               | -      | 2.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       | MW4 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.2                | 4.5          | -                         | 3.3                    | -                   | 105                 | 19               | -      | 3               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 2                  | 6            | 1.6                       | 8                      | -                   | 152                 | 47               | -      | 3.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | 6.3                                      | 2.5                | 5.4          | 0.9                       | 9.4                    | -                   | 178                 | 72               | -      | 5               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | 1.8                | 5.8          | 0.5                       | 8.6                    | -                   | 156                 | 54               | -      | 4.1             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.6                | 4.8          | -                         | 5.7                    | -                   | 242                 | 64               | -      | 2.6             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       | MW4 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.3                | 4.9          | -                         | 7                      | -                   | 132                 | 22               | -      | 3               | -       | -                   | 0.1               | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.5                | 5.5          | 1.5                       | 8.2                    | -                   | 167                 | 52               | -      | 4               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 3                  | 4.2          | 0.7                       | 8.8                    | -                   | 172                 | 79               | -      | 4.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | 1.9                | 5.9          | 0.6                       | 8.4                    | -                   | 156                 | 57               | -      | 4.1             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.9                | 5            | -                         | 7.1                    | -                   | 152                 | 33               | -      | 2.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน   |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ            | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                       |              |                    |                 | ไวโกลลอร์ไรด์                            | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| หน้าบ้านป่า<br>เหรียญ | MW4 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.3                | 4.7          | -                         | 7                      | -                   | 119                 | 21               | -      | 3.3             | -       | -                   | 0.1               | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.4                | 5            | 1.5                       | 8                      | -                   | 176                 | 53               | -      | 3.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 2.24               | 5.1          | 0.8                       | 9.6                    | -                   | 167                 | 78               | -      | 5               | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 17-มี.ค.-57     | -  | 1.9                | 6.2          | 0.7                       | 9.2                    | -                   | 174                 | 58               | -      | 4.3             | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.7                | 5.3          | -                         | 6.2                    | -                   | 266                 | 69               | -      | 2.9             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       | MW4 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.1                | 4.2          | -                         | 6.3                    | -                   | 84                  | 19               | -      | 3               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.5                | 6            | 1.4                       | 8                      | -                   | 149                 | 51               | -      | 3.4             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 2.2                | 4.5          | 0.7                       | 9                      | -                   | 189                 | 73               | -      | 4.7             | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | 0.6                | 4            | -                         | 5.1                    | -                   | 52                  | 40               | -      | 1.4             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.6                | 4.5          | -                         | 5.6                    | -                   | 220                 | 64               | -      | 2.8             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       | MW4 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 1.3                | 4.3          | -                         | 7                      | -                   | 124                 | 22               | -      | 4               | -       | -                   | 0.1               | -           | -        | -      |
|                       |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | 6            | 1.5                       | 7.8                    | -                   | 163                 | -                | -      | 3               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 2.2                | 4.5          | 0.8                       | 8.9                    | -                   | 170                 | 75               | -      | 5               | -       | -                   | 0.22              | -           | -        | -      |
|                       |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | 0.5                | 4.4          | -                         | 5                      | -                   | 48                  | 42               | -      | 1.4             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                       |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.5                | 4.5          | -                         | 5.4                    | -                   | 232                 | 61               | -      | 2.6             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน   |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวลคลอไรด์                               | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| ป่าอรัญ             | MW5 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 2.6                    | -                   | 0.2                 | -                | -      | 1.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 3.6                    | -                   | 0.2                 | 0.9              | -      | 1.8             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.3                | -            | -                         | 3                      | -                   | 11                  | 11               | -      | 3.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 1.4                    | -                   | 1.4                 | 1.6              | -      | 0.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.2                | -            | -                         | 2.1                    | -                   | -                   | -                | -      | 0.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW5 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 2                      | -                   | 0.1                 | 0.4              | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 3.6                    | -                   | 0.2                 | 1                | -      | 1.9             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.33               | -            | -                         | 3.1                    | -                   | 11                  | 10               | -      | 1.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 1.9                    | -                   | 7.1                 | 2.4              | -      | 1.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.2                | -            | -                         | 1.3                    | -                   | 4.2                 | 0.3              | -      | 0.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW5 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5                      | -                   | 0.2                 | 1.2              | -      | 2.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.4                | -            | -                         | 2.6                    | -                   | 19                  | 11               | -      | 2.1             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 1.4                    | -                   | 1.4                 | 1.5              | -      | 0.3             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.14               | -            | -                         | 1.3                    | -                   | 3.6                 | 0.1              | -      | 0.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวลคลอไรด์                               | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| ป่าอรัญ             | MW5 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5                      | -                   | -                   | -                | -      | 2.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5                      | -                   | 0.2                 | 1.2              | -      | 2.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.3                | -            | -                         | 2.7                    | -                   | 21                  | 13               | -      | 1.8             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 1.9                    | -                   | 7.1                 | 2.4              | -      | 1.1             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.1                | -            | -                         | 1.2                    | -                   | 4.5                 | 0.8              | -      | 0.8             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW5 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4                      | -                   | -                   | -                | -      | 2.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 3                      | -                   | 0.2                 | 0.9              | -      | 1.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.3                | -            | -                         | 2.5                    | -                   | 19                  | 12               | -      | 1.6             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 0.9                    | -                   | 1.3                 | 1.3              | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.1                | -            | -                         | 0.8                    | -                   | 4.7                 | 0.3              | -      | 0.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW5 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4                      | -                   | -                   | -                | -      | 2.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 3                      | -                   | 0.2                 | 0.8              | -      | 2.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 24-ก.พ.-57      | -  | 0.3                | -            | -                         | 2.6                    | -                   | 20                  | 12               | -      | 1               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 1.1                    | -                   | 6.4                 | 2                | -      | 0.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | 0.1                | -            | -                         | 0.7                    | -                   | 4.3                 | 0.2              | -      | 0.5             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |   |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|---|
|                     |              |                    |                 | ไวโพลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |   |
| คุณขวัญเมือง        | MW6 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |   |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | 4.3                                      | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW6 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | 4.3                                      | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | 0.7                | -            | 0.3                       | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     | MW6 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      | - |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |   |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                       |              |                              |                           |                     |                     |                  |        |                    |         |                     |                      |             |          |        |   |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|-----------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|--------------------|---------|---------------------|----------------------|-------------|----------|--------|---|
|                     |              |                    |                 | ไวโพลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอริลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอริลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอริลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอริลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอริลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |   |
| คุณขวัญเมือง        | MW6 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      |   |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                     | -            | -                            | 0.2                       | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     | MW6 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     | MW6 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 23-ก.พ.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                     | -            | -                            | -                         | -                   | -                   | -                | -      | -                  | -       | -                   | -                    | -           | -        | -      | - |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                   | < 5          | < 100                        | < 70                      | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5                | < 1,000 | < 5                 | < 5                  | < 700       | < 10,000 | < 100  |   |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวลคลอไรด์                               | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| ข้างร้านคุณวิษณุ    | MW7 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 9.6                    | -                   | -                   | -                | -      | 11              | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 12                     | -                   | -                   | -                | -      | 12              | -       | -                   | 0.6               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.3                    | -                   | -                   | -                | -      | 7.7             | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 7.6                    | -                   | -                   | -                | -      | 11              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.2                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.6             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW7 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 9.6                    | -                   | -                   | -                | -      | 10              | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 12                     | -                   | -                   | -                | -      | 12              | -       | -                   | 0.6               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.4                    | -                   | -                   | -                | -      | 8.3             | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 8                      | -                   | -                   | -                | -      | 12              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.2                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.9             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW7 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 10                     | -                   | -                   | -                | -      | 10              | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 16                     | -                   | -                   | -                | -      | 17              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.3                    | -                   | -                   | -                | -      | 6.9             | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 4.4                    | -                   | -                   | -                | -      | 3.7             | -       | -                   | 0.2               | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.1                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลลโรइट                               | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| ข้างร้านคุณวิษณุ    | MW7 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 10                     | -                   | -                   | -                | -      | 11              | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 16                     | -                   | -                   | -                | -      | 18              | -       | -                   | 0.6               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.6                    | -                   | -                   | -                | -      | 7.3             | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 18-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 8                      | -                   | -                   | -                | -      | 12              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.3                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW7 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 8                      | -                   | -                   | -                | -      | 8.4             | -       | -                   | 0.1               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 16                     | -                   | -                   | -                | -      | 17              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.5                    | -                   | -                   | -                | -      | 7.2             | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 4.5                    | -                   | -                   | -                | -      | 4               | -       | -                   | 0.2               | 0.8         | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.1                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.7             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW7 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 8                      | -                   | -                   | -                | -      | 7.9             | -       | -                   | 0.1               | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 16                     | -                   | -                   | -                | -      | 17              | -       | -                   | 0.5               | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 4.9                    | -                   | -                   | -                | -      | 8.04            | -       | -                   | 0.3               | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | 4.9                    | -                   | -                   | -                | -      | 4.6             | -       | -                   | 0.2               | 0.8         | -        | -      |
|                     |              | 27-เม.ย.-58        | 13-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | 5.1                    | -                   | -                   | -                | -      | 9.4             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลลอคไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน | 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรอีเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอทิลีน | โทลูอิน | 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน | เตตระคลอโรเอทิลีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| คุณจำลอง            | MW8 (1-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW8 (1-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW8 (2-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวโพลคลอไรด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
| คุณจำลอง            | MW8 (2-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW8 (3-1)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | MW8 (3-2)    | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 11-พ.ค.-57      | -  | -                  | -            | -                         | -                      | -                   | -                   | -                | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ | ชื่อตัวอย่าง        | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |          |       |
|------------|---------------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|-------|----------|-------|
|            |                     |                    |                 | ไวโพลอโรไซด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรเอเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน | สไตรีน   |       |
| ป่าเหรียญ  | RY10 (1-1)          | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.8                | 0.6          | -                         | 3.4                    | -                   | 62                  | 13               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.4                | 2.6          | 0.9                       | 3.9                    | -                   | 88                  | 28               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.3                | -            | 0.2                       | 4.2                    | -                   | 74                  | 31               | -      | 0.23            | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |          |       |
|            |                     | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.1                | 0.5          | -                         | 2.6                    | -                   | 120                 | 25               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            | RY10 (1-2)          | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.9                | 0.9          | -                         | 3.5                    | -                   | 71                  | 14               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.4                | 3            | 0.9                       | 4                      | -                   | 88                  | 29               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.4                | -            | 0.2                       | 4.3                    | -                   | 79                  | 33               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |          |       |
|            |                     | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.1                | 0.5          | -                         | 2.7                    | -                   | 124                 | 25               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            | RY10 (2-1)          | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.7                | 0.6          | -                         | 3.2                    | -                   | 53                  | 13               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.4                | 2.6          | 0.9                       | 3.9                    | -                   | 87                  | 27               | -      | 0.9             | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.4                | -            | 0.2                       | 4.7                    | -                   | 83                  | 32               | -      | 0.24            | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            |                     | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |       |          |       |
|            |                     | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.1                | 0.4          | -                         | 2.7                    | -                   | 177                 | 26               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -     | -        |       |
|            | ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |                    |                 |  | < 2                | < 7          | < 5                       | < 100                  | < 70                | < 200               | < 5              | < 5    | < 5             | < 5     | < 1,000             | < 5               | < 5         | < 700 | < 10,000 | < 100 |

ตารางที่ 7-6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (ต่อ)

| เจ้าของบ่อ          | ชื่อตัวอย่าง | วันที่เก็บตัวอย่าง | วันที่วิเคราะห์ | สารอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่โครกรัมต่อลิตร) |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|--|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|-----------------|---------|---------------------|-------------------|-------------|----------|--------|
|                     |              |                    |                 | ไวโกลลโรไซด์                             | 1,1-ไดคลอโรเอเทอีน | ไดคลอโรมีเทน | ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเทอีน | 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน | คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 1,2-ไดคลอโรอีเทน | เบนซีน | ไตรคลอโรเอเทอีน | โทลูอีน | 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน | เตตระคลอโรเอเทอีน | เอทิลเบนซีน | ไซลีน    | สไตรีน |
|                     | RY10 (2-2)   | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.8                | 0.6          | -                         | 3.4                    | -                   | 64                  | 16               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.3                | 2.5          | 0.9                       | 3.8                    | -                   | 86                  | 28               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.3                | -            | 0.2                       | 4.5                    | -                   | 80                  | 38               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 1.3                | 0.6          | -                         | 2.8                    | -                   | 121                 | 27               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | RY10 (3-1)   | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.9                | 0.7          | -                         | 3.5                    | -                   | 64                  | 14               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.3                | 2.6          | 0.9                       | 3.8                    | -                   | 91                  | 28               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.1                | -            | 0.1                       | 4.2                    | -                   | 66                  | 35               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 0.7                | 0.3          | -                         | 1.6                    | -                   | 52                  | 23               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     | RY10 (3-2)   | 15-ส.ค.-57         | 21-ส.ค.-57      | -  | 0.8                | 0.7          | -                         | 3.4                    | -                   | 61                  | 13               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 3-ก.ย.-57          | 10-ก.ย.-57      | -  | 1.4                | 2.6          | 0.9                       | 3.8                    | -                   | 90                  | 29               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 20-ม.ค.-58         | 25-ก.พ.-57      | -  | 1.17               | -            | 0.1                       | 4.1                    | -                   | 64                  | 33               | -      | 0.2             | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
|                     |              | 10-มี.ค.-58        | 19-มี.ค.-57     | data fault                               |                    |              |                           |                        |                     |                     |                  |        |                 |         |                     |                   |             |          |        |
|                     |              | 28-เม.ย.-58        | 12-พ.ค.-57      | -  | 0.6                | 0.3          | -                         | 1.6                    | -                   | 52                  | 23               | -      | -               | -       | -                   | -                 | -           | -        | -      |
| ค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน |              |                    |                 | < 2                                      | < 7                | < 5          | < 100                     | < 70                   | < 200               | < 5                 | < 5              | < 5    | < 5             | < 1,000 | < 5                 | < 5               | < 700       | < 10,000 | < 100  |

ตารางที่ 7-7 ปริมาณไอออนหลักในตัวอย่างน้ำใต้ดิน

| ชื่อตัวอย่าง | วันเก็บตัวอย่าง | IC(cation) |    |      |      |      |      | IC(anion) |    |     |      |     |     |      |
|--------------|-----------------|------------|----|------|------|------|------|-----------|----|-----|------|-----|-----|------|
|              |                 | Li         | Na | NH4  | K    | Mg   | Ca   | F         | Cl | NO2 | Br   | NO3 | PO4 | SO4  |
| RY NO.2      | ก.ค. 57         | 0.02       | 13 | -    | 0.89 | 0.12 | 0.38 | 0.02      | 19 | -   | 0.37 | 3   | -   | 1.1  |
|              | ส.ค. 57         | 0.07       | 15 | -    | 0.82 | -    | -    | 0.04      | 19 | -   | 0.4  | 4.2 | -   | 0.3  |
| RY NO.3      | ก.ค. 57         | 0.02       | 26 | -    | 2.9  | 1.2  | 2.97 | -         | 39 | -   | 0.6  | 14  | -   | 1.7  |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 31 | -    | 3.3  | 0.85 | 3.84 | 0.1       | 48 | -   | 0.6  | 18  | -   | 0.33 |
| RY NO.4      | ก.ค. 57         | 0.01       | 12 | -    | 3.4  | 0.98 | 10   | 0.03      | 18 | -   | -    | 0.3 | -   | 6    |
|              | ส.ค. 57         | 0.02       | 26 | -    | 3.1  | 0.97 | 3.2  | 0.2       | 39 | -   | 0.6  | 17  | -   | 1.4  |
| RY NO.5      | ก.ค. 57         | 0.01       | 29 | -    | 3.1  | 1.3  | 3.8  | 0.1       | 46 | -   | 0.6  | 17  | -   | 0.2  |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 12 | -    | 3.4  | 0.5  | 7.1  | -         | 18 | -   | 0.4  | 0.3 | -   | 6.8  |
| RY NO.6      | ก.ค. 57         | 0.01       | 34 | -    | 2    | 0.52 | 5.8  | 0.1       | 47 | -   | 0.6  | 17  | -   | 0.9  |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 33 | -    | 2    | 0.42 | 11   | 0.04      | 47 | -   | 0.6  | 15  | -   | 1.2  |
| RY NO.7      | ก.ค. 57         | 0.02       | 30 | -    | 9    | 5.7  | 7.6  | 0.4       | 20 | -   | 0.5  | 2   | -   | 87   |
|              | ส.ค. 57         | 0.02       | 27 | 0.3  | 8.5  | 5    | 8.7  | 0.6       | 21 | -   | 0.4  | 1.5 | -   | 84   |
| RY NO.9      | ก.ค. 57         | 0.03       | 15 | -    | 1    | 0.69 | 0.4  | 0.03      | 13 | -   | -    | 24  | -   | 0.3  |
|              | ส.ค. 57         | 0.02       | 15 | 1.47 | 1.1  | 0.44 | 0.58 | 0.2       | 15 | -   | -    | 26  | -   | 0.4  |
| RY NO.10     | ก.ค. 57         | 0.02       | 41 | 1.3  | 1.1  | 0.34 | 9.2  | 0.04      | 35 | -   | 0.7  | 21  | -   | 21   |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 43 | 0.3  | 1    | 0.22 | 7.4  | 0.04      | 37 | -   | 0.7  | 20  | -   | 24   |

ตารางที่ 7-7 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนหลักในตัวอย่างน้ำใต้ดิน (ต่อ)

| ชื่อตัวอย่าง | วันเก็บตัวอย่าง | IC(cation) |    |     |     |      |     | IC(anion) |    |     |      |     |     |     |
|--------------|-----------------|------------|----|-----|-----|------|-----|-----------|----|-----|------|-----|-----|-----|
|              |                 | Li         | Na | NH4 | K   | Mg   | Ca  | F         | Cl | NO2 | Br   | NO3 | PO4 | SO4 |
| RY NO.12     | ก.ค. 57         | 0.01       | 31 | -   | 1.9 | 0.8  | 28  | 0.03      | 44 | -   | 0.7  | 19  | -   | 1.8 |
|              | ส.ค. 57         | 0.02       | 32 | -   | 2   | 0.7  | 33  | 0.03      | 44 | -   | 0.8  | 18  | -   | 1.8 |
| RY NO.13     | ก.ค. 57         | 0.02       | 21 | -   | 3   | 1.8  | 4.7 | 0.04      | 27 | -   | 0.44 | 19  | -   | 0.9 |
|              | ส.ค. 57         | 0.03       | 21 | -   | 2.9 | 0.8  | 2.5 | 0.04      | 25 | -   | 0.4  | 24  | -   | 1.8 |
| RY NO.14     | ก.ค. 57         | 0.02       | 16 | 0.5 | 3.7 | 0.7  | 7   | 0.04      | 20 | -   | -    | 15  | -   | 5   |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 13 | -   | 2.7 | 0.5  | 3.2 | 0.07      | 20 | -   | -    | 15  | -   | 3.7 |
| RY NO.15     | ก.ค. 57         | 0.01       | 13 | -   | 2.8 | 0.66 | 6.8 | 0.03      | 13 | -   | -    | 21  | -   | 1.8 |
|              | ส.ค. 57         | 0.01       | 13 | -   | 2.7 | 0.5  | 3.2 | 0.04      | 13 | -   | -    | 20  | -   | 1.9 |
| RY NO.16     | ก.ค. 57         | 0.02       | 11 | -   | 6.8 | 0.4  | 1.4 | 0.06      | 14 | -   | -    | 3   | -   | -   |
|              | ส.ค. 57         | 0.08       | 13 | -   | 5.9 | 0.08 | 1.2 | 0.07      | 15 | -   | -    | 5.7 | -   | 0.1 |
| RY NO.17     | ส.ค. 57         | 0.02       | 13 | 0.3 | 3.6 | 0.4  | 3.6 | 0.03      | 21 | -   | -    | 7   | -   | 2.2 |
| MW1          | ส.ค. 57         | 0.02       | 16 | -   | 2   | -    | 1   | 0.07      | 15 | -   | 0.4  | 11  | -   | 5.6 |
| MW2          | ส.ค. 57         | 0.02       | 28 | -   | 3.8 | 0.9  | 2.5 | 0.1       | 20 | -   | 0.4  | 1.4 | -   | 42  |
| MW4          | ส.ค. 57         | 0.02       | 27 | -   | 1.9 | 0.1  | 1.2 | 0.03      | 36 | -   | 0.6  | 8.8 | -   | 2.4 |
| MW5          | ส.ค. 57         | 0.03       | 25 | 0.4 | 9.2 | 1    | 3.2 | 0.8       | 36 | -   | 0.5  | 18  | -   | 1.1 |
| MW6          | ส.ค. 57         | 0.01       | 17 | 1   | 4.7 | 0.9  | 3.3 | 0.5       | 23 | -   | -    | -   | -   | 7   |
| MW7          | ส.ค. 57         | 0.02       | 19 | -   | 2.3 | 0.4  | 1.7 | 0.1       | 26 | -   | 0.4  | 10  | -   | 0.2 |
| MW8          | ส.ค. 57         | 0.01       | 15 | -   | 3.1 | 0.4  | 1.7 | 0.2       | 15 | -   | -    | 23  | -   | 1.1 |

ตารางที่ 7-8 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่งน้ำใต้ดิน

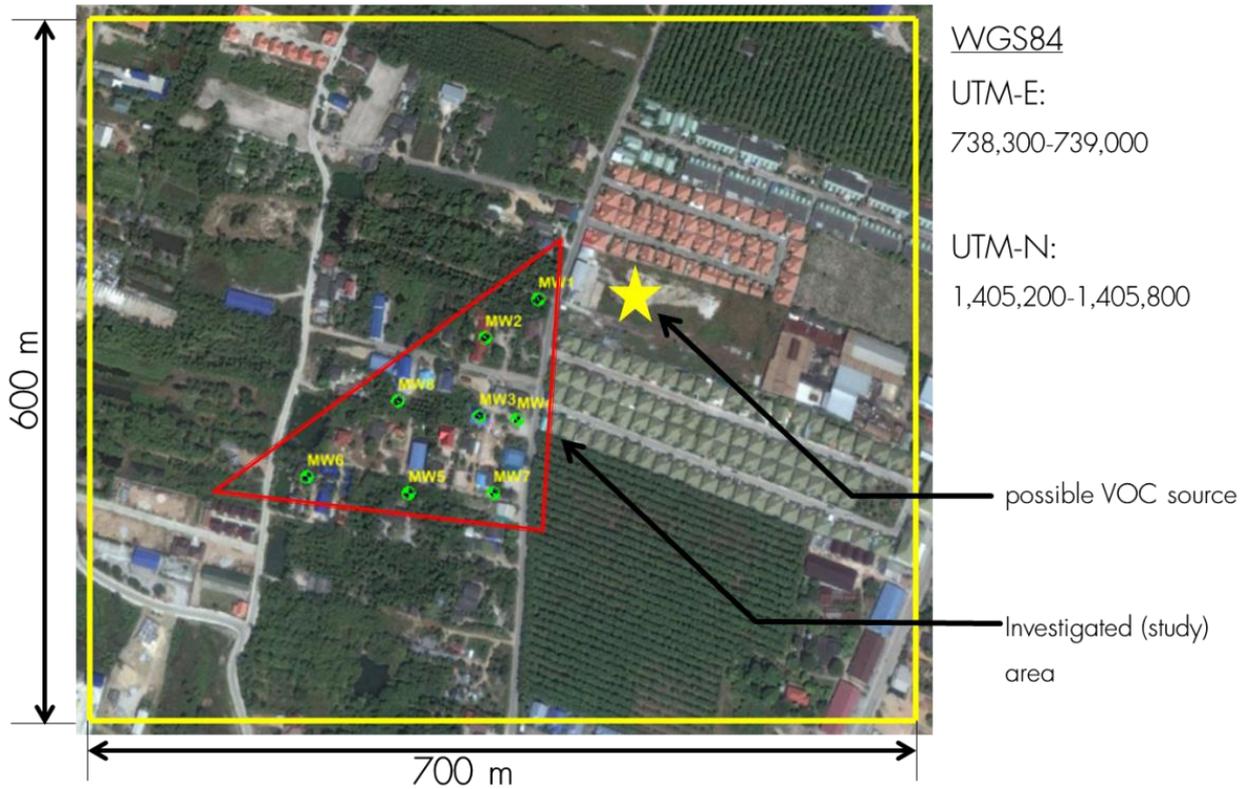
| รหัส<br>ตัวอย่าง | วันที่<br>เก็บ | Northing | athing  | As<br>(mg/l) | Cd<br>(mg/l) | Pb<br>(mg/l) | Hg<br>(mg/l) | Zn<br>(mg/l) |
|------------------|----------------|----------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| RY 2             | เม.ย.-58       | 738625   | 1405326 | ND           | ND           | <0.002       | <0.0005      | <0.007       |
| RY 5             | เม.ย.-58       | 738476   | 1405440 | ND           | ND           | <0.002       | ND           | ND           |
| RY 6             | เม.ย.-58       | 738642   | 1405417 | ND           | ND           | <0.002       | ND           | <0.007       |
| RY 10            | เม.ย.-58       | 738634   | 1405442 | 0.006        | ND           | 0.008        | ND           | 0.008        |
| RY 16            | เม.ย.-58       | 738847   | 1405664 | ND           | ND           | <0.002       | ND           | <0.007       |
| RY 18            | เม.ย.-58       | 739033   | 1405316 | ND           | ND           | 0.002        | ND           | 0.012        |

## แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินศักยภาพและระยะเวลาในการย่อยสลาย

แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินศักยภาพและระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นที่ได้รับการปนเปื้อน โดยคำว่า “ศักยภาพ” ในที่นี้หมายถึงความสามารถของชั้นหินอุ้มน้ำ (ซึ่งได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ระเหยอย่างต่อเนื่อง) ที่จะควบคุมตนเองผ่านกระบวนการดูดซับและกระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติ (ทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพ) มิให้ขอบเขตการปนเปื้อนขยายตัวเป็นวงกว้างมากขึ้น (หรือที่เรียกว่า self-stabilization) ส่วนคำว่า “ระยะเวลา” หมายถึง ระยะเวลาที่ชั้นหินอุ้มน้ำต้องปรับตัวหรือควบคุมตนเอง (ตั้งแต่เริ่มมีการปนเปื้อน ซึ่งเป็นการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดแบบต่อเนื่อง) จนกระทั่งขอบเขตการปนเปื้อนไม่ขยายตัวอย่างมีนัยสำคัญอีกต่อไป ซึ่งการประเมินศักยภาพและระยะเวลาดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องอาศัยทั้งแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้งที่เป็นแบบจำลองการไหลและแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร ซึ่งในการจัดทำแบบจำลองนี้ต้องใช้ข้อมูลผลการศึกษาปัจจัยทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ที่มีผลต่อการสลายตัวโดยธรรมชาติซึ่งได้อธิบายบทที่ 6 และ คุณสมบัติทางเคมีของน้ำรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่อธิบายไว้ในบทที่ 7 การจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่มวลสารในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา เมื่อได้ผลการจำลองรูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินแล้ว จึงนำผลลัพธ์ดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม (input data) ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร เพื่อทำนายการเคลื่อนที่และแนวโน้มการแพร่กระจายตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินต่อไป ขอบเขตการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การออกแบบกริด การวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนในพื้นที่ศึกษา (solid model) ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล เส้นทางการไหล (top view) และขอบเขตพื้นที่ๆ ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิด (capture zone) ทั้งนี้ได้ใช้ค่าคงที่การสลายตัวของสารปนเปื้อน รวมทั้งค่าคงที่การดูดซับในการจำลองการเคลื่อนที่มวลสาร โดยผลการศึกษาการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินศักยภาพและระยะเวลาในการย่อยสลาย ได้อธิบายดังต่อไปนี้

### 8.1 การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินระดับตื้น

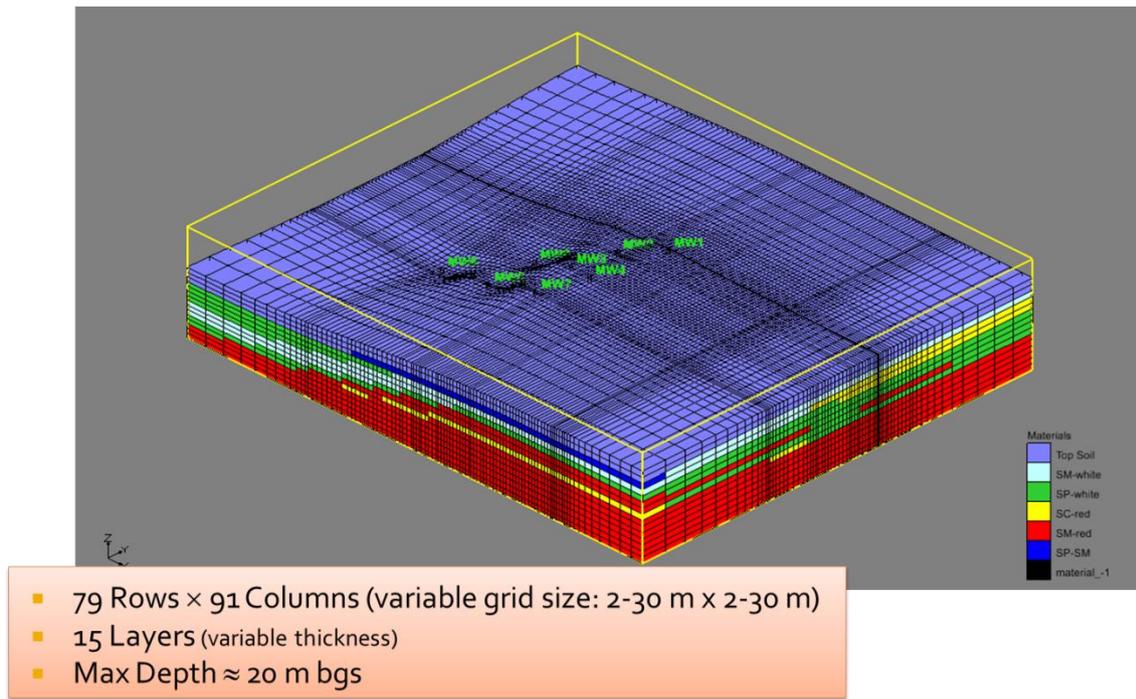
พื้นที่ศึกษาที่ทำการจำลองการไหลและการเคลื่อนที่/สลายตัวของสารปนเปื้อน แสดงดัง**ผิวดาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**8.1 ซึ่งมีขนาดประมาณ 600×700 ตารางเมตร และลึกประมาณ 20 เมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นที่มีลักษณะเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) โดยมีข้อสังเกตการณ์ที่พัฒนาจากหลุมเจาะสำรวจแสดงดังในรูป ตำแหน่งที่แสดงโดยสัญลักษณ์รูปดาวสีเหลืองนั้นเป็นพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งได้มีการคาดการณ์ว่าน่าจะมีการรั่วไหลของสารอินทรีย์ดังกล่าวจากกิจกรรมกำจัดกากของเสียอันตรายที่ไม่ถูกต้องเป็นเวลานานประมาณ 10-20 ปี (ยังไม่ทราบแน่ชัด)



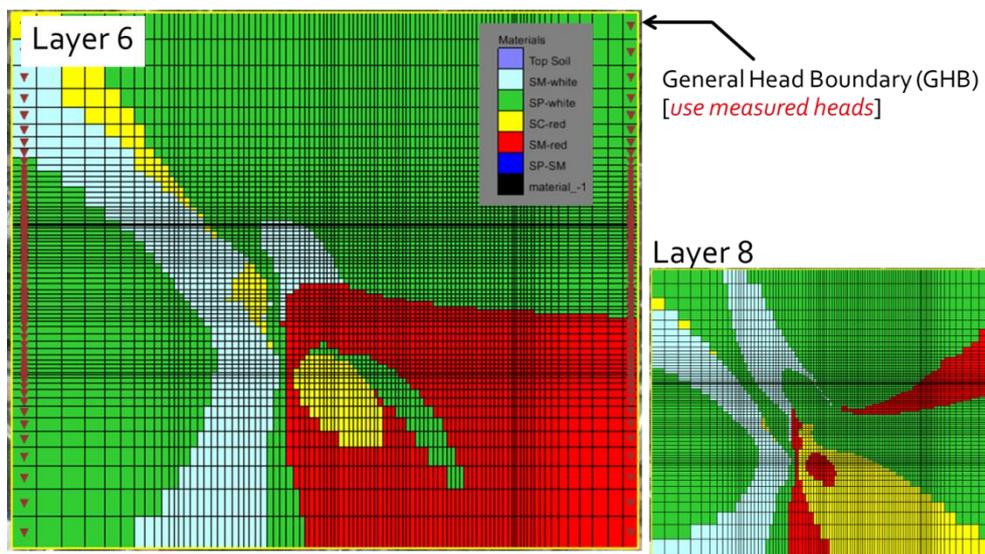
รูปที่ 8.1 ขอบเขตการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์

การวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนที่ไม่ต่อเนื่องและมีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอในชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นที่ได้จากการขุดเจาะสำรวจชั้นดินโดยใช้รถขุดเจาะแบบต่อเนื่อง (Geoprobe) การแบ่งกริดในการสร้างแบบจำลองจึงต้องเป็นไปตามลักษณะการวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนเหล่านี้ คือมีความหนาของแต่ละชั้น (model layer) ที่ไม่เท่ากันด้วย ทั้งนี้ได้ทำการแบ่งกริดออกเป็น 79 แถว (row) 91 คอลัมน์ (column) และ 15 ชั้น (layer) ที่มีขนาดกริดในแนวราบไม่คงที่ โดยมีกริดขนาดเล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดคือ 2x2 และ 30x30 ตารางเมตรตามลำดับ (ดูรูปที่ 8.2)

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของชั้นบาดาลระดับตื้นพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0.5-4.6 เมตร/วัน (ดูรูปที่ 8.3) แสดงตัวอย่างการกระจายตัวของหน่วยดิน-ตะกอนในชั้นที่ 6 และ 8 ซึ่งจะเห็นว่ามีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างสูง (heterogeneous) บ่งชี้ให้เห็นว่า เส้นทางไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำดังกล่าว น่าจะมีความซับซ้อนค่อนข้างสูง



รูปที่ 8.2 การออกแบบกริด (grid design) สำหรับการจำลอง



รูปที่ 8.3 ตัวอย่างการกระจายตัวของดิน-ตะกอน (materials) ใน Model Layer 6 และ 8

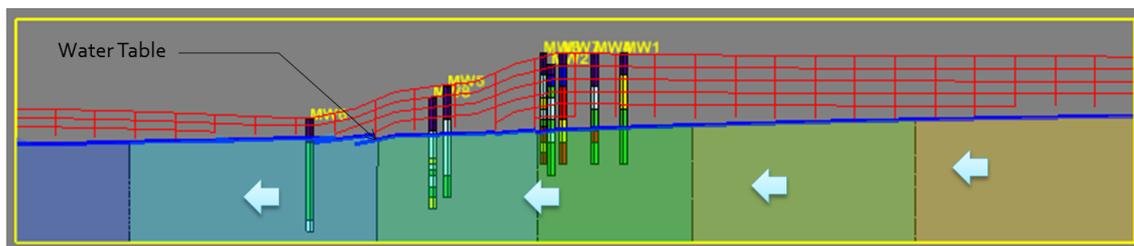
ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้น หลังจากปรับเทียบแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้ในภาคสนามแล้ว แสดงดังรูปที่ 8.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแผนภาพ countour ของค่าเฮดหรือระดับน้ำบาดาล ณ ชั้นน้ำที่ 7 (สาเหตุที่เลือกชั้นนี้เนื่องจาก เป็นชั้นน้ำแรกนับจากผิวดินที่มีน้ำอยู่เต็มชั้นน้ำ โดยชั้นน้ำที่ 1-6 มีบางส่วนที่แห้งไปเนื่องจากระดับน้ำบาดาลหรือ water table ต่ำกว่าระดับต่ำสุดของชั้นนั้นๆ) และภาคตัดขวางในแถวที่ 17 โดยค่าระดับน้ำจะมีค่าลดลงจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นว่า น้ำบาดาลมีโอกาสปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด (ในรูปที่ 8.5) และไหลไปยังบ่อน้ำบาดาลระดับตื้น (บ่อชุด) ของประชาชนที่อยู่ท้ายน้ำ (downstream)

จากการจำลองเส้นทางการไหลและ capture zone เพิ่มเติม ด้วยโปรแกรม MODPATH (Pollock, 1997) ในรูปที่ 8.6 สามารถยืนยันได้ว่าเส้นทางการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้น จะต้องไหลผ่านแหล่งกำเนิดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้อย่างแน่นอน โดยเส้นทางการไหลไม่ได้เป็นการไหลแต่เพียงในแนวระดับ (horizontal) เท่านั้น แต่มีการไหลขึ้น-ลงตามลักษณะการวางตัวของชั้นดิน-ตะกอนอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4 10

จากการคำนวณเพิ่มเติม พบว่าน้ำบาดาลระดับตื้นในพื้นที่ศึกษามีอัตราการไหลโดยเฉลี่ยประมาณ 0.081 เมตร/วัน (หรือประมาณ 30 เมตร/ปี) ซึ่งจัดว่าเป็นอัตราการไหลเฉลี่ยที่ค่อนข้างเร็วพอสมควร ดังนั้น การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยอาจมีการกระจายตัวไปทางท้ายน้ำในอัตราที่ค่อนข้างเร็ว ซึ่งขอบเขตการปนเปื้อนในปัจจุบัน อาจยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก็เป็นได้ ดังนั้น หากเราต้องการทราบว่าชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ดังกล่าวมีศักยภาพเพียงพอหรือไม่ ในการควบคุมตัวของมันเองมิให้ขอบเขตการปนเปื้อนขยายตัวเป็นพื้นที่ปนเปื้อนที่ใหญ่ขึ้น (self-stabilization of the plume) จะต้องทำการจำลองการเคลื่อนที่และการสลายตัวของสารปนเปื้อนไปพร้อมๆ กัน ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

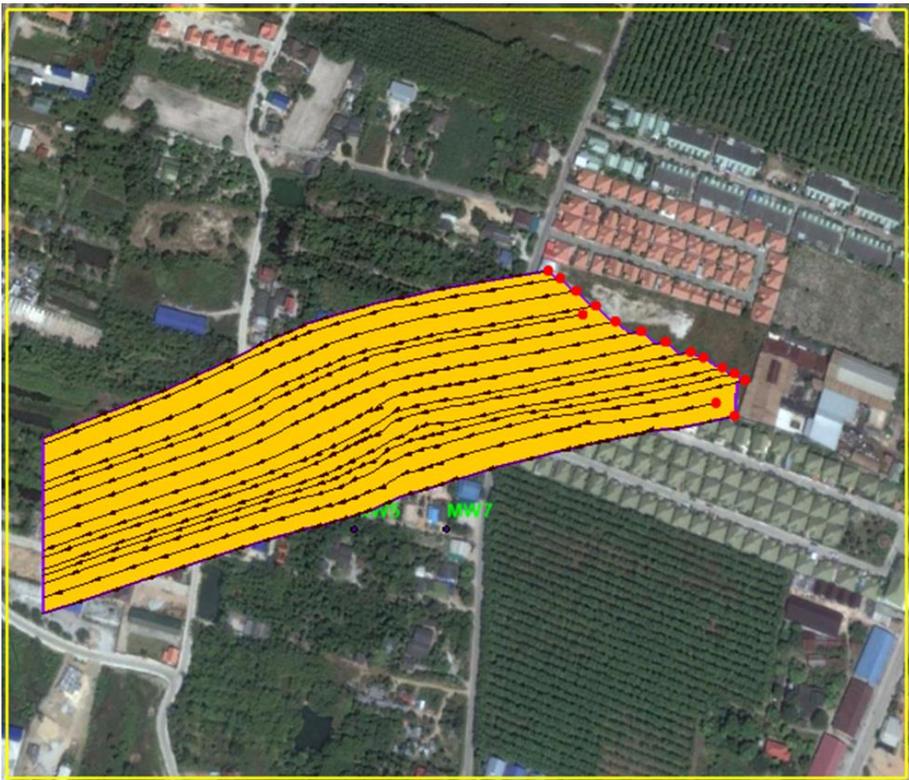
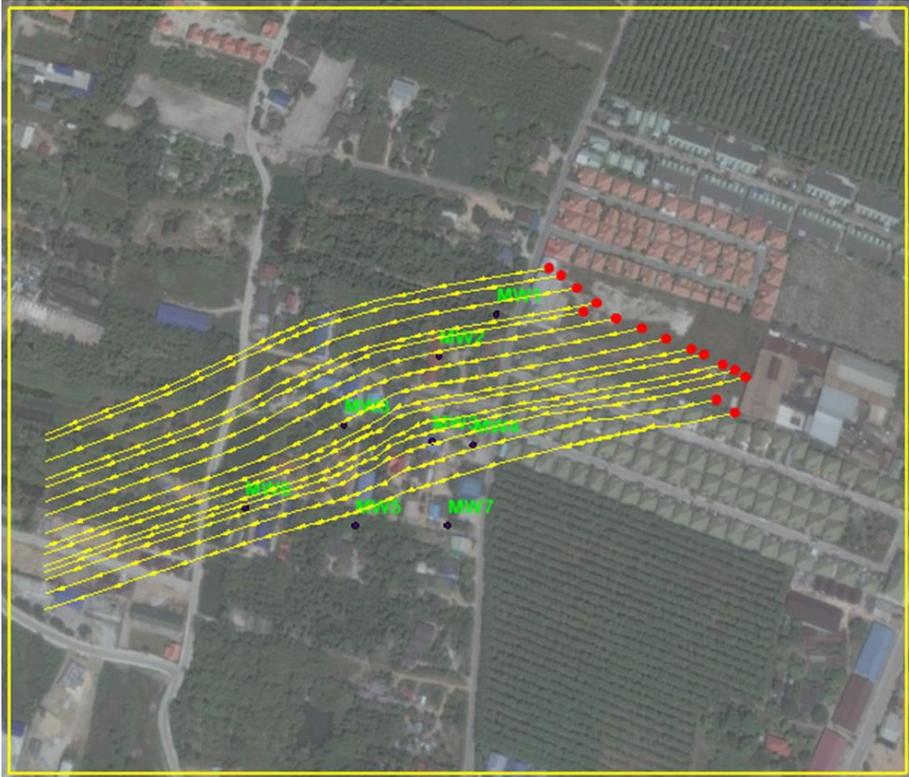


Shallow groundwater of this site flows generally from NE to SW.

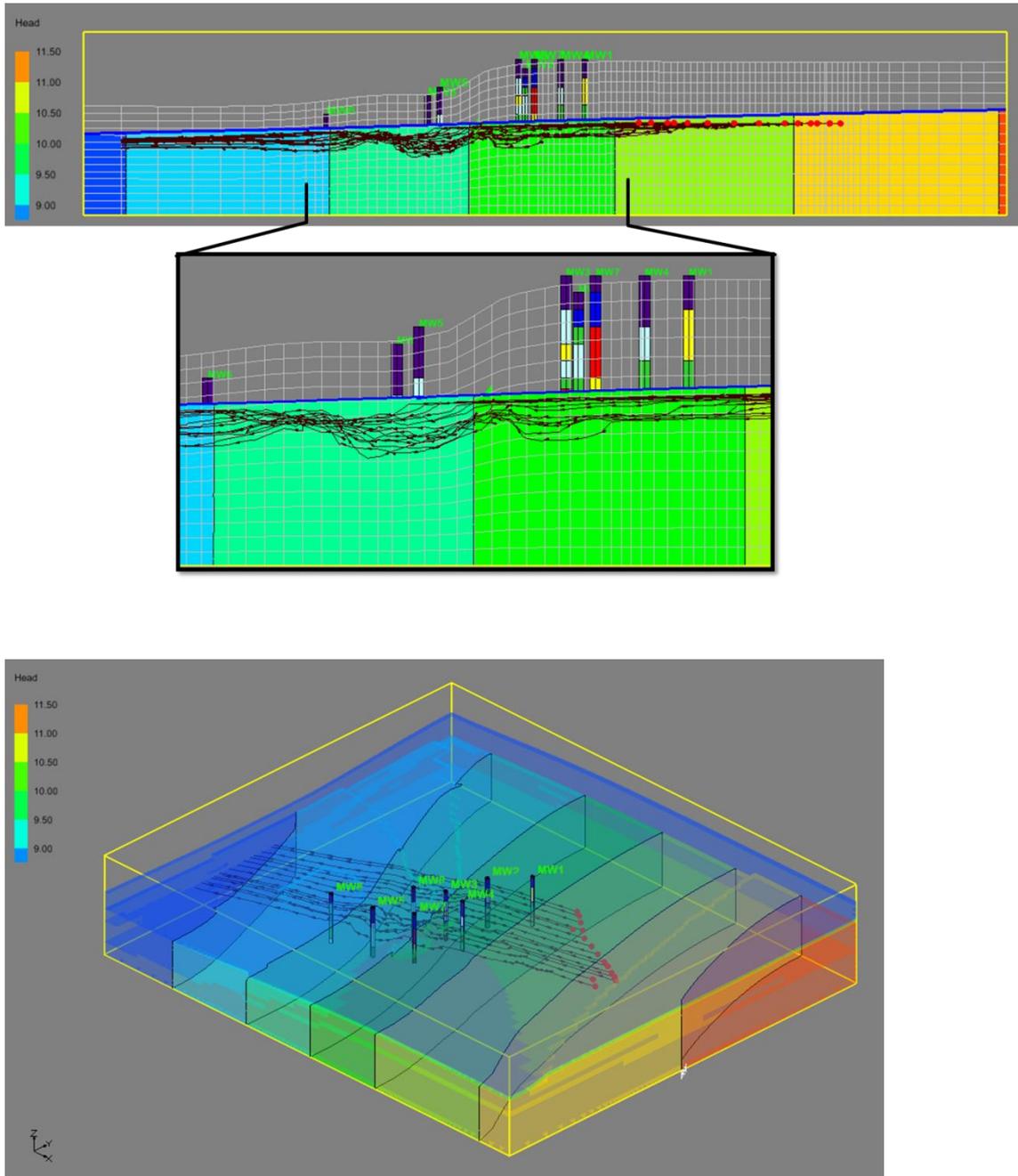


Cross-Section View at Row 17 (Looking North)

รูปที่ 8.4 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล



รูปที่ 8.5 เส้นทางการไหล (top view) และขอบเขตพื้นที่ๆ ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิด (capture zone)



รูปที่ 8.6 เส้นทางการไหลในภาคตัดขวางและภาพสามมิติ

## 8.2 การจำลองการเคลื่อนที่และการสลายตัวของสารอินทรีย์ระเหย

เมื่อได้ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการพา กระบวนการแพร่กระจาย กระบวนการดูดซับ และกระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติ ซึ่งสองกระบวนการหลังนี้ จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับและการสลายตัวจากข้อมูลที่แสดงไว้ในบทที่ 3) เพื่อประเมินศักยภาพและระยะเวลาของชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นที่ใช้ในการควบคุม (ตนเอง) มิให้ขอบเขตการปนเปื้อนขยายตัวอีกต่อไป (หรือที่เรียกว่า plume stabilization ที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น)

การจำลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ไม่มีการย่อยสลายตัวตามธรรมชาติ และกรณีที่ 2 มีการย่อยสลายตัวตามธรรมชาติ (โดยใช้ค่าคงที่การสลายตัวที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่ามีการย่อยสลายตัวทางกายภาพมากกว่าทางชีวภาพหรือ  $k_a > k_b$ ) โดยแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนนั้น ได้สมมุติให้สารตั้งต้นของการปนเปื้อนคือ TCE และ PCE ซึ่งมีความเข้มข้นคงที่ ณ บริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิด โดยกำหนดให้มีค่าประมาณร้อยละ 10 ของความสามารถในการละลาย หรือ  $[TCE] = 110$  และ  $[PCE] = 20$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Fetter, 1999) จากนั้นทำการจำลองการไหลและการเคลื่อนที่ของมวลสารไปเป็นระยะเวลา 30 ปี ภายใต้ข้อสมมุติฐานคือกำหนดให้รูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินในอนาคตยังไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งผลการจำลองอธิบายได้ดังนี้

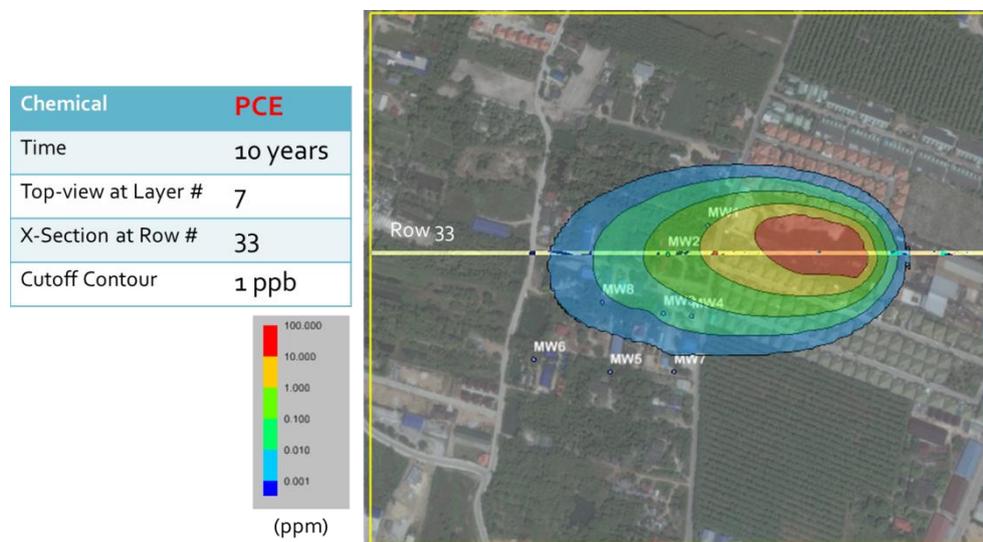
กรณีที่ 1: สารปนเปื้อนไม่มีการสลายตัว ซึ่งการจำลองในกรณีนี้พบว่า ขอบเขตการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยมีการขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ โดยไม่มีการ stabilization แต่อย่างใด ซึ่งทั้ง PCE และ TCE มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องดังแสดงรูปที่ 8.7 และ

รูปที่ 8.8 ที่แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการปนเปื้อนที่เวลา 10 และ 20 ปี สำหรับ PCE และ TCE ตามลำดับ และหากมีการละลายของ TCE/PCE จากแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ขอบเขตการปนเปื้อนขยายตัวออกไปเป็นวงกว้างเรื่อยๆ

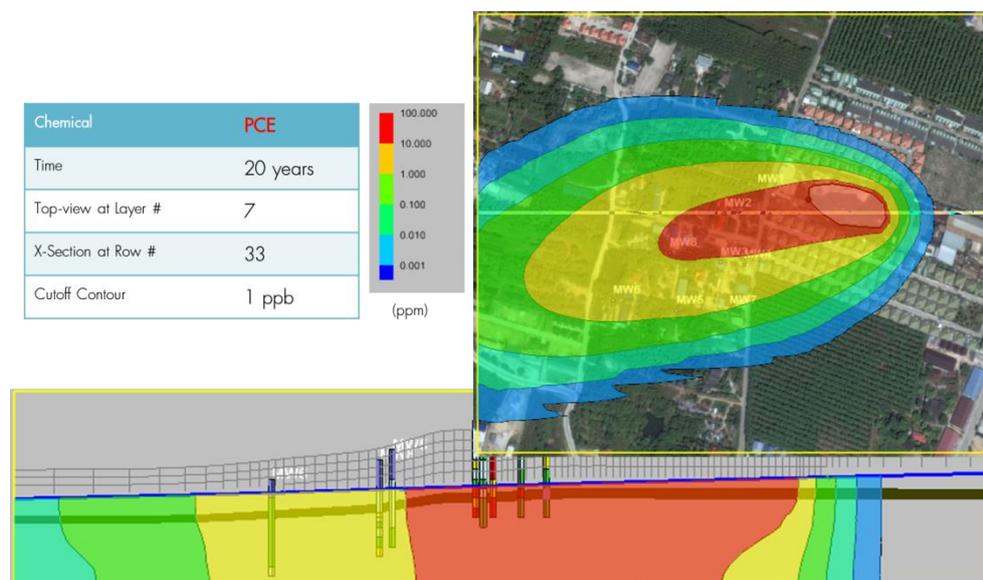
กรณีที่ 2: สารปนเปื้อนมีการสลายตัว ซึ่งอัตราค่าคงที่การสลายตัวตามธรรมชาติเป็นไปตามค่าที่ทำการทดสอบได้ในบทที่ 3 (ยกเว้นอัตราการสลายตัวของ cis-DCE และไวนิลคลอไรด์ ซึ่งได้สมมุติค่าคงที่การสลายตัวจากเอกสารวิชาการ เนื่องจากในการทดสอบในบทที่ 3 มิได้ทำการทดสอบการสลายตัวของสารผลิตภัณฑ์ด้วย)

ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารพบว่าขอบเขตการปนเปื้อนไม่มีการขยายตัวมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่ง ณ เวลาประมาณปีที่ 12 พบว่าขอบเขตการปนเปื้อนเริ่มคงที่และไม่มีการขยายตัวต่อไปอย่างมีนัยสำคัญ (plume stabilization) ซึ่งกินพื้นที่ประมาณ 0.38 ตารางกิโลเมตร (ดูรูปที่ 8.9) โดยในขอบเขตการปนเปื้อน จะมีมวลของ PCE, TCE, cis-DCE, และไวนิลคลอไรด์ที่ยังคงค้างอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำอยู่ประมาณ 112, 837, 82 และ 23 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมวลนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงถึงแม้ว่าจะมีการละลายของ TCE/PCE ออกมาจากแหล่งกำเนิดเรื่อยๆ ทั้งนี้เป็นเพราะ อัตราการละลายของ TCE/PCE จากแหล่งกำเนิดได้เข้าสู่สมดุลกับอัตราการย่อยสลายตามธรรมชาตินั่นเอง รูปที่ 8.10 และรูปที่ 8.11 แสดงขอบเขตการปนเปื้อนของสารผลิตภัณฑ์ ณ เวลา 12 ปี ซึ่งขอบเขตดังกล่าวจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง (ยกเว้น กรณีของคลอไรด์  $Cl^-$  ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่มีการสลายตัวอีกต่อไป จะต้องมีการกระจายตัวเป็นวงกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามไอออนคลอไรด์ไม่ได้จัดว่าเป็นพิษต่อมนุษย์แต่อย่างใด) ส่วนแก๊สเอทิลีนที่เป็นผลิตภัณฑ์ของการสลายตัว

จะไม่มี การแสดงขอบเขตของการปนเปื้อน เนื่องจากแก๊สดังกล่าวมีความสามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อจุลินทรีย์สลายไฮโดรคาร์บอนแล้วได้แก๊สดังกล่าว จะมีการระเหยเข้าสู่ชั้นดินไม่อิมน้ำและเข้าสู่ชั้นบรรยากาศในที่สุด

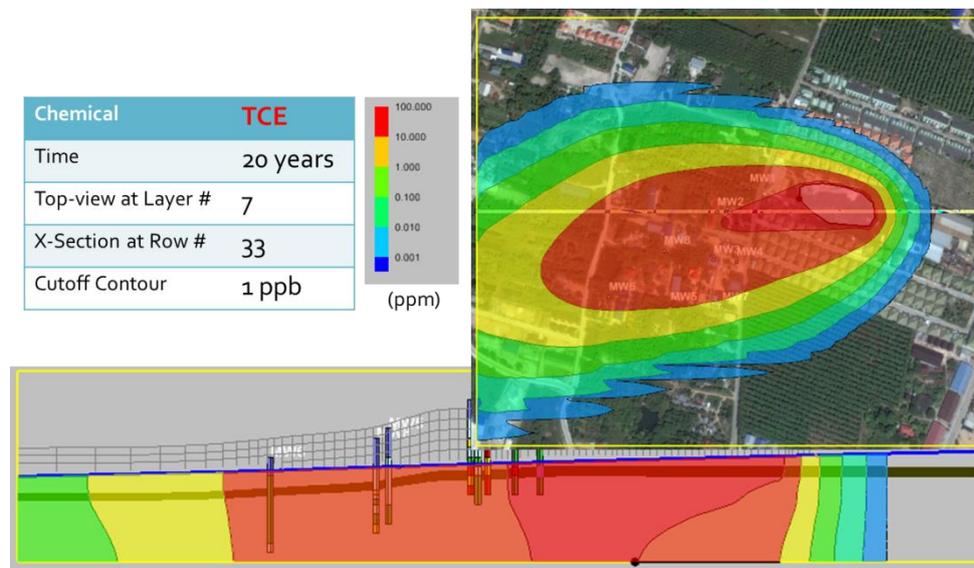
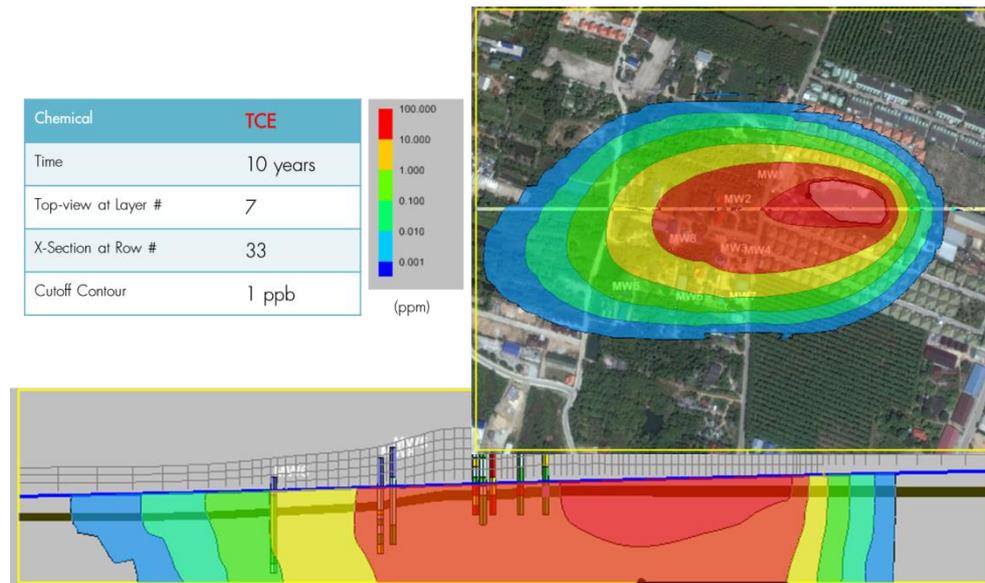


(ก) ณ เวลา 10 ปี



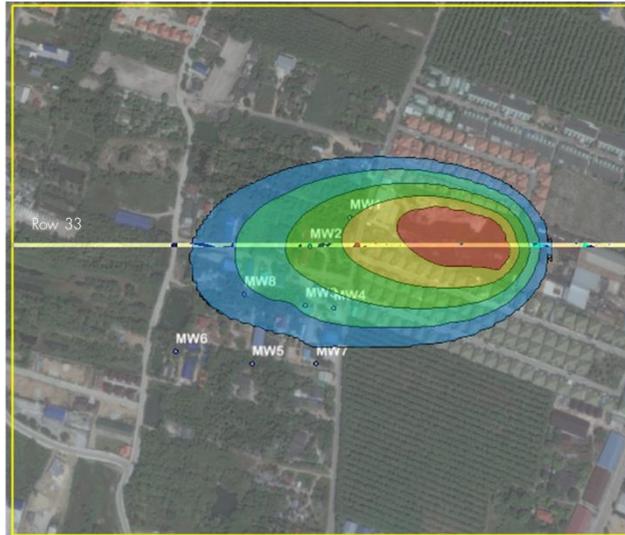
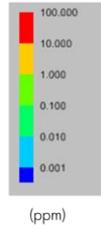
(ข) ณ เวลา 20 ปี

รูปที่ 8.7 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ PCE: กรณีที่ไม่มีการสลายตัว

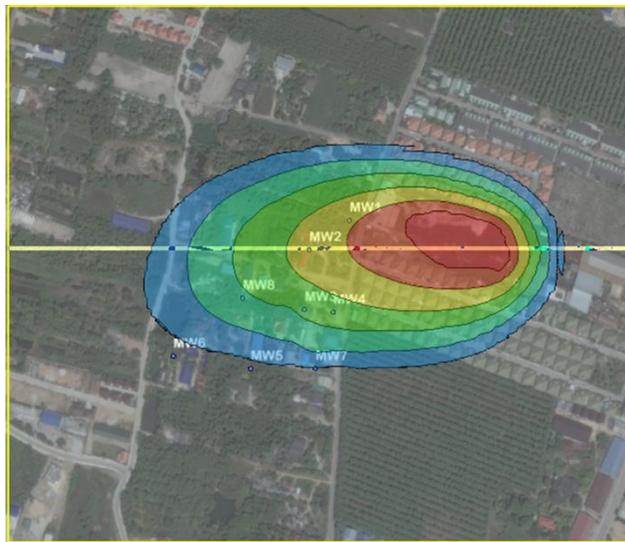


รูปที่ 8.8 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ TCE: กรณีที่ไม่มีการสลายตัว

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Chemical            | <b>PCE</b> |
| Time                | 12 years   |
| Top-view at Layer # | 7          |
| X-Section at Row #  | 33         |
| Cutoff Contour      | 1 ppb      |

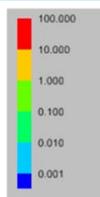


|                     |            |
|---------------------|------------|
| Chemical            | <b>TCE</b> |
| Time                | 12 years   |
| Top-view at Layer # | 7          |
| X-Section at Row #  | 33         |
| Cutoff Contour      | 1 ppb      |

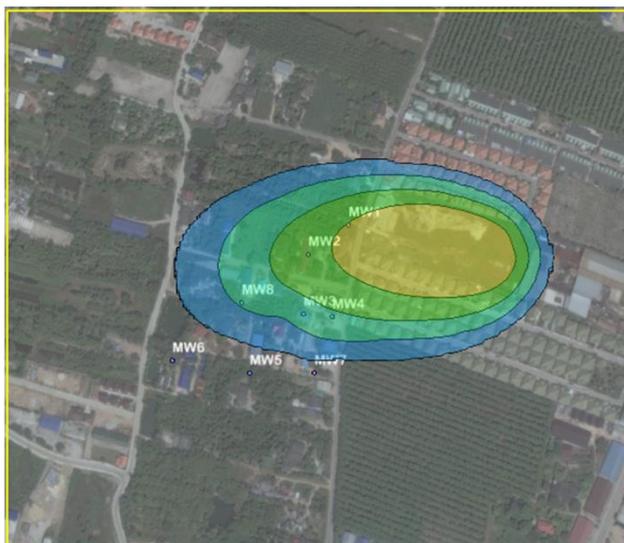


รูปที่ 8.9 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ TCE และ PCE: กรณีมีการสลายตัว (เมื่อ stabilized แล้ว)

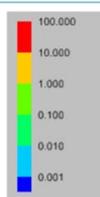
|                     |                |
|---------------------|----------------|
| Chemical            | <b>cis-DCE</b> |
| Time                | 12 years       |
| Top-view at Layer # | 8              |
| X-Section at Row #  | 33             |
| Cutoff Contour      | 1 ppb          |



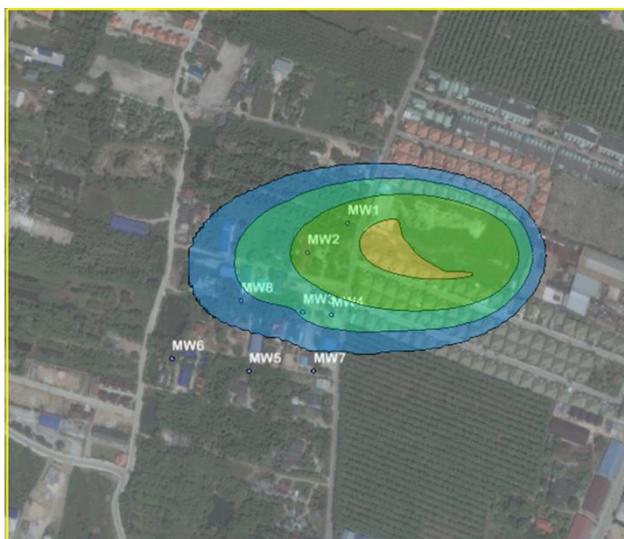
(ppm)



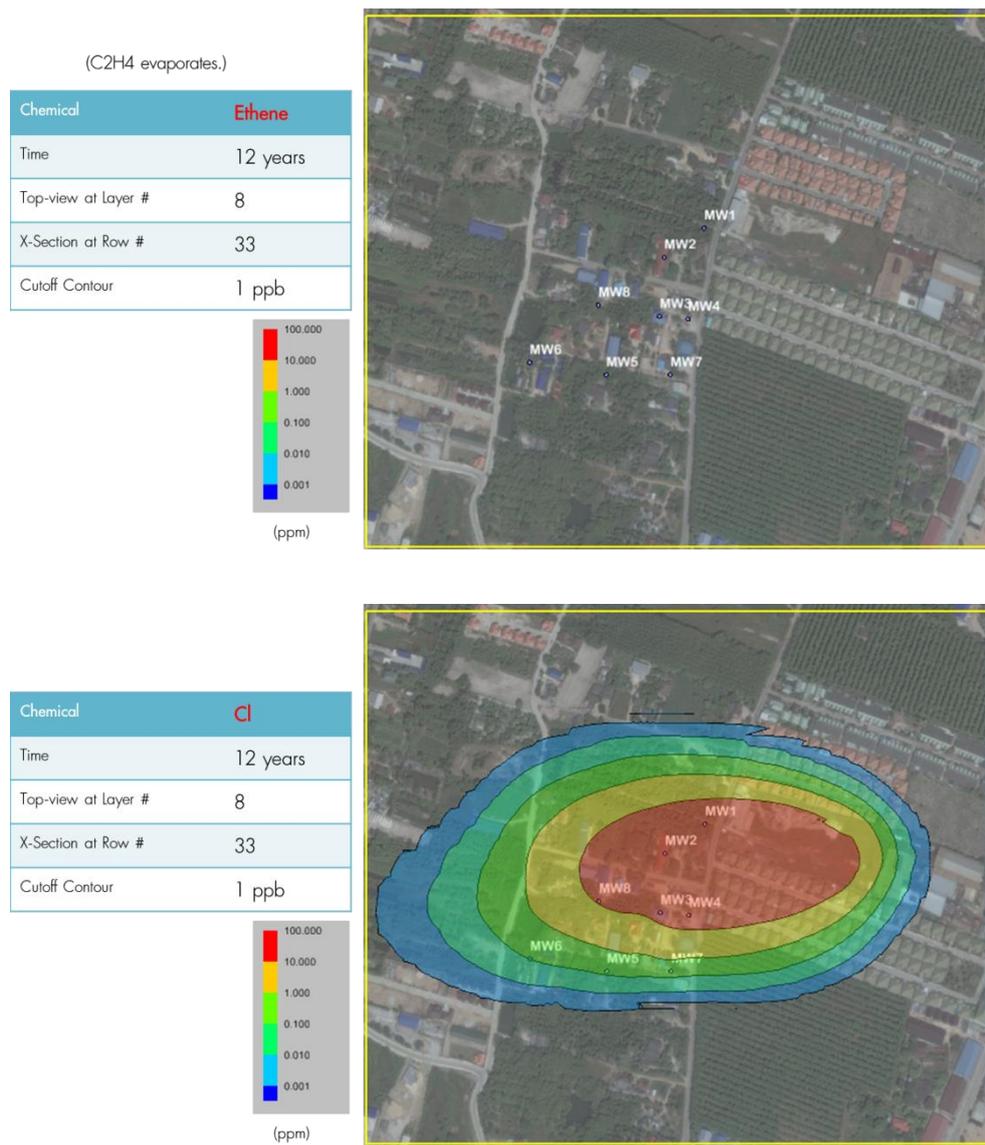
|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Chemical            | <b>VC</b> |
| Time                | 12 years  |
| Top-view at Layer # | 7         |
| X-Section at Row #  | 33        |
| Cutoff Contour      | 1 ppb     |



(ppm)



รูปที่ 8.10 ผลการจำลองกรณีที่มีการสลายตัว (cis-DCE และไวนิลคลอไรด์)



รูปที่ 8.11 ผลการจำลองกรณีที่มีการสลายตัว (เอทิลีนและคลอไรด์)

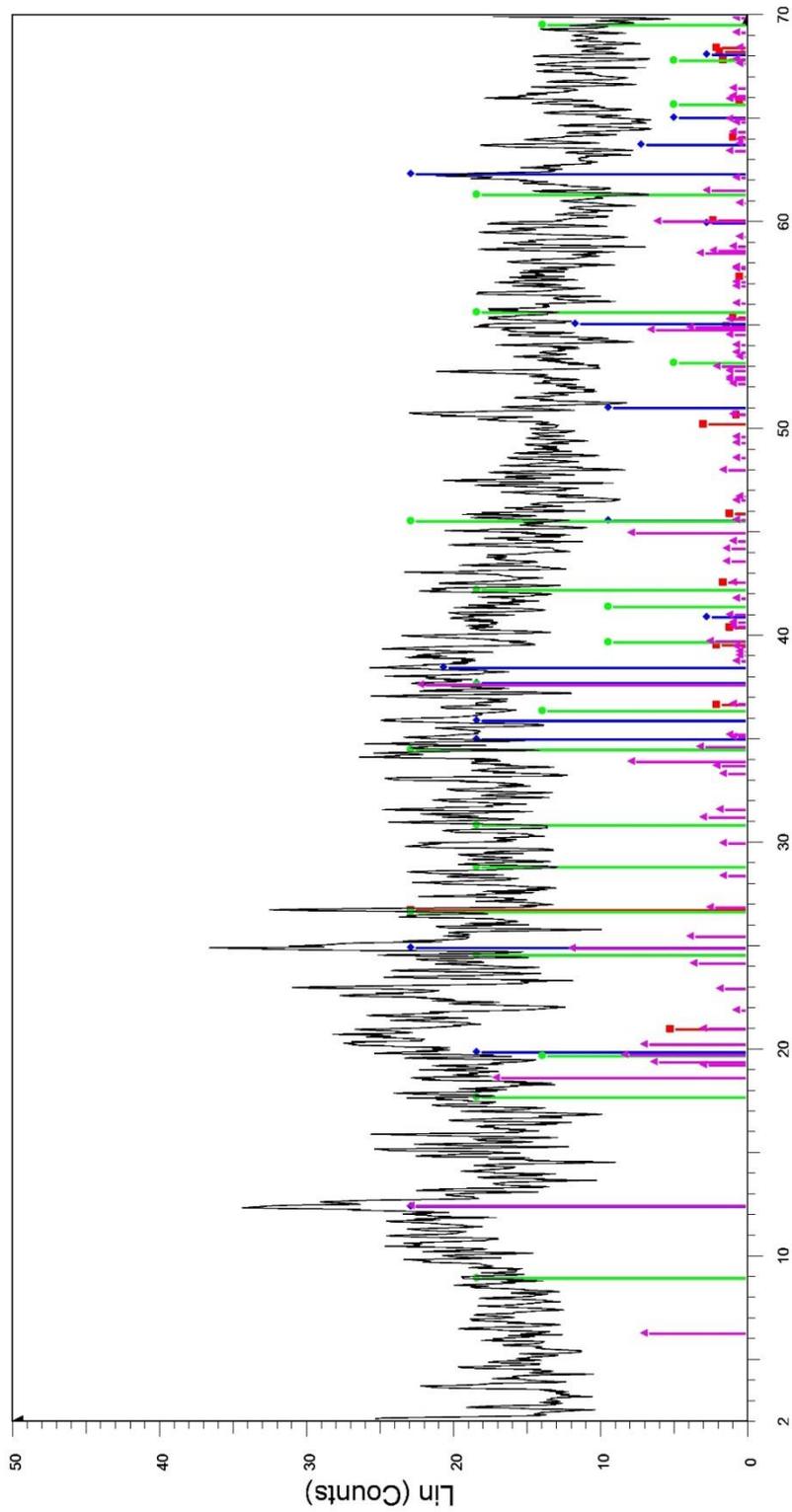
## เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2550. โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล การวางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียด การฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี, รายงานฉบับสมบูรณ์.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2552. โครงการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง, รายงานฉบับสมบูรณ์.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2553. โครงการศึกษาความเหมาะสมและติดตั้งระบบบำบัดการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน และการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารในชั้นดินอุ้มน้ำและไม่อุ้มน้ำ, รายงานฉบับสมบูรณ์.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2555. โครงการวางระบบโครงข่ายตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในไอสารในดิน (Soilgas Monitoring Network) โดยชุดเจาะชั้นดิน โดยใช้เครื่องชุดเจาะแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®) และติดตั้งระบบและทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดินโดยใช้ระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เคลื่อนที่, รายงานฉบับสมบูรณ์.
- Alvarez, P.J.J., and Illman, W.A. 2006. Bioremediation and Natural Attenuation: Process Fundamentals and Mathematical Models. John Wiley & Sons, Inc.
- Fetter, C.W. 1999. Contaminant Hydrogeology, 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Clement, T.P. 1997. RT3D: A modular computer code for simulating reactive multi-species transport in 3-dimensional groundwater aquifers. PNNL-11720. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.
- Clement, T.P. and Johnson, C.D. 1998. Modeling natural attenuation of chlorinated solvent plumes at the Dover Air Force Base Area-6 site. Draft Report. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.
- Clement, T.P., Johnson, C.D., Sun, Y., Klecka, G.M., and Bartlett, C. 2000. Natural attenuation of chlorinated solvent compounds: Model development and field-scale application. Journal of Contaminant Hydrology, 42(2-4): 113-140.
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW- 2000, The U.S. Geological Survey modular groundwater model: Users guide to modularization concepts and the groundwater flow process, U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92, 121p.
- Lu, G.P., Clement, T.P., Zheng, C., and Wiedemeier, T.H. 1999. Natural attenuation of BTEX compounds: model development and field-scale application. Groundwater, 37(5): 707-717.
- Zhang, Y.K., and Heathcote, R. 2001. Guidelines for numerical modeling in Tier 3: Assessment and other corrective actions. Final report submitted to Iowa Comprehensive Petroleum Underground Storage Tank Fund Board, AON Risk Services, Wes Des Moines, IA.

| ตัวอย่างที่ | รหัสตัวอย่าง | ครั้งที่       | น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (g) | น้ำหนักดิน (g) | น้ำหนักรวมก่อนอบ (g) | น้ำหนักหลังอบ (g) | น้ำหนักที่หายไป (g) | ปริมาณเอนพีริวิตดล (%) |
|-------------|--------------|----------------|--------------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| 1           | MW 1-3       | 1              | 82.3228                  | 10.0078        | 92.3306              | 92.1163           | 0.2143              | 2.141                  |
|             |              | 2              | 80.5288                  | 10.0062        | 90.535               | 90.301            | 0.234               | 2.339                  |
|             |              | 3              | 57.108                   | 10.0026        | 67.1106              | 66.8626           | 0.248               | 2.479                  |
|             |              | <b>Average</b> |                          |                |                      |                   |                     |                        |
| 2           | MW 1-6       | 1              | 95.478                   | 10.0058        | 105.4838             | 105.3522          | 0.1316              | 1.315                  |
|             |              | 2              | 77.921                   | 10.0029        | 87.9239              | 87.7611           | 0.1628              | 1.628                  |
|             |              | 3              | 77.6379                  | 10.0033        | 87.6412              | 87.5229           | 0.1183              | 1.183                  |
|             |              | <b>Average</b> |                          |                |                      |                   |                     |                        |
| 3           | MW 1-9       | 1              | 58.0541                  | 10.0045        | 68.0586              | 67.9466           | 0.112               | 1.119                  |
|             |              | 2              | 56.2118                  | 10.002         | 66.2138              | 66.0948           | 0.119               | 1.19                   |
|             |              | 3              | 60.9695                  | 10.0019        | 70.9714              | 70.8922           | 0.0792              | 0.792                  |
|             |              | <b>Average</b> |                          |                |                      |                   |                     |                        |
| 4           | MW 2-6       | 1              | 57.1767                  | 10.0047        | 67.1814              | 66.9877           | 0.1937              | 1.936                  |
|             |              | 2              | 56.3014                  | 10.0034        | 66.3048              | 66.1574           | 0.1474              | 1.473                  |
|             |              | 3              | 55.0986                  | 10.0004        | 65.099               | 64.8741           | 0.2249              | 2.249                  |
|             |              | <b>Average</b> |                          |                |                      |                   |                     |                        |
| 5           | MW 3-5       | 1              | 80.5272                  | 10.0015        | 90.5287              | 89.7926           | 0.7361              | 7.36                   |
|             |              | 2              | 95.4899                  | 10.0035        | 105.4934             | 104.8031          | 0.6903              | 6.901                  |
|             |              | 3              | 77.9013                  | 10.0024        | 87.9037              | 87.1904           | 0.7133              | 7.131                  |
|             |              | <b>Average</b> |                          |                |                      |                   |                     |                        |

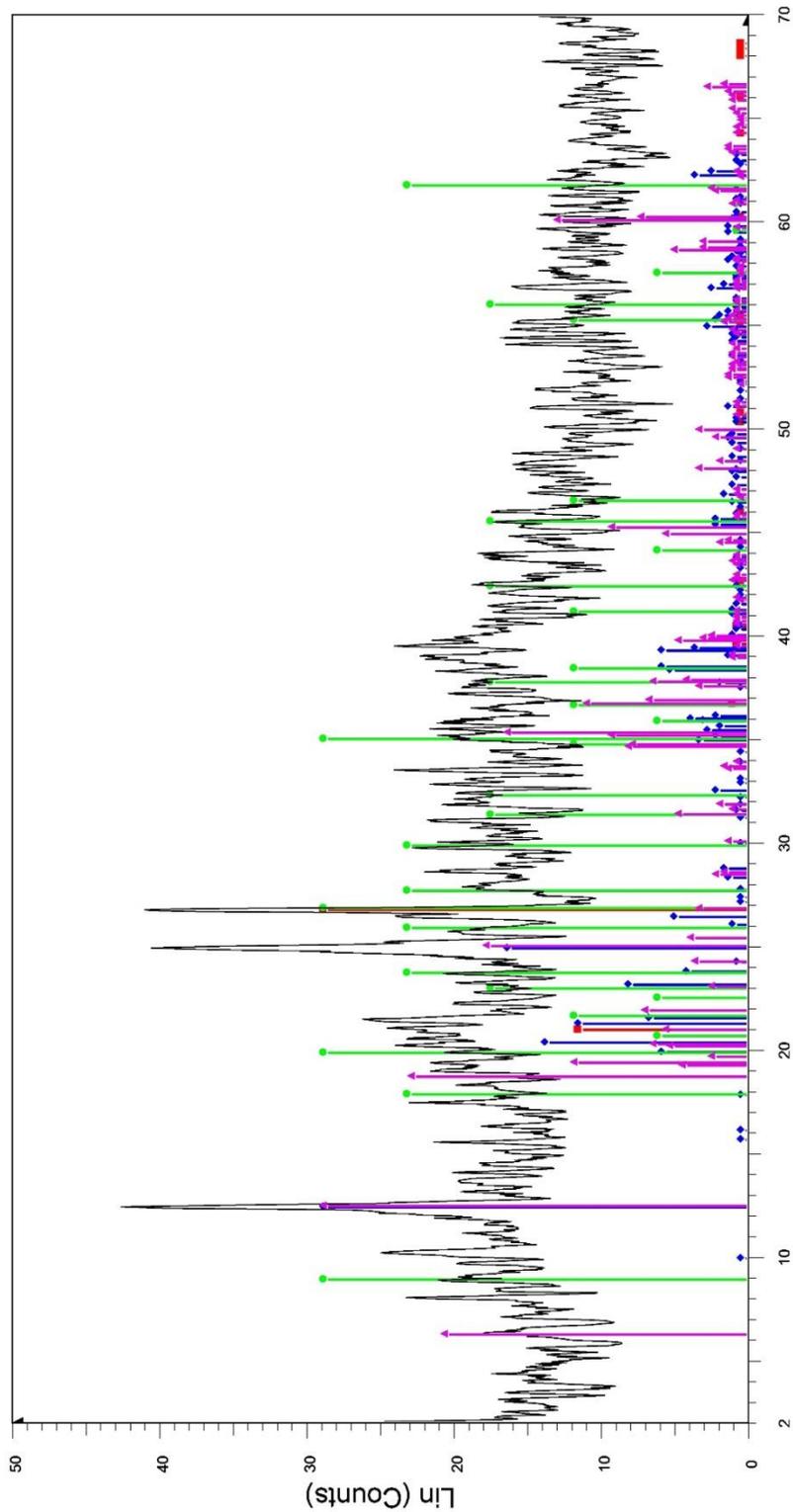
| ตัวอย่างที่ | รหัสตัวอย่าง | ครั้งที่ | น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (g) | น้ำหนักดิน (g) | น้ำหนักรวมก่อนอบ (g) | น้ำหนักหลังอบ (g) | น้ำหนักที่หายไป (g) | ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) |
|-------------|--------------|----------|--------------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| 6           | MW 4-5       | 1        | 82.321                   | 10.0042        | 92.3252              | 92.0991           | 0.2261              | 2.26                    |
|             |              | 2        | 57.1075                  | 10.0026        | 67.1101              | 66.9216           | 0.1885              | 1.885                   |
|             |              | 3        | 77.6358                  | 10.0033        | 87.6391              | 87.4703           | 0.1688              | 1.687                   |
|             |              |          | <b>Average</b>           |                |                      |                   | <b>1.944</b>        |                         |
| 7           | MW 5-6       | 1        | 60.9713                  | 10.0045        | 70.9758              | 70.2796           | 0.6962              | 6.959                   |
|             |              | 2        | 58.0576                  | 10.0022        | 68.0598              | 67.3013           | 0.7585              | 7.583                   |
|             |              | 3        | 56.2139                  | 10.0047        | 66.2186              | 65.5165           | 0.7021              | 7.018                   |
|             |              |          | <b>Average</b>           |                |                      |                   | <b>7.187</b>        |                         |
| 8           | MW 6-6       | 1        | 79.1375                  | 10.0019        | 89.1394              | 88.9412           | 0.1982              | 1.982                   |
|             |              | 2        | 77.0285                  | 10.0027        | 87.0312              | 86.81             | 0.2212              | 2.211                   |
|             |              | 3        | 57.1793                  | 10.0018        | 67.1811              | 66.9341           | 0.247               | 2.47                    |
|             |              |          | <b>Average</b>           |                |                      |                   | <b>2.221</b>        |                         |
| 9           | MW 7-6       | 1        | 55.0982                  | 10.0019        | 65.1001              | 64.3989           | 0.7012              | 7.011                   |
|             |              | 2        | 54.539                   | 10.0027        | 64.5417              | 63.9978           | 0.5439              | 5.438                   |
|             |              | 3        | 57.1079                  | 10.0014        | 67.1093              | 66.5122           | 0.5971              | 5.97                    |
|             |              |          | <b>Average</b>           |                |                      |                   | <b>5.704</b>        |                         |
| 10          | MW 8-5       | 1        | 77.6353                  | 10.0027        | 87.638               | 87.1822           | 0.4558              | 4.557                   |
|             |              | 2        | 95.4753                  | 10.0022        | 105.4775             | 105.0226          | 0.4549              | 4.548                   |
|             |              | 3        | 82.3183                  | 10.0039        | 92.3222              | 91.9              | 0.4222              | 4.22                    |
|             |              |          | <b>Average</b>           |                |                      |                   | <b>4.442</b>        |                         |

# MW01-04



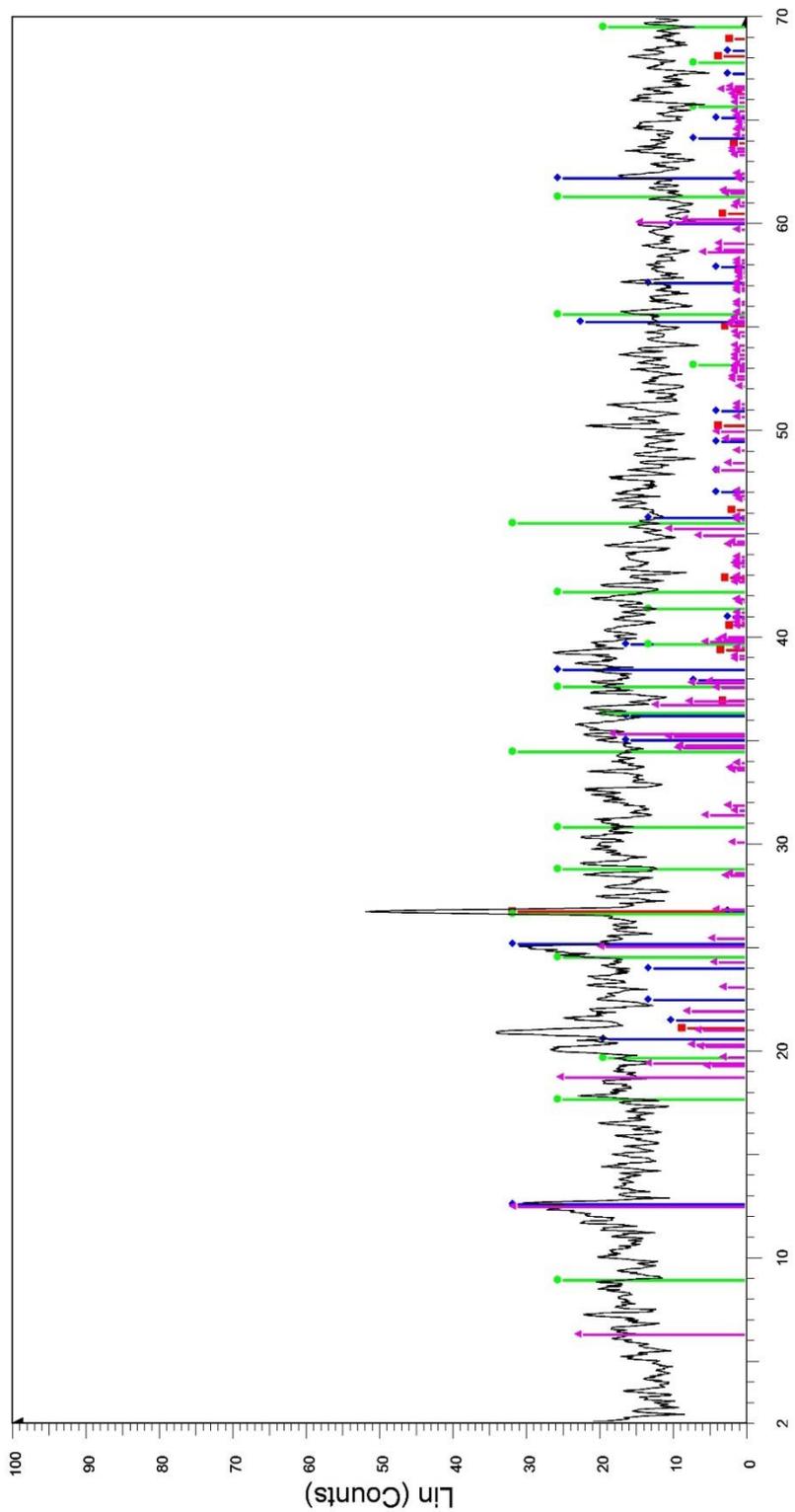
√ MW01-04-01 - File: MW01-04-01.raw - Type: 2Th/Tn locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
■ 86-1628 (C) - Quartz low - SiO<sub>2</sub> - Y: 61.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3, 1 -  
● 06-0221 (D) - Kaolinite 1Md - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> - Y: 61.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
◆ 02-0462 (D) - Illite, 1M - KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub> - Y: 61.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
▲ 78-2063 (C) - Chlorite la - (Mg<sub>5.0</sub>Fe<sub>0.1</sub>Cr<sub>0.7</sub>Al<sub>0.2</sub>)(Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>)(OH<sub>0.9875</sub>)<sub>8</sub> - Y: 61.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.8 -

# MW01-10



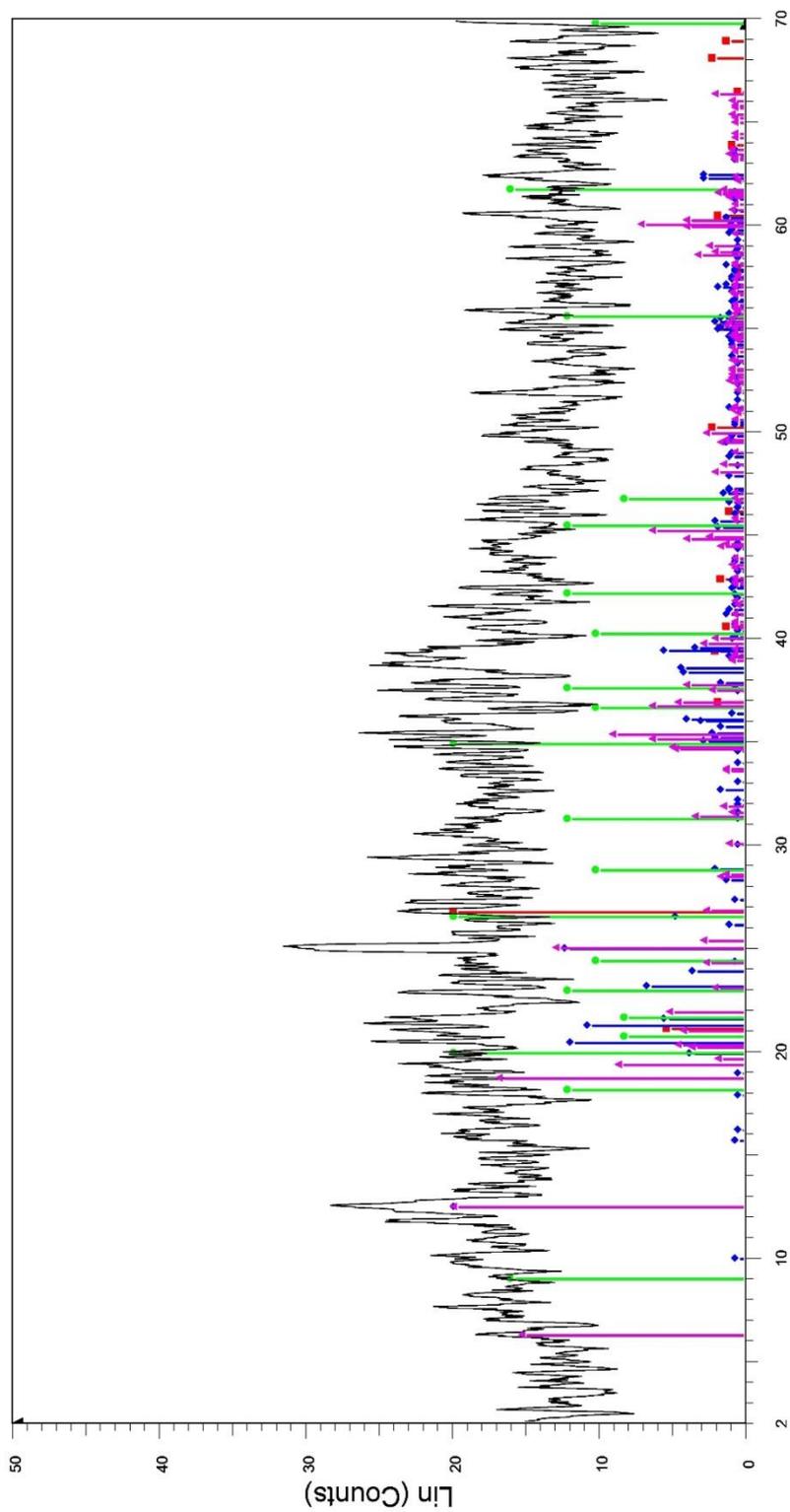
MW01-10-01 - File: MW01-10-01.raw - Type: 2Th/Tn locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 12 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
83-2466 (A) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 66.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/Ic PDF 0.6 -  
80-0886 (C) - Kaolinite - Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub> - Y: 66.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 1.1 -  
02-0056 (D) - Illite - KAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 66.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
83-1380 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>0.76</sub>Cr<sub>0.23</sub>Al<sub>0.96</sub>Si<sub>3.04</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 66.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 0.6 -

# MW02-02



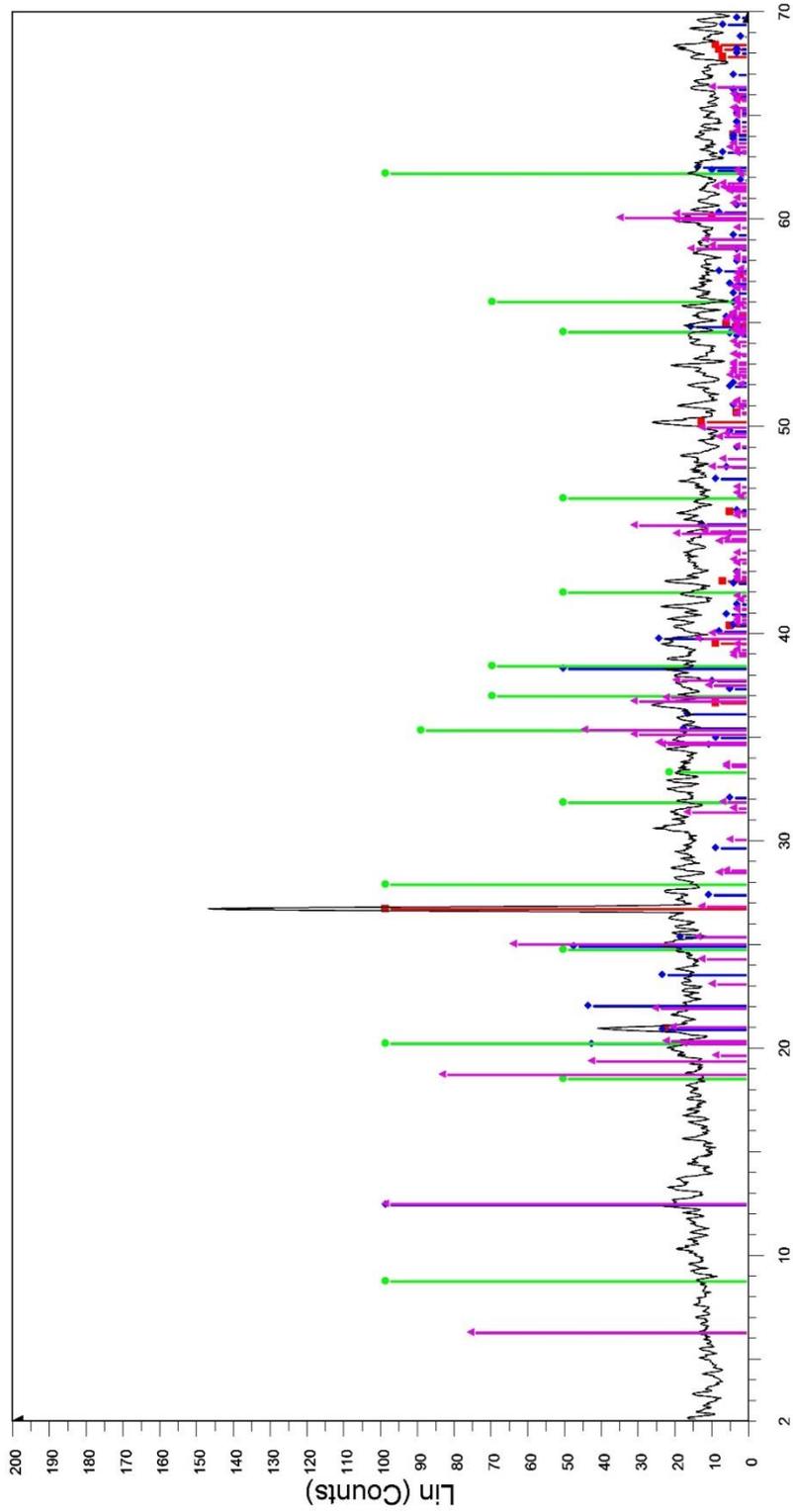
MW02-02-01 - File: MW02-02-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10 s - 2:Theta: 2.000 ° -  
82-0511 (A) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 59.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/IC PDF 3. -  
03-0058 (D) - Kaolinite - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> - Y: 59.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic -  
02-0462 (D) - Illite, 1M - KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub> - Y: 59.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
83-1380 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>0.76</sub>Cr<sub>0.23</sub>Al<sub>0.96</sub>Si<sub>3.04</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 59.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/IC PDF 0.6 -

# MW03-07

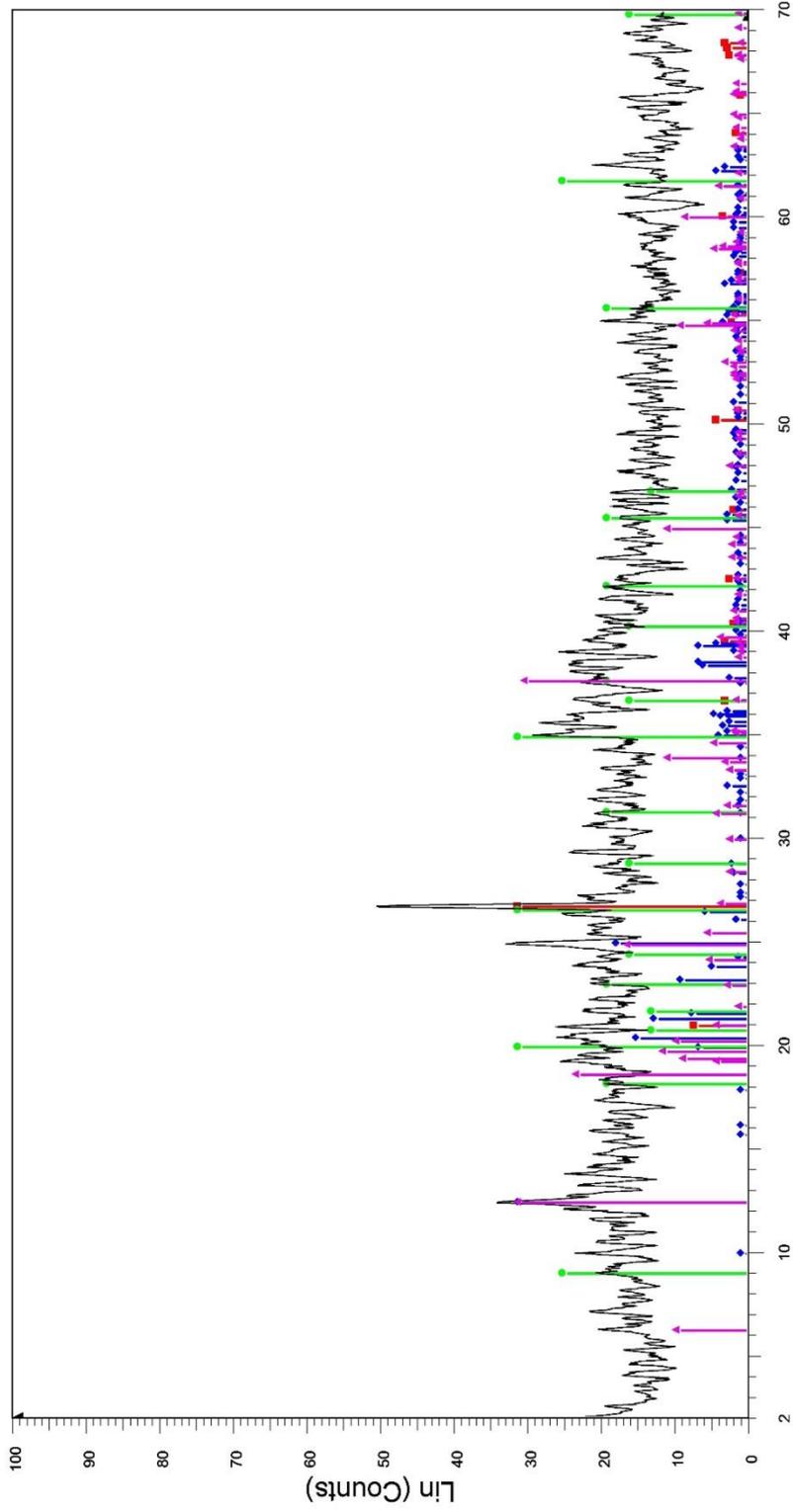


√ MW03-07-01 - File: MW03-07-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 9 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
■ 82-0511 (A) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 61.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3. -  
◆ 78-2110 (C) - Kaolinite - Al<sub>4</sub>(OH)<sub>8</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>) - Y: 61.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.9 -  
● 09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O - Y: 61.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
▲ 83-1381 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>0.75</sub>Cr<sub>0.25</sub>Al<sub>11</sub>O<sub>0.5</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 61.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.6 -

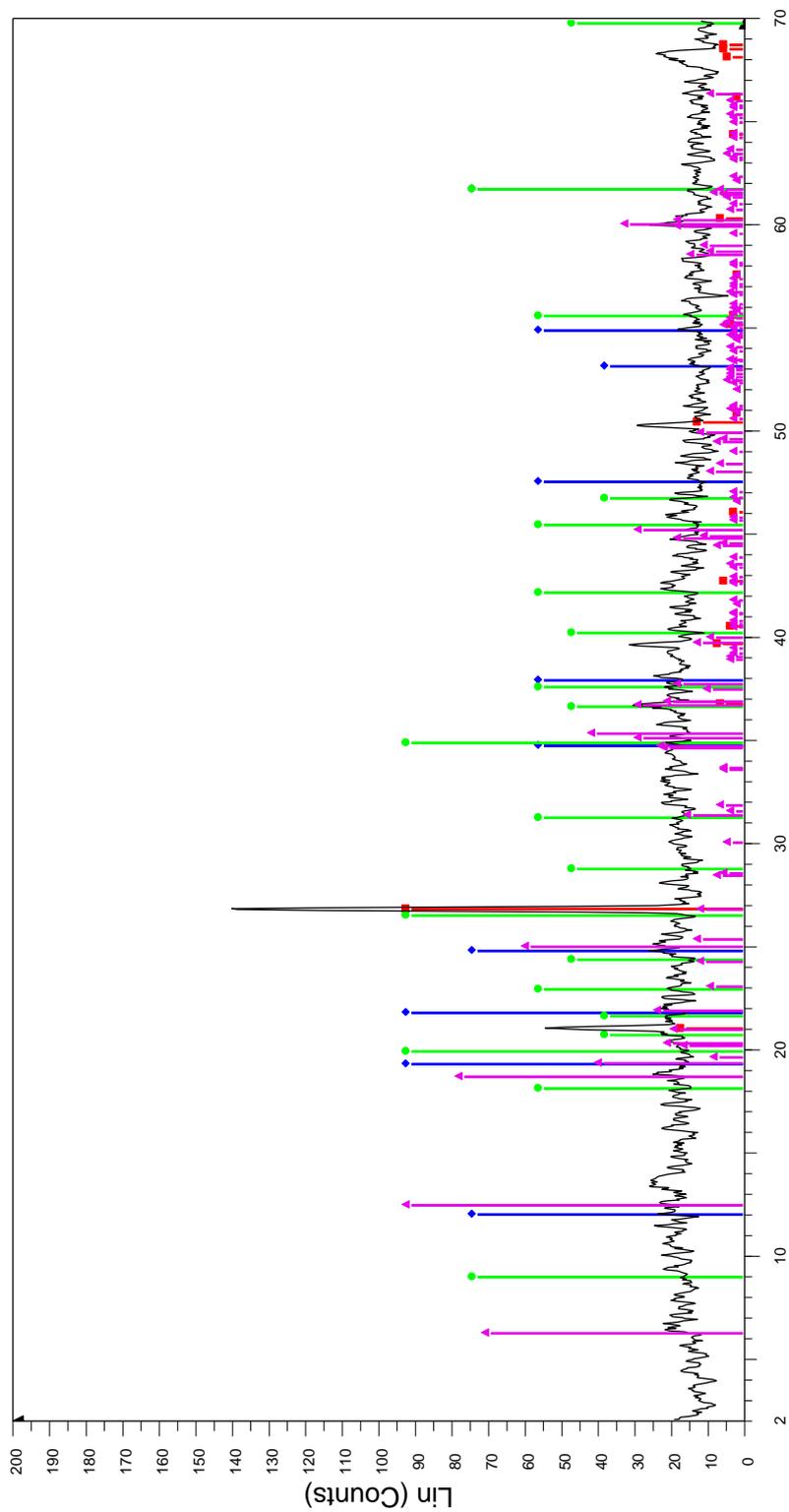
# MW04-02



# MW04-05

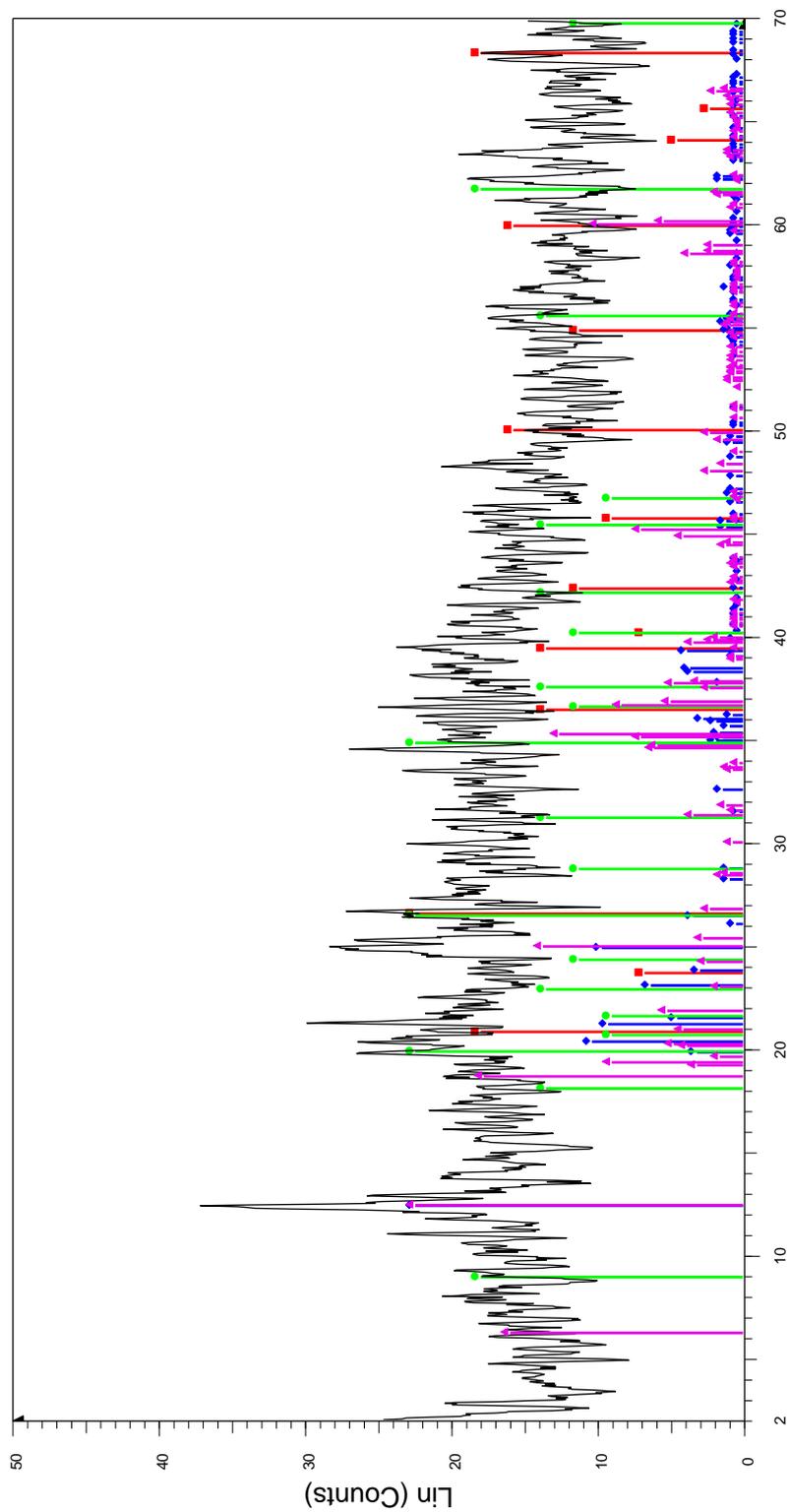


# MW05-01-01



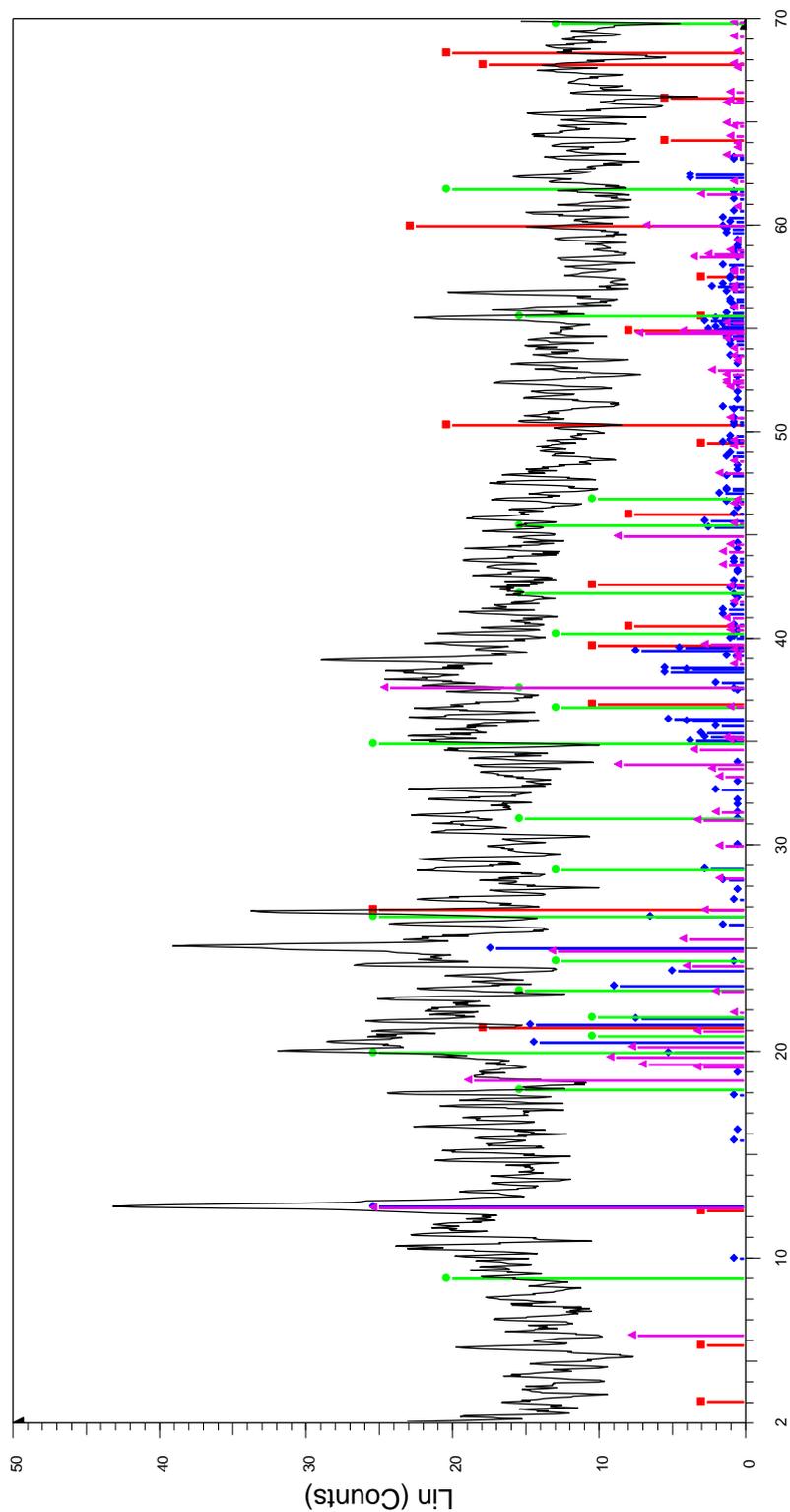
MW05-01-01 - File: MW05-01-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Temp: 25 °C (Room) - Time Started: 12 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
 78-1254 (C) - Quartz alpha, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 64.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/Ic PDF 3.3 -  
 02-0204 (D) - Kaolinite - (Al,Si)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>(O,OH)<sub>9</sub> - Y: 64.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O - Y: 64.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
 83-1381 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>10</sub>.75Cr<sub>0.25</sub>Al<sub>11</sub>.00Si<sub>3</sub>.00O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 64.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 0.6 -

MW05-07-01



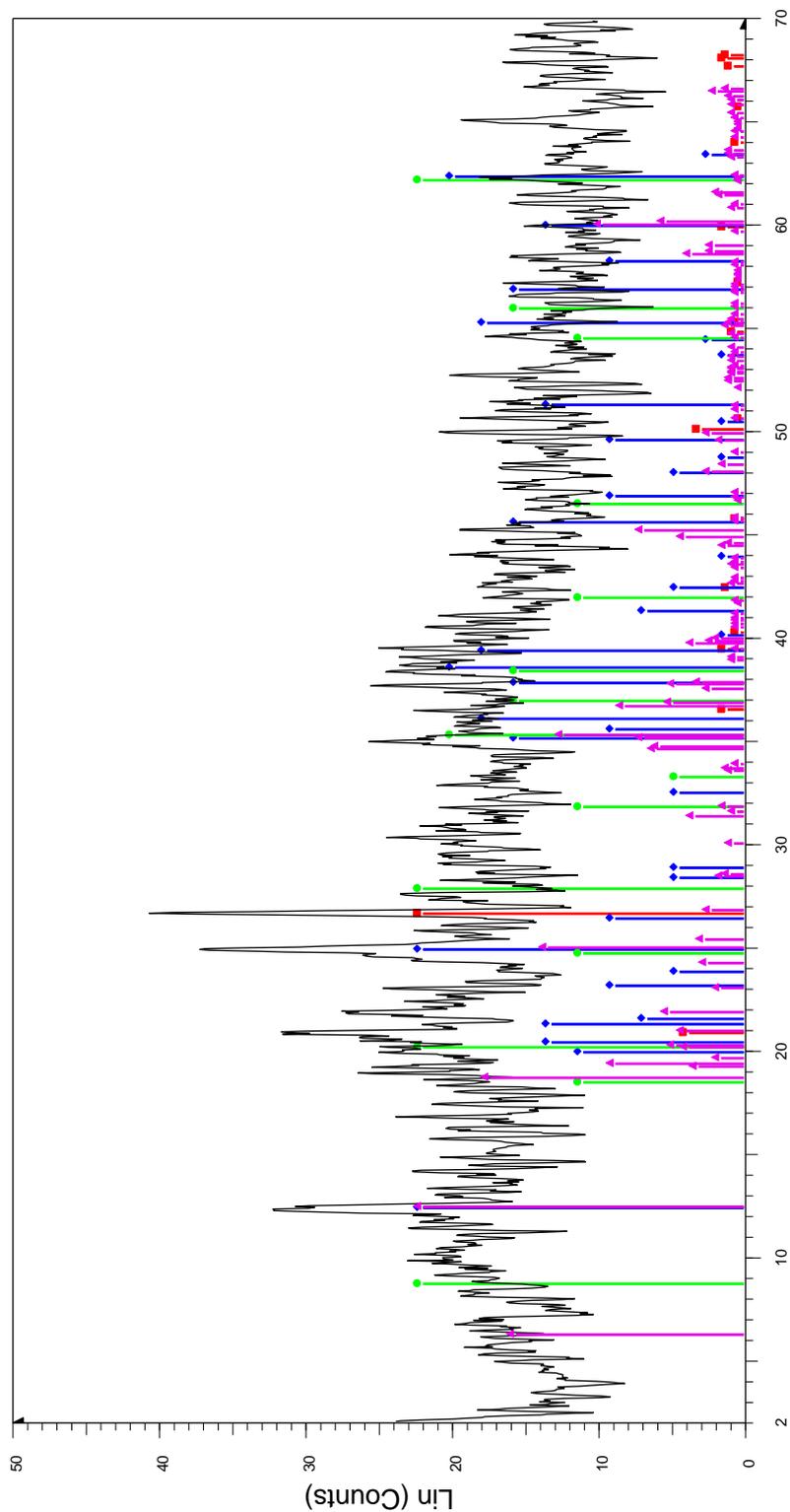
MW05-07-01 - File: MW05-07-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 9 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
03-0419 (D) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 60.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombohedral -  
83-0971 (C) - Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) - Y: 60.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 1. -  
09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O - Y: 60.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
83-1380 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>0.76</sub>Cr<sub>0.23</sub>Al<sub>0.96</sub>Si<sub>3.04</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 60.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.6 -

MW06-09-01



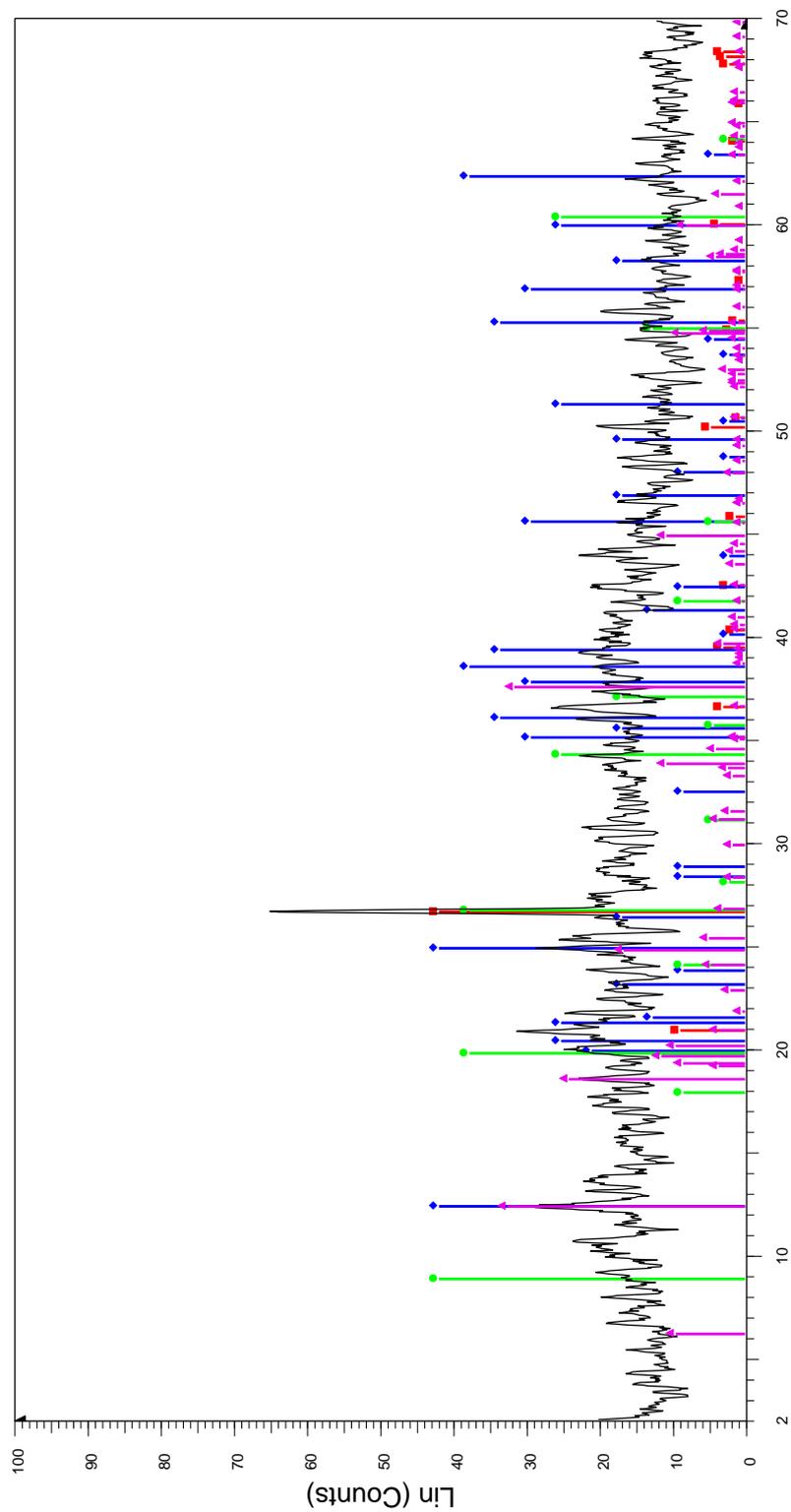
03-0444 (D) - Quartz - SiO2 - Y: 57.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal -  
09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H2O - Y: 57.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
78-2109 (C) - Kaolinite - Al4(OH)8(Si4O10) - Y: 57.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.8 -  
78-2063 (C) - Chlorite Ia - (Vg5.0Fe0.1Cr0.7Al0.2)(Si3AlO10)(OH0.9875)8 - Y: 57.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.8 -

# MW06-10-01

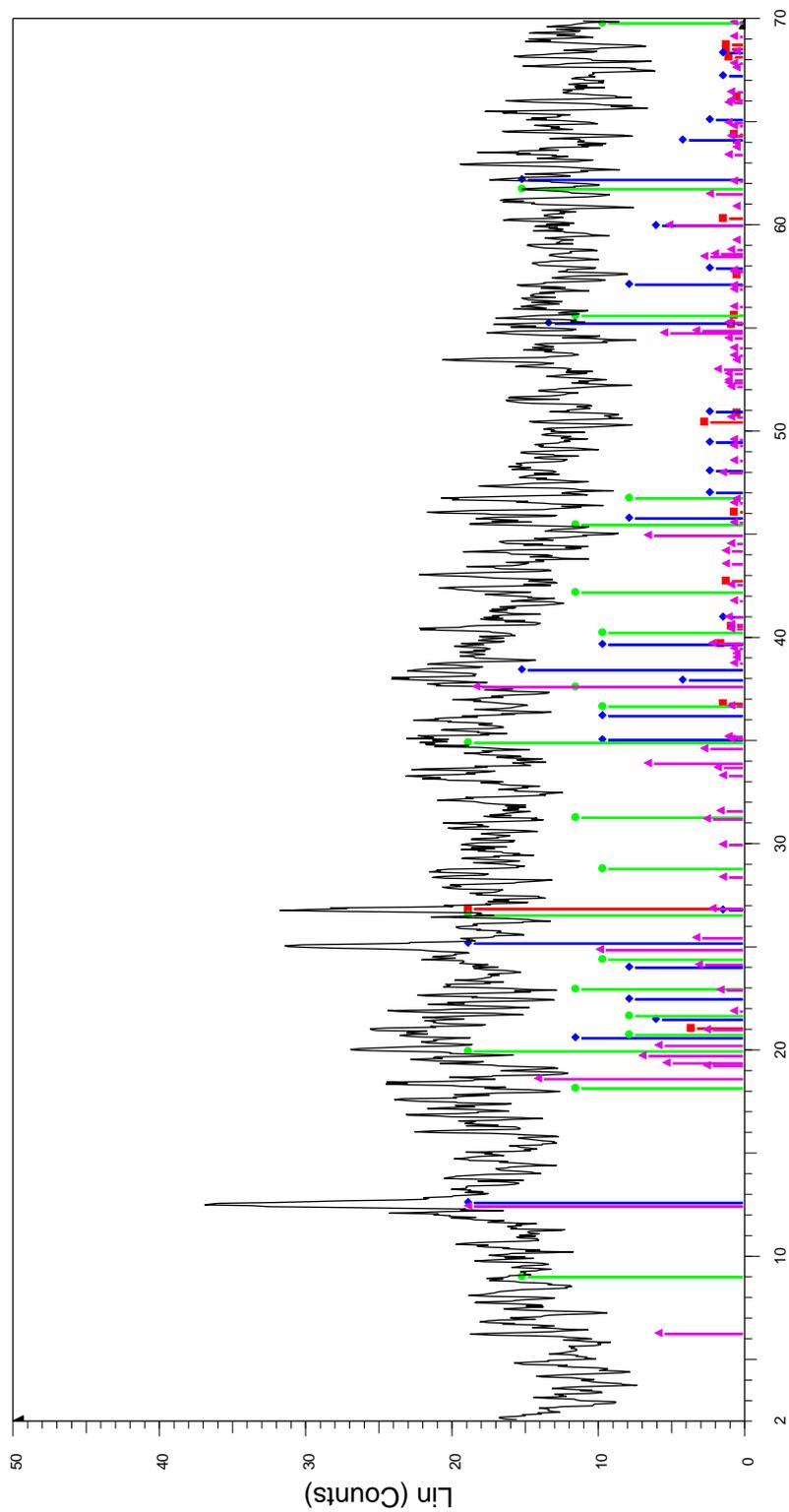


MW06-10-01 - File: MW06-10-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
78-1253 (A) - Quartz alpha, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 53.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/Ic PDF 3.3 -  
05-0143 (D) - Kaolinite - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O - Y: 53.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic -  
02-0042 (D) - Illite, sodian - (Na,K)Al<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub> - Y: 53.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
83-1380 (C) - Chlorite, chromian - Mg<sub>5</sub>OAl<sub>10</sub>.76Cr<sub>0.23</sub>Al<sub>0.96</sub>Si<sub>3.04</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>18</sub> - Y: 53.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 0.6 -

# MW07-03-01

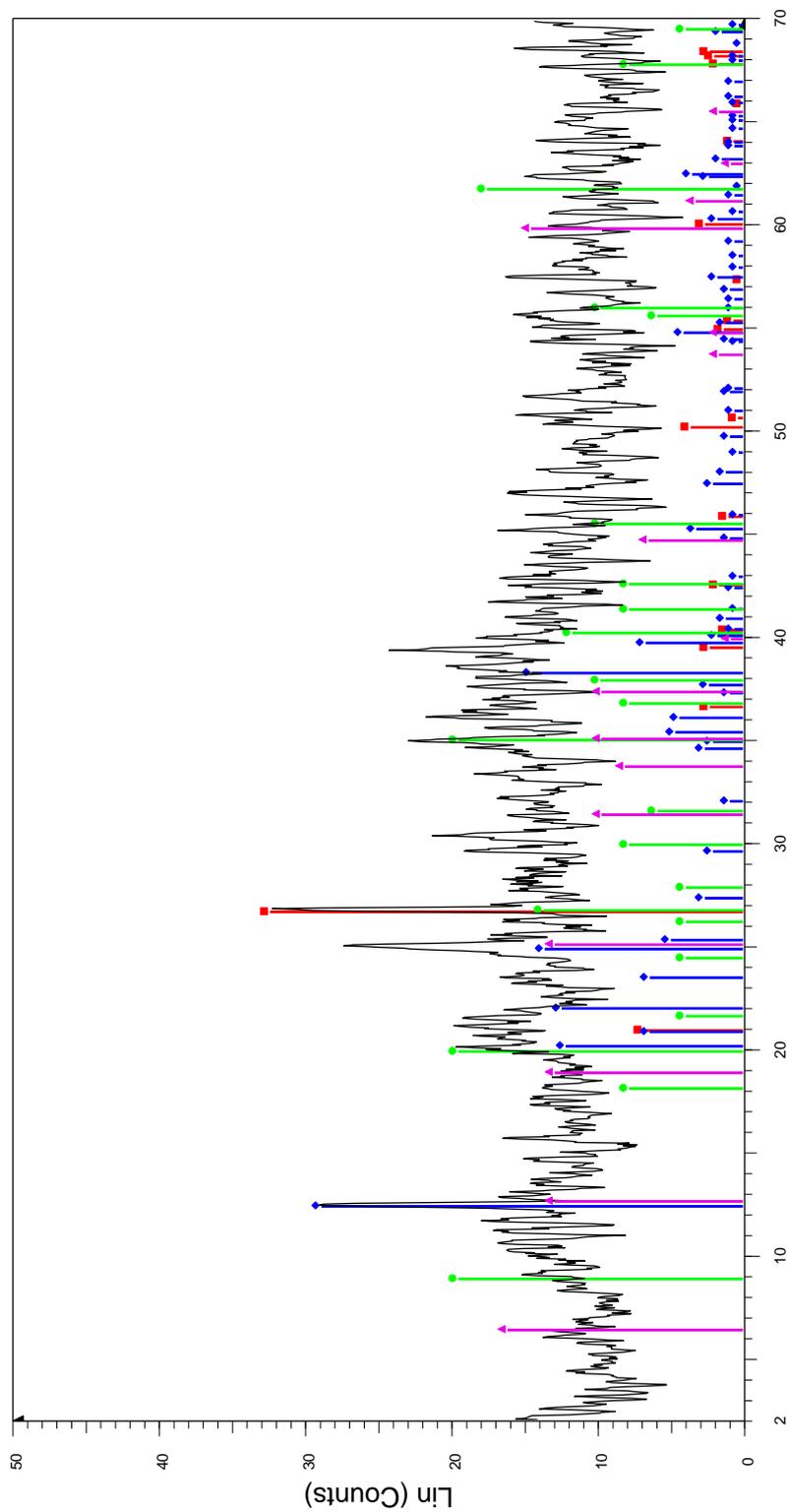


MW07-06-01



MW07-06-01 - File: MW07-06-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 11 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
78-1254 (C) - Quartz alpha, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3.3 -  
03-0059 (D) - Kaolinite - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic -  
09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H2O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -  
78-2063 (C) - Chlorite 1a - (Mg5.0Fe0.1Cr0.7Al0.2)(Si3AlO10)(OH0.9875)8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.8 -

MW07-07-01



MW07-07-01 - File: MW07-07-01.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 12 s - 2-Theta: 2.000 ° -  
86-1628 (C) - Quartz low - SiO<sub>2</sub> - Y: 100.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3.1 -  
75-0938 (C) - Kaolinite 2M - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> - Y: 89.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/c PDF 1. -  
02-0050 (D) - Illite - 2K<sub>2</sub>O·3MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·24SiO<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O - Y: 60.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
02-0028 (D) - Chlorite - (Mg,Fe)5(Al,Si)5O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1.0021 - WL: 1.5406 - Monoclinic -

MW04-09-01

