



รายงานฉบับสมบูรณ์  
(Final Report)

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของ  
การปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในบริเวณ ต.กลางดง  
อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา



เสนอ

110017

110014

โดย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2550

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

## รายงานฉบับสมบูรณ์

### รายงานฉบับผู้บริหาร

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ
- บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน
- บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
- บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่
- บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- บทที่ 9 บทสรุป

### รายงานหลัก

- บทที่ 1 บทนำ
  - บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ
  - บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน
  - บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
  - บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
  - บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่
  - บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
  - บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
  - บทที่ 9 บทสรุป
- ภาคผนวก

สัญญาเลขที่ 85/2549

รายงานฉบับสมบูรณ์  
โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน  
บริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

คณะกรรมการตรวจสอบงาน

1. คุณไศภิชญ์	ภิรมย์เลิศ	ประธานกรรมการตรวจสอบงาน
2. คุณชัยยง	คงคาอุดม	กรรมการตรวจสอบงาน
3. คุณจิตรกร	สุวรรณเลิศ	กรรมการตรวจสอบงาน
4. คุณมาลี	กิจพ้อคำ	กรรมการตรวจสอบงาน
5. คุณอมรรัตน์	ภู่อิม	กรรมการตรวจสอบงาน

สัญญาเลขที่ 85/2549

รายงานฉบับสมบูรณ์  
โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน  
บริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

คณะที่ปรึกษา

1. รศ.ดร. สุจริต	คุณธนกุลวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ดร. อักษรา	พฤทธิวิทยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร. เกียรติศักดิ์	ศรีสุข	คณะเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ผศ.ดร. วีระศักดิ์	ลิขิตเรืองศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ดร.ครรชิต	ลิขิตเดชาโรจน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. นายโชคชัย	สุทธิธรรมจิต	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. Prof. Dr. Linda M. Abriola		คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัย Tufts สหรัฐอเมริกา
8. นายวีระพล	เพชรานนท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. นายเกียรติศักดิ์	มานะจิตต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. นางสาววรรณวลี	วงศ์เกษมสันต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. นางสาวสุดารัตน์	ชุลม	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. นายอภิชาติ	นิमितสถาพร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. นางสาวศิริลักษณ์	เจนช่างกล	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. นางสาวธิดารัตน์	โคตนนท์	คณะเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. นางสาวศิริรัตน์	อุปลสิทธิ์	คณะเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากท่านอธิบดี รองอธิบดี ประธานและคณะกรรมการตรวจสอบงานโครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา รวมทั้งสำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่ให้ความเห็น ชี้แนะที่เป็นประโยชน์ตลอดช่วงโครงการ

นอกจากนี้ทางโครงการฯ สามารถดำเนินการมาได้ด้วยดีจากความร่วมมือจากหลายฝ่าย ไม่ว่าจะเป็น ศูนย์ทรัพยากรน้ำบาดาลภาค 1 จังหวัดนครราชสีมา องค์การบริหารส่วนตำบลกลางดง กรมควบคุมมลพิษ บริษัท กลางดงไลฟ์ แอนด์ เอ็กซ์เพริทเอ็นไวรอนเมนท์ จำกัด บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอเวอร์ไลฟ์ คอนกรีต รวมทั้งผู้ประกอบการ และประชาชนในจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสระบุรี ที่เอื้อเพื่อข้อมูล สถานที่ในการเจาะบ่อสังเกตการณ์ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการฯ นอกจากนี้ทางโครงการฯ ยังได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมสัมมนาที่โครงการจัดขึ้นทุกท่าน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการฯ

ทางคณะที่ปรึกษาขอแสดงความขอบคุณหน่วยงาน ผู้ทรงคุณวุฒิ ประชาชนและผู้ประกอบการดังกล่าวข้างต้นที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณกรมทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับการสนับสนุนการวิจัย มา ณ โอกาสนี้ และหวังว่า ผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไปสู่การดำเนินการฟื้นฟูอย่างเป็นระบบต่อไป

คณะที่ปรึกษา

กรกฎาคม 2550

## บทคัดย่อ

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา มีระยะเวลาการดำเนินงาน 10 เดือน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงและการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในพื้นที่ที่ทิ้งสารและพื้นที่ข้างเคียง และเสนอแนวทางการป้องกันและแผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ทั้งนี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง อันประกอบด้วย การศึกษาสภาพธรณีวิทยา สภาพอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา การตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อประมาณพื้นที่สารปนเปื้อน รวมทั้งการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยสรุปพบว่า การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และศึกษารอยแตกของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ โดยการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ การหึงธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะด้วยวิธี television log จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเจาะจำนวน 12 บ่อ พบรอยแตกในแนวอนมากกว่ารอยแตกในแนวตั้ง ปริมาตรรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหินสามารถประเมินจากภาพ television log ได้ ประมาณร้อยละ 10-45 โดยรอยแตกของหินปูนในแนวอนมีหลายขนาด หลายระดับความลึก รอยแตกของหินมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในแนว 26 องศา จากการตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2550 พบหลักฐานการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียงเกินระดับมาตรฐานจำนวน 7 ชนิด ได้แก่ TCE, PCE, Benzene, และ cis-DCE เป็นต้น จากข้อมูลการปนเปื้อนนี้สามารถสร้าง Iso-Concentration ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำ พบว่า ขอบเขตการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินด้วยสาร TCE มีการขยายขอบเขตออกไปกว้างขึ้นจากเดิมที่เคยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 255,000 ตร.ม. ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2550 และขยายพื้นที่ปนเปื้อนเป็น 300,000 ตร.ม.ในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2550 จากการประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่โดยการประเมินผลกระทบของความเสียหายในเชิงเศรษฐศาสตร์ (economic impacts) จากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน 4 ประการได้แก่ การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล ภายในระยะเวลา 50 ปี พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบจากสารปนเปื้อนทั้ง 4 ประการ รวมเป็นมูลค่าเสียหายทั้งสิ้น 973,824,925 บาท ขั้นตอนต่อมา คือ การตอบสนองต่อความเสี่ยง คณะที่ปรึกษาได้พัฒนาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน ซึ่งในนี้มีทั้งสิ้น 3 แนวทาง ได้แก่ การไม่ลงมือใดๆ (no action) การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี (Fast track) และการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี (regular track) ผลการวิเคราะห์พบว่า แนวทางการบำบัดสารปนเปื้อนภายในเวลา 10 ปี จะสามารถลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้มากกว่าแนวทางเลือกอื่นและมีต้นทุนต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ผู้ทำการตัดสินใจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบการตัดสินใจด้วย อาทิเช่น นโยบายของหน่วยงาน เป็นต้น

## Abstract

The Risk Assessment of Groundwater Contamination from Hazardous Wastes at Tambon Klang Dong, Amphoe Pak Chong, Nakhon Ratchasima was executed for 10 months. The project objectives focused on risk assessment, extension of groundwater contamination and plans to protect and remediate the groundwater contamination. The project processed with data collection and analysis comprised of geological, hydrological and hydrogeological study, groundwater contamination investigation estimating contaminant area as well as groundwater flow and contaminant transport modeling. Geophysical analysis using resistivity measurement and borehole geophysics via caliper and television logging in the 12 newly-installed monitoring wells investigating alignment of fracture and fracture distribution discovered that the limestone possessed more horizontal fractures compared with vertical ones. The rock porosity was also estimated from the television log to be 10-45%. The horizontal fracture varying in size and depth was composed with 2 major fracture directions, Southeastern-Northwestern and Northeastern-Southwestern, with an averaged direction at  $26^{\circ}$ . The results of 2 groundwater quality analyses, in February and June 2007, indicated that groundwater samples collected within the waste disposal site and vicinity were contaminated with 7 VOCs (e.g. TCE, PCE, Benzene, and cis-DCE). The generated iso-concentration contour maps of the contaminants in groundwater revealed that that the TCE contaminated area extended from 255,000 sq.m. in Feb. 2007 to 300,000 sq.m. in Jun. 2007. Risk analysis on economic impacts considers the monetary value of damages resulting from four main risk impacts, i.e. Income loss of people due to health problems, loss due to uncultivable lands, income loss of water supply business and cost due to groundwater resources remediation. The net present value due to the four impact factors of year 50 were totally 973,824,925 bah. Subsequently, risk response for groundwater contamination was developed into 3 alternatives, (1) no action, (2) five-year remediation plan (fast track), and (3) ten-year remediation plan (regular track). Considering benefit to cost ratios and reduction of groundwater contamination risk, alternative (3) are economically favorable and the remediation is efficiency. The final decision on the risk response alternative however should take into account other factors such as degree of emergency and the country's environmental policy etc.

---

สารบัญ



## สารบัญ

## หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1-1</b>
1.1 ความเป็นมา.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1-3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1-3
1.4 แนวทางการศึกษา.....	1-7
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	1-7
1.6 เนื้อหารายงานฉบับสมบูรณ์.....	1-9
<b>บทที่ 2 สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ.....</b>	<b>2-1</b>
2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ.....	2-1
2.1.1 สภาพภูมิประเทศและภูมิสังฐาน.....	2-1
2.1.2 คุณภาพน้ำ.....	2-4
2.1.3 สภาพภูมิอากาศ.....	2-6
2.1.4 สภาพอุทกวิทยา.....	2-8
2.1.5 สภาพธรณีวิทยา.....	2-14
2.1.6 สภาพอุทกธรณีวิทยา.....	2-19
2.1.7 สภาพการใช้ที่ดิน.....	2-21
2.1.8 ประชากรและลักษณะเศรษฐกิจและสังคม.....	2-23
2.2 สภาพปัญหาในพื้นที่โครงการ.....	2-25

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	3-1
3.1.1 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหิน.....	3-1
3.1.2 การตรวจสอบสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน.....	3-2
3.2 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และค้ำกรวยแตกของหิน ในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์.....	3-14
3.2.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดิน.....	3-14
3.2.2 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดิน.....	3-20
3.2.3 สรุปลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหินจากการศึกษา ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์.....	3-26
3.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน.....	3-28
3.3.1 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิค Rotary Drilling.....	3-29
3.3.2 การตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน.....	3-31
3.4 การสำรวจน้ำใต้ดิน.....	3-37
3.4.1 การเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์.....	3-37
3.4.2 การสูบทดสอบบ่อสังเกตการณ์.....	3-53
3.4.3 การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน.....	3-57
<b>บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4-1
4.2 การสร้าง Topographic Map เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา.....	4-3
4.3 การสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....	4-6
4.4 การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot Spots).....	4-14
4.5 การประมาณพื้นที่และปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย.....	4-17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	5-1
5.2 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน.....	5-8
5.3 การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะต่าง ๆ.....	5-10
5.3.1 การออกแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์.....	5-11
5.3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง.....	5-16
5.3.3 อัตราการเติมน้ำ.....	5-18
5.3.4 การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน.....	5-17
5.3.5 การปรับแก้แบบจำลองและผลการจำลอง.....	5-21
5.4 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน.....	5-28
5.4.1 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์.....	5-28
<b>บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่.....</b>	<b>6-1</b>
6.1 แนวความคิดของกระบวนการจัดการความเสี่ยง(concept of risk management).....	6-2
6.1.1 การระบุความเสี่ยง (risk identification).....	6-3
6.1.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis).....	6-5
6.1.3 การตอบสนองต่อความเสี่ยง (risk response).....	6-8
6.1.4 การเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง (risk monitoring and evaluation).....	6-12
6.2 การจัดการความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน.....	6-13
6.2.1 การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน....	6-13
6.2.2 การประเมินผลกระทบของความเสี่ยง.....	6-17
6.2.3 การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษา.....	6-24
6.2.4 การตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน.....	6-46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน..... 7-1**

7.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง..... 7-2

7.1.1 การทดสอบค่า Dispersion coefficient และ Retardation factor..... 7-2

7.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) ในห้องปฏิบัติการ..... 7-5

7.1.3 การทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....7-8

7.2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ..... 7-10

7.2.1 การทดสอบเพื่อประมาณค่า Retardation factor ของสารปนเปื้อน และ Dispersion coefficient ของตัวกลางรูพรุน..... 7-10

7.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค PITT ในห้องปฏิบัติการ.....7-25

7.2.3 การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในดินเพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนในห้องปฏิบัติการ..... 7-46

7.3 การจัดทำแผนการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา..... 7-53

7.3.1 การระบุ คัดเลือกเทคโนโลยี และทางเลือกในการดำเนินงาน (identify, screen remedial technologies and process options)..... 7-53

7.3.2 เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป..... 7-55

7.3.3 ตัวอย่างเทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน..... 7-56

7.3.4 ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน..... 7-59

7.3.5 ข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนและออกแบบระบบจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดิน..... 7-62

7.3.6 เกณฑ์การคัดเลือกระบบจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสม..... 7-64

7.3.7 แนวทางการจัดการในอนาคตต่อโครงการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา ..... 7-66

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.3.8	แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม.....	7-82
<b>บทที่ 8</b>	<b>แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....</b>	<b>8-1</b>
8.1	การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	8-1
8.1.1	หน่วยงาน/องค์กรในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม.....	8-1
8.1.2	แผนปฏิบัติการฉุกเฉินสำหรับอุบัติเหตุทางสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย.....	8-4
8.2	แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนฉุกเฉิน-ระยะสั้น (Short Term Emergency Response Plan).....	8-9
8.3	แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินในระยะยาว (Long Term Response Plan)...	8-12
8.3.1	กฎหมาย กฎ และข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา.....	8-12
8.3.2	นโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Management Policy).....	8-14
8.3.3	หน่วยงานกลางที่กำกับดูแลและระบบสิ่งแวดล้อมของประเทศ.....	8-14
8.3.4	การพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อม.....	8-18
8.3.5	การมีส่วนร่วมของภาคประชาชน.....	8-19
8.3.6	การจัดทำ National Priority List (NPL).....	8-19
8.3.7	การจัดทำฐานข้อมูลสารอันตรายของประเทศ.....	8-20
8.3.8	การประชาสัมพันธ์.....	8-20
8.3.9	การกำหนดวัตถุประสงค์ของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน.....	8-21
8.3.10	การจัดทำมาตรการการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนเพื่อเป็นมาตรฐานในการดำเนินงาน.....	8-22
8.4	บทสรุปกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม.....	8-23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8.5	ภาพรวมอุปสรรคในการดำเนินการจัดการปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ของประเทศไทย.....	8-30
<b>บทที่ 9</b>	<b>บทสรุป.....</b>	<b>9-1</b>
9.1	สรุปผลการศึกษา.....	9-1
	เอกสารอ้างอิง.....	อ-1
	ภาคผนวก	
ก	ข้อมูลทั่วไปของบ่อบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน.....	ก-1
ข	ข้อมูลสุบทดสอบบ่อและผลการวิเคราะห์.....	ข-1
ค	กิจกรรมการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการหยั่งธรณีฟิสิกส์.....	ค-1
ง	ข้อมูลชั้นดินชั้นหิน.....	ง-1
จ	ข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า.....	จ-1
ฉ	ข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาในภาคสนาม ระหว่างวันที่ 11-14 ตุลาคม 2549.....	ฉ-1
ช	ข้อมูลการสำรวจระดับความสูงบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ที่ขังสารปนเปื้อน และบริเวณใกล้เคียง วันที่ 24 ก.พ. 2549.....	ช-1
ซ	การเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจหาสารปนเปื้อน.....	ซ-1
ฌ	การสุ่มตัวอย่างของประชากร.....	ฌ-1
ญ	แบบสอบถามการใช้น้ำภาคสนาม.....	ญ-1
ฎ	แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE.....	ฎ-1
ฏ	แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ BENZENE.....	ฏ-1
ฐ	แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ PCE.....	ฐ-1
ฑ	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) และแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม..	ฑ-1
ฒ	ผลการประเมินผลกระทบการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน....	ฒ-1
ณ	ผลการประเมินผลกระทบการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล.....	ณ-1

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ด ผลการประเมินผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล ที่ได้รับการปนเปื้อน.....	ด-1
ต ผลการประเมินผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน.....	ต-1
ถ แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน ภายใน 5 ปี.....	ถ-1
ท แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน ภายใน 10 ปี.....	ท-1
ธ ผลการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน ภายใน 5 ปี.....	ธ-1
น ผลการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน ภายใน 10 ปี.....	น-1
ผ ข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดิน กรมควบคุมมลพิษ.....	ผ-1

## สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาบริเวณ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา.....	1-4
1-2	พื้นที่ศึกษาบริเวณจุดที่ทำการทึงสารปนเปื้อน.....	1-5
1-3	แนวทางการดำเนินงาน.....	1-8
2-1	ที่ตั้งอำเภอปากช่อง จ.นครราชสีมา.....	2-2
2-2	ภูมิประเทศโดยรอบพื้นที่ศึกษา.....	2-3
2-3	ภาพตัดขวางแสดงระดับภูมิประเทศตามแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก.....	2-3
2-4	ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.....	2-5
2-5	ขอบเขตลุ่มน้ำ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.....	2-9
2-6	ลำน้ำสายหลักบริเวณโดยรอบพื้นที่ศึกษา อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.....	2-10
2-7	สถานีวัดน้ำฝนโดยรอบพื้นที่ศึกษา.....	2-11
2-8	ฝนเฉลี่ยรายเดือน 30 ปี (2514-2543) ของสถานีจังหวัดนครราชสีมาและ ลพบุรี.....	2-12
2-9	ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้เทียบกับปริมาณฝนที่ตก.....	2-13
2-10	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา.....	2-15
2-11	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน.....	2-16
2-12	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนแนว A-A' และ B-B'.....	2-17
2-13	แผนที่น้ำบาดาลของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน.....	2-20
2-14	แผนที่การใช้ที่ดิน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.....	2-22
2-15	สภาพพื้นที่ที่ทำการทึงสารเคมีปนเปื้อน.....	2-26
2-16	สภาพพื้นที่เกิดเหตุภายหลังบริษัทปิดหน้าดินไปกำจัด.....	2-26
3-1	การรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ใต้ดิน.....	3-3
3-2	แผนที่การกระจายตัวของสาร TCE ในชั้นใต้ดิน ในโรงงานผลิตสาย นาฬิกาโลหะ.....	3-5
3-3	ลักษณะการเก็บตัวอย่างดิน.....	3-13



## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-4	แผนที่แสดงระดับความลึกของดินที่ปิดทับหินปูน.....	3-16
3-5	ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI1-ERI4....	3-17
3-6	ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI5-ERI8.....	3-18
3-7	ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI9-ERI10 และ L1-L2.....	3-19
3-8	ตำแหน่งการสำรวจธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ.....	3-21
3-9	การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินโดยใช้เครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ....	3-24
3-10	การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินโดยใช้เครื่องถ่ายโทรทัศนังวงจรถัด.....	3-25
3-11	ภาพตัดขวาง A-A' B-B' และ C-C' แสดงการวางตัวและลักษณะรอยแตก ของหินในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง จากการแปลความข้อมูล การสำรวจด้วยเทคนิคธรณีฟิสิกส์.....	3-27
3-12	จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง.....	3-30
3-13	ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ PW01-PW02 และ PZ01-PZ10.....	3-39
3-14	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PW01.....	3-41
3-15	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PW02.....	3-42
3-16	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ01.....	3-43
3-17	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ02.....	3-44
3-18	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ03.....	3-45
3-19	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ04.....	3-46
3-20	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ05.....	3-47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-21	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ06.....	3-48
3-22	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ07.....	3-49
3-23	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ08.....	3-50
3-24	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ09.....	3-51
3-25	ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ใต้ผิวดินของบ่อ PZ10.....	3-52
3-26	แผนที่การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ย่อยซับตะเคียน.....	3-56
3-27	แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่ติดตามตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำ บาดาล.....	3-59
3-28	แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน.....	3-60
3-29	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน.....	3-61
3-30	จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	3-65
4-1	แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และระดับแรงดันน้ำบาดาลในพื้นที่ทั้ง สารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง.....	4-4
	ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL.....	4-4
4-2	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนและ บริเวณใกล้เคียง.....	4-5
4-3	เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene เดือนกุมภาพันธ์ 2550.....	4-7
4-4	เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,2- dichloroethane.....	4-8
4-5	เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,1-dichloroethylene.....	4-9
4-6	เส้นชั้นความเข้มข้นของ cis-1,1-dichloroethylene.....	4-10
4-7	เส้นชั้นความเข้มข้นของ Tetrachloroethylene เดือนมิถุนายน 2550.....	4-11

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-8	เส้นชั้นความเข้มข้นของ Trichloroethylene.....	4-12
4-9	เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,1,2- trichloroethane.....	4-13
4-10	ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL.....	4-15
4-11	ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL.....	4-16
4-12	พื้นที่ปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย.....	4-19
5-1	แบบจำลองเชิงมิติหนึ่ง.....	5-9
5-2	ลักษณะการวางตัวของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา.....	5-12
5-3	การพิจารณาลักษณะชั้นน้ำใต้ดินในแบบจำลองน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์....	5-12
5-4	กริดเซลล์ในแบบจำลองน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษา.....	5-13
5-5	แบบจำลอง MODFLOW ที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล.....	5-14
5-6	การออกแบบกริดเซลล์และเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำบาดาล.....	5-15
5-7	การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในชั้นเบื้องต้นในแบบจำลองน้ำใต้ดิน..	5-17
5-8	ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อสูบน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา.....	5-20
5-9	ระดับน้ำสถานะการไหลคงตัวเดือน ต.ค. 2549 เทียบกับระดับน้ำ จากบ่อสังเกตการณ์.....	5-23
5-10	เปรียบเทียบระดับน้ำสถานะการไหลคงตัวกับระดับน้ำจาก บ่อสังเกตการณ์เดือน ต.ค. 2549.....	5-24
5-11	เปรียบเทียบระดับน้ำในปี พ.ศ.2550 กับปี พ.ศ. 2600 เมื่อมีการใช้ น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น.....	5-26
5-12	การลดลงของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมื่อมีการใช้น้ำมากขึ้นในอนาคต..	5-27
5-13	กริดเซลล์และขอบเขตแบบจำลอง.....	5-30
5-14	เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา 2 ปี.....	5-34
5-15	เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา a)10 ปี b)20 ปี c)25 ปีและ d)50 ปี.....	5-35
5-16	เส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา 2 ปี.....	5-36
5-17	เส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา a)10 ปี b)14 ปี c)25 ปี และ d)50 ปี.....	5-38

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-18	เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา 2 ปี.....	5-39
5-19	เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา a) 5 ปี b)15 ปี c)23 ปี และ d)50 ปี.....	5-40
5-20	เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L เมื่อใช้ทางเลือกที่ 2 เมื่อเวลา a) 8 ปี b)10 ปี c)12 ปี d)14 ปี.....	5-41
5-21	เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L เมื่อใช้ทางเลือกที่ 3 เมื่อเวลา a) 4 ปี b)6 ปี c)8 ปี d)10 ปี.....	5-42
6-1	กระบวนการจัดการความเสี่ยง (risk management process).....	6-3
6-2	องค์ประกอบของความเสี่ยง.....	6-3
6-3	ตัวอย่าง cause-effect diagram เพื่อระบุองค์ประกอบความเสี่ยง.....	6-4
6-4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสี่ยง.....	6-6
6-5	ขั้นตอนการตอบสนองความเสี่ยง.....	6-8
6-6	ขั้นตอนการพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไป.....	6-10
6-7	องค์ประกอบของความเสี่ยงจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....	6-14
6-8	ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางการเงินในโครงการศึกษาวิจัย.....	6-24
6-9	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจาก เจ็บป่วย.....	6-29
6-10	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับ การปนเปื้อน.....	6-31
6-11	ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ผลิตน้ำประปาบาดาลในปัจจุบัน.....	6-32
6-12	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล... ..	6-34
6-13	กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่ง น้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน.....	6-38
6-14	กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน.....	6-39
6-15	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 2.....	6-42
6-16	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 5.....	6-42
6-17	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 10.....	6-43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6-18	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 14.....	6-43
6-19	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 20.....	6-44
6-20	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 25.....	6-44
6-21	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 50.....	6-45
6-22	ลักษณะการเกิดการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดิน.....	6-48
6-23	เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป.....	6-51
6-24	เทคนิค soil vapor extraction.....	6-54
6-25	เทคนิค thermal treatment.....	6-54
6-26	แนวบ่อน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดินจากสารปนเปื้อนโดยใช้ความร้อน (thermal conductive heating) บริเวณ Midwest Site.....	6-55
6-27	อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ได้จากกระบวนการ thermal conductive heating.....	6-55
6-28	เทคนิค bioventing.....	6-56
6-29	เทคนิค pump-and-treat.....	6-56
6-30	เทคนิค chemical oxidation.....	6-57
6-31	แผนผังการวางระบบพื้นฟูสำหรับการบำบัดในระยะเวลา 5 ปี.....	6-64
6-32	แผนผังการวางระบบพื้นฟูสำหรับการบำบัดในระยะเวลา 10 ปี.....	6-67
6-33	เปรียบเทียบขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนของ TCE หลังทำการบำบัดด้วยแนว ทางเลือกที่ 2 และ 3 เป็นเวลา 5 ปี.....	6-68
7-1	ผลของกระบวนการ Dispersion/Diffusion ต่อพฤติกรรมเคลื่อนที่ ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน.....	7-2
7-2	ผลของกระบวนการ Sorption ต่อพฤติกรรมเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ในชั้นน้ำใต้ดิน.....	7-3
7-3	เทคนิค In Situ Bioremediation เพื่อประยุกต์ใช้จัดการสารปนเปื้อน ในชั้นน้ำใต้ดิน.....	7-9
7-4	Soil Characteristic Curve ของดินตะกอนที่ระดับความลึก 3 เมตร ในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	7-11

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7-5	เครื่องวัดความนำไฟฟ้า(Microprocessor Conductivity meter).....	7-13
7-6	การทดลองหาค่า Dispersion Coefficient.....	7-13
7-7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและ ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (Breakthrough Curve) เพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาค่า Dispersivity ของระบบ.....	7-14
7-8	แบบจำลองทางกายภาพเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินและ สารปนเปื้อนในระบบชั้นน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock).....	7-16
7-9	Breakthrough Curve ของ Bromide ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทาง กายภาพประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock).....	7-18
7-10	Breakthrough Curve ของ Benzene ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทาง กายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock).....	7-21
7-11	Breakthrough Curve ของ TCE ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทาง กายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock).....	7-23
7-12	Breakthrough Curves ของ Bromide, Benzene, และ TCE ในการไหล ผ่านระบบแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock).....	7-24
7-13	เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ต่อกับ Automated Sampler ใช้วิเคราะห์ ความเข้มข้นของสาร TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอรั.....	7-27
7-14	ระบบชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของ เทคนิค PITT.....	7-28
7-15	Bromide Ions และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย Non-Partitioning Tracer และ TCE.....	7-31
7-16	IPA และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย IPA และ TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent.....	7-32
7-17	Methanol และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบประกอบด้วย MeOH และ TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent.....	7-34
7-18	TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอรัใน Effluent จากระบบของ Non-Partitioning	

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7-19	Tracer-TCE และ Partitioning Tracer-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent.... 7-36
7-20	IPA และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย IPA และ TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent..... 7-39
7-21	Ethanol และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย Ethanol และ TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent..... 7-43
7-22	TCE และแอดกอกซอลด์เทอร์เซอร์ใน Effluent จากระบบของ Non-Partitioning Tracer-TCE และ Partitioning Tracer-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent..... 7-44
7-23	ความเข้มข้นของสาร TCE และ ความหนาแน่นของ PKO1 ในระบบที่ 1 ประกอบด้วย PKO1 + 1,000 ppm Lactate + 45 ppm TCE..... 7-49
7-24	ความเข้มข้นของสาร TCE และ Ethanol ในระบบที่ 2 ประกอบด้วย PKO1 + 1,400 ppm Ethanol + 45 ppm TCE..... 7-50
7-25	ความเข้มข้นของสาร Ethanol และความหนาแน่นของ PKO1 ในระบบที่ 3 ประกอบด้วย PKO1 + 1,400 ppm Ethanol..... 7-52
7-26	เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป..... 7-56
7-27	กรอบการสำรวจและศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินภายใต้ CERCLA..... 7-66
7-28	กรอบหลักการของ RI/FS ภายใต้ CERCLA..... 7-70
7-29	Passive Diffusion Bag Sampler..... 7-73
7-30	การติดตั้ง Passive Diffusion Bag Sampler ในบ่อสังเกตการณ์..... 7-73
7-31	ลักษณะของ Active Sampling โดยใช้ Multilevel Groundwater Sampling Device..... 7-74
7-32	ลักษณะของ Active Sampling โดยใช้ CMT..... 7-75
7-33	ลักษณะหน้าตัดของ CMT แบบ 7 ระดับความลึก..... 7-76
8-1	แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม..... 7-84
8-1	แนวทางการดำเนินงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน..... 8-8

## สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2-1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	2-4
2-2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าการระเหยของน้ำ ระหว่างปี พ.ศ.2517 – พ.ศ.2546.....	2-7
2-3 ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ของพื้นที่รับน้ำคลองซับตะเคียน.....	2-13
3-1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน.....	3-6
3-2 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน.....	3-7
3-3 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำใต้ดิน.....	3-10
3-4 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และวันที่หยั่งธรณีพิลึกส์หลุมเจาะ.....	3-22
3-5 ตำแหน่งและความลึกการเจาะเก็บตัวอย่างดิน.....	3-31
3-6 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในดิน.....	3-32
3-7 ผลการตรวจวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหยในดิน.....	3-34
3-8 ผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในดิน.....	3-35
3-9 ผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในดิน.....	3-36
3-10 ข้อมูลตำแหน่งและรายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทิ้งสาร ปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง.....	3-40
3-11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อในพื้นที่โครงการ.....	3-55
3-12 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเดือนตุลาคม กุมภาพันธ์ และพฤษภาคม.....	3-62
3-13 ผลการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย PCB และ Formaldehyde ในน้ำใต้ดิน.....	3-67
3-14 ผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในน้ำใต้ดิน.....	3-68
3-15 ผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดิน.....	3-69
5-1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อน.....	5-6
5-2 การสูบน้ำที่ใช้ในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต.....	5-21
5-3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย ในพื้นที่ศึกษา.....	5-33
6-1 การระบุความเสี่ยงโดยเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน.....	6-18



สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6-2	การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปของความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน.....	6-22
6-3	จำนวนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน.....	6-26
6-4	ข้อมูลการประกอบอาชีพและรายได้ของประชาชนในหมู่บ้านปางอโศก.....	6-27
6-5	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย..	6-28
6-6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน.....	6-30
6-7	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล.....	6-33
6-8	ระบบบำบัดน้ำบาดาลสำหรับประปาหมู่บ้านแบบบาดาลขนาดใหญ่.....	6-35
6-9	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน.....	6-37
6-10	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน.....	6-38
6-11	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี.....	6-40
6-12	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร Trichloroethylene (TCE).....	6-50
6-13	เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อน VOCs.....	6-57
6-14	มาตรการตอบสนองต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ศึกษา.....	6-61
6-15	ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการโดยประมาณของการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี.....	6-65
6-16	ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการโดยประมาณของการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี.....	6-69
6-17	การวิเคราะห์ประโยชน์-ต้นทุนของแต่ละแนวทางเลือก.....	6-72
7-1	ค่าความเข้มข้นของสาร NaBr ในแต่ละช่วงเวลา.....	7-17
7-2	ค่าความเข้มข้นของสาร Benzene ในแต่ละช่วงเวลา.....	7-20
7-3	ค่าความเข้มข้นของสาร TCE ในแต่ละช่วงเวลา.....	7-22
7-4	ค่า Retardation Factor ของ Bromide Ions, MeOH, และ IPA ในสภาวะ 100% Cosolvent.....	7-38
7-5	ค่า Retardation Factor ของ Bromide Ions, EOH, และ IPA ในสภาวะ	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
	20% Cosolvent.....	7-46
7-6	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร Trichloroethylene (TCE).....	7-54
7-7	ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและ น้ำใต้ดินปนเปื้อน.....	7-59
7-8	การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี (Regular Track).....	7-89

**บทที่ 1**

**บทนำ**

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม นับว่าเป็นปัญหาใหม่ซึ่งส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ ซึ่งนับวันจะเพิ่มจำนวนและความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ดังเห็นได้จากการร้องเรียนของประชาชนที่เกิดขึ้นอยู่เสมอ ขณะที่ปัญหาในลักษณะนี้ได้เกิดขึ้นในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในกลุ่มภูมิภาคยุโรป ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้สำหรับการตรวจสอบ ป้องกัน แก้ไขและฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการปนเปื้อนเกิดขึ้นมากมาย ประเทศไทยก็อยู่ในสถานะเดียวกัน แม้ว่าการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินยังเป็นปัญหาใหม่ทางด้านสิ่งแวดล้อม หากแต่การเตรียมการในการสร้างบุคลากรที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ ตลอดจนองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าวนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถดำเนินการแก้ไขและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้อย่างทันทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานการจัดเก็บกากสารเคมีอันตรายที่เป็นระบบอย่างเป็นทางการ จึงเป็นเหตุให้มีการรั่วไหลของสารเคมีลงสู่พื้นน้ำใต้ดิน สำหรับพื้นที่เสี่ยงอันตรายจากการรั่วไหลของสารเคมีที่สำคัญแห่งหนึ่ง คือ พื้นที่ของบริษัทเอกชนที่ตั้งอยู่ใน หมู่บ้านปางอโศก ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ได้พบถึงบรรจุกากสารเคมีจำนวนมากถูกปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งบนเนื้อที่ประมาณ 100 x 200 ตารางเมตร สำหรับสารเคมีเหล่านี้บริษัทเอกชนได้ซื้อมาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตปูนขาว และได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2544 จนถึงต้นปี 2547 ได้หยุดเผากากสารเคมี เนื่องจากเตาเผาของบริษัทไม่สามารถใช้งานได้ ถึงบรรจุกากสารเคมีเหล่านี้จึงถูกปล่อยปลະละเลยไว้กลางแจ้งและลัดลอบฝังกลบ เป็นเหตุให้เกิดการรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม โดยพบว่าอากาศบริเวณนั้นมีกลิ่นเหม็นรุนแรงและสารเคมีปะปนกันท่วมนองอยู่ทั่วไปบนดินเหนียวสีแดงหนาประมาณ 2-3 เมตร ส่วนด้านล่างของดินเหล่านี้รองรับด้วยหินปูนที่มีรอยแตกหลายทิศทางและกักเก็บน้ำใต้ดินในปริมาณที่สูง ในรัศมี 2 กิโลเมตรจากจุดนี้ มีประชากรอาศัยอยู่ประมาณ 1,360 คน ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ประมาณ 500 เมตร มี 2 โรงเรียนที่มีการใช้น้ำใต้ดิน ทางกรมควบคุมมลพิษร่วมกับกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 ได้เข้ามาดำเนินการตรวจสอบการปนเปื้อนของดินในพื้นที่เกิดเหตุและน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำบาดาลของชาวบ้านบริเวณใกล้เคียง เบื้องต้นพบการ

ปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยหลายชนิดในดินอย่างรุนแรง เช่น Trichloroethylene (TCE) และ Benzene เป็นต้น ต่อมาทางกรมควบคุมมลพิษได้ร่วมกับกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ทำการขุดเจาะ บ่อสังเกตการณ์ใหม่ จำนวน 3 บ่อ ในพื้นที่ที่ขุดสารปนเปื้อน ที่ระดับความลึกประมาณ 27-48 เมตร จากผิวดิน เพื่อติดตามการแพร่กระจายของสารเคมีดังกล่าวในน้ำใต้ดิน จากการตรวจสอบ พบสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ในระดับสูงและเกินมาตรฐาน คุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 ซึ่ง สารเคมีเหล่านี้อาจแพร่กระจายเข้าสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภคของ ประชาชนในพื้นที่เป็นวงกว้างและก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพอนามัยได้ในอนาคต

โดยเหตุนี้ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ตระหนักถึงผลกระทบที่รุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้กับ มนุษย์และสิ่งแวดล้อมรวมถึงแหล่งน้ำใต้ดิน จึงได้เสนอให้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการ จัดการการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณดังกล่าว ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของโครงการ ศึกษาวิจัยครั้งนี้ และเพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมบุคลากร เทคโนโลยี และหาวิธีการแก้ไขปัญหา ที่เหมาะสมให้กับหน่วยงานและบุคลากรที่มีหน้าที่ในการแก้ปัญหา รวมทั้งการวางแผนการจัดการ ปัญหาเหล่านี้ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

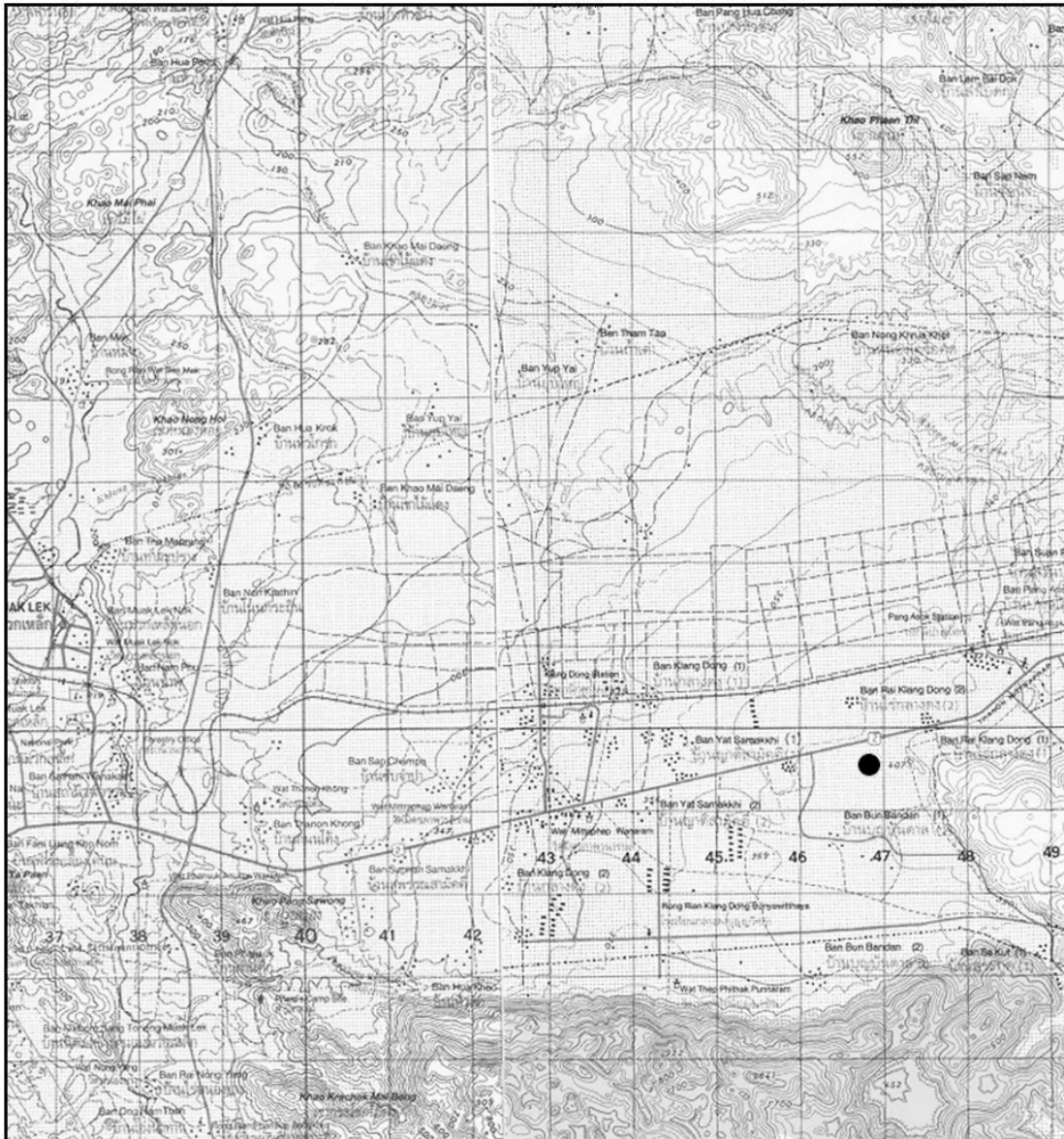
- 1.2.1 ศึกษาและสำรวจลักษณะทางกายภาพ อุทกธรณีวิทยา และสารพิษที่ปนเปื้อนในดิน และน้ำใต้ดิน
- 1.2.2 ประเมินความเสี่ยงและพยากรณ์การแพร่กระจายของสารพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ถึงกากของเสีย และพื้นที่ข้างเคียงได้ โดยจัดทำแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
- 1.2.3 ประเมินความเสียหายที่เกิดต่อทรัพยากรน้ำบาดาล
- 1.2.4 เสนอแนวทางและแผนงานการป้องกันและแก้ไขปัญหาในพื้นที่ต่อไปอย่างเหมาะสม
- 1.2.5 เป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้ เครื่องมือ การพัฒนาบุคลากรภาครัฐที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบ การจัดการ การแก้ไขปัญหา และการป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษสู่ดินและน้ำใต้ดินของประเทศแบบยั่งยืน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

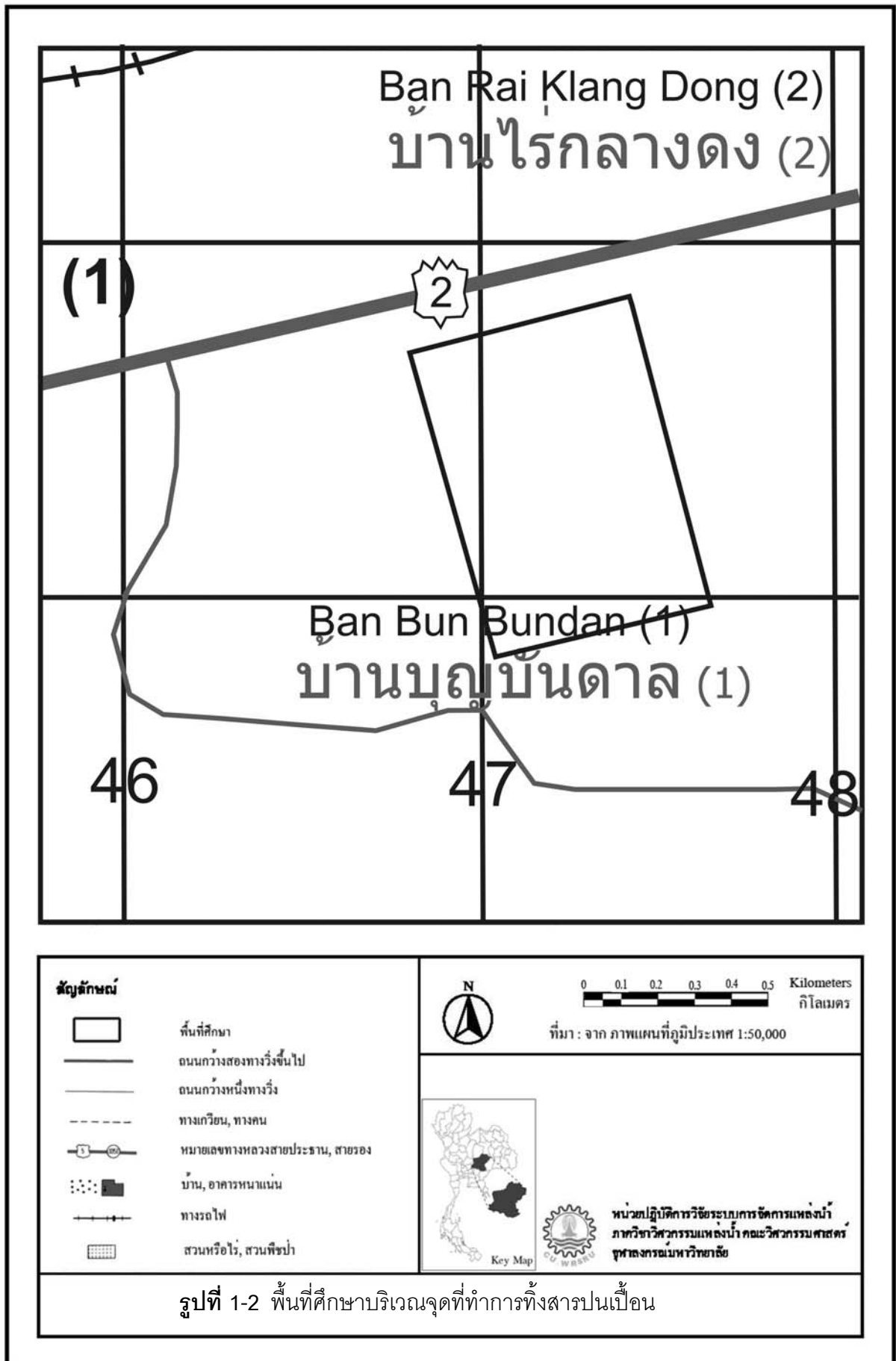
เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการปนเปื้อนของสารเคมี โดยเฉพาะสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวในระยะยาว การศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยซับตะเคียน เป็นพื้นที่ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่โดยรอบพื้นที่ปนเปื้อนสารพิษ ครอบคลุมพื้นที่ 165 ตร.กม. บริเวณตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง และบางส่วนของตำบลพญาเย็น อำเภอมหากเหล็ก จังหวัดนครราชสีมา **ดังรูปที่ 1-1**

ระดับที่ 2 พื้นที่บริเวณจุดที่ทำการทิ้งสารเคมีปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง บริเวณหมู่บ้านปางอโศก ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน **ดังรูปที่ 1-2**



รูปที่ 1-1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาบริเวณ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา





คณะที่ปรึกษาได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อหา รอยแตก โพรงในหินปูน และรอยแตกในหินปูนที่มีความต่อเนื่อง โดยการเจาะ สํารวจจำนวน 10 หลุมเจาะ และจัดทำเป็นแผนที่ภาพตัดขวางของพื้นที่ให้ชัดเจน ขึ้น
- 1.3.2 ศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ และบริเวณใกล้เคียงทั้งเชิงปริมาณ คุณภาพ การเพิ่มเติมน้ำ การสูญเสีย น้ำ สมดุลน้ำใต้ดิน และแบบจำลองเชิง มโนทัศน์ของลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่
- 1.3.3 สร้างระบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบระดับและคุณภาพน้ำใต้ดินใน เขตพื้นที่ศึกษา และเพื่อวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนอันตรายในน้ำใต้ดิน
- 1.3.4 ศึกษาและประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ควบคุมการไหลของน้ำใต้ดิน และ สารปนเปื้อนทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม โดยใช้เทคโนโลยีที่มี ประสิทธิภาพ
- 1.3.5 ศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำใต้ดิน การจำลองการไหลและ การแพร่กระจายสารพิษในน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
- 1.3.6 ประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อหา วิธีที่เหมาะสมในการจัดการสารพิษจากน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองดังกล่าว
- 1.3.7 ศึกษาวิธีการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน และความเป็นไปได้ในการใช้จุ ลินทรีย์ธรรมชาติเพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษาโดยการทดลอง ในห้องปฏิบัติการ
- 1.3.8 กำหนดแนวทางและแผนการจัดการสารปนเปื้อนในเชิงการปฏิบัติในพื้นที่ต่อไป
- 1.3.9 ประเมินค่าความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับทรัพยากรของชาติ และค่าความเสียหาย เบื้องต้น

## 1.4 แนวทางการศึกษา

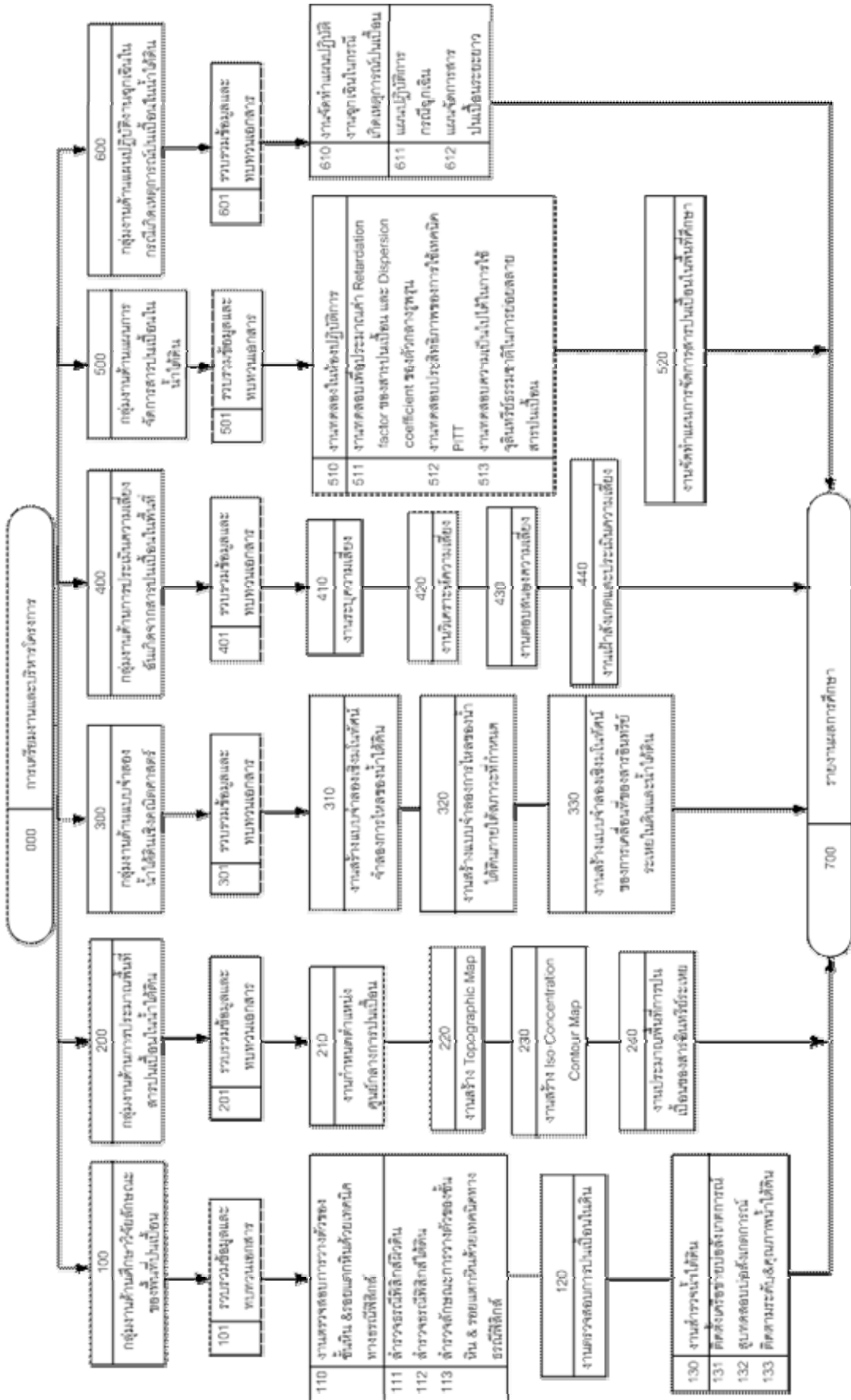
คณะที่ปรึกษาได้จัดลำดับขั้นตอน และแผนการทำงานออกเป็น 6 กลุ่มงาน เพื่อให้สอดคล้องกับ TOR และเพื่อให้งานมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยในแต่ละกลุ่มงานจะประกอบด้วยงานย่อย ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 1-3

1. กลุ่มงานด้านศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน
2. กลุ่มงานด้านการประมาณพื้นที่ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
3. กลุ่มงานด้านแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
4. กลุ่มงานด้านการประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนพื้นที่
5. กลุ่มงานด้านแผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
6. กลุ่มงานด้านแผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินโครงการสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1.5.1 แผนที่ภาพถ่ายทางแสดงลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่
- 1.5.2 บ่อสังเกตการณ์ทั้งระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน
- 1.5.3 ลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำใต้ดิน
- 1.5.4 ผลประเมินความเสียหายที่จะเกิดต่อทรัพยากรน้ำบาดาล และประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง
- 1.5.5 แนวทางและแผนการจัดการสารปนเปื้อนระยะยาวในเชิงปฏิบัติ
- 1.5.6 แบบจำลอง MODFLOW และ UTCHEM



รูปที่ 1-3 แนวทางการดำเนินงาน

## 1.6 เนื้อหารายงานฉบับสมบูรณ์

การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมงานวิจัย ผลการดำเนินการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมดของโครงการ และข้อสรุปโครงการ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้

**บทที่ 1 บทนำ** ประกอบด้วยความเป็นมา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา แนวทางการดำเนินงานโดยรวม ตลอดจนผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานโครงการ

**บทที่ 2 สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ** ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลทางด้าน ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสังฐาน คุณภาพน้ำ สภาพภูมิอากาศ สภาพอุทกวิทยา สภาพธรณีวิทยา สภาพอุทกธรณีวิทยา สภาพการใช้ที่ดิน ประชากรและลักษณะเศรษฐกิจและสังคม และสภาพปัญหาในพื้นที่โครงการ

**บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน** ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลและ ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหินและศิลากรวยแตก ของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ การตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน การสำรวจน้ำ ใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วย การเจาะและติดตั้งเครื่องข่ายบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 11 บ่อ การสุบ ทดสอบบ่อในพื้นที่ปนเปื้อน จำนวน 7 บ่อ และวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบ จำนวน 19 บ่อ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดินเบื้องต้น 3 ครั้งในรอบ 1 ปี การวิเคราะห์ข้อมูล อุทกธรณีวิทยา โดยจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาและภาพตัดขวาง และแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ซึ่งได้แสดงผลการศึกษาไว้ในบทที่ 5 และการตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจำนวน 2 ครั้ง

**บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน** ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูล และทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การสร้าง Topographic map เพื่อประมาณทิศทางการไหล ของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา การสร้าง Iso-concentration contour map ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน และการ ประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย

**บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์** ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์จำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะที่กำหนด เพื่อทำนายการเคลื่อนที่และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลของสารปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน

**บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่** ประกอบด้วยการรวบรวมแนวความคิดของกระบวนการจัดการความเสี่ยงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน อันได้แก่ การระบุความเสี่ยงและการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงเบื้องต้น การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในหน่วยของเงินโดยใช้แผนที่ความเสี่ยง และการตอบสนองความเสี่ยง

**บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน** ประกอบไปด้วยการรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การทดสอบเพื่อประมาณค่า Retardation factor ของสารปนเปื้อน และ Dispersion coefficient ของตัวกลางรูพรุน การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค PITT ในห้องปฏิบัติการ การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในดินเพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนในห้องปฏิบัติการ และการจัดทำแผนการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

**บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน** ประกอบไปด้วยการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนกฎหมายและข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดทำแผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

**บทที่ 9 บทสรุป** ประกอบด้วยบทสรุปของโครงการในแต่ละกลุ่มงานตามข้อเสนอของ TOR

บทที่ 2

สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ

## บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ

### 2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ

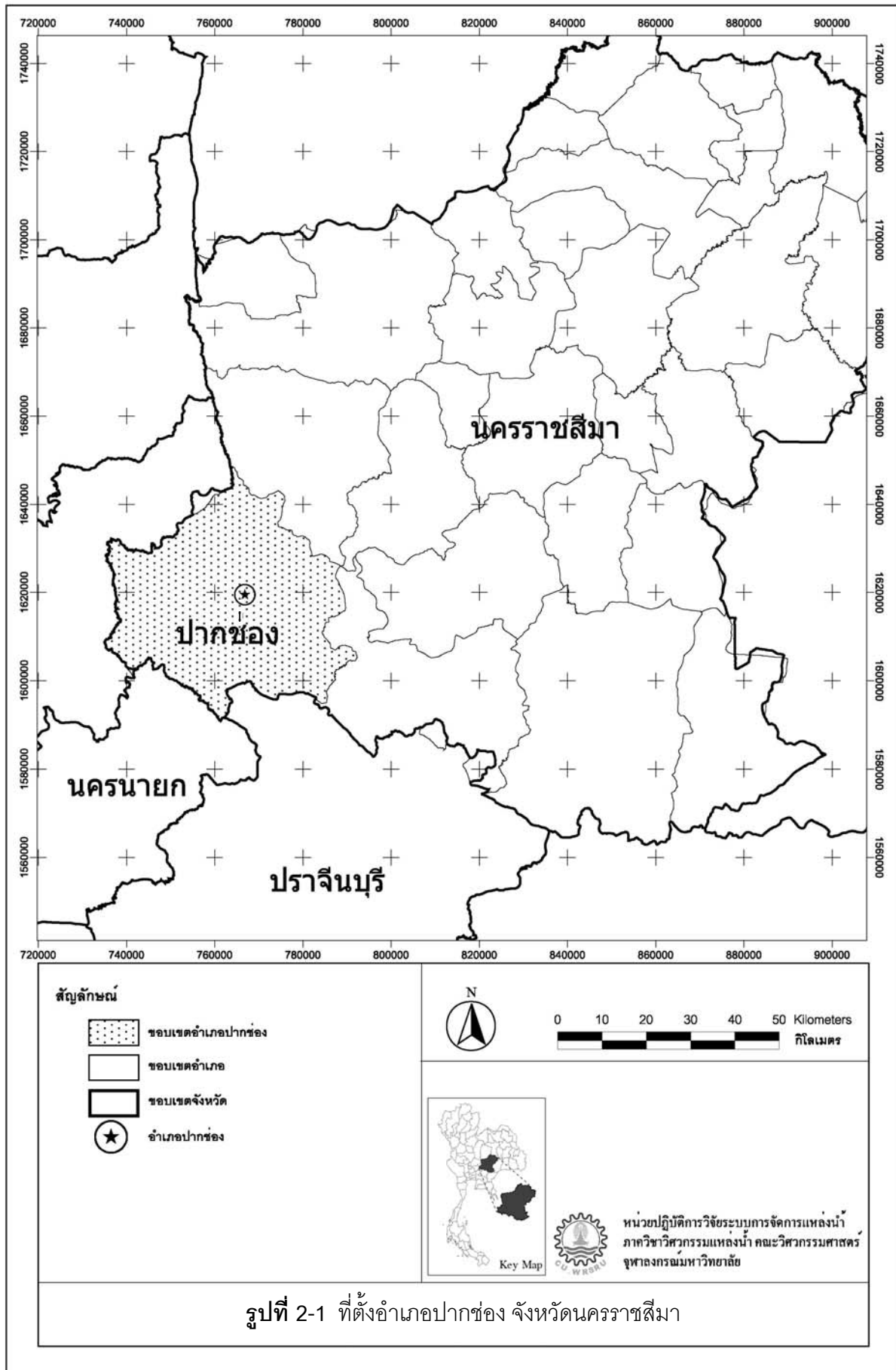
#### 2.1.1 สภาพภูมิประเทศและภูมิสัณฐาน

อำเภอปากช่อง เป็นส่วนหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ใน จังหวัดนครราชสีมา **ผังรูปที่ 2-1** มีเนื้อที่ประมาณ 1,883.98 ตารางกิโลเมตร หรือ 1,177,487.50 ไร่ ระยะทางจากเหนือสุด-ใต้สุดประมาณ 58 กม. และระยะทางจากด้านตะวันตก-ตะวันออกประมาณ 51 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

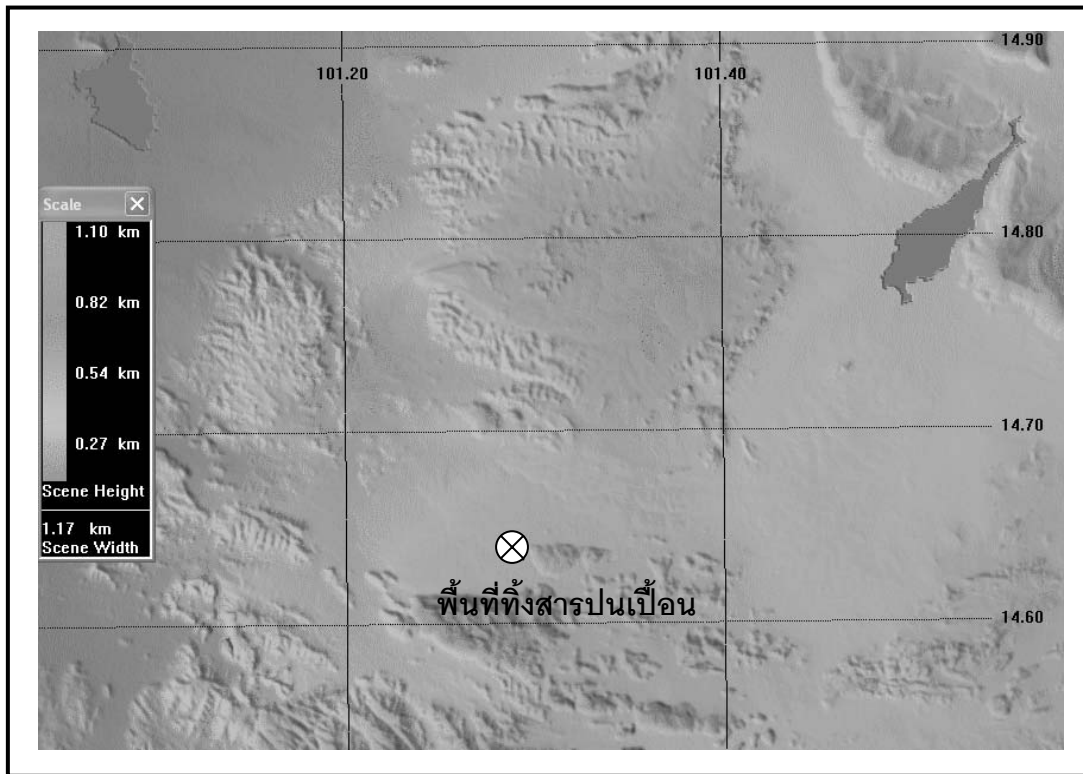
- ด้านเหนือ ติดต่อกับอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมาและ จังหวัดสระบุรี
- ด้านตะวันออก ติดต่อกับอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา
- ด้านตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดสระบุรี
- ด้านทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดนครนายกและจังหวัดปราจีนบุรี

จากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ของ NASA พบว่าพื้นที่บริเวณจุดตั้งขั้วขั้วปนเปื้อนมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 380 เมตร โดยมีภูเขาสูงตั้งอยู่บริเวณด้านทิศเหนือและใต้ **ผังรูปที่ 2-2** โดยบริเวณด้านทิศตะวันตกจะเป็นพื้นที่ราบของจังหวัดสระบุรีและทิศตะวันออกเป็นพื้นที่ราบบนภูเขาในบริเวณลำน้ำลำตะคอง

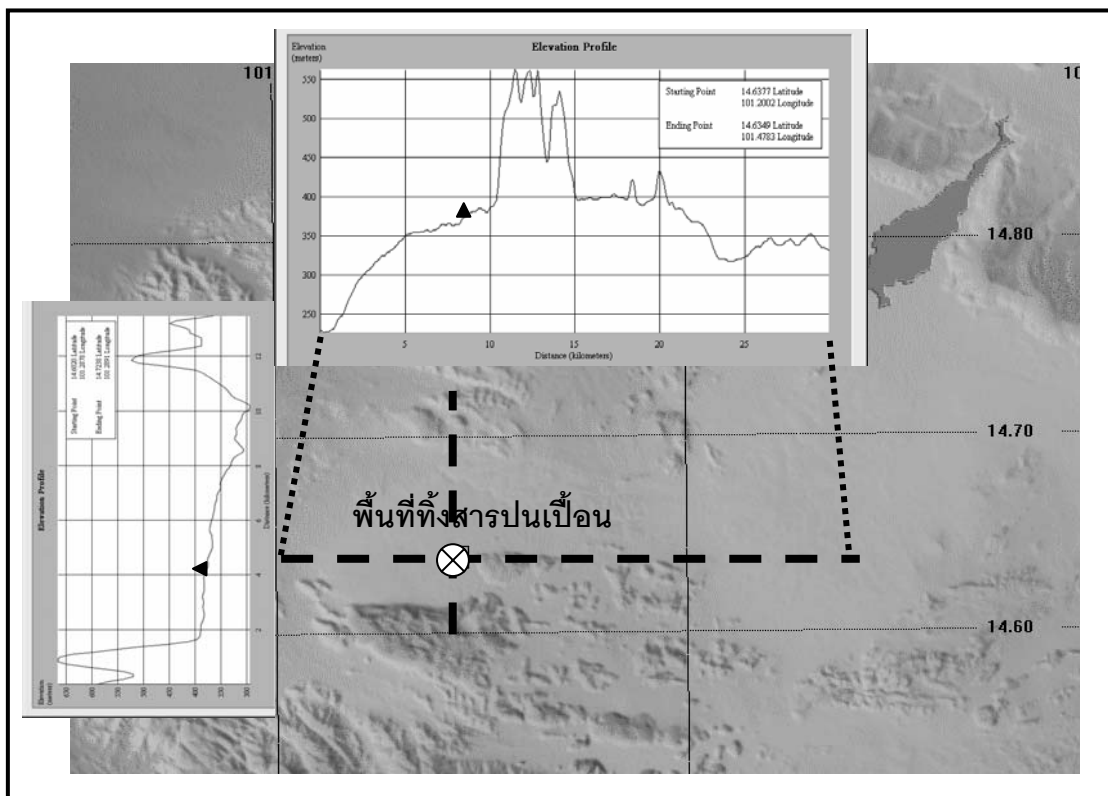
เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางภูมิประเทศตามแนวเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก ใน **รูปที่ 2-3** พบว่าพื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่บริเวณที่เป็นเนินเขาที่มีความสูงอยู่ในช่วง 250-400 เมตรจากระดับน้ำทะเล







รูปที่ 2-2 ภูมิประเทศโดยรอบพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2-3 ภาพตัดขวางแสดงระดับภูมิประเทศตามแนวเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก

## 2.1.2 คุณภาพน้ำ

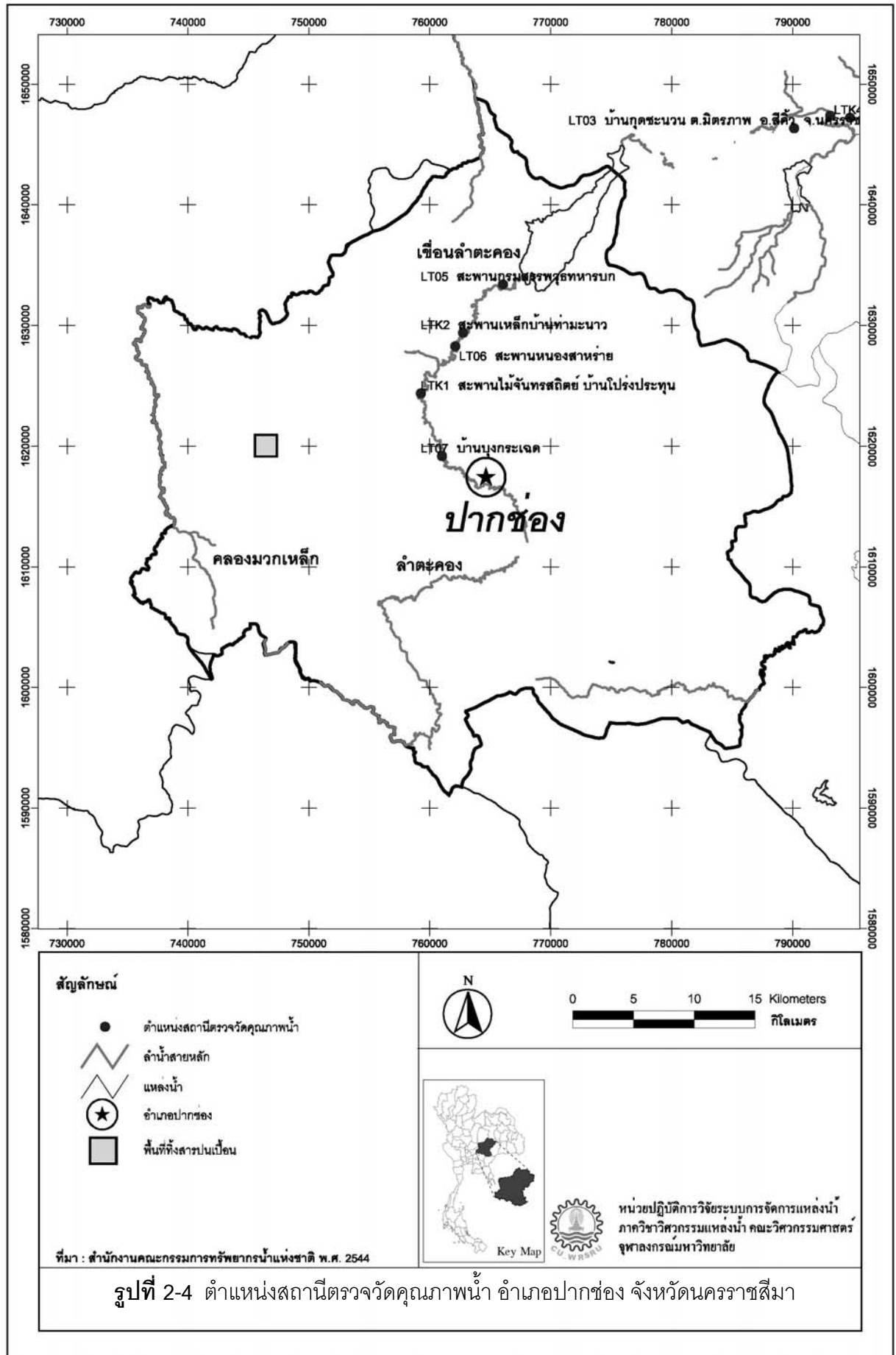
อำเภอปากช่องมีแม่น้ำสายหลักไหลผ่านอำเภอ คือ คลองมวกเหล็กที่ไหลลงแม่น้ำป่าสัก ในด้านทิศตะวันตก และคลองลำตะคองที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำลำตะคองในด้านทิศตะวันตก โดยในช่วงที่ลำตะคองไหลผ่านอำเภอปากช่อง กรมควบคุมมลพิษและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 ได้ทำการสำรวจข้อมูลคุณภาพน้ำโดยมีสถานีเก็บตัวอย่างน้ำและรายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดิน รวม 5 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ แสดงในตารางที่ 2-1 ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

สถานี	วันที่	อุณหภูมิ (C <sup>0</sup> )	pH	SS (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	T_COL (MPN/100 ml)	F_COL (MPN/100 ml)
LTK1 สะพานไม้จันทร์สถิตย์ บ้านโป่งประทุน	26/3/45	33.0	8.0	6	0.790	4.500	1.200	5,000	700
LTK2 สะพานเหล็กบ้านท่า มะนาว	26/3/45	33.7	7.8	17	1.200	5.200	2.200	5,000	1,300
LT05 สะพานกรมสรรพคุณ ทหารบก	20/11/44	24.0	7.9	5	3.510	7.400	0.000	5,000	3,000
LT06 สะพานหนองสาหร่าย	20/11/44	24.0	7.2	6	2.880	6.600	0.000	90,000	17,000
LT07 บ้านบึงกระเจด	20/11/44	24.0	7.7	3	2.280	7.400	0.000	1,300	170

ที่มา: โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11, 2545 และ

โครงการติดตามและตรวจสอบแหล่งน้ำ แม่น้ำชี แม่น้ำมูล และลำตะคอง กรมควบคุมมลพิษ, 2544



### 2.1.3 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาลักษณะคล้ายคลึงกับพื้นที่ส่วนอื่นๆของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย คืออยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จะพัดพาเอาความชื้นจากอ่าวไทยเข้ามาในพื้นที่ทำให้มีฝนตก โดยเริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม สำหรับช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีสภาพอากาศแห้งแล้งและหนาวเย็น โดยเริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ในช่วงรอยต่อระหว่างมรสุมทั้งสองคือ ในระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่มีสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ทิศทางของลมไม่แน่นอน ช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่อาจจะมีพายุฝนฟ้าคะนองเป็นบางครั้ง

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีทั้งหมด 38 สถานี โดยใช้ค่าเฉลี่ยระยะยาว 30 ปี (พ.ศ. 2517 – พ.ศ. 2546) ได้นำมาแสดงผลดังนี้

- อุณหภูมิ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 29.8 องศาเซลเซียสในเดือนเมษายน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 23.4 องศาเซลเซียสในเดือนธันวาคม แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-2
- ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 81.7 เปอร์เซ็นต์ในเดือนเดือนกันยายน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 64.2 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-2
- ค่าการระเหยของน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.9 มิลลิเมตร มีค่าการระเหยของน้ำสูงสุด 6.2 มิลลิเมตรในเดือนเมษายน และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 4.2 มิลลิเมตรในช่วงเดือนตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคมแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-2

**ตารางที่ 2-2** ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าการระเหยของน้ำ ระหว่างปี

พ.ศ.2517 – พ.ศ.2546

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย 2 สถานี	ความชื้นสัมพัทธ์ 2 สถานี	ค่าการระเหยของน้ำ 2 สถานี
มกราคม	24.3	66.0	4.3
กุมภาพันธ์	26.5	64.2	4.9
มีนาคม	28.6	64.8	5.8
เมษายน	29.8	65.9	6.2
พฤษภาคม	28.9	73.7	5.6
มิถุนายน	28.8	73.8	5.5
กรกฎาคม	28.4	74.4	5.3
สิงหาคม	27.9	76.8	4.8
กันยายน	27.2	81.7	4.3
ตุลาคม	26.5	79.0	4.2
พฤศจิกายน	25.0	74.0	4.2
ธันวาคม	23.4	69.4	4.2
เฉลี่ย	27.1	72.0	4.9

ที่มา: ข้อมูลสถิติปริมาณฝน และลักษณะอากาศ ฝ่ายข้อมูล กรมอุตุนิยมวิทยา ปี พ.ศ.2546

## 2.1.4 สภาพอุทกวิทยา

### 1) พื้นที่รับน้ำผิวดิน

อำเภอปากช่อง ประกอบด้วยพื้นที่ 4 กลุ่มน้ำ คือ กลุ่มน้ำมูล กลุ่มน้ำป่าสัก กลุ่มน้ำบางปะกงและกลุ่มน้ำปราจีน ดังแสดงในรูปที่ 2-5

แอ่งรับน้ำย่อยรอบพื้นที่ศึกษานั้น ได้พิจารณาระดับความสูงภูมิประเทศจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ของ NASA จึงสามารถกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำของพื้นที่ศึกษาได้ ซึ่งประกอบด้วย แอ่งคลองม่วงและแอ่งคลองซับตะเคียน ซึ่งแอ่งรับน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษานี้มีขนาดดังนี้

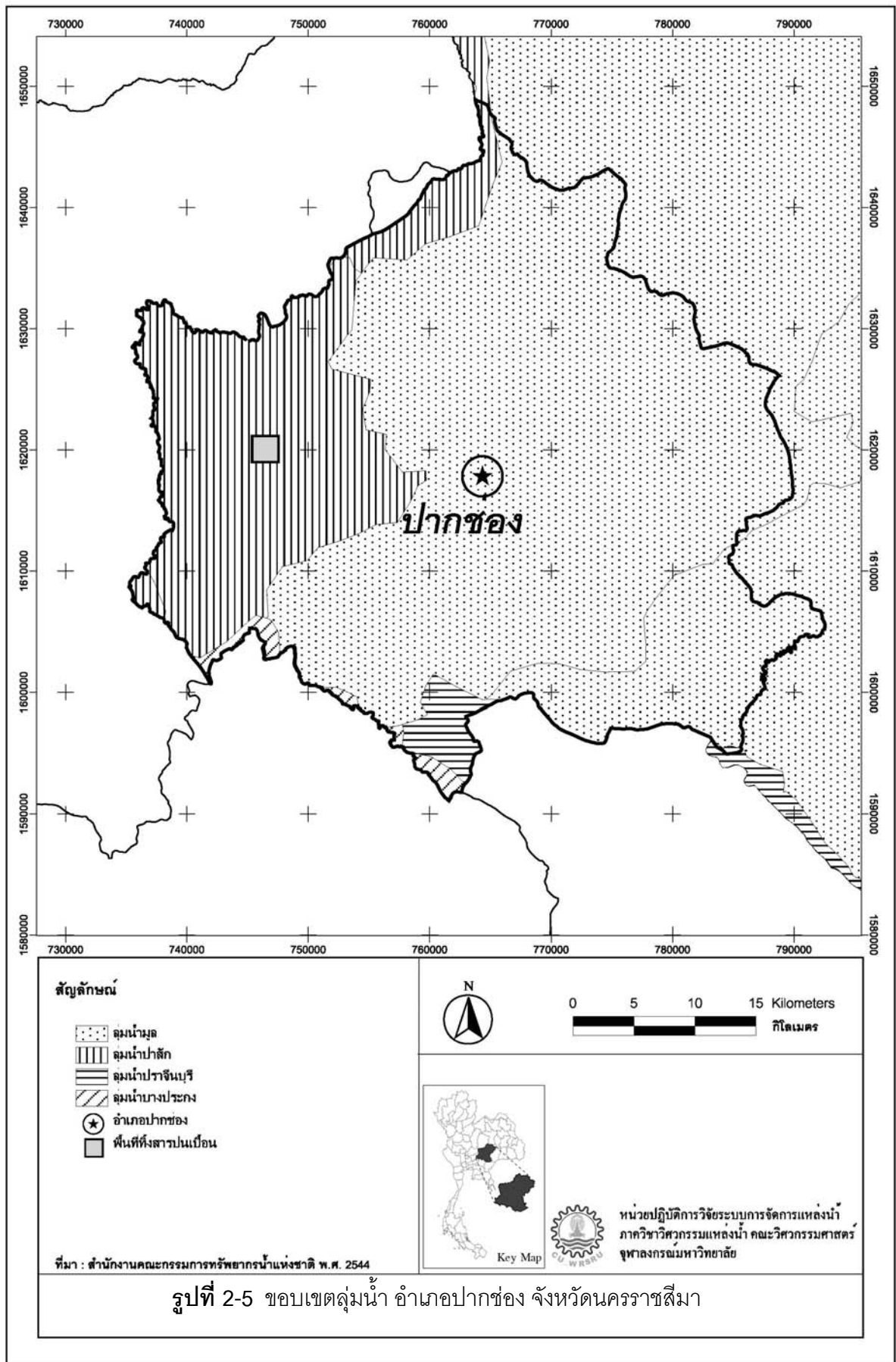
พื้นที่รับน้ำคลองซับตะเคียน      ขนาด    77      ตร.กม.

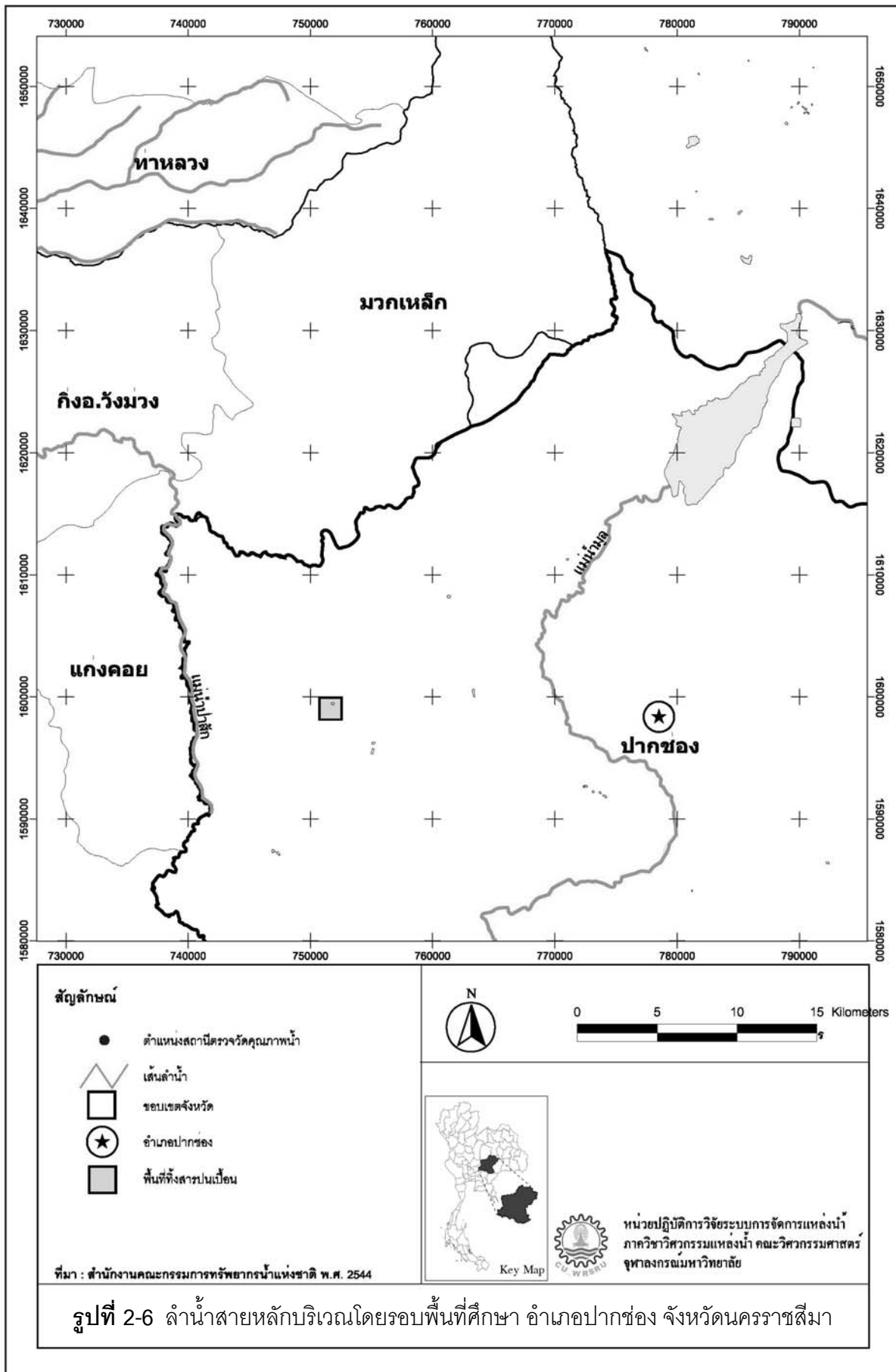
พื้นที่รับน้ำคลองม่วง              ขนาด    103      ตร.กม.

โดยลำน้ำถาวรที่มีน้ำไหลตลอดปีที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา คือ คลองม่วงเหล็กที่ไหลลงสู่แม่น้ำป่าสักในด้านทิศตะวันตกของแม่น้ำ บริเวณพื้นที่ที่ทุ่งสารพินัน้อยู่ในส่วนของแอ่งรับน้ำย่อยคลองซับตะเคียน กล่าวคือ น้ำในบริเวณพื้นที่ที่ทุ่งสารพินันจะระบายออกจากพื้นที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือผ่านทางคลองซับตะเคียน สู่อ่างเก็บน้ำและแม่น้ำป่าสัก ดังรูปที่ 2-6

### 2) ปริมาณน้ำฝน

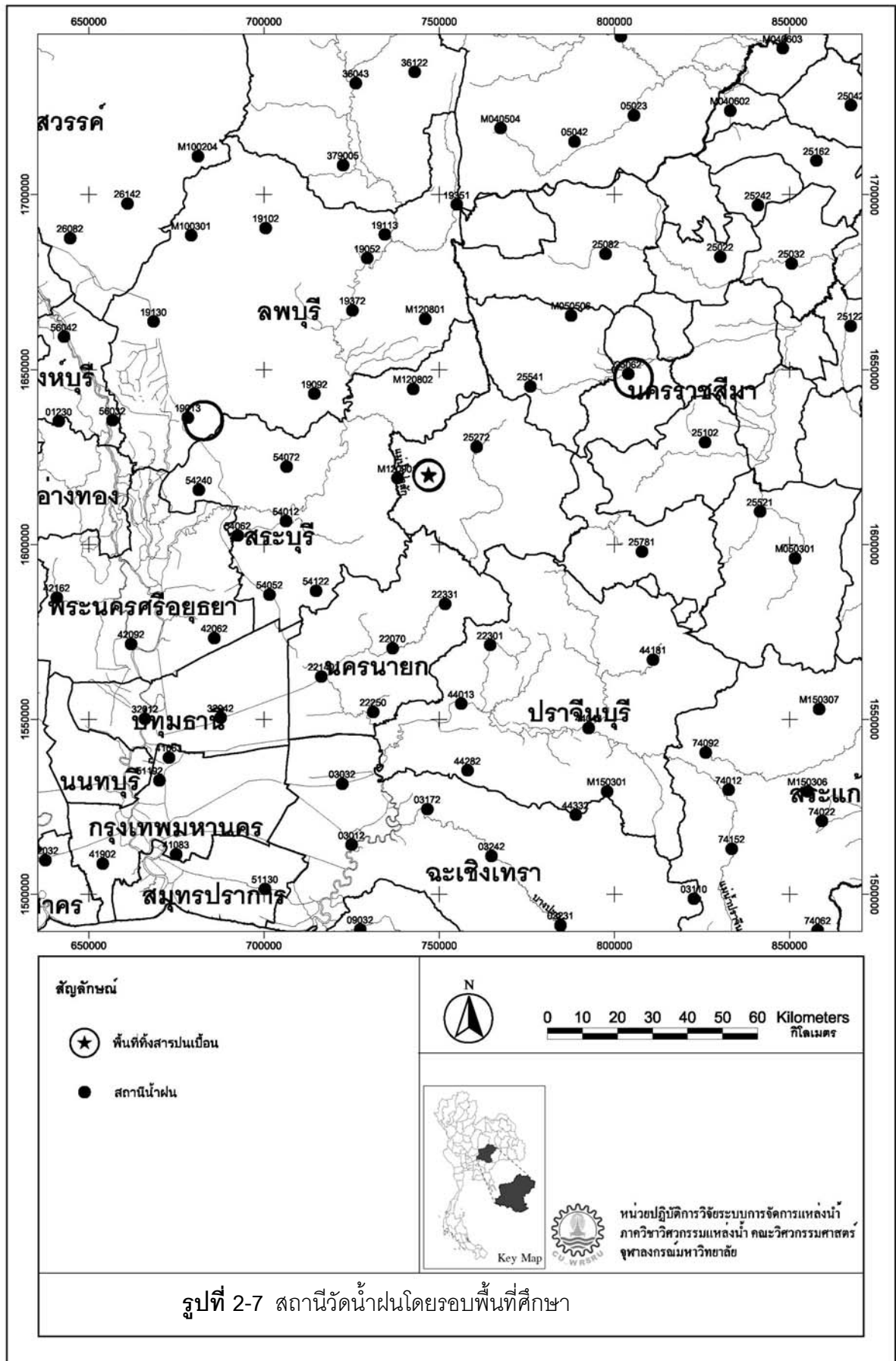
เมื่อพิจารณาปริมาณฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน ในอำเภอเมืองของจังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นสถานีวัดข้างเคียงพื้นที่ศึกษาที่มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 30 ปี ดังแสดงที่ตั้งสถานีในรูปที่ 2-7 พบว่ามีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2514-2543 ของจังหวัดลพบุรีมีค่าสูงกว่าจังหวัดนครราชสีมา กล่าวคือจังหวัดลพบุรีมีค่าฝนเฉลี่ย 1,124 มม./ปี และจังหวัดนครราชสีมา 1,035 มม./ปี โดยมีปริมาณฝนตกมากที่สุดอยู่ในเดือนกันยายน ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2-8

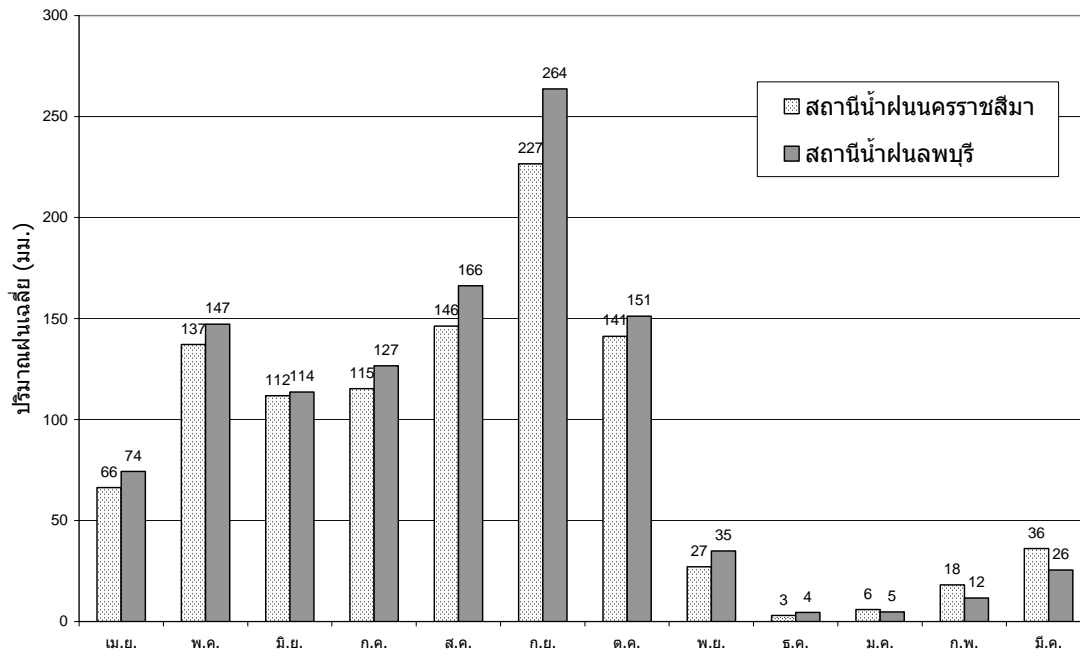




รูปที่ 2-6 ลำน้ำสายหลักบริเวณโดยรอบพื้นที่ศึกษา อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา







ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546

รูปที่ 2-8 ฝนเฉลี่ยรายเดือน 30 ปี (2514-2543) ของสถานีจังหวัดนครราชสีมาและลพบุรี

### 3) ทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน

ทิศทางการไหลของน้ำผิวดินเหล่านี้เกิดจากฝนที่ตกในพื้นที่ศึกษา แล้วกลายเป็นน้ำผิวดินซึ่งไหลลงจากภูเขาไปสู่ร่องน้ำชั่วคราว จากนั้นน้ำเหล่านี้จึงไหลลงสู่ลำคลองและแม่น้ำต่อไป จากพื้นที่รับน้ำย่อยและแนวลำน้ำในพื้นที่ศึกษา พบว่าการไหลของน้ำผิวดินจากบริเวณพื้นที่ทิ้งขยะปนเปื้อนนั้นไหลไปตามพื้นที่รับน้ำย่อยของคลองซับตะเคียน กล่าวคือ ทิศทางการไหลของน้ำผิวดินนั้นมี เป็นไปตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งไหลลงสู่คลองม่วงเหล็ก แม่น้ำป่าสักในลำดับต่อไป

### 4) ปริมาณน้ำท่า

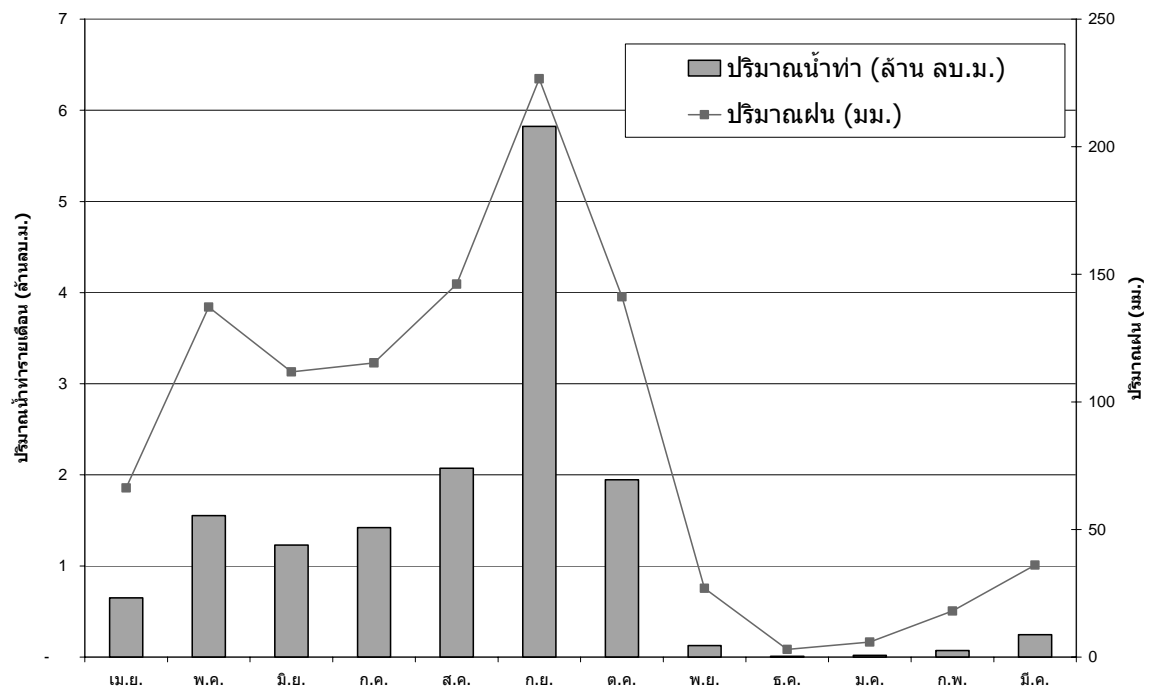
ในการพิจารณาน้ำท่าที่ไหลผ่านพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนนั้น ได้พิจารณาจนถึงจุดออกของพื้นที่รับน้ำของคลองซับตะเคียน ซึ่งเป็นพื้นที่ในการพิจารณาการไหลของน้ำผิวดินในที่ไหลผ่านพื้นที่ศึกษา การคำนวณน้ำท่านั้น ได้พิจารณาปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของน้ำฝนและน้ำท่า จากสมการ

$$Q = CIA$$

โดย Q เป็นอัตราการไหลของน้ำท่า, C เป็นค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การไหลน้ำท่าของพื้นที่ศึกษา, I เป็นความเข้มของฝน, A เป็นขนาดของพื้นที่รับน้ำ ซึ่งได้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การไหลน้ำท่าจากการทบทวนค่าสัมประสิทธิ์การไหลรายเดือนเฉลี่ย (กรมชลประทาน,2547) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในช่วง 0.04-0.33 โดยแปรผันตามปริมาณฝนที่ตก และจากความสัมพันธ์นี้จึงสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำท่าได้ดังตารางที่ 2-3 และรูปที่ 2-9

ตารางที่ 2-3 ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ของพื้นที่รับน้ำคลองขับตะเคียน

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ตลอดปี
ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม./เดือน)	0.26	0.53	0.43	0.44	0.56	0.87	0.54	0.10	0.01	0.02	0.07	0.14	3.98



รูปที่ 2-9 ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้เทียบกับปริมาณฝนที่ตก

## 2.1.5 สภาพธรณีวิทยา

### 1) สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน

#### 1.1) หมวดหินทางธรณีวิทยา

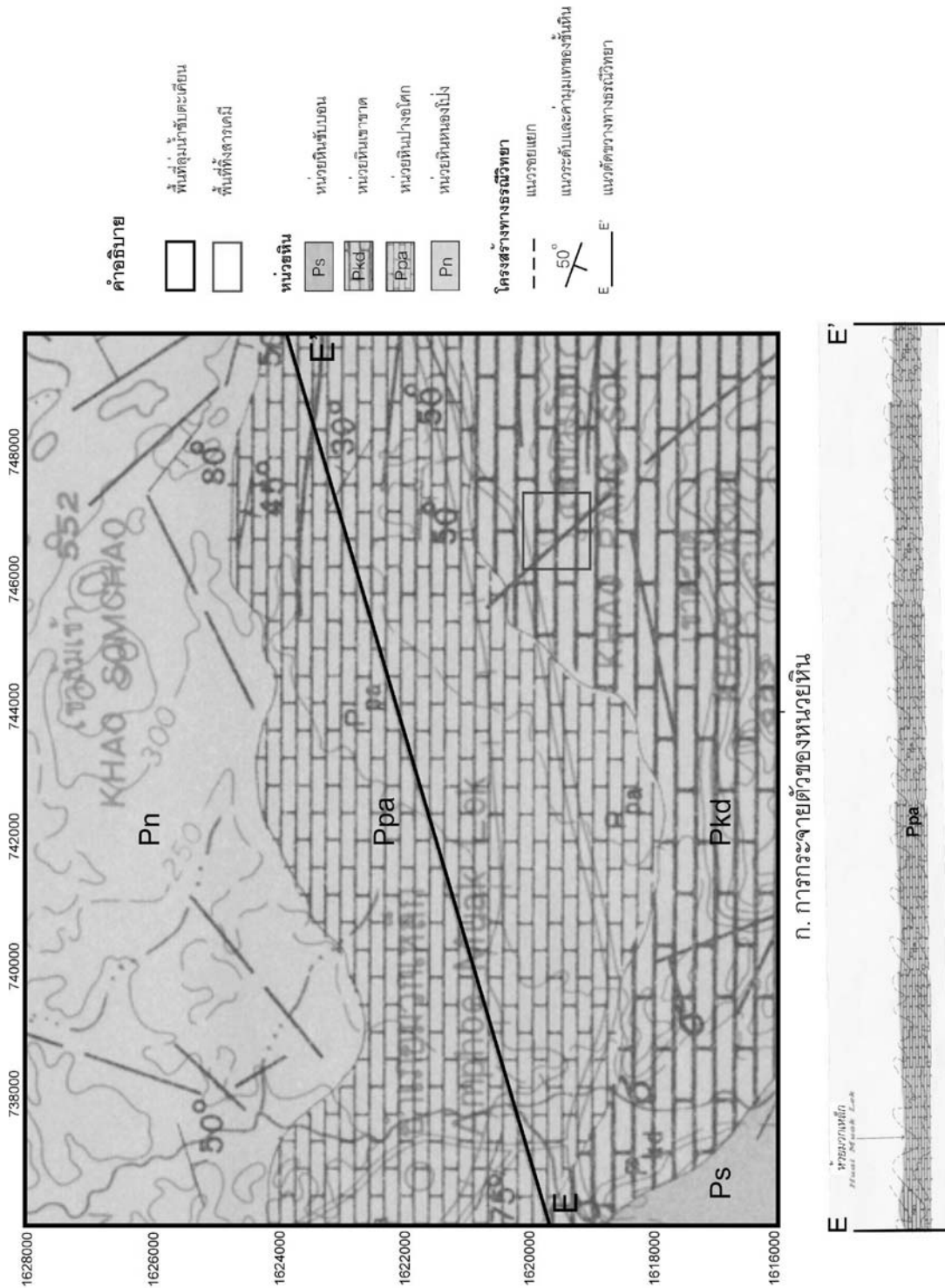
หมวดหินทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนสรุปได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยมาตราส่วน 1:250,000 ราวาง ND47-8 (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) ดังแสดงในรูปที่ 2-10 ร่วมกับการตรวจสอบข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม (field check) เพิ่มเติม ระหว่างวันที่ 11-14 ตุลาคม 2549 โดยมีจุดสำรวจจำนวน 21 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 2-11 และภาคผนวก จ สรุปได้ดังนี้

หมวดหินทางธรณีวิทยา ประกอบด้วย หินชั้นและหินแปรของกลุ่มหินราชบุรี มีอายุระหว่างช่วงกลางถึงช่วงปลายยุคเพอร์เมียน (ประมาณ 245 ถึง 266 ล้านปี) ประกอบด้วย หมวดหินซับบอน (Ps) หมวดหินเขาขาด (Pkd) หมวดหินปางอโศก (Ppa) และหมวดหินหนองไผ่ (Pn) ซึ่งเรียงลำดับอายุจากน้อย ไปหามาก ดังแสดงในรูปที่ 2-11 และรูปที่ 2-12 ดังนี้

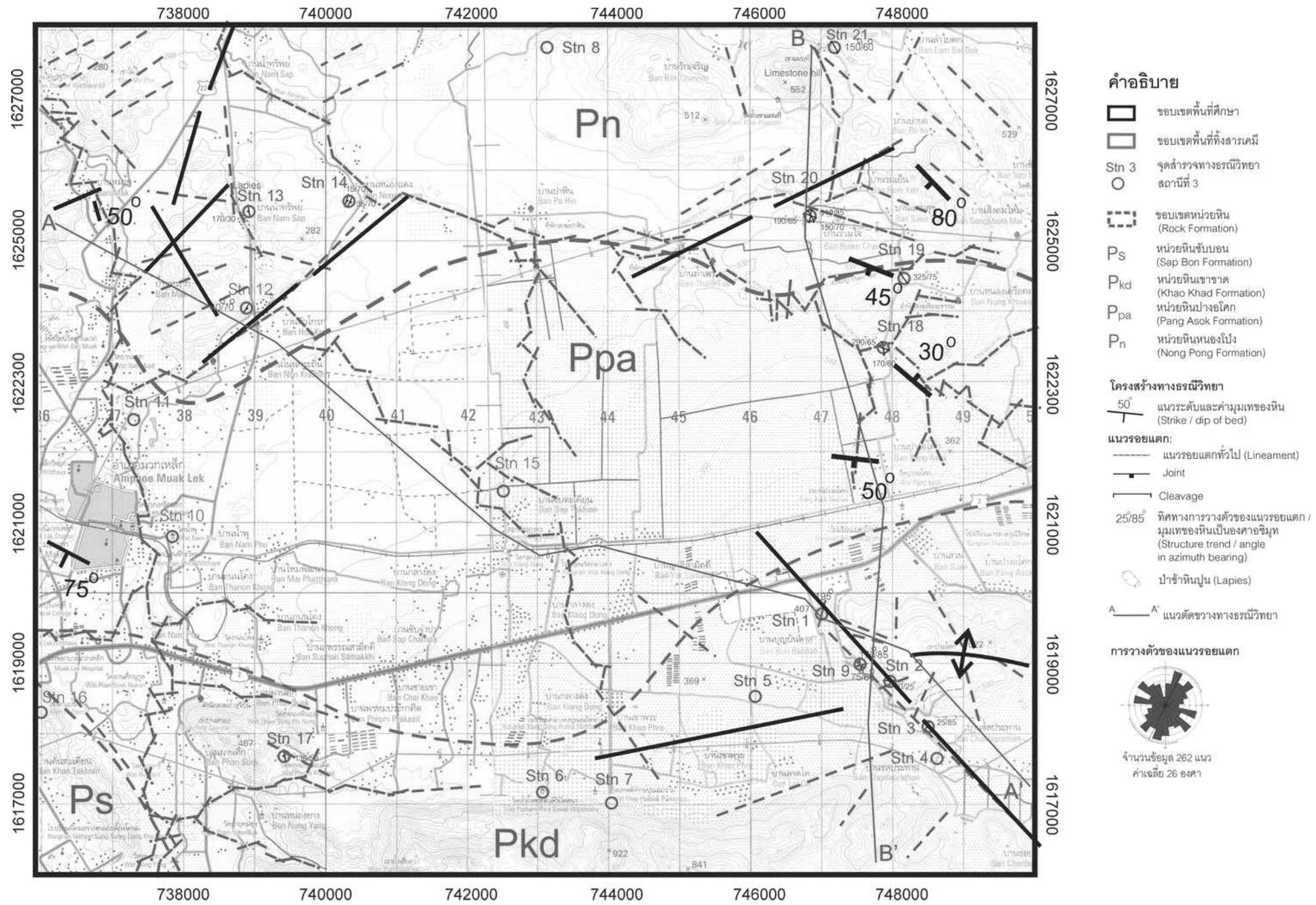
**หมวดหินซับบอน (Ps)** ประกอบด้วย หินทราย หินชีสต์ หินดินดาน หินดินดานปนเชิร์ต และหินเชิร์ตสีเทา น้ำตาลอ่อนชั้นบางๆ ชั้นสลับด้วยหินปูนสีเทา บางแห่งเป็น หินฟิลไลต์ และหินชีสต์พบในพื้นที่บางส่วนด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ บริเวณบ้านคันตะเคียน และ นิคมสร้างตนเองมวกเหล็ก

**หมวดหินเขาขาด (Pkd)** เป็นหินปูนสีดำ เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน บางส่วน เป็นหินปูนตผลึกใหม่ และหินปูนเนื้อดินกับหินโดโลไมต์ มักมีหินเชิร์ตที่เป็นกระเปาะและเป็นชั้น แทรก บางส่วนคั่นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟบ้างเล็กน้อย บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลก์ ซิลิเกตส่วนมากมีซากฟอสซิล ปะการัง หอยตะเกียง และสาหร่าย พบบริเวณ ตอนล่างของพื้นที่ศึกษา ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินสีแดง (Terra Rosa) ส่วนพื้นที่ภูเขา หินปูนในบางบริเวณพบหน้าผาหินปูนที่มีรอยแตกจำนวนมาก ส่วนบริเวณพื้นที่ราบพบป่าช้า หินปูน (lapies) ดังแสดงในรูปที่ 2-11 จุดสำรวจสถานีที่ 1

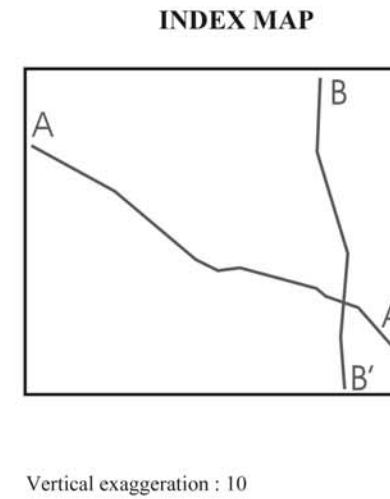
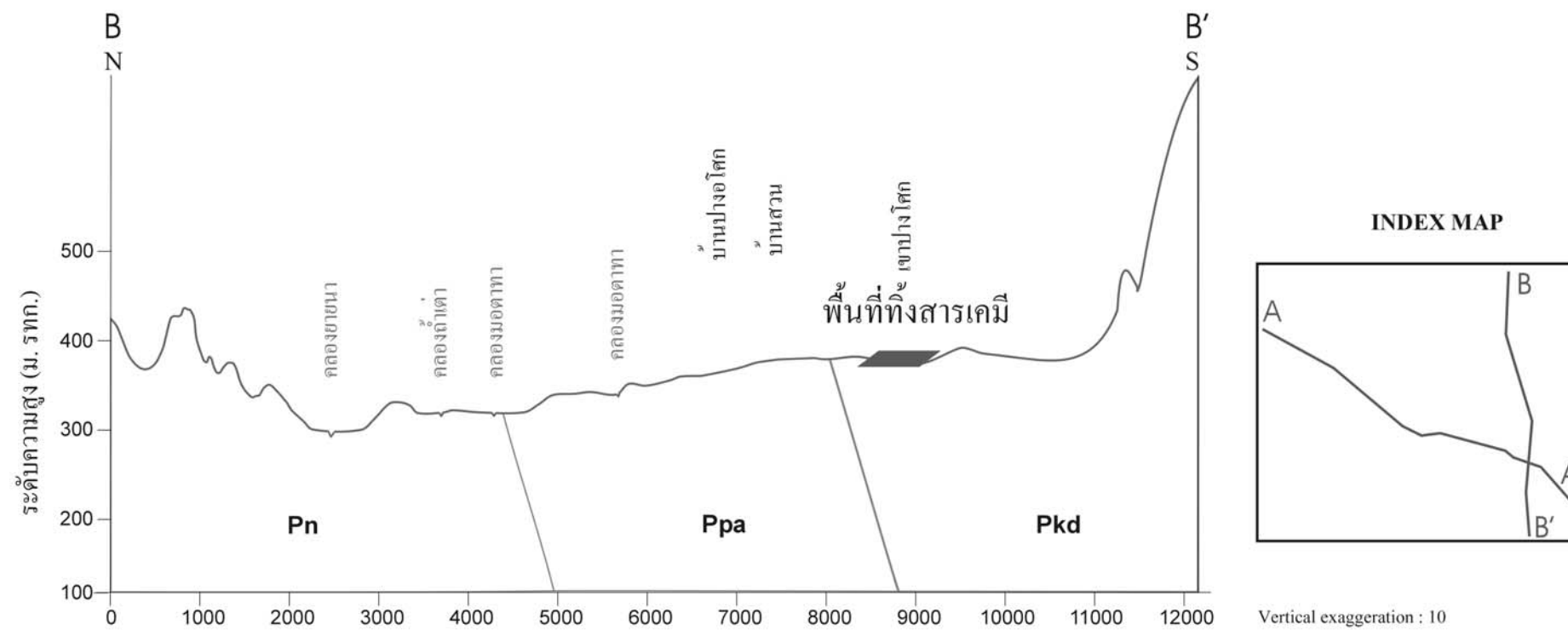
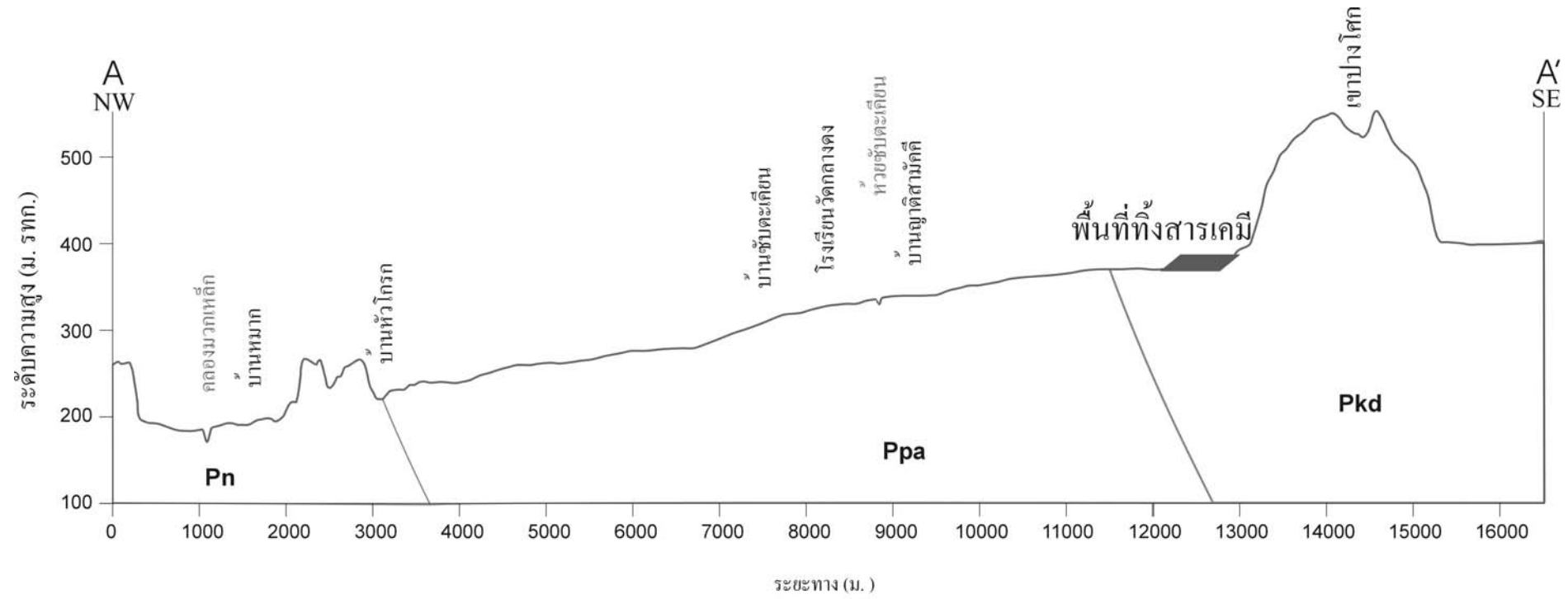
**หมวดหินปางอโศก (Ppa)** เป็นหินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้น บาง สีเทา เขียวซีม้ำ น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดง มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะ บางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์ พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา พื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่ปกคลุม ด้วยดิน สีดำ



รูปที่ 2-10 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ตัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2528)



รูปที่ 2-11 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน



Vertical exaggeration : 10

**คำอธิบาย**

**หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation, Pkd)**  
หินปูนสีน้ำตาล เข้มจนถึงเทาอ่อน แล หินปูนเนื้อดิน กับหิน โคล โไล ไมต์ มีหินเชิร์ตแทรกเป็นกระเปาะหรือ ชั้นบางส่วนคั่นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และ หินภูเขาไฟ บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลก-ซิลิเกต

**หมวดหินปางโต (Pang Asok Formation, Ppa)**  
หินดินดาน หินดินดานกึ่งชนวน และหินชนวน สีเทา เขียวซีมาน้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงเรื่อ มีชั้นหินทราย และหินปูนแทรกเป็นกระเปาะบาง บางแห่งเป็น หินฮอเรนเฟลส

**หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation, Pn)**  
หินปูนสีน้ำตาล มีลายเป็นแถบหยาบและฉีกกับแทรกด้วย ชั้นหินเชิร์ต หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์ สีเขียวซีมา เทาแกมน้ำตาล บางแห่งเป็นหินภูเขาไฟ หินฮอเรนเฟลส หินชนวนและหินควอร์ตไซต์

รูปที่ 2-12 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน แนว A-A' และ B-B'

**หมวดหินหนองโป่ง (Pn)** เป็นหินปูนสีดำถึงเทาดำ ลักษณะมีลายเป็นแถบหยาบและถี่กับหินเชิร์ตเป็นชั้น หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์สีเขียว เทาแกมน้ำตาล น้ำตาลแกมเทา บางแห่งมีหินภูเขาไฟแทรกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-11 จุดสำรวจจุดนี้ที่ 20 พบหินแอนดีไซต์ บางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์ หินชนวนและหินควอร์ตไซต์ ส่วนมากมีซากโครนอยด์ ฟอสซิลิน และปะการัง พบบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษา

## 1.2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยมาตราส่วน 1:250,000 ระวัง ND47-8 (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) ดังแสดงในรูปที่ 2-10 พบว่า โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ รอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (anticline) รูปประทุนหงาย (syncline) รอยแตก (fracture) รอยแยก (joint) และแนวระดับ (strike of bed) ปรากฏให้เห็นโดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษา รอยคดโค้ง พบมากบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งรองรับด้วยหมวดหินเขาขาด แนวระดับการวางตัวของหิน มีหลายทิศทางโดยมีมุมเทของชั้นหิน (dip of bed) ตั้งแต่ 30-80 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2-11 และรอยแยกของหินที่พบมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

รอยแตกของหินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเส้นชั้นความสูงในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:250,000 ระวัง ND47-8 (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) และการตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติมจากการสำรวจภาคสนาม ระหว่างเดือนตุลาคม 2549 สามารถวัดทิศทางการวางตัวของแนวรอยแตกของหินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนใต้ จำนวน 26 แนว และวิเคราะห์มุมองศาของการวางตัว (azimuth) โดยใช้โปรแกรม Oriana Version 2.02c ช่วยในการประมวลผลข้อมูล พบว่าทิศทางการวางตัวหลักของรอยแตกมี 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในแนว 26 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2-11

## 2) สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง

สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงจากการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยมาตราส่วน 1:250,000 ระวัง ND47-8 (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) ร่วมกับการสำรวจภาคสนามเพิ่มเติม (11-14 ตุลาคม 2549) และวิเคราะห์

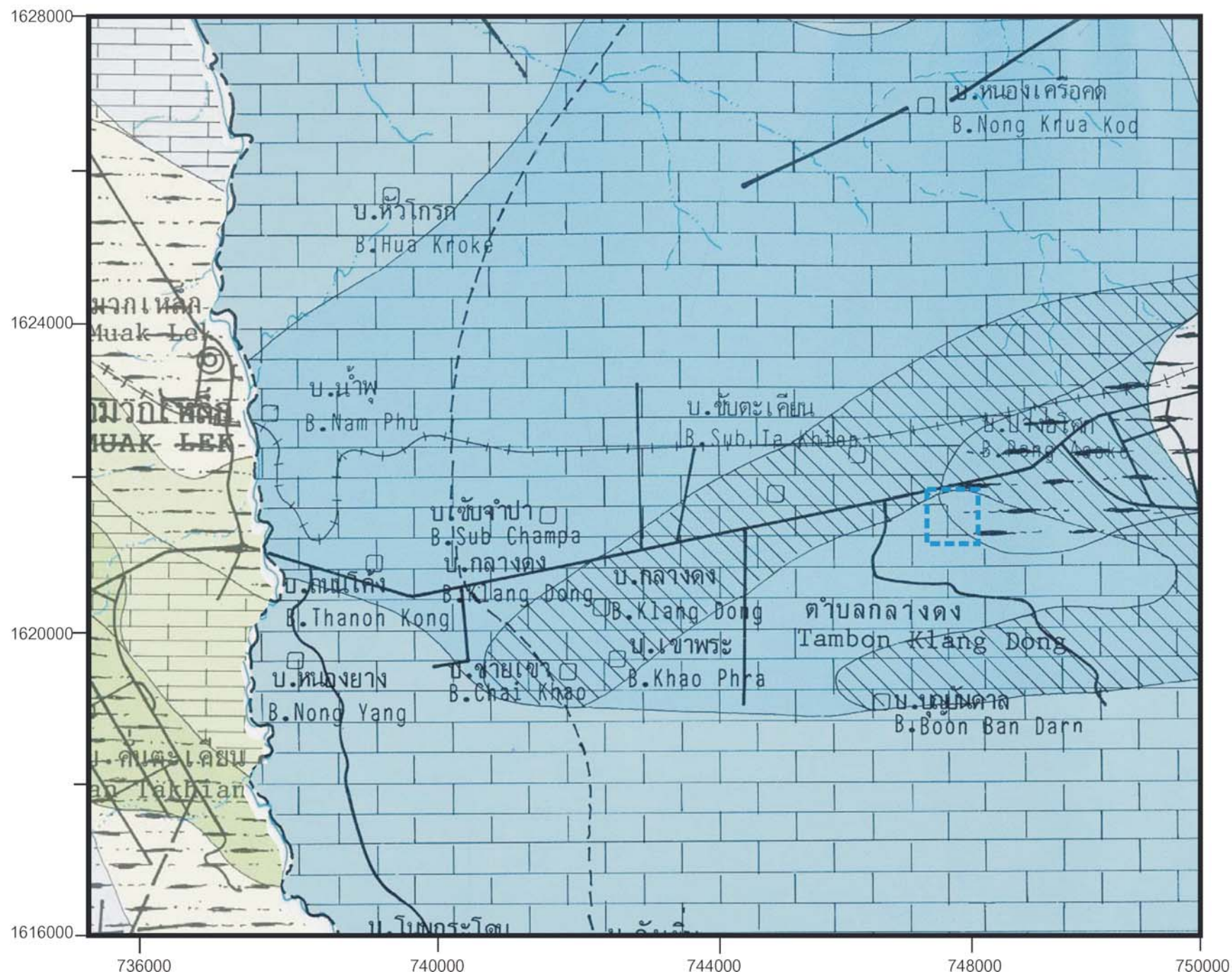


ข้อมูลชั้นดินชั้นหินจากบ่อสังเกตการณ์ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ (MW01-MW03) บ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติม (หัวข้อ 3.4.1) จำนวน 12 บ่อ (PW01-PW02 และ PZ01-PZ10) และการเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 8 จุด (หัวข้อ 3.3) พบว่า พื้นที่ที่ตั้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง ร่องรับด้วยหินปูนสีเทาเข้มจนถึงเทาอ่อน ซึ่งจัดอยู่ในหน่วยหินเขาขาด (Pkd) จากการเจาะตัวอย่างดินร่วมกับการแปลความจากข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินโดยกรมทรัพยากรธรณีและที่สำรวจเพิ่มเติม (หัวข้อ 3.2.1) พบว่า มีดินสีแดง (Terra Rosa) ปกคลุมพื้นที่ หนา 1-12 เมตร จากผิวดิน รอยแตกของหินจากหินโผล่พบทั้งรอยแตกในแนวระนาบและแนวตั้ง



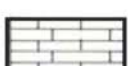

### 2.1.6 สภาพอุทกธรณีวิทยา

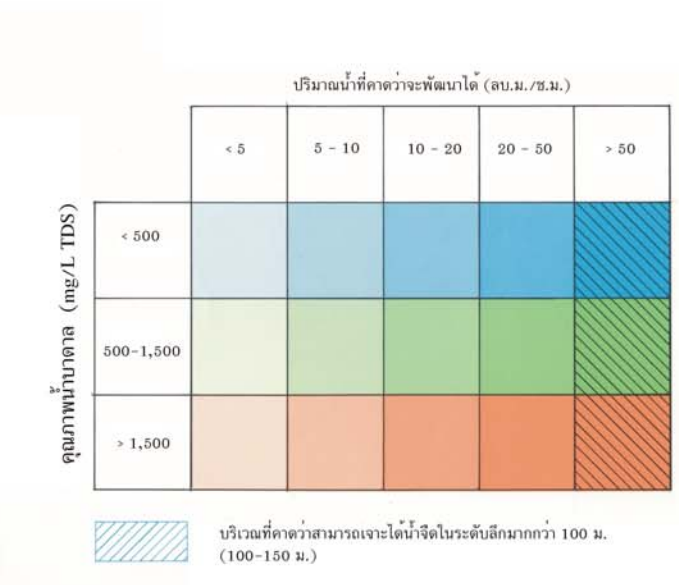
ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนจากข้อมูลแผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:100,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2531) ดังแสดงในรูปที่ 2-13 พบว่าหน่วยหินอุ้มน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษามี 2 ชนิดได้แก่ (1) หน่วยหินปูนชุดราชบุรี ประกอบด้วยหินปูนสีเทา แทรกสลับด้วยหินดินดาน และหินทรายบางๆ บางแห่งมีกระเปาะของหินเชิร์ตแทรก น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกและโพรงภายในเนื้อหินปูน ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ลบ.ม./ช.ม.) ส่วนบริเวณบ้านชายเขา บ้านกลางดง บ้านเขาพระ บ้านบุญบันดาล พื้นที่ตอนบนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้มีมากกว่า 20 ลบ.ม./ช.ม. คุณภาพน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีคุณภาพดี กล่าวคือ มีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids, TDS) น้อยกว่า 750 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.) (2) หน่วยหินชั้นกึ่งหินแปร ประกอบด้วย หินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต หินชนวน มีชั้นหินอ่อน และหินปูนแทรกสลับน้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกและช่องว่างของหินผุ เช่น บริเวณพื้นที่บางส่วนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำคาดว่าจะพัฒนาได้ ประมาณ 20 ลบ.ม./ช.ม. น้ำบาดาลมีคุณภาพดี

เมื่อดำเนินการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา พบว่าหน่วยหินอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน สามารถจำแนกได้เป็น 3 หน่วยหินตามหมวดหินทางธรณีวิทยา ซึ่งชนิดของหินมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2-11 โดยเรียงลำดับจากอายุน้อยไปมาก ได้ดังต่อไปนี้



**คำอธิบาย**

-  พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน
-  พื้นที่ทิ้งสารเคมี
-  หินปูน หินอ่อน มีชั้นหินดินดานแทรกสลับ และมีหินเชิร์ต แทรกเป็นกระจปะ
-  หินทราย หินดินดาน หินชนวน และหินควอร์ตไซต์ บางแห่งมีชั้นหินปูนแทรกสลับ



รูปที่ 2-13 แผนที่น้ำบาดาลของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

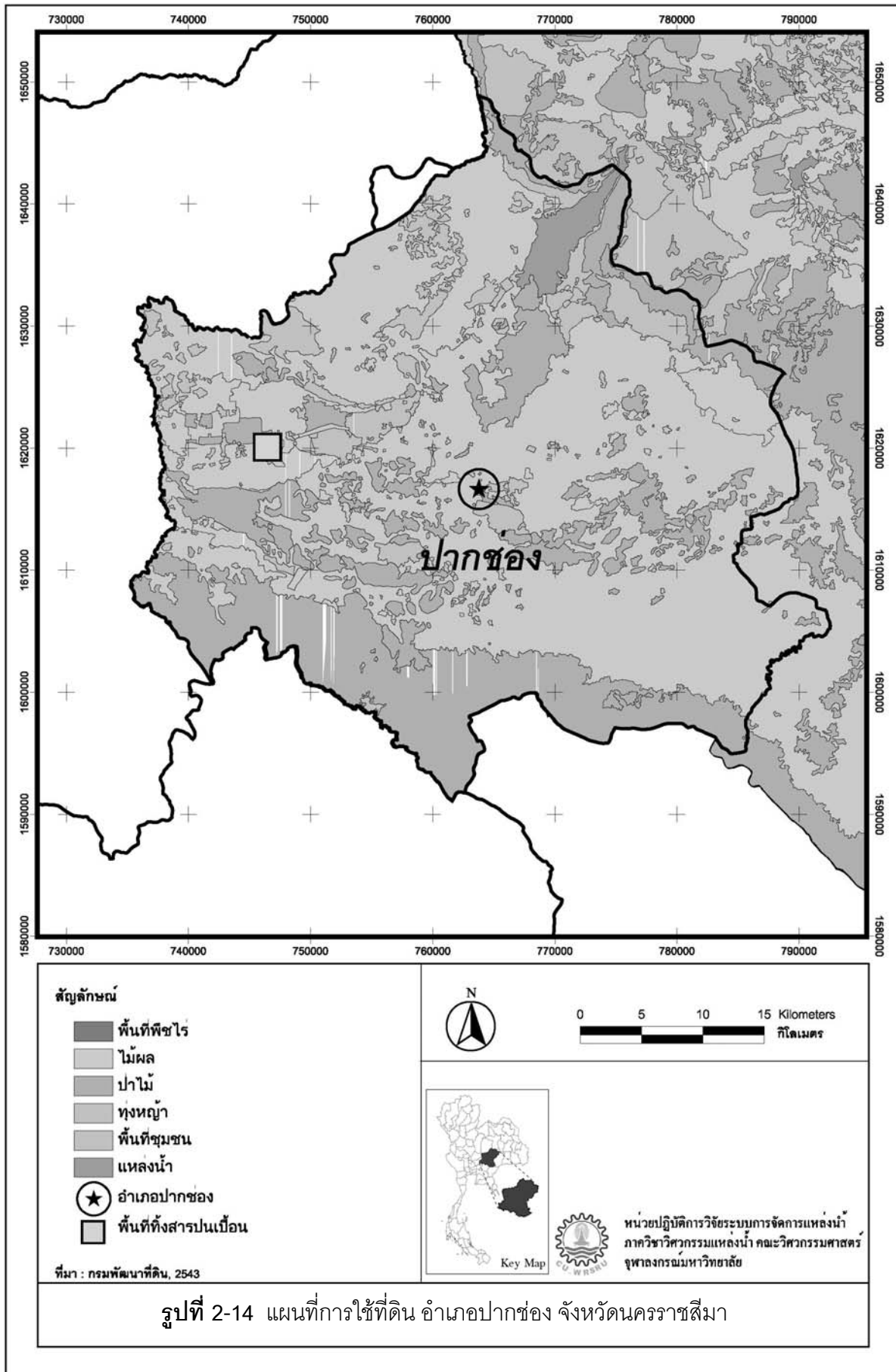
**หน่วยหินเขาขาด (Pkd)** ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดํา เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน และพบหินโดโลไมต์แทรกชั้นด้วยกระเปาะหินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟบ้างเล็กน้อย และพื้นที่ที่ฝังสารปนเปื้อนรองรับด้วยหน่วยหินเขาขาดตั้งอยู่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกและโพรงภายในเนื้อหินปูน ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ลบ.ม./ชม.) และบริเวณบ้านเขาพระ บ้านบุญบันดาล มีปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้มากกว่า 20 ลบ.ม./ชม. คุณภาพน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีคุณภาพดี กล่าวคือ มีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids, TDS) น้อยกว่า 750 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.)

**หินปางอโศก (Ppa)** ส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้นบางสีเทา เขียวซีม้ํา น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดง มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะ พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ด้านตะวันออกไปทิศตะวันตก พื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินสีดํา กักเก็บอยู่ในรอยแตกและช่องว่างของหินผุ เช่น บริเวณพื้นที่บางส่วนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำคาดว่าจะพัฒนาได้ ประมาณ 10-20 ลบ.ม./ชม. ส่วน พื้นที่ตอนบนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้มีมากกว่า 20 ลบ.ม./ชม. น้ำบาดาลมีคุณภาพดี

**หน่วยหินหนองโป่ง (Pn)** ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดําถึงเทาดํา มีลายเป็นแถบของชั้นหินเชิร์ต บางแห่งเป็นหินดินดาน หินทรายปนทํัพพี และหินภูเขาไฟ พบบริเวณตอนเหนือของพื้นที่ซึ่งเป็นที่เขาสูง ปริมาณน้ำคาดว่าจะพัฒนาได้ ประมาณ 10-20 ลบ.ม./ชม. และมีคุณภาพน้ำดี

### 2.1.7 สภาพการใช้ที่ดิน

สภาพการใช้ที่ดินในอำเภอปากช่อง แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทคือ พื้นที่การเกษตร พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่การเกษตร สำหรับพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ พืชสวน เช่น การปลูกไม้ผล ไม้ลำปะหลัง ตามลำดับ แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2-14



## 2.1.8 ประชากรและลักษณะเศรษฐกิจและสังคม

### 1) ประชากรและสังคม

ประชากรอำเภอปากช่อง ในปี พ.ศ. 2548 มีจำนวนประชากรทั้งหมด 139,643 คน 49,271 คน ครัวเรือน แบ่งเป็นชายจำนวน 70,285 คน และเป็นหญิงจำนวน 69,358 คน

ระบบสาธารณูปโภคของอำเภอปากช่อง ได้แก่ ระบบประปา ระบบไฟฟ้า ระบบโทรศัพท์ สถานพยาบาล สถานศึกษาและวัด

ระบบประปา ยังมีความต้องการอยู่แต่ก็ได้รับการปรับปรุงอยู่แล้ว มีการรับจ่ายน้ำจากการประปาส่วนภูมิภาคใน เขตเทศบาลปากช่อง สุขาภิบาลกลางดง และชุมชนใกล้เคียง และมีประปาของกรมอนามัย และสภาตำบล ที่อยู่ใน ส่วนวัด และตามโรงเรียน ระบบไฟฟ้า เพียงพอในระดับหนึ่ง

ระบบไฟฟ้า ระบายไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอปากช่อง เป็นผู้รับผิดชอบ แต่ยังมี ไฟฟ้าใช้ไม่ครบทุกหมู่บ้านยังมีความต้องการและกำลังได้รับการปรับปรุงอยู่

ระบบโทรศัพท์ ในปี 2540 ทศท. มีหมายเลขเต็ม 6,000 เปิดให้บริการ 5,971 หมายเลข ทศท. ร่วมกับ TT & T มีหมายเลขเต็ม 3,328 เปิดให้บริการ 1,843 หมายเลข มีใช้เฉพาะในเขตเทศบาล สุขาภิบาล และชุมชนใกล้เคียง ส่วนที่อยู่รอบนอกออกไปยังมีความต้องการอยู่ และกำลังอยู่ในระหว่างการปรับปรุง

สถานพยาบาลในอำเภอปากช่องมีโรงพยาบาล 1 แห่ง ขนาด 120 เตียง และสถานีนามัย 19 แห่ง

สถานศึกษา โรงเรียนมัธยม สังกัดกรมสามัญศึกษาเปิดสอนระดับ ม.1 - ม.6 จำนวน 7 แห่ง (โรงเรียน 5 แห่ง 2 สาขา) และสังกัด สปช. อีกจำนวน 22 แห่ง (เป็น รร.ขยายโอกาส ที่เปิดสอนระดับ ม.1 - ม.3) และยังมีโรงเรียนมัธยมในสังกัด สช. เอกชน 5 แห่ง โรงเรียนพระปริยัติธรรมแผนกสามัญ 2 แห่ง แผนกธรรมและบาลี 11 แห่ง ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน อำเภอปากช่อง 1 แห่ง สำหรับสถานศึกษาที่เปิดสอน ในระดับ ปวช. - ปวส. มี 2 แห่ง (สังกัด สช. 1 แห่ง สังกัดกรมอาชีวศึกษา 1 แห่ง) วิทยาลัยการอาชีพปากช่อง 1 แห่ง รวมสถานศึกษา 101 แห่ง มีนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 64.01 ของจำนวนประชากรในวัยเรียน มีอัตราส่วนของนักเรียน ต่อครู คิดเป็น 22 : 1

วัด 140 แห่ง ที่พัทสงฆ์ 11 แห่ง โบสถ์คริสต์ 3 แห่ง มัสยิด 1 แห่ง ธนาคาร 13 แห่ง สหกรณ์การเกษตร 5 แห่ง สหกรณ์ออมทรัพย์ 3 แห่ง สหกรณ์บริการ 2 แห่ง

## 2) เศรษฐกิจ

อาชีพหลักของประชากร คือ อาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำไร่ ทำสวน โดยมีพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ สวนผัก ไม้ผล ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง น้อยหน่า มะม่วง มะละกอ ถั่วเหลือง อาชีพรอง เช่น การทำปศุสัตว์ (ฟาร์มผลิตลูกสุกร และลูกไก่) สัตว์เศรษฐกิจ ได้แก่ ไก่ สุกร โคเนื้อ และโคนม เกษตรกรนิยมเลี้ยง ไก่เนื้อ 16 ครัวเรือน เลี้ยงไก่พื้นเมือง 265 ครัวเรือน เลี้ยงสุกร 122 ครัวเรือน เลี้ยงโคเนื้อ 407 ครัวเรือน และเลี้ยงโคนม จำนวน 928 ครัวเรือน ทำการประมง น้ำจืดโดยเฉพาะเลี้ยงตามแหล่งธรรมชาติ ในปี พ.ศ. 2539 ใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยง 193 ไร่ ให้ผลผลิตแก่เกษตรกร ผู้เพาะเลี้ยงจำนวน 152 รายได้ถึง 63,400 กก. คิดเป็นมูลค่า 1,902,000 บาท ที่สร้างรายได้ให้แก่ผู้เพาะเลี้ยง และรับจ้าง ส่วนงานด้านการทำธุรกิจธุรกิจหลักคือ การอุตสาหกรรมและการบริการ

อุตสาหกรรมในพื้นที่อำเภอปากช่อง มีกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและแปรรูปสินค้า การเกษตร ส่วนใหญ่เป็นโรงงานผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด โรงงานผลิตส่วนผสมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมสนับสนุนวิศวกร เช่น โรงงานหินอ่อน ผลิตภัณฑ์ คอนกรีต ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ยานยนต์ มีอุตสาหกรรมขนาดย่อมและภาคบริการเช่นอู่ซ่อม โรงกลึง โรงเลื่อย ผลิตเพื่อเป็นทั้งด้านสินค้าออกและจำหน่ายในประเทศ เป็นเขตส่งเสริมอุตสาหกรรม ของกระทรวงอุตสาหกรรม (ปากช่อง ขามทะเลสอ ปักธงชัย และอำเภอ เมือง) มีจำนวนโรงงาน 311 โรงงาน เงินทุน 5,640 ล้านบาท การจ้างงาน 11,259 คน

ธุรกิจรองคือ การพาณิชย์กรรมรวมถึงอุตสาหกรรมในครัวเรือน ได้แก่ เย็บผ้าห่ม นวม การทำผลไม้แช่อิ่ม ดอง และกลุ่มสหกรณ์ปลูกไม้ผลเพื่อเพิ่มรายได้

วัยแรงงาน และการจ้างงาน วัยแรงงานมีตั้งแต่กลุ่มอายุ 15 ปีขึ้นไปจนถึง 39 ปี มีจำนวนแรงงานในเขต อำเภอประมาณ 50,147 คน เป็นแรงงานภาคเกษตรกรรมเป็นส่วนหนึ่ง ค่าจ้างแรงงานราคาตามมาตรฐาน จัดเป็นแรงงานทั่วไป ระดับการศึกษาของแรงงานอยู่ในเกณฑ์มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) ซึ่งแรงงานระดับนี้จะ เข้าทำงานในภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนมาก ตามโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ เช่น สนามกอล์ฟ โรงงาน ซี.พี. มีเป็นส่วนน้อยที่จะอพยพไปขายแรงงานต่างพื้นที่

## 2.2 สภาพปัญหาในพื้นที่โครงการ

เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2547 เกิดเหตุลักลอบฝังกลบกากอุตสาหกรรม บริเวณหมู่ที่ 1 ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทางบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งได้ขอเช่าพื้นที่ (แต่ไม่มีสัญญาเช่าเป็นหลักฐาน) เพื่อใช้เก็บกากของเสียที่เป็นอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม จำพวกน้ำมันเครื่อง กากสี สารตัวทำลายอินทรีย์ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และเศษวัสดุที่ปนเปื้อนสารเคมี เพื่อทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตปูนขาว แต่ด้วยบริษัทประสบปัญหาบางประการ จึงได้หยุดการผลิตตั้งแต่เดือนธันวาคม 2544 และเก็บกากอุตสาหกรรมไว้ จนกระทั่งเกิดเหตุลักลอบทำลายขึ้น โดยใช้รถแบคโฮลัดถังบรรจุสารเคมีขนาด 200 ลิตร จำนวน 3,000 ถัง และนำของเหลวไปเทลงในบ่อดินที่ขุดขึ้นมาใหม่ โดยไม่มีการป้องกันการปนเปื้อนลงดินแต่อย่างใด และมีกากสารเคมีบางส่วนหกหล่นอยู่บนพื้นดิน ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นของสารเคมีกระจายทั่วบริเวณใกล้เคียง ดังรูปที่ 2-15

โดยก่อนเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ได้มีการร้องเรียนจากประชาชนว่าพบถังสารเคมีถูกทิ้งไว้ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวเป็นจำนวนมาก ต่อมาในวันที่ 21 กรกฎาคม 2547 ได้เกิดเหตุเพลิงไหม้กองขยะวงจรรวมพิวเตอร์ และสารไซเมนต์คลอรีน ในพื้นที่ดังกล่าวขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านมลพิษทางอากาศต่อประชาชนที่อาศัยข้างเคียง และในวันที่ 13 สิงหาคม 2547 ได้เกิดเหตุระเบิดซึ่งมีสาเหตุจากการที่พนักงานนำเครื่องเชื่อมแก๊สตัดโลหะใกล้กับถังเก็บของเสียซึ่งมีไอระเหยของสารไวไฟอยู่ ทำให้เกิดระเบิดขึ้น จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดกลุ่มควันพิษสีขาวปกคลุมทั่วท้องฟ้า ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรงกระทบต่อประชาชนบริเวณใกล้เคียงและเทศบาลตำบลปากช่องที่อยู่ห่างออกไปประมาณ 20 กิโลเมตร

จากเหตุการณ์ลักลอบฝังกลบกากอุตสาหกรรม เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2547 ทางคณะของกรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม บริษัทกลางดงไลฟ์ และองค์การบริหารส่วนตำบลกลางดง ร่วมกันตรวจสอบพื้นที่โดยการสุ่มตักดินพบถังบรรจุสารเคมีขนาด 200 ลิตร ถูบรรจุกากสารเคมี และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ฝังอยู่เป็นจำนวนมาก คณะผู้ตรวจสอบจึงได้สั่งการให้ขุดเปิดหน้าดินบริเวณดังกล่าว เป็นรัศมีไม่น้อยกว่า 20 เมตร ความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร เพื่อนำกากของเสียไปกำจัดอย่างถูกวิธี

ภายหลังจากที่บริษัทดังกล่าว ได้ขนย้ายกากของเสียที่เป็นอันตรายออกจากพื้นที่ทั้งหมดแล้ว พบว่าพื้นที่บริเวณที่เกิดเหตุมีกากสารเคมีหกหล่นอยู่บนพื้นดินเป็นจำนวนมาก และพบการปนเปื้อนของสารพิษในดิน บริษัทฯ จึงได้ทำการปิดหน้าดินบริเวณที่เกิดเหตุที่ความลึกตั้งแต่

ระดับผิวดินจนถึงความลึกประมาณ 2 เมตร ตามระดับการปนเปื้อน ดังรูปที่ 2-16 แล้วขนย้ายไปปรับเสถียรที่โรงงานในจังหวัดระยอง จำนวน 5,920 ตัน ก่อนจะนำไปฝังกลบยังบ่อฝังกลบของบริษัทฯ ปัจจุบันบริษัทฯ ได้ดำเนินการถมพื้นที่เพื่อปรับสภาพผิวดินให้คืนสู่สภาพปกติแล้ว



รูปที่ 2-15 สภาพพื้นที่ที่ทำการทิ้งสารเคมีปนเปื้อน      รูปที่ 2-16 สภาพพื้นที่เกิดเหตุภายหลังบริษัท  
ปาดหน้าดินไปกำจัด

จากเหตุการณ์ดังกล่าว สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้นำเรื่องเสนอรัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อแจ้งให้กระทรวงอุตสาหกรรมดำเนินการตามกฎหมาย และได้ออกกฎหมายในการควบคุมไม่ให้มีการอนุญาตให้นำกากของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมมาทดลองกำจัดในเตาเผาหรือวิธีการอื่น เว้นแต่จะกำหนดระยะเวลาและปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายที่จะนำไปทดลองกำจัดให้เหมาะสมและชัดเจน ให้มีการจัดทำระบบบัญชี (inventory) และระบบกำกับติดตาม (manifest and tracking system) กากของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรม เพื่อป้องกันการลักลอบนำไปทิ้งหรือการกำจัดที่ไม่เหมาะสม และออกกฎหมายระเบียบเกี่ยวกับระบบเอกสารกำกับ การขนส่งกากของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมให้มีความเข้มงวดมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ กรมทรัพยากรธรณี ยังได้เข้าสำรวจสภาพพื้นที่โดยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ พบว่าบริเวณใต้พื้นที่ฝังกลบกากของเสียอันตราย มีหินปูนรองรับอยู่และมีรอยแตกในชั้นหินปูน 2



แนว คือ ในแนวทิศเหนือ-ใต้ และแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะเป็นช่องทางกรไหลของสารพิษจากพื้นที่ทิ้งกากอุตสาหกรรมเข้าไปปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาล ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 10 – 120 เมตร ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อราษฎรในพื้นที่ใช้น้ำบาดาลในการอุปโภคบริโภคและเกษตรกรรม

ดังนั้น กรมควบคุมมลพิษและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 จึงได้ทำการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน โดยทำการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน น้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินในบริเวณใกล้เคียง พบสารอินทรีย์ระเหยเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 โดยเฉพาะสาร Benzene Trichloroethylene (TCE) และ Tetrachloroethylene (PCE) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และระบบอื่น ๆ และหากได้รับเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ดังนั้นทางกรมทรัพยากรน้ำบาดาลจึงได้ทำการว่าจ้างที่ปรึกษา จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา โดยในเบื้องต้นคณะที่ปรึกษาจะทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยง เป็นระยะเวลา 10 เดือน

บทที่ 3

การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน

### บทที่ 3

## การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน

การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน มีขอบเขตพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ศึกษาระดับที่ 1 คือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน อยู่ระหว่างกริด UTM 736000 ตะวันออก ถึง 750000 ตะวันออก และ 1616000 เหนือ ถึง 1628000 เหนือ มีพื้นที่ 165 ตร.กม. (12x14 ก.ม.) ครอบคลุมบริเวณส่วนใหญ่ของตำบลกลางดง และบางส่วนของตำบลพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการได้รับการปนเปื้อนของสารเคมีจากพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน พื้นที่ศึกษาระดับที่ 2 ได้แก่ พื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง อยู่ระหว่างกริด UTM 746500 ตะวันออก ถึง 746600 ตะวันออก และ 1619000 เหนือ ถึง 1620000 เหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 1 ตร.กม. (1x1 ก.ม.) บริเวณบ้านปางอโศก ต.กลางดง

เนื้อหาของรายงานในบทนี้กล่าวถึง ผลการรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินและธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง เพื่อตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหินและรอยแตกของหิน การตรวจสอบสารปนเปื้อนในดิน การเจาะและติดตั้งเครื่องขยับบ่อสังเกตการณ์ การสุบทดสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลสุบทดสอบ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดินในภาพรวมของทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน และการตรวจหาสารปนเปื้อนในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง ทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

### 3.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1.1 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหิน

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ระวัง อำเภอปากช่อง 5328 II และ ระวังมวกเหล็ก 5328 III จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ. 2540 แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 ซึ่งจัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2519 แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:100,000 ของกรมทรัพยากรธรณี ปี 2531 ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำซับตะเคียนของกรมทรัพยากรธรณี ภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photograph) ที่ถ่ายในปี 2496 มาตราส่วน 1:50,000 และภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS (base

map) ที่ถ่ายในปี 2544 ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลเหล่านี้นำมาแปลความลงในแผนที่พื้นฐานมาตราส่วน 1:50,000

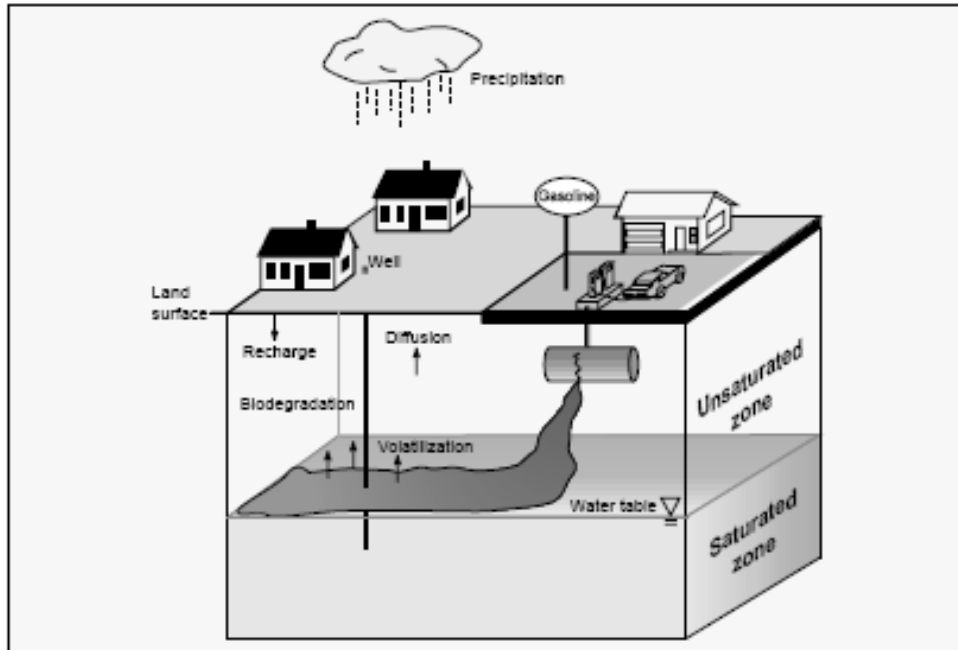
### 3.1.2 การตรวจสอบสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

#### 1) สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs)

สารอินทรีย์ระเหย หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่มีความดันไอ (vapour pressure) สูงกว่า 1.3 kPa ที่ความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน ซึ่งสามารถพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ สี และสารละลายต่าง ๆ เป็นต้น สารอินทรีย์ระเหยสามารถแบ่งตามคุณสมบัติการละลายน้ำได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ละลายน้ำ และกลุ่มที่ละลายน้ำได้จำกัด (nonaqueous phase liquid; NAPL) โดยในกลุ่มที่ละลายน้ำได้จำกัด จัดเป็นสารที่มีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้มาก สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทตามความหนาแน่นของสาร คือ Light nonaqueous phase liquid (LNAPL) และ Dense nonaqueous phase liquid (DNAPL)

- Light nonaqueous phase liquid (LNAPL) เป็นสารอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ ดังนั้นเมื่อมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ มักจะลอยอยู่ส่วนบนของชั้นน้ำใต้ดิน สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene และ xylene เป็นต้น

กรณีตัวอย่างการปนเปื้อนของสารในกลุ่ม LNAPL เช่น ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน อันเนื่องมาจากการรั่วไหลของถังน้ำมันซึ่งฝังไว้ใต้ดิน จากสถานีบริการน้ำมันแห่งหนึ่งในรัฐ New Jersey ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1988 โดยทาง US Environmental Protection Agency (1998) รายงานว่าถังน้ำมันซึ่งทำด้วยโลหะ ขนาด 600 gallon เกิดการผุกร่อนทำให้มีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ดินและซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 3-1 จากรายงานพบการปนเปื้อนของสารจำพวก benzene, toluene, ethylbenzene และ xylene ในน้ำใต้ดินเกินระดับมาตรฐานของ USEPA ทางหน่วยงานจึงได้เข้ามาจัดการกับสารปนเปื้อนเหล่านี้โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้น เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของสารในชั้นน้ำใต้ดินและเป็นข้อมูลในการกำจัดสารปนเปื้อนด้วยวิธี Vapor-extraction remediation และ Natural attenuation remediation ซึ่งวิธีหลังนี้เป็นวิธีการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อน จากรายงานพบว่าสามารถลดปริมาณการปนเปื้อนของสารลงได้ ซึ่งปัญหาการรั่วไหลของถังน้ำมันนี้ ทาง USEPA (1991) รายงานว่าเป็นปัญหาที่พบได้มากถึง 40% ในสถานีบริการน้ำมันในประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 3-1 การรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ น้ำใต้ดิน (USGS,1998)

- Dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) เป็นสารที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ และมีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ มักจะอยู่ด้านล่างของชั้นน้ำ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ Trichloroethylene (TCE) 1,1,1-trichloroethane (TCA) และ Tetrachloroethylene (PCE) เป็นต้น

เนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการชะล้างสารประเภทไม่แข็ง หรือสารที่สามารถละลายในไขมันได้ดี จึงถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตอิเล็กทรอนิกส์ โลหะ สี น้ำยาซักแห้ง และพลาสติก เป็นต้น ซึ่งหากมีการกำจัดหรือการจัดการไม่ถูกวิธีอาจจะเป็นสาเหตุให้มีการปนเปื้อนลงสู่ดินและน้ำใต้ดินได้

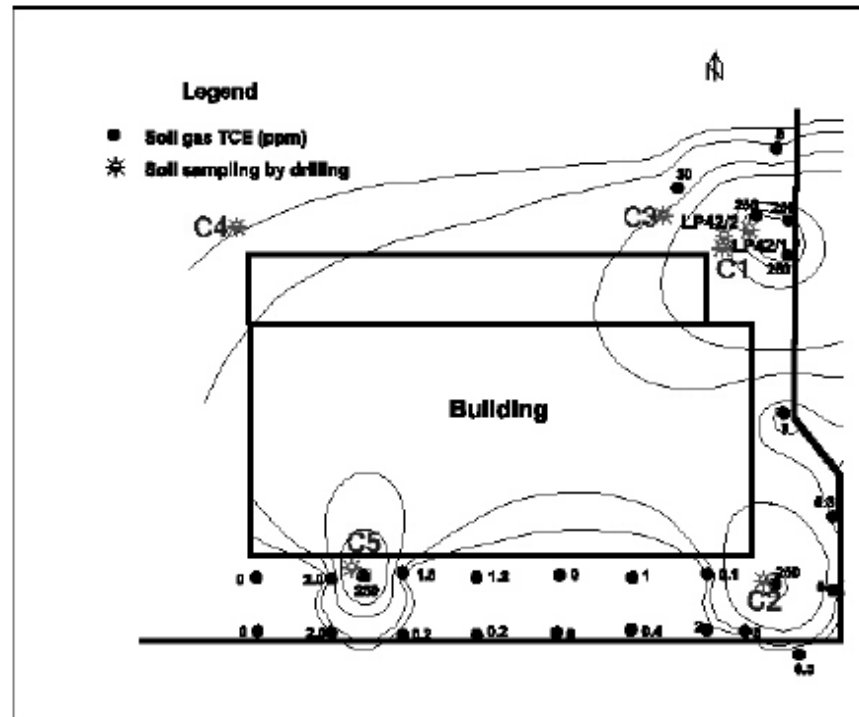
จากการรายงานของ มีศักดิ์ มิวินทวิสมัย และคณะ (2544) พบการปนเปื้อนของสาร Trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม DNAPL ลงสู่ดินและน้ำใต้ดินในประเทศไทย ดังนี้

การตรวจพบการรั่วไหลของสาร TCE เพื่อใช้ทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ในโรงงานผลิตเครื่องประดับสตรีแห่งหนึ่ง โดยทางโรงงานได้นำสารที่เหลือจากการชะล้างทิ้งลงดินภายในบริเวณพื้นที่และรอบนอกของโรงงาน และนำกากของเสียบางส่วนทิ้งไว้ในถังโลหะกลางแจ้ง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการผุกร่อนของถัง และรั่วไหลลงสู่ดิน หลังจากโรงงานเปิดการ

ดำเนินการมา 8 ปี คาดว่าสารดังกล่าวน่าจะซึมลงสู่พื้นดินมาแล้วประมาณ 30 ต้น ทางกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้เข้ามาตรวจสอบโดยการเจาะเก็บตัวอย่างดิน (soil vapor investigation) ทั้งระดับต้นและระดับลึก เพื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยด้วยเครื่อง Gas Chromatograph พบสาร TCE ในระดับ 0.03 - 6 mg/l ซึ่งอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 และพบ cis-1,2-DCE ในปริมาณเล็กน้อย โดยสารดังกล่าวเป็นอนุพันธ์ของสาร TCE ซึ่งถูกเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ในดิน

การตรวจพบการรั่วไหลของสาร TCE ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแผ่นเซรามิค จากท่อส่งสารในโรงงานผลิตแผ่นเซรามิคสำหรับฝั่งวงจรรีเลย์โทรนิค และพบการรั่วไหลของสารอื่น ๆ อีก เช่น toluene, ethylmethylketone และ methanol จากการเข้าตรวจสอบของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยการเจาะเก็บตัวอย่างดินทั้งระดับต้นและระดับลึก พบสาร cis-1,2-DCE ปนเปื้อนในชั้นใต้ดินสูงสุดในปริมาณ 1 mg/l ที่ระดับความลึก 1.5-2.5 เมตร และยังพบสาร TCE และ cis-1,2-DCE ในน้ำใต้ดินเกินระดับมาตรฐานถึง 968.15 และ 300.32 mg/l ตามลำดับ ทางกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงได้ทำการวางบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในระยะยาวต่อไป

การตรวจพบการรั่วไหลของสาร TCE จากโรงงานผลิตสายนาฬิกาโลหะ ซึ่งใช้เป็นสารทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ โดยทางโรงงานได้เทสารทิ้งถึงเดือนละ 300 กิโลกรัม และเก็บถังของเสียบางส่วนไว้กลางแจ้งเป็นระยะเวลาถึง 10 ปี จึงเกิดการรั่วไหลของสารลงสู่ชั้นดิน จากการศึกษารายละเอียดของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบการกระจายตัวของสารในชั้นดินภายในโรงงานอยู่ 5 จุด ดังรูปที่ 3-2 โดยจุด C1 เป็นจุดที่มีการทิ้งสารปนเปื้อน จุด C2 เป็นจุดที่ทำการเก็บถังไว้กลางแจ้ง และจุด C5 เป็นจุดที่ทำการล้างผลิตภัณฑ์ ส่วนจุดอื่น ๆ แสดงถึงการไหลซึมของสารไปในทิศทางนั้น ๆ เนื่องจากเนื้อดินในบริเวณโรงงานเป็นดินเหนียว และมีกรวดแทรกอยู่เป็นระยะ ๆ ซึ่งเป็นช่องทางเคลื่อนที่ของสารไปทางด้านข้างได้ดี



รูปที่ 3-2 แผนที่การกระจายตัวของสาร TCE ในชั้นใต้ดิน ในโรงงานผลิตสายนาฬิกาโลหะ (มีศักดิ์ มิลินทวิเศษ และคณะ, 2544)

วิธีการตรวจสอบสารอินทรีย์ระเหยวิธีหนึ่ง คือ วิธีการวัดอากาศในดิน (Soil gas technique) เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหย มีคุณสมบัติในการระเหยเป็นไอได้ง่าย ไอระเหยจึงแทรกซึมขึ้นมาอยู่ในช่องว่างอากาศในดินในส่วนของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) ดังนั้นการเก็บอากาศในดินมาตรวจวัดปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย จึงเป็นวิธีที่บ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินได้ดี โดยเครื่องมือในการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินมีหลายวิธี เช่น Gas Chromatography (GC) High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และ Purge and Trap Gas เป็นต้น โดยค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยประเภทต่าง ๆ ในน้ำใต้ดินแสดง ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน

ประเภทสาร	ความเข้มข้นของสาร (ไม่เกิน µg/l)
Benzene	5
Carbon tetrachloride	5
1,2-Dichloroethane	5
1,1-Dichloroethylene	7
Cis-1,2-Dichloroethylene	70
Trans-1,2-Dichloroethylene	100
Dichloromethane	5
Ethylbenzene	700
Styrene	100
Tetrachloroethylene (PCE)	5
Toluene	1,000
Trichloroethylene (TCE)	5
1,1,1-Trichloroethane (TCA)	200
1,1,2-Trichloroethane	5
Total Xylenes	10,000

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543

การสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยทางการหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจระคายเคือง ปวดศีรษะ มึนงง มองเห็นไม่ชัด สิ้น ชัก และหมดสติ เป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ตับและไต ถ้าได้รับต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดโรคปอดอักเสบ หรือถึงขั้นเสียชีวิตได้

การสัมผัสผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคือง ถ้าสัมผัสเป็นระยะเวลานานจะทำให้ไขมันบริเวณชั้นผิวหนังหลุดลอก เป็นผื่นแดง คัน แสบไหม้ ผิวแตก และอาจเกิดการติดเชื้อได้ สารบางชนิดสามารถดูดซึมผ่านผิวหนัง และเกิดอาการแพ้ได้ในบางราย



การสัมผัสฝุ่นถูกไอหรือควัน จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา น้ำตาไหล กลัวแสง ถ้าสัมผัสโดยตรงจะทำให้กระจกตาและประสาทตาอักเสบ

การสัมผัสโดยการกิน จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร คลื่นไส้ ไอ ปวดท้อง ท้องร่วงและหมดสติได้

หากได้รับสารอินทรีย์ระเหยเป็นระยะเวลานาน ๆ อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และเกิดความผิดปกติของทารกในครรภ์ได้อีกด้วย

## 2) โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกิน 5 กรัม/ลบ.ซม. เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท และโคบอลต์ เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมโลหะหนักถูกนำมาใช้การผลิตพลาสติก พีวีซี สี และถ่านไฟฉาย สำหรับทางการแพทย์ จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของยา เครื่องสำอาง และ อุปกรณ์ทางการแพทย์ ส่วนทางด้านเกษตร จะใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ย และยาฆ่าแมลง โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวในกระบวนการตามธรรมชาติได้ จึงมีบางส่วนที่สะสมอยู่ในดิน และดินตะกอนในน้ำ โดยทางประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 ได้กำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

ประเภทโลหะหนัก	ความเข้มข้นของสาร (ไม่เกิน mg/l)
ปรอท	0.001
ตะกั่ว	0.01
แคดเมียม	0.003
ทองแดง	1.0
นิกเกิล	0.02
สังกะสี	5.0
สารหนู	0.01
ซิลิเนียม	0.01
แมงกานีส	0.5

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543

ปรอท เมื่อเข้าสู่ร่างกายทางลมหายใจ จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตทันที และจะกระจายไปยังสมอง และส่วนอื่น ๆ ของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว ปรอทที่อยู่ในรูป สารประกอบอินทรีย์จะมีความเป็นพิษสูงสุด เพราะร่างกายสามารถดูดซึมในทางเดินอาหารได้ถึง ร้อยละ 95-98 และขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมาก โดยปรอทจะเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดง และกระจายไปยังทั่วทุกส่วนของร่างกาย สารปรอทประมาณร้อยละ 15 จะเข้าไปสะสมที่สมองใน ส่วนของการควบคุมการมองเห็นและส่วนของความรู้สึกนึกคิด โดยโรคที่เกิดจากการได้รับสาร ปรอทเป็นจำนวนมาก เรียกว่า โรคมินามาตะ

ตะกั่ว สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางลมหายใจ และทาง ผิวหนัง เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้วจะไปจับกับเม็ดเลือดแดง และหมุนเวียนไปตามกระแสโลหิต กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยจะไปสะสมที่ไตมากที่สุด เมื่อตะกั่วรวมกับกับ โปรตีนของเซลล์ภายในไตแล้ว จะทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีผลต่อดับ หัวใจ และภาวะการเจริญพันธุ์ ทำให้โครโมโซมผิดปกตินำไปสู่ความพิการแต่กำเนิด และชักนำให้เกิด มะเร็ง

แคดเมียม เมื่อเข้าสู่ร่างกายทางลมหายใจ จะมีอาการแบบเฉียบพลันอย่างอ่อน คือ คอแห้ง ระคายคอ แน่นหน้าอก และปวดศีรษะ ถ้าได้รับในปริมาณมากขึ้นจะมีอาการหายใจไม่ ออก ไอไม่หยุด และอาจถึงตายได้ ส่วนอาการที่เกิดจากการกินอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม เข้าไป จะมีอาการอาเจียน ท้องร่วง และถ้าได้รับแคดเมียมแบบเรื้อรังจะทำให้เกิด โรคอิไต อิไต (Itai Itai disease) โดยจะทำให้เกิดอาการกระดูก และไตพิการ

การตรวจหาโลหะหนัก สามารถตรวจวัดได้โดยเครื่อง Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) และเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AA) ซึ่งมีหลักการวัดปริมาณสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสาร โดยอะตอมอิสระของธาตุที่อยู่ในสภาวะนั้น ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวยังสามารถใช้ในงานควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ งานวิเคราะห์ เพื่อการเกษตร งานวิเคราะห์ทางการแพทย์และชีวเคมี งานโลหวิทยา งานวิเคราะห์น้ำมันและปิโตรเลียม และงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

### 3) สารกำจัดศัตรูพืช

สารกำจัดศัตรูพืช หมายถึง สารที่ใช้เพื่อป้องกันโรคพืชและสัตว์เลื้อยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ อาจเป็นสารกำจัดแมลง เชื้อรา หนู และสารเร่งการเจริญเติบโต ในบรรดาสารกำจัดศัตรูพืชที่ผลิตขึ้นทั้งหมดส่วนใหญ่จะนำมาใช้ประโยชน์เพื่อลดความเสียหายของผลิตผลทางการเกษตร แต่สำหรับทางด้านอุตสาหกรรมจะนำสารกำจัดศัตรูพืชมาผสมกับสี โดยใช้พ่นหรือทาเนื้อไม้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เพื่อป้องกันเชื้อรา สารกำจัดศัตรูพืชสามารถแบ่งประเภทได้ตามองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

- สารประกอบฟอสเฟต (Organophosphate compound) เช่น ไดอะซินอน นอน พาราไทออน
- สารกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate compound) เช่น คาร์บาริล เบโนมิลล์
- สารประเภทไพเรทรอยด์ (Pyrethroid compound) เช่น ไพเรทริน ไบโอเรสเมทริล สาร กลุ่มนี้จะสลายตัวเร็วประมาณ 3-7 วัน
- สารประกอบคลอรีน (Organochlorine compound) เช่น DDT Dieldrin และ Chlordane เป็นสารที่สลายตัวช้า สามารถตกค้างในดินได้เป็นระยะเวลาหลายสิบปี เมื่อมนุษย์และสัตว์ได้รับสารกลุ่มนี้จะสะสมไว้ในไขมันส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และสามารถขับถ่ายออกมาทางน้ำนมได้ด้วย ในหลาย ๆ ประเทศรวมทั้งประเทศไทยจึงยกเลิกการใช้สารกลุ่มนี้ แต่ก็ยังคงตรวจพบการตกค้างในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันมาจาดำอยู่เสมอ สำหรับค่ามาตรฐานของสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน แสดงดังตารางที่ 3-3

สารกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดมีพิษต่อระบบประสาท หากได้รับสารโดยตรง เช่น ในกรณีของเกษตรกรที่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชหรือผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ในกรณีที่มีการปนเปื้อนในอาหาร จะมีผลในด้านของพิษสะสม ซึ่งอาจมีอาการไม่แตกต่างจากพิษสะสมของสารมีพิษอื่น ๆ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะ และทำให้ร่างกายอ่อนแอ เจ็บป่วยง่าย เป็นต้น

### ตารางที่ 3-3 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำใต้ดิน

ประเภทของสาร	ความเข้มข้นของสาร (ไม่เกิน µg/l)
Chlordane	0.2
Dieldrin	0.03
Heptachlor	0.4
Heptachlor Epoxide	0.2
DDT	2
2,4-D	30
Atrazine	3
Lindane	0.2
Pentachlorophenol	1

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543

#### 4) การกำหนดตำแหน่งเพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนในดินในพื้นที่

##### ศึกษา

โดยหลักการแล้วการเก็บตัวอย่างมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

##### ดังนี้

- การเก็บตัวอย่างเพื่อการสำรวจ วิธีนี้จะเก็บตัวอย่างเพื่อเป็นหลักฐานของการเกิด การปนเปื้อนในพื้นที่ที่สนใจ และเพื่อตรวจวิเคราะห์จำนวนและชนิดของสารปนเปื้อน

- การเก็บตัวอย่างเพื่อการเฝ้าระวังและติดตาม การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่สนใจภายในระยะเวลาที่ ต้องการ

- การเก็บตัวอย่างเพื่อทำ Screening วิธีนี้เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างเพื่อการ ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นก่อนทำการเก็บอย่างจริงจังต่อไป มักใช้สำหรับการวางตำแหน่ง เครื่องข่ายบ่อสังเกตการณ์อย่างละเอียดในอนาคต

- การเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม วิธีนี้เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมหลังจากมีการเก็บตัวอย่างเบื้องต้นแล้ว หรืออีกนัยหนึ่งคือการเก็บตัวอย่างซ้ำ เพื่อพิสูจน์หรือยืนยันสมมุติฐานบางประการ

- การเก็บตัวอย่างเพื่อทำ Site Characterization หมายถึงการเก็บตัวอย่างโดยละเอียดเพื่อทำความเข้าใจลักษณะของการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา ทั้งในแนวแกน X Y Z เป็นการทำการเก็บตัวอย่างที่ต้องอาศัยการลงทุนสูง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีและสมบูรณ์แบบ

### 5) เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งสำหรับเก็บตัวอย่างดิน

การกำหนดตำแหน่งสำหรับเก็บตัวอย่างดินสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ วิธีการกำหนดตำแหน่งเชิงสถิติ (Statistical Method) และ วิธีการกำหนดตำแหน่งแบบไม่ใช้สถิติ (Non-Statistical Method) ในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการโดยสังเขปของการกำหนดตำแหน่งทั้ง 2 กลุ่มที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้ ดังนี้

- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Simple Random)

สำหรับการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้จะเลือกตำแหน่งโดยการสุ่ม จัดเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ไม่มีการตรวจพบสารปนเปื้อนใดๆ เลยในพื้นที่ศึกษา

- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบสุ่มและแบ่งพื้นที่ (Stratified Random)

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างวิธีนี้จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก โดยใช้ลักษณะทางภูมิประเทศที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเป็นเกณฑ์ในการกำหนดจุดแบ่งพื้นที่ จากนั้นจึงทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างแบบสุ่มในพื้นที่ขนาดเล็กที่แบ่งไว้แล้วดังกล่าวข้างต้น วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่มีพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่มาก และมีความแตกต่างกันของลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะการใช้พื้นที่ (Land Use) และลักษณะทางธรณีวิทยาอย่างสิ้นเชิง

- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster)

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้จะเลือกตำแหน่งของกลุ่มโดยการสุ่ม จากนั้นจึงทำการกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างภายในกลุ่มด้วยวิธีการสุ่มเช่นเดียวกัน การกำหนดตำแหน่ง

เก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้อาจก่อให้เกิด Bias ขึ้นในชุดข้อมูลได้ เนื่องจากการกระจายตัวของตำแหน่งเก็บตัวอย่างไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา แต่มีความเหมาะสมสำหรับกรณีที่ทราบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลจากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างเพื่อทำ Screening ก่อน

- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic)

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างวิธีนี้จะต้องการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็กเท่าๆกันโดยใช้การตีกริด จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาดเล็กนั้นซึ่งโดยปกติจะทำการเก็บบริเวณจุดกึ่งกลางพื้นที่ วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมเมื่อต้องการกำจัด Bias ออกจากชุดข้อมูล แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงเนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่เก็บมีจำนวนมาก ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีขนาดเล็ก

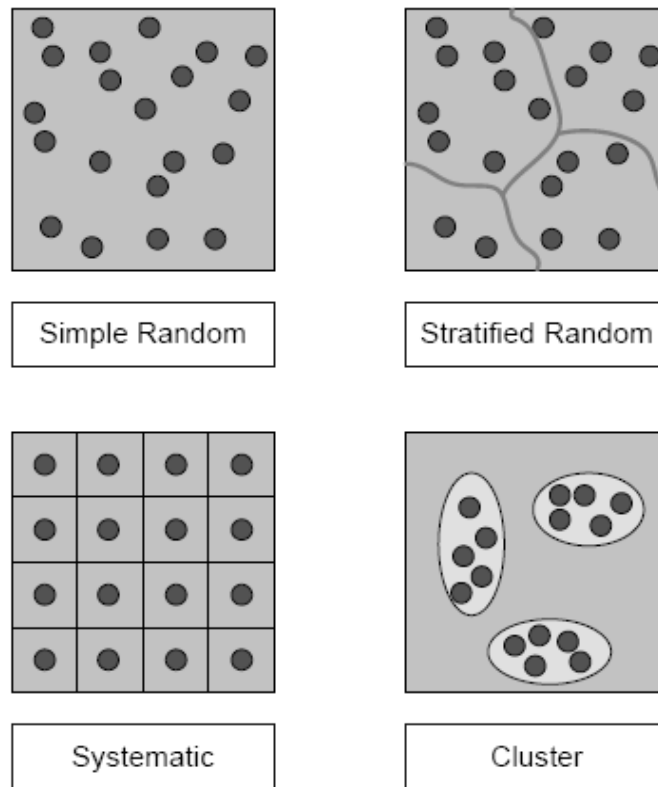
- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบไร้กฎเกณฑ์ (Haphazard Sampling)

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างลักษณะนี้ไม่มีกฎเกณฑ์ใดๆ เนื่องจากข้อมูลถูกสุ่มมิติให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ศึกษา ดังนั้นการเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งใดๆในพื้นที่ศึกษาจะให้ค่าเท่ากันเสมอ วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมนักเนื่องจากข้อมูลในธรรมชาติมักมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ

- การกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างแบบใช้ประสบการณ์ (Judgment Sampling)

วิธีการกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่างนี้อาศัยความชำนาญของผู้ทำการเก็บตัวอย่างส่งผลให้คุณภาพของข้อมูลขึ้นอยู่กับประสบการณ์การทำงานของบุคคลนั้นๆ

ลักษณะการเก็บตัวอย่างดังกล่าวข้างต้นแสดงอยู่ในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 ลักษณะการเก็บตัวอย่างดิน

### 3.2 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และศึกษารอยแตกของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์

น้ำบาดาลเป็นน้ำที่อึดตัวอยู่ในช่องว่างและรอยแตกของหิน หินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษาเป็นหินปูนที่มีรอยแตก ซึ่งรอยแตกในหินปูนมีความไม่แน่นอนทั้งขนาด ทิศทางและความต่อเนื่องของรอยแตก ดังนั้นการศึกษาลักษณะการวางตัวและรอยแตกของหินในบริเวณพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง จึงมีความสำคัญต่อการศึกษาการไหลของน้ำบาดาลที่เป็นตัวกลางในการพาสารปนเปื้อนไปยังพื้นที่เสี่ยงรอบข้าง รอยแตกของหินขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา ซึ่งจากการสำรวจภาคสนาม (11-14 ตุลาคม 2549) พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ในบางบริเวณของภูเขาหินปูน ซึ่งจัดอยู่ในหมวดหินเขาขาด (Pkd) พบหน้าผาหินปูนที่มีรอยแตกจำนวนมาก ส่วนพื้นที่ราบพบป่าช้าหินปูน (lapies) (รูปที่ 2-11 จุดสำรวจสถานีที่ 1) และจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ การสำรวจหินโผล่ และวัดแนวการวางตัวของหิน พบว่าทิศทางการวางตัวหลักของรอยแตกมี 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในแนว 26 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2-11 ส่วนในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง รองรับด้วยหินปูนสีเทาเข้มจนถึงเทาอ่อน ซึ่งจัดอยู่ในหน่วยหินเขาขาด (Pkd) มีดินสีแดง (Terra Rosa) ปกคลุมพื้นที่ การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหินและรอยแตกของหินในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงด้วยการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินโดยใช้วิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้า และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดิน (การหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ) โดยใช้เครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ (caliper log) และเครื่องถ่ายโทรทัศน์วงจรมืด (television log) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบรอยแตกในหินปูนได้อย่างชัดเจน (ASTM, 2000) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดิน

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ ระหว่างวันที่ 29 พฤศจิกายน 2549 - 1 ธันวาคม 2549 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง เพื่อวิเคราะห์ความลึกที่พบหินปูน และลักษณะของรอยแตก มีวิธีการศึกษาดังนี้

1) การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยาบ จำนวน 2 แนว (L1 และ L2) โดยวางขั้วอิเล็กโทรดแบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole) แนวที่ 1 (L1) ระยะห่างของ

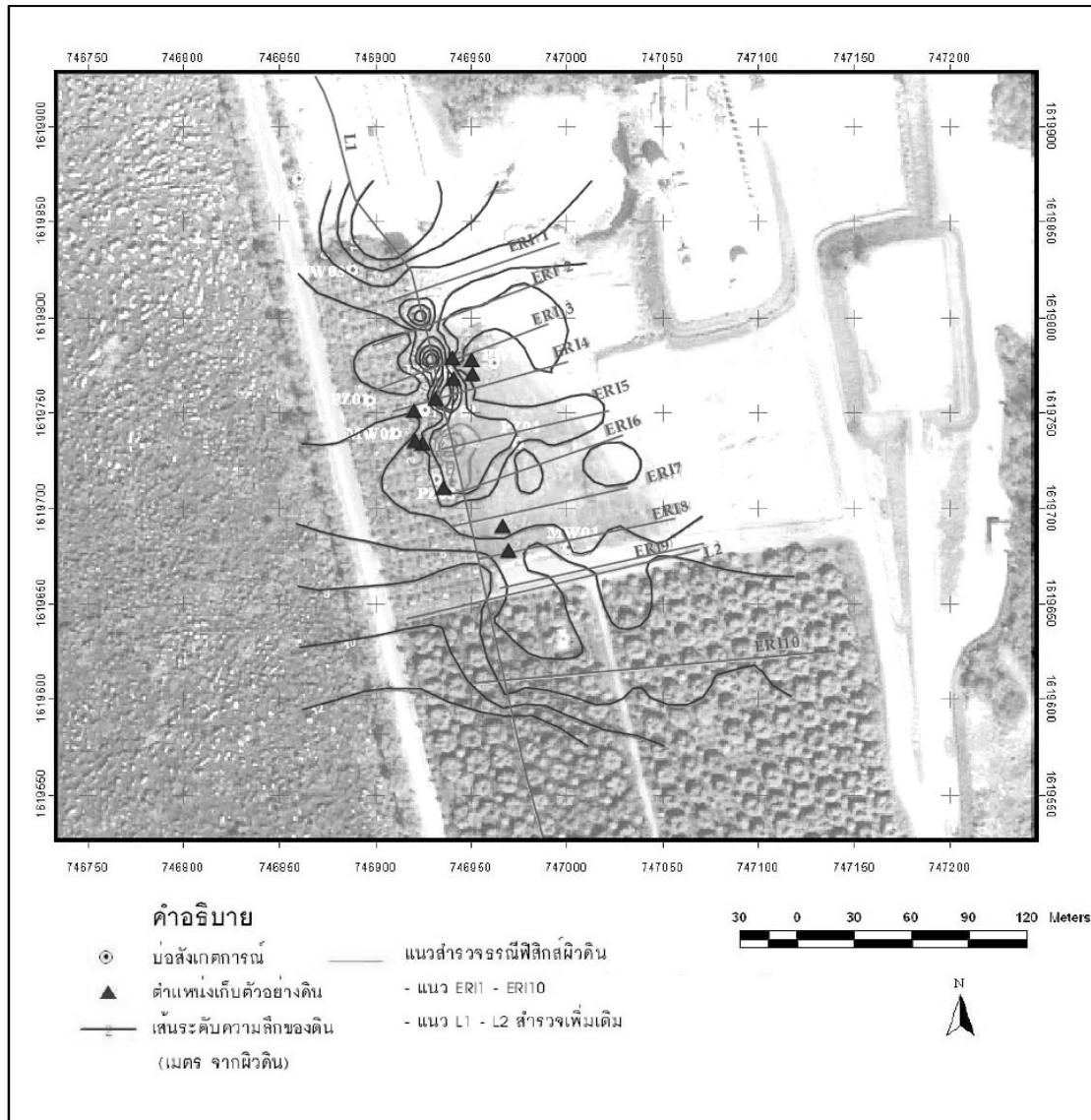


ขั้วอิเล็กโทรดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า เริ่มต้นที่ 50 เมตร ขยายระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด ครึ่งละ 50 เมตร จนถึงระยะ 750 เมตร ส่วนแนวที่ 2 (L2) ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า เริ่มต้นที่ 5 เมตร และขยายระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเป็น 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 เมตร จนถึงระยะ 150 เมตร (ภาคผนวก ง)

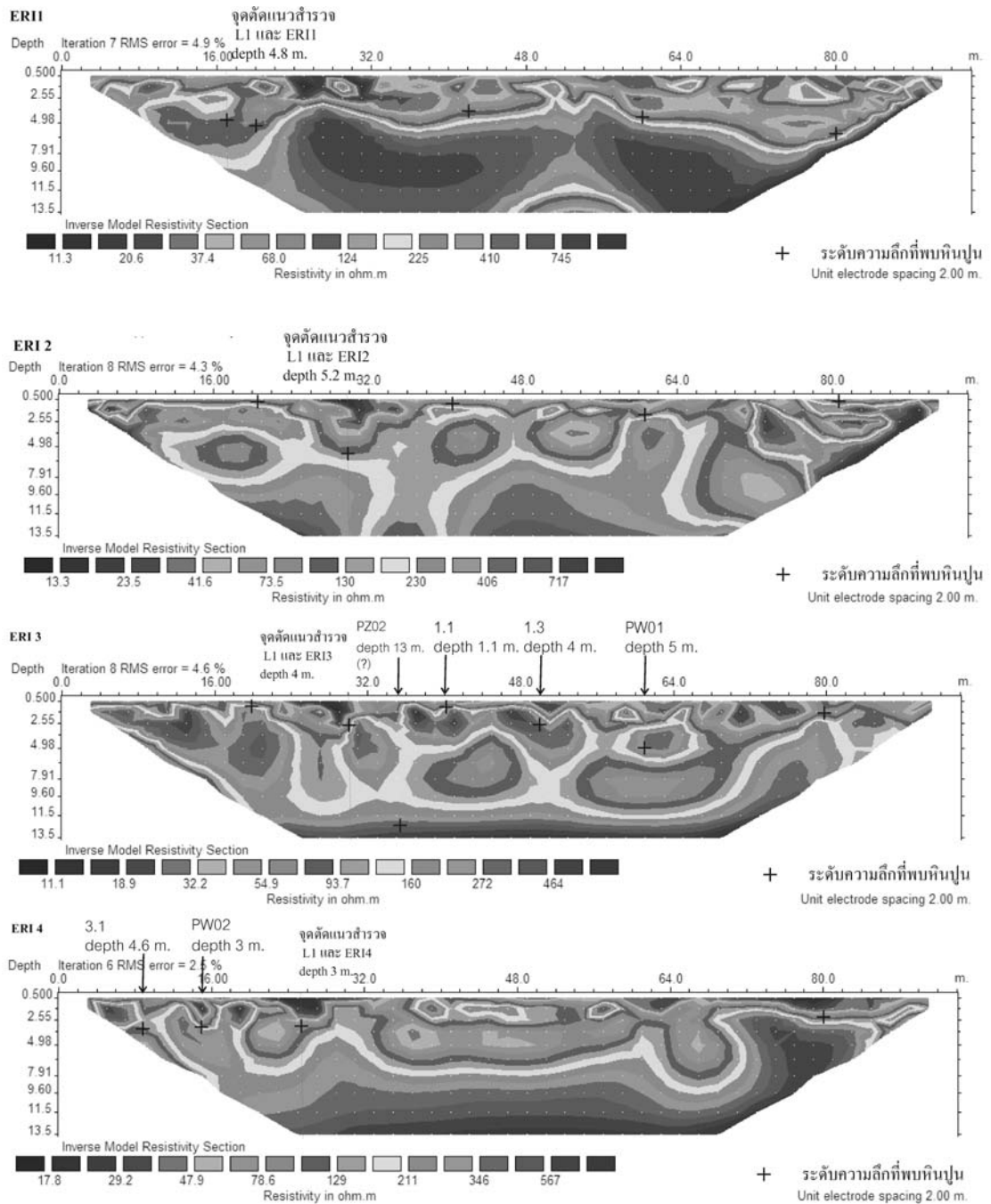
2) การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบละเอียด จำนวน 2 แนว (L1 และ L2) โดยวางขั้วอิเล็กโทรดเวนเนอร์ (Wenner array) แนวที่ 1 (L1) ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า มีระยะห่าง 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, และ 130 เมตร ระยะทางสำรวจประมาณ 400 เมตร แนวที่ 2 (L2) ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า มีระยะห่าง 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 เมตร ระยะทางสำรวจ 150 เมตร (ภาคผนวก ง)

3) การแปลความจากข้อมูลการสำรวจโดยการสร้างภาพตัดขวางด้วยโปรแกรม RES2DINV (รูปที่ 3-4 แนว L1, L2 และภาคผนวก จ)

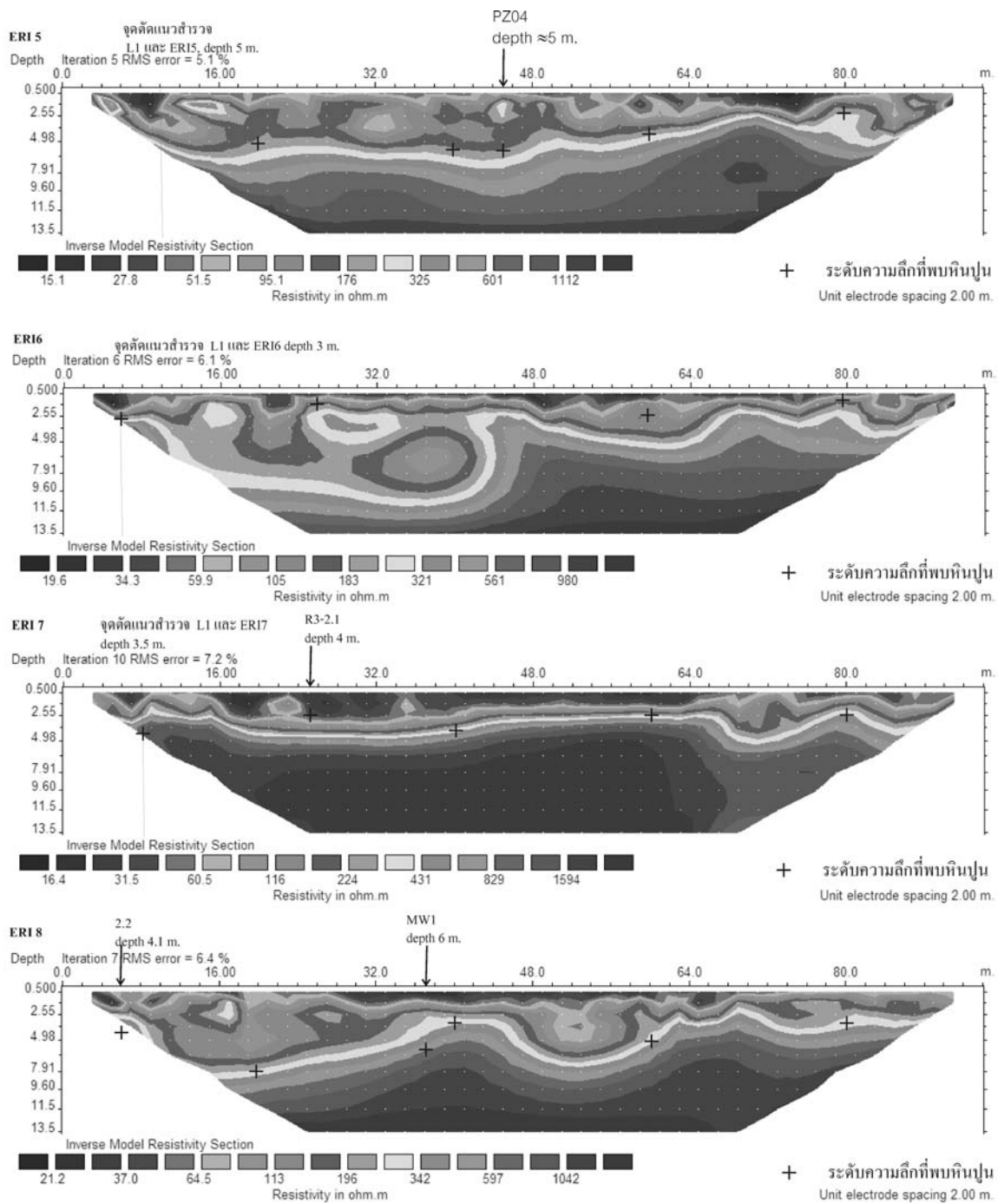
ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3-5 ถึงรูปที่ 3-7 จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์เพิ่มเติม จำนวน 2 แนว (แนว L1, L2) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเดิมของกรมทรัพยากรธรณี จำนวน 10 แนว (ERI1-ERI10) สามารถแปลความหมายสภาพใต้ผิวดินได้ว่า ที่ความลึกประมาณ 1-12 เมตร เป็นตะกอนดิน จากนั้นเป็นหินปูนเนื้อแน่น ผิวนบนของหินปูนมีลักษณะขรุขระเนื่องจากการผุกร่อน ดังแสดงในรูปที่ 3-4 และจากข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินดังกล่าวไม่สามารถใช้อธิบายรอยแตกในพื้นที่ศึกษาได้



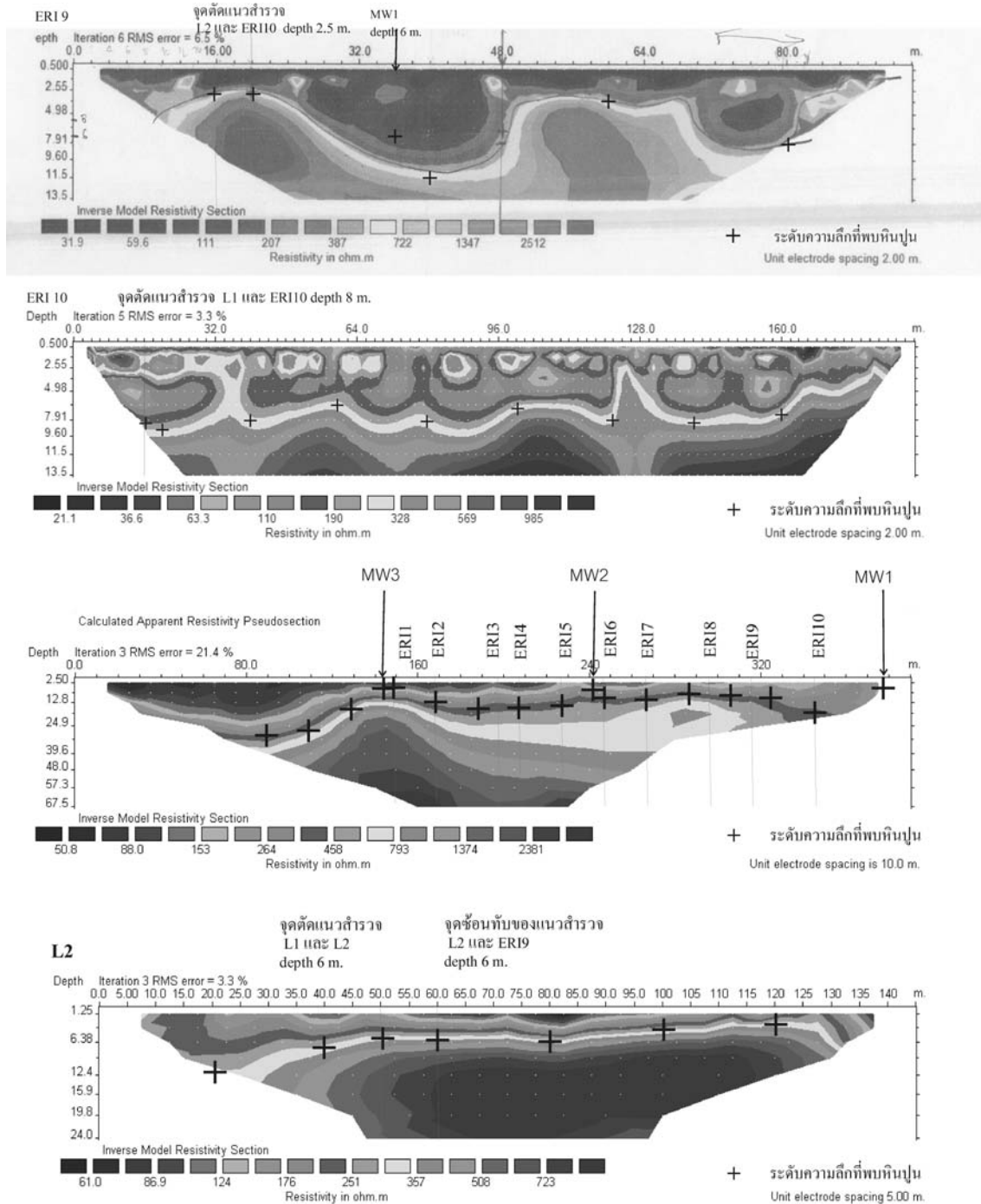
รูปที่ 3-4 แผนที่แสดงระดับความลึกของดินที่ปิดทับหินปูน



รูปที่ 3-5 ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI1-ERI4



รูปที่ 3-6 ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI5-ERI8



รูปที่ 3-7 ผลการแปลความหมายของข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในแนว ERI9-ERI10 และ L1-L2

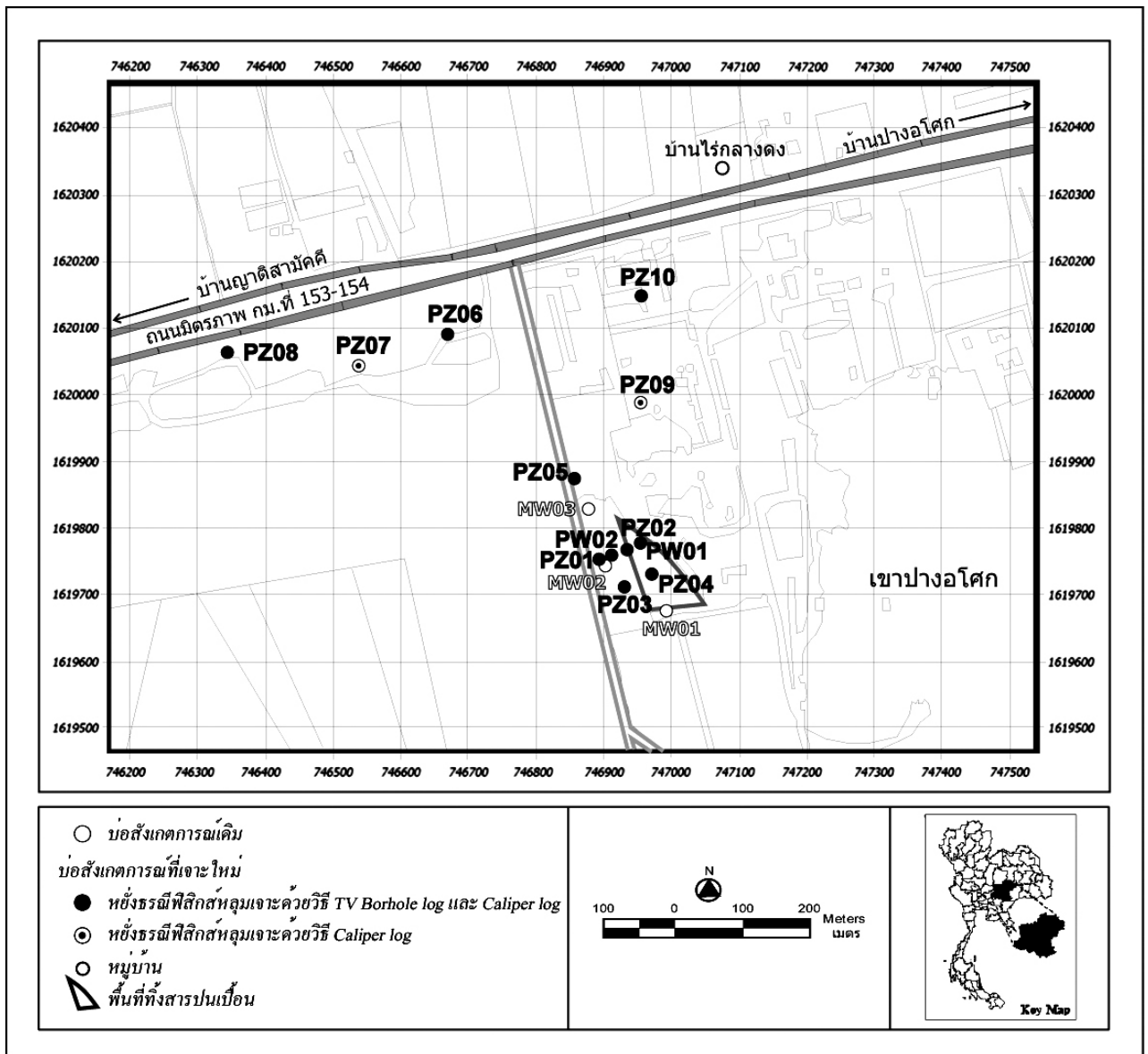
### 3.2.2 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดิน

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินเป็นการหั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะเพื่อตรวจสอบชนิดของหิน การวางตัวของรอยแตก และใช้แปลความการวางตัวของหินและรอยแตกระหว่างหลุมเจาะ วิธีการหั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะที่สามารถสำรวจรอยแตกในหินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การใช้เครื่องถ่ายโทรทัศน์วงจรมัด (television หรือ video log) เครื่องวัดอุณหภูมิ (temperature log) เครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ (caliper log) เครื่อง acoustic televiwer เครื่องวัดความเร็วการไหลของของเหลว (flow meter) เป็นต้น หากมีความจำกัดด้านงบประมาณ วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจหารอยแตกของหินจากหลุมเจาะคือวิธี television log ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทั้งตำแหน่งและแนวการวางตัวของรอยแตกในหิน และควรใช้ร่วมกับวิธี caliper log ซึ่งสามารถวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลความ (American Society for Testing and Materials; ASTM, 2000)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้วิธีการหั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ 2 วิธีร่วมกัน ได้แก่ television log และ caliper log เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์รอยแตกของหินปูน การหั่ง caliper log ได้สำรวจในบ่อเจาะ จำนวน 12 บ่อ และ television log จำนวน 10 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 3-8 และตารางที่ 3-4 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1) การสำรวจด้วยเครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ (caliper log)

การหั่ง caliper log ดำเนินการหลังจากเจาะบ่อสังเกตการณ์แล้วเสร็จ โดยดำเนินการสำรวจ 2 ช่วง ช่วงแรกสำรวจวันที่ 6-7 เดือนกุมภาพันธ์ 2550 หลังจากเจาะบ่อ PZ01 ถึง PZ04 จำนวน 4 บ่อแล้วเสร็จ เพื่อประเมินสภาพธรณีวิทยา แนวการวางตัวของรอยแตกของหินปูนในบริเวณนี้ก่อนที่จะดำเนินการเจาะบ่อสังเกตการณ์บริเวณอื่นต่อไป ช่วงที่สองได้ทำการสำรวจระหว่างวันที่ 21-23 กุมภาพันธ์ 2550 เมื่อเจาะบ่อสังเกตการณ์ที่เหลืออีก 8 บ่อแล้วเสร็จ เครื่องมือที่ใช้ผลิตโดยบริษัท Mount Sopris Instrument Company รุ่น CTT-2492 combination caliper-temperature probe ซึ่งมีความยาว 58.6 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.16 นิ้ว เป็นเครื่องหั่งธรณีหลุมเจาะที่สามารถวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะได้ระหว่าง 1.5 ถึง 19.8 นิ้ว ซึ่งนิยมใช้โดยทั่วไปในการตรวจสอบรอยแตกในหินแข็ง การทำงานของเครื่อง caliper



รูปที่ 3-8 ตำแหน่งการสำรวจธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ

**ตารางที่ 3-4 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และวันที่หยั่งธรณีพีสิกส์หลุมเจาะ**

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ความลึก เจาะ (ม.)	วันที่หยั่ง CALIPER (จ/ต/ป)	วันที่หยั่ง TV_BOREHOLE (จ/ต/ป)
1	PW01	746962	1619776	50	21/2/50	22-24/2/50
2	PW02	746926	1619751	60	21/2/50	22-24/2/50
3	PZ01	746897	1619756	60	6/2/50	6/2/50
4	PZ02	746938	1619771	50	6/2/50	22-24/2/50
5	PZ03	746932	1619715	48	21/2/50	22-24/2/50
6	PZ04	746975	1619734	48	21/2/50	22-24/2/50
7	PZ05	746860	1619872	60	21/2/50	22-24/2/50
8	PZ06	746675	1620089	70	22/2/50	22-24/2/50
9	PZ07	746532	1620048	25	21/2/50	-
10	PZ08	746351	1620056	60	23/2/50	22-24/2/50
11	PZ09	746950	1620005	30	22/2/50	-
12	PZ10	746954	1620147	50	23/2/50	22-24/2/50

หมายเหตุ: รายละเอียดการเจาะและตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ดังตารางที่ 3-10



ใช้หลักการทาง mechanic ซึ่งวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะโดยใช้สามขาที่ยื่นออก จากตอนปลายของแกนตัวเครื่องมีลักษณะคล้ายขาร่วมที่สามารถหุบและกางออกได้สามขานี้จะ ควบคู่กับผนังบ่อขึ้นมาจากระดับลึกสุดของบ่อ การปรับเทียบเครื่องมือ (calibration) เพื่อให้ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางที่อ่านได้มีความถูกต้อง การปรับเทียบขนาดการกางของสามขาที่บวงแหวน เหล็ก (calibrate ring) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 และ 7 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3-9 เมื่อ ปรับเทียบแล้วจึงหย่อน caliper probe ลงไปจนถึงก้นบ่อหรือระดับลึกสุดที่เครื่องมือสามารถลงไป ได้จากนั้นกางสามขาของ caliper ออก และดึง caliper probe ขึ้นมาด้วยความเร็วคงที่จนถึง บริเวณปากบ่อ ค่าที่อ่านได้เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่อที่เฉลี่ยจากทั้งสามขาที่ระดับความลึก ต่างๆ

## 2) การสำรวจด้วยเครื่องถ่ายโทรทัศน์วงจรปิด (television log)

การหยั่ง television log เป็นการให้เครื่องโทรทัศน์วงจรปิดหย่อนลงไปในหลุมเจาะและถ่ายภาพ ต่อเนื่องตั้งแต่ตอนบนลงไปถึงตอนล่างสุดของบ่อที่เครื่องสามารถเคลื่อนที่ลงไปได้ เครื่องมือที่ใช้ ผลิตโดยบริษัท Laval Underground Survey R-10 รุ่น dual color TV camera ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 3 นิ้ว 4 หุน ยาว 48 นิ้ว ความละเอียดของภาพ 683x492v pixel สามารถถ่ายภาพได้ ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ภาพที่ถ่ายได้จะปรากฏบนจอภาพพร้อมทั้งมีการ บันทึกภาพลงใน วีดีโอเทป การหยั่ง television log ดำเนินการระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2550 และวันที่ 22-24 กุมภาพันธ์ 2550 จำนวน 10 บ่อ แสดงดังรูปที่ 3-10



(ก) เครื่อง caliper log และวงแหวนเหล็ก  
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 และ 7 นิ้ว



(ข) การปรับเทียบสามขา กับวงแหวนเหล็ก 7 นิ้ว



(ค) ลักษณะ caliper probe และสามขาหลังจาก  
หยั่งหลุมเจาะแล้วเสร็จ



(ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกและประมวลผล  
การหยั่ง caliper log

### รูปที่ 3-9 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินโดยใช้เครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ



(ก) การเตรียม television log และตรวจสอบสภาพ  
เครื่องมือก่อนหยั่งในหลุมเจาะ



(ข) ตำแหน่งของกล้องโทรทัศน์ บริเวณตอนปลายของ  
เครื่องมือเพื่อถ่ายภาพจากมุมมองด้านบน (top view)  
และด้านข้าง (side view)



(ค) การหยั่ง television log ที่หลุมเจาะ

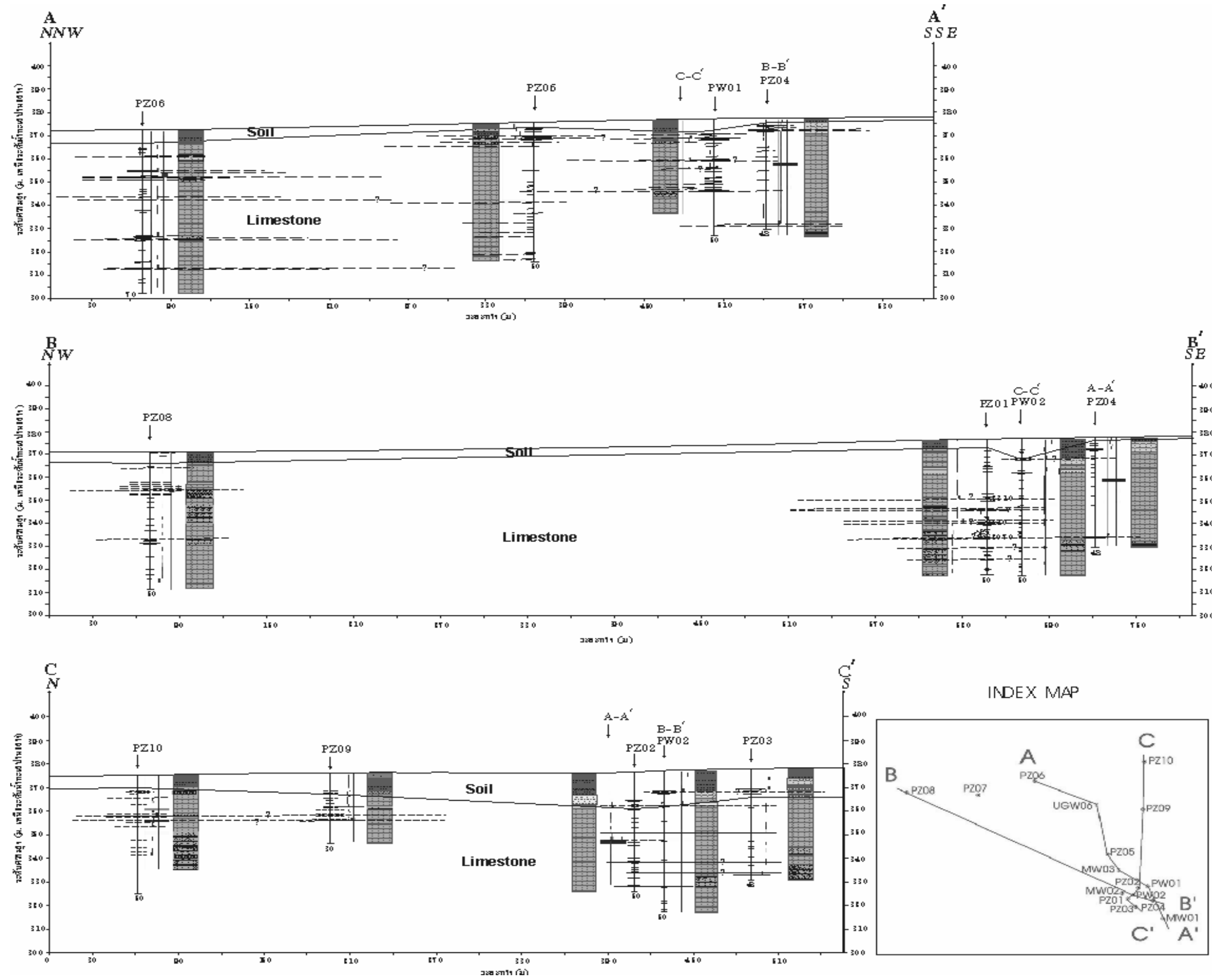


(ง) อุปกรณ์จอภาพ พร้อมทั้งวีดีโอเทปบันทึกข้อมูล

### รูปที่ 3-10 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินโดยใช้เครื่องถ่ายโทรทัศน์วงจรมัด

### 3.2.3 สรุปลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหินจากการศึกษาด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์

ผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า พบว่าตะกอนดินที่ปกคลุมหินปูนหน่วยหินเขาขาดบริเวณพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง มีความหนาประมาณ 1-12 เมตร และจากข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินดังกล่าวไม่สามารถใช้อธิบายรอยแตกในพื้นที่ศึกษาได้ ส่วนผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ พบว่ารอยแตกในแนวนอนมีมากกว่ารอยแตกในแนวตั้งโดยเฉพาะในบ่อ PZ01 (ในพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อน) บ่อ PZ06 บ่อ PZ07 (ตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อน) บ่อ PZ09 และบ่อ PZ10 (ตั้งอยู่ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อน) รอยแตกขนาดใหญ่พบที่ความลึกประมาณ 10-20 เมตร (ไม่มีน้ำในรอยแตก) และในช่วง 20-30 และ 45-50 เมตร เป็นรอยแตกที่ให้น้ำ นอกนั้นเป็นรอยแตกขนาดเล็กปรากฏตลอดความลึกบ่อ ส่วนรอยแตกในแนวตั้งมีระยะประมาณ 1-3 เมตร และทิศทางการวางตัวไม่แน่นอน อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถเชื่อมต่อย่อยรอยแตกระหว่างบ่อได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3-11 จากภาพ television log สามารถประเมินปริมาณรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหิน ได้ประมาณร้อยละ 10-45 ดังแสดงในรูปที่ 3-14 ถึงรูปที่ 3-25



รูปที่ 3-11 ภาพตัดขวาง A-A' B-B' และ C-C' แสดงการวางตัวและลักษณะรอยแตกของหินในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน และบริเวณใกล้เคียง จากการแปลความข้อมูลการสำรวจด้วยเทคนิคธรณีฟิสิกส์

### 3.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน

การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาของทางคณะที่ปรึกษาใช้หลักเกณฑ์การเก็บตัวอย่างในลักษณะเพื่อการสำรวจและเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม และกำหนดตำแหน่งการเก็บตัวอย่างแบบกลุ่มผสมผสานกับการเก็บตัวอย่างแบบใช้ประสบการณ์ช่วยในการวางตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ โดยคณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินเพิ่มเติมที่ความลึกระหว่าง 2-5 เมตรจากระดับผิวดินในปัจจุบัน ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างดินกำหนดจากข้อมูลการวิเคราะห์น้ำเบื้องต้นจากกรมควบคุมมลพิษ กล่าวคือมีการตรวจพบความเข้มข้นของสารปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งในดินและในน้ำใต้ดิน โดยที่ตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ทำการเก็บจากบ่อสังเกตการณ์ MW02 พบสาร VOCs มากที่สุดและมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน ในขณะที่ตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสาร VOCs จากบ่อสังเกตการณ์ MW01 และ MW03 นั้นพบปริมาณสาร VOCs มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)

ข้อสังเกตสำคัญจากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้นี้คือมีหลักฐานแสดงให้เห็นว่าการจัดการลอกเอาหน้าดินที่ปนเปื้อนด้วยกากสารเคมีไปกำจัดในเบื้องต้นอาจเป็นการแก้ปัญหาที่ไม่สมบูรณ์ และไม่รวดเร็วเพียงพอ ส่งผลให้กากสารเคมีบางส่วนซึมลงสู่ชั้นดินในระดับลึกและไหลลงสู่แอ่งน้ำบาดาลในพื้นที่ในที่สุด นอกจากนี้แล้วกากสารเคมียังมีการสะสมตัวในบริเวณใกล้กับบ่อสังเกตการณ์ MW02 แต่ทว่าข้อมูลการปนเปื้อนในดินที่กรมควบคุมมลพิษทำการวิเคราะห์ในเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบสารปนเปื้อนที่ตกค้างในพื้นที่หลังจากมีการขุดลอกดินปนเปื้อนไปทั้งนี้ไม่เพียงพอเนื่องจากระดับความลึกของดินที่ทำการทดสอบอยู่ระหว่าง 1-2 เมตรจากระดับผิวดินเท่านั้น ทำให้ขาดข้อมูลการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำตั้งแต่ความลึก 2 เมตรขึ้นไป

ปัจจุบันข้อมูลสารปนเปื้อนที่ตกค้างในดินมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพการปนเปื้อนหลังเกิดเหตุการณ์ลักลอบกลบฝังกากสารเคมีในพื้นที่ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ การดำเนินการขุดลอกหน้าดินที่ปนเปื้อนอย่างหนักออกไปเพื่อทำการบำบัดอันเป็นมาตรการการกำจัดแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนบนผิวดินออกไป และได้มีการนำดินใหม่ที่ปราศจากการปนเปื้อนมากลบทับให้ได้ระดับดินใกล้เคียงระดับเดิม นอกจากนี้สารปนเปื้อนที่มีการตรวจพบโดยกรมควบคุมมลพิษในน้ำใต้ดินคือสารจำพวก VOCs ซึ่งมีความดันไอสูงจึงสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ดังนั้นคณะที่ปรึกษาคาดการณ์ว่าสารปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์ระเหยในดินจะเหลือตกค้าง

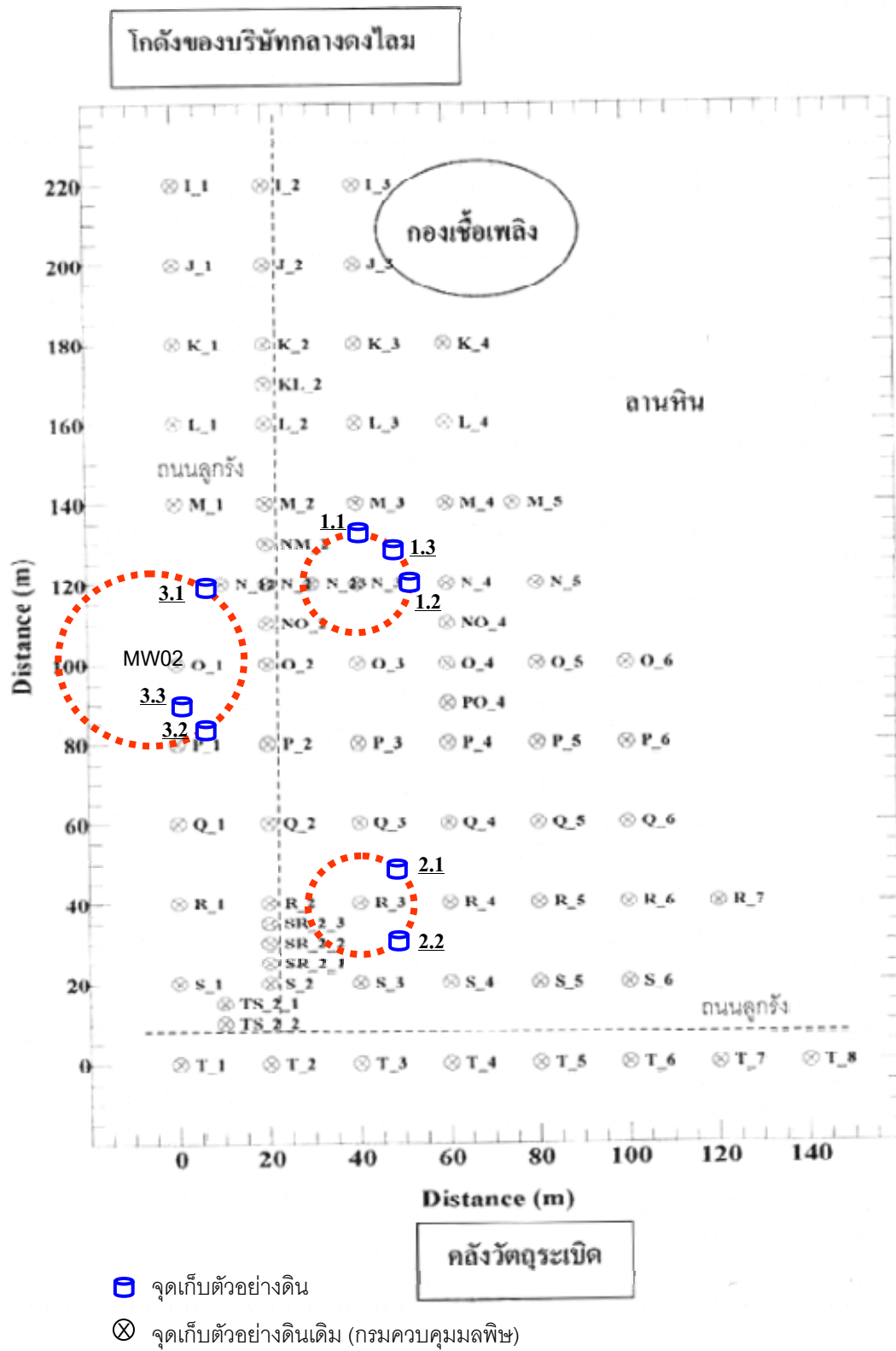
จนถึงปัจจุบันเป็นปริมาณน้อยและในบางบริเวณโดยเฉพาะในดินระดับตื้นอาจจะไม่สามารถตรวจพบสารปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์ระเหยอีก

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นคณะที่ปรึกษาจึงได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกจากระดับผิวดินลงไปประมาณ 2-5 เมตร เพื่อวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนที่ยังคงตกค้างในดิน โดยยึดมาตรฐานน้ำใต้ดินของประเทศไทยเป็นหลัก เน้นการวิเคราะห์สารปนเปื้อนทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ สาร VOCs โลหะหนัก และสารกำจัดศัตรูพืช

แม้ว่าข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษจะแสดงให้เห็นว่าไม่มีการตรวจพบโลหะหนักในตัวอย่างดินและน้ำที่ทำการเก็บมาตรวจวิเคราะห์ก็ตาม แต่ทางคณะที่ปรึกษาจะยังคงทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างดินที่เก็บใหม่นี้ เนื่องจากเหตุการณ์การลักลอบกลบฝังกากสารเคมีในพื้นที่ศึกษาเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วและสารอินทรีย์ระเหยที่ตกค้างในดินน่าจะระเหยไปแล้วเป็นส่วนใหญ่ทำให้ยากต่อการตรวจสอบ ในขณะที่กระบวนการดูดซับโดยดินเป็นกระบวนการสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจำพวกโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดบนผิวดินลงสู่ใต้ดิน จึงมีความเป็นไปได้สูงกว่า ถ้าจะทำการติดตามตรวจสอบสารปนเปื้อนจำพวกโลหะหนักที่ยังคงตกค้างอยู่ในดินในปัจจุบัน เพื่อนำข้อมูลการปนเปื้อนที่ได้วิเคราะห์เพิ่มเติมมาประกอบกับข้อมูลการปนเปื้อนเบื้องต้นที่วิเคราะห์โดยกรมควบคุมมลพิษดังกล่าวแล้วข้างต้นมาดำเนินการสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ และกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนต่อไป ดังรายละเอียดในบทที่ 4

### 3.3.1 การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิค Rotary Drilling

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของสารเคมีในดิน คณะที่ปรึกษาได้ใช้เครื่องเจาะบ่อน้ำบาดาลแบบ Semi-Manual Rotary Drilling Machine รุ่น PAT-Drill 201 ซึ่งเป็นเครื่องที่มีน้ำหนักเบา สะดวกในการเคลื่อนย้าย และใช้พื้นที่ในการทำงานน้อย โดยการเจาะเก็บตัวอย่างดินครั้งนี้คณะที่ปรึกษาได้พัฒนาหัวเจาะแบบ Coring มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.5 นิ้ว ก้านเจาะมีความยาว 1 เมตร ดังภาพผนวก-ซ ทั้งนี้คณะที่ปรึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน 3 กลุ่ม ๆ ละ 2 จุด ที่ระดับความลึก 2-5 เมตร ดังรูปที่ 3-12 และตารางที่ 3-5



รูปที่ 3-12 จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง



### ตารางที่ 3-5 ตำแหน่งและความลึกการเจาะเก็บตัวอย่างดิน

หมายเลข จุดเจาะ	ความลึกเจาะ (เมตร)	ความลึกที่เก็บตัวอย่างดิน (เมตร)
1.1	1.1	-
1.2	3.8	2.0, 3.0, 3.8
1.3*	4.0	2.0, 3.0, 4.0
2.1	4.0	2.0, 3.0, 4.0
2.2	4.1	2.0, 3.0, 4.0
3.1	4.6	2.0, 3.0, 4.0, 4.6
3.2	1.1	-
3.3**	1.2	1.2

หมายเหตุ \* ปรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินจากจุด 1.1 เนื่องจากเจอชั้นหินปูน

\*\* ปรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินจากจุด 3.2 เนื่องจากเจอชั้นหินปูน

### 3.3.2 การตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน

คณะที่ปรึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง ดังรายละเอียดที่ได้กล่าว เพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนประเภทต่าง ๆ โดยสารอินทรีย์ระเหยทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography โลหะหนักทำการตรวจด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrometers และสารกำจัดศัตรูพืชทำการตรวจด้วยวิธี Gas Chromatography พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3-6

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินครั้งนี้ จะนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน และประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยต่อไป

**ตารางที่ 3-6** พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในดิน

สารอินทรีย์ระเหย	โลหะหนัก	สารกำจัดศัตรูพืช
1,2-Dichloroethane	Arsenic	a-BHC
1,1,1-Trichloroethane	Cadmium	b-BHC
1,1,2-Trichloroethane	Chromium Hexavalent	c-BHC
1,1-Dichloroethylene	Lead	d-BHC
trans-1,2-Dichloroethylene	Nickel	Heptachlor
Ethybenzene	Copper	Aldrin
Tetrachloroethylene	Manganese	Heptachlor Epoxide
Trichloroethylene	Zinc	Endosulfan I
Styrene	Selenium	p,p-DDE
m-Xylene	Mercury	Dieldrin
o-Xylene		Endrin
cis-1,2-Dichloroethylene		Endosulfan II
Benzene		p,p-DDD
Carbon Tetrachloride		Endrin Aldehyde
Toluene		Endosulfan Sulphate
Dichloromethane		p,p-DDT
		Chordane
		2,4-D
		Atrazine
		Pentachlorophenol

จากผลการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในดิน ด้วยวิธี Purge and Trap/Gas chromatographic (FID) method จำนวน 18 ตัวอย่าง ที่ระดับชั้นดิน 2-5 เมตร พบว่าไม่พบสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 15 พารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3-7 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างดินและวันที่เกิดเหตุการณ์ลักลอบฝังกลบจนถึงปัจจุบัน ห่างกันเป็นเวลาประมาณ 2 ปี ซึ่งจากคุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยที่มีความดันไอสูง จึงสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าสารปนเปื้อนชนิดอื่น นอกจากนี้ยังได้มีการขุดลอกหน้าดินเดิมที่ปนเปื้อนออกไปบำบัด และนำดินใหม่ที่ปราศจากการปนเปื้อนมากลบบท (ประมาณ 1 เมตร) ทำให้สารอินทรีย์ระเหยที่เหลือตกค้างอยู่จนถึงปัจจุบันมีปริมาณน้อย จึงอาจเป็นสาเหตุให้ตรวจไม่พบการตกค้างของสารดังกล่าวในชั้นดินในบริเวณที่ทำการสุ่มตรวจ และสารอินทรีย์ระเหยบางส่วนอาจจะเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง สำหรับผลการสุ่มตรวจวิเคราะห์หาสารกำจัดศัตรูพืช ด้วยวิธี Purge and Trap/Gas chromatographic (FID) method ที่ระดับชั้นความลึก 3 เมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง (2.1-3) ตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่ม Organochlorine ทั้ง 16 พารามิเตอร์ เช่นกัน ดังตารางที่ 3-8

ผลการสุ่มตรวจวิเคราะห์โลหะหนักจากตัวอย่างดิน จำนวน 3 ตัวอย่าง (1.2-3, 2.1-3 และ 3.1-3) ที่ระดับชั้นความลึก 3 เมตร ด้วยวิธี Acid Digestion and Hydride Generation AAS method, Acid Digestion and Direct Air Acetylene Flame method และ Acid Digestion and Cold Vapor AAS method ตามประเภทของโลหะหนัก ตรวจพบโลหะหนัก 8 ชนิด คือ Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead, Manganese, Nickle, Copper และ Zinc โดยพบ Arsenic เกินระดับมาตรฐานคุณภาพดินประมาณ 10 เท่า ทั้ง 3 ตัวอย่าง ค่าแสดงดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-7 ผลการตรวจวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหยในดิน

Parameters	Result (ppm)																					ST	DL					
	1.3			1.2			2.1			2.2			3.1			3.2			3.3									
	1.3-2	1.3-3	1.3-4	1.2-2	1.2-3	1.2-4	2.1-2	2.1-3	2.1-4	2.2-2	2.2-3	2.2-4	3.1-2	3.1-3	3.1-4	3.2-1.1	3.2-1.2	3.3-1.1	3.3-1.2									
	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1									
<b>VOCs</b>	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1								
Benzene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	6.5	1						
Carbon Tetrachloride	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.5	1					
1,2-Dichloroethane	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3.5	1				
1,1-Dichloroethylene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0.5	1			
cis-1,2-Dichloroethylene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	43	1		
trans-1,2-Dichloroethylene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	63	1	
Dichloromethane	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	89	1
Ethylbenzene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	230	1
Styrene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,700	1
Tetrachloroethylene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	57	1
Toluene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	520	1
Trichloroethylene	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	28	1
1,1,1-Trichloroethane	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	630	1
1,1,2-Trichloroethane	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	8.5	1
Total Xylenes	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	210	1

ST: มาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศกระทรวงสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547)

DL: Detection Limit  
sampling: NOV 2007

ตารางที่ 3-8 ผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในดิน

Parameters	Result (ppm)																						DL
	1.3			1.2			2.1			2.2			3.1			3.2			ST				
	1.3-2	1.3-3	1.3-4	1.2-2	1.2-3	1.2-4	2.1-2	2.1-3	2.1-4	2.2-2	2.2-3	2.2-4	3.1-2	3.1-3	3.1-4	3.1-4.6	3.2-1.1	3.2-1.2					
<b>Pesticides</b>																							
a - BHC	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	0.001	
b - BHC	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
c - BHC	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
d - BHC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
Heptachlor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	0.001	
Aldrin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
Heptachlor epoxide	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.001	
Endosulpan I	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
p,p-DDE	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
Dieldrin	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.001	
Endrin	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
Endosulfan II	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	
p,p-DDD	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	
Endrin aldehyde	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	
Endosulfan sulfate	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	
p,p-DDT	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	0.002	
Chlordane	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	0.002	
2,4-D	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	690	0.002	
Atrazine	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	0.002	
Pentachlorophenol	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	

ST: มาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547)

DL: Detection Limit  
sampling: NOV 2007

ตารางที่ 3-9 ผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

Parameters	Result (ppm)																				DL		
	1.3			1.2			2.1			2.2			3.1			3.2			3.3			ST	
	1.3-2	1.3-3	1.3-4	1.2-2	1.2-3	1.2-4	2.1-2	2.1-3	2.1-4	2.2-2	2.2-3	2.2-4	3.1-2	3.1-3	3.1-4	3.2-4	3.3-1.1	3.3-1.2					
<b>Heavy metals</b>																							
Arsenic	-	-	-	-	38.8	-	-	49.3	-	-	-	-	-	-	40.7	-	-	-	-	-	-	3.9	
Cadmium	-	-	-	-	1.18	-	-	<0.6	-	-	-	-	-	-	1.28	-	-	-	-	-	-	37	
Chromium	-	-	-	-	<0.6	-	-	200	-	-	-	-	-	-	<0.6	-	-	-	-	-	-	300	
Lead	-	-	-	-	42.6	-	-	30.1	-	-	-	-	-	-	37.2	-	-	-	-	-	-	400	
Manganese	-	-	-	-	26.6	-	-	353	-	-	-	-	-	-	28.3	-	-	-	-	-	-	1,800	
Mercury	-	-	-	-	0.127	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	23	
Nickel	-	-	-	-	104	-	-	5.3	-	-	-	-	-	-	78.6	-	-	-	-	-	-	1,600	
Copper	-	-	-	-	<0.6	-	-	46	-	-	-	-	-	-	154	-	-	-	-	-	-	-	
Zinc	-	-	-	-	29.9	-	-	66.2	-	-	-	-	-	-	70.6	-	-	-	-	-	-	-	
Selenium	-	-	-	-	<0.1	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	390	

ST: มาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547)

DL: Detection Limit  
sampling: NOV 2007

### 3.4 การสำรวจน้ำใต้ดิน

การสำรวจน้ำใต้ดินเป็นการสำรวจลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนและพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน โดยสำรวจขอบเขตและการแพร่กระจายของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ตรวจวัดระดับน้ำบาดาลและคุณภาพน้ำเบื้องต้น (EC, TDS, pH) จากบ่อที่มีในพื้นที่ ดำเนินการเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การรังวัดระดับความสูงของบ่อสังเกตการณ์ การสุบทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา และการประมวลผลสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะและรูปแบบการไหลของน้ำบาดาล และจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงมโนทัศน์และเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่ ซึ่งจะประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงและกระทบของสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ต่อไป รายละเอียดของการสำรวจด้านน้ำใต้ดิน มีดังต่อไปนี้

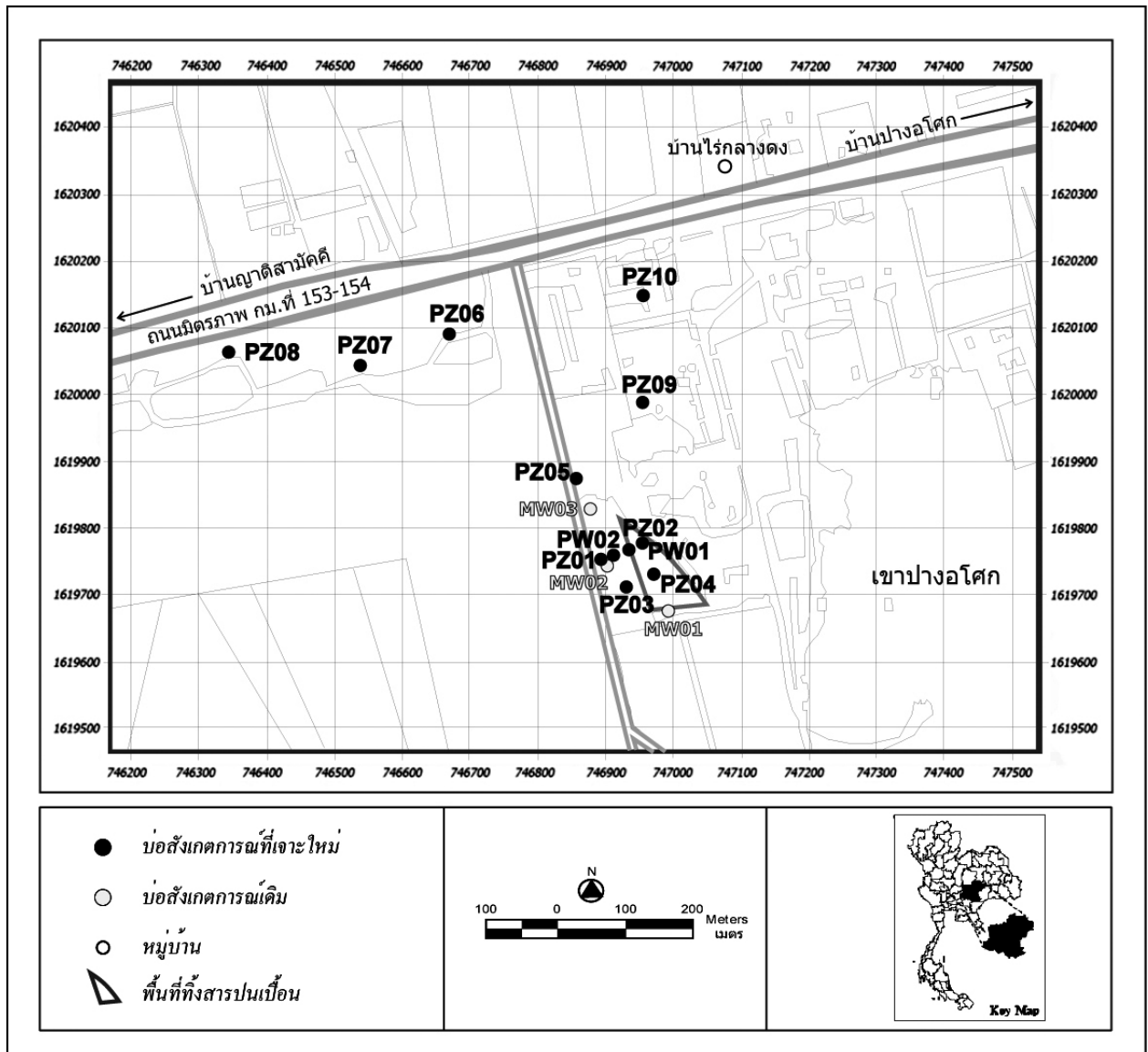
#### 3.4.1 การเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์

การเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะของชั้นดินชั้นหิน ติดตามการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ ตรวจวัดความลึกของระดับน้ำบาดาล (water level) และวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง การเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ตามข้อเสนอโครงการ (report proposal) ได้เสนอให้เครือข่ายบ่อที่เจาะมีลักษณะแบบกลุ่มบ่อสังเกตการณ์ภายในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน โดยมีบ่อทดสอบ 2 บ่อ ความลึกรวมไม่น้อยกว่า 100 เมตร และบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 9 บ่อ มีความลึกรวมไม่น้อยกว่า 400 เมตร โดยมีความลึกรวมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 500 เมตร จากการศึกษาและประมวลผลสภาพพื้นที่ในภาพกว้างของลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน คณะที่ปรึกษาลงความเห็นว่าควรที่จะปรับตำแหน่งที่เจาะบ่อสังเกตการณ์ให้มีความเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของงานที่ตั้งไว้ โดยพิจารณาจาก 1) ธรณีวิทยา 2) ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดิน 3) ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ระดับน้ำบาดาล (water level หรือ head) ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลโดยสังเขป 4) การใช้ น้ำและที่ดิน 5) การปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารเคมีบางชนิด 6) ความเหมาะสมในการเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ คณะที่ปรึกษาได้นำเรื่องการจัดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เข้าร่วมประชุมหารือกับคณะกรรมการตรวจสอบงานกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เมื่อวันที่ 17 มกราคม 2550 ซึ่งที่ประชุมเห็นควรให้ดำเนินการเจาะบ่อสังเกตการณ์ตามที่เสนอใหม่ ซึ่งอยู่โดยรอบบ่อ MW02 ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้น

ของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาลมากที่สุดก่อน และให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อที่เจาะเพิ่มเติม มาตรวจวัดสารที่ปนเปื้อนเพื่อประเมินลักษณะการกระจายของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาลแล้วจึง กำหนดตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่จะเจาะเพิ่มเติมในบริเวณข้างเคียงที่คาดว่าจะมีการกระจายของ สารปนเปื้อนในลำดับต่อไป

การเจาะและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ดำเนินการระหว่างวันที่ 1-22 กุมภาพันธ์ 2550 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3-13 โดยวิธีการเจาะแบบกดกระแทก (down the hole hammer) ใช้หัวเจาะขนาด 6 นิ้ว และใช้เครื่องอัดลมขนาดกำลัง 20 บาร์ การเจาะบ่อสังเกตการณ์ดำเนินการ 2 ช่วง ช่วงแรกเจาะบ่อภายในบริเวณพื้นที่ที่ซึ่งสารปนเปื้อนจำนวน 4 บ่อ ได้แก่ บ่อ PZ01 ถึง PZ04 จากนั้นเก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อที่เจาะไปวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล แล้วในช่วงที่สองได้กำหนดตำแหน่งและเจาะบ่อ PZ05-PZ10 และ PW01-PW02 ตามแนวทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และแนวโน้มการปนเปื้อนของสารเคมี ความลึกการเจาะที่ได้ดำเนินการในภาคสนามมีความลึกรวมทั้งหมด 611 เมตร ซึ่งเป็นความลึกของบ่อทดสอบ (PW01 และ PW02) 110 เมตร และบ่อสังเกตการณ์ (PZ01 ถึง PZ10) 501 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางการเจาะขนาด 6 นิ้ว ตัวอย่างดินและหินที่ขึ้นมาเป็นแบบเศษชิ้น (cutting) ทำการเก็บและบันทึก รายละเอียดการเจาะโดยช่างเจาะทุกระยะ 1 เมตร การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ได้ออกแบบเป็นบ่อสังเกตการณ์แบบเปิดตลอดความลึกที่เป็นหินแข็งใช้ท่อกันพังติดตั้งเฉพาะช่วงที่เป็นดินในตอบนบนเท่านั้น ตำแหน่งและรายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3-10 ข้อมูลชั้นดินชั้นหินและการหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะของบ่อ PW01-PW02 และ PZ01-PZ10 แสดงในรูปที่ 3-14 ถึง รูปที่ 3-25 ส่วนภาพการดำเนินงานแสดงในภาคผนวก ค





รูปที่ 3-13 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ PW01-PW02 และ PZ01-PZ10

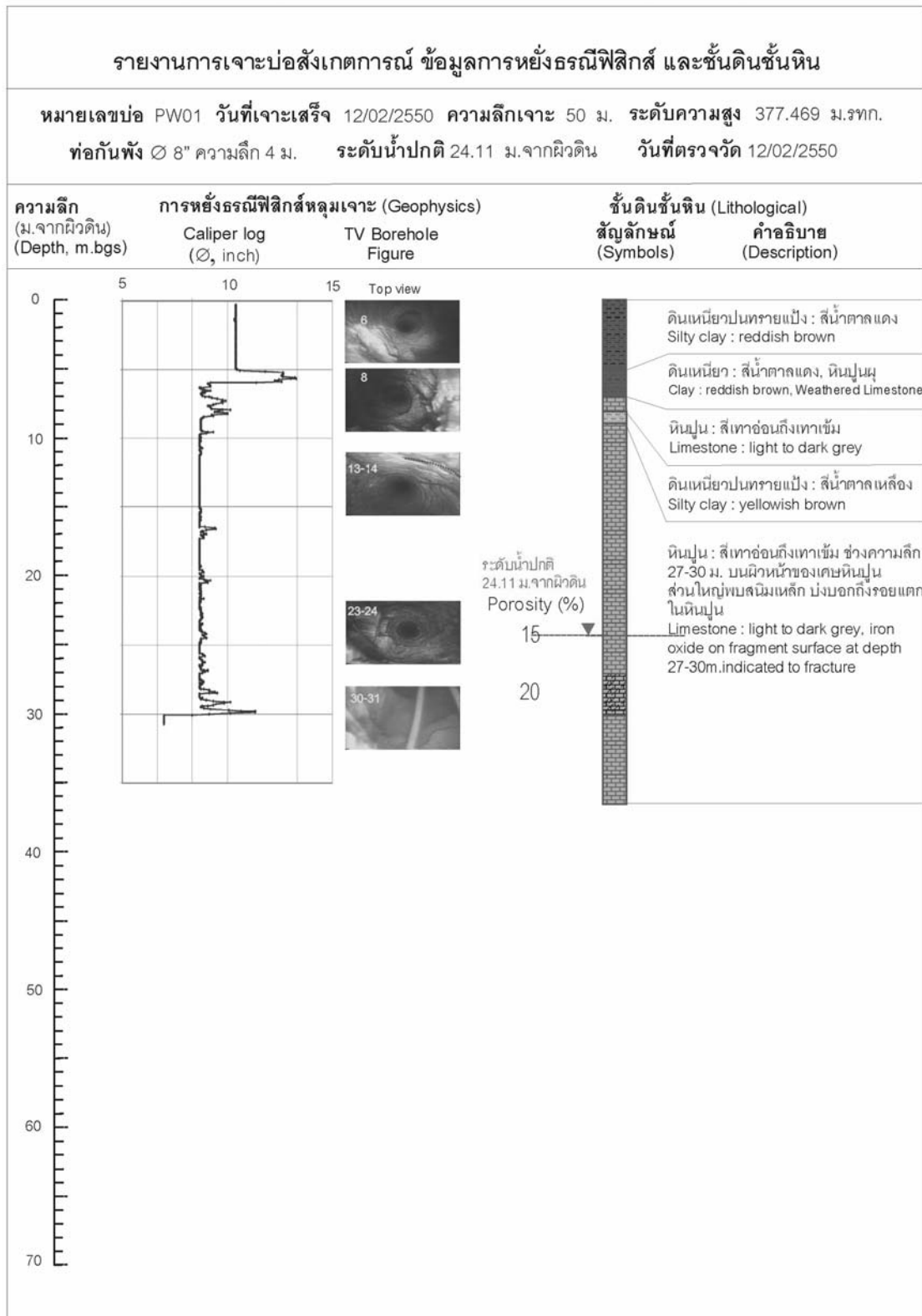
**ตารางที่ 3-10 ข้อมูลตำแหน่งและรายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน และบริเวณใกล้เคียง**

หมายเลขบ่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ระดับความสูง (ม รทก)	ความลึกที่เสนอเจาะ (ม.)	วันที่เจาะ	ความลึกบ่อที่เจาะ (ม.)	ช่วงความลึก (ม.) ที่เจาะโดยหัวเจาะ 6"	ท่อกันพัง ขนาด(นิ้ว)/ ลึก(ม)	วันที่ตรวจวัด	SWL (ม.)	Head (ม รทก)
PW01	746962	1619776	377.47	40-50	2/2/50	50	6 - 50	8/4	12/2/50	24.11	353.36
PW02	746926	1619751	377.56	40-50	3/2/50	60	3 - 60	8/6	14/2/50	24.48	353.08
PZ01	746897	1619756	377.77	40-50	2-3/2/50	60	3-60	8/6	5/2/50	23.94	353.83
PZ02	746938	1619771	376.25	30-35	3-4/2/50	50	9-50	6/10	5/2/50	23.62	352.63
PZ03	746932	1619715	378.14	30-40	5/2/50	48	4-48	8/4	6/2/50	24.35	353.79
PZ04	746975	1619734	377.81	50-60	4/2/50	48	1-48	8/4	5/2/50	23.95	353.86
PZ05	746860	1619872	376.37	30-40	16/2/50	60	2-60	6/4	17/2/50	22.82	353.55
PZ06	746675	1620089	372.35	40-50	19-20/2/50	70	5-70	8/4	20/2/50	18.90	353.45
PZ07	746532	1620048	372.20	30-35	20/2/50	25	6-25	8/4	21/2/50	18.82	353.38
PZ08	746351	1620056	371.26	40-50	21/2/50	60	4-60	6/4	21/2/50	15.23	356.03
PZ09	746950	1620005	376.58	30-40	21/2/50	30	6-30	6/6	-	-	-
PZ10	746954	1620147	374.99	-	22/2/50	50	6-50	6/6	22/2/50	21.04	353.95

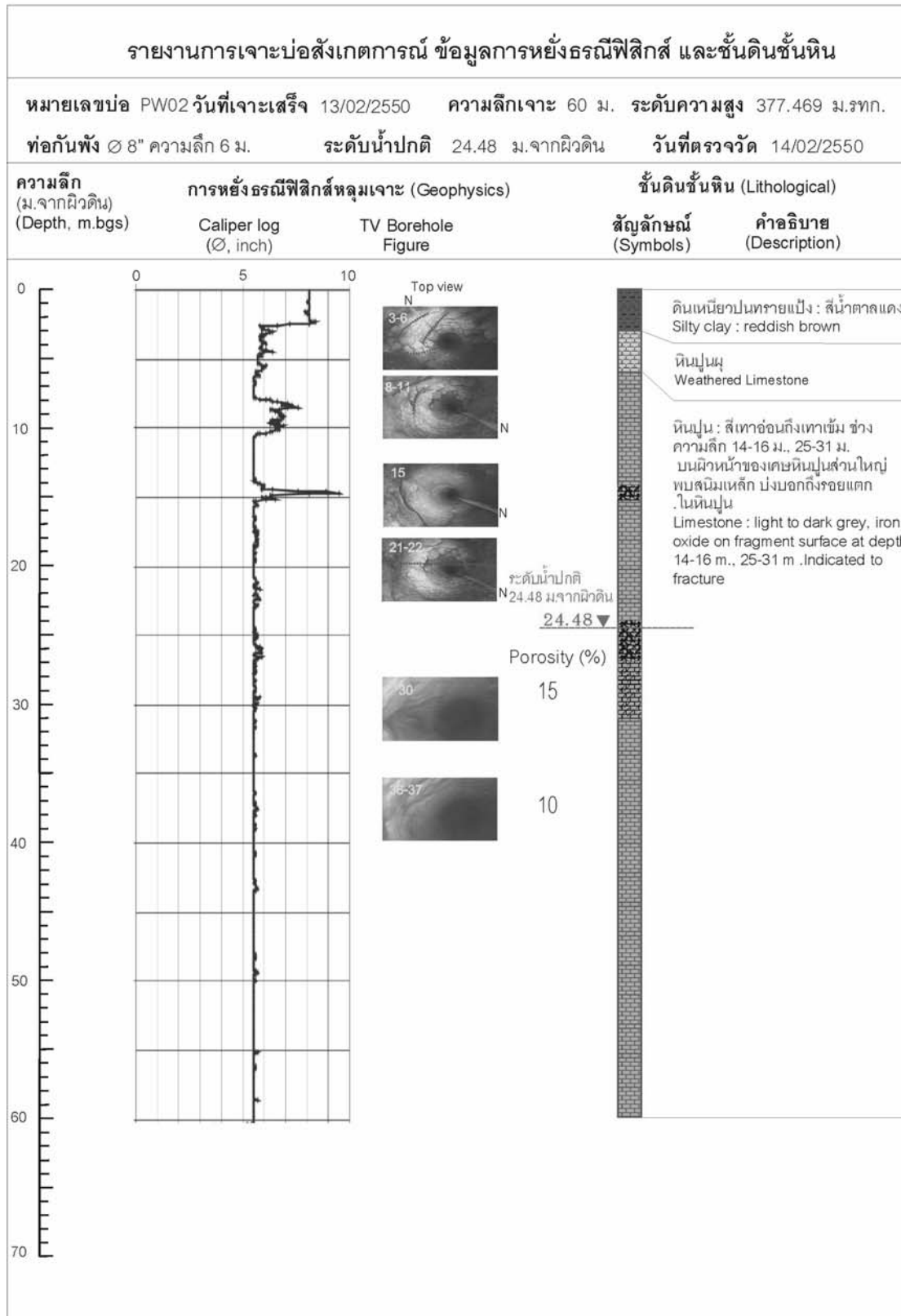
**ความลึกที่ดำเนินการเจาะ รวม 611 ม. (ความลึกบ่อทดสอบ 110 ม. ความลึกบ่อสังเกตการณ์ 501 ม.)**

หมายเหตุ:

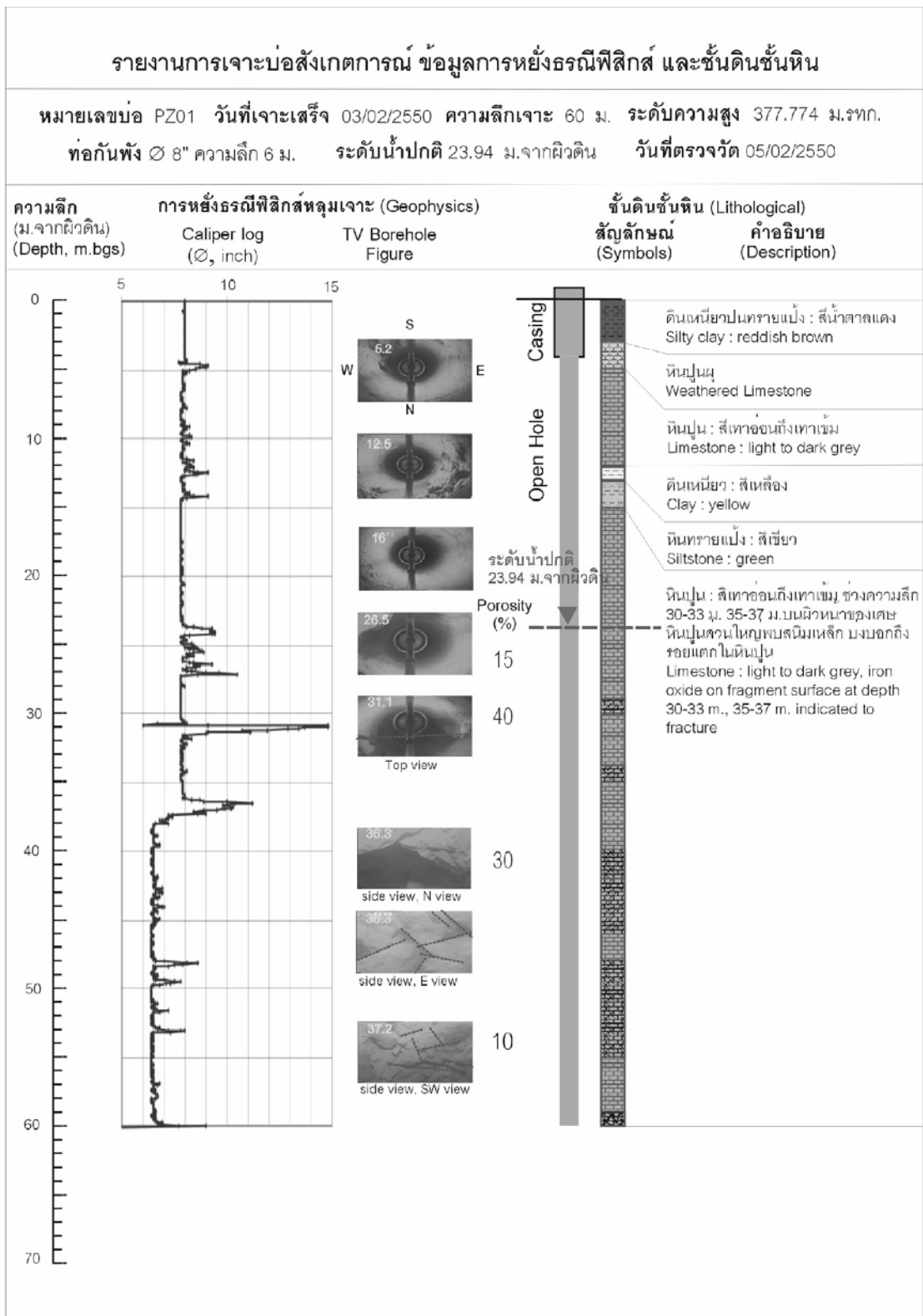
- ความลึกที่เสนอเจาะ รวม 500 ม. (บ่อทดสอบความลึกไม่น้อยกว่า 100 ม. บ่อสังเกตการณ์ความลึกไม่น้อยกว่า 400 ม.)
- บ่อ PZ01- PZ05, PW01 และ PW02 อยู่ในเขตพื้นที่ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต
- บ่อ PZ06- PZ08 อยู่ในเขตพื้นที่ บริษัทปูนซิเมนต์นครหลวง
- บ่อ PZ09-PZ10 อยู่ในเขตพื้นที่บริษัทกลางดงโลม แอนด์ เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นไวรอนเมนท์ จำกัด
- บ่อสังเกตการณ์ทุกบ่อใช้หัวเจาะ Ø 8 นิ้วเจาะบริเวณหน้าดิน จากนั้นใช้หัวเจาะ Ø 6 นิ้วในหินแข็ง
- SWL : ระดับน้ำบาดาลปกติ (ม จากผิวดิน) Head : แรงดันระดับน้ำบาดาล (ม รทก)
- ระดับความสูงของบ่อสังเกตการณ์ได้จากการสำรวจจริงวัดระดับที่ใช้หมุดอ้างอิงของหมวดการทางปากช่อง 2 ซึ่งดำเนินการวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2550



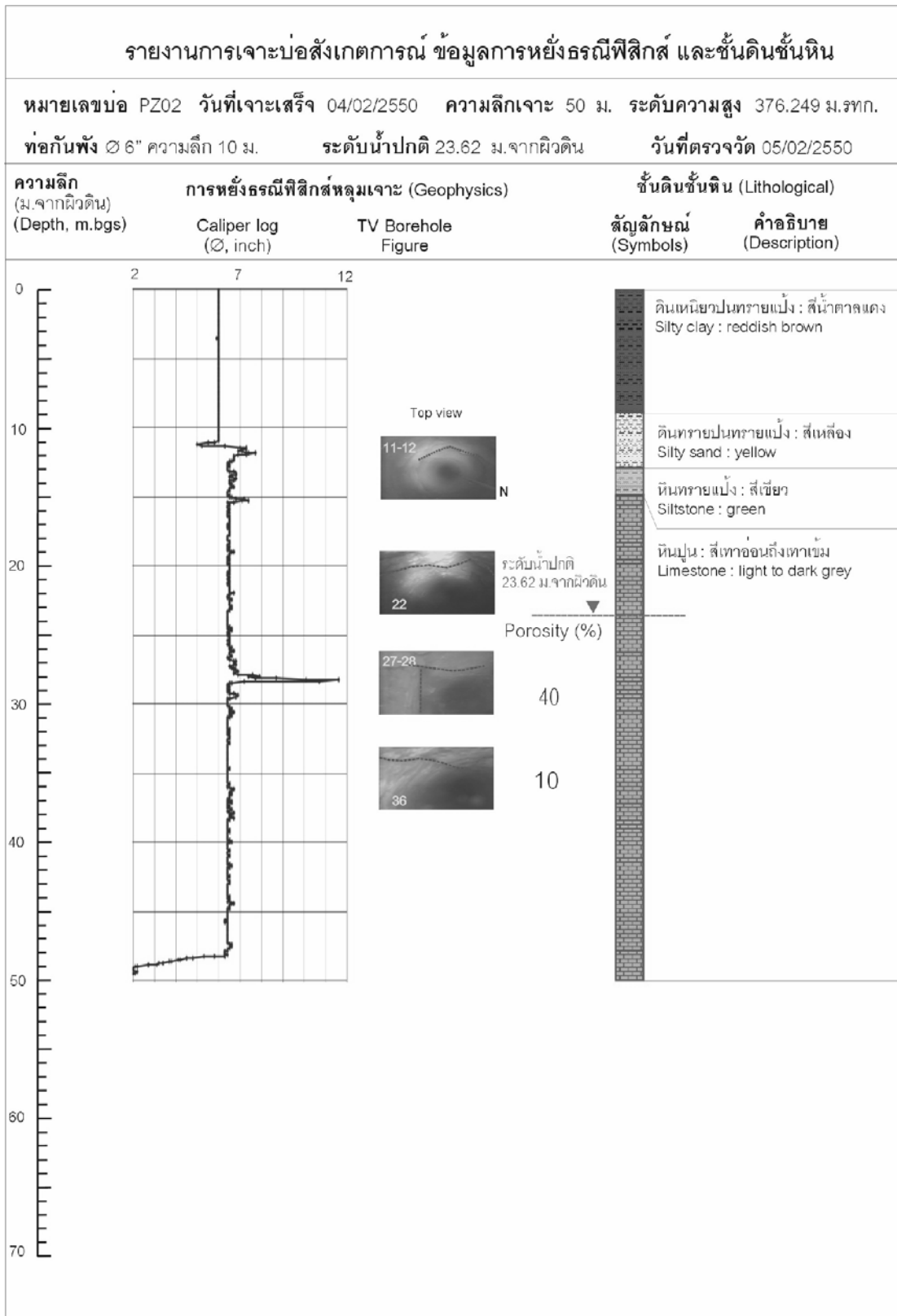
รูปที่ 3-14 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PW01



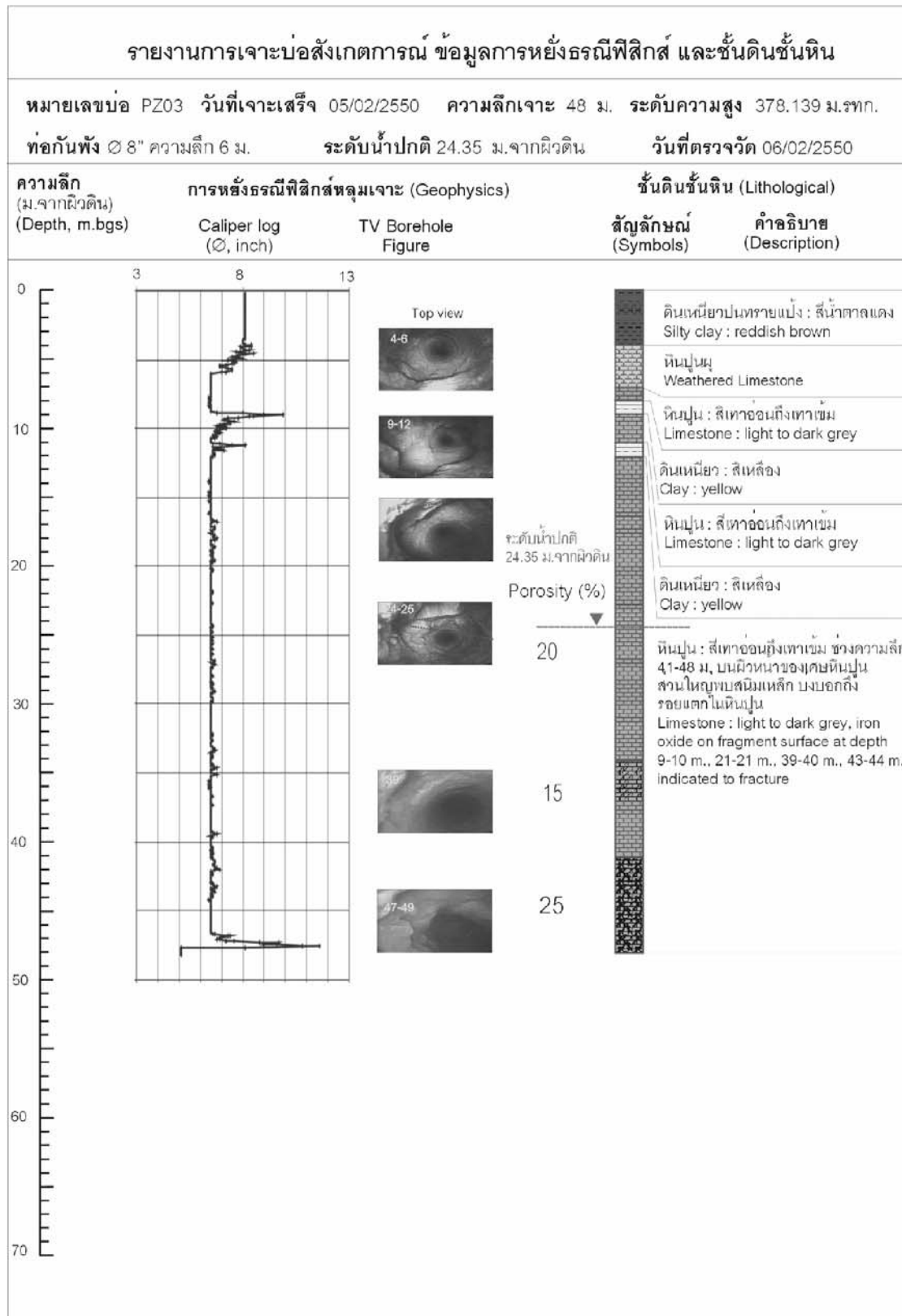
รูปที่ 3-15 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PW02



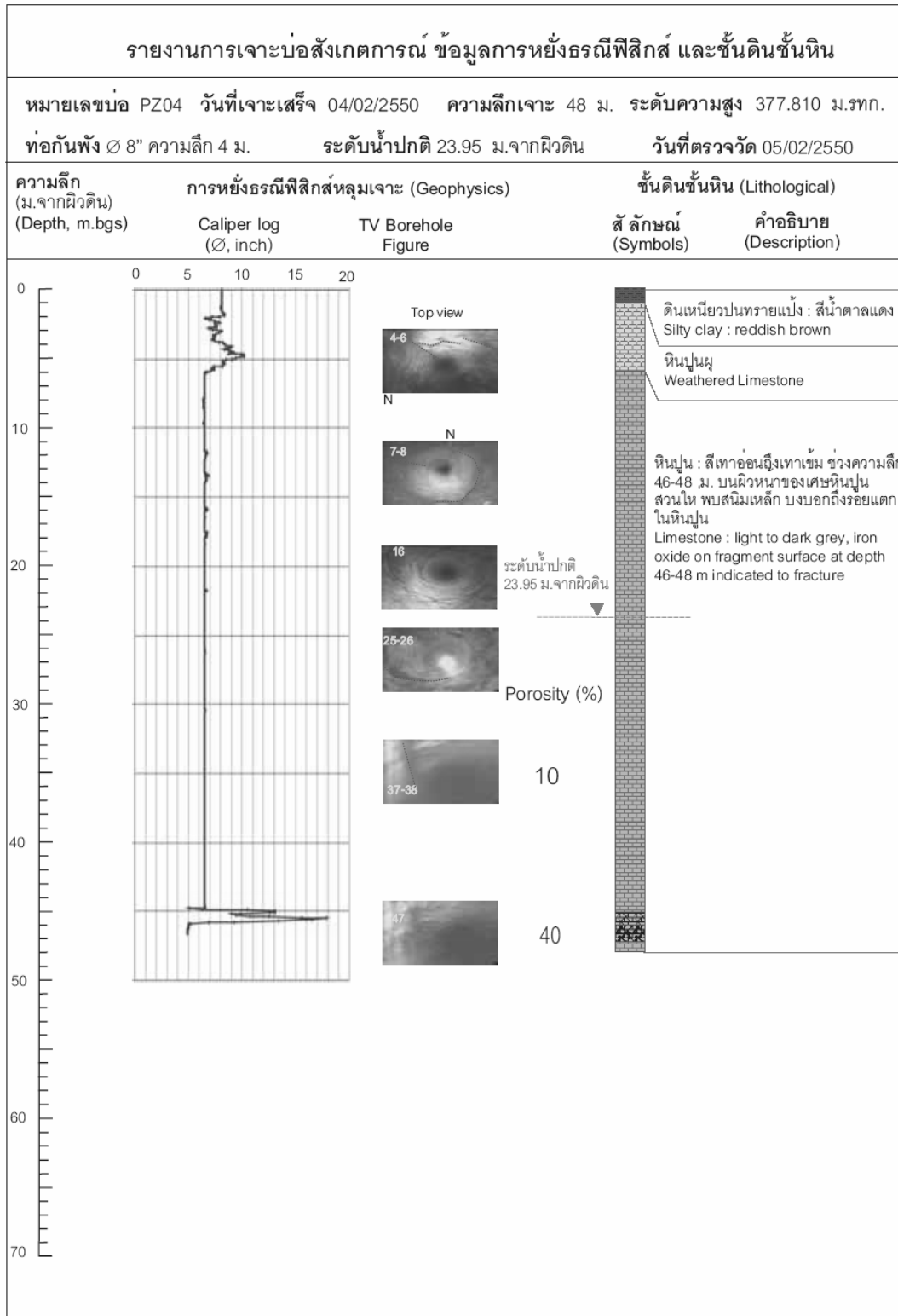
รูปที่ 3-16 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ01



รูปที่ 3-17 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ02

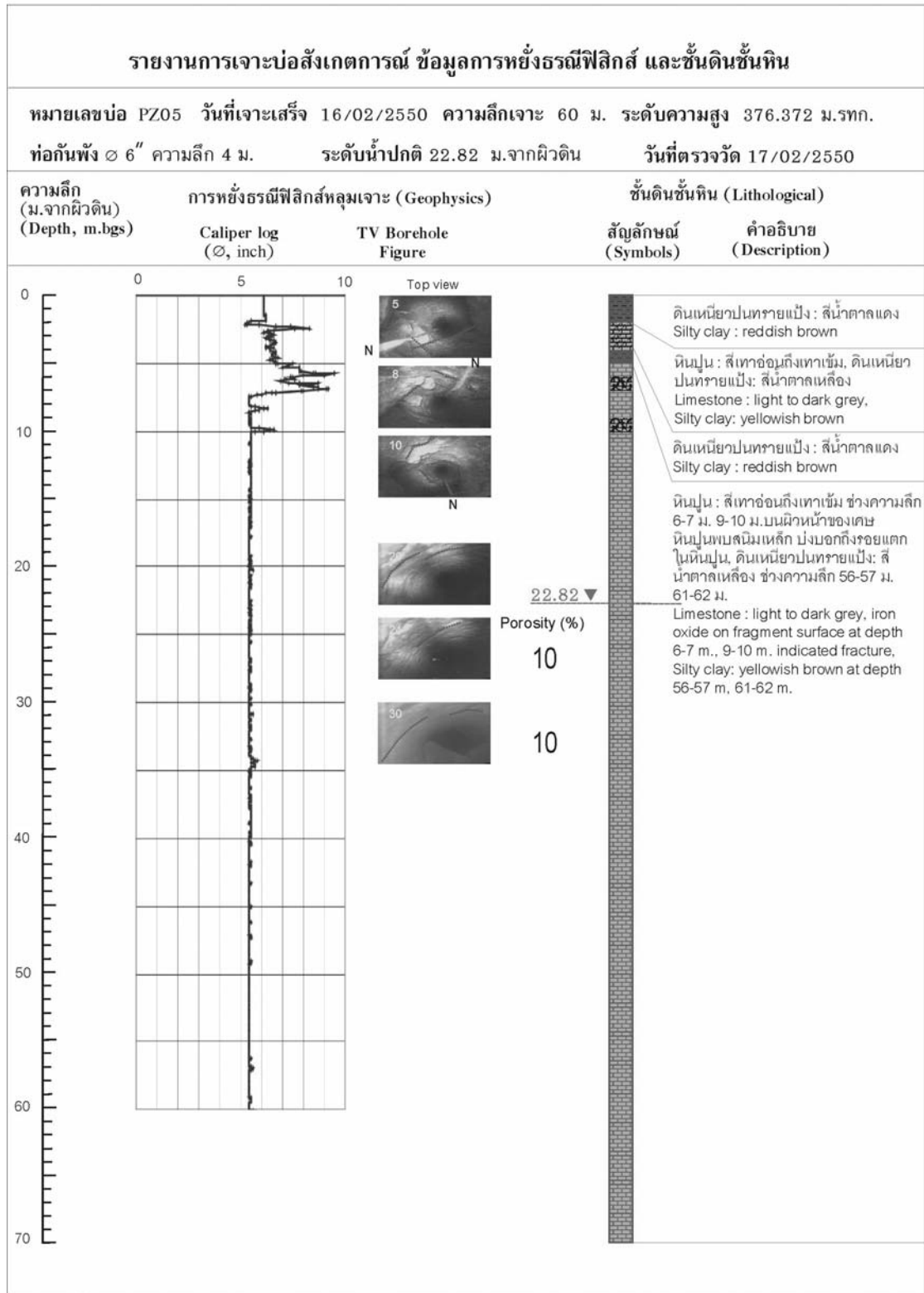


รูปที่ 3-18 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ03

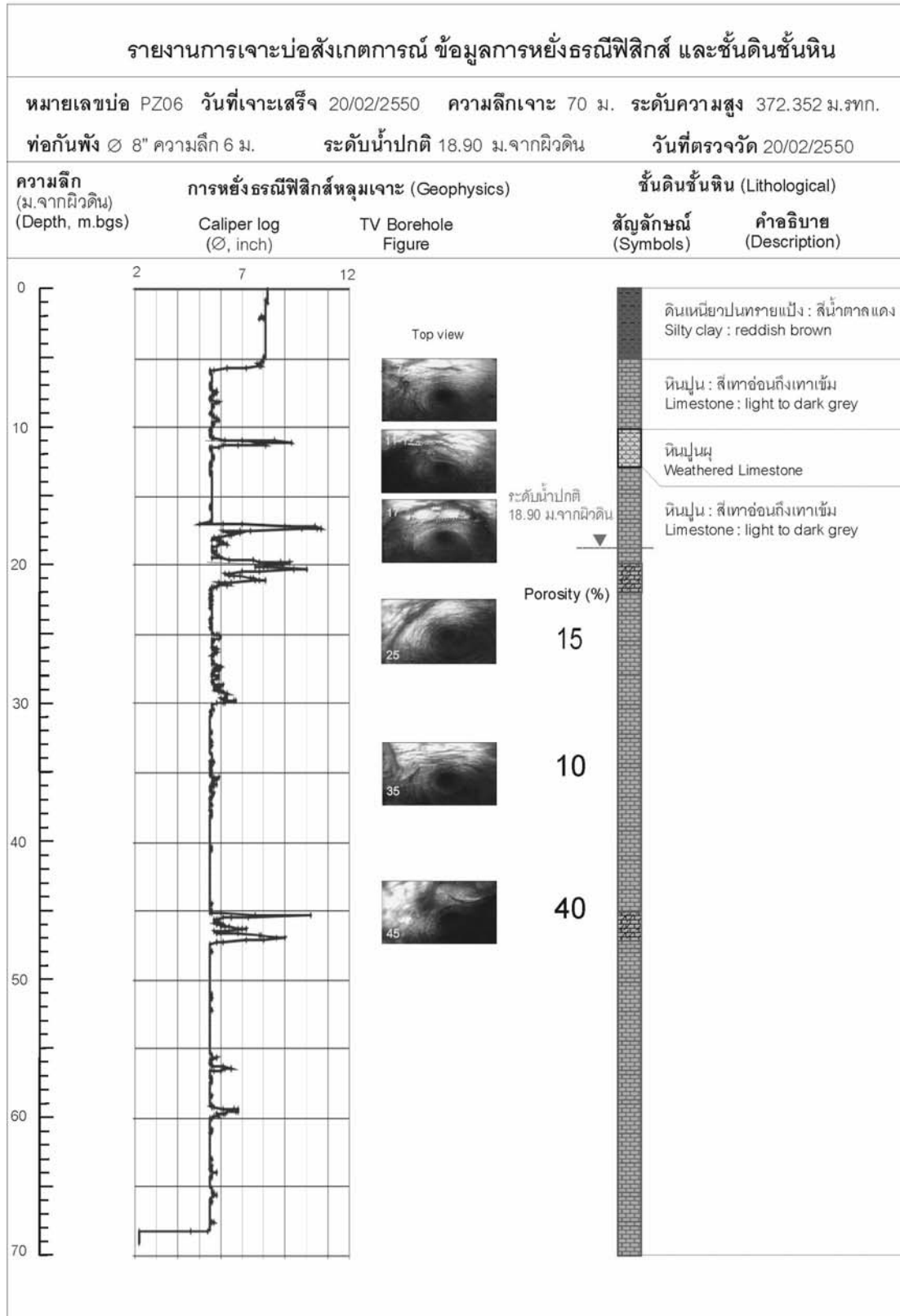


รูปที่ 3-19 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ04

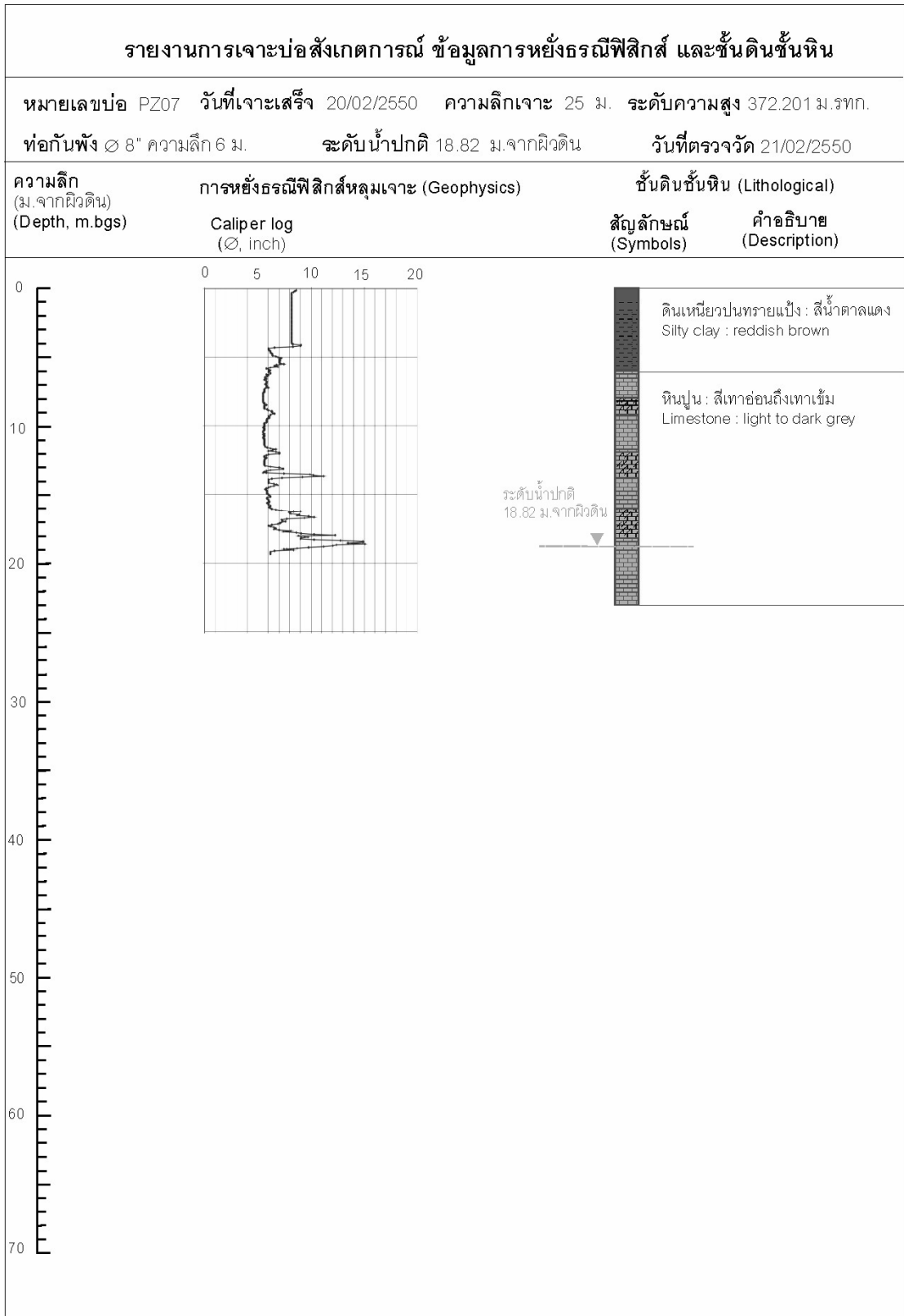




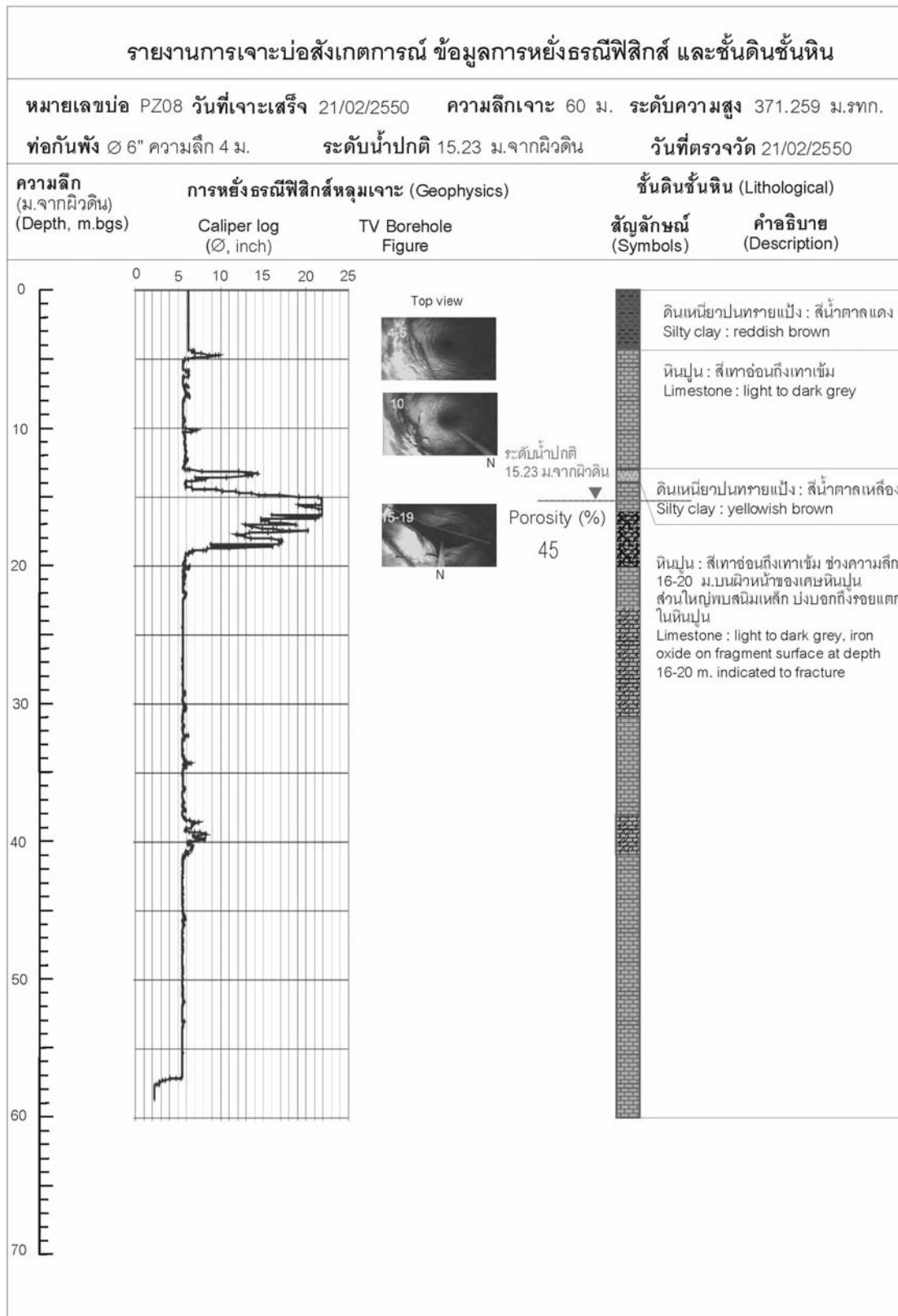
รูปที่ 3-20 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ05



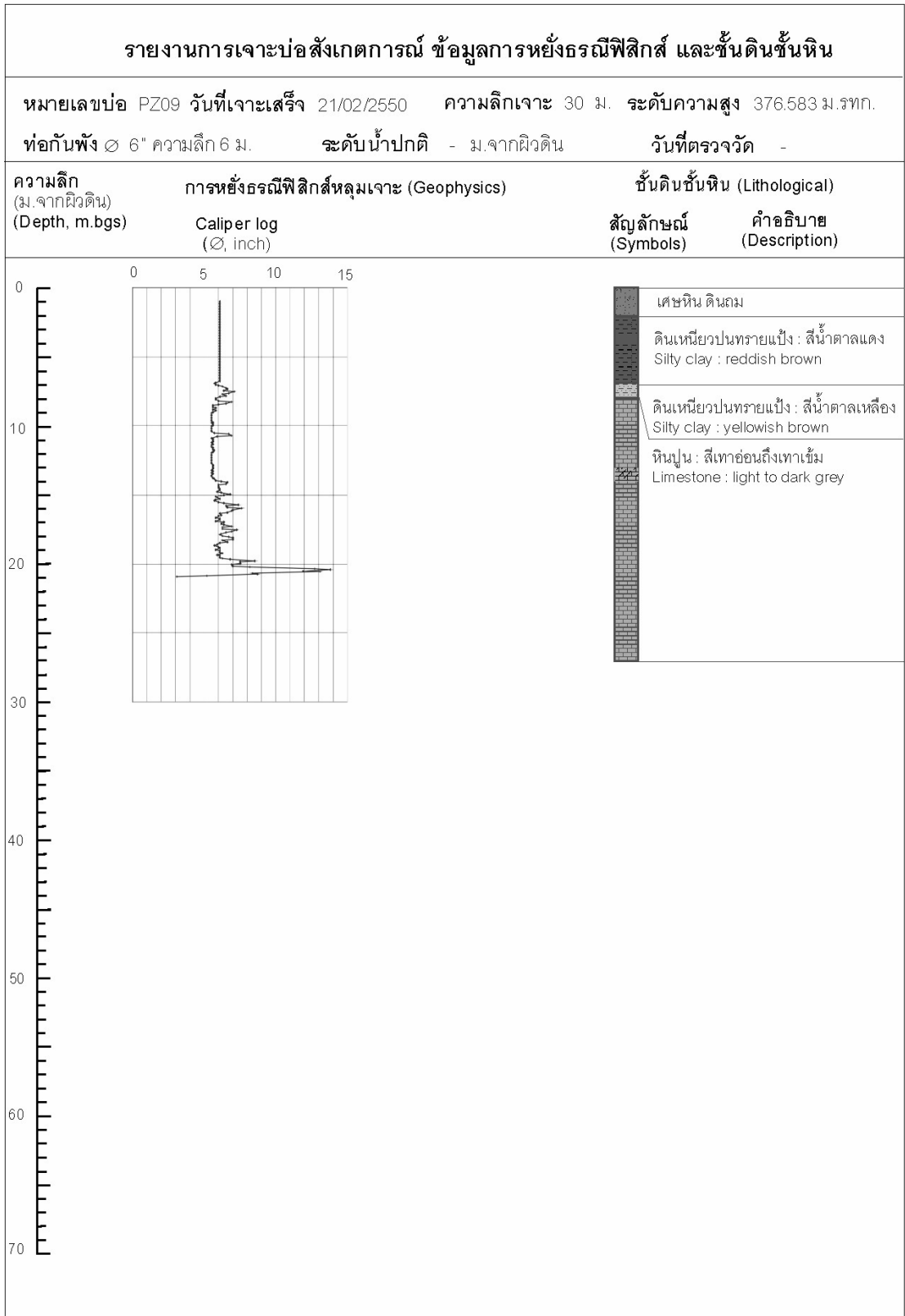
รูปที่ 3-21 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ06



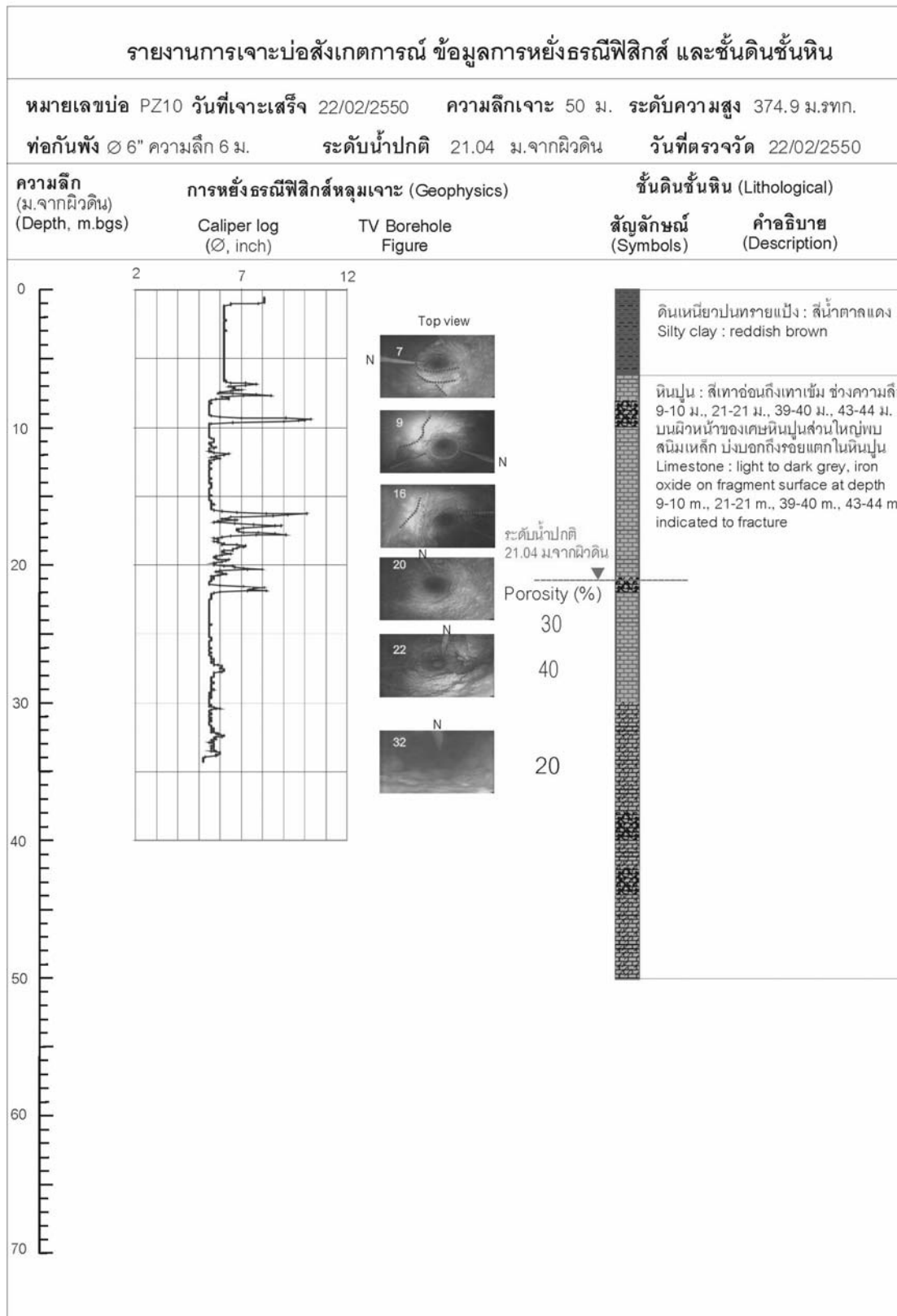
รูปที่ 3-22 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ07



รูปที่ 3-23 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ได้ผิวดินของบ่อ PZ08



รูปที่ 3-24 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ09



รูปที่ 3-25 ข้อมูลการเจาะบ่อสังเกตการณ์และการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ผิวดินของบ่อ PZ10

### 3.4.2 การสุบทดสอบบ่อสังเกตการณ์

การสุบทดสอบบ่อสังเกตการณ์เป็นวิธีการเพื่อประเมินค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity, K) การสุบทดสอบมีหลายวิธีและได้ผลที่แตกต่างกัน ซึ่งเดิมในข้อเสนอโครงการ คณะที่ปรึกษาได้เสนอที่จะดำเนินการสุบทดสอบแบบกลุ่มบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 5 กลุ่มบ่อ โดยสูบน้ำจากบ่อสุบทดสอบต่อเนื่องอย่างน้อย 48 ชั่วโมง พร้อมทั้งวัดระดับน้ำลดและระดับน้ำคืนตัวที่บ่อสังเกตการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากการสุบ แต่จากการประชุมหารือร่วมกันระหว่างคณะที่ปรึกษาและคณะกรรมการตรวจสอบงาน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2550 ที่ประชุมเห็นควรทำการปรับเปลี่ยนวิธีการสุบทดสอบจากที่เคยเสนอไว้ ให้มีผลกระทบต่อ การขึ้นมาของสารเคมีบนผิวดินและการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะและติดตั้งเพิ่มเติมมีค่าเกินมาตรฐาน

คณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยวและ slug test ในบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะและติดตั้งเพิ่มเติมจำนวน 7 บ่อ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ซึ่งบ่อสังเกตการณ์ที่สุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยว 6 บ่อ ได้แก่ บ่อ MW01 MW03 Pw01 Pz01 Pz03 และ Pz04 ส่วนการสุบทดสอบแบบ slug test จำนวน 1 บ่อ ได้แก่บ่อ MW02 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสุบทดสอบเป็นเครื่อง submersible pump ขนาด 1.5 แรงม้า ติดตั้งที่ความลึก 35-40 เมตร สามารถสูบน้ำได้ประมาณ 7.2 ลบ.ม/ชม. น้ำที่สูบขึ้นมาทิ้งลงร่องดินระบายน้ำที่มีอยู่เฉพาะในพื้นที่ดังกล่าว (ภาคผนวก ค)

การสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยวใช้เวลาสุบต่อเนื่องประมาณ 1 ถึง 3 ชั่วโมง ระดับน้ำของบ่อสุบทดสอบทั้ง 6 บ่อ ลดลง 2 ซม. ถึง 2.56 ม. โดยบ่อที่ระดับน้ำลดน้อยที่สุดคือบ่อ PZ03 และบ่อที่ระดับน้ำลดมากที่สุดคือบ่อ MW03 ข้อมูลการสุบทดสอบวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AquiferTest รุ่นที่ 2.5 ซึ่งพัฒนาโดย บริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc. ใช้วิธี Cooper&Jacob-Time drawdown วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ ส่วนบ่อ MW02 ที่สุบทดสอบแบบ slug test ระดับน้ำลดสูงสุด 14 เมตร ใช้เวลาคืนตัวของน้ำถึงระดับน้ำปกติประมาณ 35 นาที ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้คือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ส่วนบ่อสังเกตการณ์อื่นๆ ในพื้นที่ที่ขุดสารปนเปื้อน คณะที่ปรึกษาได้ทดสอบสูบน้ำออกด้วยอัตรา 7.2 ลบ.ม/ชม. แต่ระดับน้ำบาดาลไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ในพื้นที่ คณะที่ปรึกษาจึงไม่ได้ทำการสุบทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ในบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้เพิ่มเติมแต่อย่างใด

นอกจากข้อมูลการสุบทดสอบที่ดำเนินการจากบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติมในพื้นที่ที่ทั้งสารปนเปื้อน คณะที่ปรึกษาได้คัดเลือกข้อมูลการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยวของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน จำนวน 12 บ่อ มาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำของหินอุ้มน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3-11 และภาคผนวก ข โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบของบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา สามารถสรุปได้ ดังนี้ หน่วยหินเขาขาด (Pkd) ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดำ เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน และพบหินโดโลไมต์แทรกชั้นด้วยกระเปาะหินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟ มีบ่อที่ทำการสุบทดสอบในหน่วยหินนี้ จำนวน 9 บ่อ เป็นบ่อของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2 บ่อ บ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติมในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนจำนวน 7 บ่อ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำที่ได้อยู่ในช่วง  $1.26 \times 10^{-3}$  ถึง  $8.99 \times 10^{-2}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$

หินปางอโศก (Ppa) ส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้นบาง มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะ บ่อสุบทดสอบในหน่วยหินปางอโศก มีจำนวน 10 บ่อ เป็นบ่อที่ทำการสุบทดสอบโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำที่ได้อยู่ในช่วง  $7.85 \times 10^{-5}$  ถึง  $1.16 \times 10^{-1}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$

หน่วยหินหนองโป่ง (Pn) ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดำถึงเทาดำ มีลายเป็นแถบของชั้นหินเชิร์ต บางแห่งเป็นหินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน หินทรายปนทัฟฟ์ และหินภูเขาไฟ มีรอยแตกมากพบบริเวณตอนเหนือของพื้นที่ซึ่งเป็นที่เขาสูง หน่วยหินหนองโป่งไม่มีข้อมูลการสุบทดสอบ ดังนั้นจึงประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำจากชนิดและรอยแตกของหินซึ่งพบว่าอยู่ในช่วง  $2.10 \times 10^{-5}$  ถึง  $9.20 \times 10^{-3}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$  (Spitz and Moreno, 1996)

จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำที่ได้มาทั้งหมดทำการประเมินลักษณะการกระจายตัวในเชิงพื้นที่ โดยลากเส้นแสดงค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำเท่ากันในแผนที่ ดังแสดงในรูปที่ 3-26 ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำมีการกระจายตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน

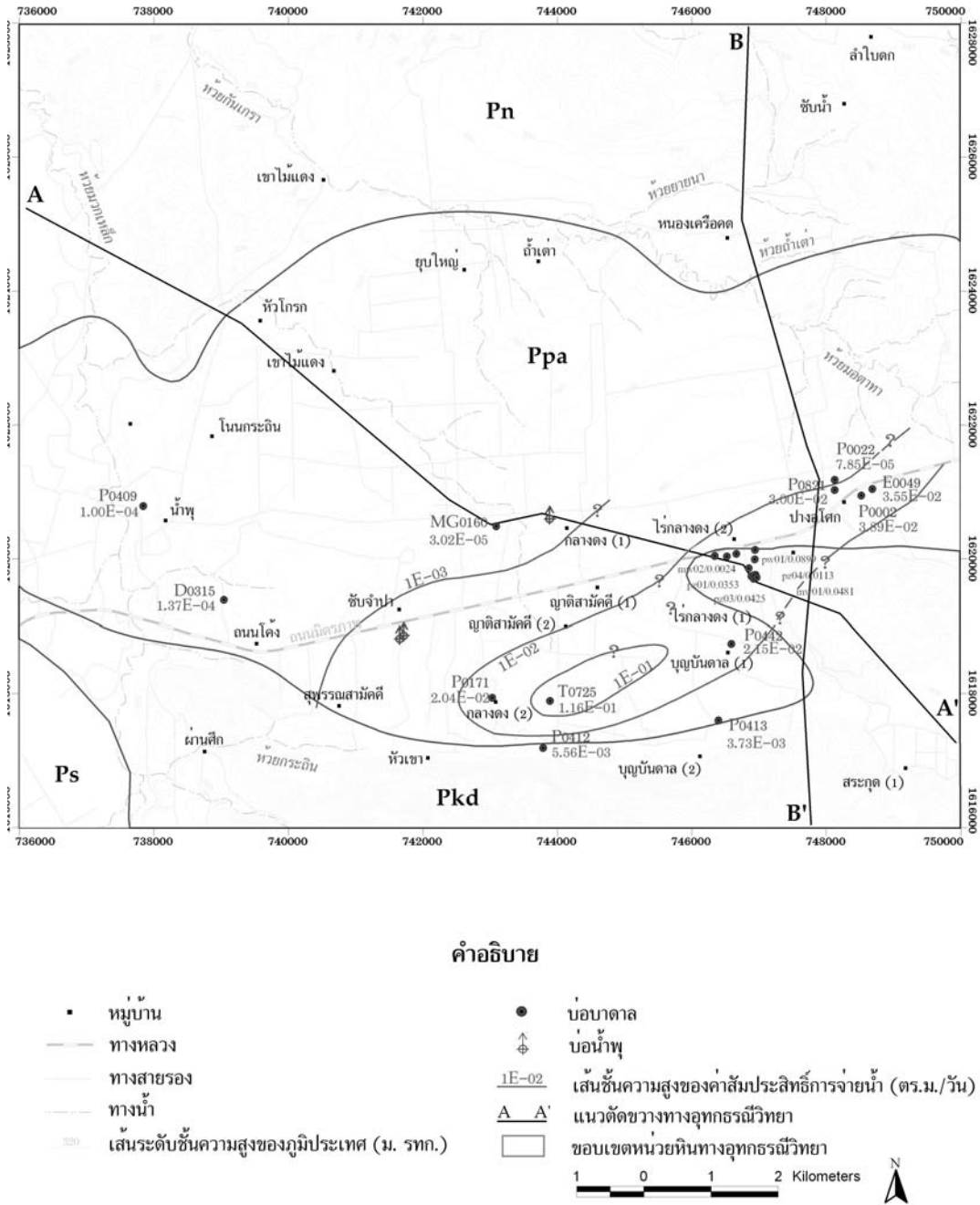


ตารางที่ 3-11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อในพื้นที่โครงการ

ลำดับ <sup>(1)</sup>	ชื่อบ่อ	ระดับน้ำปกติ (ม.)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ช.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) <sup>(2)</sup>	ค่าสัมประสิทธิ์การ ยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที)
1	D0315	3.05	5.26	1.37E-04	2.74E-06 <sup>(4)</sup>
2	E0049	16.31	9.00	3.55E-02	7.10E-04 <sup>(4)</sup>
3	MG0160	5.41	2.34	3.02E-05	6.04E-07 <sup>(4)</sup>
4	P0002	28.1	25.67	3.89E-02	7.78E-04 <sup>(4)</sup>
5	P0022	15.9	5.54	7.85E-05	1.57E-06 <sup>(4)</sup>
6	P0171	23.76	8.21	2.04E-02	4.08E-04 <sup>(4)</sup>
7	P0409	5.21	7.20	1.00E-04	2.00E-06 <sup>(4)</sup>
8	P0412	32.92	31.21	5.56E-03	1.11E-04 <sup>(4)</sup>
9	P0413	12.19	6.59	3.73E-03	7.46E-05 <sup>(4)</sup>
10	P0442	32.99	4.79	2.15E-02	4.30E-04 <sup>(4)</sup>
11	P0821	5.67	14.40	3.00E-02	6.00E-04 <sup>(4)</sup>
12	T0725	15.01	14.76	1.16E-01	2.32E-03 <sup>(4)</sup>
13	MW01	40	7.20	4.25E-02	8.50E-04 <sup>(4)</sup>
14	MW03	23.6	7.20	2.40E-03	4.80E-05 <sup>(4)</sup>
15	PW01	24.11	7.20	8.99E-02	1.80E-03 <sup>(4)</sup>
16	PZ01	24.15	7.20	3.53E-02	7.06E-04 <sup>(4)</sup>
17	PZ03	24.35	7.20	4.81E-02	9.62E-04 <sup>(4)</sup>
18	PZ04	24.25	7.20	1.13E-02	2.26E-04 <sup>(4)</sup>
19	MW02	24.4	-	-	3.19E-05 <sup>(3)</sup>

หมายเหตุ:

- (1) ข้อมูลดิบของการสูบทดสอบบ่อในลำดับที่ 1-12 อ้างอิงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Cooper & Jacob Time-Drawdown
- (3) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Hvorslev
- (4) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที) คำนวณจากสมการ  $K=T/b$  โดยกำหนดให้ b คือ ความหนาของหน่วยหินอุ้มน้ำ ใช้ค่าเฉลี่ยความลึกของบ่อที่เจาะ 50 ม.



รูปที่ 3-26 แผนที่การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซัพตะเคียน

### 3.4.3 การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน

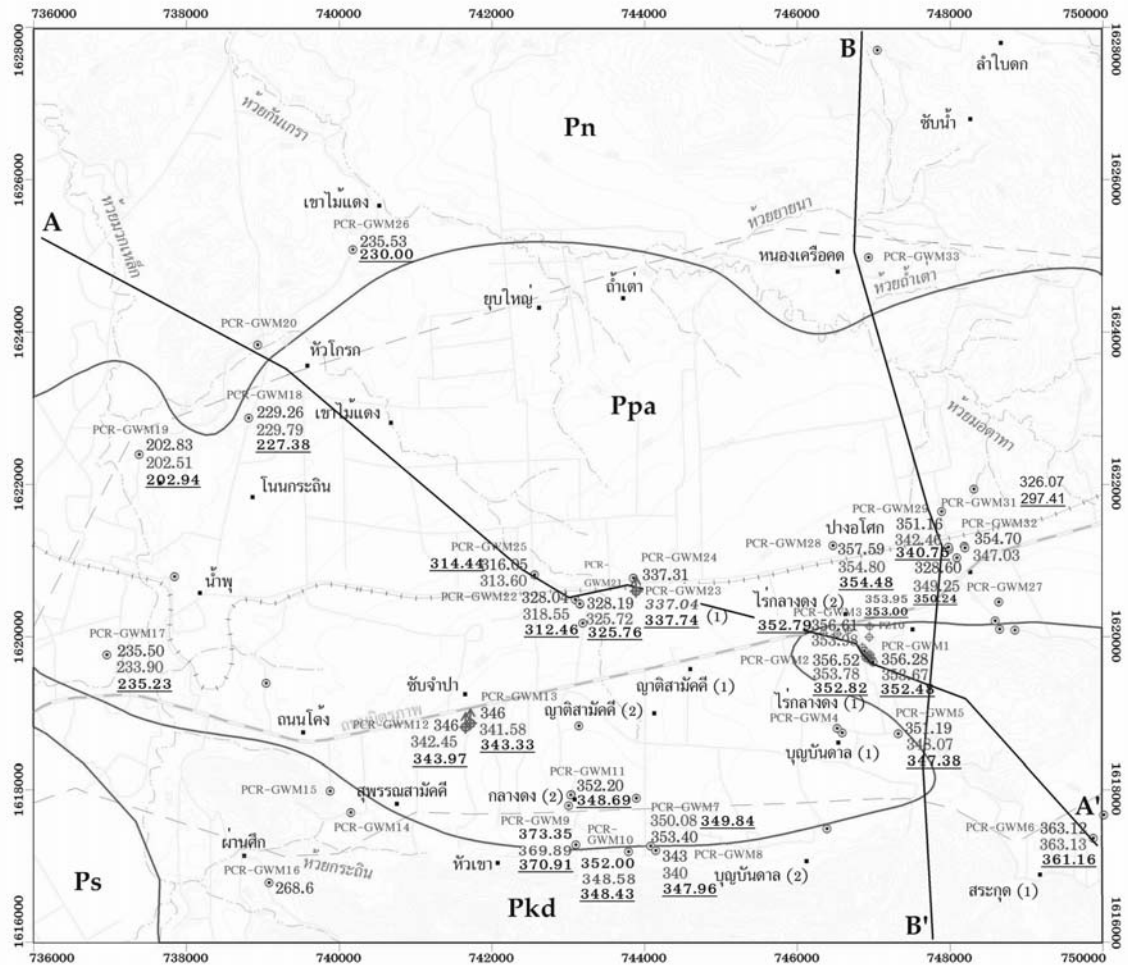
#### 1) การติดตามระดับและคุณภาพน้ำบาดาล

การตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาล ซึ่งประกอบด้วย Electrical Conductivity (EC) Total Dissolved Solids (TDS) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ ได้ดำเนินการครบทั้ง 3 ครั้งในรอบปีแล้ว โดยตรวจวัดในช่วงเดือนตุลาคม 2549 จำนวน 26 บ่อ เดือนกุมภาพันธ์ 2550 จำนวน 32 บ่อ และเดือนพฤษภาคม 2550 จำนวน 33 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 3-27 ตารางที่ 3-12 และภาคผนวก ก บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ติดตามตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และบ่อเอกชน มีจำนวน 33 บ่อ ได้คัดเลือกตำแหน่งบ่อที่กระจายครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ส่วนบ่อในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนตรวจวัดจากเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติม จำนวน 11 บ่อ การตรวจวัดพิภพทางภูมิศาสตร์ของบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติมในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงได้ใช้วิธีการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจระดับทริโอดไลต์ (Theodolite) ซึ่งอ้างอิงตำแหน่งและระดับความสูงจากหมุดอ้างอิงที่หมวดการทางปากช่อง 2 (ภาคผนวก ข) ส่วนตำแหน่งพิภพบ่อน้ำบาดาลอื่นตรวจวัดพิภพบ่อด้วยเครื่อง GPS (Global Positioning System) อ้างอิงระบบ WGS84 Datum

ระดับน้ำบาดาลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) และเดือนตุลาคม (ช่วงฤดูฝน) บริเวณที่ลุ่มฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษาลดลงเฉลี่ย 0.5 เมตร ส่วนที่เนินบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาและบริเวณบ้านปางอโศกพบว่า ค่าระดับน้ำบาดาลของเดือนกุมภาพันธ์ลดลงจากเดือนตุลาคมประมาณ 2-9 เมตร และ 3-9 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการใช้น้ำในเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) มากกว่าเดือนตุลาคม (ช่วงฤดูฝน) (ยกเว้นบ่อ PCR-GWM27 ที่วัดปางอโศกติดกำแพงของบริษัทเบทาโกร จำกัด ซึ่งใช้ช่วงฤดูแล้งน้อยกว่าฤดูฝน) อย่างไรก็ตาม การลดลงของระดับน้ำบาดาลในบริเวณบ้านปางอโศกจะรุนแรงกว่าบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเนื่องจากพบว่าเส้นชั้นความสูงค่าแรงดันของระดับน้ำบาดาล (equipotential line) บริเวณดังกล่าวเป็นรูปกรวยน้ำลด ดังแสดงในรูปที่ 3-28 คุณภาพน้ำบาดาลที่ตรวจวัดพบว่าเป็นน้ำจืด (TDS น้อยกว่า 700 มก./ล.) ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าในช่วง 6.5 - 7.8 โดยค่าที่วัดได้ในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าสูงกว่าในเดือนตุลาคม ประมาณ 0.5

ส่วนระดับน้ำบาดาลระหว่างเดือนพฤษภาคม (ช่วงต้นของฤดูฝน) และเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) บ่อน้ำบาดาลโดยส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณทิศใต้และที่ลุ่มฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลขึ้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 2 เมตร ส่วนบริเวณที่ระดับน้ำ

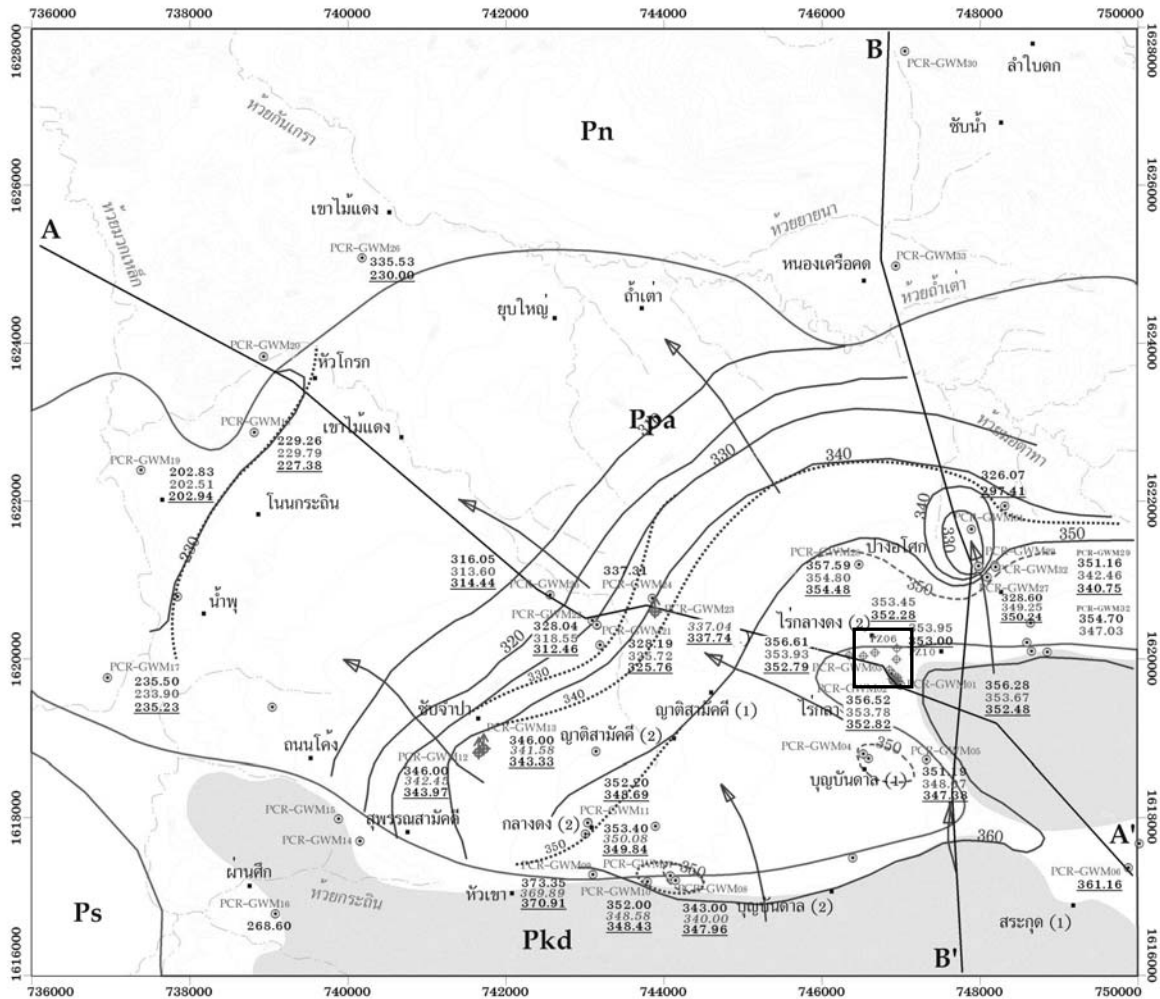
บาดาลลดต่ำลงพบบริเวณตอนกลางและบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ บริเวณบ้านปาง  
อโศกพบว่า ระดับน้ำบาดาลลดลงตั้งแต่ 0.5 - 6 ม. ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากการใช้น้ำ  
บาดาลในพื้นที่คล้ายกับช่วงเดือนกุมภาพันธ์ที่มีระดับน้ำลดลงจากเดือนตุลาคม การกระจาย  
ของค่าแรงดันระดับน้ำที่ได้คล้ายคลึงกับเดือนตุลาคมและกุมภาพันธ์ คุณภาพน้ำบาดาลที่ตรวจวัด  
พบว่าเป็นน้ำจืด (TDS น้อยกว่า 700 มก./ล.) ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าในช่วง 6.9 - 7.5 โดยค่าที่  
วัดได้ในเดือนพฤษภาคมมีค่าสูงกว่าในเดือนกุมภาพันธ์ ประมาณ 0.4



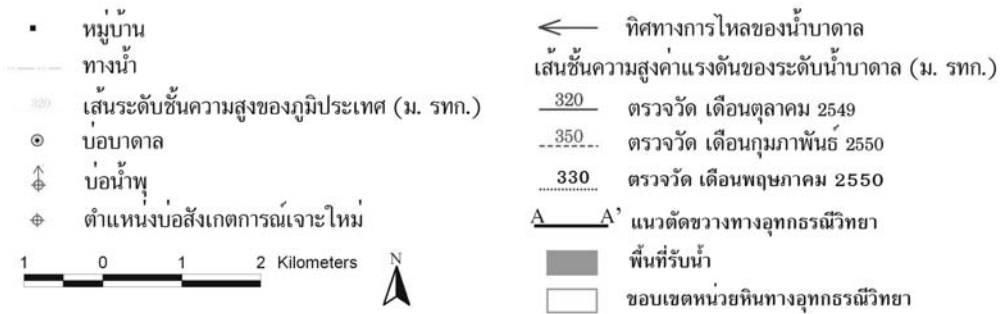
คำอธิบาย

- หมู่บ้าน
- ทางน้ำ
- ทางหลวง
- ทางสายรอง
- ++++ ทางรถไฟ
- แนวสายไฟแรงสูง
- 300 เส้นระดับชั้นความสูงของภูมิประเทศ (ม. รทก.)
- บ่อบาดาล
- ⊕ บ่อน้ำพุ
- ⊕ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์เจาะใหม่
- ค่าแรงดันของระดับน้ำบาดาล (ม. รทก.)
- 235.50 ตรวจวัด เดือนตุลาคม 2549
- 233.90 ตรวจวัด เดือนกุมภาพันธ์ 2550
- 235.23 ตรวจวัด เดือนพฤษภาคม 2550
- A—A' แนวตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา
- ขอบเขตหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

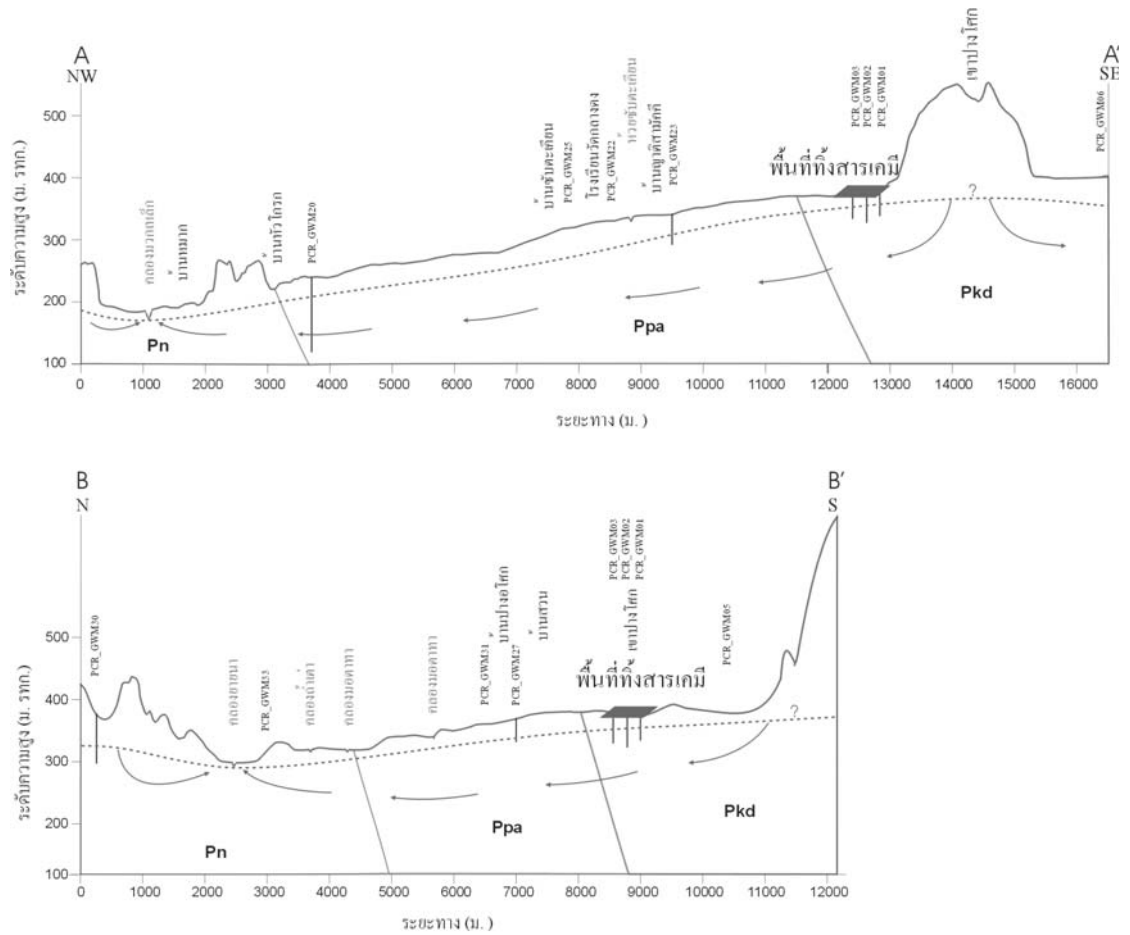
รูปที่ 3-27 แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่ติดตั้งตามตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล



### คำอธิบาย



รูปที่ 3-28 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน



รูปที่ 3-29 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน

ตารางที่ 3-12 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเดือนตุลาคม กุมภาพันธ์ และพฤษภาคม

ลำดับ	หมายเลขบ่อ	ค่าแรงดันของระดับน้ำบาดาล (ม. รทก.)			ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำบาดาล (ม.)	
		ต.ค. 49 <sup>(1)</sup>	ก.พ.50 <sup>(2)</sup>	พ.ค.50 <sup>(3)</sup>	ระหว่าง ก.พ.50 และต.ค.49	ระหว่าง พ.ค.50 และก.พ.50
1	PCR-GWM01	356.28	353.67	352.48	-2.61 <sup>(4)</sup>	-1.19
2	PCR-GWM02	356.53	353.79	352.82	-2.74	-0.97
3	PCR-GWM03	356.62	353.99	352.79	-2.63	1.20
4	PCR-GWM05	351.19	348.07	347.38	-3.12	-0.69
5	PCR-GWM06	363.12	363.13	361.16	0.01	-1.97
6	PCR-GWM07	353.40	350.08	349.84	-3.32	-0.24
7	PCR-GWM08	343.00	340.00	347.96	-3.00	7.96
8	PCR-GWM09	373.35	369.89	370.01	-3.46	0.12
9	PCR-GWM10	352.00	348.58	348.43	-3.42	-0.15
10	PCR-GWM11 **	352.20	N/A	348.69	N/A	N/A
11	PCR-GWM12 **	346.00	342.45	343.97	-3.55	1.52
12	PCR-GWM13 **	346.00	341.58	343.33	-4.42	1.75
13	PCR-GWM16	268.60	N/A	N/A	N/A	N/A
14	PCR-GWM17 *	235.50	233.90	235.23	-1.60	1.33
15	PCR-GWM18 *	229.26	229.79	227.38	0.53	-2.41
16	PCR-GWM19 *	202.83	202.51	202.94	-0.32	0.43
17	PCR-GWM21 **	328.19	325.72	325.76	-2.47	0.04
18	PCR-GWM22 **	328.04	318.55	312.46	-9.49	-6.09
19	PCR-GWM23 **	N/A	337.04	337.74	N/A	N/A
20	PCR-GWM24 **	337.31	N/A	N/A	N/A	N/A
21	PCR-GWM25 **	316.05	313.60	314.44	-2.45	0.84
22	PCR-GWM26	235.53	N/A	230.00	N/A	N/A
23	PCR-GWM27 ***	328.60	349.25	350.24	20.65	0.99
24	PCR-GWM28 ***	357.59	354.80	354.48	-2.79	-0.32
25	PCR-GWM29 ***	351.16	342.46	340.75	-8.70	-1.71
26	PCR-GWM31 ***	326.07	N/A	297.41	N/A	N/A
27	PCR-GWM32 ***	354.70	347.03	N/A	-7.67	N/A
28	PW01	N/A	353.36	N/A	N/A	N/A
29	PW02	N/A	353.08	352.14	N/A	-0.94
30	PZ01	N/A	353.83	352.33	N/A	-1.50
31	PZ02	N/A	352.63	351.31	N/A	-1.32
32	PZ03	N/A	353.79	352.26	N/A	-1.53
33	PZ04	N/A	353.86	352.26	N/A	-1.60
34	PZ05	N/A	353.55	352.43	N/A	-1.12
35	PZ06	N/A	353.45	352.38	N/A	-1.07
36	PZ07	N/A	353.38	N/A	N/A	N/A
37	PZ08	N/A	356.03	352.24	N/A	-3.79
38	PZ10	N/A	353.95	353.00	N/A	0.95

- หมายเหตุ (1) ช่วงฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม  
 (2) ช่วงฤดูแล้ง ระหว่างกลางเดือนตุลาคม - กลางเดือนกุมภาพันธ์  
 (3) ช่วงต้นฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม



หมายเหตุ	(4) ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำระหว่างก.พ.50 และต.ค.49 เท่ากับ -2.61 หมายถึง ระดับน้ำเดือนก.พ.50 (ฤดูแล้ง) ลดลง 2.61 ม. เมื่อเทียบกับเดือนต.ค.49 (ฤดูฝน)
	* บ่อสังเกตการณ์บริเวณที่ลุ่มฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษา
	** บ่อสังเกตการณ์บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา
	*** บ่อสังเกตการณ์บริเวณบ้านปางอโคก
	N/A ไม่มีข้อมูลแรงดันของระดับน้ำบาดาล เนื่องจากไม่สามารถวัดระดับน้ำได้ หรือยังไม่เจาะบ่อ (PW01-PW02 และ PZ01-PZ10)

## 2) การตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจหาสารปนเปื้อนจำนวน 2 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ 2550 เพื่อเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำใต้ดินในฤดูแล้ง

ครั้งที่ 2 เดือนมิถุนายน 2550 เพื่อเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำใต้ดินในฤดูฝน

โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ของโครงการที่เจาะใหม่ ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน และบริเวณโดยรอบ ดังรูปที่ 3-30 โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบหาสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 2 ครั้งนี้จะนำไปสร้างเส้นชั้นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิด (Iso-concentration contour map) เพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนและประมาณพื้นที่และปริมาณสารอินทรีย์ระเหย โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในบทที่ 4 และบทที่ 5 ต่อไป

วิธีการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) เรื่องกำหนดคุณภาพน้ำใต้ดิน ดังภาคผนวก ๕

การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 จำนวน 22 ตัวอย่าง จากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 9 บ่อ (บ่อหมายเลข PZ01, PZ02, PZ03, PZ04, PZ05, PZ06, PZ08, PZ10 และ PW02) จำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์สารปนเปื้อนมีดังนี้

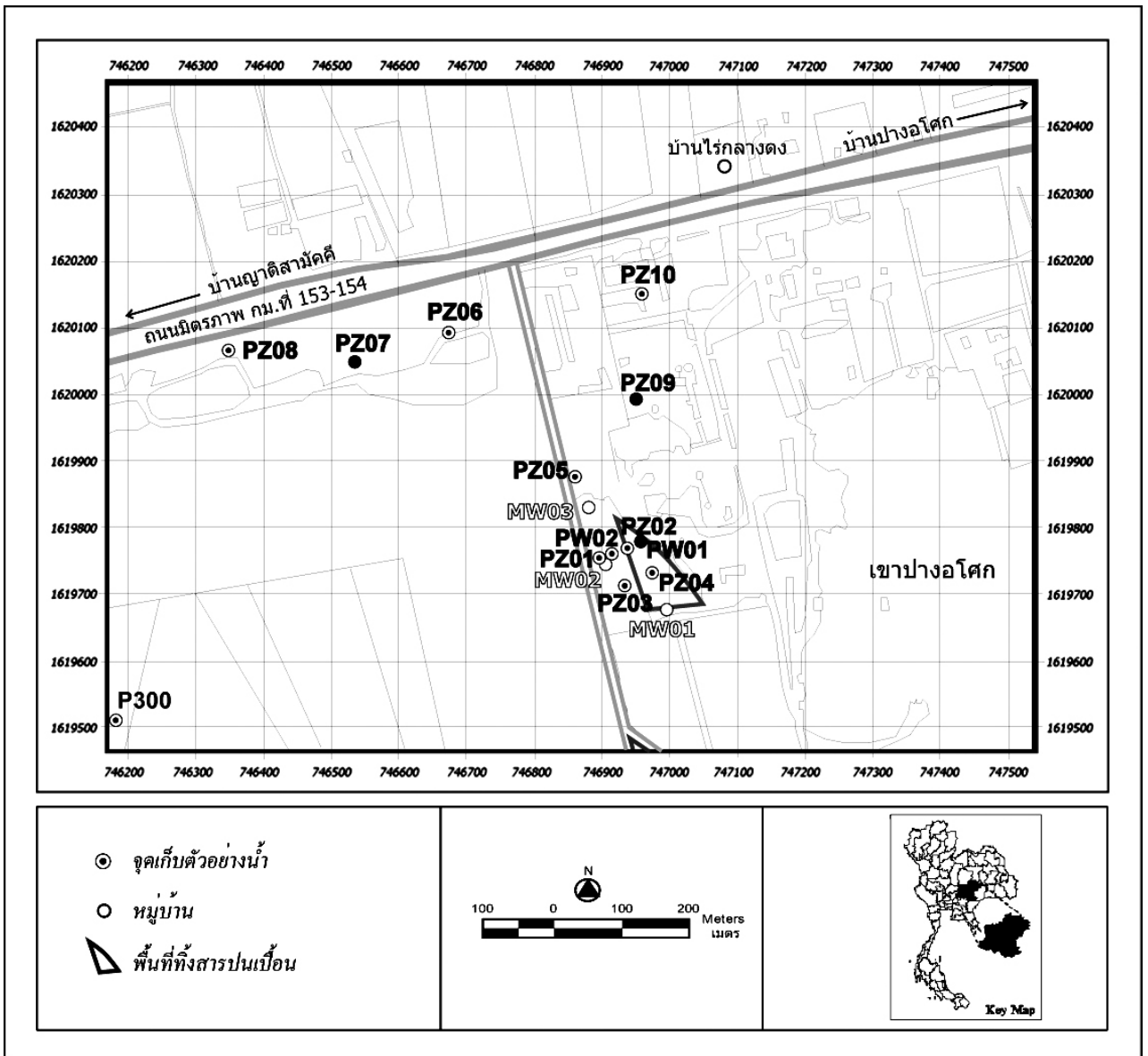
• VOCs	18	ตัวอย่าง
• PCB	1	ตัวอย่าง
• Formaldehyde	1	ตัวอย่าง
• Pesticides	1	ตัวอย่าง

- Heavy metals 1 ตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินครั้งที่ 2 ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2550 จำนวน 20 ตัวอย่าง จากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 7 บ่อและหลุมเปิด 1 หลุม (หมายเลข บ่อ PZ01, PZ02, PZ04, PZ05, PZ06, PZ10, PW02 และ P300) จำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์สารปนเปื้อนมีดังนี้

- VOCs 20 ตัวอย่าง
- PCB 1 ตัวอย่าง
- Formaldehyde 1 ตัวอย่าง
- Pesticides 8 ตัวอย่าง
- Heavy metals 8 ตัวอย่าง

จากผลการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในครั้งที่ 1 และจากคุณสมบัติของสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษาบางชนิดมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ จึงมีแนวโน้มที่จะตรวจพบสารดังกล่าวที่ระดับด้านล่างของบ่อสังเกตการณ์ ดังนั้นคณะที่ปรึกษาจึงเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 ที่ระดับความลึกมากกว่าครั้งที่ 1 (บริเวณก้นบ่อสังเกตการณ์) การเก็บตัวอย่างน้ำในครั้งที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนบริเวณต้นน้ำ (Upstream) และทำให้น้ำ (Downstream) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน



รูปที่ 3-30 จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

ผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จำนวน 42 ตัวอย่าง จากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 10 บ่อ พบสารอินทรีย์ระเหยเกินระดับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2543) จำนวน 8 บ่อ ดังนี้คือ PZ01, PZ02, PZ03, PZ04, PZ05, PZ06, PZ10 และ PW02 โดยตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยเกินระดับมาตรฐาน 7 พารามิเตอร์ คือ benzene, 1,2-dichloroethane, 1,1,-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, tetrachloroethylene(PCE), trichloroethylene(TCE) และ 1,1,2-trichloroethane จากผลการตรวจสอบพบว่าบ่อสังเกตการณ์ PZ02 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนพบจำนวนสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าวเกินระดับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3-13

ผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ระเหยยังคงตกค้างอยู่ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน และอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐาน นอกจากนี้ยังตรวจพบการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน ประมาณ 350 เมตร ในบ่อสังเกตการณ์ PZ06 และ PZ10 โดยพบสาร PCE และ TCE ในระดับที่เกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน และพบสาร Toluene แต่ไม่เกินระดับมาตรฐาน

คณะที่ปรึกษาได้ทำการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเพิ่มเติมอีก 4 พารามิเตอร์ (PCB, Formaldehyde, โลหะหนัก และสารกำจัดศัตรูพืช) โดยตรวจวิเคราะห์ PCB, Formaldehyde จากบ่อสังเกตการณ์ PZ01 เนื่องจากบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าวมีแนวโน้มการตรวจพบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินมากที่สุด และตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช และโลหะหนักจาก 8 บ่อบริเวณที่ทิ้งสารปนเปื้อนและโดยรอบ จากผลการตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารทั้ง 4 พารามิเตอร์ เกินระดับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ดังแสดงในตารางที่ 3-14 และ 3-15

สำหรับบ่อสังเกตการณ์ PZ06 และ PZ08 ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน ประมาณ 300-400 เมตร ตรวจไม่พบสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารยังเคลื่อนที่ไม่ไปถึงบริเวณบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าว หรืออาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของสารปนเปื้อนที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ จึงมีแนวโน้มที่จะตรวจพบสารดังกล่าวที่ระดับด้านล่างของบ่อสังเกตการณ์ อย่างไรก็ตามการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 จึงได้เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับลึกมากกว่าเดิม (บริเวณก้นบ่อสังเกตการณ์) โดยการเก็บตัวอย่างน้ำในครั้งที่ 2 ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายของสารเคมีบริเวณต้นน้ำ (Upstream) และท้ายน้ำ (Downstream) อีกด้วย

ตารางที่ 3-13 ผลการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย PCB และ Formaldehyde ในน้ำใต้ดิน

Parameters	results (ppb)																	
	wells depth(m)	PZ02	PZ04	PZ01	PW02	PZ03	PZ05	PZ06	PZ08	PZ10	P300	ST	DL					
Benzene	Feb-07	-	17.9	-	2.95	-	<2	-	<2	-	3.35	-	<2	-	-	-	-	-
	Jun-07	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	5
Carbon Tetrachloride	Feb-07	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-
	Jun-07	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	5
1,2-Dichloroethane	Feb-07	-	22.25	-	2.2	-	<2	-	<2	-	4.95	-	<2	-	<2	-	<2	-
	Jun-07	49.61	-	48.72	-	8.905	12.26	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-
1,1-Dichloroethylene	Feb-07	-	<2	-	36.8	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-
	Jun-07	7.11	-	5.875	-	5.155	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-
cis-1,2-Dichloroethylene	Feb-07	-	105.5	-	24	-	215	-	23.4	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10
	Jun-07	330	-	391.5	-	206	287.5	-	115.5	12.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	70
trans-1,2-Dichloroethylene	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	100
Dichloromethane	Feb-07	<2	-	2.2	-	2.35	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	Jun-07	<2	-	<2	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	5
Ethylbenzene	Feb-07	-	<10	-	16.7	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	700
Styrene	Feb-07	-	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	100
Tetrachloroethylene	Feb-07	-	<2	-	<2	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	Jun-07	696.5	-	527	-	723	401.5	-	880.5	276	-	77.92	16.04	-	25.26	-	25.5	5
Toluene	Feb-07	-	409	-	221.5	-	795	-	860	-	206.5	86.35	<10	<10	65.25	-	<10	-
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1000
Trichloroethylene	Feb-07	-	451	-	322.5	-	2310	-	3320	-	302.5	120	<2	<2	25.5	-	<2	-
	Jun-07	990.5	-	956.5	-	792.5	566	-	1409	441	-	181	11.04	-	23.98	-	<2	5
1,1,1-Trichloroethane	Feb-07	-	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200
1,1,2-Trichloroethane	Feb-07	-	86.6	-	2.45	-	43.05	-	22.25	-	8.15	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	Jun-07	228.5	-	101	-	7.655	28.91	-	26.22	7.015	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	5
Total Xylenes	Feb-07	-	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10000
PCB (Aroclor 1254)	Feb-07	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun-07	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5
Formaldehyde	Feb-07	-	-	-	-	-	<0.05ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun-07	-	-	-	-	-	<0.05ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05(ppm)

ST: มาตราการเกณฑ์น้ำใต้ดิน ประกาศกรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)

PZ02, PZ04: แหล่งกักเก็บน้ำที่ทั้งสารปนเปื้อน

PZ01, PW02, PZ03, PZ05, PZ06, PZ10: แหล่งกักเก็บน้ำที่ทั้งสารปนเปื้อน

P300: หลุมเปิดออกพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน

ตารางที่ 3-14 ผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในน้ำใต้ดิน

Parameters	Result (ppb)								ST	DL
	PZ02	PZ04	PZ01	PW02	PZ05	PZ06	PZ10	P300		
	36 m	48 m	40 m	40 m	60 m	70 m	30 m			
a-BHC	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-	0.004
b-BHC	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-	0.004
c-BHC	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-	0.004
d-BHC	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.2	0.004
Heptachlor	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.4	0.004
Aldrin	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	-	0.004
Heptachlor epoxide	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.2	0.004
Endosulfan I	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	0.004
p,p-DDE	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	0.004
Dieldrin	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	0.03	0.004
Endrin	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	0.004
Endosulfan II	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	0.004
p,p-DDD	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	-	0.004
Endrin aldehyde	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	-	0.004
Endosulfan sulfate	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	-	0.004
p,p-DDT	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012	2	0.004
Chlordane	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	0.01

ST: มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)

DL: Detection Limit

PZ02, PZ04: บ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

P300: หลุมเปิดนอกพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

Sampling: Jun 2007

PZ01, PW02, PZ05, PZ06, PZ10: บ่อสังเกตการณ์นอกพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

ตารางที่ 3-15 ผลการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดิน

Parameters	Result (ppm)								ST	DL
	PZ02	PZ04	PZ01	PW02	PZ05	PZ06	PZ10	P300		
	36 m	48 m	40 m	40 m	60 m	70 m	30 m			
Arsenic	0.0013	0.0049	0.0014	0.0013	0.0027	<0.0003	<0.0003	0.0037	0.01	0.0003
Cadmium	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.003	0.0030
Chromium Hexavalent	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.05	0.0060
Lead	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.0100
Manganese	0.036	0.156	0.04	0.18	0.141	<0.005	<0.005	<0.005	0.5	0.0050
Mercury	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.01	0.0002
Nickel	0.005	0.02	<0.005	0.02	0.02	<0.005	0.01	<0.005	0.02	0.0050
Copper	<0.003	<0.003	0.004	<0.003	0.005	<0.003	<0.003	<0.003	1	0.0030
Zinc	0.972	0.016	0.348	0.02	0.173	0.086	0.058	0.006	5	0.0050
Selenium	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	0.0050

ST: มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)

DL: Detection Limit

PZ02, PZ04: บ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

P300: หลุมเปิดนอกพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

Sampling: Jun 2007

PZ01, PW02, PZ05, PZ06, PZ10: บ่อสังเกตการณ์นอกพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน

ในการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อตรวจสอบหาสารปนเปื้อน คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบจำนวน 2 ครั้ง ได้ผลสรุปว่า

### การเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1

การเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 จากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 9 บ่อ ตรวจพบสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน ดังนี้

- Benzene
- 1,2-dichloroethane
- 1,1-dichloroethylene
- cis-1,2-dichloroethylene
- Trichloroethylene (TCE)
- 1,1,2- trichloroethane

ในการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 ไม่พบสารปนเปื้อน ในตัวอย่างน้ำจากบ่อที่ตั้งนอกพื้นที่ซึ่งสารปนเปื้อนในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (PZ06 และ PZ08) ซึ่งเป็นแนวการเคลื่อนที่หลักของน้ำใต้ดิน จึงตั้งสมมติฐานว่าสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินอาจจะยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณบ่อดังกล่าว และในทิศตะวันออกเฉียงเหนือจากจุดตั้งสารปนเปื้อน ซึ่งเป็นแนวรอยแตกของชั้นหินในพื้นที่ศึกษา มีการพบ TCE ในบ่อสังเกตการณ์ (PZ10) แสดงว่าสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่ไปตามรอยแตกของหินในแนวนี้เช่นกัน

### การเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2

การเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 จากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 8 บ่อ และ 1 หลุมเปิด ตรวจพบสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน ได้แก่

- 1,2-dichloroethane
- 1,1-dichloroethylene
- cis-1,2-dichloroethylene
- Tetrachloroethylene (PCE)
- Trichloroethylene (TCE)
- 1,1,2- trichloroethane

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ตรวจพบสารปนเปื้อน (PCE และ TCE) จากตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (PZ06) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (PZ10) แสดงให้เห็นว่าสารปนเปื้อนได้เคลื่อนที่ไปถึงบริเวณบ่อดังกล่าวเมื่อเทียบกับผลการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบหาสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 2 ครั้งนี้จะนำไปสร้างเส้นชั้นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย (Iso-concentration contour map) เพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนและประมาณพื้นที่และปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในบ่ที่ 4 ต่อไป

### สรุปผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 2 ครั้ง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารปนเปื้อนที่ตรวจในครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า Benzene และ Toluene มีความเข้มข้นลดลง ส่วนสารปนเปื้อน 1,2-dichloroethane, cis-1,2-dichloroethylene, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, 1,1,2- trichloroethane มีแนวโน้มกระจายตัวออกไปสู่บ่อนอกพื้นที่ที่ทั้งสารปนเปื้อนมากขึ้น (PZ06, PZ10) ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2

หากพิจารณาตัวอย่างน้ำบริเวณพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน (PZ02 และ PZ04) พบว่ามีการเพิ่มความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากขึ้นในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 แต่ในทางกลับกันบริเวณโดยรอบนอกพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน (PZ01 และ PW02) มีการลดลงของสารปนเปื้อนที่เคยตรวจพบ

เมื่อพิจารณา Toluene นั้นพบว่ามีความเข้มข้นลดลงในระดับที่ลึกมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของ LNAPL ที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำและมีแนวโน้มที่จะลอยอยู่บริเวณระดับผิวน้ำ ส่วนสาร TCE ซึ่งเป็น DNAPL นั้นมีแนวโน้มที่พบความเข้มข้นมากเมื่อระดับความลึกมากขึ้น อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของสารปนเปื้อนตามแนวตั้งนั้นยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้ชัดเจน เนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะของบ่สังเกตการณ์ที่มีลักษณะเป็น Open-Hole ตลอดจนความยาวบ่อ ส่งผลให้ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของการกระจายตัวตามแนวตั้งของสารปนเปื้อนในการศึกษาครั้งนี้

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินในบริเวณจุดทั้งสารปนเปื้อน ที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากขึ้นในฤดูฝน (มิ.ย. 2550) เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บในฤดูแล้ง (ก.พ. 2550) ทำให้เห็นว่า อาจมีแหล่งของสารปนเปื้อนที่ตกค้าง (secondary source) ในบริเวณส่วนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) ที่อยู่บริเวณเหนือชั้นน้ำใต้ดินภายในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อน เมื่อมีการการเติมน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) ในฤดูฝน น้ำจากผิวดินจะไหลผ่านแหล่งสารปนเปื้อนที่ตกค้างในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยละลายเอาสารปนเปื้อนเหล่านั้น และไหลลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินด้านใต้พื้นที่ทั้งสารต่อไป ดังเห็นได้จากการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในเดือน



มิถุนายน 2550 พบว่าความเข้มข้นของ TCE และ PCE ในน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสาร PCE จากเดิมตรวจไม่พบในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 แต่กลับตรวจพบในปริมาณสูงในเดือนมิถุนายน 2550

การปนเปื้อนด้วยการกระทำของมนุษย์ที่พบในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายดินในระดับตื้นที่ความลึก 0-2 เมตร ออกจากพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนก่อนหน้านี้ ไม่สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากผิวดินลงไปสู่ส่วนที่ลึกลง รวมไปถึงชั้นน้ำใต้ดินได้ ฉะนั้นจึงควรมีการบำบัดสารปนเปื้อนที่ยังมีอยู่ในชั้นน้ำใต้ดิน (ส่วนปนเปื้อนในรูป aqueous phase) และป้องกันการปนเปื้อนเพิ่มเติมจากแหล่งสารปนเปื้อนที่ยังคงค้างอยู่ในชั้นดินและหินในบริเวณที่ทิ้งสาร (ส่วนปนเปื้อนในรูป free phase)

**บทที่ 4**

**การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน**

## บทที่ 4

### การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

#### 4.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ผลกระทบของสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินสู่มนุษย์และสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำ (contaminated groundwater) ดิน (contaminated soil) และ ไอระเหย (vapor phase) นับเป็นปัจจัยเสี่ยงอันเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ศึกษา จากการรวบรวมข้อมูลและสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องในเบื้องต้นพบว่า สารปนเปื้อนที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds) เป็นส่วนใหญ่ จึงยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาการแพร่กระจายของสารพิษจากดินและน้ำใต้ดินไปสู่ชุมชน แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินสิ่งแวดล้อม และสิ่งก่อสร้างใกล้เคียงได้

การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา หมายถึงการประมาณอาณาเขตที่ได้รับผลกระทบจากสารปนเปื้อนที่ยังตกค้างอยู่ในพื้นที่ เนื่องจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา เกิดจากการรั่วซึมของสารเคมีที่ลักลอบกบถฝังบริเวณผิวดิน โดยที่ปริมาณสารปนเปื้อนที่อยู่ใต้ดินนั้นมีจำนวนที่ไม่สามารถคาดเดาได้อย่างชัดเจนในเบื้องต้น ดังนั้นในเบื้องต้นการประมาณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนจึงปัญหาที่สลับซับซ้อนมาก ประกอบกับการที่พื้นที่ศึกษามีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นชั้นน้ำที่เกิดจากหินแตกร้าว จึงยิ่งทำให้ยากต่อการประมาณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน โดยสามารถประมาณอาณาเขตการปนเปื้อนในดินและน้ำในทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินได้จากกรณีวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในดินและน้ำ ณ ตำแหน่งที่ทำกรวัดค่าการปนเปื้อน พื้นที่ปนเปื้อนที่ประมาณได้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบเทคนิคการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป นอกจากนี้การประเมินความเสี่ยงอันเนื่องมาจากการเกิดการปนเปื้อนของทรัพยากรน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษาอันเป็นเป้าหมายของการศึกษาคั้งนี้ยังต้องพัฒนาขึ้นจากปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างด้วย เนื่องจากความเสียหายอันเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอาจคำนวณได้จากปริมาณสารปนเปื้อนที่ตรวจพบและความเป็นพิษของสารปนเปื้อน การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนมีประโยชน์ต่อการออกแบบระบบการจัดการสารปนเปื้อนในอนาคตต่อไป เช่น การออกแบบบ่อสูบ (Pumping Wells) และบ่อสังเกตการณ์ (Monitoring Wells) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะสูบน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากชั้นน้ำชั้นผิวดินเพื่อทำการบำบัดและเพื่อการติดตามคุณภาพน้ำใต้ดินหลังการบำบัดตามลำดับ

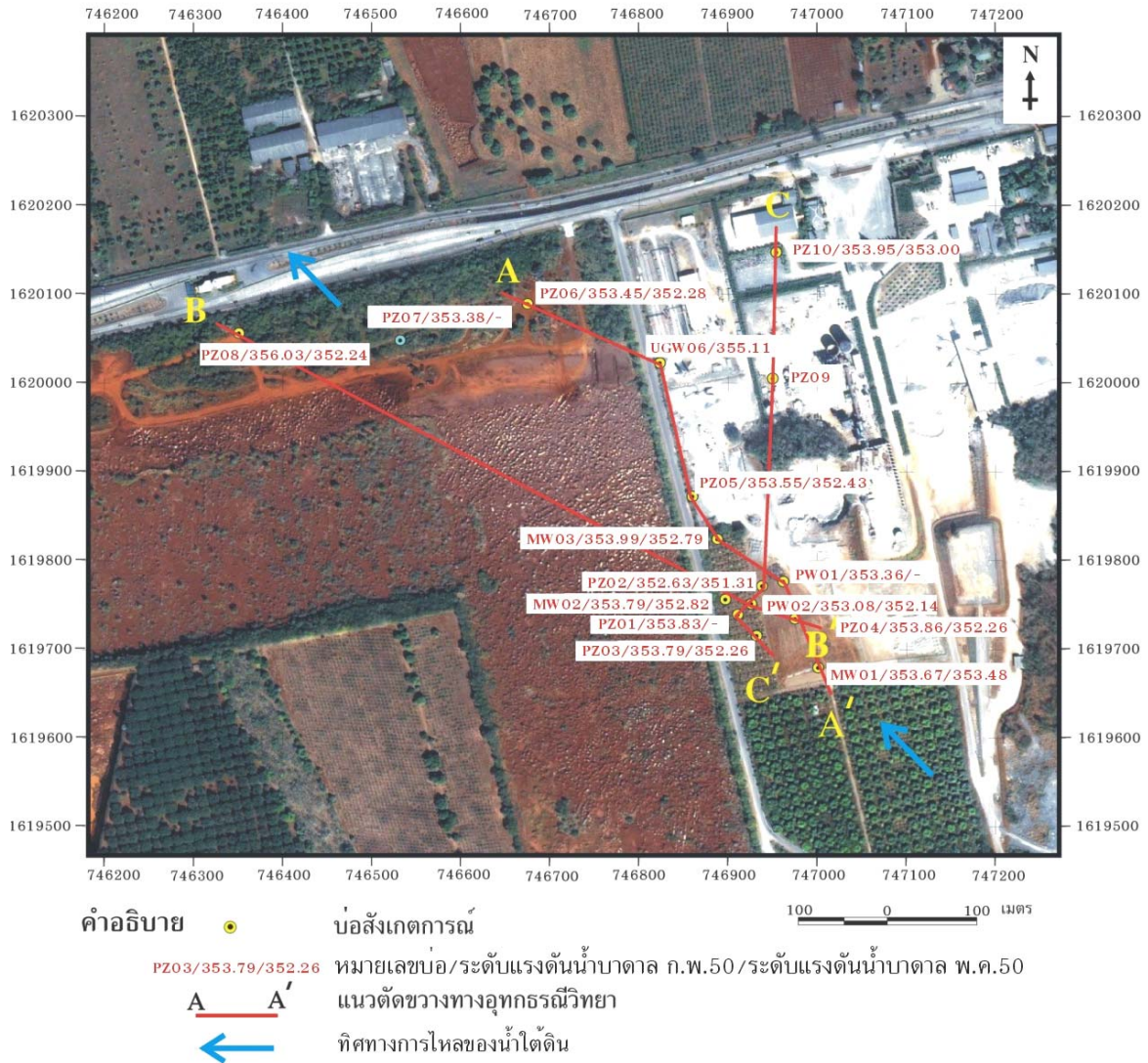
พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อประมาณอาณาเขตการปนเปื้อนจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน จะถูกกำหนดโดยเริ่มต้นจากบริเวณที่พบการลักลอบกลบฝังสารเคมีบนผิวดินซึ่งมีอาณาเขต ประมาณ 2 ไร่ โดยรอบ นอกจากนี้พื้นที่ปนเปื้อนต้องครอบคลุมอาณาเขตโดยรอบของพื้นที่ ลักลอบกลบฝังเป็นรัศมีประมาณ 200 เมตร จากจุดศูนย์กลางการปนเปื้อนออกไป หากยังพบ หลักฐานการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินที่เก็บจากพื้นที่ จะต้องทำการขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษา ออกไปเมื่อทำการศึกษาในระยะต่อไป

การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนนี้ครอบคลุมถึงการเก็บข้อมูลการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน ณ ตำแหน่งต่างๆ กระจายทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังรวมถึงการนำผลวิเคราะห์การ ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ได้มาประมาณพื้นที่ปนเปื้อนโดยการวาดเส้น Iso-Concentration ของสาร ปนเปื้อนแต่ละชนิดที่อาจพบเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์ สำหรับสารปนเปื้อนที่พบในดินจะนำมาใช้ ในการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot Spots) ต่อไป

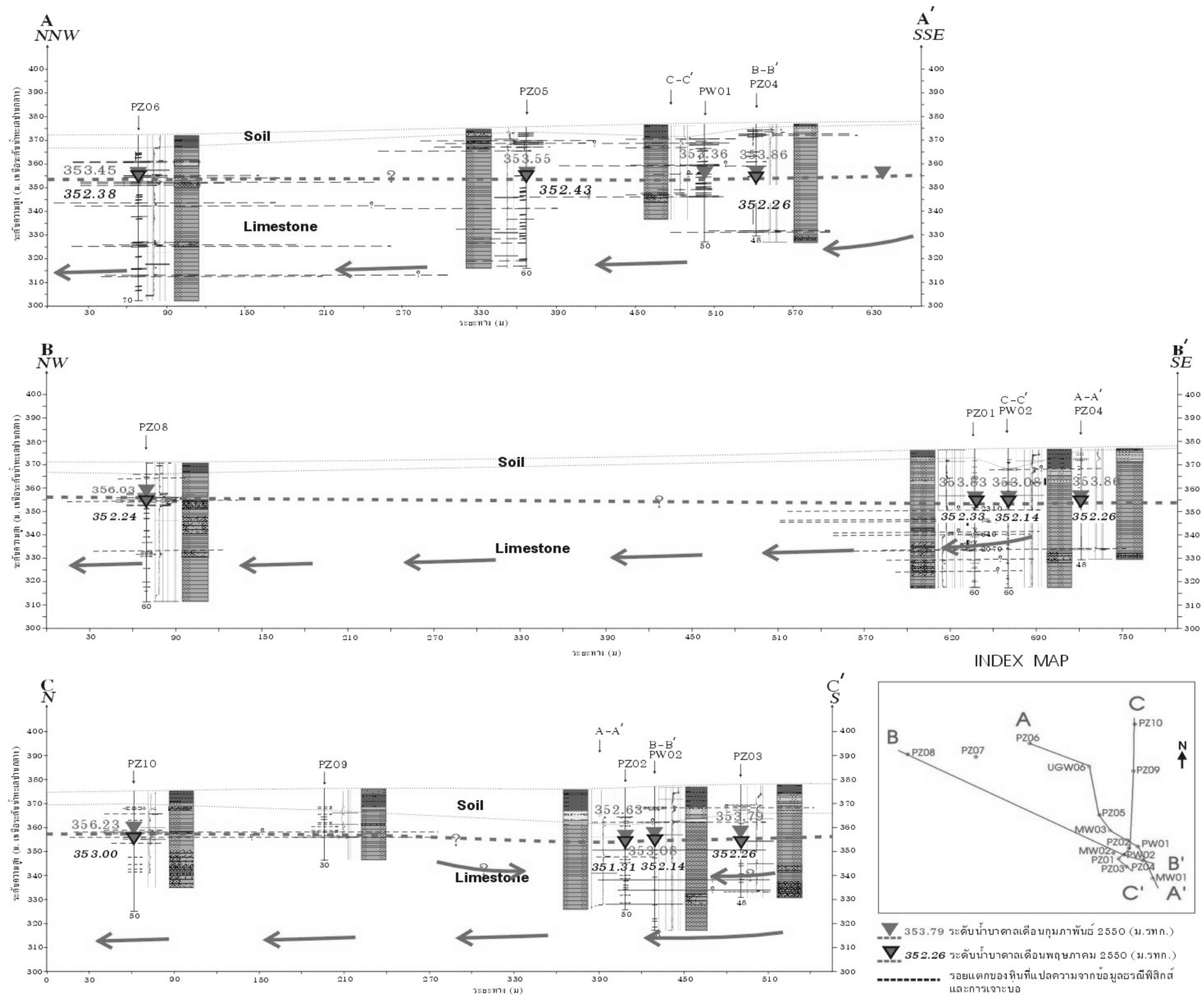
การสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนนั้นจะมีการประมาณการ กระจายตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแบบเชิงเส้น เพื่อให้สามารถลากเส้น Contour ได้อย่าง ต่อเนื่อง นอกจากนี้หลักการสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนไม่ จำเป็นต้องสอดคล้องในทิศทางเดียวกันเนื่องจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปของสารปนเปื้อน เช่น ขณะที่ปรึกษาคาดการณ์ว่าจะพบสารจำพวก Chlorinated Solvents ได้แก่ TCE และ PCE ที่ ระดับชั้นน้ำลึกเนื่องจากสารเหล่านี้มีความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำใต้ดิน จึงจมลงสู่ด้านล่างอย่าง รวดเร็ว ในขณะที่สารปนเปื้อนประเภท Hydrocarbons ได้แก่ Benzene จะตกค้างอยู่ในดินใน ระดับตื้นใกล้กับบริเวณระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากสารปนเปื้อนเหล่านี้มีความหนาแน่นต่ำกว่าความ หนาแน่นของน้ำใต้ดิน

## 4.2 การสร้าง Topographic Map เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนมีทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดินจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำ (recharge area) และพื้นที่ทิ้งสาร ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ บริเวณห้วยซับตะเคียนซึ่งเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) และบางส่วนของไหลไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก และเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำบาดาลเท่ากัน (equipotential line) เป็นรูปกรวยน้ำลดในบริเวณดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3-28 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ทิ้งสารเคมีและบริเวณใกล้เคียง มีความสอดคล้องกับทิศทางหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน กล่าวคือมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 4-1 แนวตัดขวาง A-A' และ B-B' ในรูปที่ 4-2 และจากรูปที่ 4-2 แนวตัดขวาง C-C' พบว่า มีการไหลย้อนกลับของน้ำบาดาลเนื่องจากได้รับผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาลของบ่อในพื้นที่โรงงาน แต่ทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลยังคงไหลไปยังบริเวณบ้านปางอโศก



รูปที่ 4-1 แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และระดับแรงดันน้ำบาดาลในพื้นที่ที่ขังสารเคมีและบริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 4-2 ภาพตัดขวางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ที่สำรวจบนบ่อนและบริเวณใกล้เคียง

#### 4.3 การสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

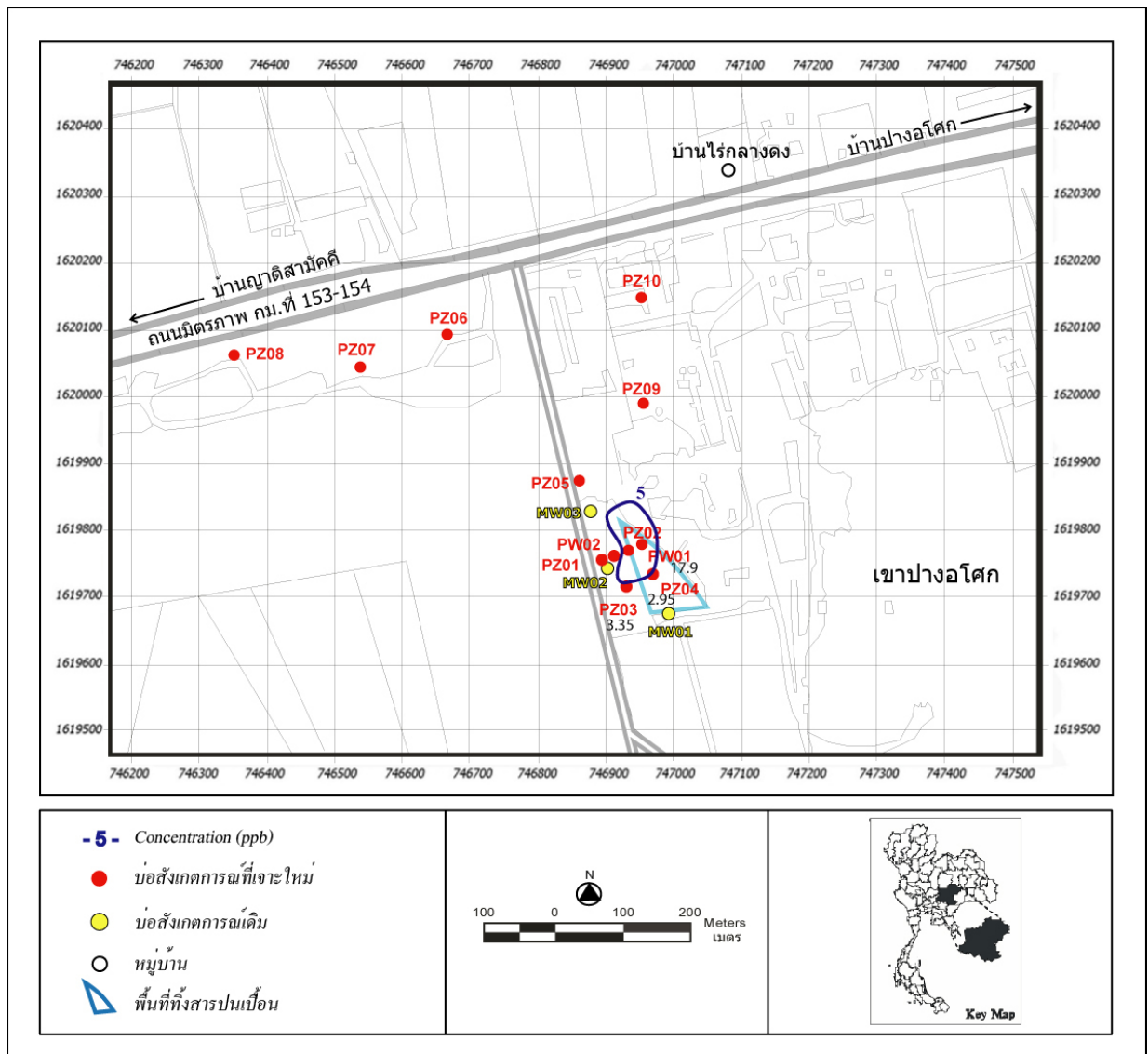
การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินภายในและโดยรอบพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน จำนวน 10 บ่อ จำนวน 2 ครั้งในเดือนกุมภาพันธ์และมิถุนายน 2550 ได้ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย ที่มีปริมาณเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม, 2543) จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ Benzene, 1,2-dichloroethane, 1,1-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene และ 1,1,2- trichloroethane

จากเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ครั้งนั้น พบว่า Benzene ได้ตรวจพบว่าเกินมาตรฐานในเดือนกุมภาพันธ์ และลดลงต่ำกว่ามาตรฐานมิถุนายน และ Tetrachloroethylene ตรวจพบว่าเกินมาตรฐานในเดือนมิถุนายนเพียงครั้งเดียว นอกนั้นสารปนเปื้อน 1,2-dichloroethane, 1,1-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, Trichloroethylene และ 1,1,2- trichloroethane นั้นมีค่าเกินมาตรฐานทั้ง 2 ครั้ง โดยมีการขยายพื้นที่ปนเปื้อนออกไปมากขึ้น

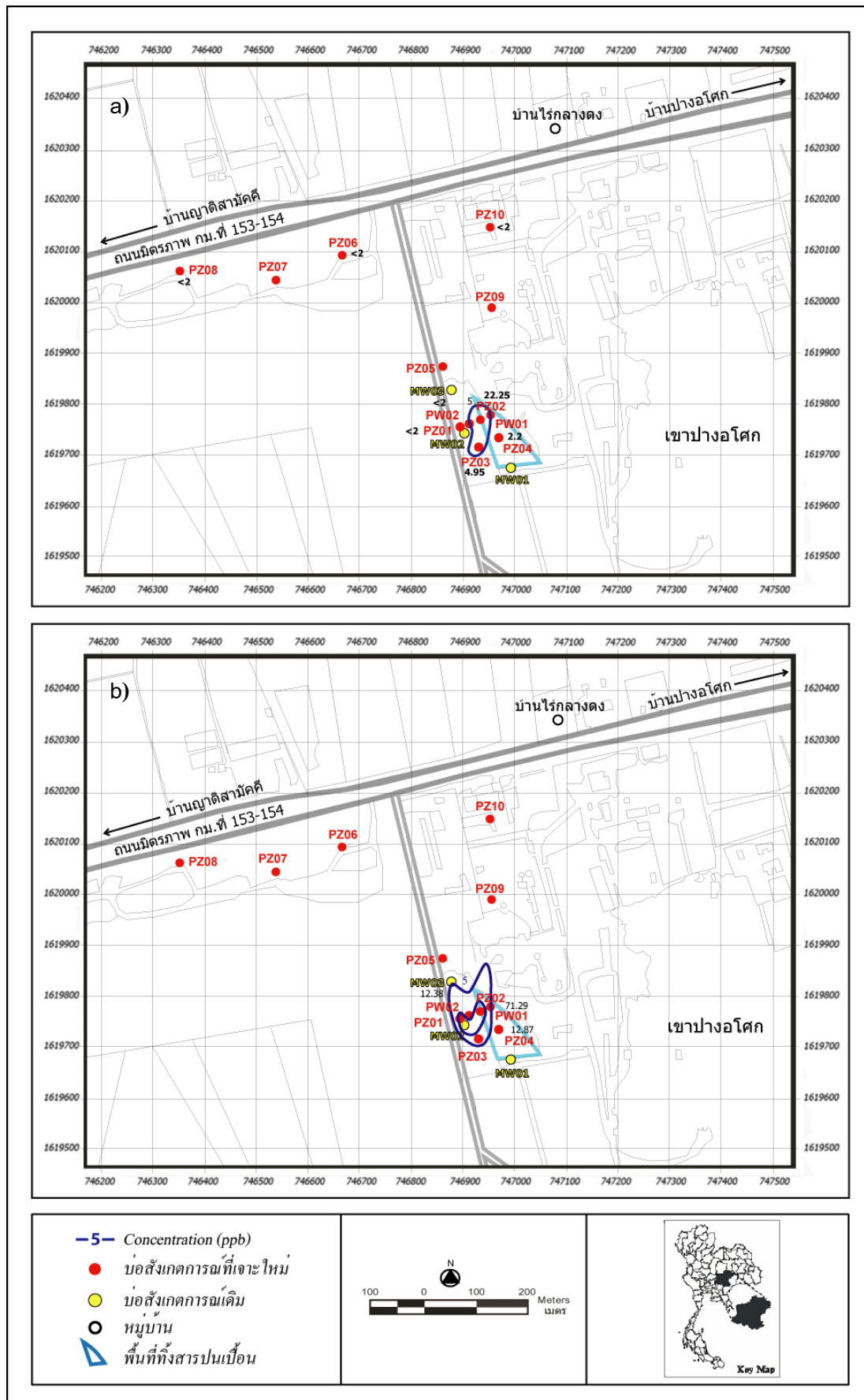
การวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน แสดงให้เห็นว่าปริมาณ Benzene, 1,2-dichloroethane และ 1,1-dichloroethylene ในระดับที่เกินมาตรฐานน้ำใต้ดินนั้นอยู่ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน ดังแสดง Iso-concentration map ของสารทั้ง 3 ชนิด ในรูปที่ 4-3 - 4-5 และการกระจายตัวของสาร cis-1,1-dichloroethylene, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene และ 1,1,2- trichloroethane ในระดับที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินนั้น มีแนวโน้มที่กระจายออกไปสู่นอกพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน ดังแสดง Iso-concentration map ในรูปที่ 4-6 - 4-9 ตามลำดับ ซึ่งการลากเส้น Iso-concentration ในรูปดังกล่าว ได้นำสภาพอุทกธรณีวิทยาที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาพิจารณาประกอบการสร้างภาพ ในบริเวณที่ไม่มีข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดิน

จากแผนที่ Iso-concentration ของสารทั้ง 7 ชนิด พบว่าการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไป 2 ทิศทาง คือ ไปตามทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ และการเคลื่อนตัวของ Trichloroethylene ที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน มีการเคลื่อนที่ออกไปนอกพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนมากที่สุด โดยขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนเหล่านี้ ถูกนำไปใช้ในการพิจารณาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและการพิจารณาความเสี่ยงต่อไป



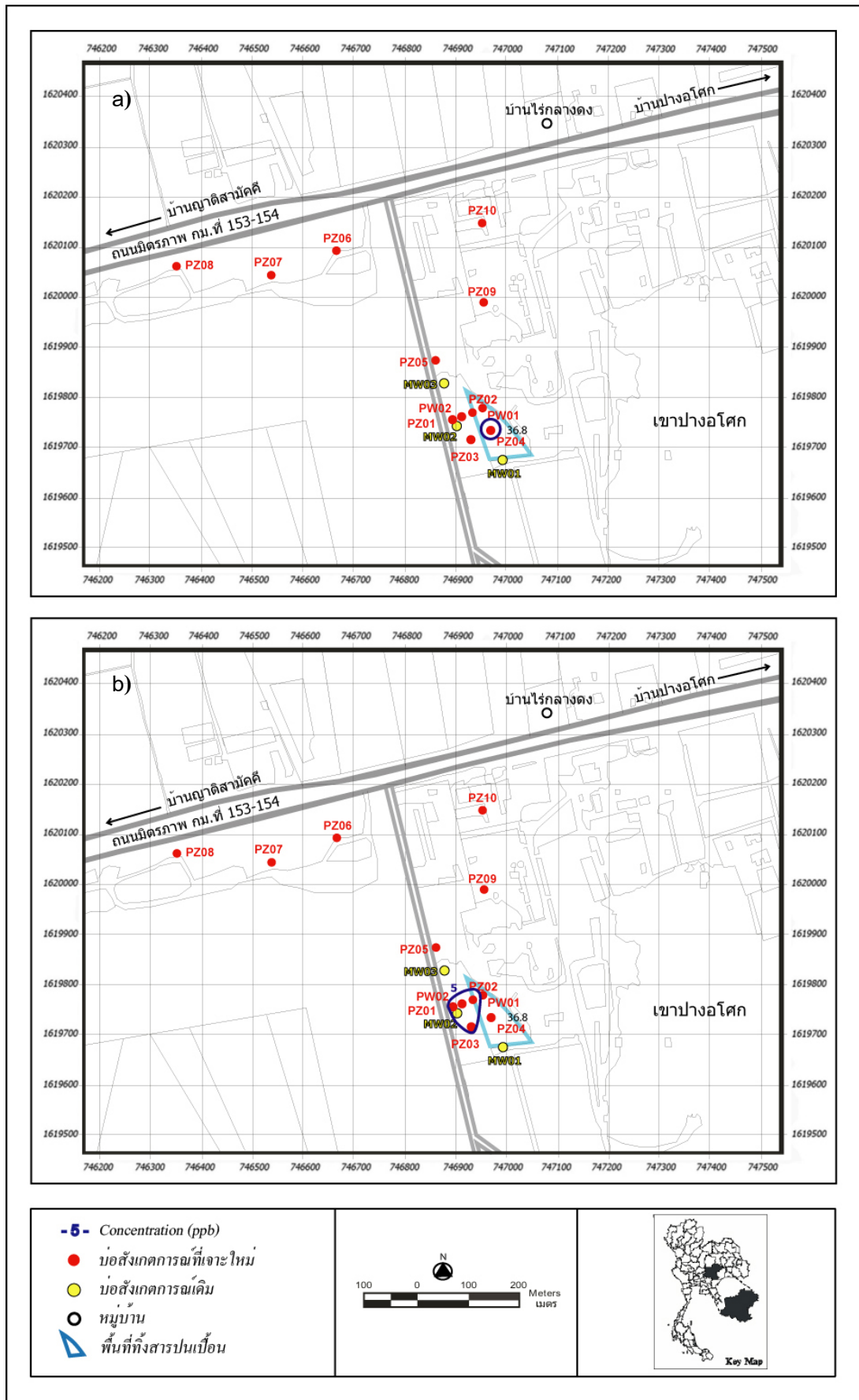


รูปที่ 4-3 เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene เดือนกุมภาพันธ์ 2550



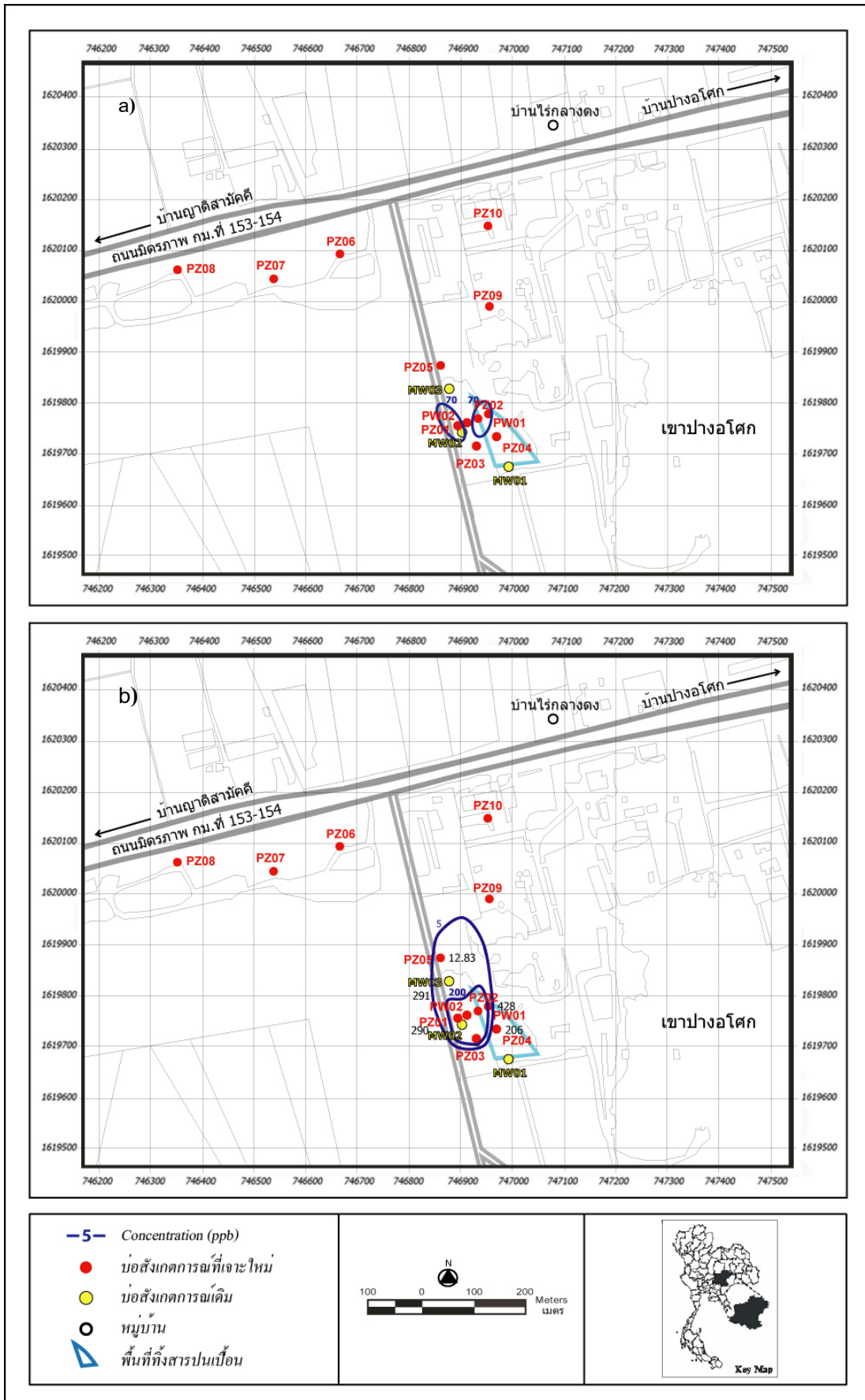
รูปที่ 4-4 เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,2-dichloroethane

a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550



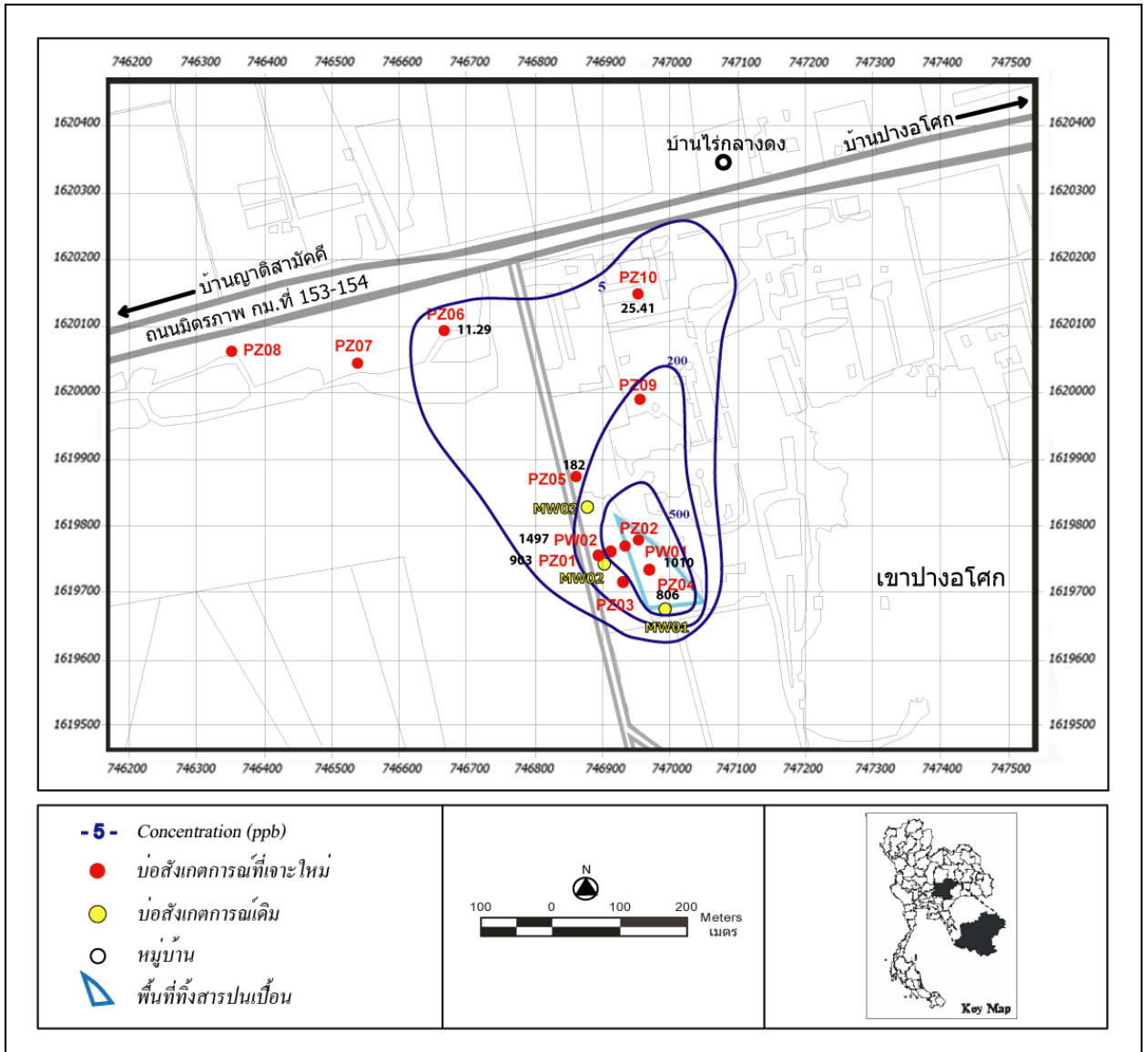
รูปที่ 4-5 เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,1-dichloroethylene

a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550

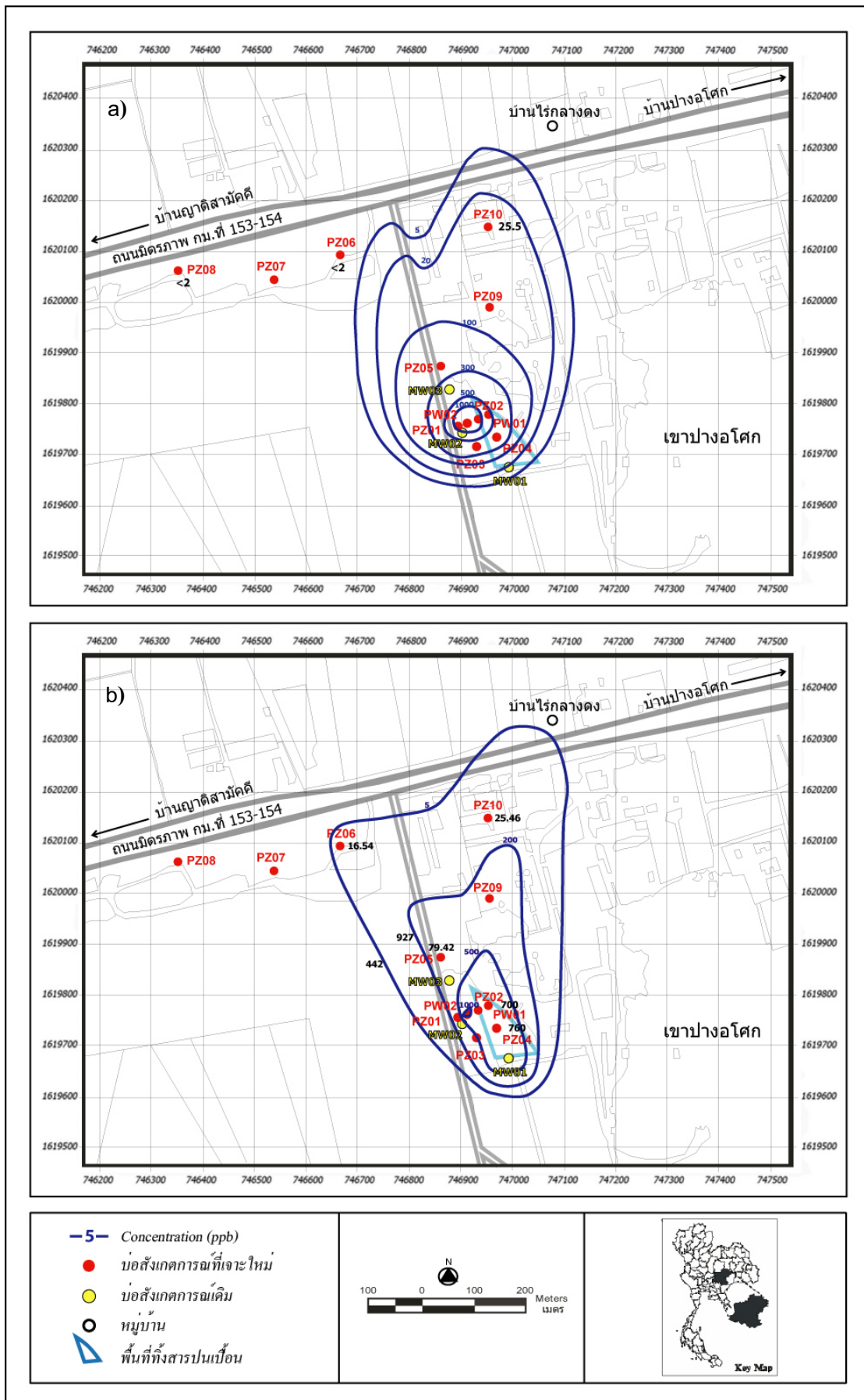


รูปที่ 4-6 เส้นชั้นความเข้มข้นของ cis-1,1-dichloroethylene

a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550

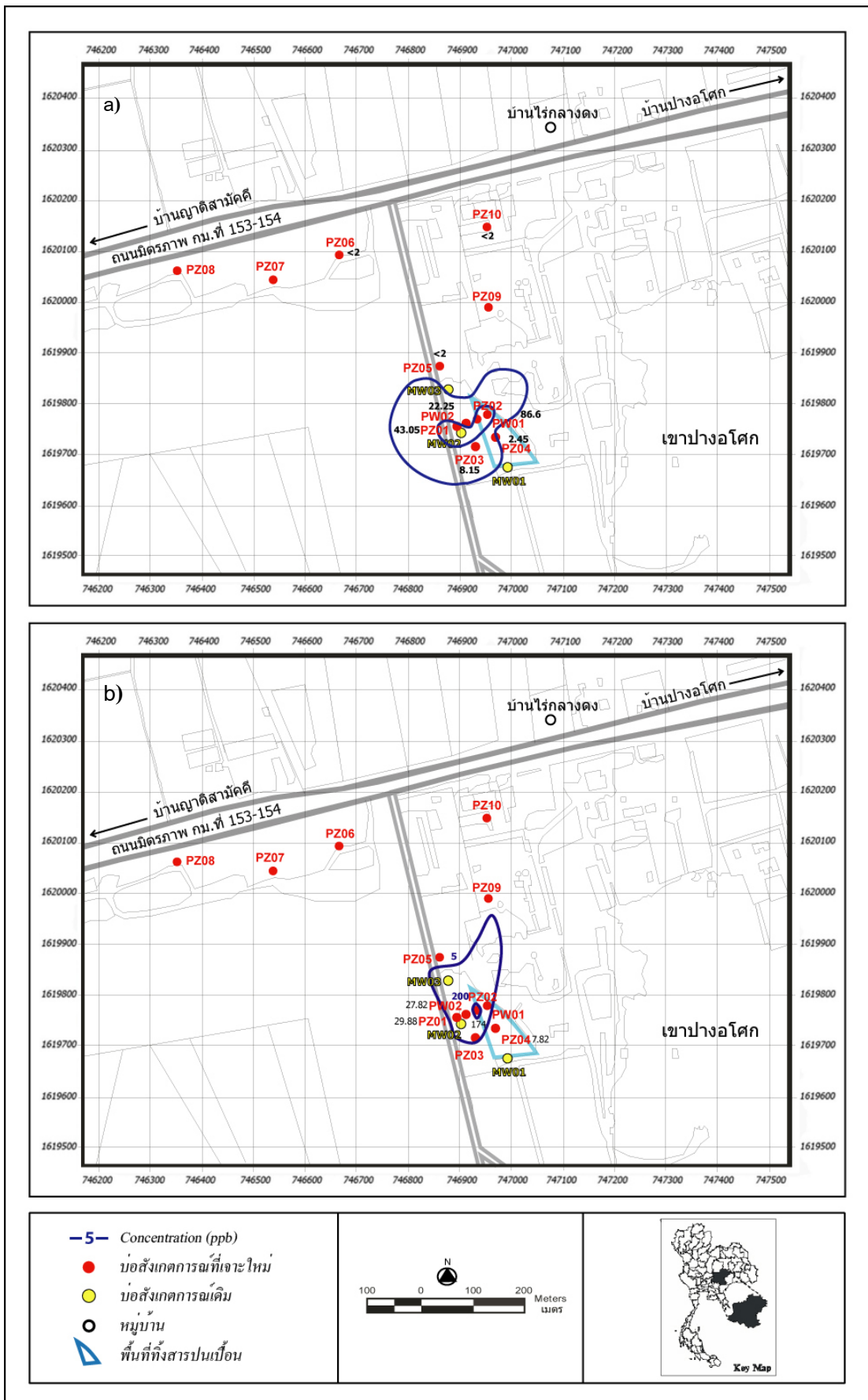


รูปที่ 4-7 เส้นชั้นความเข้มข้นของ Tetrachloroethylene เดือนมิถุนายน 2550



รูปที่ 4-8 เส้นชั้นความเข้มข้นของ Trichloroethylene

a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550



รูปที่ 4-9 เส้นชั้นความเข้มข้นของ 1,1,2- trichloroethane

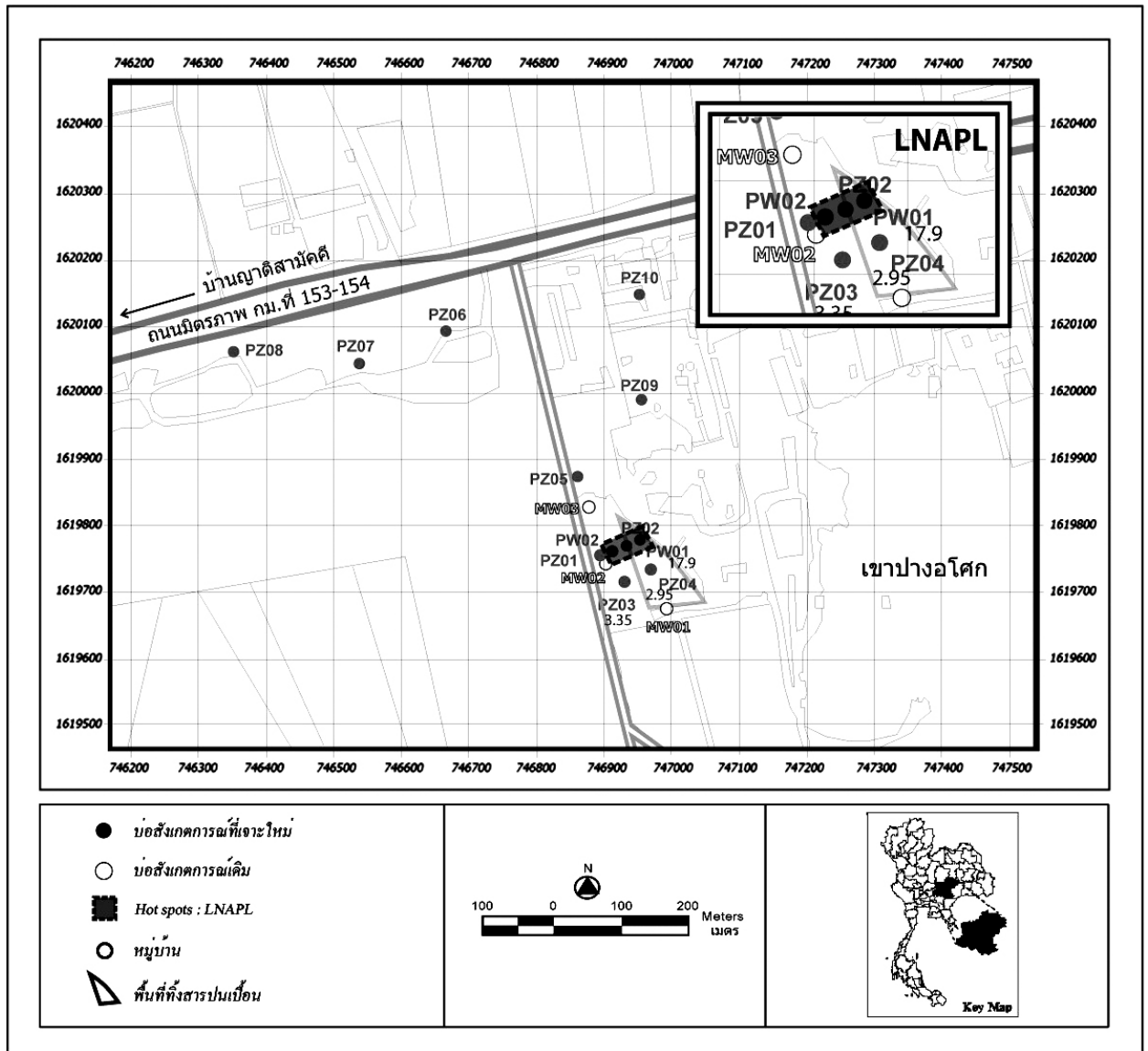
a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550

#### 4.4 การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot spots)

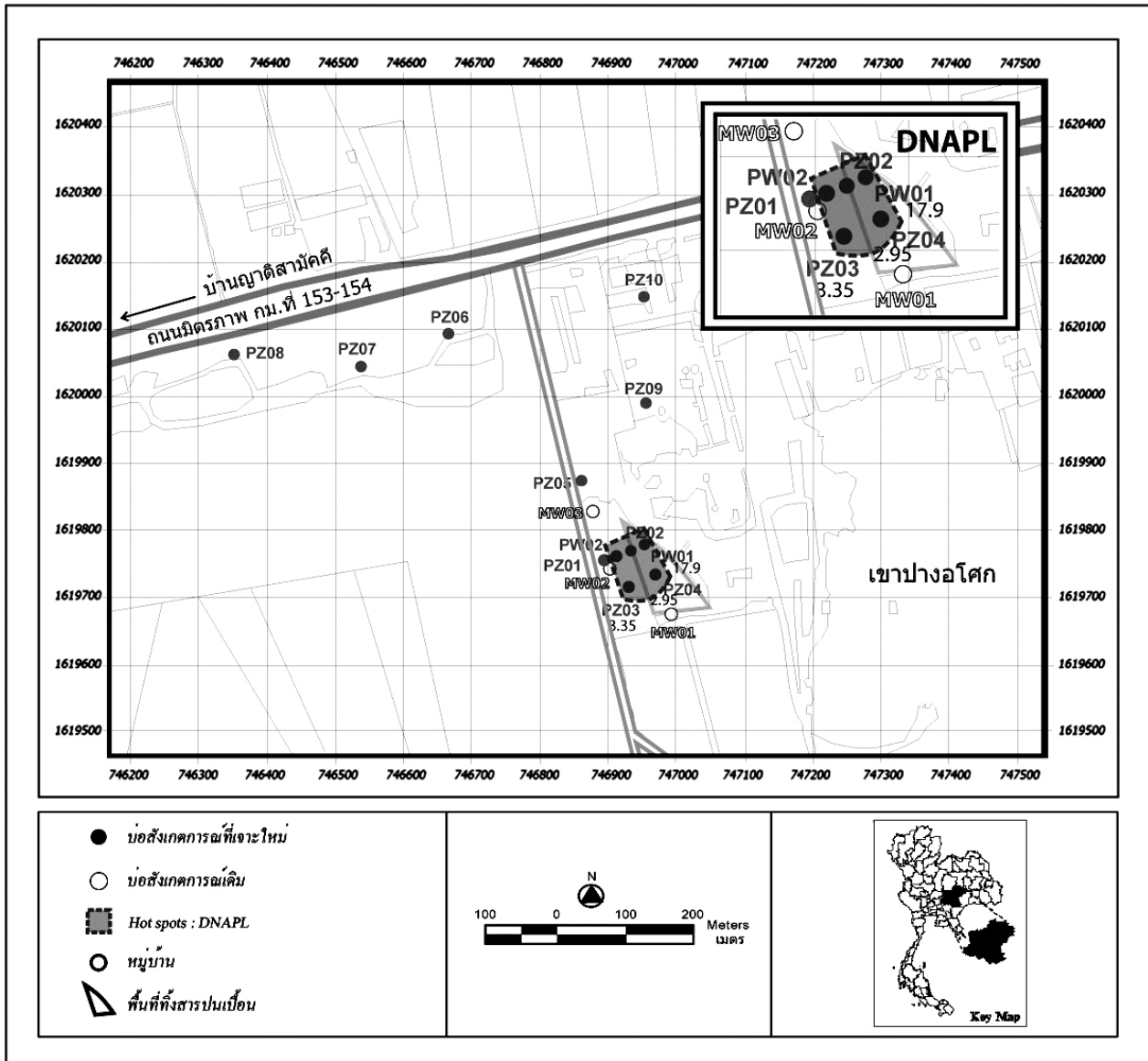
ในการตรวจหาสารปนเปื้อนในดิน คณะที่ปรึกษามีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์จำนวน 10 บ่อ เพื่อใช้ติดตามคุณภาพน้ำใต้ดิน และเป็นข้อมูลในการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนและประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากผลการตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน ตรวจไม่พบสารอินทรีย์ระเหย คณะที่ปรึกษาจึงได้ใช้ข้อมูลการตรวจวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินของกรมควบคุมมลพิษในการวางตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์กลุ่มแรกแทน โดยข้อมูลการตรวจคุณภาพน้ำใต้ดินที่ได้นี้จะนำมากำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดตำแหน่งปล่อยสารปนเปื้อนในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ต่อไป

คณะที่ปรึกษาได้นำข้อมูลจากผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 และจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษมาทำการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนในชั้นอิมตัวด้วยน้ำ โดยได้พิจารณาจากค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบ และคุณสมบัติความหนาแน่นของสารอินทรีย์ระเหย แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสารประเภท LNAPL และตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสารประเภท DNAPL โดยพบว่าศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL อยู่บริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ01, PZ02 และ PW02 มีพื้นที่ประมาณ  $50 \times 30 \text{ m}^2$  ดังรูปที่ 4-10 และศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL อยู่บริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ01-PZ04 และ PW02 มีพื้นที่ประมาณ  $50 \times 70 \text{ m}^2$  ดังรูปที่ 4-11





รูปที่ 4-10 ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL



รูปที่ 4-11 ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL

#### 4.5 การประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย

ขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน ได้พิจารณาจากการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่พบในบริเวณพื้นที่ที่ทิ้งสารเคมีที่เกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ซึ่งได้วิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 พบว่าในบรรดาสารปนเปื้อนอินทรีย์ระเหยทั้ง 7 ชนิดที่มีปริมาณเกินมาตรฐานนั้น Trichloroethylene และ Tetrachloroethylene มีการกระจายตัวของสารที่มีปริมาณเกินมาตรฐานครอบคลุมอาณาบริเวณมากที่สุดในบรรดาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่พบในพื้นที่ศึกษา และยังครอบคลุมการกระจายตัวของสารปนเปื้อนชนิดอื่นอีกด้วย จึงได้พิจารณาขอบเขตการกระจายตัวของสารทั้ง 2 ที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินเป็นขอบเขตของการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยจากการศึกษาในหัวข้อ 4.3 พบว่าพื้นที่ปนเปื้อนในเดือนมิถุนายน 2550 มีขนาดกว้างประมาณ 600 เมตรตามแนวตะวันออกตะวันตก และยาวประมาณ 700 เมตรไปทางด้านทิศเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 300,000 ตร.ม. ดังแสดงขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนที่ได้จากขอบเขตการแพร่กระจายของสารที่ระดับ 5 ไมโครกรัม/ลิตร (ppb) ดังแสดงในรูปที่ 4-12 ซึ่งขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนได้เพิ่มขึ้นมาจากเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ประมาณ 45,000 ตร.ม. โดยขอบเขตการปนเปื้อน จะถูกนำไปใช้ในการการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน รวมถึงพิจารณาความเสี่ยงและผลกระทบต่อการปนเปื้อน

การประมาณปริมาณสารปนเปื้อนมีผลต่อเส้นชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อน หากปริมาณสารปนเปื้อนในชั้นน้ำมีปริมาณมาก จะทำให้เส้นชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมีพื้นที่มากขึ้น ด้วย การประมาณปริมาณสารปนเปื้อนจากข้อมูล รายงานจาก อบต. กลางดง ซึ่งได้ระบุ จำนวนภาชนะที่บรรจุสารปนเปื้อนที่มีการทำลายลง และข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ นำมาคำนวณเป็นปริมาณมวลสารปนเปื้อนที่ลงสู่ชั้นน้ำ การคำนวณจะคิดจากมวลสารทั้งหมดที่ปนเปื้อนลงสู่ผิวดินตามเวลาที่ได้บันทึกไว้ สารปนเปื้อนบางส่วนถูกเคลื่อนย้ายออกเนื่องจากการนำดินที่ปนเปื้อนบางส่วนไปบำบัด ปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกเคลื่อนย้ายออกคำนวณด้วย ค่า Sorption ของดินกับสารปนเปื้อน ปริมาตรดินที่เคลื่อนย้าย และช่วงเวลาที่เคลื่อนย้าย เพื่อคำนวณปริมาณมวลสารปนเปื้อนที่ถูกเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่ศึกษา และปริมาณมวลสารปนเปื้อนที่คงเหลืออยู่ ในการพิจารณาหาสัดส่วนของสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ได้คำนึงถึงค่า Solubility ของสารปนเปื้อนประกอบ ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำ และความหนาแน่นของสารปนเปื้อนแต่ละชนิด จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ และคำนวณหาปริมาณมวลสารปนเปื้อนตามอัตราส่วนของสารปนเปื้อนที่คำนวณได้จาก

การคำนวณหาองค์ประกอบของสารเคมีด้วยวิธี Raoult's Law ที่แรงดันไอ (vapor pressure) ของสารละลายนั้นขึ้นกับแรงดันไอของสารแต่ละชนิดกับ mole fraction ดังสมการ

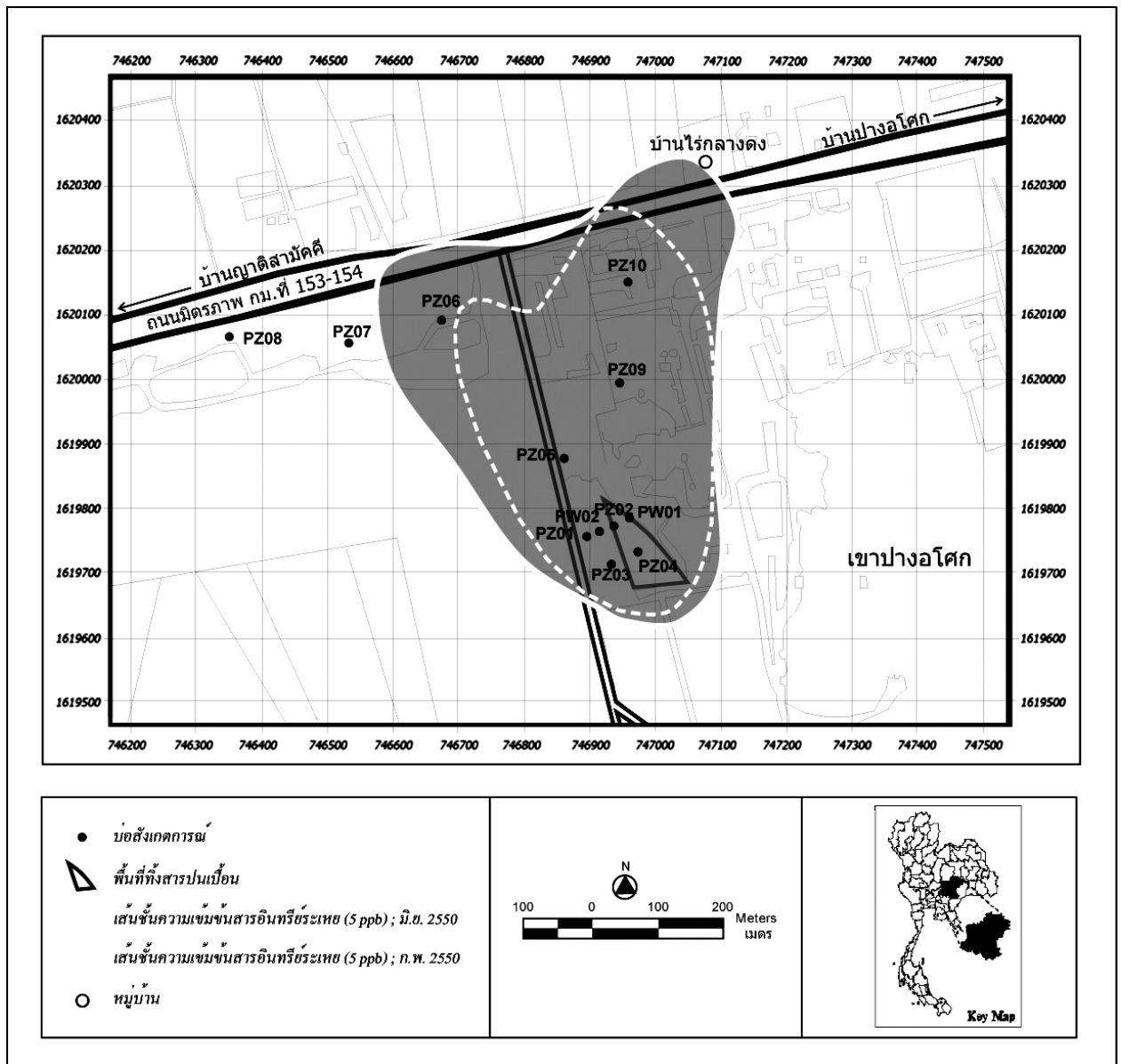
$$P_{\text{solution}} = (P_1)_{\text{pure}} x_1 + (P_2)_{\text{pure}} x_2 + \dots$$

โดย  $P_{\text{solution}}$  คือ แรงดันไอของสารละลาย  
 $(P_1)_{\text{pure}}$  คือ แรงดันไอของสารแต่ละชนิด  
 $x_1$  คือ mole fraction ของสารแต่ละชนิด

จากการคำนวณจากปริมาณสารสาร VOCs ในน้ำของกรมควบคุมมลพิษ จึงสามารถคำนวณหาสัดส่วนของสารประกอบของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ปริมาณของสาร VOCs ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Raoult's Law

สาร	ปริมาณของสารในน้ำใต้ดิน (กิโลกรัม)
TCE	235,218
PCE	152,065
Benzene	28,594
Toluene	13,958
Xylene	120,823
Chlrobenzene	8,887



รูปที่ 4-12 พื้นที่ปนเปื้อนสารไนทรีเย่ระเหย

บทที่ 5

การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์

## บทที่ 5

### การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์

เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพน้ำใต้ดินและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่ศึกษา คณะที่ปรึกษาจึงได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ เพื่อเป็นเครื่องมือในการให้ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน รวมทั้งลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ดังนี้

#### 5.1 การรวบรวมข้อมูลและบททวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาที่ผ่านมาที่มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ทำการรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆในประเทศและบทความจากต่างประเทศ ส่วนข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้มาจากการรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ การสำรวจภาคสนาม และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

#### การศึกษาที่ผ่านมา

ในการศึกษาและบททวนการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การบททวนการใช้แบบจำลอง MODFLOW ที่มีการนำไปใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหิน และการบททวนการใช้แบบจำลอง UTCHEM ในการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- การบททวนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MODFLOW

การศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีทั้งการศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดิน การศึกษาเคลื่อนที่ตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบเช่น

JICA (1995) ได้ทำการศึกษาการจัดการแหล่งน้ำใต้ดินและปัญหาแผ่นดินทรุดในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยอาศัยแบบจำลอง MODFLOW, MOCDENSE, MT3D ทำการศึกษาในกรณีการไหลแบบคงตัว โดยไม่พิจารณาการใช้น้ำจากชั้นน้ำที่ไม่มีความดัน (Unconfined aquifer) และชั้นดินเหนียวชั้นบน (Bangkok Clay) พบว่าอัตราการใช้น้ำใต้ดินในปี 2535 เท่ากับ 1.48 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน (540.6 ล้านลบ.ม./ปี) โดยระดับน้ำใต้ดินลดลงถึงระดับ 30 – 60 เมตร

รทก. เนื่องจากการสูบน้ำใต้ดินมากเกินไป ทำให้แผ่นดินทรุดมากกว่า 20 มม.ต่อปี พื้นที่ที่มีปัญหา คือ สมุทรปราการ มีนบุรี ลาดกระบัง ผลสรุปของการศึกษาเสนอว่า ปริมาณอัตราการการใช้น้ำที่เหมาะสม (permissible yield) เท่ากับ 1.6 ล้านลบ.ม./วัน

Zheng and Jiao (1998) ได้มีการทดสอบ tracer ในชั้นน้ำ ในพื้นที่ Columbus Air Force Base ทางตอนเหนือของรัฐ Mississippi โดยมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW และ MT3D มาใช้ในการทดสอบข้อมูลการตอบสนองของแบบจำลอง (Sensitivity Analysis) ระหว่างค่า longitudinal dispersivity กับ ค่า hydraulic conductivity ที่นำมาสร้างแผนที่โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้ทฤษฎี Kriging และ NGP

กรมทรัพยากรธรณี (2542) ได้ทำการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล รวม 11 จังหวัด (ขยายพื้นที่มากกว่าการศึกษาของ JICA ) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำในปี 2541 เท่ากับ 6.46 ล้าน ลบ.ม./วัน เพิ่มขึ้น 4-18 % ต่อปี และได้เสนอแนะว่า อัตราการสูบน้ำใต้ดินเพิ่มสูงสุดควรจะต้องควบคุมให้อยู่ที่อัตรา 3.4 ล้าน ลบ.ม./วัน ในปี 2555 การศึกษาครั้งนี้อาศัยรูปแบบการศึกษาของ JICA ปี 1995 แล้วทำการจำลองสภาพเหตุการณ์ในอนาคต 5 กรณี โดยกำหนดเงื่อนไขของการใช้น้ำว่า ระดับน้ำต้องไม่ลดลงเกินกว่า - 60 เมตร รทก.

สนธิ์ จินดาสงวน (2541) ทำการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และโปรแกรม GMS สรุปว่า โปรแกรม GMS มีประโยชน์ในการนำเข้าข้อมูล และแสดงผลเชิงรูปภาพ และแบบจำลอง MODFLOW มีความสามารถในการจำลองสภาพได้ทั้งในกรณีสภาวะคงที่ และไม่คงที่ และใช้สำหรับการจำลองสภาพที่มีชั้นน้ำหลายชั้นได้ด้วย สำหรับค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำที่เหมาะสมในการจำลองสภาพนี้ผู้ทำการศึกษา กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำเท่ากับ 70 เมตรต่อวัน ส่วนความต้องการใช้น้ำใต้ดินในจังหวัดกำแพงเพชร ปี 2538 มีค่าประมาณ 631 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่า ปริมาณการสูบน้ำใต้ดินในฤดูฝน และฤดูแล้งมีค่าประมาณ 50% และ 20% ของความต้องการใช้น้ำใต้ดินทั้งหมด ตามลำดับ

สุจิริต คุณธนกุลวงศ์ และโชคชัย สุทธิธรรมจิต (2542) เสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MODFLOW ร่วมกันในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อช่วยใน การจัดการข้อมูลตั้งแต่ขั้นเริ่มต้น การนำเข้าสู่การคำนวณ การเปรียบเทียบ และการแสดงผล การโอนถ่ายข้อมูลระหว่าง



แบบจำลองทั้งสองทำให้การจัดเตรียมข้อมูล และการคำนวณง่ายยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ดีขึ้นด้วย

อรนุช หล่อเพ็ญศรี (2542) ได้ทำการศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดชัยนาท โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ และจากการสำรวจทางอุทกธรณีวิทยา แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mapinfo , Aquitest, Surfer และอื่นๆ ได้ผลการศึกษาว่า แหล่งตะกอนส่วนใหญ่ในจังหวัดชัยนาทเป็นชั้นตะกอนร่วน ( $Q_{cp}$  ,  $Q_{cr}$  ,  $Q_{cl}$ ) และบริเวณขอบของแอ่งเป็นแหล่งน้ำในหินแข็ง เช่น หินภูเขาไฟ แกรนิต หินแปร และได้เสนอการวิเคราะห์หาค่า Transmissivity และค่า Hydraulic conductivity (K) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่า Specific capacity (SC) โดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังสมการ  $K = 2.2 (SC) 1.06$  และสรุปผลการศึกษาว่าชัยนาทเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่มีศักยภาพสูง มีคุณภาพน้ำดี และเป็นแหล่งเติมน้ำตามธรรมชาติ

Chu *et al.* (2000) ได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ 2 กลุ่มมาใช้ในการศึกษาการกระจายตัวของยาฆ่าแมลงในดินสู่น้ำใต้ดิน โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของรัฐแคลิฟอร์เนียร์ แบบจำลองชุดที่ 1 เป็นแบบจำลองที่ทางที่ผู้วิจัยเป็นผู้คิดค้นขึ้นมาซึ่งแบบจำลองการเคลื่อนตัวของยาฆ่าแมลงในดินเป็นแบบ 1 มิติและการเคลื่อนตัวในชั้นน้ำเป็น 2 มิติ ส่วนแบบจำลองชุดที่ 2 ได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ 3 ชนิด คือ PRZM2 , MODFLOW และ MT3D ที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยต้องการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองที่คิดค้นขึ้นกับแบบจำลองที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ผลสรุปของการศึกษา พบว่าผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้ง 2 ชุดให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ รวมทั้งพบว่าการสะสมตัวของยาฆ่าแมลงในดินจะมีค่าสูงในช่วงฤดูกลางเกษตร และมีค่าลดลงเมื่อมีการซึมของน้ำลงสู่ดินหรือช่วงฤดูฝน ทำให้คาดการณ์ได้ว่ายาฆ่าแมลงที่สะสมในดินในช่วงฤดูกลางเกษตร ถูกนำพาจากดินจะเคลื่อนตัวสู่น้ำใต้ดินเมื่อน้ำจากฤดูฝนนำพาลงสู่ด้านล่าง

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล (2545) สร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่างบริเวณจังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง และพระนครศรีอยุธยา จากการประยุกต์ใช้ผลจากแบบจำลองดังกล่าวในการคาดการณ์ระดับน้ำในพื้นที่ใด ๆ พบว่ามีปัจจัยสำคัญ 2 ประการคืออัตราการเติมและการสูบน้ำ การศึกษาดังนี้ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวเพื่อเป็นตัวอย่างในการใช้งานแบบจำลองสำหรับงานวางแผนจัดการในภาคสนามอย่างง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2549) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการคำนวณสภาพการไหลของแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน และนำแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ได้ไปประยุกต์ใช้หาศักยภาพของแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน เพื่อศึกษาหาแนวทางการนำน้ำใต้ดินไปใช้ร่วมกับน้ำผิวดิน

- การทบทวนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในชั้นหิน

การใช้แบบจำลอง MODFLOW เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการไหลผ่านตัวกลางพรุน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับชั้นน้ำใต้ดินแบบตะกอนพัดพา (alluvial aquifer) หรือ บริเวณที่น้ำไหลผ่านชั้นทรายหรือชั้นดินเหนียวนั่นเอง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับการจำลองการไหลในรอยแตกของหินได้ ดังเห็นได้จากการพัฒนา MODFLOW ที่ผ่านมามีดังนี้

Domenico and Schwartz (Domenico,1990) ได้สรุปไว้ว่า การประยุกต์กฎของดาร์ซี (Darcy's Law) ในการคำนวณการไหลของน้ำตามแนวแตกของหินนั้น สามารถนำไปใช้ได้กับการคำนวณของแบบจำลองมหภาค (macro simulation) ซึ่งแบบจำลอง MODFLOW นั้นใช้คำนวณการไหลพื้นฐานด้วยกฎของดาร์ซี

USGS ได้พัฒนาแบบจำลอง MODFLOW เพื่อจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ Naval Air Warfare ในรัฐ New Jersey (Simulated ground-water flow, naval air warfare center, West Trenton, 2002) โดยสร้างแบบจำลองให้มี grid-cell ที่กำหนดการวางตัวตามแนวลาดของพื้นที่ของชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้มีสภาพการไหลของแบบจำลองเป็นไปตามทิศทางการไหลของพื้นที่ศึกษา

Sandra M. Eberts ซึ่งเป็นคณะทำงานของ USGS ได้ทำการสร้างแบบจำลองการไหลของสภาพโดยรวม (regional flow) ของ Midwestern Basin ที่มีขนาดใหญ่มากและครอบคลุมรัฐ Indiana, Ohio, Michigan และ Illinois โดยชั้นน้ำใต้ดินในชั้นที่ล่างเป็นชั้นน้ำแบบหินแข็ง ซึ่งได้กำหนดให้มีการวางตัวของ model-grid เป็นไปตามทิศการไหลของ regional flow และขอบของแอ่งน้ำใต้ดินโดยไม่พิจารณาถึงทิศการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ย่อย (local flow) นอกจากนั้นได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้ทิศขนานไปกับการวางตัวของ model-grid อีกด้วย (Sandra M. Eberts, 2000)

ในปี 2004 หน่วยงาน US Geological Survey และ Bureau of Economic Geology ของ University of Texas ได้ร่วมมือกันศึกษา Edwards Aquifer ที่มีชั้นน้ำส่วนบนเป็นชั้นดินตะกอน สะสมและชั้นน้ำส่วนล่างเป็นชั้นหินปูน ในการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการบริหารจัดการแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งเป็นชั้นน้ำใต้ดินในชั้นหินปูน ที่มีพื้นที่ขนาด 14,000 ตร.กม. ซึ่งชั้นน้ำใต้ดินนี้ยังเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่สำคัญในรัฐเท็กซัส

- การทบทวนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง UTCHEM

Marek H. Zaluski, Jame J. Consort และ Stephen B. Antonioli (2003) ได้ทำการศึกษาถึงการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อน TCE ในน้ำใต้ดิน ซึ่ง TCE เป็นสารจำพวกหนึ่งของสารจำพวก DNAPL ด้วยแบบจำลอง UTCHEM โดยการสร้าง extraction well ที่ระดับความลึก 150 ฟุต พื้นที่ศึกษาอยู่ที่ Cape Canaveral Air station , Florida จากการศึกษาพบว่า หากใช้ extraction well 2 จุด ต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ปี สามารถเคลื่อนกำจัดมวลสาร TCE ได้มากถึง 53 % หากใช้เวลา 27 ปี จะสามารถเคลื่อนย้าย TCE ได้ 77 % และหากใช้เวลา 50 ปี สามารถกำจัดมวลสาร TCE ได้ 85 % (18,240 kg) เช่นเดียวกันกับการใช้บ่อสูบเพียง 1 บ่อ เมื่อสูบต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ปี จะสามารถย้าย TCE ได้ถึง 92.2 % แต่อย่างไรก็ตาม TCE ที่เหลืออยู่ก็ยังมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานน้ำดื่มถึง 263 เท่า

Jan Schaerlaekens, et al. (2006) ได้ทำการศึกษาถึงทางเลือกในการกำจัดสารปนเปื้อนจำพวก DNAPL ในน้ำใต้ดิน โดยการใช้แบบจำลอง UTCHEM ด้วยวิธี Surfactant –Enhanced Aquifer Remediation (SEAR) โดยทางคณะวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากภาคสนาม เพื่อนำข้อมูลในสนามที่ได้เป็นค่าตัวแปรและทำการปรับเทียบกับแบบจำลอง UTCHEM ได้ จากนั้นจึง แบ่งแนวทางการศึกษาหลายแนวทาง และคิดค่าใช้จ่ายสำหรับแต่ละแนวทาง เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาวิเคราะห์หาแนวทางเลือกสำหรับกำจัดสารปนเปื้อนอย่างเหมาะสมต่อไป

### **แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง**

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง มีทั้งข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ข้อมูลจากภาคสนาม รวมทั้งข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มากำหนดเงื่อนไขและค่าตัวแปรในแบบจำลอง สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

- 1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ

- 2) ข้อมูลด้านอุตุวิทยามหาวิทยาลัย และอุทกวิทยาผิวดิน
- 3) ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน
- 4) ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน

โดยมีรายละเอียดดัง ตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อน

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา
1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ		
1.1	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร
2. ข้อมูลด้านอุตุวิทยามหาวิทยาลัย และอุทกวิทยาผิวดิน		
2.1	ข้อมูลฝนรายเดือน รายสถานี	กรมอุตุวิทยามหาวิทยาลัย
2.2	ข้อมูลชนิดของดิน และแผนที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน
3. ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน		
3.1	คุณสมบัติของชั้นน้ำ	การศึกษาคูทกธรณีฯ
3.2	ผลการสุบทดสอบและค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ	ข้อมูลจากภาคสนาม กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
3.2	การติดตามระดับน้ำรายเดือน	การศึกษภาคสนาม
4. ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน		
4.1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารปนเปื้อน	การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ, การศึกษาที่ผ่านมา

● ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ระดับความสูงของพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้ได้จาก กรมแผนที่ทหาร

การศึกษาข้อมูลในส่วนนี้ เพื่อจะนำข้อมูลไปใช้กำหนด boundary condition ของแบบจำลอง เช่น ขอบเขตที่มีอัตราการไหลเข้า , ขอบเขตที่มีอัตราการไหลออก และขอบเขตที่ไม่มี การไหล

- **ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาผิวดิน**

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาผิวดิน รวบรวมข้อมูลได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมพัฒนาที่ดิน ได้แก่ ข้อมูลฝน อัตราการระเหย คุณสมบัติของดิน

ข้อมูลฝน และอัตราการระเหย เป็นข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยา ที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและสถานีใกล้เคียง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดค่า recharge ของแบบจำลอง

คุณสมบัติของดิน และแผนที่ชุดดินในพื้นที่ศึกษา นำมาใช้พิจารณาปริมาณการซึมได้ของน้ำซึ่งเป็นการเติมน้ำโดยธรรมชาติให้กับระบบชั้นน้ำใต้ดิน ข้อมูลที่ได้จะนำมาประกอบการกำหนดค่า recharge ของแบบจำลอง

- **ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน**

ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดินที่ใช้ในการศึกษา เป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลบ่อใต้ดิน การแบ่งชั้นน้ำใต้ดิน และการทดสอบทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งข้อมูลได้จาก กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล รวมทั้งการศึกษาจากภาคสนาม

ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ชนิดของดิน(Soil Type) แต่ละประเภทจะมีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้นชนิดของดินจึงมีส่วนในการพิจารณาแหล่งเติมน้ำให้กับชั้นน้ำใต้ดิน จึงมีผลต่อค่า recharge ในแบบจำลอง

ข้อมูลด้านอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน ได้แก่ ระดับน้ำใต้ดิน คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ รวมถึงอัตราการให้น้ำของบ่อน้ำบาดาลตามส่วนต่างๆในพื้นที่ศึกษา

- **ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน**

ได้แก่ข้อมูลคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารปนเปื้อนและส่วนประกอบต่างๆ เช่น viscosity, density, dispersivity, sorption parameter ค่าตัวแปรคุณสมบัติเหล่านี้ได้มาจากการสำรวจภาคสนาม การวิเคราะห์จากปฏิบัติการและค่าอ้างอิงมาตรฐานจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้

## 5.2 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

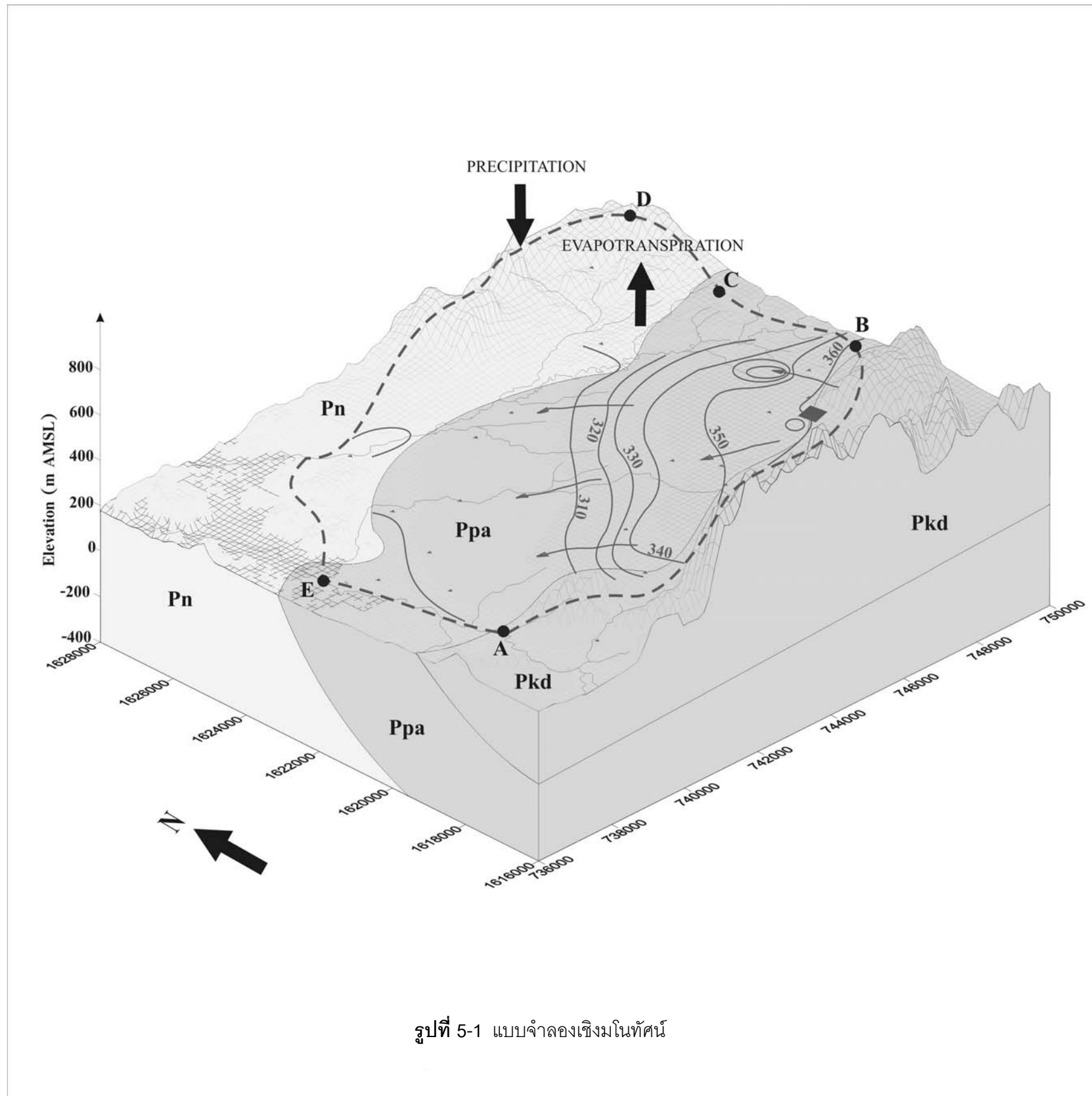
การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เป็นการสร้างภาพรวมของแหล่งน้ำบาดาลที่อาศัยข้อมูลพื้นฐาน เช่น ข้อมูลธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ และการใช้แหล่งน้ำของพื้นที่ศึกษา นำมาประมวลผลสรุปผลข้อมูลเชิงพื้นที่และตัวเลข โดยนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบกริดการจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์การปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งน้ำบาดาล ประกอบด้วย ขอบเขตของแหล่งน้ำบาดาลหรือพื้นที่ศึกษา (ยาว x กว้าง x ลึก) ชนิดและประเภทของหินอุ้มน้ำโดยสังเขป และขอบเขตของพื้นที่ศึกษาแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ หรือชนิดของขอบเขต (boundary conditions)

สภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก มีความยาว 13 กม. และกว้าง 10 กม. บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ล้อมรอบด้วยภูเขาหินปูน ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่บริเวณ อ.กลางดง มีห้วยมวกเหล็กไหลจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ และมีลำห้วยซับตะเคียนไหลผ่านตอนกลางของพื้นที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกลงห้วยมวกเหล็กดังรูปที่ 5-1 จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาเบื้องต้นสามารถสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ได้ดังนี้

การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ เนื่องจากพื้นที่ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นสันเขาสูง ซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) จึงกำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (no flow boundary) และบริเวณทิศตะวันตกซึ่งเป็นลำห้วยมวกเหล็กซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาลเช่นกัน จึงกำหนดให้เป็น no flow boundary ดังรูปที่ 5-1 เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลถูกกักเก็บไว้ในรอยแตกของหินปูน ดังนั้นความลึกของหินปูนที่จะอนุมานได้จากข้อมูลทางโครงสร้างของหินควรจะทำกริดจำลองลึกในระดับไม่เกิน 400 เมตร ความหนาของดินที่ปิดทับหินปูน ประมาณ 12 เมตร ความลึกของรอยแตกหลักที่ให้น้ำมี 2 ระดับ ได้แก่ 20-30 เมตร และ 45-50 เมตร โดยทิศทางการวางตัวของแนวรอยแตกหลัก ได้แก่ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยามีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ ดังนี้ 1) หน่วยหินเขาขาด (Pkd) มีค่าประมาณ  $1.26 \times 10^{-3}$  ถึง  $8.99 \times 10^{-2}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$  2) หินปางอโศก (Ppa) มีค่าประมาณ  $7.85 \times 10^{-5}$  ถึง  $1.16 \times 10^{-1}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$  3) หน่วยหินหนองโป่ง (Pn) มีค่าประมาณ  $2.10 \times 10^{-5}$  ถึง  $9.20 \times 10^{-3}$   $\text{m}^2/\text{วินาที}$



**สัญลักษณ์**

- ▲ หมู่บ้าน
- ~ ลำห้วย
- ← ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล
- เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำบาดาล (ม. รทก.)
- ◆ พื้นที่ทิ้งสารเคมี
- ⬢ ขอบเขตแบบจำลองน้ำบาดาล
- A---B Mountain Ridge (no flow boundary)
- B---C Prescribed Flux (?)
- C---D Mountain Ridge (no flow boundary)
- D---E Mountain Ridge (no flow boundary)
- E---A Existing Stream (no flow boundary)

Imaginary boundary  
(no flow boundary)

Imaginary boundary  
(no flow boundary)

**คำอธิบาย**

สัญลักษณ์	หมวดหิน
<b>Pkd</b>	หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) หินปูนสีดํา เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน และหินปูนเนื้อดินกับหินโดโลไมต์ มีหินเชิร์ตแทรกเป็นกระจุกหรือชั้น บางส่วนคั่นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟ บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลก์-ซิลิเกต
<b>Ppa</b>	หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation) หินดินดาน หินดินดานกึ่งชนวน และหินชนวนสีเทาเขียวซีมน้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงเรื่อ มีชั้นหินทราย และหินปูนแทรกเป็นกระจุกบาง บางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์
<b>Pn</b>	หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) หินปูนสีดําถึงเทาดํา มีลายเป็นแถบหยาบและถี่กับแทรกด้วยชั้นหินเชิร์ต หินดินดาน หินทรายปนทึฟฟ์ สีเขียวซีมน้ำตาล บางแห่งเป็นหิน ภูเขาไฟ หินฮอร์นเฟลส์ หินชนวน และหินควอร์ตไซต์

SCALE  
4      2      0      2      4 km

### 5.3 การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะต่าง ๆ

จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เพื่อพิจารณาคุณภาพของชั้นน้ำใต้ดินรวมไปถึงการออกแบบขอบเขตของชั้นน้ำใต้ดินใน **รูปที่ 5-2** แล้วจึงนำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์และข้อมูลภาคสนามมาพิจารณาในการสร้างเป็นแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาลักษณะการไหลและระดับน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ศึกษา

การศึกษาสภาพและกำหนดขอบเขตของแบบจำลองน้ำใต้ดิน ได้พิจารณาสภาพธรณีวิทยา ประกอบกับการทบทวนข้อมูลน้ำใต้ดินและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในบทที่ 3 ทำให้เข้าใจถึงสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ จากนั้นจึงเริ่มทำการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลและทำความเข้าใจในพื้นที่ศึกษาของโครงการ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มา กำหนดเงื่อนไข ขอบเขตและค่าตัวแปรต่างๆในการสร้างข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และสร้างแบบจำลองในเบื้องต้น ได้แก่ ข้อมูลอุทกธรณี ข้อมูลบ่อน้ำบาดาล และข้อมูลแหล่งน้ำ
2. สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) จากสภาพของน้ำใต้ดินที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาและข้อมูลภาคสนาม และนำไปสร้างลักษณะของชั้นน้ำใต้ดิน
3. ออกแบบแบบจำลอง (Model Design) โดยประยุกต์จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ไปเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีการกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข รวมถึงการนำข้อมูลภาคสนามแปลงเป็นค่าเงื่อนไขในการจำลองและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น อัตราการสูบน้ำใต้ดิน อัตราการเติมน้ำใต้ดิน ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ เป็นต้น
4. ประยุกต์ใช้แบบจำลองสมบูรณในการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อนำแบบจำลองไปใช้เป็นเครื่องมือในการพิจารณารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาต่อไป



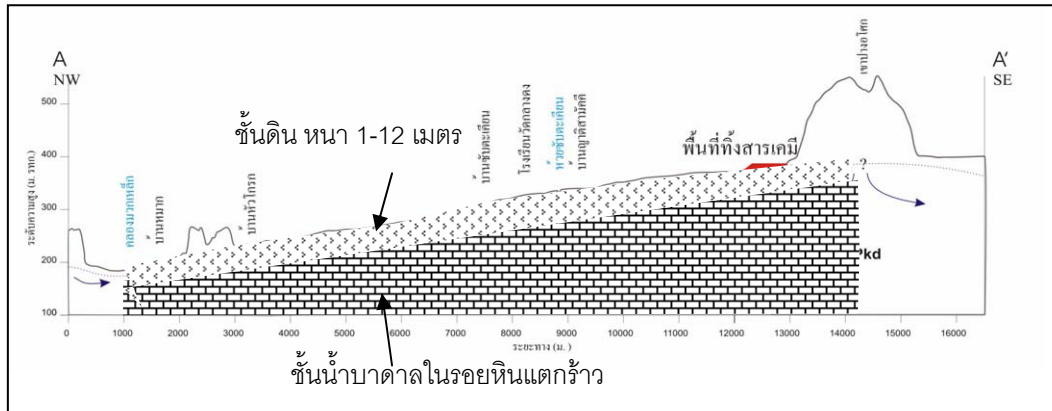
### 5.3.1 การออกแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองสภาพน้ำใต้ดินได้ครบถ้วนแล้ว จึงนำข้อมูลเหล่านี้มาประกอบการสร้างเป็นแบบจำลอง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาที่ได้จากภาคสนาม โดยพบว่าลักษณะของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นน้ำใต้ดินในหินปูนที่เกิดจากไหลผ่านรอยแตกของหิน โดยมีชั้นดินปกคลุมบริเวณผิวหน้าหนา 3-7 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5-2 ซึ่งสามารถพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดิน ได้เป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 5-3 คือ ส่วนบน (layer 1) เป็นน้ำส่วนที่ลงมาจากพื้นผิวและไหลผ่านชั้นดิน โดยในส่วนนี้ได้พิจารณาเป็นส่วนที่รับน้ำฝนและมีการไหลของน้ำไปสู่ชั้นหินส่วนล่าง (layer 2) โดยชั้นหินส่วนล่างนั้น เป็นชั้นน้ำใต้ดินในช่องหินแตก ซึ่งพิจารณาการเติมน้ำจากการรั่วซึมของน้ำส่วนบน

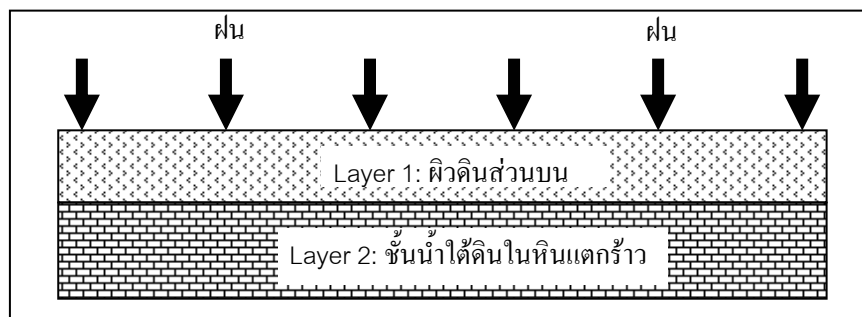
แบบจำลองน้ำใต้ดินในการศึกษานี้ ได้ใช้การจำลองสภาพการไหลด้วยแบบจำลอง MODFLOW-2000 ซึ่งเป็นชุดคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้สร้างโดย USGS ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ในส่วนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงได้ทำการออกแบบจำลอง ด้วยวิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference) ที่มีหน่วยย่อยในการคำนวณเชิงพื้นที่นั้นอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ต่อกันด้วยรูปสี่เหลี่ยม โดยให้มีหน่วยย่อยของพื้นที่การคำนวณเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีขนาด 500x500 เมตร โดยมีความสูงตามความหนาของชั้นน้ำเฉลี่ยในบริเวณนั้น ซึ่งเรียกทรงสี่เหลี่ยมนี้ว่า 1 กริดเซลล์ ในรูปที่ 5-4 เป็นแบบจำลองกริดเซลล์ จำนวนทั้งสิ้น 731 กริดเซลล์ สำหรับใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาต่อไป

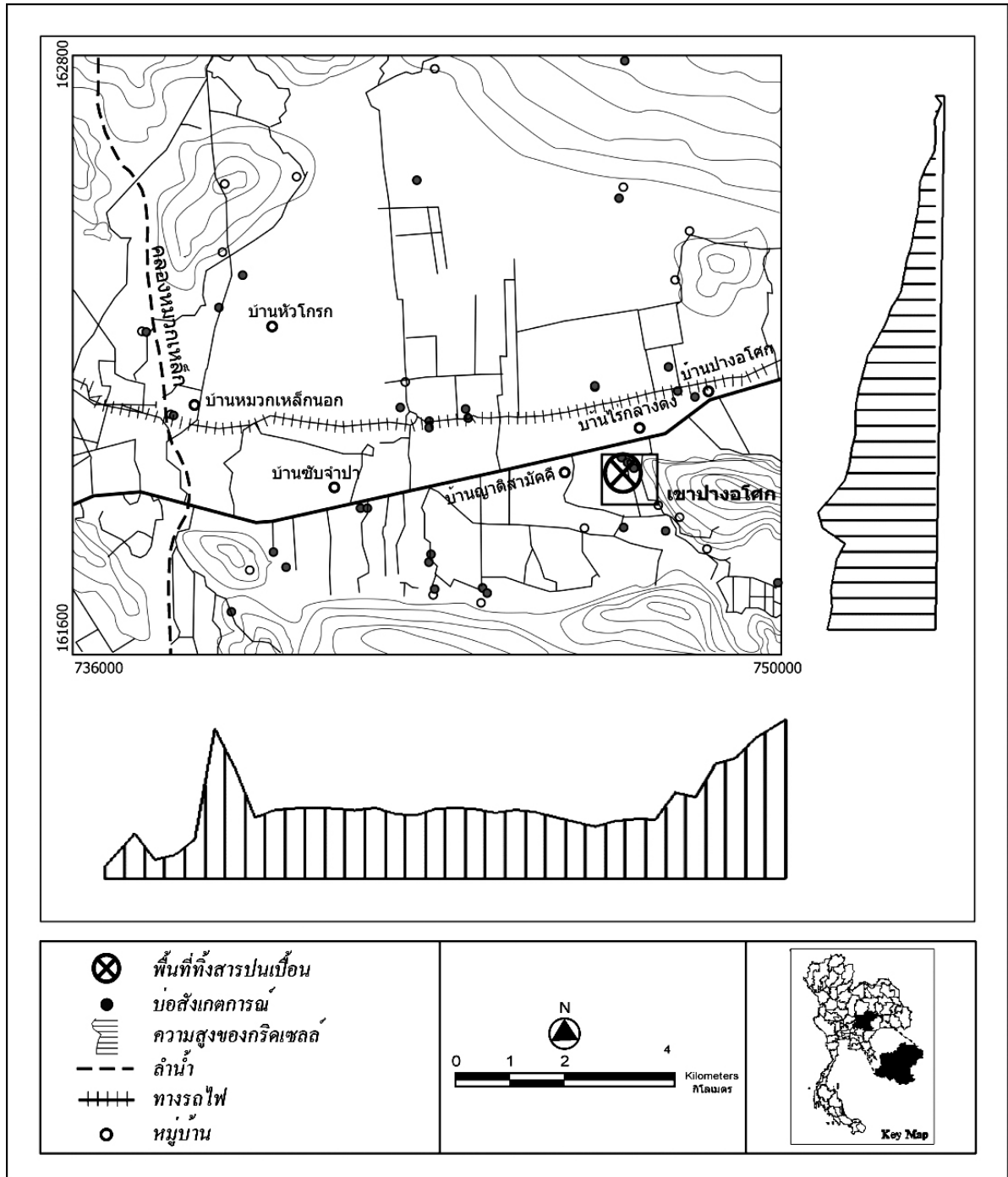
จากการศึกษาข้อมูลของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินนั้นไหลจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ขึ้นไปตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MODFLOW กับชั้นน้ำใต้ดินแบบ Fractured Rock จึงได้ทำการวางแนวของกริดเซลล์ให้เรียงตัวตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในทิศตะวันตกเฉียงเหนือเพื่อกำหนดให้มีค่าการนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดินเป็นตัวกำหนดให้น้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลหลักไปตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือ โดยทำให้การไหลของน้ำในแบบจำลองสอดคล้องกับทิศทางการไหลจากภาคสนาม ซึ่งเป็นไปตามสภาพการไหลในพื้นที่ศึกษานี้



รูปที่ 5-2 ลักษณะการวางตัวของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

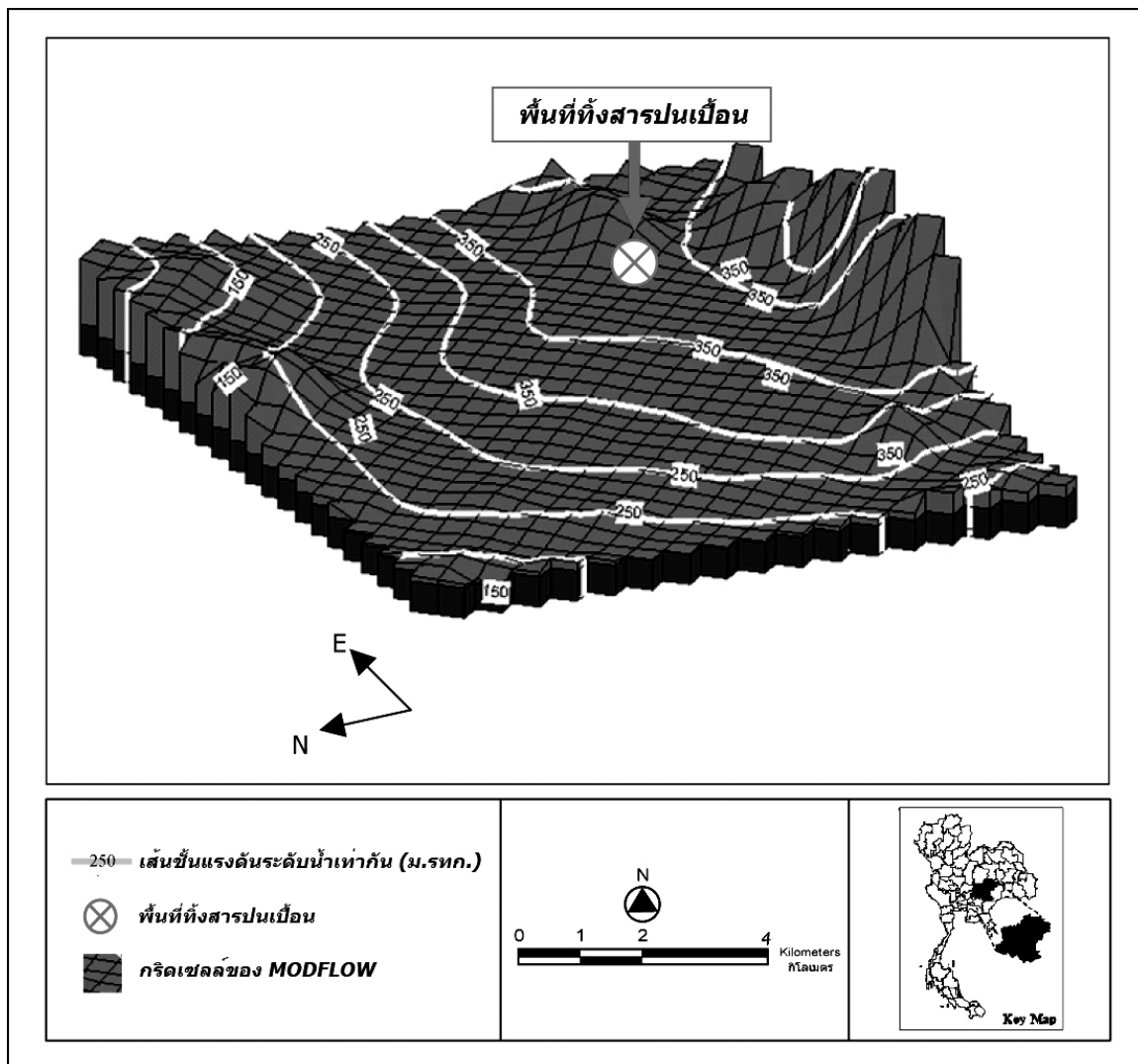


รูปที่ 5-3 การพิจารณาลักษณะชั้นน้ำใต้ดินในแบบจำลองน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์

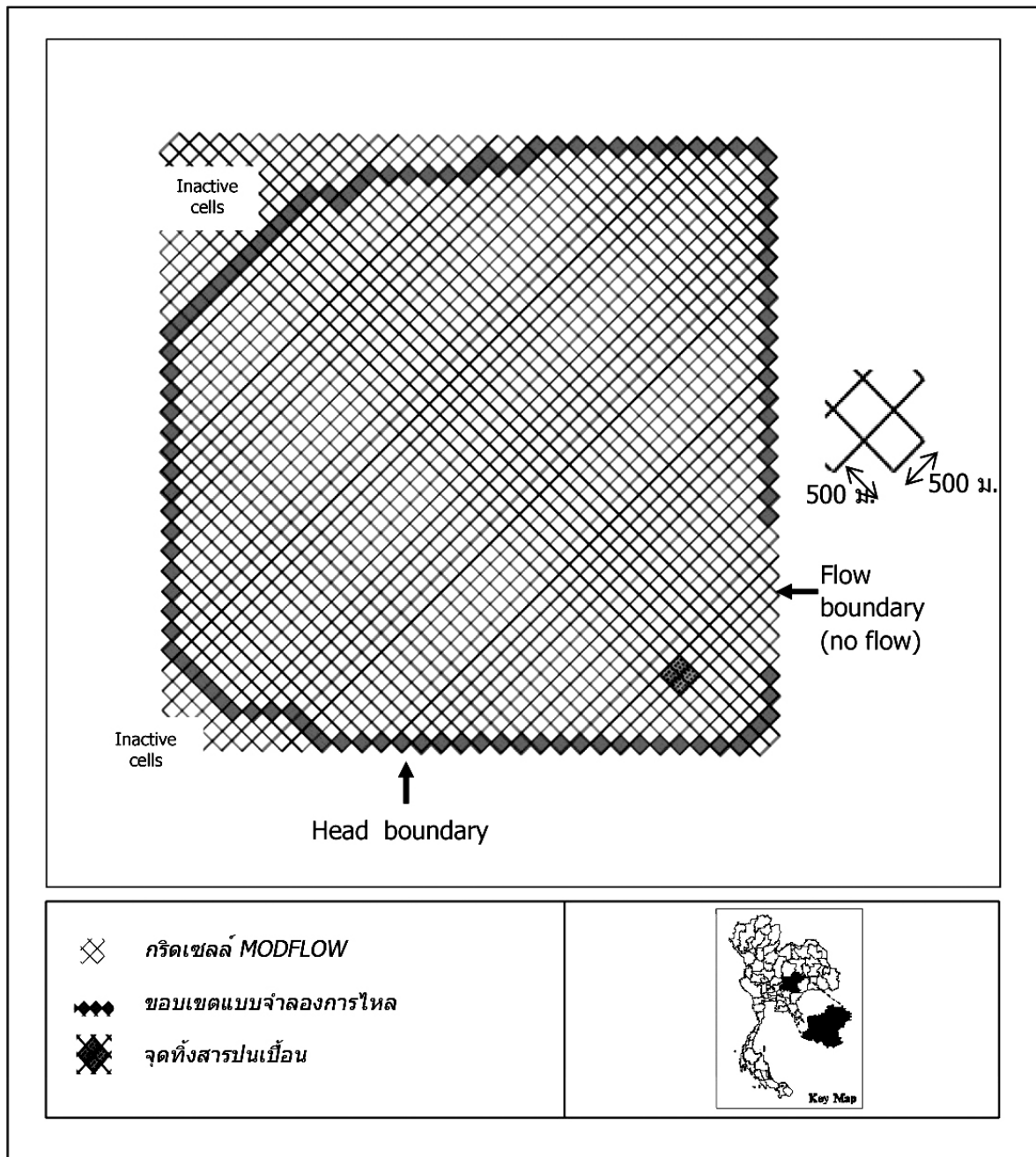


รูปที่ 5-4 กริดเซลล์ในแบบจำลองน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษา

ในการคำนวณด้วยแบบจำลองน้ำใต้ดิน ได้ยึดลำน้ำและภูเขาที่ล้อมรอบเป็นขอบเขตในการคำนวณ (ดังแสดงในรูปที่ 5-5) ซึ่งพิจารณาขอบเขตแบบจำลองน้ำใต้ดินโดยให้มีขอบเขตด้านตะวันตกเป็นคลองหมวกเหล็กและสันเขาในด้านทิศเหนือและทิศใต้ และกำหนดให้ขอบเขตด้านตะวันออกมีการไหลเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-5 แบบจำลอง MODFLOW ที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล



รูปที่ 5-6 การออกแบบกริดเซลล์และเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำบาดาล

### 5.3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissivity) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแนวตั้งระหว่างชั้นน้ำ (Vertical Leakage) ค่าตัวแปรได้พิจารณาจากเริ่มต้นในการพัฒนาแบบจำลอง จากการศึกษาแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ผ่านมาและค่าตัวแปรเหล่านี้ จะถูกทำการปรับแก้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สภาพน้ำต่อไป

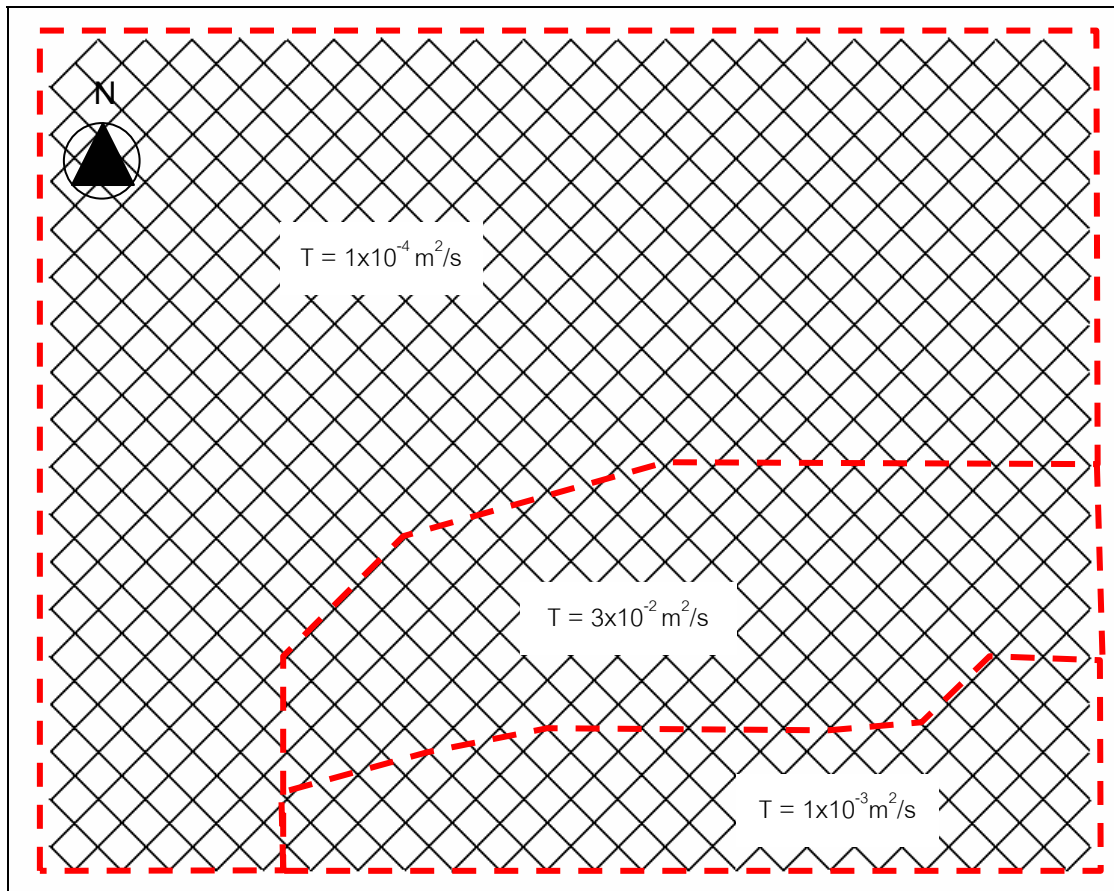
#### 1) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissivity)

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญต่อการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ที่มาของพารามิเตอร์นี้ได้จากการสุบทดสอบซึ่งใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีความจำกัดในการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวที่มีในพื้นที่ศึกษา

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลการสุบทดสอบที่มีในพื้นที่ศึกษาแล้วประมวลผลการสุบทดสอบเหล่านั้น เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity; T) และความซึมได้ทางชลศาสตร์ปรับเทียบ ( $K' = T/L$ ) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้วิธี Cooper-Jacob และ Theis-Recovery หาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากการสุบทดสอบ จากนั้นจึงวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความซึมได้

จากการศึกษาสภาพทางอุทกธรณีวิทยาที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่จำนวน 7 บ่อ และรวบรวมจากการสุบทดสอบที่เคยมีบันทึกไว้จำนวน 12 บ่อ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในพื้นที่ศึกษามีค่าระหว่าง  $8.3 \times 10^{-4}$  ถึง  $9 \times 10^{-2}$   $m^2$ /วินาที และได้แบ่งการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเบื้องต้นดังรูปที่ 5-7 โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกปรับเพื่อให้การไหลสอดคล้องกับสภาพการไหลในพื้นที่ในขั้นตอนการศึกษาต่อไป

อนึ่งการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ในชั้นน้ำใต้ดินในชั้นหินแตกร่วนนั้น ต้องพิจารณาการไหลในชั้นหินให้เสมือนกับการไหลในตัวกลางพรุน ฉะนั้นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จึงไม่ได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของหินโดยตรง แต่เป็นตัวแทนของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นน้ำใต้ดินที่ได้จากการสุบทดสอบ



รูปที่ 5-7 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในชั้นเบื้องต้นในแบบจำลองน้ำใต้ดิน

## 2) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient)

สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient; S) คือปริมาณของน้ำ ที่ชั้นน้ำปริมาตรหนึ่งหน่วยกักเก็บเอาไว้ หรือยอมให้ไหลออกมาได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานเฉลี่ยหนึ่งหน่วย

สำหรับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลการสูบทดสอบ ร่วมกับการตรวจสอบด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจากค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ ซึ่งจะได้สรุปผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ในการทำงานขั้นถัดไป

สัมประสิทธิ์การกักเก็บ = ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ x ความหนาชั้นน้ำ

จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจากแบบจำลองการไหลในสภาวะการไหลไม่คงตัวด้วยระดับน้ำสังเกตการณ์ในฤดูฝนและฤดูแล้งได้ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ  $5 \times 10^{-2}$

### 5.3.3 อัตราการเติมน้ำ

แหล่งน้ำหลักที่เติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินมีอยู่ 2 แหล่ง ส่วนที่หนึ่งคือการเติมน้ำจากผิวดิน หรือการเติมจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ผ่านชั้นดินชั้นบนลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนที่สองคือการเติมจากทางน้ำ ได้แก่ แม่น้ำและคลองต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมีการซึมจากแม่น้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หรือไหลจากชั้นน้ำใต้ดินลงสู่แม่น้ำ

การประเมินอัตราการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลจากปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน อาศัย ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ย และยังต้องพิจารณาสภาพภูมิประเทศ สภาพทางอุทกธรณีวิทยา และแบบจำลองเชิงมโนภาพของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา มากำหนดพื้นที่และรูปแบบการเติมน้ำบาดาล โดยอัตราการเติมน้ำใต้ดินได้ถูกปรับแก้ในขั้นตอนการดำเนินการแบบจำลองในสภาวะการไหลคงตัว ซึ่งได้ค่ามา  $3.30 \times 10^{-5}$  เมตร/วัน หรือประมาณ 1% ของปริมาณน้ำฝน โดยแยกเป็นการเติมน้ำในฤดูฝน  $2.56 \times 10^{-5}$  เมตร/วัน และฤดูแล้ง  $0.34 \times 10^{-5}$  เมตร/วัน

### 5.3.4 การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ได้พิจารณาลักษณะและพฤติกรรม ของการใช้น้ำแต่ละประเภทจากแบบสอบถามในภาคสนาม เพื่อสรุปเป็นอัตราการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งรูปแบบการใช้น้ำที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกพัฒนาไปเป็นชุดการคำนวณการสูบน้ำ (well package) ในแบบจำลอง MODFLOW การใช้น้ำบาดาลที่ได้จึงเป็นตัวกำหนดการดึงน้ำจากชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา จากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 56 บ่อ โดยพฤติกรรมการใช้น้ำบาดาลในแต่ละบ่อ จำแนกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม ในแต่ละส่วนจะมีวิธีการพิจารณาที่แตกต่างกัน บนสมมติฐานที่แตกต่างกัน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549) โดยการประเมินด้านการใช้น้ำบาดาลทั้ง 2 ส่วน ดังนี้

#### 1) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค บริโภค

การศึกษากการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจำแนกเป็น 2 ส่วน คือการใช้น้ำในเขตชุมชนซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่บริการของการประปาภูมิภาค ประปาเทศบาล หรือระบบประปาสัมปทาน และส่วนที่สองคือพื้นที่นอกเขตชุมชนซึ่งใช้น้ำฝน ระบบประปาหมู่บ้าน และบ่อบาดาลส่วนตัวเป็นแหล่งน้ำสำหรับครอบครัว ในเขตพื้นที่ชุมชน นอกจากการประปาภูมิภาคแล้วยังมีการดำเนินการกิจการ



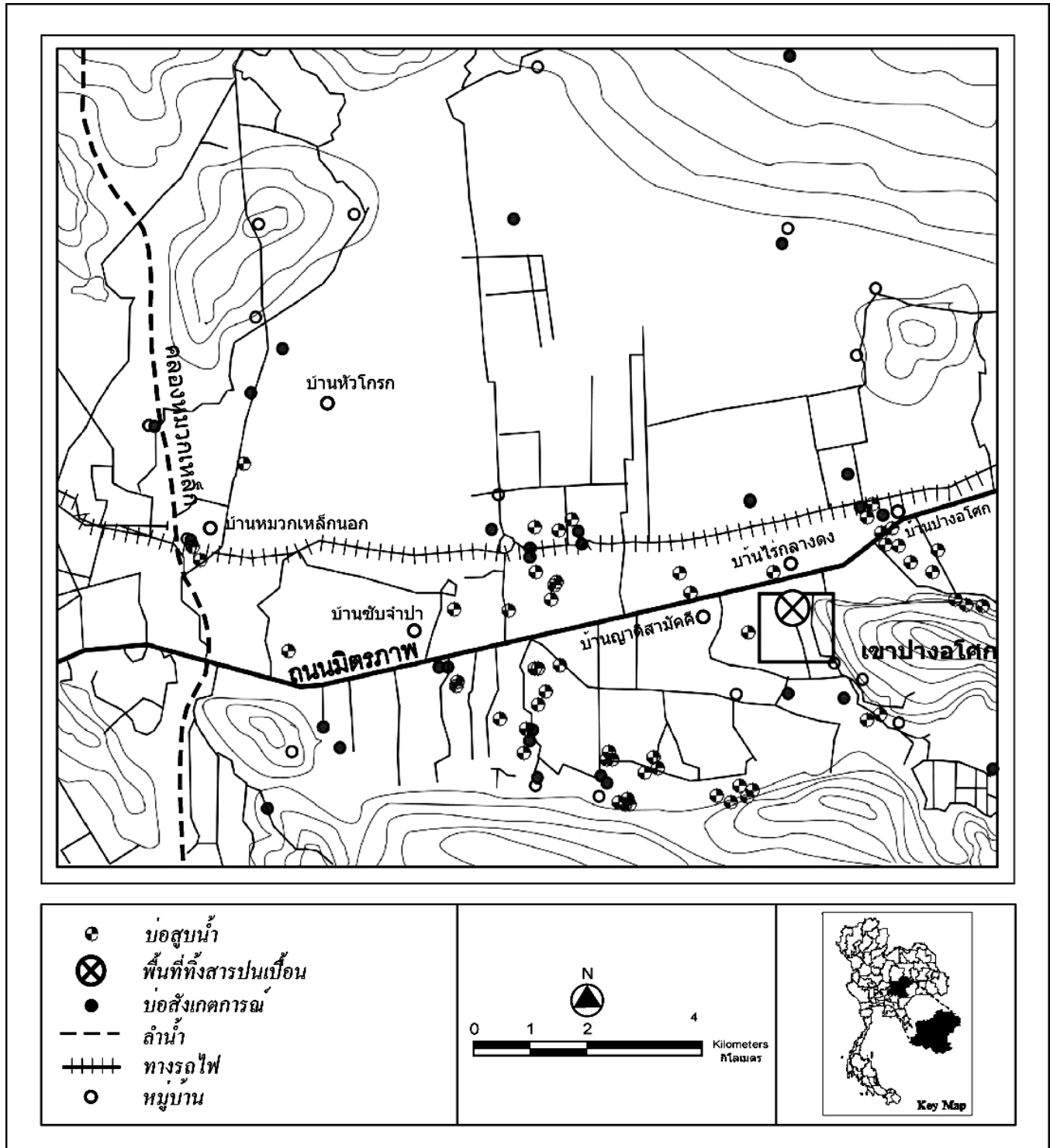
ประปาที่ได้รับสัมปทานจากกรมโยธาธิการ โดยผู้รับสัมปทานไปดำเนินการมี 4 ลักษณะ คือ เทศบาลตำบล เทศบาลนคร เทศบาลเมือง และประปาเอกชน นอกจากระบบประปาหมู่บ้านแล้ว ในพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชุมชนยังมีการใช้น้ำจากบ่อใต้ดินส่วนตัวของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ ได้จากการการวิเคราะห์ผลการออกสำรวจรูปแบบการใช้น้ำของประชาชนด้วยแบบสอบถามภายในพื้นที่ศึกษาจำนวน 103 ครัวเรือน (รายละเอียดในภาคผนวก ก) พบว่ามีการใช้บ่อใต้ดินจำนวน 40 ครัวเรือน โดยทั้งหมดเป็นบ่อเพื่อการอุปโภคบริโภคทั้งหมด และพบว่าประชาชนที่สูบน้ำใช้จากบ่อน้ำใต้ดิน มีการสูบน้ำเฉลี่ยวันละ 1.78 ชั่วโมง โดยมีการสูบน้ำเฉลี่ยใช้สัปดาห์ละ 4.76 วัน ฉะนั้นจึงมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เฉลี่ยสัปดาห์ละ 8.46 ชั่วโมง และจากการศึกษาพบว่าบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ทั้งหมด 52 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีการสูบน้ำเฉลี่ย 5.78 ลบ.ม./ชั่วโมง ฉะนั้นการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค-บริโภคในการศึกษานี้เฉลี่ย 133,000 ลบ.ม./ปี นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำที่บริเวณหมู่บ้านปางอโศกในการผลิตน้ำใต้ดินเฉลี่ยอีก 750,000 ลบ.ม./ปี

## 2) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม

การประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก และยากอย่างยิ่งเนื่องจากไม่มีระบบข้อมูลใดที่จะใช้เป็นฐานในการพิจารณาได้ อีกทั้งการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ หลายประการ เช่น ปริมาณฝน น้ำชลประทาน ความสำคัญของการศึกษาในส่วนนี้จึงอยู่ที่การกำหนดกรอบการพิจารณา ให้มีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงภายใต้ข้อจำกัดของการรวบรวมข้อมูล

การศึกษาพฤติกรรมกรใช้น้ำ ระยะเวลา และอัตราการใช้น้ำใต้ดินสำหรับการเพาะปลูกของพื้นที่ศึกษา พบว่ามีการใช้เกษตรกรใช้น้ำฝนเป็นแหล่งน้ำหลักเพื่อการเพาะปลูก ส่วนแหล่งน้ำใต้ดินนั้น จากบ่อน้ำบาดาลของประชาชนจำนวน 40 ครัวเรือน เป็นบ่อเพื่อการบริโภคร่วมกับการเกษตรจำนวน 4 บ่อ หรือประมาณ 10% ของบ่อน้ำบาดาลทั้งหมด โดยพบว่าประชาชนที่สูบน้ำใช้จากบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร มีการสูบน้ำเฉลี่ยวันละ 7 ชั่วโมง โดยมีการสูบน้ำใช้สัปดาห์ละ 1 วันและมีการสูบน้ำเฉพาะช่วงที่ขาดน้ำฝน ฉะนั้นจึงมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรเฉลี่ย 780 ลบ.ม. ในฤดูแล้ง

การดำเนินการแบบจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะไม่คงตัว เพื่อพิจารณาหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต ได้พิจารณาอัตราการสูบที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของประชากร โดยกำหนดให้อัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคมีการเพิ่มขึ้นปีละ 2.5 % ตามอัตราการเติบโตของประชากรในอำเภอปากช่อง ดังแสดงปริมาณการใช้น้ำในอนาคตที่ใช้ในแบบจำลองในตารางที่ 5-2



รูปที่ 5-8 ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อสูบน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 5-2 การสูบน้ำที่ใช้ในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต

ปี (พ.ศ.)	การสูบน้ำใต้ดิน (ลบ.ม./ปี)
2550	891,330
2551-2555	948,087
2556-2560	1,072,673
2561-2565	1,213,632
2566-2570	1,373,113
2571-2575	1,553,551
2576-2580	1,757,700
2581-2585	1,988,677
2586-2590	2,250,005

### 5.3.5 การปรับแก้แบบจำลองและผลการจำลอง

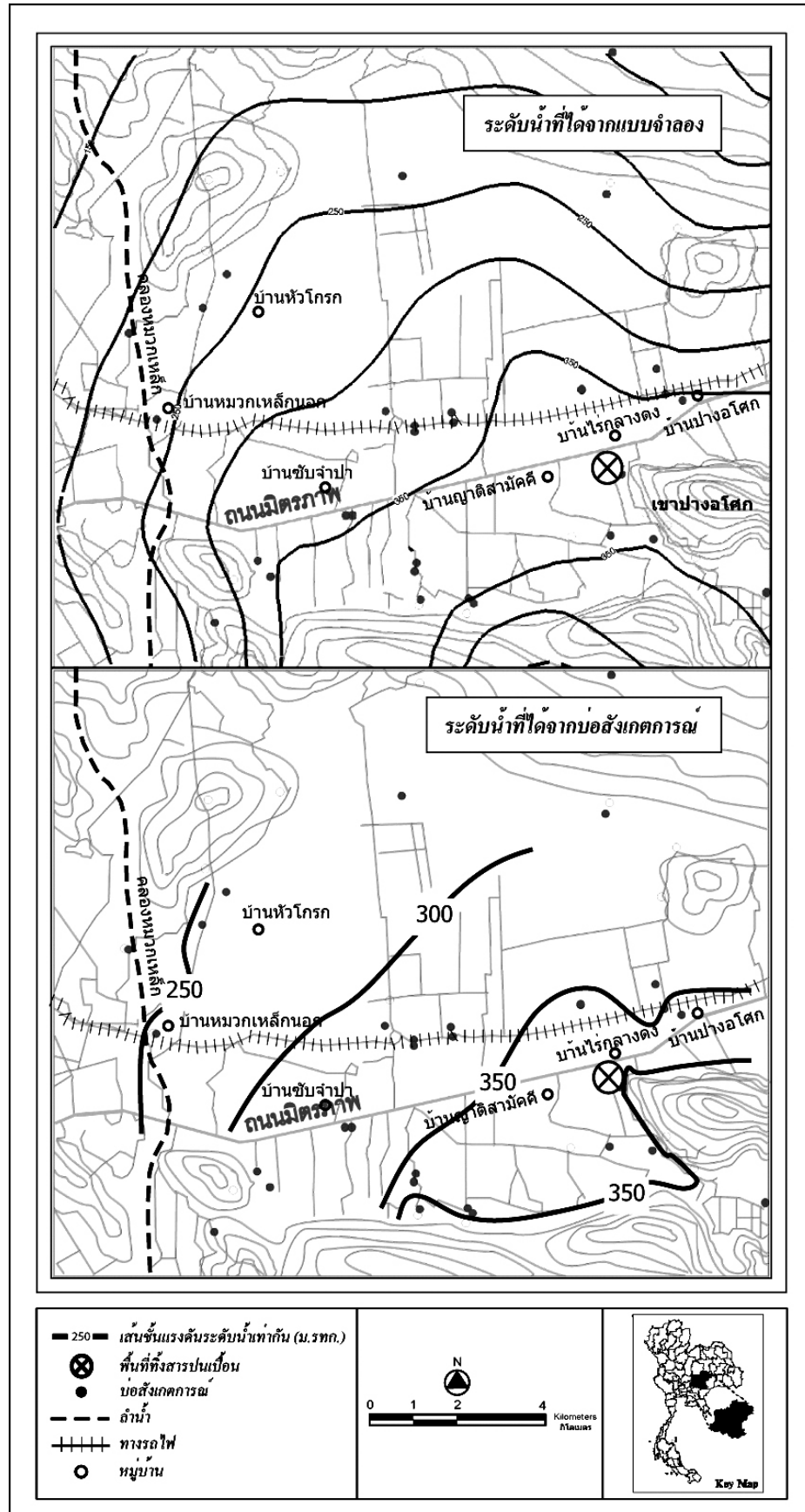
การพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในการศึกษานี้ ได้ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองจากข้อมูลการสำรวจภาคสนามประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา นอกจากนี้ ยังได้ทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์จากผลการคำนวณของแบบจำลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การปรับแก้ในสภาวะการไหลคงตัว โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินของเดือน ต.ค. 2549 ในการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ และปรับแก้แบบจำลองสภาวะการไหลไม่คงตัว ด้วยข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในเดือน ต.ค. 2549 และ ก.พ. 2550 โดยมีรายละเอียดและผลการจำลองระดับน้ำของพื้นที่ศึกษาดังนี้

#### 1) การจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลคงตัว

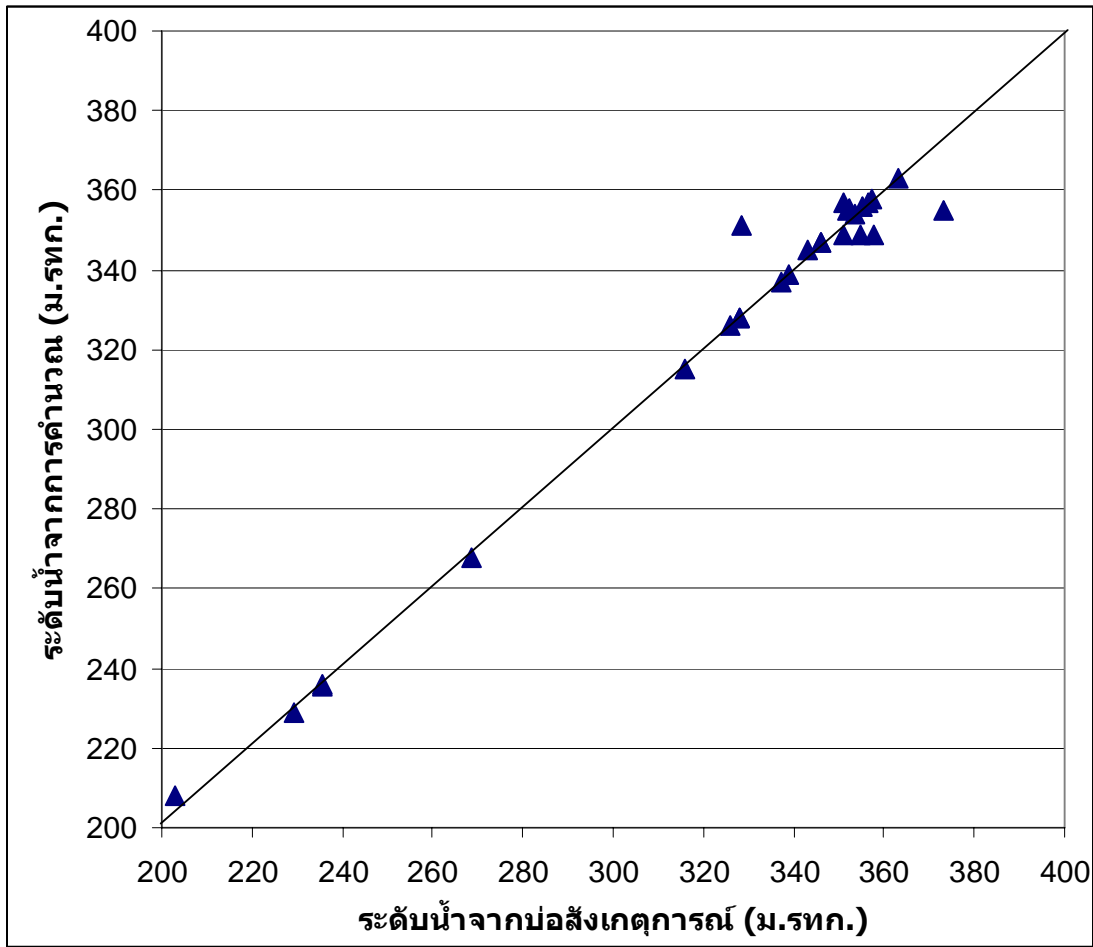
แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาในขั้นตอนนี้ ได้จำลองระดับน้ำใต้ดินของเดือน ต.ค. 2549 ในสภาวะการไหลคงตัวดังรูปที่ 5-9 เปรียบเทียบกับข้อมูลของระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 27 บ่อ เห็นได้ว่า น้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลไปในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยระดับน้ำบริเวณพื้นที่ลุ่มรอบทั้งสารปนเปื้อนอยู่ในช่วง 350-400 เมตร รทก. หรือประมาณ 25 เมตรจากผิวดิน และเห็นได้ว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับระดับน้ำจากบ่อ

สังเกตการณ์มีการไหลไปในทิศทางเดียวกัน และมีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดินที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างบริเวณบ้านปางอโศกที่มีการสูบน้ำในอัตราที่มาก ซึ่งได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองระดับน้ำใต้ดินให้สอดคล้องกับสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ ด้วยการปรับแก้อัตราการเติมน้ำใต้ดิน และปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยผลจากการปรับแก้ทำให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการไหลในสภาวะการไหลคงตัว ในบริเวณที่ถูกลบทิ้งสารและบริเวณโดยรอบมีค่าเฉลี่ย 1.60 เมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ 5.18 เมตร ดังแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่าสังเกตการณ์กับค่าที่ได้จากการคำนวณในรูปที่ 5-10

ค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ได้รับการปรับปรุง จะถูกนำไปพิจารณาหา ระดับน้ำที่เป็นไปได้ในเหตุการณ์ที่มีการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงไป หรือต้องการคำนวณระดับน้ำใต้ดินที่มีโอกาสเปลี่ยนแปลงไปได้ในอนาคต ซึ่งระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณนี้จะถูกนำไปพิจารณาเป็นขอบเขตและข้อมูลในการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยด้วยแบบจำลอง UTCEHM เพื่อคำนวณหาโอกาสการแพร่กระจายของสารพิษ นอกจากนี้ผลของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองในสภาวะคงตัวจะถูกนำไปใช้พัฒนาแบบจำลองการไหลในสภาวะไม่คงตัวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5-9 ระดับน้ำสภาวะการไหลคงตัวเดือน ต.ค. 2549 เทียบกับระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์



รูปที่ 5-10 เปรียบเทียบระดับน้ำสภาวะการไหลคงตัวกับระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์  
เดือน ต.ค. 2549

## 2) การจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลไม่คงตัว

แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาในขั้นตอนนี้ ได้จำลองระดับน้ำใต้ดินของเดือน ต.ค. 2549 ถึง ก.พ. 2550 เพื่อพิจารณาปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ รวมถึงจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในอนาคต 50 ปี (ปี พ.ศ.2600) เพื่อพิจารณาสภาพระดับน้ำใต้ดินในอนาคต

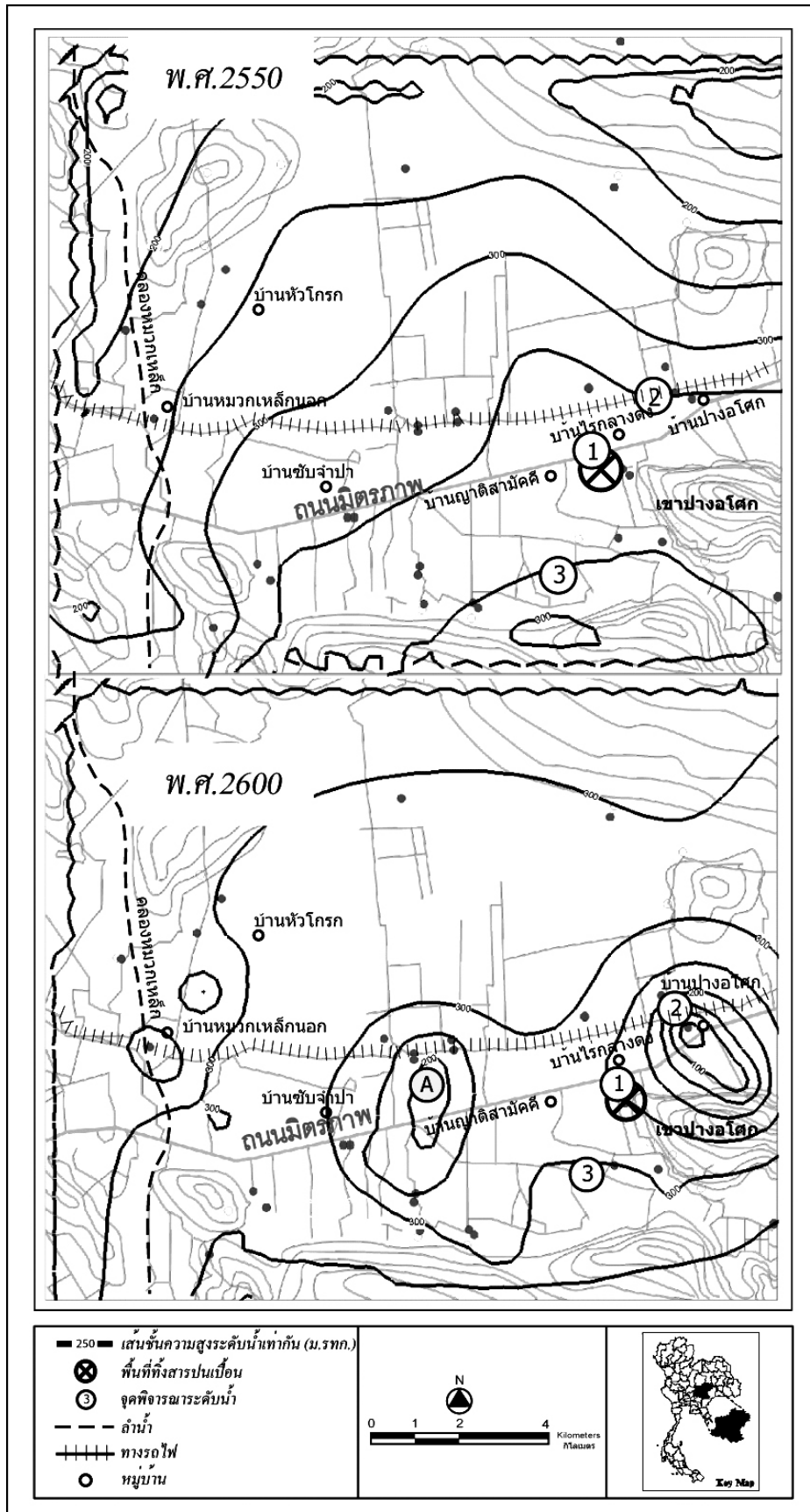
การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในสภาวะไม่คงตัว ได้ใช้พื้นฐานของแบบจำลองการไหลในสภาวะคงตัวดังที่กล่าวมาข้าง มาปรับเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ จากข้อมูลระดับน้ำที่เก็บได้จำนวน 27 บ่อภายในพื้นที่ศึกษา ช่วงเดือน ต.ค. 2549 และ ก.พ. 2550 ซึ่งเป็นตัวแทนของระดับน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งตามลำดับ โดยผลการจำลองระดับน้ำ

ในช่วงดังกล่าวมีค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณที่ล้อมรอบที่สังสารประมาณ 0.5 เมตร และบริเวณชุมชนบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำใต้ดินปริมาณมาก มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1 เมตร

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต ได้ปรับอัตราการสูบน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติบโตของประชากรดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการใช้น้ำบาดล จากนั้นจึงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ศึกษา พบว่าบริเวณชุมชนบ้านปางอโศก (จุด 1) เกิดกรวยการลดลงของระดับน้ำ (cone of depression) ขนาดใหญ่ในอนาคต ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจส่งผลให้มีการชักน้ำให้สารพิษไหลเข้าสู่พื้นที่ชุมชนได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5-11 นอกจากนี้ยังมีการลดลงของระดับน้ำจนเกิดเป็นกรวยของการลดลง บริเวณด้านทิศตะวันตกของจุดที่สังสารปนเปื้อนด้วย (จุด A) ซึ่งหากสารปนเปื้อนไหลไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแนวรอยแตกหลักของชั้นน้ำ อาจส่งผลให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณดังกล่าวเช่นกัน โดยระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณนี้จะถูกนำไปพิจารณาเป็นขอบเขตและข้อมูลในการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยด้วยแบบจำลอง UTCEHM เพื่อคำนวณหาโอกาสการแพร่กระจายของสารพิษ

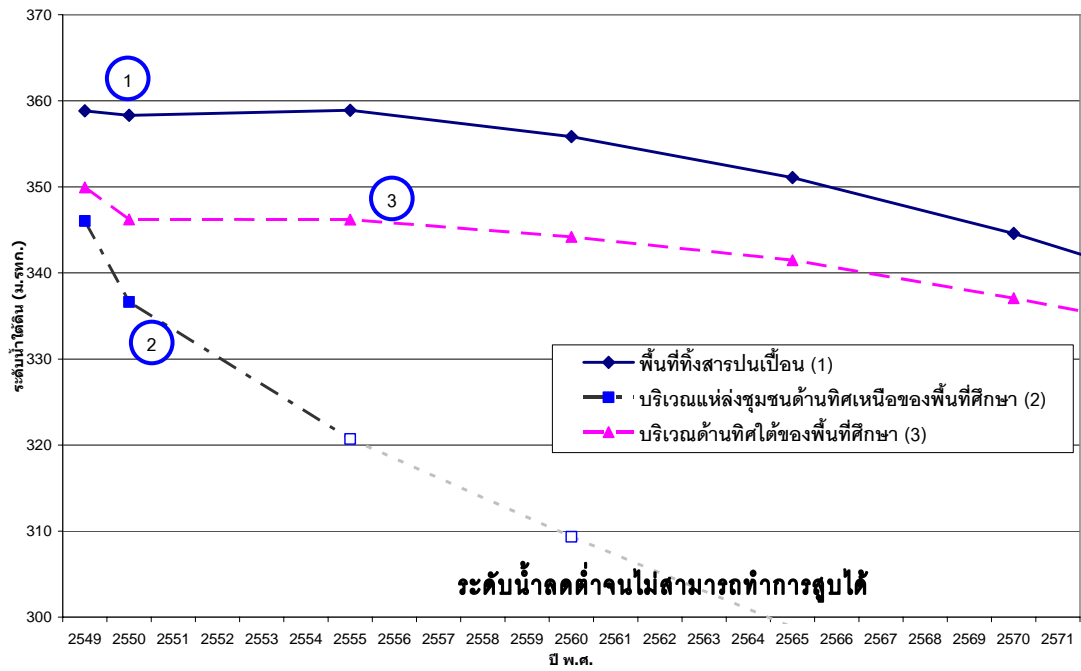
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (หมายเลขจุดตามรูปที่ 5-11) (1) บริเวณพื้นที่ที่สังสาร (2) บริเวณชุมชนบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำใต้ดิน (3) และบริเวณทิศใต้ของพื้นที่ที่สังสารปนเปื้อน จากการคำนวณระดับน้ำในอนาคตดังแสดงในรูปที่ 5-12 พบว่าในอนาคตบริเวณที่สังสารปนเปื้อนกับบริเวณทิศใต้มีการลดลงของระดับน้ำใต้ดินไปในทิศทางเดียวกัน เว้นแต่บริเวณบ้านปางอโศกที่มีการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการกระจุกตัวของ การสูบน้ำใต้ดิน และพบว่าการของระดับน้ำอย่างรวดเร็วของบ้านปางอโศก (3) อาจทำให้การสูบน้ำบริเวณนี้เกินความสามารถของแหล่งน้ำบาดาล (yield) หมายความว่าในอนาคต บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ปางอโศกอาจไม่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำของพื้นที่ได้เพียงพอในอนาคต

การลดลงของระดับน้ำบริเวณบ้านปางอโศกและบริเวณที่สังสารปนเปื้อนจะมีความแตกต่างของระดับน้ำที่มากขึ้นกว่าบริเวณอื่น ซึ่งการลดลงของระดับน้ำที่ไม่เท่ากันนี้อาจส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสารพิษอันนี้จากความต่างของระดับน้ำ (hydraulic gradient) มีมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต



รูปที่ 5-11 เปรียบเทียบระดับน้ำในปี พ.ศ.2550 กับปี พ.ศ. 2600 เมื่อมีการใช้น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น





รูปที่ 5-12 การลดลงของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมื่อมีการใช้น้ำมากขึ้นในอนาคต

## 5.4 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน

คณะที่ปรึกษาได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ UTCHEM มาเป็นเครื่องมือในการทำนายการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน แบบจำลองมีความสามารถในการวิเคราะห์สิ่งเจือปนการไหลในสถานะต่างๆ และการไหลที่มีองค์ประกอบของสารเคมีมากกว่า 1 ชนิด แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจาก Center for Petroleum and Geosystem Engineering ที่ the University of Texas at Austin และทาง EPA เป็นหนึ่งในผู้สนับสนุนหลักในการพัฒนาแบบจำลองเป็นระยะเวลากว่า 10 ปี

การจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำนายลักษณะการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในระยะเวลา 50 ปี ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองจะนำไปประเมินความเสี่ยงต่อประชาชนในพื้นที่ต่อไป

### 5.4.1 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เป็นการนำสภาพชั้นน้ำบาดาลในสภาพความเป็นจริง ลักษณะคุณสมบัติของสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหย รวมถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในแต่ละชนิด นำมาสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อให้สามารถคำนวณลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อนได้

สภาพชั้นน้ำของพื้นที่ศึกษาอยู่ในชั้นหินให้น้ำ  $P_{kd}$  ซึ่งมีแนวแตกของหิน มีทิศทางไปด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ส่งผลให้ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินมีทิศทางไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือเป็นหลัก การจำลองการไหลจึงมีการกำหนดลักษณะของแนวแตกของหินลงในการจำลอง ทำให้การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนจะมีการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วโดยอาศัยแนวแตกของหิน เป็นทิศทางการเคลื่อนตัว แต่เนื่องจากข้อมูลการสำรวจในภาคสนามพบว่าบริเวณบ้านปางอโศก เป็นชุมชนที่มีการสูบน้ำบาดาลใช้ ส่งผลให้ระดับน้ำบริเวณบ้านปางอโศกมีค่าต่ำ และบริเวณพื้นที่ศึกษาจนถึงบ้านปางอโศกมีการพบรอยแตกของหินขึ้นในทิศทาง 50 องศา จากข้อมูลดังกล่าว น่าจะมีผลกระทบต่อ การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

สารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาที่ทำการจำลองสามารถแบ่งออกได้ 2 จำพวกใหญ่ๆ คือ 1) Light Nonaqueous Phase Liquid (LNAPL) ได้แก่ Benzene และ 2) Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNAPL) ได้แก่ Trichloroethene (TCE) และ Tetrachloroethene (PCE)

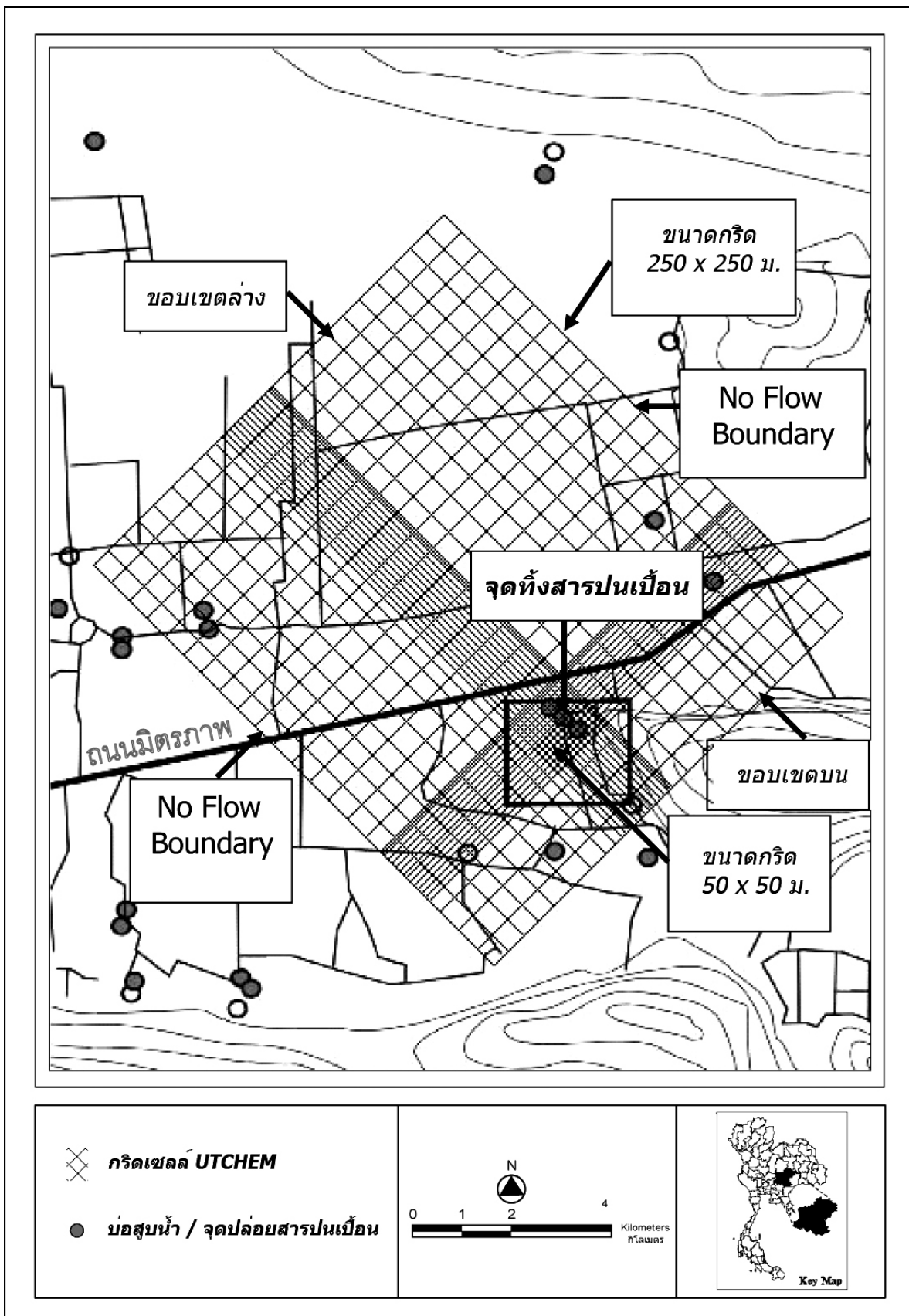
### 1) การออกแบบการจำลองและช่วงระยะการคำนวณ

การจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนด้วยวิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference) หน่วยย่อยในการคำนวณเชิงพื้นที่นั้นอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ต่อกันด้วยรูปสี่เหลี่ยม การจำลองในการศึกษานี้จะแบ่งขนาดพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาขนาดไม่เกิน 600 x 600 ม. เพื่อศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในระยะเวลาที่เริ่มมีสารปนเปื้อนตกลงสู่ชั้นน้ำจนถึงเวลาปัจจุบัน โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามเป็นข้อมูลในการปรับเทียบแบบจำลอง 2) พื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา มีขนาดใหญ่ครอบคลุมชุมชนที่อยู่อาศัยเพื่อศึกษาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชาชนในพื้นที่รอบบริเวณพื้นที่ศึกษา

ขนาดกริดเซลล์แบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) บริเวณพื้นที่ศึกษา กริดเซลล์จะมีขนาด 50 x 50 ม. 2) พื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา กริดเซลล์จะมีขนาด 250 x 250 ม. ขอบเขตบนและขอบเขตล่าง กำหนดให้มีระดับน้ำโดยใช้ข้อมูลจากภาคสนามและแบบจำลองการไหล ขอบเขตด้านข้างทั้ง 2 ด้าน กำหนดให้ไม่มีการไหล แสดงดังรูปที่ 5-13

ช่วงระยะการคำนวณจะแบ่งตามหัวข้อที่ได้กล่าวมาคือ 1) บริเวณในพื้นที่ศึกษา จะทำการจำลองตั้งแต่เริ่มมีสารปนเปื้อนตกลงสู่ชั้นน้ำจนถึงเวลาปัจจุบัน โดยมีระยะเวลาเทียบประมาณ 2 ปี 2) พื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา จะจำลองเป็นระยะเวลาประมาณ 50 ปี เพื่อประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชาชนเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานมากขึ้น

ส่วนสุดท้ายจะเป็นการจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำเบื้องต้น โดยการจำลองจะจำลองสารปนเปื้อน TCE ที่ถูกเคลื่อนย้ายออกจากชั้นน้ำตามความสามารถของแต่ละเทคโนโลยี นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับขอบเขตเส้นชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในกรณีที่ยังไม่ได้ฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำและฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำแล้ว



รูปที่ 5-13 กริดเซลล์และขอบเขตแบบจำลอง

## 2) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองนั้น ข้อมูลที่ใช้อาศัยข้อมูลจากการสำรวจทางอุทกธรณีวิทยาเรื่องการตัดแนวตัดขวาง จากข้อมูลพบว่าพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นหินให้น้ำ  $P_{kd}$  และมีแนวแตกของหินอยู่ 2 แนวหลัก แนวแตกของหินมีทิศทางไปด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ส่งผลให้ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินมีทิศทางไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือเป็นหลัก และแนวแตกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การจำลองการไหลจึงได้มีการกำหนดลักษณะให้แนวกริดที่ทิศทางเดียวกันกับทิศทางของแนวแตกซึ่งเป็นทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล

## 3) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนได้แก่ ค่า Permeability (Hydraulic conductivity), Porosity, Viscosity, Density, Dispersion, Solubility, ระดับน้ำใต้ดิน, ค่าประมาณมวลสารปนเปื้อนและตำแหน่งบ่อน้ำบาดาล การจำลองการเคลื่อนตัวของสาร PCE จะมีการใช้ค่าจากการคำนวณและการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลอง เนื่องจากผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 พบว่า สาร PCE ตรวจพบน้อยกว่าสาร TCE ดังนั้นเราจึงกำหนดให้สาร TCE เป็นตัวแทนของสารประเภท DNAPL ดังนั้นการทดลองจากห้องปฏิบัติการจึงไม่ได้ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของ PCE สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาในตารางที่ 5-3

## 4) การปรับแก้แบบจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน

การจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์จากการสำรวจภาคสนาม การทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา ผลจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน รวมถึงการปรับค่าพารามิเตอร์จากผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าความเข้มข้นของสาร VOCs ที่วัดได้ในสนาม

การจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนในการศึกษาครั้งได้ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ Dispersion Coefficient, Retardation factor โดยแยกการจำลองออกเป็น การจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่เบากว่าน้ำ (LNAPL) และสารปนเปื้อนที่หนักกว่าน้ำ (DNAPL) โดยการจำลองนี้ได้พิจารณา TCE เป็นตัวแทนของสาร DNAPL และ Benzene เป็นตัวแทนของสาร LNAPL

นอกจากนี้ จากข้อมูลภาคสนามในเดือน มิ.ย. 2550 พบว่าสาร PCE มีการเคลื่อนตัวที่รวดเร็ว จึงทำการจำลองเพิ่มขึ้นอีก 1 การจำลอง

การปรับแก้แบบจำลองได้พิจารณาผลการคำนวณเทียบกับความเข้มข้นของ TCE จากภาคสนามในช่วงเดือน ก.พ. 2550 และเดือน มิ.ย. 2550 เมื่อปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ให้การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนสอดคล้องกับข้อมูลความเข้มข้นของสารในชั้นน้ำบาดาล ทั้งอัตราขยายขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนและรูปร่างของการแพร่กระจายของ TCE ,PCE และBenzene พบว่าจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง TCE และ PCE มีขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนครอบคลุมพื้นที่ทั้งสารและบริเวณโดยรอบที่สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม โดย Benzene มีขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ทั้งสารที่สอดคล้องกับข้อมูลจากข้อมูลการเก็บตัวอย่างในภาคสนามเช่นกัน

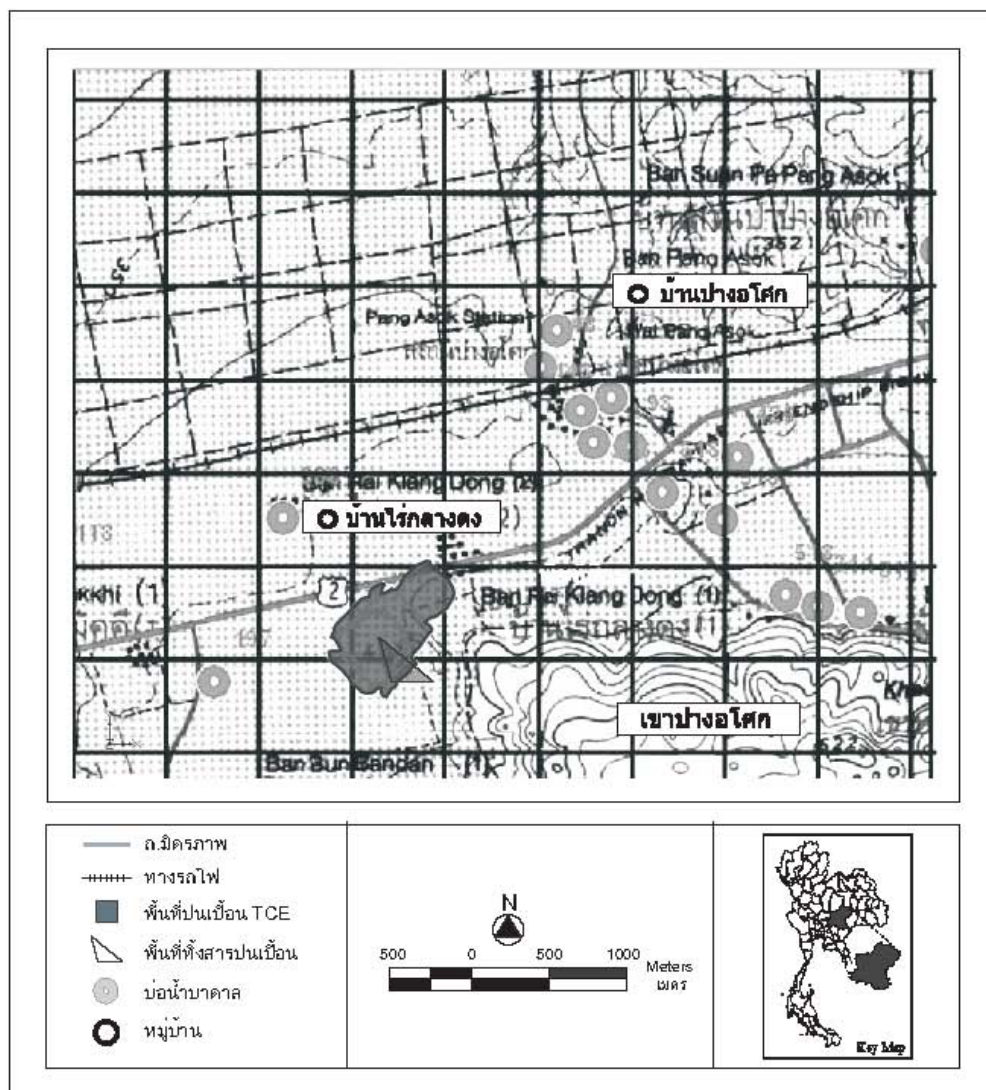
ตารางที่ 5-3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่ศึกษา

พารามิเตอร์	ค่า	ที่มา
Permeability	$7.69 \times 10^{-5}$ m/s	การสำรวจภาคสนาม
Porosity	0.2	การสำรวจภาคสนาม
Viscosity	Benzene 0.64 cp TCE 0.57 cp PCE 0.89 cp	Scott and James 1991 และ Lyman and Noonan, 1990
Density	Benzene $0.87 \text{ g/cm}^3$ TCE $1.46 \text{ g/cm}^3$ PCE $1.62 \text{ g/cm}^3$	Scott and James 1991 และ Lyman and Noonan, 1990
Dispersion Coefficient	$2.83 \text{ cm}^2/\text{minute}$	การทดลองในห้องปฏิบัติการ
Retardation factor	Benzene 1.7 TCE 2.75 PCE 3.00	การทดลองในห้องปฏิบัติการ NWRI 2004 การคำนวณและ การปรับแก้
Longitudinal Dispersivity	Benzene 2.0 m TCE 0.5 m PCE 0.4 m	ปรับแก้จาก Dispersion Coefficient และ Retardation factor จากการทดลอง
Solubility	Benzene $1.78 \times 10^3 \text{ mg/l}$ TCE $1.10 \times 10^3 \text{ mg/l}$ PCE $2.43 \times 10^3 \text{ mg/l}$	Scott and James 1991 และ Lyman and Noonan, 1990
ระดับน้ำใต้ดิน	ขอบเขตบน 316 m. ขอบเขตล่าง 350 m.	การสำรวจภาคสนามและ แบบจำลองคณิตศาสตร์
ปริมาณมวลสารปนเปื้อนใน ดินและชั้นน้ำ	Benzene 28,594 kg TCE 235,218 kg PCE 152,065 kg	คำนวณจากรายงาน อบต. กลางดงและกรมควบคุม มลพิษ
บ่อน้ำบาดาลในชุมชนบ้าน ปางอโศก	อัตราการสูบน้ำของประชาชน และมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 2.5% ต่อปี	การสำรวจภาคสนามและพิกัด บ่อน้ำบาดาลจากกรม ทรัพยากรน้ำบาดาล

## 5) ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน

### ● ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ TCE

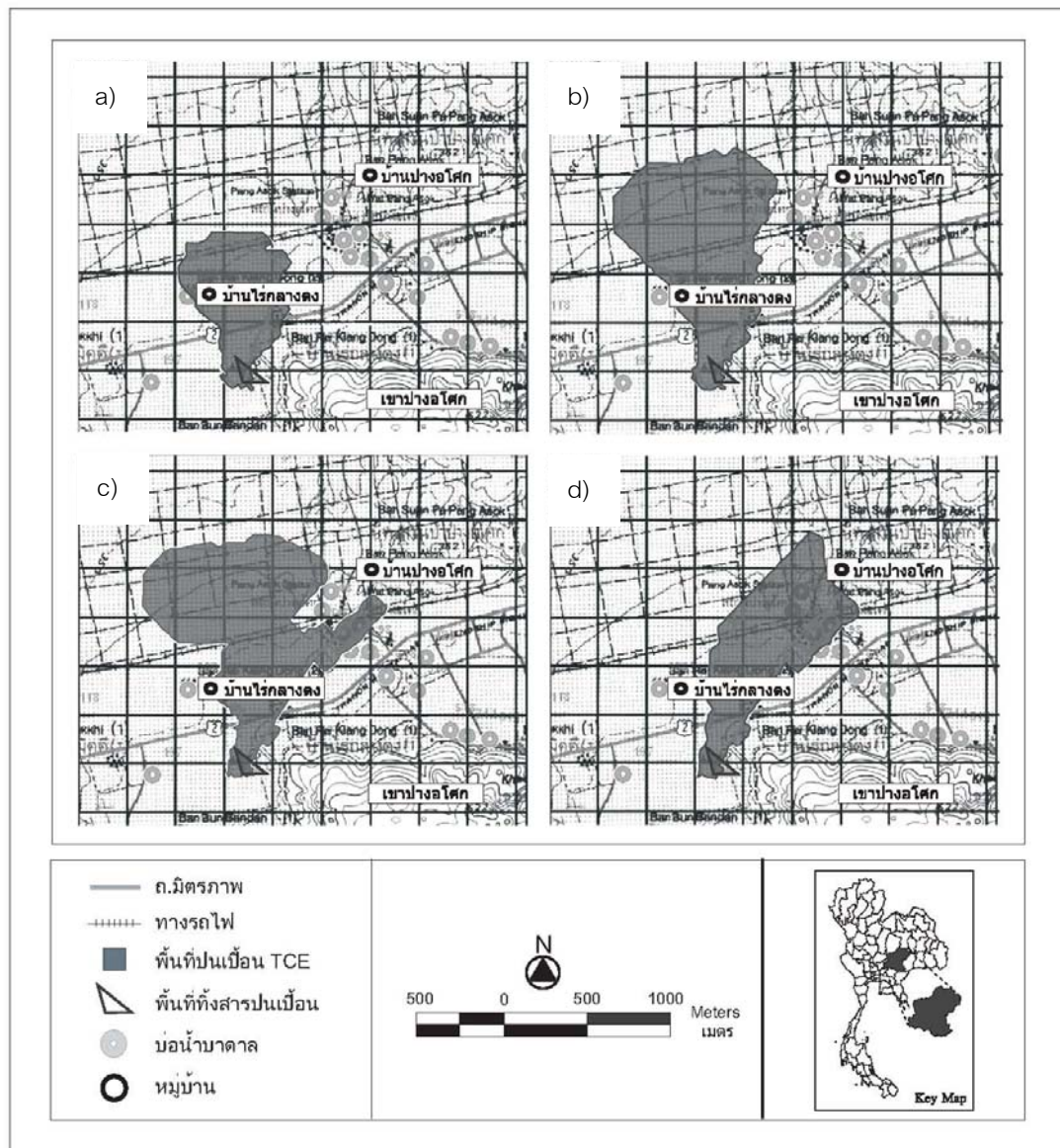
จากการจำลอง ได้ทำการจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 2 ปี เพื่อต้องการประมาณการปริมาณสารปนเปื้อนและขอบเขตการปนเปื้อนเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาพบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร TCE ที่ระดับ  $5 \mu\text{g/L}$  (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม. เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลจากภาคสนามในรูปที่ 4-8 ลักษณะเส้นชั้นความเข้มข้นด้านนอกสุดมีลักษณะสอดคล้องกับข้อมูลจากแบบจำลอง แสดงดัง รูปที่ 5-14



รูปที่ 5-14 เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ  $5 \mu\text{g/L}$  ที่เวลา 2 ปี



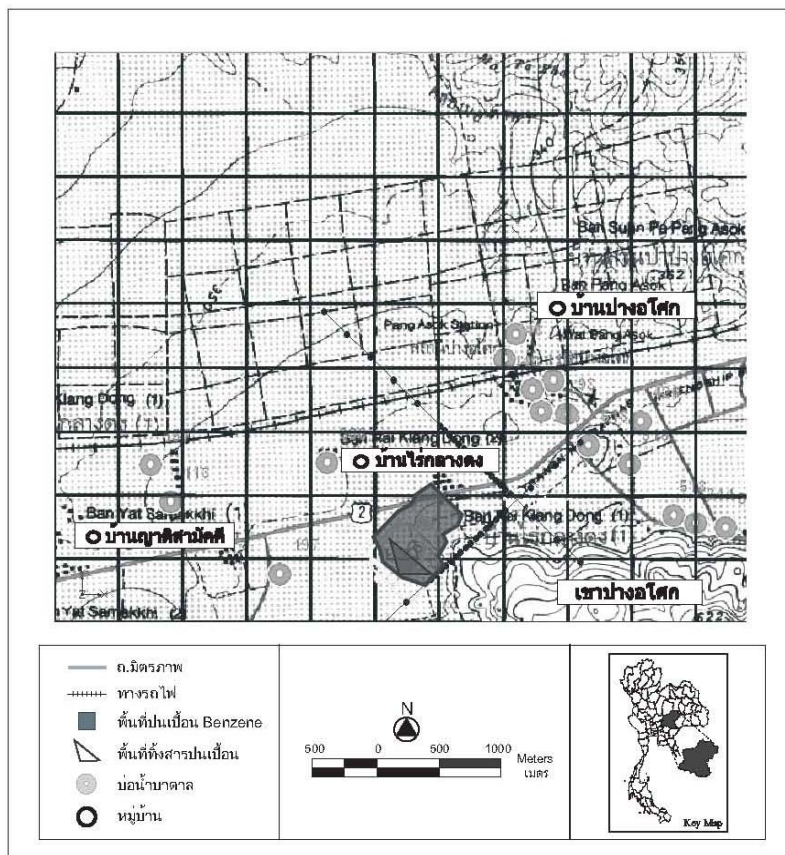
จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 25 ปี จากการจำลองจะเห็นได้ว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE มีขนาดเล็กลงในปีที่ 50 เนื่องจากการสูบน้ำของประชาชนในพื้นที่บ้านปางอโศกที่ดึงสาร TCE จากชั้นน้ำ ทำให้ปริมาณสาร TCE มีค่าลดลง ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของสาร TCE ซ้ำลง แสดงในรูปที่ 5-15



รูปที่ 5-15 เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  ที่เวลา a)10 ปี b)20 ปี c)25 ปี และ d)50 ปี

● ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ Benzene

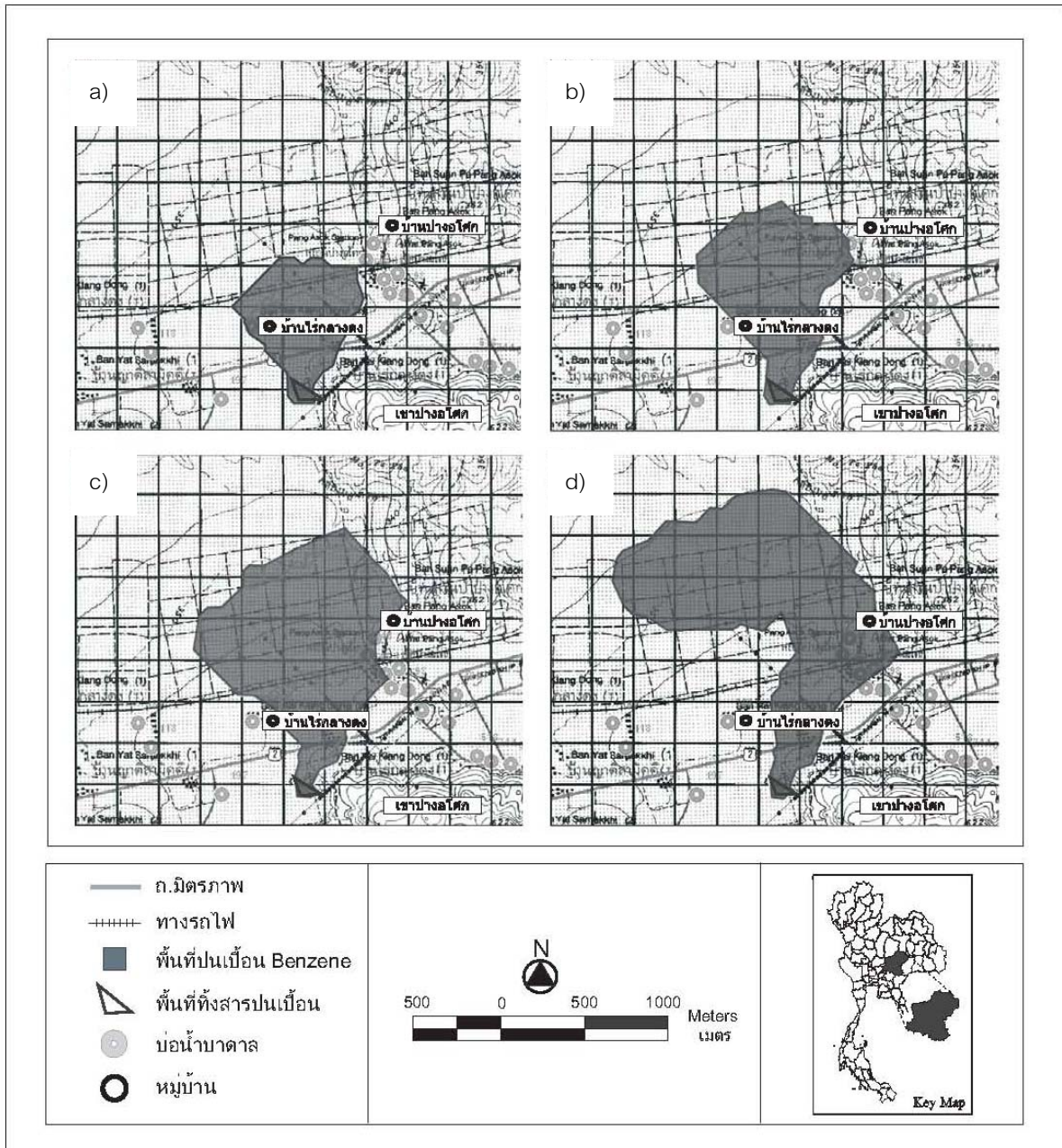
จากการจำลอง ได้ทำการจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 2 ปี เพื่อต้องการประมาณการปริมาณสารปนเปื้อนและขอบเขตการปนเปื้อนเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาพบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร Benzene ที่ระดับ  $5 \mu\text{g/L}$  (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543) ที่ระดับ 30 เมตรจากผิวดิน เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลจากภาคสนามในรูปที่ 4-3 ลักษณะเส้นชั้นความเข้มข้นด้านนอกสุดมีลักษณะไม่สอดคล้องกับข้อมูลจากแบบจำลอง จากแบบจำลองเชิงโมโนทอร์คของสาร Benzene ที่ได้สร้างไว้ ค่าความหนาแน่นของ Benzene มีค่าต่ำกว่าน้ำทำให้การเคลื่อนตัวของ Benzene จะเคลื่อนตัวที่ผิวระดับน้ำใต้ดินและมีการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว แต่จากข้อมูลของสารปนเปื้อนในบ่อน้ำบาดาลพบว่า การเก็บตัวอย่างนั้นจะเก็บตัวอย่างที่กึ่งกลางบ่อและกันบ่อ ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่างบริเวณใกล้ผิวระดับน้ำใต้ดิน ย่อมส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นสาร Benzene ได้ ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 เส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ  $5 \mu\text{g/L}$  ที่เวลา 2 ปี

จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene เคลื่อนตัวเกือบถึงบ่อน้ำบาดาลในบ้านปางอโศก ในระยะเวลาเพียง 10 ปี และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 14 ปี ดังรูปที่ 5-17

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างในภาคสนามครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า ความเข้มข้น Benzene ตรวจพบในครั้งที่ 1 ที่ระดับ 40 ม. แต่ไม่ตรวจพบในครั้งที่ 2 ในระดับ 36 และ 50 ม. นอกจากการพิจารณาจากแบบจำลองเชิงโมโนโทสน์ของสารประเภท LNAPL ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น เมื่อนำผลการติดตามคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษมาพิจารณาเพิ่มเติมพบว่า ความเข้มข้น Benzene มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าสารปนเปื้อน Benzene ส่วนใหญ่กำลังเคลื่อนที่ออกจากบริเวณพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ไม่ตรวจพบ Benzene ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ข้อมูลที่ตรวจพบในครั้งที่ 1 น่าจะเป็นส่วนที่ยังไม่เคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นส่วนที่เหลือเพียงเล็กน้อยของ Benzene



รูปที่ 5-17 เส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา

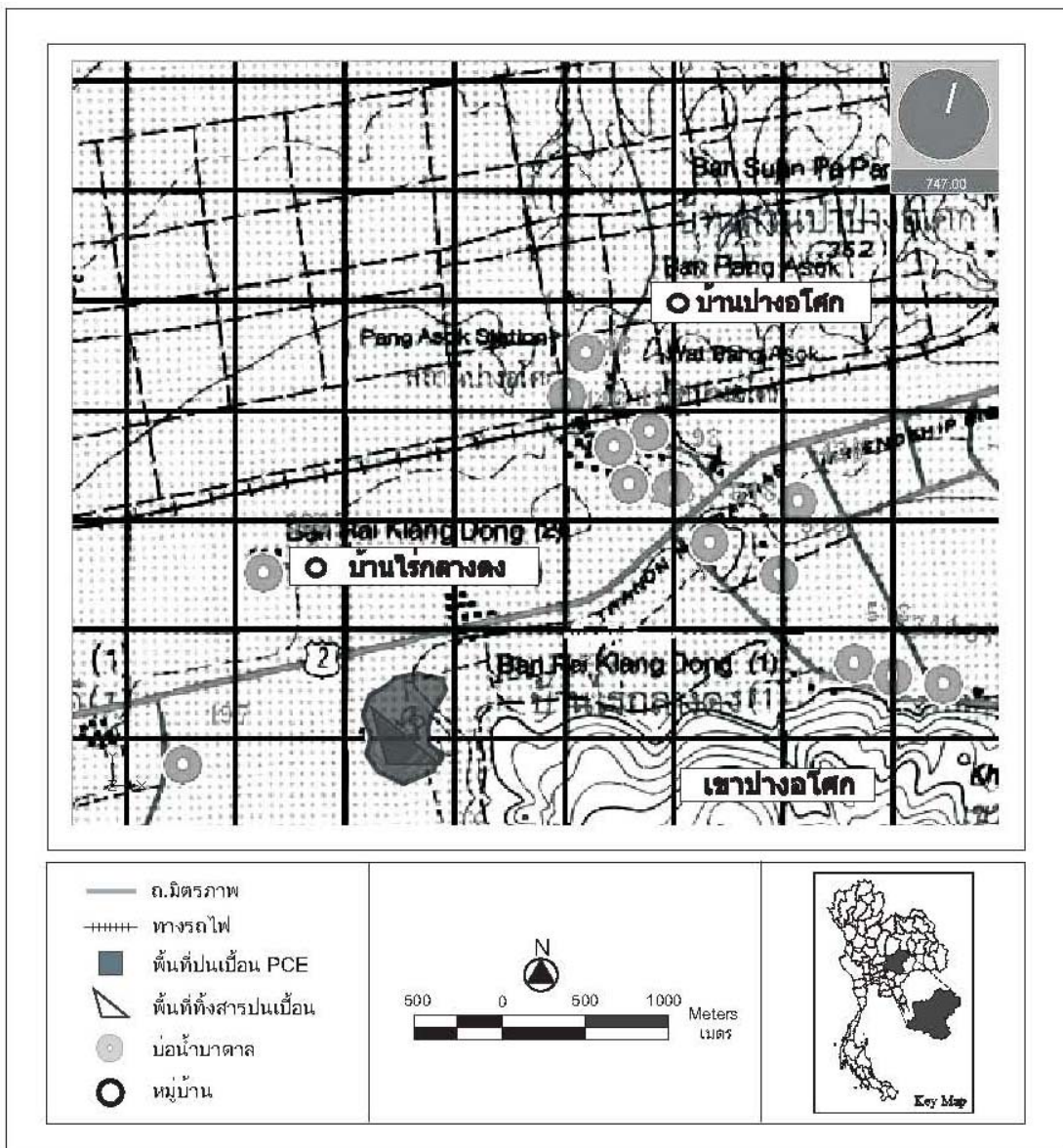
a)10 ปี b)14 ปี c) 25 ปี และ d) 50 ปี

● ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ PCE

จากการจำลอง ได้ทำการจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 2 ปี เพื่อต้องการประมาณการปริมาณสารปนเปื้อนและขอบเขตการปนเปื้อนเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาพบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร PCE ที่ระดับ 5 µg/L (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม.

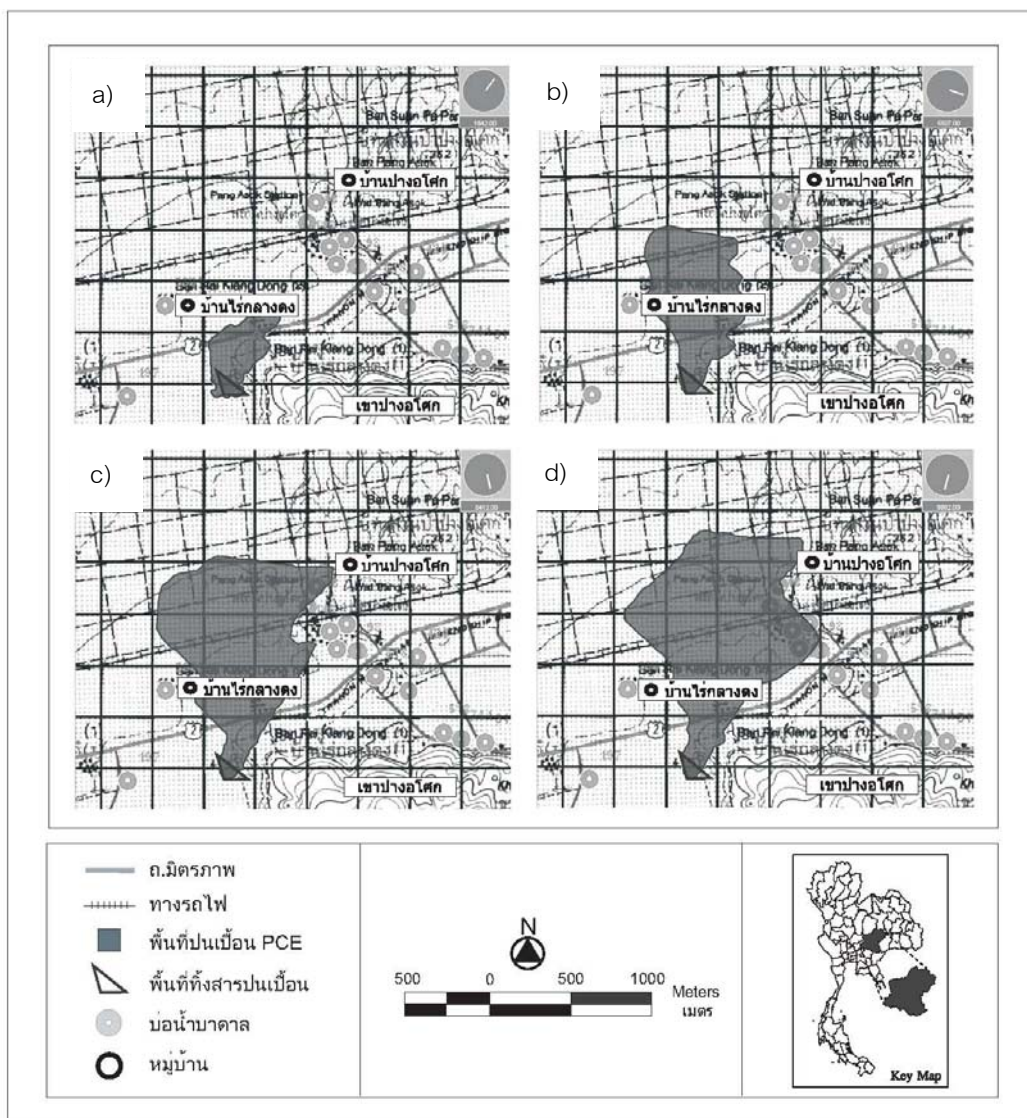
เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลจากภาคสนามในรูปที่ 4-7 ลักษณะเส้น  
 ชั้นความเข้มข้นด้านนอกสุดมีลักษณะสอดคล้องกับข้อมูลจากแบบจำลอง แสดงดัง รูปที่ 5-18

จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่  
 ระดับ 5 µg/L จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและ  
 เคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลใน  
 พื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่  
 บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 23 ปี ดังแสดงในรูปที่ 5-19



รูปที่ 5-18 เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา 2 ปี

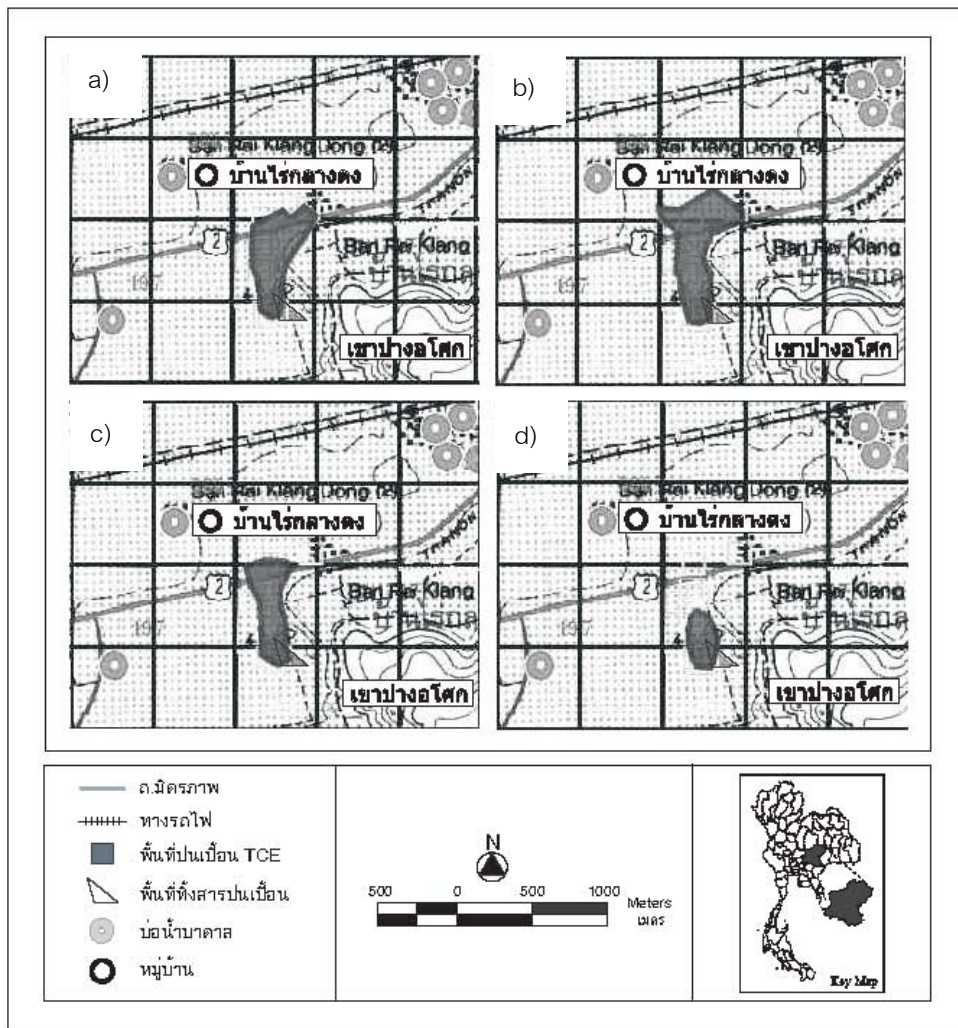
จากการจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนทั้ง LNAPL และ DNAPL ในพื้นที่ศึกษา พบว่าการเคลื่อนตัวของสาร Benzene จะเคลื่อนตัวได้อย่างรวดเร็วกว่า TCE และ PCE เนื่องจาก Benzene ซึ่งเป็นสารประเภท LNAPL ค่าความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำทำให้การเคลื่อนตัวของ Benzene จะเคลื่อนตัวที่ผิวดระดับน้ำใต้ดินและมีการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ TCE และ PCE มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำทำให้การเคลื่อนตัวของ TCE จะเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำด้านล่างและมีการเคลื่อนตัวช้า การเคลื่อนตัวของ Benzene, TCE และ PCE จะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และบ้านปางอโศกเหมือนกัน แต่การเคลื่อนตัวของ Benzene จะเคลื่อนตัวได้รวดเร็วกว่าและเคลื่อนตัวถึงบ้านปางอโศกโดยใช้เวลาประมาณ 14 ปี ในขณะที่ TCE จะเคลื่อนตัวโดยใช้เวลาประมาณ 25 ปี และ PCE จะเคลื่อนตัวโดยใช้เวลาประมาณ 23 ปี



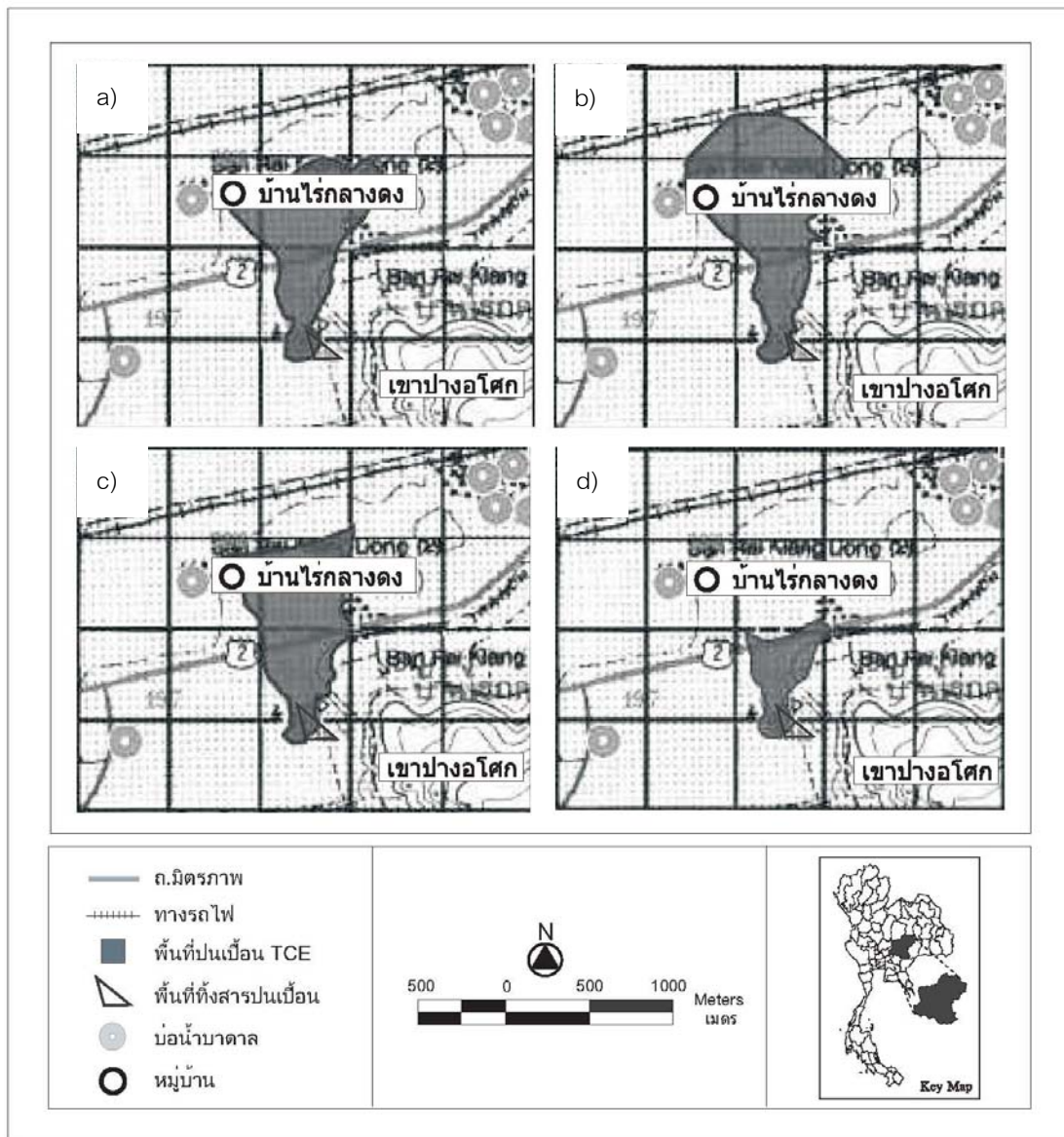
รูปที่ 5-19 เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา a) 5 ปี b) 15 ปี c) 23 ปี และ d) 50 ปี

• การจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำเบื้องต้น

คณะที่ปรึกษาได้ศึกษาถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่า วิธีการฟื้นฟูชั้นน้ำแต่ละวิธีมีความสามารถและค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน ดังนั้นการเลือกใช้เทคโนโลยีจึงต้องศึกษาอย่างละเอียดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการศึกษาได้ข้อสรุปเบื้องต้นว่า ทางเลือกในการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำแบ่งได้ 3 ทางเลือกคือ 1.ไม่มีการฟื้นฟูชั้นน้ำ 2. ฟื้นฟูด้วยวิธีการ Thermal conductive (Fast Track) ซึ่งสามารถทำการบำบัดสารพิษในชั้นน้ำได้ 90 % (EPA,1995) 3. ฟื้นฟูด้วยวิธีการ Pump and Treat (Regular Track) ซึ่งสามารถทำการบำบัดสารพิษในชั้นน้ำได้ 30 % (Ramburg *et al.*, 2005) การจำลองในหัวข้อนี้จะจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำจากการปนเปื้อนของ TCE เพื่อดูผลลัพธ์จากการใช้เทคโนโลยีที่ได้เลือกไว้ ผลการจำลองแสดงดัง รูปที่ 5-20 และรูปที่ 5-21



รูปที่ 5-20 เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L เมื่อใช้ทางเลือกที่ 2 ที่เวลา  
a) 4 ปี b) 6 ปี c) 8 ปี d) 10 ปี



รูปที่ 5-21 เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L เมื่อใช้ทางเลือกที่ 3 ที่เวลา  
a) 8 ปี b) 10 ปี c) 12 ปี d) 14 ปี

จากการจำลองพบว่า การฟื้นฟูชั้นน้ำในทางเลือกที่ 2 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะไม่เคลื่อนตัวเข้าสู่บ้านไร่กลางดง(2) การเคลื่อนตัวจะเคลื่อนตัวผ่านถนนมิตรภาพไปเพียงเล็กน้อย จากนั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะลดลงไป จนเหลือเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 8 ปี ส่วนทางเลือกที่ 3 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะคงยังเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) เมื่อถึงปีที่ 8 จากนั้นจะเคลื่อนตัวต่อไปเพียงเล็กน้อยและจะไม่เคลื่อนตัวต่อไป เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะลดลงจนถึงขอบถนนมิตรภาพเมื่อเวลาผ่านไป 14 ปี



ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนพบว่าการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนจะเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่การเกษตรและพื้นที่ชุมชนในบ้านไร่กลางดง(2) และบ้านปางอโศก การเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนย่อมส่งผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ ผลการจำลองนี้จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการประเมินความเสี่ยงต่อประชาชนในพื้นที่ต่อไป

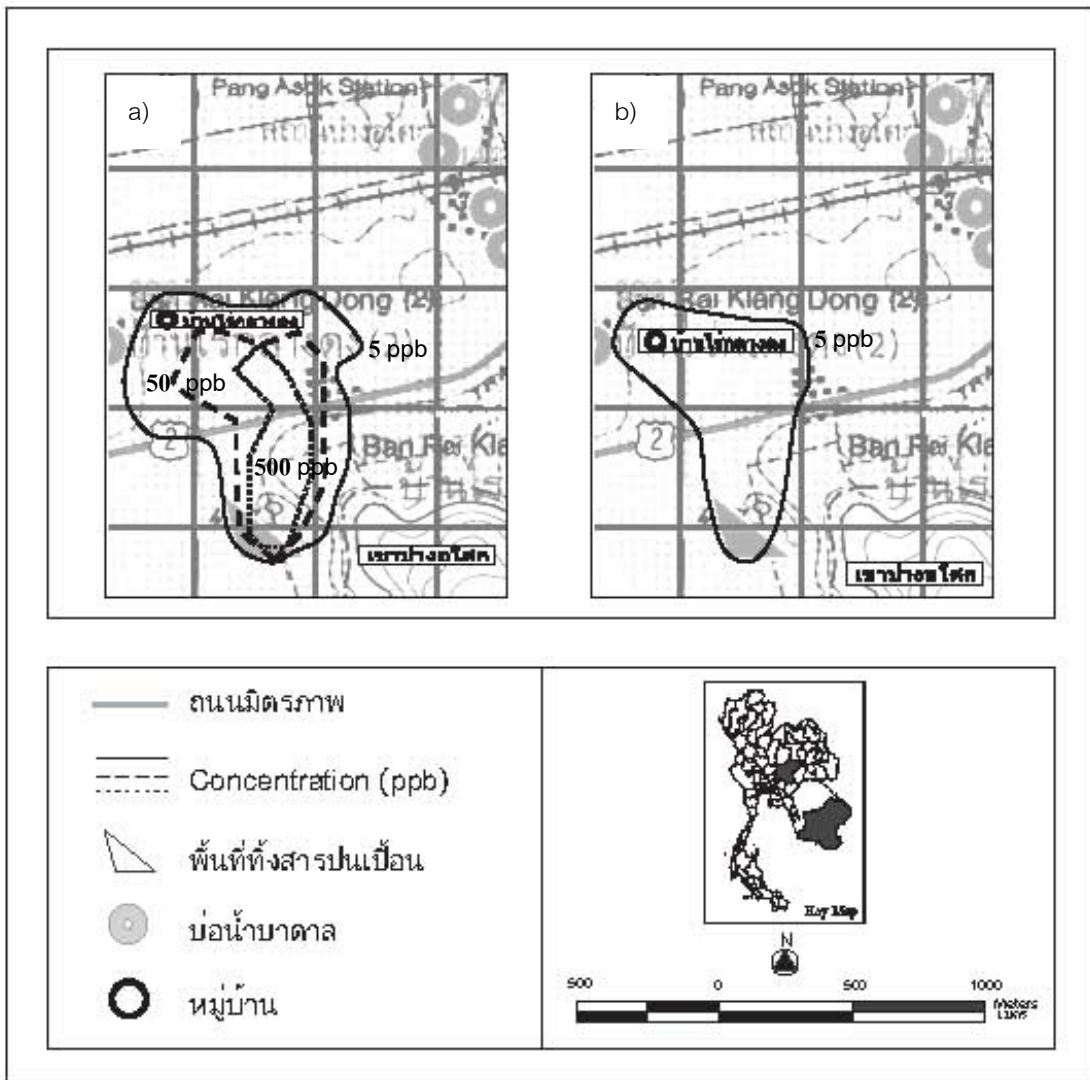
### ● ความสามารถในการฟื้นฟูน้ำบาดาลจากแบบจำลอง

จากการศึกษาการจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำเบื้องต้นพบว่า การฟื้นฟูชั้นน้ำแต่ละวิธีมีความสามารถแตกต่างกัน ทั้งปริมาณสารที่สามารถบำบัดได้และความสามารถในการลดขอบเขตพื้นที่การปนเปื้อน ในการเลือกใช้วิธีบำบัดแหล่งน้ำบาดาลจึงคำนึงถึงผลที่ได้จากการบำบัดฟื้นฟูของแต่ละวิธีการ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ VOCs ที่ได้จากแนวทางทั้ง 3 ทางเลือกคือ 1) ไม่มีการฟื้นฟูชั้นน้ำ 2) ฟื้นฟูชั้นน้ำด้วยวิธี Fast track ที่ใช้เวลา 5 ปีในการฟื้นฟู 3) ฟื้นฟูชั้นน้ำด้วยวิธี Regular Track ที่ใช้เวลา 10 ปีในการฟื้นฟู

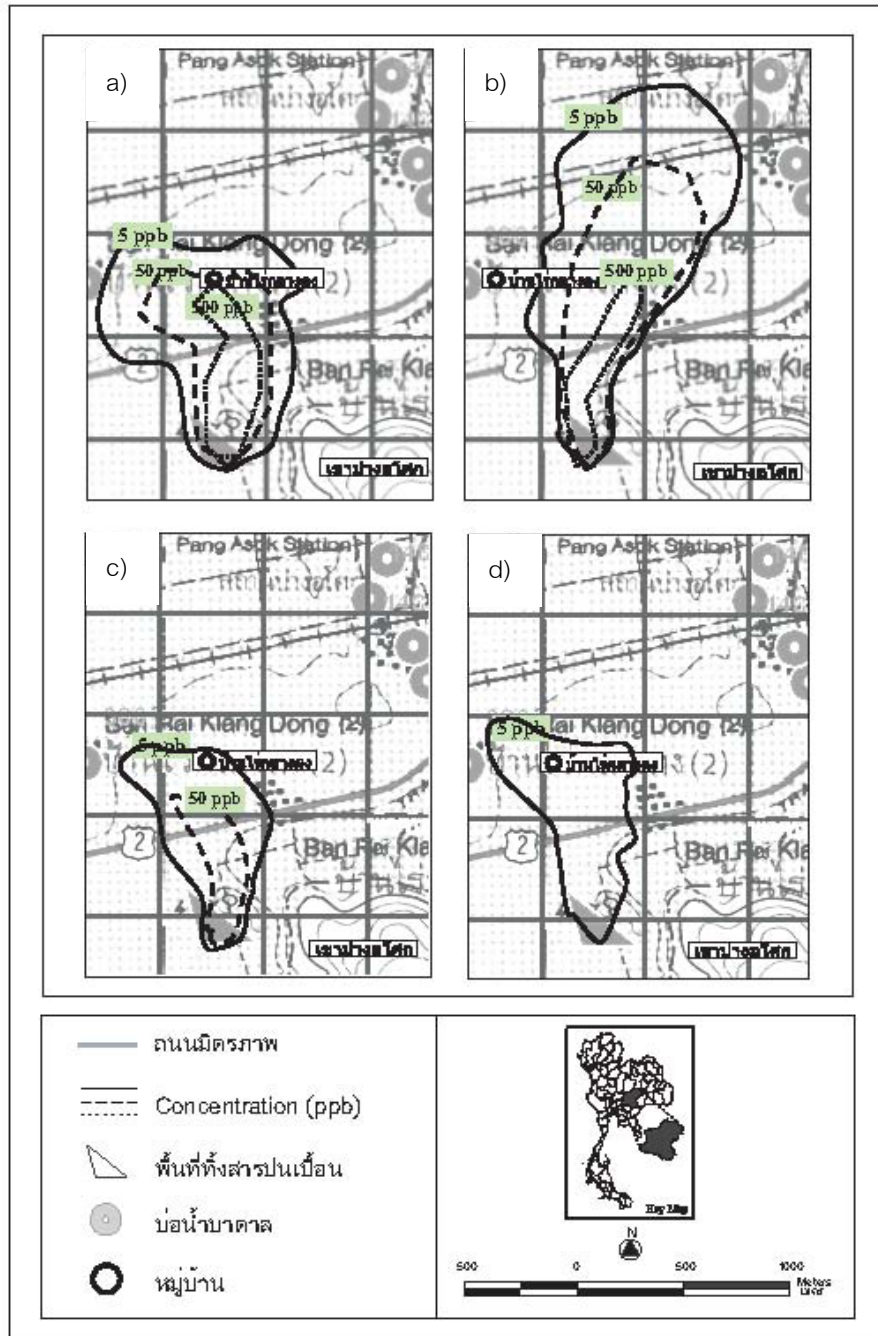
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ TCE กรณีที่เริ่มมีการบำบัดในปี 2551 โดยพิจารณาเปรียบเทียบการแพร่กระจายของสารระหว่างมีการบำบัดด้วยแนวทาง Fast track และไม่มีการบำบัดเมื่อสิ้นสุดโครงการในปีที่ 5 (พ.ศ.2555) ดังแสดงในรูปที่ 5-22 พบว่าการบำบัดสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ 90% และสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนลงได้ 27 % เมื่อสิ้นสุดโครงการ และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของ TCE ที่เวลา 5 ปีพบว่าเมื่อบำบัดด้วยวิธี Fast track ส่งผลให้เส้นชั้นความเข้มข้นขนาด 50 ppb และ 500 ppb หายไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยวิธี Fast track สามารถลดพื้นที่การปนเปื้อนและยังช่วยลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในบริเวณพื้นที่ปนเปื้อนได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายของสารระหว่างมีการบำบัดด้วยแนวทาง Regular track และไม่มีการบำบัดเมื่อในปีที่ 10 (พ.ศ.2560) ดังรูปที่ 5-23 พบว่าการบำบัดด้วยวิธี Pump and Treat อย่างเดียวสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ 30% และสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนลงได้ 64% เมื่อสิ้นสุดโครงการ หากพิจารณาการกระจายตัวของสารปนเปื้อน พบว่าเมื่อทำการบำบัดด้วยวิธี Regular track ส่งผลให้เส้นชั้นความเข้มข้นของ TCE ขนาด 500 ppb หายไปในปีที่ 5 และเส้นชั้นความเข้มข้นขนาด 50 ppb หายไปในปีที่ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยวิธี Regular track สามารถลดขนาดพื้นที่ปนเปื้อนและยังช่วยลดความเข้มข้นของ TCE ในบริเวณพื้นที่ปนเปื้อนได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการบำบัดด้วยแนวทาง Fast track แต่ต้องใช้เวลาในการบำบัดนาน 10 ปี

อย่างไรก็ตามการบำบัดด้วยแนวทาง Regular Track ยังมีเทคนิค Bioremediation ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาในแบบจำลอง มาช่วยในการบำบัดอีกด้วย ฉะนั้นในการบำบัดด้วย Regular Track สามารถให้ความสามารถในการฟื้นฟูมากกว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง



รูปที่ 5-22 เปรียบเทียบเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่เวลา 5 ปี กรณีที่ไม่มีการบำบัดและกรณีที่ใช้ทางเลือกที่ 2 Fast Track ในการบำบัด  
 (a) กรณีที่ไม่มีการบำบัด ในปีที่ 5 มีปริมาณสารปนเปื้อน 240,000 ก.ก. และพื้นที่ปนเปื้อน 730,000 ตร.ม  
 (b) กรณีใช้ทางเลือกที่ 2 Fast Track ในการบำบัด ในปีที่ 5 มีปริมาณสารปนเปื้อน 24,000 ก.ก. และพื้นที่ปนเปื้อน 530,000 ตร.ม.



รูปที่ 5-23 เปรียบเทียบเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่เวลา 5 ปี และ 10 ปี กรณีที่ไม่มีการบำบัด และกรณีที่ใช้ทางเลือกที่ 3 Regular Track ในการบำบัด

- (a) กรณีไม่มีการบำบัด ในปีที่ 5 มีปริมาณสาร 240,000 กก. และพื้นที่ปนเปื้อน 730,000 ตร.ม.
- (b) กรณีไม่มีการบำบัด ในปีที่ 10 มีปริมาณสาร 240,000 กก. และพื้นที่ปนเปื้อน 1,000,000 ตร.ม.
- (c) กรณีบำบัดด้วย Regular track ในปีที่ 5 มีปริมาณสาร 180,000 กก. และพื้นที่ปนเปื้อน 340,000 ตร.ม.
- (d) กรณีบำบัดด้วย Regular track ในปีที่ 10 มีปริมาณสาร 160,000 กก. และพื้นที่ปนเปื้อน 360,000 ตร.ม.

## บทที่ 6

การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่

## บทที่ 6

### การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่

การปนเปื้อนของสารเคมีในพื้นที่อันเนื่องมาจากการรั่วไหลของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาที่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีต่าง ๆ ในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก การขาดมาตรการในการจัดการสารพิษที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพอาจนำไปสู่ความเสียหายต่อประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมได้

การรั่วไหลของสารเคมีอันเป็นพิษมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่มีการปนเปื้อน ไม่ว่าจะเป็นต่ออากาศ ดิน และน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินอาจนำไปสู่ความเสียหายในหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากสารเคมีดังกล่าวสามารถแพร่กระจายจากผิวดินที่มีการรั่วไหลของสารพิษไปยังน้ำใต้ดินซึ่งสามารถแพร่กระจายสารพิษต่อไปได้เป็นบริเวณกว้างอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าว คือ การประเมินผลกระทบที่สืบเนื่องมาจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน โดยการประเมินดังกล่าวไม่อาจทำได้ง่ายนัก เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ อาทิเช่น การที่ไม่สามารถระบุเหตุการณ์ (event) และผลกระทบ (impact) ที่จะเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนดังกล่าวได้อย่างถูกต้องชัดเจน ความไม่แน่นอน (uncertainty) ในการเกิดเหตุการณ์และผลกระทบดังกล่าว รวมถึงการที่ไม่สามารถวัดความเสียหายได้ในเชิงปริมาณ (quantitative measurement) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดความเสียหายเป็นมูลค่าทางการเงิน (monetary value) เครื่องมือหนึ่งซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาในข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป คือ “การจัดการความเสี่ยง (risk management)”

เนื่องจากผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในโครงการที่ศึกษามีอาจระบุได้โดยแน่ชัดเนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่ อาทิเช่น ข้อมูลการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน มีค่อนข้างจำกัด การประเมินผลกระทบจึงมีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นความเสียหายอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนดังกล่าวจึงอาจพิจารณาในรูปของ “ความเสี่ยง (risk)”

## 6.1 แนวความคิดของกระบวนการจัดการความเสี่ยง (concept of risk management)

“ความเสี่ยง คือ สภาวะซึ่งเป็นไปได้ที่จะเกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างจากผลลัพธ์ที่ต้องการอันได้คาดการณ์หรือคาดหวังไว้” (Vaughan, 1997)

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ไม่คาดการณ์หรือคาดหวังอันเนื่องมาจากความเสี่ยงมักจะนำไปสู่ความเสียหาย เช่น ในกรณีการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินอาจนำไปสู่ความเสียหายในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมความเสี่ยงดังกล่าวให้เกิดผลกระทบด้านต่าง ๆ ให้น้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลย เครื่องมือหนึ่งซึ่งใช้ในวัตถุประสงค์ดังกล่าว คือ การจัดการความเสี่ยง (risk management) ซึ่งอาจนิยามได้ดังนี้

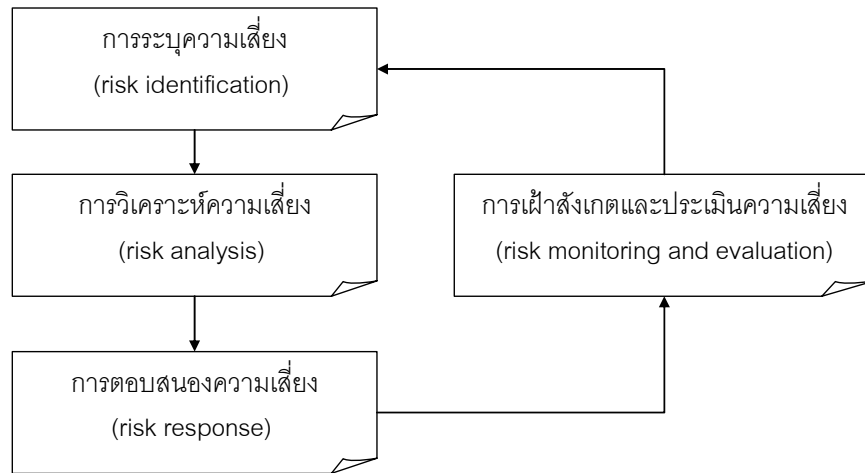
“การจัดการความเสี่ยง หมายถึง กระบวนการที่เป็นระบบซึ่งใช้ความรู้ทางสถิติและความน่าจะเป็นในการประเมินและจัดการความเสี่ยงในลักษณะภาพรวม การจัดการความเสี่ยงเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน (decision making under uncertainty) ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดอย่างเหมาะสมที่สุด (optimal) ในการแก้ปัญหาที่สนใจ” (Haimes, 1998)

จากนิยามข้างต้นจะเห็นได้ว่า วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การจัดการความเสี่ยงในปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน คือ การช่วยให้ผู้ทำการตัดสินใจ (decision maker) สามารถจัดการผลกระทบอันเนื่องมาจากเหตุการณ์ดังกล่าวอย่างเป็นระบบ อันจะเป็นการลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายให้อยู่ในระดับที่ผู้ทำการตัดสินใจสามารถยอมรับได้

การจัดการความเสี่ยงจึงเป็นการจัดการปัจจัยและควบคุมกิจกรรม การปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยงรวมทั้งกระบวนการดำเนินงานต่าง ๆ โดยลดโอกาสและขนาดของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การประเมิน ควบคุม และการตรวจสอบความเสี่ยงต่าง ๆ ต้องทำอย่างมีระบบ

กระบวนการจัดการความเสี่ยงประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ได้แก่

- (1) การระบุความเสี่ยง (risk identification)
- (2) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis)
- (3) การตอบสนองต่อความเสี่ยง (risk response) และ
- (4) การเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง (risk monitoring and evaluation)

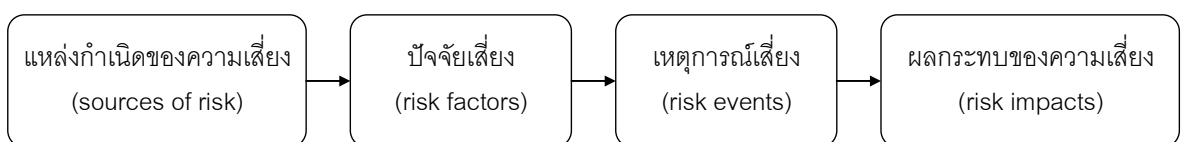


รูปที่ 6-1 กระบวนการจัดการความเสี่ยง (risk management process)

### 6.1.1 การระบุความเสี่ยง (risk identification)

ขั้นตอนแรกของการจัดการความเสี่ยง คือ การระบุความเสี่ยง ซึ่งหมายถึง การบ่งชี้ พร้อมทั้งอธิบายรายละเอียดขององค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการของความเสี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 6-2 ซึ่งได้แก่

- (1) แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง (sources of risk)
- (2) ปัจจัยเสี่ยง (risk factors)
- (3) เหตุการณ์เสี่ยง (risk events)
- (4) ผลกระทบของความเสี่ยง (risk impacts)



รูปที่ 6-2 องค์ประกอบของความเสี่ยง

(1) แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง (sources of risk) หมายถึง ต้นเหตุของปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบที่ทำการศึกษา

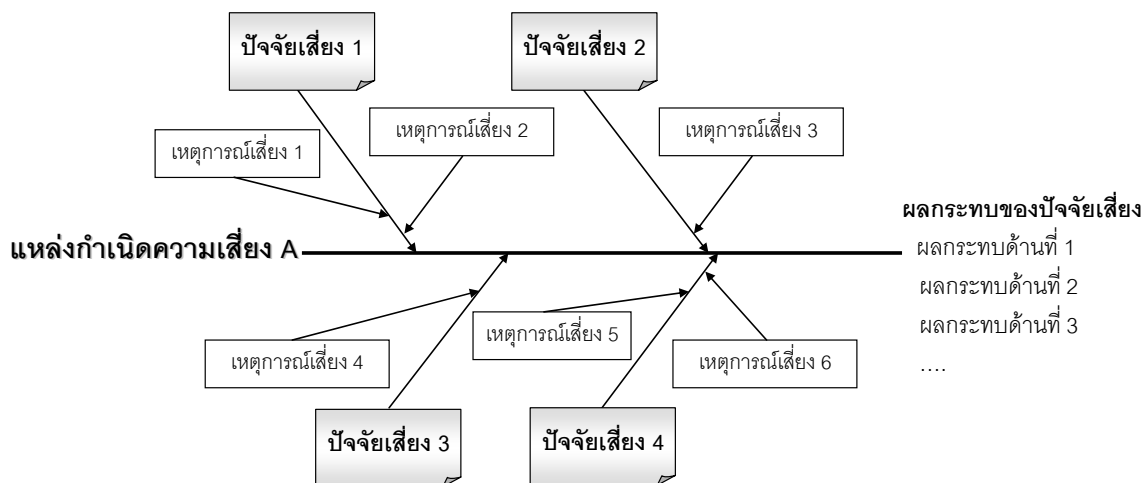
(2) ปัจจัยเสี่ยง (risk factors) หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอันสืบเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดความเสี่ยงใด ๆ ตัวอย่างเช่น จากแหล่งกำเนิดความเสี่ยงในข้างต้น

(3) เหตุการณ์เสี่ยง (risk events) คือ สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตและส่งผลกระทบต่อระบบ

(4) ผลกระทบของความเสี่ยง (risk impacts) หมายถึง ผลกระทบต่างๆ อันเนื่องมาจากเหตุการณ์เสี่ยงที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์เพื่อระบุองค์ประกอบความเสี่ยงข้างต้นสามารถทำได้หลายวิธี (Haimes, 1998) อาทิเช่น

- วิธี hierarchical holographic modeling (HHM)
- วิธี fault tree analysis
- วิธี influence diagram
- วิธี decision tree
- วิธี cause-effect diagram (ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6-3) เป็นต้น



รูปที่ 6-3 ตัวอย่าง cause-effect diagram เพื่อระบุองค์ประกอบความเสี่ยง

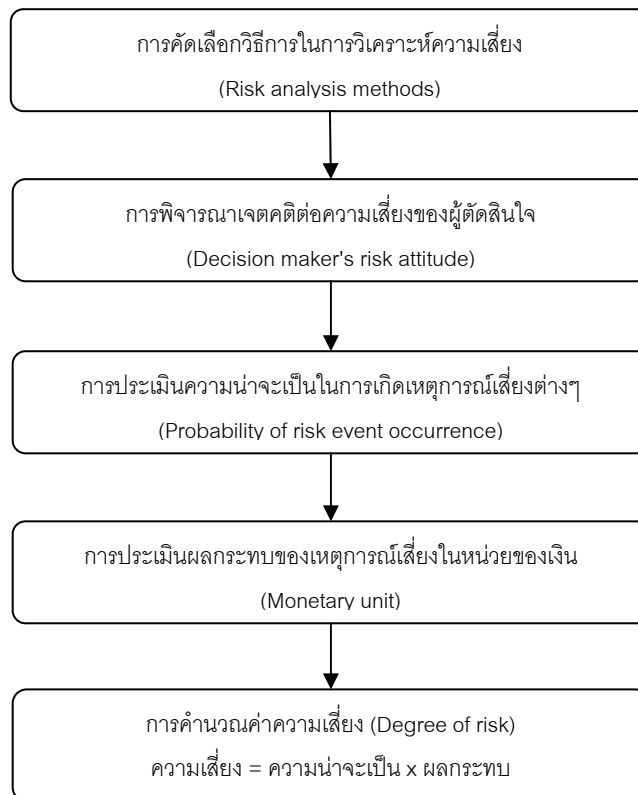


### 6.1.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis)

เมื่อองค์ประกอบของความเสียหาย อันได้แก่ แหล่งกำเนิด ปัจจัยเสี่ยง เหตุการณ์เสี่ยง และผลกระทบของปัจจัยเสี่ยงได้ถูกระบุในขั้นตอนแรกของการจัดการความเสี่ยงแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์ความเสี่ยง ซึ่งหมายถึง การประเมินผลกระทบและโอกาสในการเกิดเหตุการณ์เสี่ยงต่างๆ อันสืบเนื่องจากปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณา ซึ่งอาจจะเป็นการวิเคราะห์ในเชิงคุณลักษณะ (qualitative analysis) หรือ ในเชิงปริมาณ (quantitative analysis) โครงการศึกษาวิจัยนี้จะวิเคราะห์ความเสี่ยงในเชิงปริมาณ เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่นำไปสู่ผลลัพธ์ที่เป็นตัวเลข ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนจัดการความเสี่ยงต่อไปได้สะดวกกว่าผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ในเชิงคุณลักษณะ

การวิเคราะห์ความเสี่ยงแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน (ดังแสดงในรูปที่ 6-4) ได้แก่

- (1) การคัดเลือกวิธีการในการวิเคราะห์ความเสี่ยง
- (2) การพิจารณาเจตคติของผู้ตัดสินใจต่อความเสี่ยง
- (3) การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์
- (4) การประเมินผลกระทบของเหตุการณ์เสี่ยงในหน่วยของเงิน
- (5) การคำนวณค่าความเสี่ยง



รูปที่ 6-4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสี่ยง

**(1) การคัดเลือกวิธีการในการวิเคราะห์ความเสี่ยง**

ได้แก่ การเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อสร้างแบบจำลองความเสี่ยง (risk model) ของระบบที่สนใจ อาทิเช่น แบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) แบบจำลองแผนภูมิรูปภาพ เป็นต้น สำหรับแบบจำลองความเสี่ยงที่ใช้ในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นหลักเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยจะใช้แบบจำลองประเภทอื่น ๆ ประกอบตามความเหมาะสมเพื่อความสมบูรณ์ในการวิเคราะห์

**(2) การพิจารณาเจตคติต่อความเสี่ยง (risk attitude) ของผู้ตัดสินใจ**

หมายถึง การผนวกเจตคติของผู้ที่ทำการตัดสินใจที่มีต่อความเสี่ยงในปัญหาที่สนใจในการสร้างแบบจำลองความเสี่ยง โดยเจตคติต่อความเสี่ยงโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ การสะเทินต่อความเสี่ยง (risk neutral) การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (risk aversion) และการชอบเสี่ยง (risk preferring) ซึ่งเจตคติต่อความเสี่ยงสำหรับแต่ละบุคคลย่อมแตกต่างกัน เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนามาขึ้นง่ายต่อการนำไปใช้งาน ในโครงการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยจะสมมติว่าผู้

ตัดสินใจในปัญหานี้จัดอยู่ในประเภทสะท้อนต่อความเสี่ยง นั่นคือ ตัดสินใจโดยใช้ค่าคาดหวังทางการเงินเป็นสำคัญ (expected monetary value)

### (3) การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์เสี่ยง (probability of risk event occurrence)

ได้แก่ การประเมินโอกาสในการเกิด (likelihood of occurrence) ของเหตุการณ์เสี่ยงต่าง ๆ ซึ่งโอกาสดังกล่าวสามารถแสดงโดยใช้ ค่าความน่าจะเป็น (probability) ที่เหตุการณ์เสี่ยงจะเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของสารเคมี เทคนิคในการประเมินความน่าจะเป็นดังกล่าวที่สำคัญ คือ การประเมินความน่าจะเป็นในลักษณะอัตวิสัย (subjective probability) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น fault tree analysis เป็นต้น

### (4) การประเมินผลกระทบของเหตุการณ์เสี่ยงในหน่วยของเงิน (monetary unit)

หมายถึง การวิเคราะห์เพื่อหามูลค่าทางการเงิน (monetary value) ของผลกระทบอันสืบเนื่องมาจากเหตุการณ์เสี่ยงหนึ่ง ๆ เพื่อให้สามารถรวมผลกระทบของความเสียหายในแต่ละด้านได้ (เนื่องจากเป็นมูลค่าทางการเงินทั้งหมด) แล้วจึงเปลี่ยนเป็นมูลค่าของเงิน ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงในขั้นตอนต่อไปได้

การประเมินเพื่อหามูลค่าของเงินจะประเมินจากความเสียหายซึ่งเกิดจากผลกระทบ (Impact or consequence) ที่เกิดจากเหตุการณ์เสี่ยง โดยจะประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เป็นหลัก

### (5) การคำนวณค่าความเสี่ยง (degree of risk)

ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น ค่าความเสี่ยงจะได้จากการคำนวณหา ค่าคาดหวัง (expected value) ของผลกระทบอันสืบเนื่องมาจากแต่ละเหตุการณ์เสี่ยง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเสี่ยง (risk)} = \text{ความน่าจะเป็น (probability)} \times \text{ผลกระทบ (impact)}$$

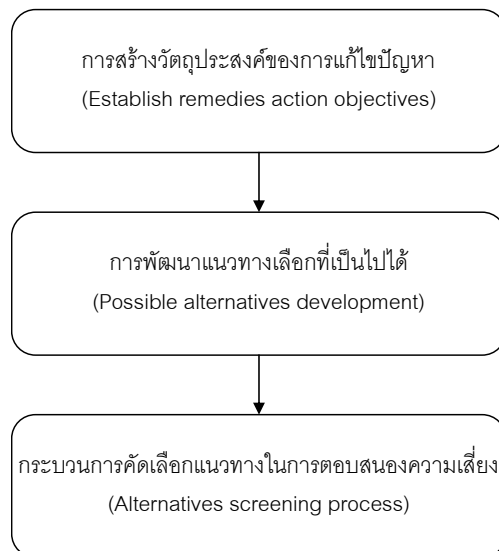
ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสี่ยง คือ ค่าความเสี่ยง (ในหน่วยมูลค่าทางการเงิน เช่น บาท) สำหรับแต่ละเหตุการณ์เสี่ยง ค่าความเสี่ยงนี้จะถูกนำไปใช้พิจารณาในการเลือกแนวทางตอบสนองความเสี่ยงในขั้นตอนต่อไป

### 6.1.3 การตอบสนองต่อความเสี่ยง (risk response)

จากค่าความเสี่ยงของแต่ละเหตุการณ์เสี่ยงซึ่งคำนวณได้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ผู้ตัดสินใจจะสามารถตัดสินใจเพื่อเลือกแนวทางการจัดการปัจจัยเสี่ยงนั้น ๆ ได้ โดยในขั้นตอนนี้เรียกว่า การตอบสนองต่อความเสี่ยง

การตอบสนองความเสี่ยงในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย (US. EPA, 1988) ดังแสดงในรูปที่ 6-5 ได้แก่

- (1) การสร้างวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา
- (2) การพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยง
- (3) กระบวนการคัดเลือกแนวทางในการตอบสนองความเสี่ยง



รูปที่ 6-5 ขั้นตอนการตอบสนองความเสี่ยง

### (1) การสร้างวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา (establish remedies action objectives)

การกำหนดวัตถุประสงค์ของการตอบสนองความเสี่ยงเป็นการกำหนดทิศทางในการตอบสนองต่อความเสี่ยงที่เกิดขึ้นว่าต้องการที่จะมุ่งเน้นตอบสนองในส่วนใดขององค์ประกอบความเสี่ยง อันได้แก่ แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง ปัจจัยเสี่ยง หรือเหตุการณ์เสี่ยง เพื่อแก้ไขหรือบรรเทาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นทั้งในด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม การสร้างวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหานี้จะเป็นแนวทางในการกำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหามี 4 ลักษณะ คือ

- **การแบกรับความเสี่ยง (risk retention or absorption)** ได้แก่ การยอมรับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องไว้โดยไม่ดำเนินการใด ๆ เนื่องจากไม่คุ้มค่าที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบเพื่อจัดการหรือป้องกันความเสี่ยง แนวทางนี้เหมาะกับความเสี่ยงที่มีค่าความเสี่ยงไม่สูงนักและผู้ตัดสินใจสามารถยอมรับความเสี่ยงดังกล่าวได้ กล่าวคือ เหตุการณ์เสี่ยงดังกล่าวอาจมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นต่ำ (ความน่าจะเป็นในการเกิดปัจจัยเสี่ยงมีค่าน้อย) หรือมีผลกระทบที่ประเมินออกมาเป็นมูลค่าทางการเงินที่ไม่สูง ดังนั้นจึงไม่สมควรที่จะดำเนินการใด ๆ เพื่อลดหรือกำจัดความเสี่ยงดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ตัดสินใจเลือกที่จะตอบสนองความเสี่ยงด้วยวิธีแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีมาตรการในการติดตามเฝ้าระวังความเสี่ยงอย่างสม่ำเสมอ

- **การลดความเสี่ยง (risk reduction)** ได้แก่ การใช้มาตรการต่าง ๆ ในการลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องให้น้อยลง ไม่ว่าจะเป็นการลดหรือกำจัดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์เสี่ยง หรือการลดหรือกำจัดผลกระทบของเหตุการณ์เสี่ยง ตัวอย่างของมาตรการลดความเสี่ยง ได้แก่ การใช้วิธีทางวิศวกรรมในการบำบัดสภาพน้ำใต้ดินให้มีสภาพที่ดีขึ้น เป็นต้น

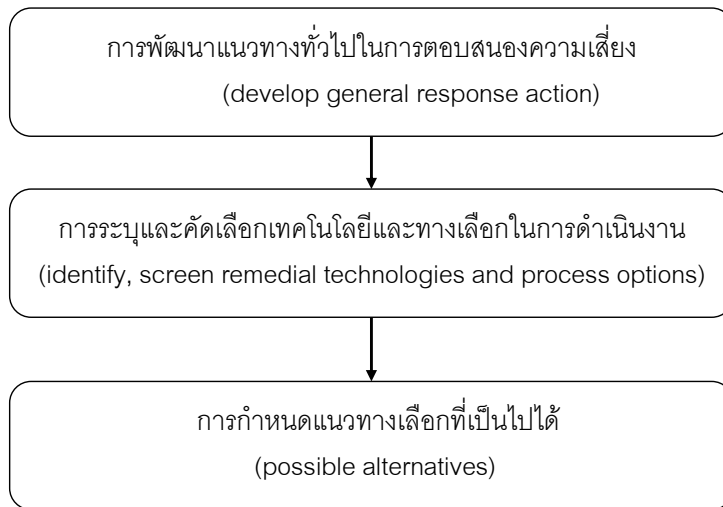
- **การถ่ายโอนความเสี่ยง (risk transfer)** เป็นการถ่ายโอนให้บุคคลอื่นรับผิดชอบต่อผลของความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นแทนตน อาทิเช่น การทำกรมธรรม์ประกันภัย เป็นต้น

- **การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (risk avoidance)** ได้แก่ การไม่ดำเนินการใดๆ ที่อาจจะนำไปสู่เหตุการณ์เสี่ยงอันมีผลกระทบต่อระบบได้ อาทิเช่น การไม่อนุญาตให้ดำเนินโครงการที่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

### (2) การพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยง

การพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไปได้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังแสดงใน

รูปที่ 6-6 ได้แก่



รูปที่ 6-6 ขั้นตอนการพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไปได้

- **การพัฒนาแนวทางทั่วไปในการตอบสนองความเสี่ยง** ได้แก่ การกำหนดแนวทางทั่วไปในการตอบสนองความเสี่ยงขึ้นมา โดยจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ตัวอย่างแนวทางเลือกในการตอบสนองความเสี่ยง ได้แก่ หากมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะแบกรับความเสี่ยงแนวทางในการตอบสนองความเสี่ยง คือ การเลือกที่จะไม่ดำเนินการใด ๆ ทั้งสิ้น หรือหากมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะลดความเสี่ยงจะต้องมีการนำเทคโนโลยีหรือทางเลือกใดๆ มาใช้เพื่อลดความเสี่ยงลง ซึ่งเป็นที่มาของขั้นตอนต่อไป
- **การระบุและคัดเลือกเทคโนโลยีและทางเลือกในการดำเนินงาน** ในขั้นตอนนี้เป็นการระบุ คัดเลือกเทคโนโลยี และทางเลือกในการดำเนินงานที่มีความเหมาะสมต่อการตอบสนองความเสี่ยงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนก่อน โดยในเบื้องต้นการคัดเลือกเทคโนโลยีจะต้องพิจารณาจาก 3 ปัจจัย (US. EPA, 1988) คือ ประสิทธิภาพ (effectiveness) ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติงาน (implementability) และต้นทุน (cost)
- **การกำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้** ภายหลังจากที่ได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์และทางเลือกของเทคโนโลยีและการดำเนินงานในการตอบสนองความเสี่ยงแล้ว จะเป็นการนำทางเลือกของเทคโนโลยีและทางเลือกของการดำเนินการมาประกอบกันเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ต่างๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสมต่อไป

### (3) กระบวนการคัดเลือกแนวทางเลือกในการตอบสนองความเสี่ยง

กระบวนการตัดสินใจเพื่อเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสม แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การสร้างเกณฑ์ของความเสี่ยง (risk criterion) และการตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสม (appropriate risk response alternative)

1) การสร้างเกณฑ์ของความเสี่ยง เกณฑ์ของความเสี่ยงแบ่งออกได้เป็น 9 เกณฑ์ (US. EPA, 1988) ได้แก่

- การปกป้องสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เกณฑ์การตอบสนองความเสี่ยงนี้มุ่งพิจารณาความสามารถในการป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

- การปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เกณฑ์การตอบสนองความเสี่ยงนี้ใช้ในการพิจารณาว่าทางเลือกที่กำหนดไว้สามารถใช้ในการป้องกันหรือบำบัดการปนเปื้อนของสารเคมีได้ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องหรือไม่

- ประสิทธิภาพและความถาวรในระยะยาว เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาณความเสี่ยงที่ยังคงเหลืออยู่ในระยะยาวภายหลังจากที่ได้ดำเนินการตอบสนองความเสี่ยงไปเรียบร้อยแล้ว โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่คงเหลืออยู่ และความน่าเชื่อถือในระยะยาวในการควบคุมไม่ให้เกิดผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารเคมี

- การลดลงของความเป็นพิษ การเคลื่อนตัว และปริมาณของสารพิษจากการบำบัด เกณฑ์การตอบสนองความเสี่ยงในข้อนี้ใช้พิจารณาว่าแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่ได้กำหนดไว้มีความสามารถมากน้อยเพียงใดในการลดความเป็นพิษ การเคลื่อนตัว และปริมาณของสารพิษในระบบ

- ประสิทธิภาพในระยะสั้น เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการตอบสนองความเสี่ยง โดยทำการตรวจวัดก่อนที่การตอบสนองความเสี่ยงนั้นจะสิ้นสุดลง (ระหว่างที่ดำเนินการตอบสนองความเสี่ยง) เกณฑ์ของความเสี่ยงนี้จะเน้นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก โดยพิจารณาจาก ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อชุมชนโดยรอบในขณะที่ทำการตอบสนองความเสี่ยง ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคนงานที่เข้าไปทำงานในระหว่างการก่อสร้าง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระยะเวลาในการดำเนินงาน

- ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติงาน เป็นความเป็นไปได้ในการดำเนินงานของทางเลือกต่าง ๆ ว่ามีความเหมาะสมในการตอบสนองความเสี่ยงเนื่องจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินเพียงใด โดยพิจารณาด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (technical feasibility) เช่น ความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและการดำเนินงานก่อสร้าง หรือความเป็นไปได้ทางด้านเทคโนโลยี เป็นต้น
- ความเป็นไปได้ทางการบริหารงาน (administrative feasibility) เช่น ความเป็นไปในการขออนุญาตเข้าไปก่อสร้างในบริเวณพื้นที่เสี่ยง
- ความพร้อมในด้านของบริการและวัสดุ (availability of services and materials)
- **ต้นทุน** ที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง โดยคำนวณจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value) ของค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือก ซึ่งประกอบไปด้วย
  - เงินทุน พิจารณาต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อมของทางเลือกต่างๆ
  - ต้นทุนด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษา ของทางเลือกที่พิจารณา
- **การยอมรับจากสังคม** ในการเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงจะต้องพิจารณาการยอมรับจากสังคมด้วยว่าประชาชนในพื้นที่เสี่ยงยอมรับในแนวทางเลือกที่จะใช้หรือไม่
- **การยอมรับจากภาครัฐ** ทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยงที่เลือกใช้จำเป็นต้องได้รับความเห็นชอบจากภาครัฐเสียก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ

2) **การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสม** จากวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้เพื่อกำหนดทิศทางของการตอบสนองความเสี่ยง และแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับเกณฑ์ของความเสี่ยงซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละกรณีเพื่อตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสมซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการตอบสนองความเสี่ยง

#### 6.1.4 การเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง (risk monitoring and evaluation)

ภายหลังจากได้ลงมือปฏิบัติตามแนวทางการสนองความเสี่ยงที่เลือกแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอเพื่อประเมินว่าแนวทางการสนองความเสี่ยงที่เลือกใช้นั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างนโยบายการเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง (risk monitoring and evaluation policy) ที่เกิดขึ้นภายหลังจากที่มีการใช้



วิธีการสนองความเสี่ยงแล้ว โดยถ้าหากผลกระทบที่เกิดขึ้นยังไม่ลดลงหรือหมดสิ้นไปอาจมีความจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการสนองความเสี่ยงเพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป สำหรับโครงการศึกษานี้ ตัวอย่างของวิธีการในการเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง คือ การขุดเจาะบ่อสังเกตการณ์ เป็นต้น

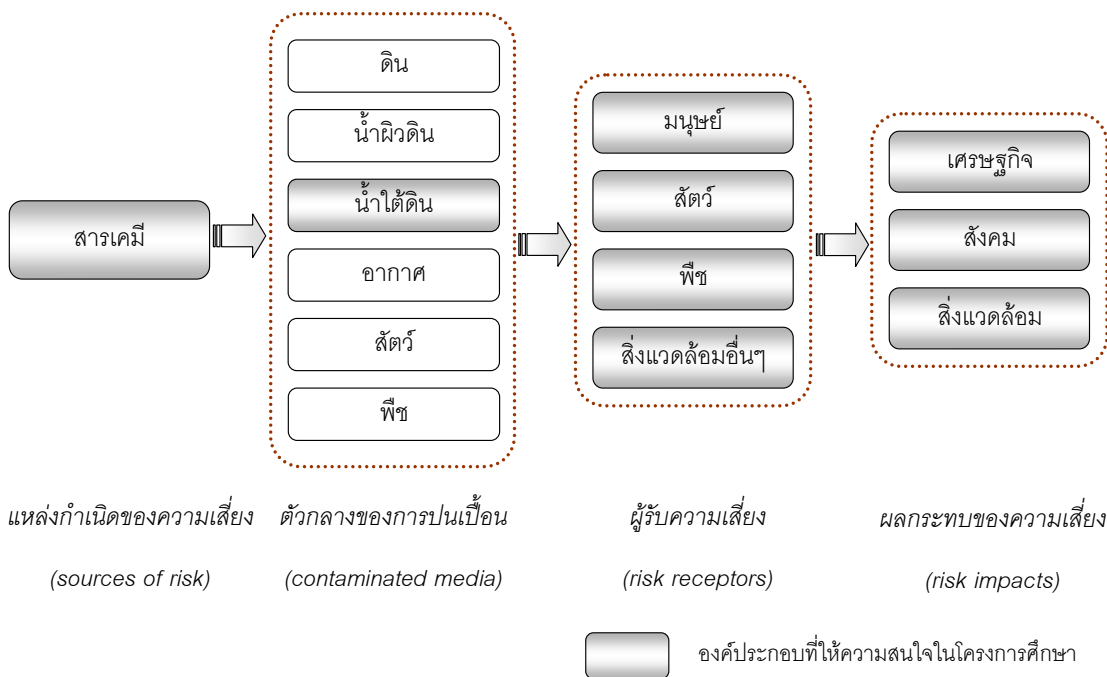
## 6.2 การจัดการความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

ขอบเขตการศึกษาของกลุ่มงานด้านการประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่ประกอบด้วยงาน 3 ส่วน ได้แก่

- (1) การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน
- (2) การประเมินผลกระทบของความเสี่ยง
- (3) การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษา
- (4) การเลือกวิธีการตอบสนองของความเสี่ยง

### 6.2.1 การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

จากองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการของความเสี่ยง คือ แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง (sources of risk) ปัจจัยเสี่ยง (risk factors) เหตุการณ์เสี่ยง (risk events) และผลกระทบของความเสี่ยง (risk impacts) ซึ่งได้นำเสนอละเอียดในหัวข้อที่ 6.1.1 เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบ่งชี้ความเสี่ยงจากสารเคมีปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน จะสามารถกำหนดองค์ประกอบทั้ง 4 ประการให้สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว (ดังแสดงใน **รูปที่ 6-7**) ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 6-7 องค์ประกอบของความเสี่ยงจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

### (1) แหล่งกำเนิดของความเสียหาย (sources of risk)

หมายถึง ต้นเหตุของความเสียหายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบที่ทำการศึกษา โดยแหล่งกำเนิดความเสี่ยงของโครงการศึกษานี้ คือ กากอุตสาหกรรมที่เกิดจากการลักลอบฝังกลบ โดยไม่มีการป้องกันการปนเปื้อนในพื้นที่ติดกับโรงงานของบริษัทแห่งหนึ่งบริเวณหมู่ที่ 1 ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

ในเบื้องต้นได้มีการขุดเปิดหน้าดินบริเวณดังกล่าวเพื่อนำกากของเสียไปกำจัดอย่างถูกวิธีแล้ว แต่พบว่ายังมีกากสารเคมีหลงเหลืออยู่บนในบริเวณนั้นเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ในน้ำใต้ดิน จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินพบว่าสารอินทรีย์ระเหยที่มีการปนเปื้อนและอยู่ในระดับที่เกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 สารเคมีอันตรายที่พบในบริเวณแหล่งกำเนิดความเสี่ยงมีจำนวน 6 ชนิด คือ

- trichloroethylene (TCE)
- benzene
- tetrachloroethene (PCE)
- 1,2-dichloroethane

- cis-1,2-dichloroethylene และ
- 1,1,2-trichloroethane

การทราบถึงบริเวณที่ตั้งแหล่งกำเนิดความเสี่ยง ชนิดของสารปนเปื้อน และปริมาณของสารปนเปื้อนนั้นจะช่วยให้การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีความรวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถคำนวณ อัตราการแพร่กระจายและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นต่อประชาชน พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดความเสี่ยงได้

## (2) ตัวกลางของการปนเปื้อน (contaminated media)

หมายถึง สื่อที่นำพาสารเคมีจากแหล่งกำเนิดของความเสี่ยงไปสู่ผู้รับความเสี่ยงต่อไป สำหรับสารเคมีที่เป็นแหล่งกำเนิดของความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะมีตัวกลางของการปนเปื้อน ได้แก่ (U.S. EPA, 1989)

- ดิน
- น้ำผิวดิน
- น้ำใต้ดิน
- อากาศ
- สัตว์
- พืช เป็นต้น

สำหรับสัตว์และพืชในความหมายของตัวกลางการปนเปื้อนนี้จะแตกต่างจากสัตว์และพืชในส่วนของผู้รับความเสี่ยง กล่าวคือ สัตว์และพืชที่เป็นตัวกลางการปนเปื้อนนี้สามารถถ่ายทอดสารปนเปื้อนไปสู่ผู้รับความเสี่ยงได้ โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร เช่น ปลาได้รับสารปนเปื้อนจากน้ำ มนุษย์นำปลาที่ได้รับสารปนเปื้อนไปบริโภค ดังนั้นน้ำและปลาจึงเป็นตัวกลางการปนเปื้อนและมนุษย์เป็นผู้รับสารปนเปื้อน

จากการตรวจวัดปริมาณของสารเคมีทั้ง 6 ชนิดในข้างต้นทั้งในบริเวณพื้นที่แหล่งกำเนิดของความเสี่ยงและพื้นที่โดยรอบ พบว่าการปนเปื้อนของสารเคมีเหล่านี้ในดิน น้ำผิวดิน และอากาศ มีระดับการปนเปื้อนต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นตัวกลางของการปนเปื้อนที่สำคัญที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางการจัดการความเสี่ยงในโครงการวิจัยนี้จะจำกัดเฉพาะการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเท่านั้น

### (3) ผู้รับความเสี่ยง (risk receptors)

หมายถึง สิ่งที่จะได้รับผลกระทบจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นผ่านทางตัวกลางของการปนเปื้อนได้แก่ มนุษย์ พืช สัตว์ และ สิ่งแวดล้อม สำหรับในกรณีที่น้ำใต้ดินเป็นตัวกลางของการปนเปื้อนนี้ สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้รับความเสี่ยงซึ่งเป็นผู้ที่รับสารเคมีผ่านมาจากน้ำใต้ดิน ผู้รับความเสี่ยงนี้อาจจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

- มนุษย์ ได้แก่ ประชาชนในพื้นที่ที่ทำการศึกษาที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อน โดยในโครงการวิจัยนี้ข้อมูลการใช้และข้อมูลทั่วไปของประชาชนในพื้นที่ที่ศึกษาได้มาจากการสุ่มสำรวจจากตัวอย่างของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่โดยใช้แบบสอบถาม โดยจำนวนตัวอย่างของประชาชนที่ทำการสุ่มสำรวจ ณ ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ และตัวอย่างแบบสอบถามการใช้น้ำภาคสนามแสดงไว้ใน ภาคผนวก ฅ และ ญ ตามลำดับ

- พืช เนื่องจากอาชีพหลักของประชาชนในบริเวณพื้นที่ศึกษา คือ อาชีพเกษตรกรรม ดังนั้นพืชจึงเป็นผู้รับความเสี่ยงโดยตรงอีกกลุ่มหนึ่ง โดยในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่พืชเศรษฐกิจเป็นหลัก อันได้แก่ ผัก ไม้ผล ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง น้อยหน่า มะม่วง มะละกอ และถั่วเหลือง เป็นต้น ผลจากการที่พืชเหล่านี้ได้รับสารปนเปื้อนจะก่อให้เกิดความเสียหายต่าง ๆ อาทิเช่น ผลผลิตลดลง หรือพืชล้มตาย เป็นต้น

- สัตว์ หมายถึง สัตว์ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากความเสี่ยงดังกล่าว โดยจะพิจารณาทั้งสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติทั่วไปและสัตว์เศรษฐกิจซึ่งประชาชนเลี้ยงไว้เพื่อจำหน่าย เช่น สุกร ไก่ ไก่เนื้อ โคเนื้อ และปลาน้ำจืด เป็นต้น

- สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินเป็นหลัก เนื่องจากปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ตรวจวัดได้นั้นมีระดับการปนเปื้อนที่สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด

การระบอบุองค์ประกอบของความเสี่ยงดังที่ได้อธิบายในข้างต้น นั่นคือ แหล่งกำเนิดของความเสียหาย ตัวกลางของการปนเปื้อน และผู้รับความเสี่ยง ของการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ทั้ง 6 ชนิด ที่มีระดับการปนเปื้อนที่เกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 สามารถสรุปและจำแนกตามประเภทของการปนเปื้อนที่พบได้ดังแสดงใน ตารางที่ 6-1

ความเสี่ยงที่ระบุจากตารางที่ 6-1 นั้น เป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ มนุษย์ สัตว์

และพืช เป็นหลัก เนื่องจากสามารถประเมินความเสียหายผลกระทบในรูปของมูลค่าทางการเงินได้ สะดวกกว่าผลกระทบด้านอื่น ๆ

#### (4) ผลกระทบของความเสียหาย (risk impacts)

หมายถึง ผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อผู้รับความเสี่ยงอันเนื่องมาจากความเสี่ยงที่พิจารณา ในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะนำเสนอแนวทางการประเมินผลกระทบเบื้องต้น (preliminary impact assessment) ในรูปของมูลค่าทางการเงิน (monetary value) ของผลกระทบ 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 6.2.2

### 6.2.2 การประเมินผลกระทบของความเสียหาย

การประเมินผลกระทบของความเสียหายของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์เชิงกำหนด (deterministic) เพื่อวิเคราะห์หามูลค่าทางการเงินของผลกระทบเบื้องต้นที่เกิดขึ้นกับผู้รับความเสี่ยง สาเหตุหลักที่การวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็น (probabilistic) ไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในโครงการศึกษาวิจัยนี้เนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่ใช้ในการอธิบายลักษณะพื้นที่ที่ปนเปื้อน (site characterization) มีไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็น ดังนั้นในอนาคตหากหน่วยงานมีข้อมูลต่าง ๆ เพียงพอแล้วก็สามารถที่จะพิจารณานำการวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็นมาใช้ในการประเมินผลกระทบของความเสียหายได้ ซึ่งวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่สะท้อนถึงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นกว่าวิธีวิเคราะห์เชิงกำหนดนี้

โดยทั่วไปการประเมินผลกระทบของความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อมจะประเมินใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 6-1 การระบุความเสี่ยงโดยเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง	ตัวกลางของการปนเปื้อน	ผู้รับความเสี่ยง
Benzene	น้ำใต้ดิน	<b>มนุษย์</b>
		<i>ผลกระทบในระยะสั้น</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผิวหนังได้รับผลกระทบทำให้ผิวหนังแห้ง</li> <li>• ประชากรส่วนกลางได้รับผลกระทบ เช่น วิงเวียน ปวดศีรษะ ง่วงซึม มึนงง หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้</li> <li>• ระบบเลือดและระบบภูมิคุ้มกันได้รับผลกระทบ</li> </ul>
		<i>ผลกระทบในระยะยาว</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• เกิดภาวะโลหิตจางและเม็ดเลือดขาวผิดปกติ</li> <li>• เกิดผลกระทบต่อปลายประสาทและไขสันหลัง ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ ปวดเมื่อย นอนไม่หลับ และความจำเลอะเลือน</li> <li>• เกิดมะเร็งต่อระบบน้ำเหลือง ปอด และกระเพาะปัสสาวะ</li> </ul>
		<b>สัตว์</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นอันตรายต่อสัตว์บก</li> <li>• เป็นพิษต่อปลาและแพลงตอน</li> </ul>
		<b>สิ่งแวดล้อม (น้ำใต้ดิน)</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ทำให้แหล่งน้ำเป็นพิษ</li> <li>• เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศวิทยาในน้ำ</li> <li>• เกิดการทำปฏิกิริยา เช่น การลุดติดไฟ</li> </ul>
1,2-dichloroethane	น้ำใต้ดิน	<b>มนุษย์</b>
		<i>ผลกระทบในระยะสั้น</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผิวหนังได้รับผลกระทบก่อให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง แผลพุพอง และอาจทำให้ผิวหนังไหม้ได้</li> <li>• เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะลำไส้ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง และอาจเสียชีวิตได้หากรับในปริมาณที่มาก</li> </ul>
		<i>ผลกระทบในระยะยาว</i>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• หากสัมผัสสารนี้บ่อยๆ และเป็นเวลานานอาจจะทำให้น้ำหนักลด ความดันโลหิตต่ำ โรคไต โรคโลหิตจาง และผิวหนังอักเสบ</li> <li>• เป็นสารก่อมะเร็ง</li> <li>• เป็นสารที่ทำลายตับและไต</li> </ul>

ตารางที่ 6-1 การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน (ต่อ)

แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง	ตัวกลางของการปนเปื้อน	ผู้รับความเสี่ยง
		<p><b>สัตว์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์บก</li> <li>เกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในสัตว์น้ำ</li> </ul>
		<p><b>พืช</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดการปนเปื้อนในพืช</li> </ul>
		<p><b>สิ่งแวดล้อม (น้ำใต้ดิน)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ</li> <li>เกิดการทำปฏิกิริยา เช่น การลุดติไฟ</li> </ul>
cis-1,2-dichloroethylene	น้ำใต้ดิน	<p><b>มนุษย์</b></p> <p><i>ผลกระทบในระยะสั้น</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ผิวหนังได้รับผลกระทบก่อให้เกิดการระคายเคืองและผื่นแดง</li> <li>เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร ท้องร่วง และอาจเสียชีวิตได้หากได้รับในปริมาณมาก</li> </ul> <p><i>ผลกระทบในระยะยาว</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และไต</li> </ul>
		<p><b>สัตว์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในสัตว์น้ำ</li> </ul>
		<p><b>สิ่งแวดล้อม (น้ำใต้ดิน)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ทำให้แหล่งน้ำเป็นพิษ</li> <li>เกิดการทำปฏิกิริยา เช่น การลุดติไฟ</li> </ul>
Trichloroethylene	น้ำใต้ดิน	<p><b>มนุษย์</b></p> <p><i>ผลกระทบในระยะสั้น</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ผิวหนังได้รับผลกระทบก่อให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง อักเสบและอาจเกิดภาวะภูมิแพ้จากการสัมผัสทางผิวหนัง</li> <li>เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหาร คลื่นไส้ ไอ ท้องร่วง ปวดท้อง และอาจหมดสติได้</li> </ul>

ตารางที่ 6-1 การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน (ต่อ)

แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง	ตัวกลางของการปนเปื้อน	ผู้รับความเสี่ยง
		<p style="text-align: center;"><i>ผลกระทบในระยะยาว</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เกิดการระคายเคืองต่อตาและเยื่อเมือก ผิวหนัง</li> <li>• เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร ตับ และไต</li> <li>• เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง</li> <li>• เป็นสารก่อมะเร็ง</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>สัตว์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ</li> <li>• เกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในสัตว์น้ำ</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>สิ่งแวดล้อม (น้ำใต้ดิน)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศในน้ำ</li> </ul>
1,1,2-trichloroethane	น้ำใต้ดิน	<p style="text-align: center;"><b>มนุษย์</b></p> <p style="text-align: center;"><i>ผลกระทบในระยะสั้น</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังทำให้ผิวหนังแห้ง หากได้รับในปริมาณมากๆ และเป็นระยะเวลานานอาจเกิดอันตรายต่อร่างกายได้</li> <li>• หากได้รับในปริมาณมากๆ จะส่งผลกระทบต่อ ปอด หัวใจ และเป็นอันตรายต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย</li> </ul> <p style="text-align: center;"><i>ผลกระทบในระยะยาว</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เกิดผลกระทบต่อตับ ไต ปอด และระบบโลหิต</li> <li>• เป็นสารก่อมะเร็ง</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>สัตว์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ</li> <li>• เกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในสัตว์น้ำ</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>สิ่งแวดล้อม (น้ำใต้ดิน)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• หากมีการสลายตัวจะเกิดเป็นก๊าซพิษ</li> </ul>

(ที่มา: <http://www.legalrightsfi.com/groundwater-contamination.html>)



### (1) ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ (economic impacts)

ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจจะพิจารณาปัจจัยทางเศรษฐกิจที่สำคัญต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของการจ้างงานในพื้นที่ รายได้ของประชาชน และแหล่งที่ดินทำกิน เป็นต้น ผลกระทบในด้านเศรษฐกิจนี้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้โดยการลงพื้นที่สอบถามประชาชนในบริเวณที่ได้รับผลกระทบของการปนเปื้อนของสารเคมี เช่น ข้อมูลการประกอบอาชีพ หรือรายได้ของประชาชนในพื้นที่เสี่ยง เป็นต้น

### (2) ผลกระทบทางด้านสังคม (social impacts)

การวิเคราะห์ผลกระทบด้านสังคมจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากผลกระทบที่มีต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยง อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดโครงสร้างประชากร ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและจิตใจของประชาชน หรือการเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตและจารีตประเพณี เป็นต้น

ข้อควรพิจารณาที่สำคัญประการหนึ่งคือผลกระทบทางด้านสังคมอาจจะมีผลสืบเนื่องให้เกิดผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจด้วย เช่น การเจ็บป่วยของประชาชนในพื้นที่ย่อมมีผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง อันเป็นผลให้รายได้และการจ้างงานลดลงไปด้วย โดยข้อมูลผลกระทบด้านสังคมสามารถประเมินได้จากการลงพื้นที่สอบถามประชาชนเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคน้ำ สุขภาพและอนามัย รวมถึงข้อมูลการรักษาพยาบาลของประชาชนในพื้นที่เสี่ยง เป็นต้น

### (3) ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (environmental impacts)

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้และการมีอยู่ของทรัพยากรทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งมีอิทธิพลต่อประชาชนในพื้นที่ โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินเป็นหลัก เช่น การสูญเสียแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น

การประเมินผลกระทบเบื้องต้นของความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นกับผู้รับความเสี่ยง อันได้แก่ มนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในแต่ละด้านของผลกระทบแสดงไว้ใน ตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปของความเสียหายจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

ผู้รับ ความเสียหาย	ผลกระทบของความเสียหาย			ด้านสิ่งแวดล้อม
	ด้านเศรษฐกิจ	ด้านสังคม		
มนุษย์	<ul style="list-style-type: none"> <li>การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยหรือเนืองจากประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลง</li> <li>เกิดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเนื่องเจ็บป่วย</li> <li>เกิดค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นเช่น ค่าใช้จ่ายในการควบคุมโรคและป้องกันสุขภาพ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การลดลงและการเปลี่ยนแปลงขนาดโครงสร้างประชากรเนื่องจากการอพยพย้ายถิ่นฐานหรือการเสียชีวิต</li> <li>ความตึงเครียดและปัญหาต่อสุขภาพจิต</li> </ul>		
สัตว์	<ul style="list-style-type: none"> <li>การสูญเสียรายได้เนื่องจากปริมาณสัตว์เศรษฐกิจลดลง</li> <li>การสูญเสียรายได้ในการค้าขายเนื่องจากความกังวลสารปนเปื้อนในสัตว์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตของประชาชนจากเกษตรกรรมเลี้ยงสัตว์ไปทำอาชีพอื่นๆ</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดความเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศวิทยาเนื่องจากปริมาณสัตว์ที่ลดลง</li> <li>ปัญหาน้ำเน่าเสียจากสัตว์น้ำที่ตาย</li> </ul>
พืช	<ul style="list-style-type: none"> <li>การสูญเสียรายได้เนื่องจากพืชผลทางการเกษตรมีผลผลิตลดลง</li> <li>การสูญเสียรายได้ในการค้าขายเนื่องจากความกังวลสารปนเปื้อนในพืชผลทางการเกษตร</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตของประชาชนจากเกษตรกรรมไปทำอาชีพอื่นๆ</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดความเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศวิทยาเนื่องจากปริมาณพืชที่ลดลง</li> </ul>

ตารางที่ 6-2 การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปของความเสียหายจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ผู้รับ ความเสียหาย	ผลกระทบของความเสียหาย		
	ด้านเศรษฐกิจ	ด้านสังคม	ด้านสิ่งแวดล้อม
สิ่งแวดล้อม อื่นๆ	<ul style="list-style-type: none"> <li>การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน ทำให้ไม่สามารถใช้ประกอบอาชีพได้</li> <li>การจ้างงานประชาชนในพื้นที่ลดลง</li> <li>ประชาชนสูญเสียรายได้จากการใช้ประโยชน์ที่ดิน</li> <li>ราคาที่ดินในบริเวณที่ได้รับการปนเปื้อนลดลง</li> <li>การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล</li> <li>ค่าใช้จ่ายในการหาแหล่งน้ำทดแทนซึ่งเพื่ออุปโภคและบริโภค</li> <li>การสูญเสียรายได้จากการท่องเที่ยว</li> </ul>		

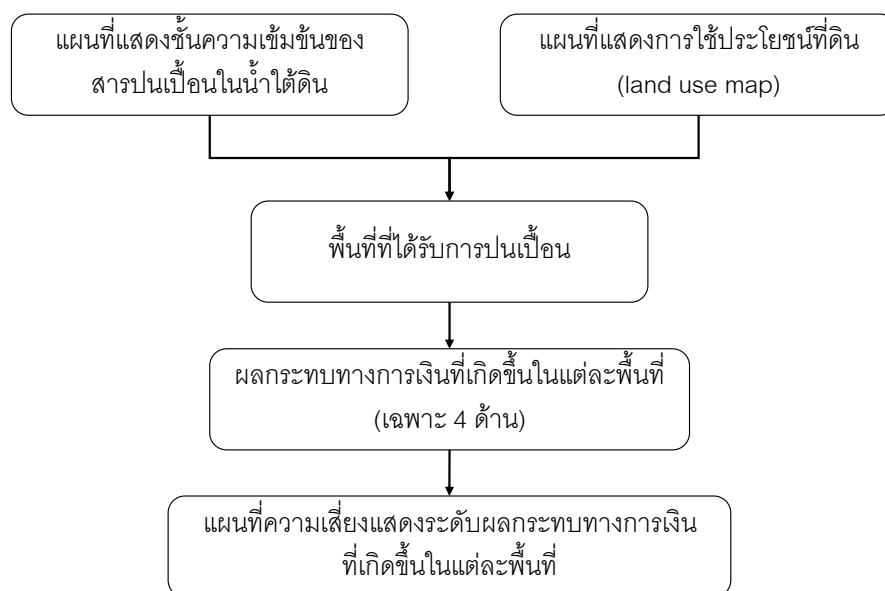
ที่มา: Environmental Resources Management Norloch House, 2001

### 6.2.3 การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษา

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าผลกระทบของความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินทั้ง 3 ด้านนั้นมีหลากหลาย ซึ่งบางผลกระทบสามารถที่จะประเมินเพื่อหามูลค่าทางการเงินได้และบางผลกระทบไม่สามารถที่จะประเมินได้ชัดเจนนัก ในโครงการศึกษาวิจัยนี้เราจะประเมินผลกระทบในประเด็นที่สำคัญและสามารถหามูลค่าทางการเงินได้ทั้งสิ้น 4 ด้าน อันได้แก่

- (1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้
- (2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน
- (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล
- (4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษาทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังแสดงใน **รูปที่ 6-8**



**รูปที่ 6-8** ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางการเงินในโครงการศึกษาวิจัย

## ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน

การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษาจะอาศัยแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน อันได้แก่ trichloroethene (TCE) Benzene และ tetrachloroethene (PCE) ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก ก และ ฐ ตามลำดับ เนื่องจากในบรรดาสารปนเปื้อนอินทรีย์ระเหยทั้ง 6 ชนิดที่มีปริมาณเกินกว่ามาตรฐานนั้น TCE Benzene และ PCE มีการกระจายตัวที่มีขอบเขตการปนเปื้อนครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษามากที่สุด นอกจากนั้นสารทั้ง 3 ชนิดยังครอบคลุมการกระจายตัวของสารปนเปื้อนชนิดอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นเราจึงใช้ขอบเขตการกระจายตัวของ TCE Benzene และ PCE ที่เกินกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินเป็นขอบเขตของการปนเปื้อนของสารเคมีทั้งหมดเพื่อประเมินผลกระทบ เมื่อพิจารณาแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของสารทั้ง 3 ชนิด จะพบว่าสาร Benzene มีการเคลื่อนที่ของสารที่เร็วกว่า TCE โดยในปีที่ 14 จะแพร่กระจายถึงบ่อน้ำประปาบาดาลซึ่งประชาชนหมู่ที่ 1 หมู่บ้านปางอโศกใช้อุปโภคและบริโภคอยู่ในปัจจุบัน

จากแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ณ ปีที่ 2 (ปัจจุบัน), 10, 20, 25 และ 50 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของสาร Benzene ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 และแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ PCE ณ ปีที่ 2 5 10 15 20 23 และ 50 ได้ถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็นตารางขนาด 500x500 เมตร (คิดเป็นพื้นที่ 250,000 ตารางเมตร หรือ 156.25 ไร่/ตาราง) เพื่อนำมาพิจารณาหาขอบเขตของการปนเปื้อน ณ ปีต่าง ๆ โดยทำการพิจารณาควบคู่กับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน (แสดงไว้ในภาคผนวก ข) เพื่อที่จะทราบปริมาณพื้นที่และประเภทของการใช้ประโยชน์ในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน

ผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ที่ได้รับการผลกระทบจากการปนเปื้อน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านปางอโศก ซึ่งมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 2,100 ไร่ พื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนประกอบด้วย พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ พืชผล ที่อยู่อาศัย พุ่มหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่อุตสาหกรรม โดยจำนวนของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 แสดงไว้ในตารางที่ 6-3

## ขั้นตอนที่ 2 การประเมินเพื่อหาผลกระทบทางการเงินที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่

เมื่อทราบขอบเขต ปริมาณ และประเภทของการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนแล้วจะทำการประเมินเพื่อหามูลค่าทางการเงินของผลกระทบทั้ง 4 ด้าน ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยผู้วิจัยได้กำหนดให้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจะไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้เลย การคำนวณผลกระทบนั้นได้จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value) โดยใช้อัตราลดค่า (discount rate) เท่ากับ 8 % ซึ่งเป็นค่าประมาณของอัตรา

ดอกเบี้ยเงินกู้ ณ เวลาที่ประเมิน ผลการประเมินเพื่อหาผลกระทบทางการเงินของผลกระทบทั้ง 4 ด้าน มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6-3 จำนวนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน

ปีที่	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน (ไร่)					รวม
	พืชไร่	พืชผล	ที่อยู่อาศัย	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	อุตสาหกรรม	
2	222.40	142.19	14.58	6.25	89.58	475.00
5	340.58	217.75	14.58	35.42	89.58	697.92
10	362.19	231.56	14.58	35.42	89.58	733.33
14	287.21	183.63	-	35.42	89.58	595.83
20	424.46	271.38	14.58	35.42	89.58	835.42
25	397.77	254.31	116.67	35.42	89.58	893.75
50	270.69	173.06	102.08	93.75	89.58	729.17

(1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้

จากแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ Benzene ภายในปีที่ 14 สารปนเปื้อนจะแพร่กระจายเข้าสู่บ่อน้ำประปาบาดาลซึ่งประชาชนในหมู่บ้านปางอโศกใช้สำหรับอุปโภคบริโภคอยู่ในปัจจุบัน หากประชาชนได้รับสารปนเปื้อนเหล่านี้เข้าไปในร่างกายโดยการอุปโภคและบริโภคน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนนั้นอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดอาการเจ็บป่วย อันเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการทำงานและรายได้จากการทำงานลดลงได้

การประเมินผลกระทบจากการสูญเสียรายได้ของประชาชนในกรณีที่ได้รับสารปนเปื้อนเข้าไปในร่างกายในการศึกษานี้ กำหนดให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณสารปนเปื้อนเกินกว่ามาตรฐานจะได้รับสารปนเปื้อนจนไม่สามารถประกอบอาชีพ โดยจากการสำรวจข้อมูลของประชาชนในพื้นที่ด้วยแบบสอบถามได้จำนวนร้อยละของการประกอบอาชีพและรายได้ของประชาชนในหมู่บ้านปางอโศกดังแสดงในตารางที่ 6-4

#### ตารางที่ 6-4 ข้อมูลการประกอบอาชีพและรายได้ของประชาชนในหมู่บ้านปางอโคก

อาชีพ	ร้อยละ	รายได้เฉลี่ย/คน/ปี (บาท)
เกษตรกร	27	223,700
ธุรกิจส่วนตัว	37	162,200
พนักงานเอกชน	2	180,000
รับจ้าง	24	137,500
รับราชการ	5	311,800
อื่นๆ	5	256,800
<b>รวม</b>	<b>100</b>	

จากข้อมูลในปี 2546 ประชากรในหมู่บ้านปางอโคกมีจำนวน 1,404 คน ซึ่งจากข้อมูลของคณะทำงานฉายภาพประชากร ของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล (2548) สามารถจำแนกจำนวนประชากรในวัยต่างๆ ออกได้ดังต่อไปนี้

ประชากรวัยเด็ก	23.00%
ประชากรวัยทำงาน	67.00%
ประชากรวัยชรา	10.00%

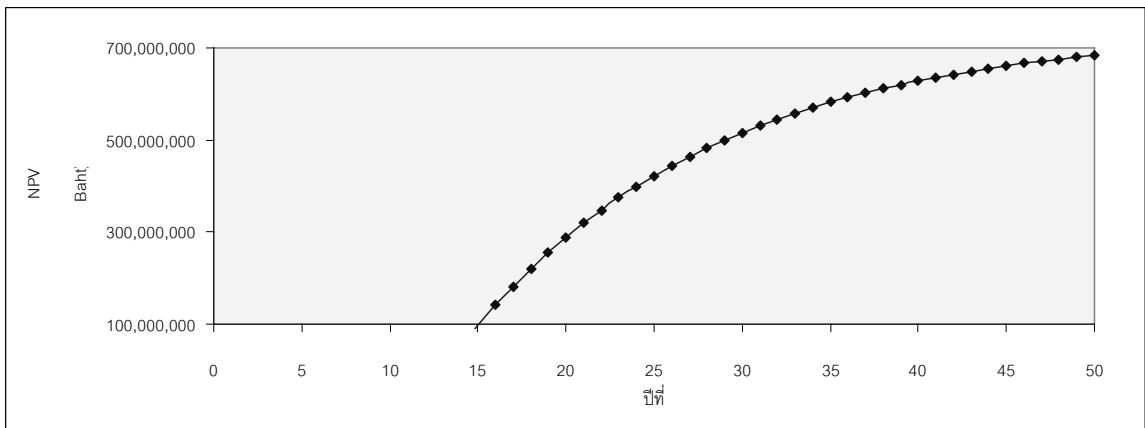
จากอัตราส่วนของประชากรในแต่ละวัยข้างต้น ประชากรในวัยทำงานของหมู่บ้านปางอโคกมีจำนวนประมาณ 941 คน และเมื่อนำข้อมูลการประกอบอาชีพ รายได้เฉลี่ยต่อปี และข้อมูลประชากรในหมู่บ้านมาพิจารณาพร้อมกับแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ผลกระทบอันเนื่องมาจากการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ตั้งแต่ปีที่ 14 จนถึงปีที่ 50 มีมูลค่าทั้งสิ้น 5,249,638,372 บาท (รายละเอียดของแต่ละปีแสดงไว้ในภาคผนวก ฅ) เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่าทั้งสิ้น 683,548,017 บาท โดยไม่ได้คิดการสูญเสียรายได้จากการประกอบอาชีพเกษตรกรเนื่องจากเป็นส่วนที่จะคิดผลกระทบในหัวข้อต่อไป คือ การสูญเสียรายได้จากการประกอบอาชีพเกษตรกรเนื่องจากการลดลงของที่ดินทำกิน

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบในแต่ละปีแสดงไว้ในตารางที่ 6-5 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ฅ) และเมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมจะแสดงได้ดังรูปที่ 6-9

ตารางที่ 6-5 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
1	-	21	30,719,421	41	7,428,439
2	-	22	28,614,572	42	6,919,453
3	-	23	26,653,944	43	6,445,342
4	-	24	24,827,655	44	6,003,717
5	-	25	23,126,501	45	5,592,351
6	-	26	21,541,907	46	5,209,172
7	-	27	20,065,888	47	4,852,247
8	-	28	18,691,003	48	4,519,778
9	-	29	17,410,323	49	4,210,090
10	-	30	16,217,394	50	3,921,620
11	-	31	15,106,202	<b>683,548,018</b>	
12	-	32	14,071,147		
13	-	33	13,107,013		
14	50,488,614	34	12,208,940		
15	47,029,209	35	11,372,401		
16	43,806,838	36	10,593,181		
17	40,805,258	37	9,867,352		
18	38,009,342	38	9,191,256		
19	35,404,998	39	8,561,485		
20	32,979,100	40	7,974,864		





รูปที่ 6-9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย

(2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน

จากรายละเอียดของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนซึ่งแสดงในตารางที่ 6-3 พื้นที่ที่พิจารณาในการประเมินผลกระทบในส่วนนี้ คือ พื้นที่เพาะปลูกทำการเกษตร อันได้แก่ พืชไร่และพืชผล รวมถึงพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ การประเมินผลกระทบดังกล่าวได้จากการประเมินความเสียหายของพืชไร่และพืชผลที่ประชาชนเพาะปลูกในหมู่บ้านปางอโศก ได้แก่ ข้าวโพดและองุ่น และความเสียหายต่อการเลี้ยงสัตว์ อันได้แก่ การทำฟาร์มเลี้ยงไก่ ความเสียหายเหล่านี้ประมาณจากรายได้เฉลี่ยจากการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ซึ่งได้มาจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่ ดังมีรายละเอียดดังนี้

รายได้จากการเพาะปลูกพืชไร่ (ข้าวโพด)	6,000 บาท/ไร่/ปี
รายได้จากการเพาะปลูกพืชผล (องุ่น)	60,000 บาท/ไร่/ปี
รายได้จากการเลี้ยงสัตว์ (ไก่)	16,000 บาท/ไร่/ปี

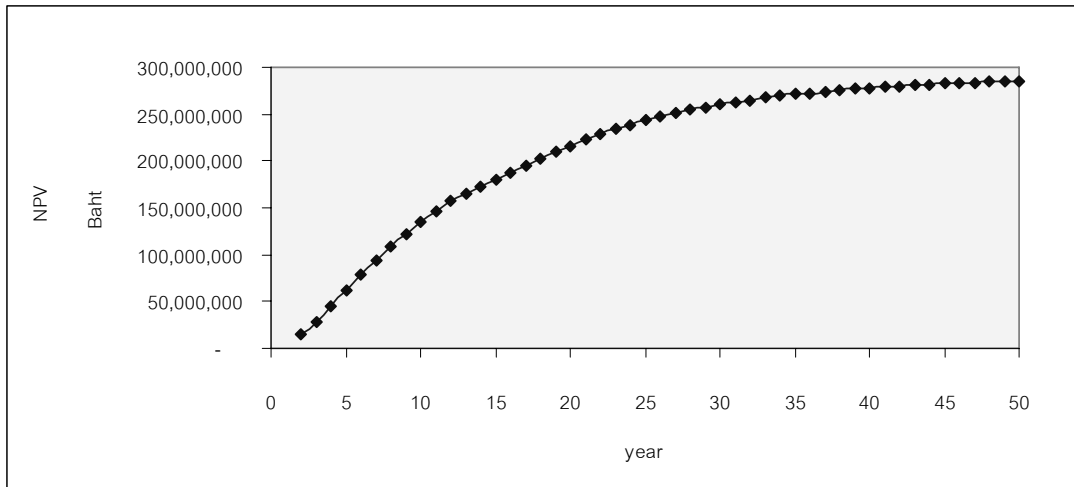
ในการประเมินผลกระทบอันเนื่องมาจากการที่ดินทำกินได้รับการปนเปื้อนนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้พื้นที่บริเวณที่ได้รับการปนเปื้อนไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรหรือการเลี้ยงสัตว์ได้อีกต่อไป โดยการที่ดินทำกินไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้ย่อมส่งผลกระทบต่อรายได้ของประชาชน ดังนั้นผลกระทบอันเนื่องมาจากการลดลงของที่ดินทำกินจึงอาจหมายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับประชาชนเนื่องจากสูญเสียรายได้จากการประกอบอาชีพนั่นเอง

ผลจากการประเมินผลกระทบอันเนื่องมาจากการที่ดินทำกินลดลงตั้งแต่ปีที่ 2 จนถึงปีที่ 50 มูลค่าความเสียหายหรือการสูญเสียรายได้ของประชาชนมีทั้งสิ้น 1,102,109,660 บาท

(รายละเอียดของแต่ละปีแสดงไว้ในภาคผนวก ฅ) เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่าทั้งสิ้น 285,311,440 บาท โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบในแต่ละปีแสดงไว้ในตารางที่ 6-6 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ฅ) และเมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมจะแสดงได้ดังรูปที่ 6-10

ตารางที่ 6-6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
1	-	21	6,330,765	41	1,062,083
2	14,296,875	22	5,788,718	42	970,192
3	14,564,891	23	5,292,237	43	886,086
4	15,775,474	24	4,837,546	44	809,117
5	17,708,941	25	4,421,178	45	738,689
6	16,599,908	26	4,048,398	46	674,256
7	15,558,007	27	3,706,585	47	615,314
8	14,579,378	28	3,393,198	48	561,406
9	13,660,365	29	3,105,900	49	512,107
10	12,797,506	30	2,842,547	50	467,032
11	11,250,948	31	2,601,167	<b>285,311,440</b>	
12	9,863,290	32	2,379,950		
13	8,619,477	33	2,177,233		
14	7,505,814	34	1,991,490		
15	7,486,758	35	1,821,318		
16	7,429,342	36	1,665,429		
17	7,339,352	37	1,522,642		
18	7,221,929	38	1,391,870		
19	7,081,632	39	1,272,117		
20	6,922,492	40	1,162,468		



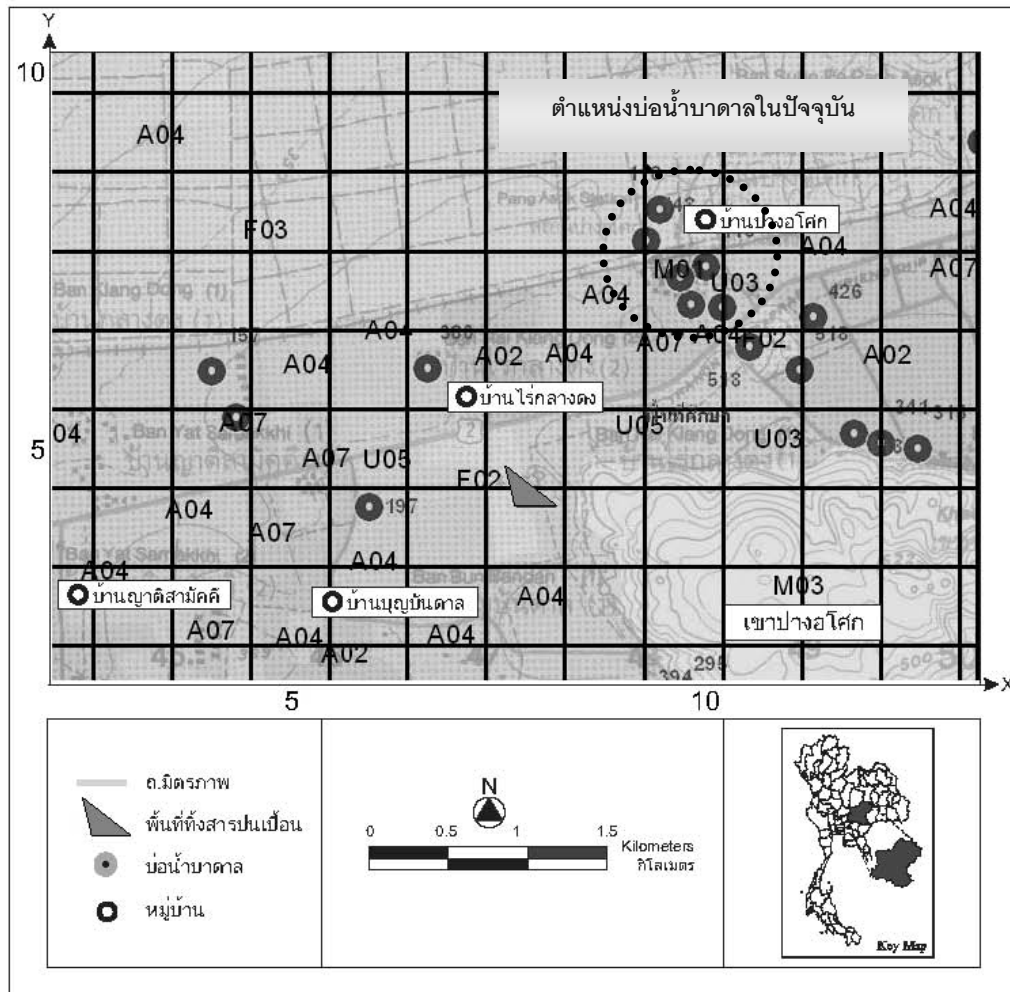
รูปที่ 6-10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน

### (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

ในปัจจุบันแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคของประชาชนในหมู่บ้านปางอโศกซึ่งมีจำนวนประมาณ 500 ครัวเรือน คือ น้ำประปาบาดาล โดยอยู่ภายใต้การดำเนินการขององค์การบริหารส่วนตำบล โดยข้อมูลเกี่ยวกับประปาบาดาลของมีดังต่อไปนี้

น้ำประปาบาดาลมีจำนวน	6 บ่อ
ราคาจำหน่ายลูกบาศก์เมตรละ	5 บาท
ปริมาณการใช้น้ำของประชาชน	6,000 ลูกบาศก์เมตร/เดือน
รายได้จากการจำหน่ายน้ำประปาบาดาล	30,000 บาท/เดือน

บ่อน้ำประปาบาดาลของหมู่บ้านปางอโศกตั้งอยู่ในกริดที่ (9, 8) (10, 7) (10, 8) และ (11, 7) ใน รูปที่ 6-11 จากแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ Benzene สารปนเปื้อนจะแพร่กระจายเข้าถึงบ่อน้ำประปาบาดาลในกริดที่ (10, 7) ในปีที 14 ซึ่งจะส่งผลให้น้ำบาดาลในบ่ออื่น ๆ ได้รับการปนเปื้อนไปด้วยและจะไม่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำประปาบาดาลเพื่อจำหน่ายให้ประชาชนอุปโภคและบริโภคได้ อันเป็นผลให้องค์การบริหารส่วนตำบลต้องสูญเสียรายได้



รูปที่ 6-11 ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลที่ใช้ผลิตน้ำประปาบาดาลในปัจจุบัน

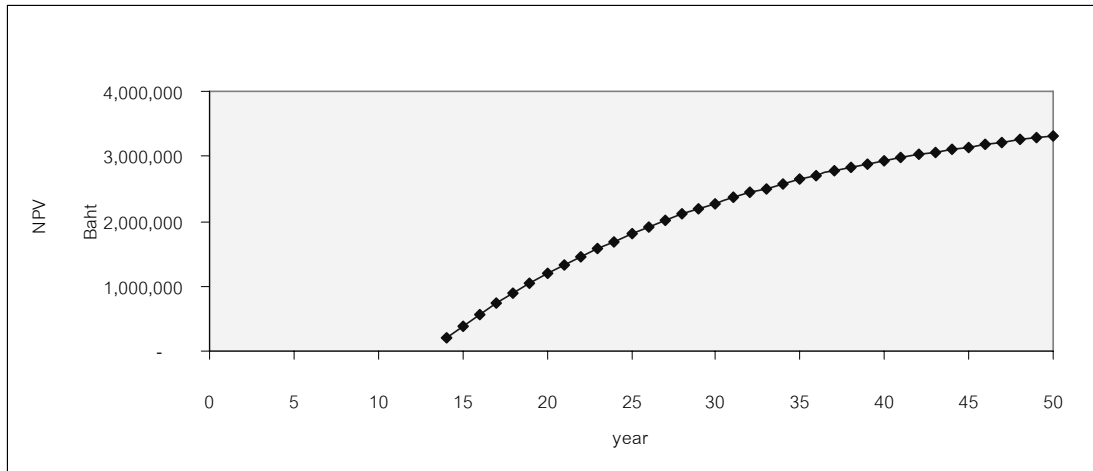
การประเมินผลกระทบจากการสูญเสียรายได้จากการนำน้ำบาดาลไปจำหน่ายจะประเมินโดยใช้สมมติฐานที่ว่าปริมาณการใช้น้ำของประชาชนจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 ต่อปี ซึ่งในปัจจุบันปริมาณการใช้น้ำประปาบาดาลของประชาชนในหมู่บ้านปางอโศก คือ 72,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือรายได้จากการจำหน่ายน้ำประปาบาดาล คือ 360,000 บาทต่อปี

จากการประเมินผลกระทบจากการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาลอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนเมื่อคิดในระยะเวลา 50 ปี มูลค่าผลกระทบ คือ 29,643,807 บาท (รายละเอียดของแต่ละปีแสดงไว้ในภาคผนวก ก) และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 3,310,311 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบในแต่ละปีแสดงไว้ในตารางที่ 6-7 (รายละเอียดแสดงไว้ใน

ภาคผนวก ฅ) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล  
แสดงใน รูปที่ 6-12

ตารางที่ 6-7 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
1	-	21	136,687	41	48,054
2	-	22	129,726	42	45,606
3	-	23	123,120	43	43,284
4	-	24	116,850	44	41,080
5	-	25	110,899	45	38,988
6	-	26	105,251	46	37,002
7	-	27	99,891	47	35,118
8	-	28	94,804	48	33,329
9	-	29	89,976	49	31,632
10	-	30	85,394	50	30,021
11	-	31	81,045	3,310,311	
12	-	32	76,918		
13	-	33	73,001		
14	197,073	34	69,283		
15	187,037	35	65,755		
16	177,512	36	62,406		
17	168,472	37	59,228		
18	159,892	38	56,212		
19	151,749	39	53,349		
20	144,021	40	50,632		



รูปที่ 6-12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

#### (4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่มีสารปนเปื้อน น้ำประปาบาดาลที่ประชาชนในหมู่บ้านปางอโศกใช้อุปโภคและบริโภคอยู่ในปัจจุบันจะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนและไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้ในราวปีที่ 14 ซึ่งเป็นผลให้ประชาชนจะต้องประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งน้ำทดแทน แนวทางที่พิจารณาในโครงการศึกษาวิจัยนี้ คือ การบำบัดแหล่งน้ำบาดาลใหม่เพื่อดำเนินระบบประปาบาดาลหมู่บ้านได้ต่อไป

ต้นทุนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำ ได้พิจารณาระบบบำบัดน้ำสำหรับประปาหมู่บ้านแบบที่เหมาะสมกับหมู่บ้านปางอโศก คือ ระบบบำบัดสำหรับระบบประปาหมู่บ้านแบบบาดาลขนาดใหญ่มาก ซึ่งสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้น้ำได้ 301-700 คริวเรือน ต้นทุนค่าก่อสร้างของระบบบำบัด แสดงไว้ในตารางที่ 6-8 ซึ่งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทั้งสิ้น คือ 3,500,000 บาท ประกอบด้วย โดยทำการก่อสร้างเพิ่มบริเวณข้างเคียงกับระบบผลิตน้ำประปาที่มีอยู่ในพื้นที่สำหรับจ่ายน้ำ 500 คริวเรือน นอกจากนี้ยังมีค่าดูแลบำรุงรักษาระบบประมาณ 300,000 บาทต่อปี ดังนั้นเมื่อคิดรวมค่าใช้จ่ายของโครงการทั้งหมดจนถึงปีที่ 50 โดยก่อสร้างระบบประปาในปีที่ 14 จะมีค่าก่อสร้างและบำรุงรักษา 14,300,000 บาท และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 2,785,815 บาท

## ตารางที่ 6-8 ระบบบำบัดน้ำบาดาลสำหรับประปาหมู่บ้านแบบบาดาลขนาดใหญ่

ลำดับที่	รายการสิ่งก่อสร้าง	จำนวน	หน่วย	ราคา โดยประมาณ (บาท)
1	โรงสูบน้ำ	3.00	โรง	300,000
2	ระบบกรองน้ำบาดาลด้วย GAC 20 ลบ.ม./ชม. ตอนล่างเป็นถังน้ำใสขนาด 100 ลบ.ม. (ตอกเสาเข็ม)	6.00	ชุด	3,000,000
5	เครื่องสูบน้ำดีพร้อมอุปกรณ์ควบคุม	2.00	ชุด	100,000
6	ระบบจ่ายน้ำยาคลอรีนฆ่าเชื้อโรค	1.00	ชุด	20,000
รวมราคาทั้งโครงการ				3,500,000

จากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาที่มีมูลค่าสูง องค์การบริหารส่วนตำบลซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการระบบประปาของหมู่บ้านอาจมีความจำเป็นที่จะต้องปรับราคาจำหน่ายน้ำประปาบาดาลเพื่อให้สามารถชดเชยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในปัจจุบันราคาจำหน่ายน้ำประปาบาดาล คือ 5 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จากการประมาณหากปรับราคาจำหน่ายเป็น 7.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ก็จะสามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้ ในกรณีนี้ประชาชนผู้ซื้อน้ำดังกล่าวอาจจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล คือ ผลกระทบต่อประชาชนที่จะต้องมียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย

การประเมินผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อนจะกำหนดให้ปริมาณการใช้น้ำของประชาชนเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 ต่อปี ซึ่งในปัจจุบันปริมาณการใช้น้ำประปาบาดาลของประชาชนในหมู่บ้านปางอโคก คือ 72,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี เช่นเดียวกับการประเมินการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล โดยผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลอันเนื่องมาจากแหล่งน้ำเดิมได้รับการปนเปื้อนในปีที่ 14 แล้ว จำเป็นต้องสร้างระบบบำบัดขึ้นมาใหม่ เมื่อคิดในระยะเวลา 50 ปี มูลค่าค่าใช้จ่ายที่ประชาชนจะต้องจ่ายค่าน้ำประปาบาดาลเพิ่มมากขึ้น คือ 14,821,903 บาท (ราคาจำหน่ายน้ำประปาบาดาลเพิ่มขึ้นจาก 5 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 7.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) โดยรายละเอียดของแต่ละปีแสดงไว้ในภาคผนวก ค และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 1,655,156 บาท โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีแสดงในตารางที่ 6-9 (รายละเอียด

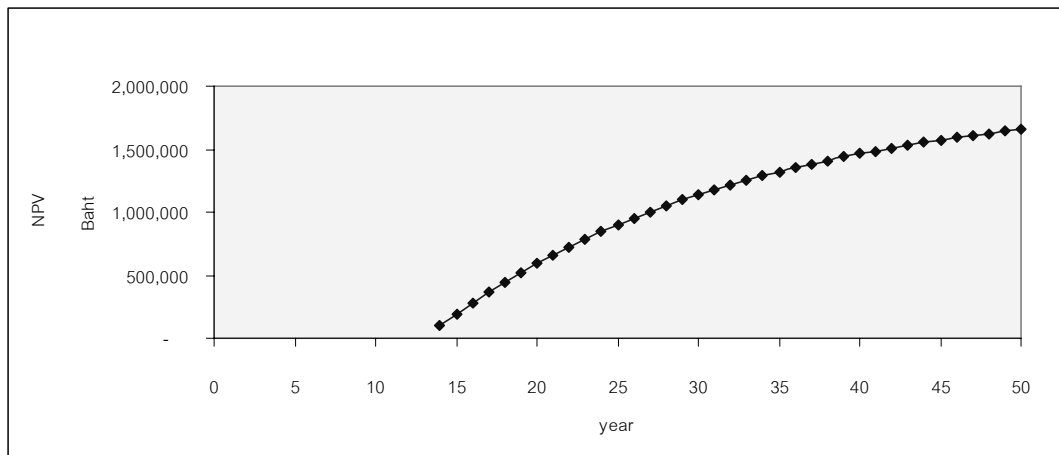
แสดงไว้ในภาคผนวก ก) และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นในการซื้อน้ำ เพื่ออุปโภคและบริโภคแสดงใน รูปที่ 6-13

เมื่อนำผลกระทบทั้ง 4 ด้านมารวมกัน อันได้แก่ (1) การสูญเสียรายได้ของประชาชน เนื่องจากเจ็บป่วย (2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน (การสูญเสียรายได้ของในการประกอบอาชีพ) (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล และ (4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน (ค่าใช้จ่ายของประชาชนที่เพิ่มมากขึ้นในการซื้อน้ำ) มูลค่าทางการเงินของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน คือ 6,396,213,741 บาท (รายละเอียดของแต่ละปีแสดงไว้ในภาคผนวก ค) และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 973,824,925 บาท โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบที่เกิดขึ้นรวมทั้ง 4 ด้านในแต่ละปีแสดงไว้ในตารางที่ 6-10 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค) และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลกระทบที่เกิดขึ้นรวมทั้ง 4 ด้านแสดงในรูปที่ 6-14



ตารางที่ 6-9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับ  
การปนเปื้อน

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
1	-	21	68,344	41	24,027
2	-	22	64,863	42	22,803
3	-	23	61,560	43	21,642
4	-	24	58,425	44	20,540
5	-	25	55,450	45	19,494
6	-	26	52,626	46	18,501
7	-	27	49,946	47	17,559
8	-	28	47,402	48	16,665
9	-	29	44,988	49	15,816
10	-	30	42,697	50	15,011
11	-	31	40,523	<u><u>1,655,156</u></u>	
12	-	32	38,459		
13	-	33	36,501		
14	98,537	34	34,642		
15	93,519	35	32,878		
16	88,756	36	31,203		
17	84,236	37	29,614		
18	79,946	38	28,106		
19	75,875	39	26,675		
20	72,011	40	25,316		

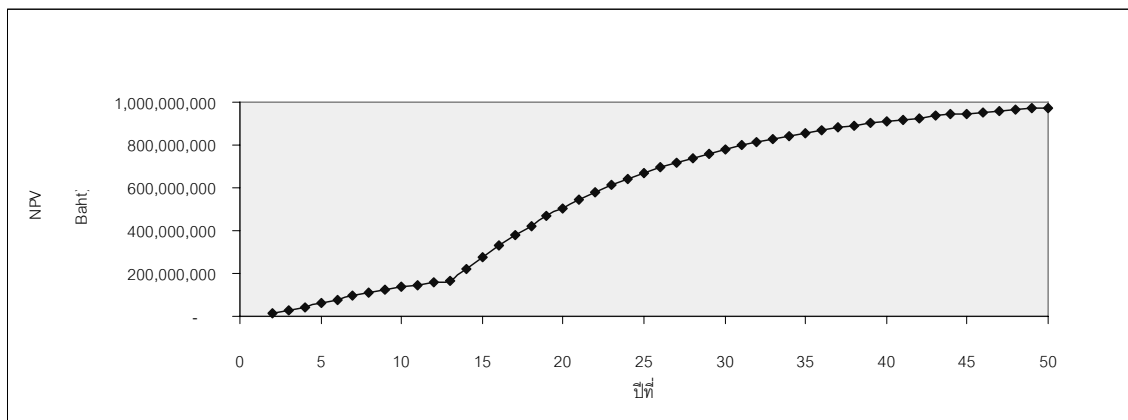


รูปที่ 6-13 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

ตารางที่ 6-10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
1	-	21	37,255,218	41	8,562,603
2	14,296,875	22	34,597,880	42	7,958,055
3	14,564,892	23	32,130,861	43	7,396,355
4	15,775,475	24	29,840,477	44	6,874,455
5	17,708,942	25	27,714,029	45	6,389,523
6	16,599,908	26	25,748,183	46	5,938,931
7	15,558,007	27	23,922,311	47	5,520,239
8	14,579,379	28	22,226,408	48	5,131,179
9	13,660,366	29	20,651,189	49	4,769,646
10	12,797,507	30	19,188,032	50	4,433,685
11	11,250,948	31	17,828,938	<u>973,824,925</u>	
12	9,863,290	32	16,566,475		
13	8,619,478	33	15,393,749		
14	58,290,038	34	14,304,356		

ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)	ปีที่	NPV (บาท)
15	54,796,524	35	13,292,353		
16	51,502,448	36	12,352,221		
17	48,397,318	37	11,478,837		
18	45,471,111	38	10,667,444		
19	42,714,255	39	9,913,626		
20	40,117,626	40	9,213,282		



รูปที่ 6-14 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

### ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแผนที่ความเสี่ยง

ภายหลังจากการประเมินผลกระทบทางการเงินของความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินทั้ง 4 ด้าน จะทำให้ทราบมูลค่าทางการเงินของผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ ผลการประเมินที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ความเสี่ยง (risk map) เพื่อแสดงระดับของผลกระทบทางการเงินในแต่ละพื้นที่ โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะแสดงแผนที่ความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50







แผนที่ความเสี่ยงสร้างขึ้นมาจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้แบ่งพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนออกเป็นกริดขนาด 500x500 เมตร โดยพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนตั้งแต่ปีที่ 2 จนถึงปีที่ 50 มีทั้งสิ้น 15 กริด มูลค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงินของผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกริดแสดงไว้ในตารางที่ 6-11

ตารางที่ 6-11 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี

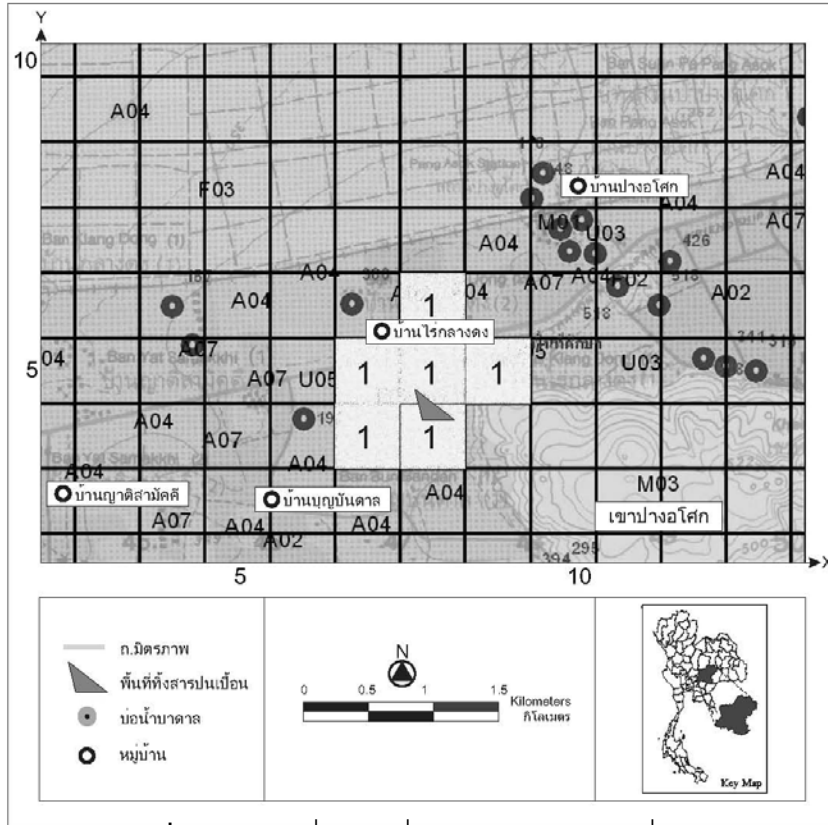
ปีที่ ของที่ (x, y)	2	5	10	14	20	25	50
(6,6)	-	-	-	-	3,984,894	5,695,585	5,695,585
(7,4)	1,054,625	3,772,496	7,115,174	7,868,181	8,925,398	9,979,149	11,188,993
(7,5)	3,731,750	13,348,832	25,176,770	27,841,255	31,582,176	35,310,836	39,591,822
(7,6)	-	7,197,716	20,825,558	28,519,475	36,412,766	40,708,830	45,641,270
(8,4)	973,500	3,482,304	6,567,853	8,309,872	10,097,032	11,069,726	12,839,624
(8,5)	2,677,125	9,576,336	18,061,596	22,852,148	27,766,838	30,441,746	35,308,967
(8,6)	4,299,625	15,380,176	29,008,017	36,701,934	44,595,225	48,891,289	56,708,341
(9,5)	1,560,250	5,581,166	10,526,443	13,318,416	16,182,737	17,741,695	20,578,350
(9,6)	-	4,007,159	15,771,443	22,413,244	29,227,155	32,935,748	39,683,846
(9,7)	-	-	2,488,496	4,956,356	7,488,167	8,866,149	11,373,506
(9,8)	-	-	-	49,268	296,440	450,760	827,578
(10,6)	-	-	-	-	-	-	1,279,291
(10,7)	-	-	-	5,107,983	29,208,064	42,925,895	69,928,807
(10,8)	-	-	-	49,268	296,440	450,760	827,578
(11,7)	-	-	-	45,577,704	260,501,055	382,634,681	622,351,366
<b>รวม</b>	<b>14,296,875</b>	<b>62,346,184</b>	<b>135,541,350</b>	<b>223,565,105</b>	<b>506,564,387</b>	<b>668,102,851</b>	<b>973,824,925</b>

มูลค่าทางการเงินของผลกระทบนี้จะถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 เพื่อแสดงระดับของผลกระทบทางการเงินที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาตอบสนองของความเสี่ยงให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ความเสี่ยงต่อไป

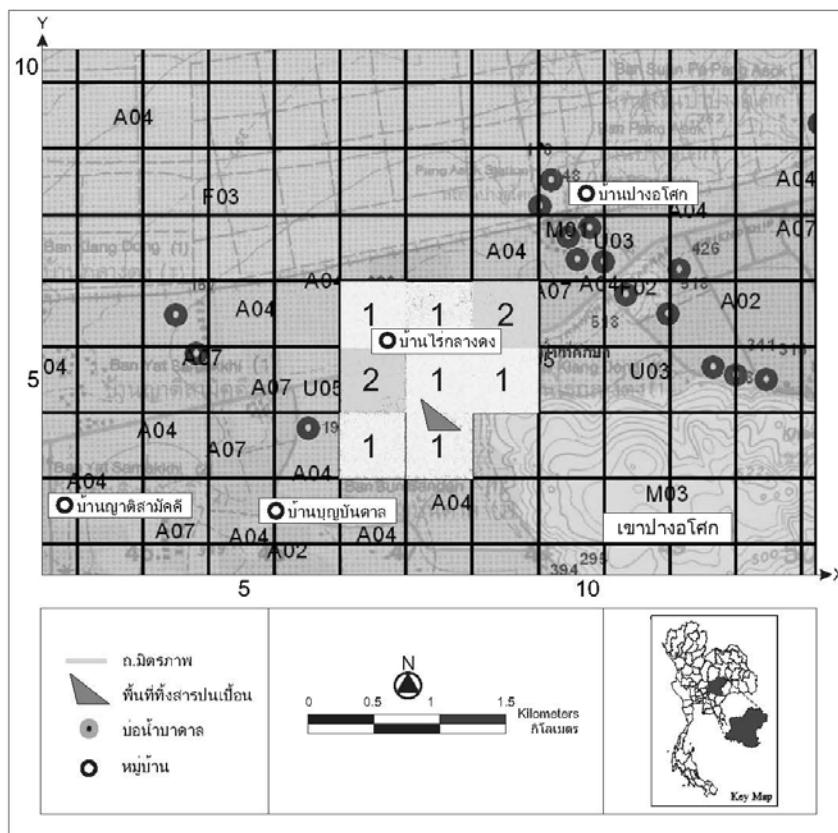
ในการศึกษาี้ ความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่แบ่งออกได้เป็น 6 ระดับ (ระดับที่ 1-6) โดย

	ระดับที่ 1	มูลค่าความเสียหาย NPV <10,000,001 บาท
	ระดับที่ 2	มูลค่าความเสียหาย NPV 10,000,001-20,000,000 บาท
	ระดับที่ 3	มูลค่าความเสียหาย NPV 20,000,0001-30,000,000 บาท
	ระดับที่ 4	มูลค่าความเสียหาย NPV 30,000,0001-40,000,000 บาท
	ระดับที่ 5	มูลค่าความเสียหาย NPV 40,000,0001-50,000,000 บาท
	ระดับที่ 6	มูลค่าความเสียหาย NPV >50,000,001 บาท

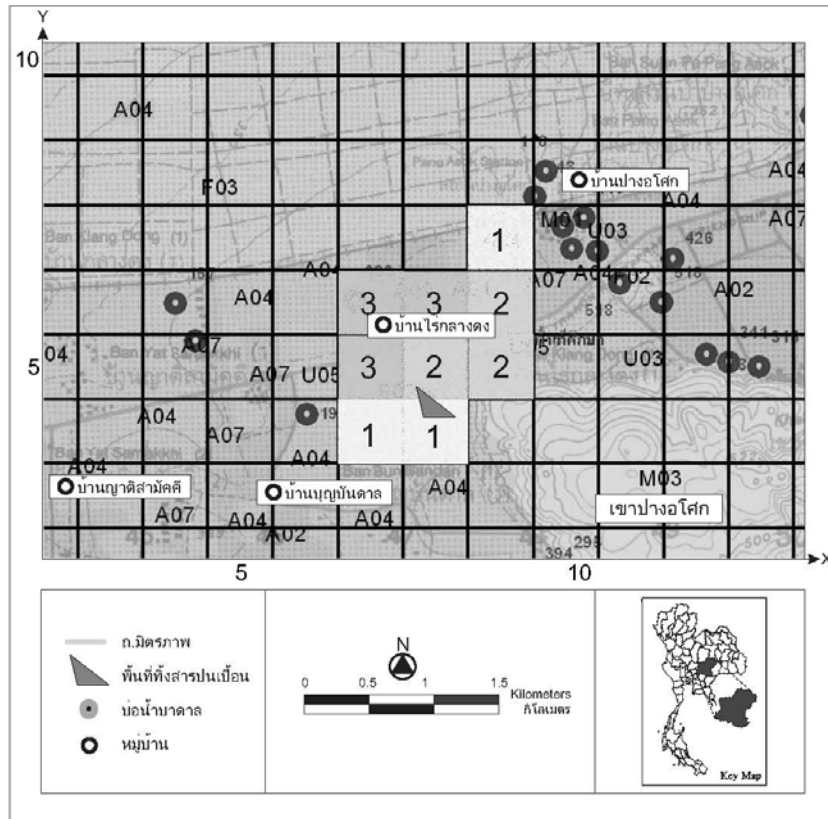
จากมูลค่าทางการเงินของผลกระทบทั้ง 4 ด้านที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี (ตารางที่ 6-9) และช่วงแสดงระดับผลกระทบของความเสี่ยง เมื่อนำมาสร้างเป็นแผนที่ของความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 ได้ดังรูปที่ 6-15 ถึง รูปที่ 6-21



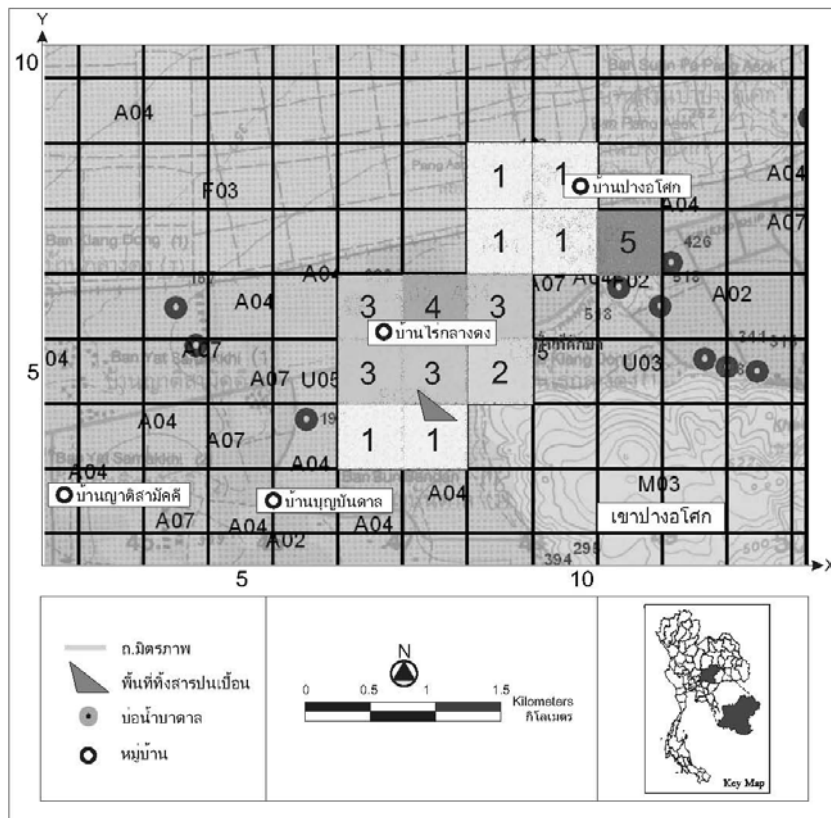
รูปที่ 6-15 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 2



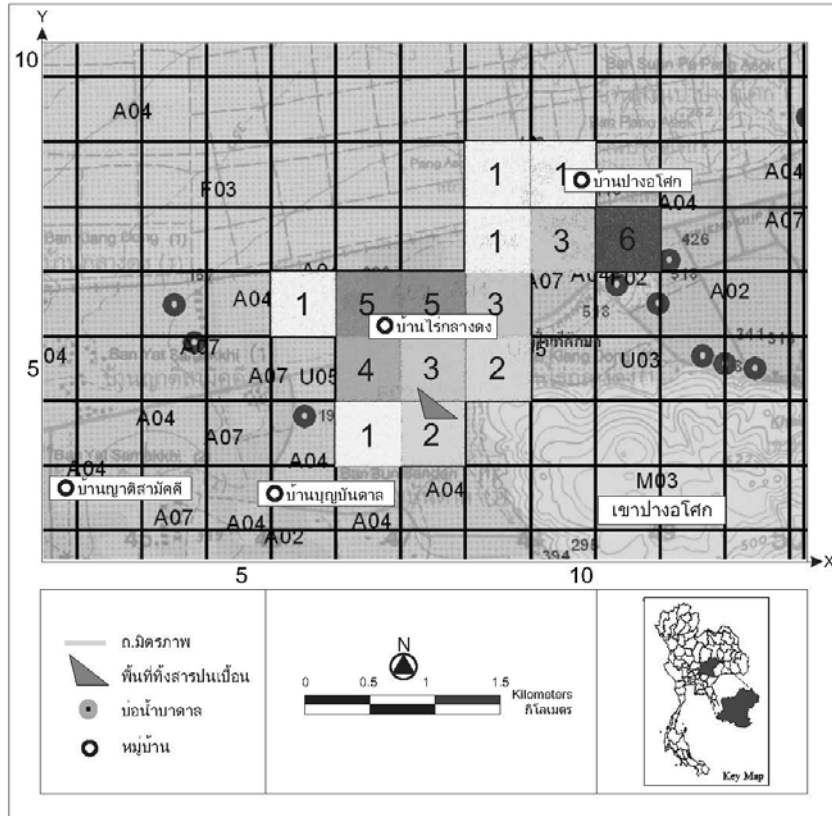
รูปที่ 6-16 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 5



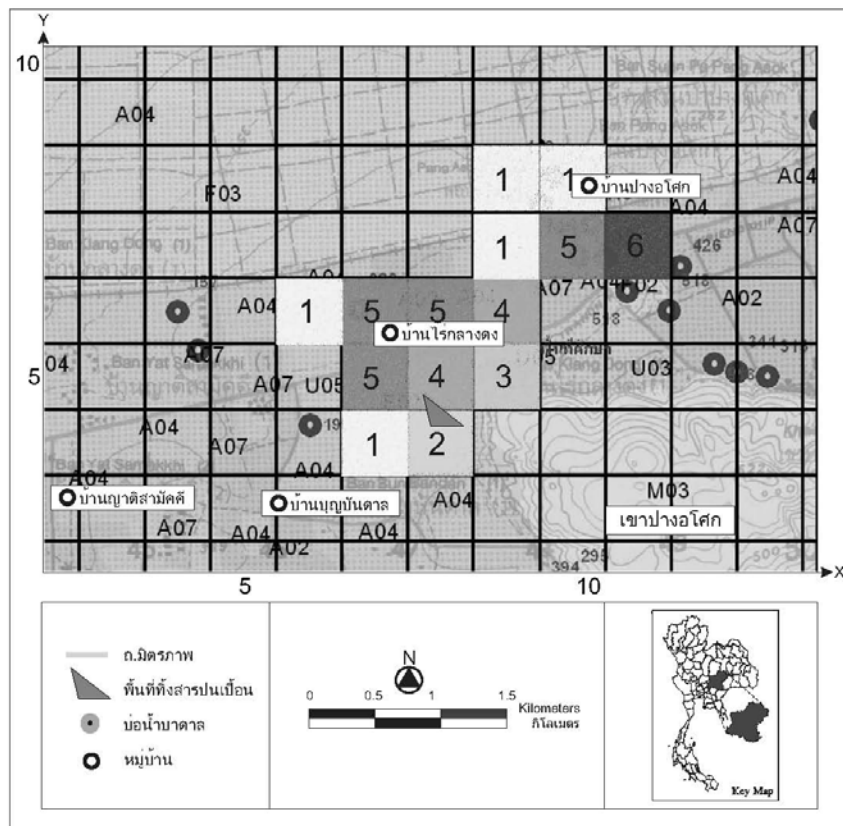
รูปที่ 6-17 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 10



รูปที่ 6-18 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 14

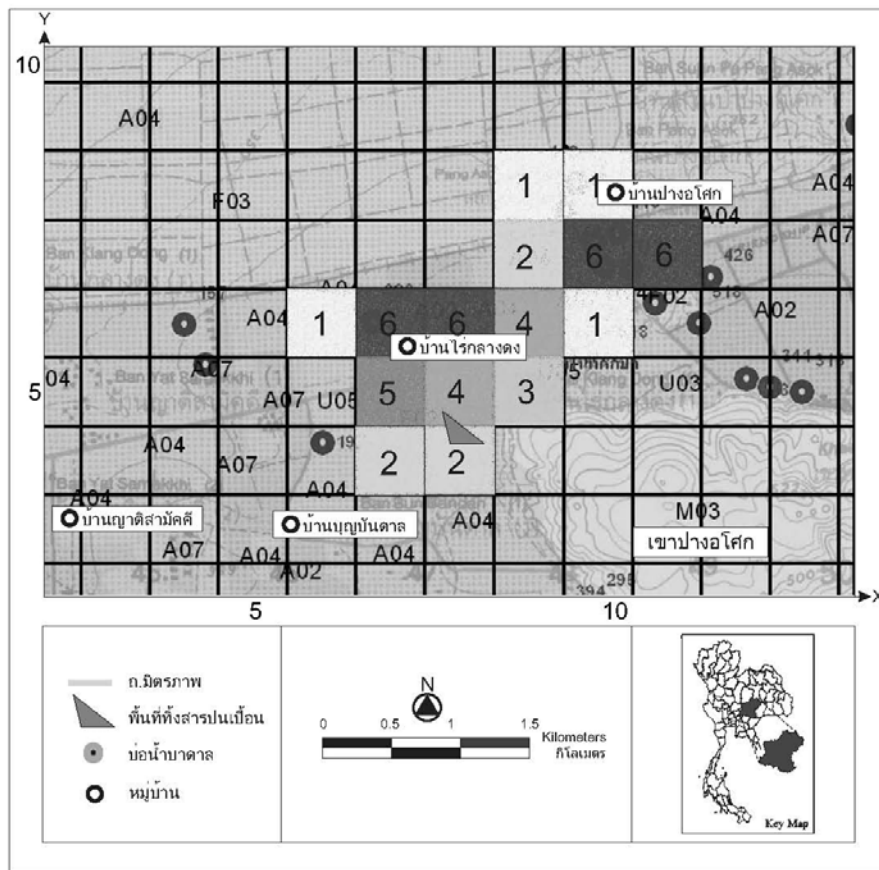


รูปที่ 6-19 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 20



รูปที่ 6-20 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 25





รูปที่ 6-21 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 50

จากแผนที่ของความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของความเสียหายมีขนาดเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปีตามการเคลื่อนตัวของสารและมีระดับความรุนแรงที่เพิ่มมากขึ้น โดย

ในปีที่ 2 พื้นที่ของความเสี่ยงที่ได้รับการปนเปื้อนทั้งหมดอยู่ในระดับที่ 1 คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายต่ำกว่า 5,000,001 บาท

ในปีที่ 5 พื้นที่ของความเสี่ยงที่ได้รับการปนเปื้อน ประกอบด้วย พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1 และ 2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 15,380,176 บาท

ในปีที่ 10 พื้นที่ของความเสี่ยงที่ได้รับการปนเปื้อน ประกอบด้วย พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-3 โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 29,008,017 บาท

ในปีที่ 14 ซึ่งเป็นปีที่บริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำประปาบาดาลที่ประชาชนใช้อุปโภคและบริโภคได้รับการปนเปื้อน จึงเป็นผลให้ในปีนั้นมูลค่าของผลกระทบเพิ่มสูงขึ้นกว่าปีที่ 2, 5 และ 10 ค่อนข้างมาก โดยพื้นที่ของความเสี่ยงที่ได้รับการปนเปื้อน ประกอบด้วย พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-5 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 45,577,704 บาท (กริด 1,7)

ในปีที่ 20 และ 25 แผนที่ความเสี่ยงมีลักษณะคล้ายกันแต่แตกต่างกันที่ระดับของความเสียหายในแต่ละพื้นที่ที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา พื้นที่ของความเสียหายที่ได้รับการปนเปื้อนประกอบด้วย พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-6 โดยในปีที่ 20 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 260,501,055 (กริด 11,7) บาท ส่วนในปี 25 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 382,634,681 บาท (กริด 11,7) ในปีที่ 50 พื้นที่ของความเสียหายที่ได้รับการปนเปื้อนยังคงประกอบด้วย พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-6 โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุด คือ 622,351,366 บาท (กริด 11,7)

พื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนที่มีระดับความเสี่ยง 5 และ 6 คือ กริดที่ (7, 6) และ (8, 6) ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดที่ทิ้งสารพิษจึงได้รับการปนเปื้อนตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ โดยพื้นที่บริเวณนี้ในปัจจุบันใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชไร่และพืชผลซึ่งทำรายได้ให้กับประชาชนในมูลค่าที่สูง และอีกบริเวณที่มีระดับความเสี่ยง 5 และ 6 คือ กริดที่ (10,7) และ (11,7) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยและตำแหน่งบ่อน้ำประปาบาดาลสำหรับอุปโภคและบริโภคของประชาชนในหมู่บ้าน

ทั้งนี้การประเมินผลกระทบของความเสียหายจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่นำเสนอนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของผลกระทบที่สามารถประเมินเพื่อหามูลค่าทางการเงินได้เท่านั้น แต่ยังมีความเสี่ยงอื่นๆ ที่ไม่สามารถเป็นมูลค่าทางการเงินได้โดยเฉพาะความเสียหายในเชิงสุขภาพ เช่น ความตึงเครียดและปัญหาต่อสุขภาพจิต หรือเสียชีวิตของประชาชน ซึ่งเป็นผลกระทบที่ร้ายแรงอันไม่สามารถประเมินมูลค่าได้ ซึ่งผลกระทบด้านสุขภาพนี้มีแนวโน้มเกิดในบริเวณหมู่บ้านปางอโศก ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะตามมาจากความเสียหายนี้ควรมีการวางแผนและหาแนวทางการตอบสนองกับความเสียหาย

#### 6.2.4 การตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

จากขั้นตอนการตอบสนองความเสี่ยงซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา การพัฒนาแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยง และกระบวนการคัดเลือกแนวทางเลือก ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ขั้นตอนเหล่านี้ในการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## (1) วัตถุประสงค์ของการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

สำหรับโครงการศึกษาวิจัยนี้วัตถุประสงค์ของการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน คือ พยายามหาแนวทางที่สามารถลดความเสี่ยงได้มากที่สุดด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้

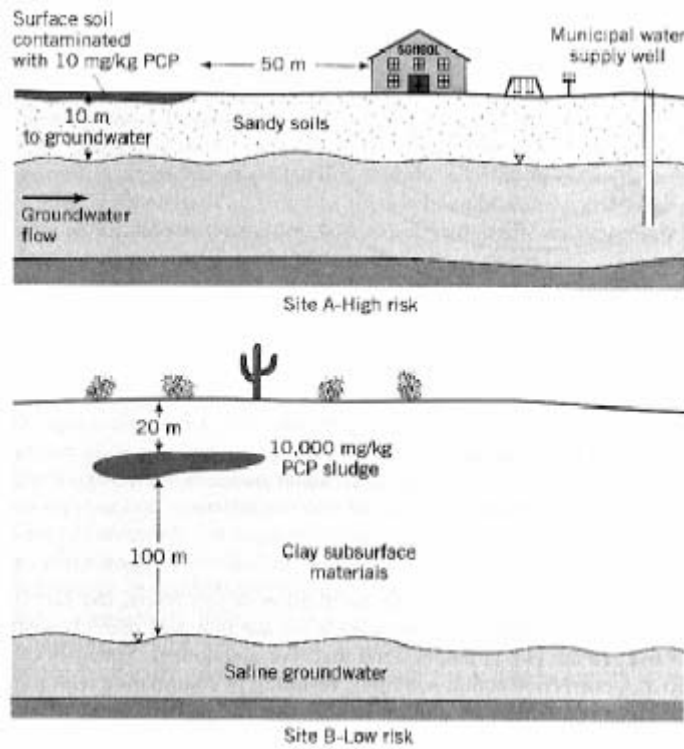
## (2) แนวทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

### การพัฒนาแนวทางทั่วไปในการตอบสนองความเสี่ยง (develop general response action)

แนวทางทั่วไปที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน ได้แก่

- (1) การไม่ลงมือใด ๆ (no action) หมายถึง การไม่ลงมือตอบสนองความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยวิธีการนี้เป็นการแบกรับความเสี่ยงอย่างหนึ่งซึ่งจะไม่ลงทุนใด ๆ เพื่อจัดการกับความเสียหาย โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเป็นความเสียหายที่มีค่าเทียบเท่ากับความเสียหายที่ได้จากการประเมินความเสียหายในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเสี่ยง
- (2) การบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 5 ปี
- (3) การบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี

ความเหมาะสมของการตอบสนองความเสี่ยงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ แล้วแต่กรณี ตัวอย่างเช่น กรณีเกิดการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินดังแสดงในรูปที่ 6-22 พบว่าแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงใน 2 กรณีนี้จะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสภาพธรณีวิทยาและสภาพการปนเปื้อนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6-22 ลักษณะการเกิดการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดิน

สำหรับกรณี A สารปนเปื้อนที่ความเข้มข้นเดียวกันแต่ลักษณะทางธรณีวิทยาประกอบด้วยชั้นดินเหนียวที่สามารถป้องกันและชะลอการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนจากบริเวณผิวดินลงสู่ใต้ดินได้ระดับหนึ่งทำให้ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินมีค่าต่ำ แต่เมื่อแหล่งน้ำใต้ดินเกิดการปนเปื้อนขึ้นแล้วความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการอุปโภคบริโภคน้ำปนเปื้อนมีค่าสูงเนื่องจาก receptors ทำให้น้ำอยู่ใกล้กับ source zone มาก ดังนั้นแนวทางการตอบสนองของความเสี่ยงอันเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนอาจทำได้โดยการอพยพประชาชนออกจากแนวเขตปนเปื้อนทำน้ำและเร่งดำเนินการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากแหล่งน้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชาชน รวมถึงการเร่งฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินให้คืนสภาพเดิมก่อนเกิดการปนเปื้อน

ในทางกลับกันกรณีตัวอย่าง B ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินมีค่าสูงกว่าเนื่องจากลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นชั้นดินร่วนซุยและไม่มีชั้นดินเหนียวที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนได้ ในขณะที่เดียวกันพื้นที่ปนเปื้อนเป็นพื้นที่รกร้างไม่มีบ้านเรือนประชาชนส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีค่าต่ำ ดังนั้นแนวทางการ

ตอบสนองความเสี่ยงอันเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสำหรับกรณีตัวอย่าง B อาจทำได้โดยการจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนไม่ให้เกิดการแพร่กระจายออกจากบริเวณ source zone และติดตั้งระบบ monitoring system เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ด้วย นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรประกาศขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนอย่างชัดเจน เพื่อไม่ให้ประชาชนเข้ามาปักหลักสร้างที่พักอาศัยและทำกิจกรรมใดๆ อันอาจก่อให้เกิดอันตรายจากการอุปโภคบริโภคน้ำปนเปื้อนได้

### การระบุ คัดเลือกเทคโนโลยี และทางเลือกในการดำเนินงาน (identify, screen remedial technologies and process options)

เนื่องจากสารปนเปื้อนส่วนใหญ่ที่สามารถตรวจพบในบริเวณพื้นที่ศึกษาจากการสำรวจ ณ ปัจจุบันคือ สาร TCE ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิด Halogenated Aliphatic สาร TCE เป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว นอกจากนี้ยังเป็นสารเคมีที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ชักแห้งและสารล้างคราบไขมันภายในโรงงานอุตสาหกรรมและฐานทัพทางอากาศต่าง ๆ สาร TCE เป็นหนึ่งในสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่พบได้บ่อยที่สุดในชั้นน้ำใต้ดินของประเทศสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก (Fischer et al., 1987)

ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากการปนเปื้อนในชั้นดินและ/หรือชั้นน้ำใต้ดิน ได้แก่ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วย TCE ประมาณ 20% จากจำนวนบ่อน้ำบาดาลทั้งหมด 315 บ่อในรัฐ New Jersey เกินมาตรฐาน 1 ppb (Fusillo et al., 1985) ชั้นน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสาร TCE ทำให้ต้องปิดระบบจ่ายน้ำของเมือง Long Island รัฐ New York และ รัฐ Massachusetts (Josephson, 1983) การตรวจพบสาร VOCs อย่างน้อย 1 ชนิด จาก 18 ชนิด (รวมถึง TCE ด้วย) ที่ทำการวิเคราะห์ในบ่อน้ำบาดาล 15.9% จาก 63 บ่อใน Nebraska (Goodenkauf and Atkinson, 1986)

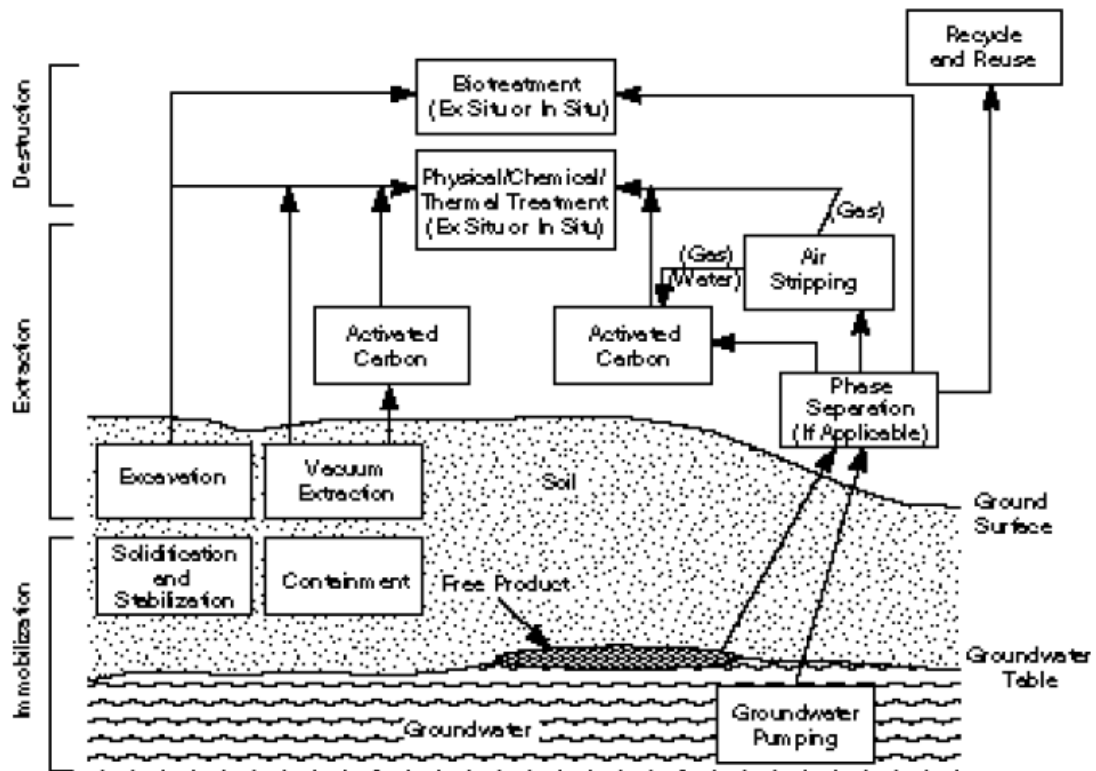
ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงบำบัดน้ำเสียทั่วไปที่มีหลักการทำงานประกอบด้วย coagulation, sedimentation, precipitative softening, filtration, และ chlorination ดังเช่นระบบส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยไม่สามารถกำจัดสาร TCE ออกจากน้ำเสียได้ทั้งหมดจนถึงระดับความเข้มข้นตามมาตรฐาน (Robeck and Love, 1983) ดังนั้นการเลือกพิจารณาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการสาร TCE ต้องอาศัยความเข้าใจในคุณสมบัติต่าง ๆ เฉพาะตัวของ TCE เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเคลื่อนที่ของสาร TCE ในชั้นน้ำใต้ดิน ตารางที่ 6-12 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร TCE

ตารางที่ 6-12 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร Trichloroethylene (TCE)

Density	1.46 g/mL
Water Solubility	1,000 mg/L
Henry's Law Constant (atm-m <sup>3</sup> /mol @ 20°C)	0.00892
Molecular Weight	131.4
Boiling Point	86.7°C
Log Octanol-Water Partition Coefficient	2.42

ลักษณะการจัดเรียงตัวของทางเคมีของสาร TCE ที่มีคลอรีนอะตอม 3 ตัว เรียงติดกับอะตอมของคาร์บอนที่จับตัวกันอยู่ในลักษณะของพันธะคู่ (carbon-carbon double bond) ส่งผลให้สาร TCE สามารถถูก oxidized ได้ง่ายในสภาวะที่เป็น reducing conditions ดังจะเห็นได้จากการที่สาร TCE สามารถถูกย่อยสลาย (transform) ทั้งแบบ abiotic และ biotic การปนเปื้อนด้วย TCE ในสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในชั้นน้ำอิมตัวและไม่อิมตัว โดยที่สาเหตุของการปนเปื้อนมักเกิดจากการรั่วซึมของสารประเภทนี้ลงสู่ระบบสิ่งแวดล้อม ทั้งที่เกิดจากความตั้งใจและไม่ตั้งใจ หลังจากเกิดการรั่วซึมของสาร TCE ลงสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสาร TCE และสารปนเปื้อนอื่นในกลุ่มเดียวกันที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ค่าแรงตึงผิวสูงมาก และยังมีค่า  $K_{ow}$  ต่ำ (ละลายได้อย่างจำกัดในน้ำ) ทำให้สาร TCE เคลื่อนที่ลึกลงสู่ชั้นดินและชั้นน้ำ ลักษณะการปนเปื้อนดังกล่าวข้างต้นจะเกิดขึ้นได้เสมอและสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างใหญ่หลวง เมื่อปริมาณสารปนเปื้อนที่รั่วซึมลงสู่สิ่งแวดล้อมมีมากและตำแหน่งที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมอยู่ลึกจากระดับพื้นดินพอควร ทำให้กระบวนการระเหยเป็นไอของสารเหล่านี้เกิดขึ้นได้น้อยมาก

ในปัจจุบันยังคงไม่มีเทคโนโลยีใดที่สมบูรณ์เพียงพอในการจัดการชั้นดินและชั้นน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ได้ โดยปกติแล้วมักจะต้องประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมากกว่า 1 ชนิดในการจัดการชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน เรียกว่า treatment train ดังจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6-23



รูปที่ 6-23 เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป

(1) เทคโนโลยีการทำลายหรือย่อยสลายสารปนเปื้อน (destruction or alteration of contaminants) หมายถึง เทคโนโลยีที่ประกอบด้วยกระบวนการในการย่อยสลายหรือทำลายสารปนเปื้อนประเภท Volatile Organic Compounds โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารปนเปื้อนส่งผลให้มวลสารปนเปื้อนลดลงจากระบบ ได้แก่ thermal, biological และ chemical treatment technologies

(2) เทคโนโลยีการคัดแยกสารปนเปื้อนออกจากระบบสิ่งแวดล้อม (extraction or separation of contaminants from environmental media) หมายถึง เทคโนโลยีที่ใช้ในการคัดแยกสารปนเปื้อนจากระบบสิ่งแวดล้อม หรือการถ่ายเทสารปนเปื้อนจากเฟสหนึ่งไปสู่อีกเฟสหนึ่ง

ง่ายต่อการจัดการมากกว่า ได้แก่ solvent extraction, air stripping และ carbon adsorption เป็นต้น

(3) เทคโนโลยีการควบคุมสารปนเปื้อนให้อยู่กับที่ (immobilization of contaminants) หมายถึง เทคโนโลยีที่ใช้เพิ่มความมีเสถียรภาพของสารปนเปื้อน ได้แก่ stabilization, solidification และ containment เป็นต้น

โดยปกติแล้วหลักการในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในระบบ รวมถึงสภาพของพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนด้วย ดังนั้นจึงไม่มีเทคโนโลยีการจัดการการปนเปื้อนที่ดีที่สุดเนื่องจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นเรื่องเฉพาะสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนหนึ่ง ๆ เท่านั้น และอาจมีเทคโนโลยีที่ใช้จัดการสารปนเปื้อนมากกว่าหนึ่งวิธี พื้นที่ที่แตกต่างกันก็จะมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสารปนเปื้อนแตกต่างกันไปด้วย

การจัดการการปนเปื้อนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพหมายถึงการหยุดการเกิดการปนเปื้อนให้ได้อย่างรวดเร็วที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างเคียง จากนั้นจึงดำเนินการจัดการกับผลที่เกิดจากการปนเปื้อนนั้น ๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดที่สำคัญในการเลือกเทคโนโลยีเพื่อใช้จัดการสารปนเปื้อน คือ เทคโนโลยีนั้นต้องมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ในพื้นที่มากกว่าที่ได้เกิดขึ้นแล้วจากสารปนเปื้อน และควรเป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานสามารถจัดการกับสารปนเปื้อนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

ตัวอย่างของเทคโนโลยีการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนในปัจจุบันที่ได้รับการพัฒนาประยุกต์ใช้และยอมรับอย่างกว้างขวาง จาก US Environmental Protection Agency (USEPA) ได้แก่

- เทคนิค pump-and-treat
- การขุดดินปนเปื้อนและนำไปทิ้ง (excavation and disposal)
- soil Vapor extraction
- air sparging
- bio-sparging
- landfarming

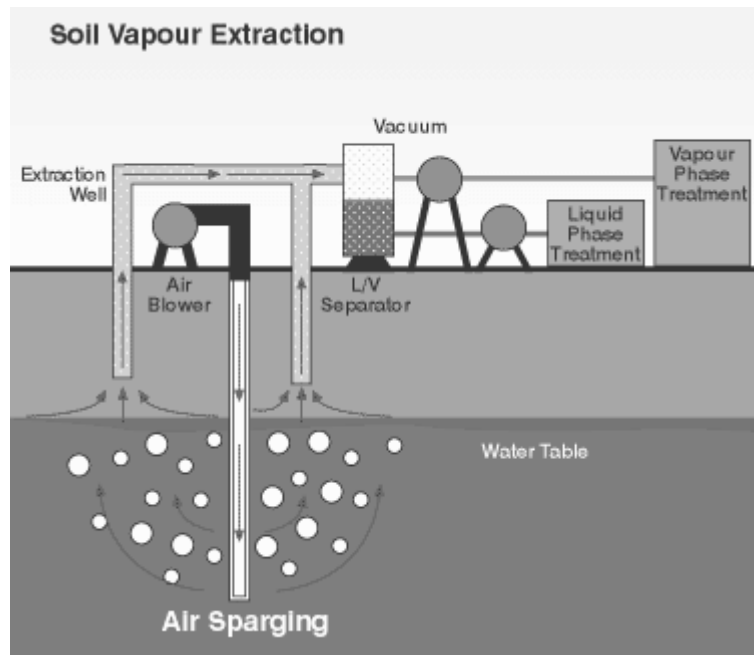


- biopiles
- bioventing
- low-temperature thermal desorption
- *in-situ* bioremediation
- dual-phase extraction
- monitored natural attenuation
- enhanced aerobic bioremediation
- chemical oxidation

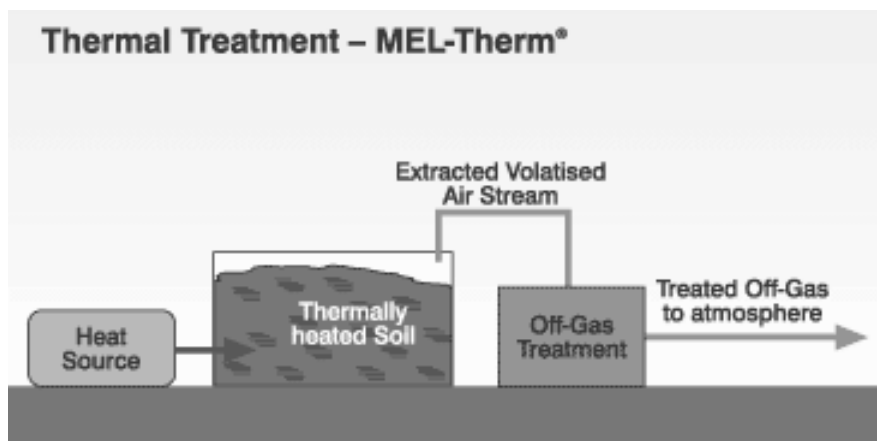
นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ได้รับการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีใหม่ แต่ยังไม่ได้รับการพิสูจน์ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน โดย USEP ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้เรียกว่า innovative technologies ได้แก่

- radio frequency heating
- co-solvents
- surfactants
- soil washing

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ได้รับการพัฒนา ประยุกต์ใช้ และได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายโดย USEPA ของสหรัฐอเมริกา รวมถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละเทคนิค โดยเน้นเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อชนิดของสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สาร VOCs และ Petroleum Hydrocarbons ตัวอย่างของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนแสดงในรูปที่ 6-24 ถึง 6-30



รูปที่ 6-24 เทคนิค soil vapor extraction



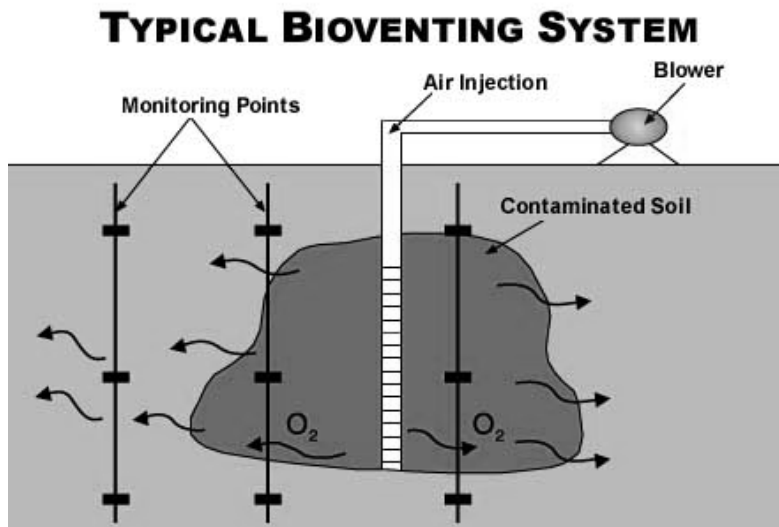
รูปที่ 6-25 เทคนิค thermal treatment



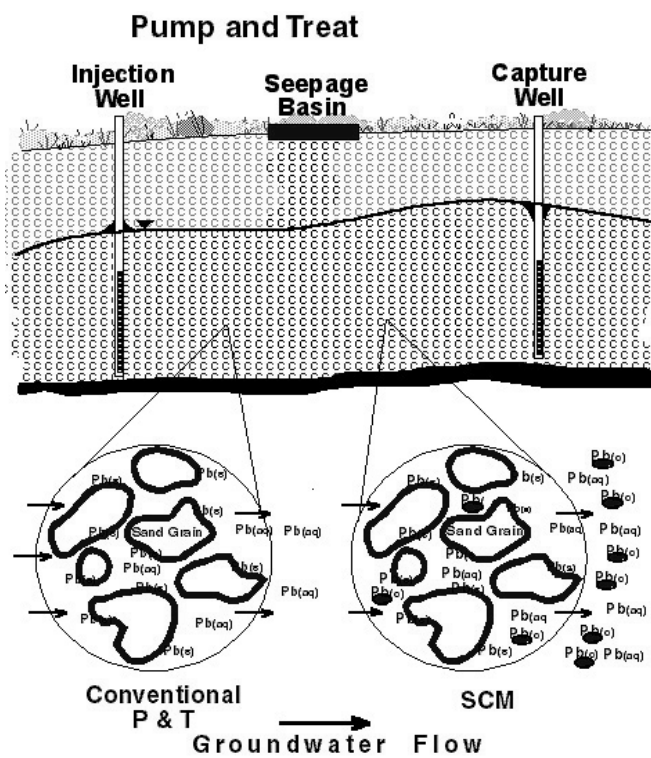
รูปที่ 6-26 แนวบ่อน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดินจากสารปนเปื้อนโดยใช้ความร้อน (thermal conductive heating) บริเวณ Midwest Site



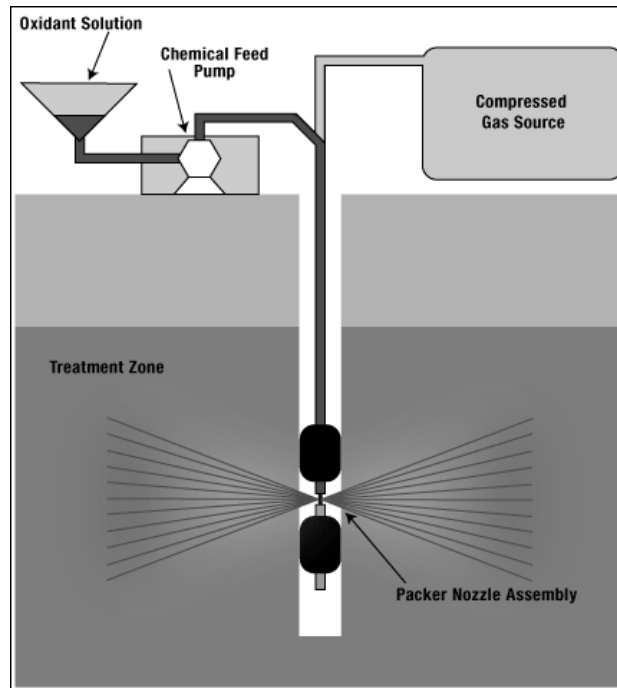
รูปที่ 6-27 อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศที่ได้จากระบบการ thermal conductive heating



รูปที่ 6-28 เทคนิค bioventing



รูปที่ 6-29 เทคนิค pump-and-treat



รูปที่ 6-30 เทคนิค chemical oxidation

เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อนประเภท Volatile Organic Compounds (VOCs) รวมถึงสถานะการพัฒนาระบบของเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6-13

ตารางที่ 6-13 เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อน VOCs

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
Soil, Sediment, and Sludge				
1. In-Situ Biological Treatment				
1.1 Biodegradation	Full	Limited	Better	Destruct
1.2 Bioventing	Full	Limited	Better	Destruct
2. In Situ Physical/Chemical Treatment				
2.1 Soil Flushing	Pilot	Limited	Better	Extract
2.2 Soil Vapor Extraction	Full	Wide	Better	Extract

ตารางที่ 6-13 เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อน VOCs (ต่อ)

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
3. <i>In Situ</i> Thermal Treatment				
3.1 Thermally Enhanced SVE	Full	Limited	Average	Extract
3.2 <i>In Situ</i> Vitrification	Pilot	Limited	Below Average	Extract/Destruction
4. <i>Ex Situ</i> Biological Treatment (Assuming Excavation)				
4.1 Composting	Full	Limited	Better	Destruct
4.2 Landfarming	Full	Limited	Better	Destruct
4.3 Slurry Phase Bioreactor	Full	Limited	Better	Destruct
5. <i>Ex Situ</i> Physical/Chemical Treatment (Assuming Excavation)				
5.1 Chemical	Full	Limited	Average	Destruct
5.2 Dehalogenation (BCD)	Full	Limited	Average	Destruct
5.3 Dehalogenation	Full	Limited	Average	Destruct
5.4 Soil Washing	Full	Limited	Average	Extract
5.5 Soil Vapor Extraction	Full	Limited	Better	Extract
5.6 Solvent Extraction	Full	Limited	Average	Extract
6. <i>Ex Situ</i> Thermal Treatment (Assuming Excavation)				
6.1 High Temp. Thermal	Full	Limited	Average	Extract
6.2 Incineration	Full	Wide	Average	Destruct
6.3 Low Temperature Thermal	Full	Wide	Better	Extract
6.4 Pyrolysis	Pilot	Limited	Below Average	Destruct
6.5 Vitrification	Full	Limited	Average	Extract/Destruct

ตารางที่ 6-13 เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อน VOCs (ต่อ)

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
7. Other Treatment				
7.1 Excavation and Off-Site	NA	Limited	Average	Extract/Immobilization
7.2 Natural Attenuation	Full	Limited	Better	Destruct
Groundwater, Surface Water, and Leachate				
1. <i>In Situ</i> Biological Treatment				
1.1 Cometabolism	Pilot	Limited	Better	Destruct
1.2 Nitrate Enhancement	Pilot	Limited	Better	Destruct
1.3 Oxygen Enhance w/ Air	Full	Limited	Better	Destruct
1.4 Oxygen Enhance w/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Full	Limited	Better	Destruct
2. <i>In Situ</i> Physical/Chemical Treatment				
2.1 Air Sparging	Full	Limited	Better	Extract
2.2 Dual Phase Extraction	Full	Limited	Better	Extract
2.3 Hot Water or Steam	Pilot	Limited	Average	Extract
2.4 Passive Treatment Walls	Pilot	Limited	Better	Destruct
2.5 Slurry Walls	Full	Limited	Average	Immobilization
2.6 Vacuum Vapor Extraction	Pilot	Limited	Better	Extract
3. <i>Ex Situ</i> Biological Treatment (Assuming Pumping)				
3.1 Bioreactors	Full	Limited	Better	Destruct

**ตารางที่ 6-13** เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อน VOCs (ต่อ)

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
4. Ex Situ Physical/Chemical Treatment (Assuming Pumping)				
4.1 Air Stripping	Full	Wide	Better	Extract
4.2 Liquid Phase Carbon	Full	Wide	Better	Extract
4.3 UV Oxidation	Full	Limited	Better	Destruct
5. Other Treatment				
5.1 Natural Attenuation	Full	Limited	Better	Destruct

แนวทางการตอบสนองต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ศึกษานี้พัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อสารปนเปื้อนที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาและแนวทางการตอบสนองต่อการปนเปื้อน หรือ “general response actions” เสนอโดย US.EPA (1988) ดังแสดงใน**ตารางที่ 6-14** ดังนี้

**ทางเลือกที่เป็นไปได้ (possible alternatives)**

หลักการในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในระบบ รวมถึงสภาพของพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนด้วย ดังนั้นจึงไม่มีเทคโนโลยีการจัดการการปนเปื้อนที่ดีที่สุดเนื่องจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นเรื่องเฉพาะสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนหนึ่ง ๆ เท่านั้น และอาจมีเทคโนโลยีที่ใช้จัดการสารปนเปื้อนมากกว่าหนึ่งวิธี พื้นที่ที่แตกต่างกันก็จะมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสารปนเปื้อนแตกต่างกันไปด้วย การตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง กล่าวคือ (1) ไม่ดำเนินการใด ๆ, (2) ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 5 ปี, และ (3) ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี



ตารางที่ 6-14 มาตรการตอบสนองต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ศึกษา

General Response Action	Remedial Technology Types	Process Options	Site Problem Primarily Addressed
No Action	None	None	
Institutional Actions	Access Restriction	Fencing	Reduces Human Exposure
		Deed Restrictions	
	Monitoring	Groundwater Monitoring	Indicates if Groundwater has Been Impacted
Soil Removal, Treatment, Disposal	Excavation	Backhoe	Removes Contaminants
		Bucket Auger	
	Physical Treatment	Soil Washing	Removes Contaminants
		Aeration/Venting	Removes Volatile Contaminants
	Chemical Treatment	Stabilization	Reduces Mobility or Toxicity of Contaminants
	Biological Treatment	Aerobic Bioreactor	Destroys Organic Contaminants
		Anaerobic Bioreactor	
		Land Farming	
	Thermal Processes	Low Temp. Stripping	Removes Volatile and Semi-Volatile Contaminants
		Incineration	
Disposal	Landfill	Minimizes or Eliminates	
	Backfill	Exposure to Sensitive	
	Asphalt Incorporation	Populations	
Containment	Capping	Synthetic Membrane	Reduces Exposure through Volatilization and Reduces Potential for Leaching
		Clay	
		Asphalt/Concrete	
		Multimedia Cap	
	Horizontal Barriers	Grout Injection	Reduces Potential for Leaching to Groundwater
	Vertical Barriers	Slurry Wall	Reduces Leaching and Lateral Migration Potential
Sheet Piling			
Grout Curtains			
In-Situ or Ex-Situ Treatment	Physical / Chemical Processes	Air Sparging	Destroys Contaminants
		Air Stripping	
		Chemical Oxidation	
	Biological Processes	Biological Degradation	Destroys Organic Contaminants
	Thermal Processes	Vitrification	Destroys, Removes, or Fixes Contaminants
		RF Heating	Removes Contaminants

การจัดการการปนเปื้อนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพหมายถึงการหยุดการเกิดการปนเปื้อนให้ได้อย่างรวดเร็วที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างเคียง จากนั้นจึงดำเนินการจัดการกับผลที่เกิดจากการปนเปื้อนนั้น ๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดที่สำคัญในการเลือกเทคโนโลยีเพื่อใช้จัดการสารปนเปื้อน คือ เทคโนโลยีนั้นต้องมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ในพื้นที่มากกว่าที่ได้เกิดขึ้นแล้วจากสารปนเปื้อน และควรเป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานสามารถจัดการกับสารปนเปื้อนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

จากการรวบรวมงานวิจัยและกรณีศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมามีในอดีตจนถึงปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อน ข้อดีข้อเสียของเทคนิคต่าง ๆ รวมทั้งงบประมาณในการดำเนินการในแต่ละวิธี คณะที่ปรึกษาจึงได้นำเสนอวิธีการที่เหมาะสมในการตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา รวมถึงค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการดำเนินการตามวิธีที่นำเสนอ ดังนี้

### **แนวทางที่ 1 ไม่ดำเนินการใด ๆ**

วิธีการนี้หมายถึงไม่มีการดำเนินการใด ๆ ทั้งในเชิงปฏิบัติและในเชิงนโยบายเป็นวิธีที่เหมาะสมควรเลือกใช้ปฏิบัติเมื่อตรวจไม่พบสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน หรือความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีต่ำมาก ๆ โดยหากไม่มีการดำเนินการใด ๆ ทั้งในเชิงปฏิบัติและในเชิงนโยบายเพื่อจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลสารปนเปื้อนจะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน

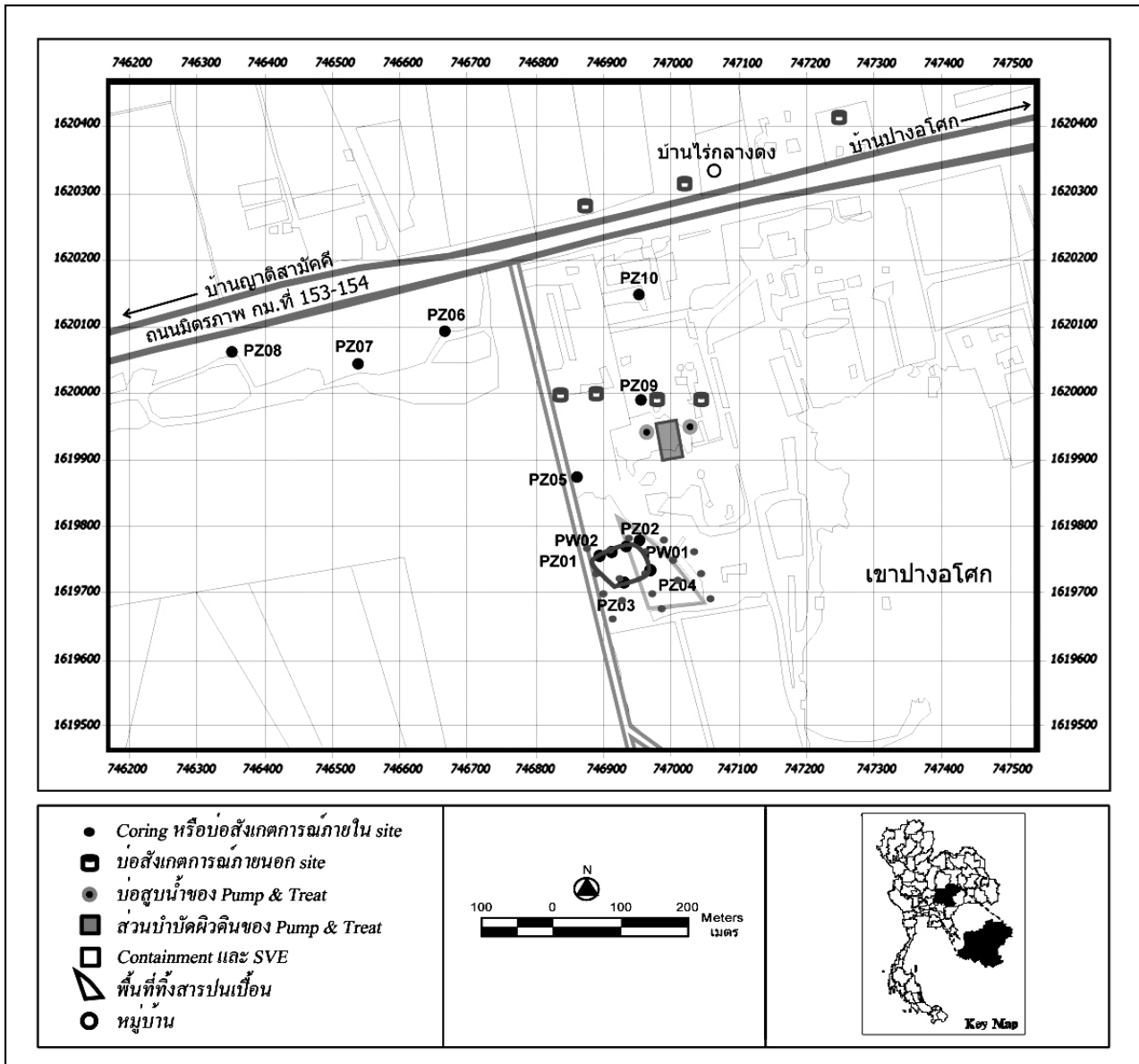
### **แนวทางที่ 2 การบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 5 ปี**

แนวทางการบำบัดสารปนเปื้อนเพื่อให้หมดไปที่คณะที่ปรึกษานำเสนอมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

- ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด (detailed site characterization) รวมทั้งดำเนินการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อน ดำเนินการปิดบ่อน้ำบาดาลของประชาชนในพื้นที่

- ดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำทดแทนการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภคให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปิดบ่อน้ำบาดาล และบำบัดแหล่งน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค
- ตรวจสอบระดับการปนเปื้อนในพื้นที่ทิ้งสารและบริเวณใกล้เคียง
- ดำเนินการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยติดตั้ง pumping wells
- จัดทำระบบ containment เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนบริเวณ hotspot ด้วยการสร้างกำแพงที่น้ำปิดโดยรอบ (grouting) และ ระบบ thermal conductive heating treatment
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ pilot-scale ของระบบ thermal conductive heating treatment และ soil vapor extraction (SVE)
- ดำเนินการติดตั้งระบบ thermal conductive heating treatment และ soil vapor extraction (SVE) แบบเต็มรูปแบบ

ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการในแต่ละปีโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินทั้งหมดตามแผนที่นำเสนอโดยสังเขปข้างต้นประมาณ 733 ล้านบาท หรือมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 674 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 6-15 โดยประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปที่ 5-22) พบว่าสามารถกำจัดสาร TCE บริเวณ source zone ออกจากระบบได้ประมาณ 90% และลดพื้นที่การปนเปื้อนได้ 27% ภายในระยะเวลา 5 ปี โดยมีการระบบการบำบัดในพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 6-31



รูปที่ 6-31 แผนผังการวางระบบฟื้นฟูสำหรับการบำบัดในระยะเวลา 5 ปี

ตารางที่ 6-15 ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการโดยประมาณของการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี

ปีที่	Site characterization	Groundwater monitoring	Pumping unit	Ground surface treatment unit	PTT	Soil Vapor Extraction	Containment	Thermal conductive heating	Natural Attenuation	รวม	NPV
1	24,640,000	46,394,333	847,700	6,000,000	-	4,000,000	-	-	-	81,882,033	81,882,033
2	-	6,388,667	2,543,100	35,019,916	-	58,413,600	56,000,000	375,425,098	-	533,790,380	494,250,352
3	-	6,388,667	-	-	13,085,000	-	-	75,085,020	-	94,558,686	81,068,833
4	-	6,388,667	-	-	-	-	-	-	2,720,000	9,108,667	7,230,753
5	-	6,388,667	-	-	-	-	-	-	6,880,000	13,268,667	9,752,866
<b>รวม</b>	<b>24,640,000</b>	<b>71,949,000</b>	<b>3,390,800</b>	<b>41,019,916</b>	<b>13,085,000</b>	<b>62,413,600</b>	<b>56,000,000</b>	<b>450,510,118</b>	<b>9,600,000</b>	<b>732,608,433</b>	<b>674,184,838</b>

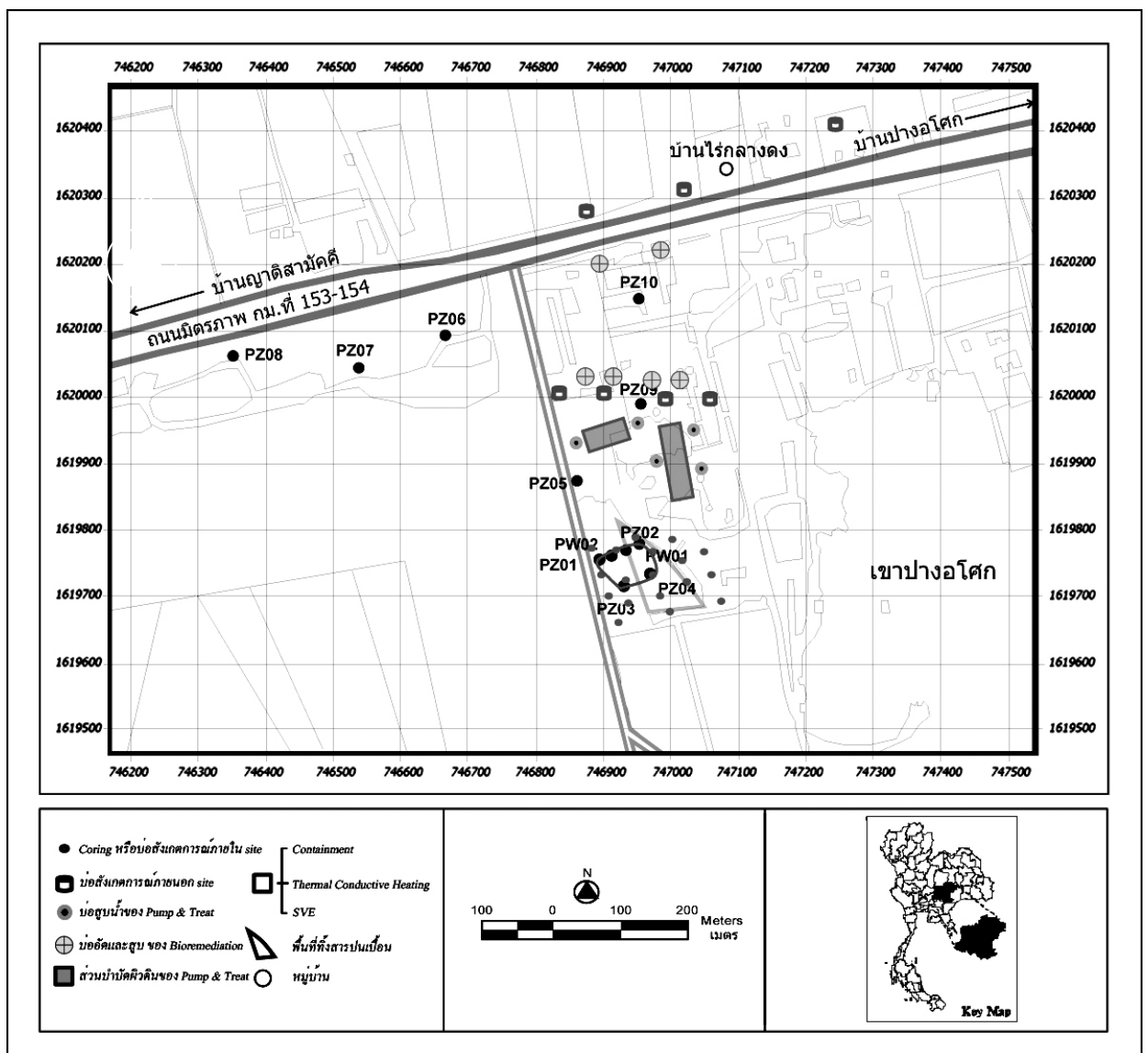
### แนวทางที่ 3 การบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี

เมื่อมีหลักฐานการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน หรือตรวจพบหลักฐานการปนเปื้อนที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำใต้ดิน อันเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ก่อให้เกิดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการดำเนินการบางอย่างเพื่อจัดการกับสารปนเปื้อนเหล่านั้น

จากการดำเนินการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนด้วยสารปนเปื้อน Volatile Organic Compounds (VOCs) พบสาร VOCs สำคัญที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษา คือ Tetrachloroethylene (PCE) และ Trichloroethylene (TCE) โดยที่ source ของสารปนเปื้อนตรวจพบได้ทั้งในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและชั้นน้ำอิ่มตัว นอกจากนี้แล้วผลการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน แสดงให้เห็นว่ามวลน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายตามแนวรอยแตกของชั้นน้ำในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นเป้าหมายของการดำเนินการในการศึกษา ระยะต่อไป (phase 2) จึงควรป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินสู่แหล่งชุมชน และลดระดับการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้คณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอการจัดการสารปนเปื้อนโดยสังเขป ดังนี้

- ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด
- ดำเนินการปิดบ่อน้ำบาดาลของประชาชนในพื้นที่
- ดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำทดแทนการใช้น้ำบาดาล และบำบัดแหล่งน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค
- ดำเนินการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยติดตั้ง pumping wells และ monitoring wells
- จัดทำระบบ containment เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนบริเวณ hotspot ด้วยการสร้างกำแพงที่น้ำปิดโดยรอบ (grouting) ตรวจสอบระดับการปนเปื้อนในพื้นที่ทั้งสารและบริเวณใกล้เคียง
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ pilot-scale ของระบบ circulating pump-and-treat และ soil vapor extraction (SVE)
- ติดตั้งระบบ circulating pump-and-treat และ soil vapor extraction (SVE) แบบเต็มรูปแบบ
- ดำเนินการบำบัดน้ำบาดาลด้วยวิธี In-situ Bioremediation

ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการในแต่ละปีโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินบางส่วนตามแผนที่นำเสนอข้างต้นประมาณ 374 ล้านบาท หรือมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 308 ล้านบาท โดยรายละเอียดซึ่งแสดงในตารางที่ 6-16 ประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปที่ 5-23) พบว่าสามารถกำจัดสาร TCE บริเวณ source zone ออกจากระบบได้อย่างน้อย 30% และลดพื้นที่การปนเปื้อนได้ 64% ภายในระยะเวลา 10 ปี โดยมีการวางระบบการบำบัดในพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 6-32



รูปที่ 6-32 แผนผังการวางระบบฟื้นฟูพื้นที่สำหรับการบำบัดในระยะเวลา 10 ปี

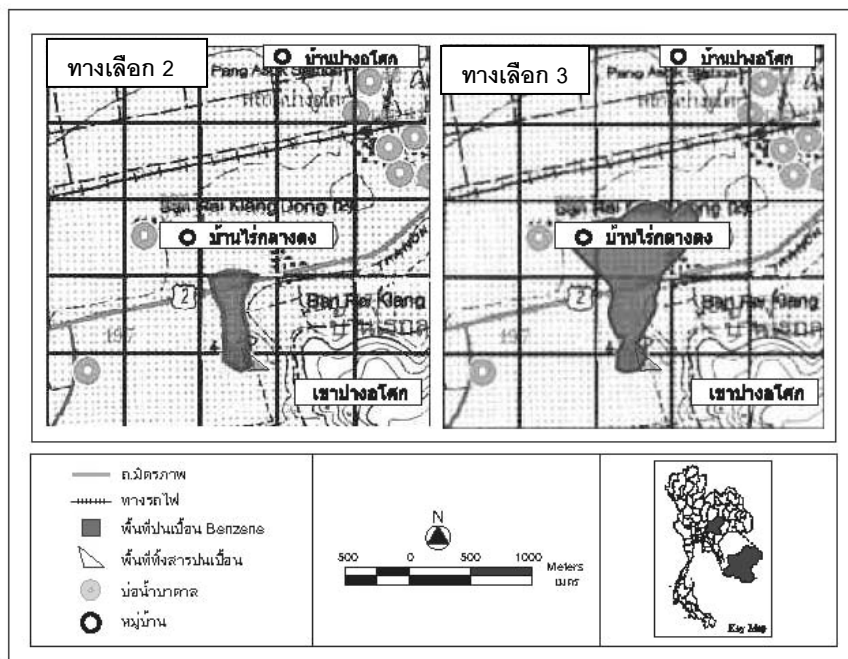
### 3) การคัดเลือกแนวทางเลือก (alternatives screening process) การตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

จากทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่ได้นำเสนอข้างต้น คณะที่ปรึกษาได้นำมาพิจารณาตามขั้นตอนของการคัดเลือกแนวทางเลือกดังต่อไปนี้

#### เกณฑ์ของการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

การพิจารณาความสามารถของแต่ละแนวทางเลือก ได้พิจารณาถึงความสามารถของการกำจัดสารปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาลในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งได้พิจารณาผลการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 5 พบว่าแนวทางเลือกที่ 2 สามารถลดขนาดของพื้นที่ปนเปื้อนให้จำกัดอยู่ในบริเวณที่สารปนเปื้อนได้ที่ระยะเวลา 5 ปี ส่วนทางเลือกที่ 3 ใช้เวลา 10 ปี (รายละเอียดดูได้ในหัวข้อ 5.4)

หากพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกทั้ง 2 ที่เวลา 5 ปี พบว่า ทางเลือกที่ 3 แม้ว่าจะยังไม่สามารถลดขนาดพื้นที่ปนเปื้อนให้อยู่ในพื้นที่ที่ขังสารได้ แต่พื้นที่ปนเปื้อนก็ครอบคลุมระยะทาง 500-800 เมตร จากพื้นที่ขังสารเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6-33 ซึ่งพื้นที่ปนเปื้อนดังกล่าวเป็นพื้นที่เพาะปลูกของประชาชน



รูปที่ 6-33 เปรียบเทียบขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนของ TCE หลังทำการบำบัดด้วยแนวทางเลือกที่ 2 และ 3 เป็นเวลา 5 ปี



ตารางที่ 6-16 ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการโดยประมาณของการบำบัดสารภายใน 10 ปี

ปีที่	Site characterization	Groundwater monitoring	Pumping unit	Ground surface treatment unit	PIIT	Soil Vapor Extraction	Containment	Bioremediation	Natural Attenuation	รวม	NPV
1	24,640,000	43,200,000	-	-	-	-	-	-	-	67,840,000	67,840,000
2	-	8,142,000	847,700	6,000,000	-	-	-	-	-	14,989,700	13,879,352
3	-	8,142,000	4,238,500	56,086,526	13,085,000	4,000,000	56,000,000	-	-	141,552,026	121,358,047
4	-	8,142,000	-	-	-	58,413,600	-	5,000,000	-	71,555,600	56,803,142
5	-	8,142,000	-	-	-	-	-	-	-	8,142,000	5,984,613
6	-	8,142,000	-	-	-	-	-	9,803,333	-	17,945,333	12,213,292
7	-	8,142,000	-	-	-	-	-	8,053,333	-	16,195,333	10,205,807
8	-	8,142,000	-	-	-	-	-	8,053,333	-	16,195,333	9,449,821
9	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600,000	9,600,000	5,186,581
10	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600,000	9,600,000	4,802,390
รวม	24,640,000	100,194,000	5,086,200	62,086,526	13,085,000	62,413,600	56,000,000	30,910,000	19,200,000	373,615,326	307,723,047

## **เกณฑ์ในการพิจารณาแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน**

สำหรับเกณฑ์ของความเสี่ยงที่ใช้ในการพิจารณาแนวทางเลือกในการตอบสนองต่อความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาจาก 2 เกณฑ์ ได้แก่

(1) **ต้นทุน** ที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง โดยคำนวณจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value) ของค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือก ซึ่งประกอบไปด้วยเงินทุนพิจารณาต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อมของทางเลือกต่าง ๆ และต้นทุนด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษาของทางเลือกที่พิจารณา สำหรับแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยงที่นำเสนอทั้ง 3 แนวทางมีต้นทุนที่เกิดขึ้นดังนี้

**แนวทางที่ 1** ไม่มีการดำเนินการใด ๆ ทั้งในเชิงปฏิบัติและในเชิงนโยบาย จึงไม่มีต้นทุนใด ๆ เกิดขึ้น

**แนวทางที่ 2** การบำบัดสารปนเปื้อนใน 5 ปี ต้นทุนทั้งหมดประกอบด้วย เงินทุน 707,053,767 บาท และต้นทุนด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษา 25,554,667 บาท รวมทั้งสิ้น 732,608,433 บาท โดยมีมูลค่าปัจจุบันคิดเป็นเงิน 674,184,838 (จาก ตารางที่ 6-15)

**แนวทางที่ 3** การบำบัดสารปนเปื้อนใน 10 ปี ต้นทุนทั้งหมดประกอบด้วย เงินทุน 281,314,660 บาท และต้นทุนด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษา 92,300,667 บาท รวมทั้งสิ้น 373,615,326 บาท โดยมีมูลค่าปัจจุบันคิดเป็นเงิน 307,723,047บาท (จาก ตารางที่ 6-16)

(2) **ประสิทธิผลและความถาวรในระยะยาว** เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาณความเสี่ยงที่ยังคงเหลืออยู่ในระยะยาวภายหลังจากที่ได้ดำเนินการตอบสนองความเสี่ยงไปเรียบร้อยแล้ว ในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาประสิทธิผลของแต่ละแนวทางเลือกโดยประเมินจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่ยังคงเหลืออยู่ ดังเช่นการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในหัวข้อที่ 6.2.2 ซึ่งได้ผลการประเมินดังต่อไปนี้

### **แนวทางที่ 1** ไม่มีการดำเนินการใด ๆ

หากไม่มีการดำเนินการใด ๆ ทั้งในเชิงปฏิบัติและในเชิงนโยบายเพื่อจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลสารปนเปื้อนจะเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำประปาบาดาลของประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียงภายใน 14 ปี และจะก่อให้เกิดความเสียหายประเมินเป็นมูลค่าทางการเงินของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน อันได้แก่ (1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย (2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน (การสูญเสียรายได้ของการประกอบอาชีพ) (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล และ (4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน เท่ากับ 6,396,213,741 บาท หรือเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 973,824,924 บาท ดังที่ได้ประเมินไว้ในหัวข้อที่ 6.2.2 การประเมินผลกระทบของความเสียหาย

### **แนวทางที่ 2** การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี

หากดำเนินการบำบัดสารปนเปื้อนเพียงบางส่วนตามรายละเอียดที่คณะที่ปรึกษาได้นำเสนอนั้นจะทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลสารปนเปื้อนเปลี่ยนแปลงไป ขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนลดลงเหลือเฉพาะบริเวณจุดทิ้งสารปนเปื้อน โดยบริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำประปาบาดาลของประชาชนจะไม่ได้รับการปนเปื้อนจนถึงปีที่ 50 ดังแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนเพียงบางส่วนใน **ภาคผนวก ก** โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่ยังคงเหลือนั้นสามารถประเมินเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจได้เท่ากับ 319,794,729 บาท เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 137,374,770 บาท (รายละเอียดแสดงไว้ใน**ภาคผนวก ก**) นั่นคือ สามารถลดมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลกระทบลงได้เท่ากับ 6,070,419,012 บาท และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 836,450,154 บาท หรือสามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 86

### **แนวทางที่ 3** การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี

การดำเนินการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี ตามรายละเอียดที่คณะที่ปรึกษาได้นำเสนอจะสามารถลดขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนลงเหลือเฉพาะบริเวณจุดทิ้งสารปนเปื้อน ดังแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี ใน**ภาคผนวก ก** โดยบริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำประปาบาดาลของประชาชนจะไม่ได้รับการปนเปื้อนจนถึงปีที่ 50 เช่นเดียวกับแนวทางที่ 2 เมื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของ

การปนเปื้อนของสารเคมีที่ยังคงเหลืออยู่ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี ตามแนวทางที่นำเสนอสามารถประเมินเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจได้เท่ากับ 204,678,375 บาท หรือคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 67,289,068 บาท (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก น) นั่นคือสามารถลดมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลกระทบลงได้เท่ากับ 6,191,535,366 บาท และเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 906,535,857 บาท หรือสามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 93

### การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

ภายหลังจากที่ได้ทำการประเมินแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินทั้ง 3 แนวทาง ขั้นตอนต่อมาซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการตอบสนองความเสี่ยง คือ การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยง โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้เกณฑ์ที่ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจ คือ การวิเคราะห์ประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน (net benefit-cost analysis) ซึ่งจะสอดคล้องกับเกณฑ์ของความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่ได้ประเมินไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้า อันได้แก่ ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง และประสิทธิผลซึ่งประเมินจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่ยังคงเหลืออยู่จากการดำเนินการในแต่ละแนวทางเลือก โดยประโยชน์สุทธิ คือ ความเสี่ยงที่ลดลงจากการดำเนินการลดด้วยต้นทุนที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง ผลการวิเคราะห์ประโยชน์สุทธิ-ต้นทุนของแต่ละแนวทางเลือกแสดงไว้ในตารางที่ 6-17

ตารางที่ 6-17 การวิเคราะห์ประโยชน์สุทธิ-ต้นทุนของแต่ละแนวทางเลือก

แนวทาง	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, NPV (บาท)				(B-C)/C
	ต้นทุน (C)	มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้น ภายหลังการบำบัด	มูลค่าผลกระทบ ที่ลดลง (B)	ประโยชน์สุทธิ (net benefit) (B-C)	
1. ไม่มีการบำบัด	-	973,824,925	-	-	-
2. บำบัดภายใน 5 ปี	674,184,838	137,374,770	836,450,155	162,265,317	0.24
3. บำบัดภายใน 10 ปี	307,723,047	67,289,068	906,535,857	598,812,810	1.95

จากตารางที่ 6-17 ในแนวทางที่ 1 เมื่อไม่มีการดำเนินการใด ๆ มูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นก็ยังคงเดิม (973,824,925 บาท) ดังนั้นมูลค่าผลกระทบที่ลดลงจึงไม่มีเช่นกัน

แนวทางเลือกที่ 2 คือ ดำเนินการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี จะนำไปสู่การลดลงของความเสียหายทั้งสิ้น 836,450,155 บาท (การลดลงของความเสียหายนี้พิจารณาได้ว่าเป็นประโยชน์ที่ได้จากการบำบัดสารปนเปื้อนโดยแนวทางเลือกที่ 2) โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งสิ้น 674,184,838 บาท ดังนั้นประโยชน์สุทธิที่ได้จากแนวทางเลือกนี้ คือ  $836,450,155 - 674,184,838 = 162,265,317$  ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน จะมีค่าประมาณ 0.24 ( $162,265,317 / 674,184,838 = 0.24$ ) กล่าวคือประโยชน์สุทธิที่ได้รับมีค่าเพียงร้อยละ 24 ของต้นทุน

สำหรับแนวทางเลือกที่ 3 คือ การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี จะนำไปสู่การลดลงของความเสียหาย (ประโยชน์) ทั้งหมด 906,535,857 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งสิ้น 307,723,047 บาท ประโยชน์สุทธิที่ได้จากแนวทางเลือกนี้ คือ  $906,535,857 - 307,723,047 = 598,812,810$  ถ้าคำนวณอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน จะมีค่าประมาณ 1.95 ( $598,812,810 / 307,723,047 = 1.95$ ) ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากประโยชน์สุทธิที่ได้รับมีค่าประมาณ 1.95 เท่าของต้นทุน

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ข้างต้น จะพบว่าแนวทางเลือกที่ 2 และ 3 สามารถลดความเสียหายจากการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้แตกต่างกันเนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนของสองวิธีที่แตกต่างกันนั่นเอง กล่าวคือ แนวทางเลือกที่ 3 จะสามารถลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้มากกว่าแนวทางเลือกที่ 2 (ประมาณร้อยละ 7 โดยแนวทางที่ 2 สามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 86 ส่วนแนวทางที่ 3 สามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 93) ในส่วนของต้นทุนในการบำบัด เนื่องจากแนวทางเลือกที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่ยาวนานกว่าแนวทางเลือกที่ 2 ทำให้ต้นทุนบางส่วนของแนวทางที่ 3 เกิดขึ้นในอนาคตซึ่งเมื่อนำมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันจะทำให้ต้นทุนแนวทางที่ 2 (674,184,838 บาท) มีค่าประมาณ 2.19 เท่าของต้นทุนแนวทางที่ 3 (307,723,047 บาท)

เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนของสองทางเลือกมีค่า 0.24 และ 1.95 ตามลำดับ ดังนั้นแนวทางเลือกที่ 3 จึงมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่าทางเลือกที่ 2 เนื่องจากประโยชน์สุทธิที่ได้รับมากกว่าต้นทุนที่ต้องลงไป

อย่างไรก็ดีในการตัดสินใจเลือกแนวทางการบำบัดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ผู้ทำการตัดสินใจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ นอกจากปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย อาทิ

เช่น ความฉุกเฉิน (emergency) ของปัญหา นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของรัฐหรือของหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ งบประมาณที่ได้รับ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดของหน่วยงานนอกเหนือจากปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่แสดงในการศึกษานี้

การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้เกณฑ์ที่ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจ คือ ป้องกันไม่ให้อาคารปนเปื้อนเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ชุมชนและต้นทุนในการบำบัดและฟื้นฟู ซึ่งทางเลือกที่ 3 ที่ใช้เวลาในการบำบัด 10 ปี สามารถตอบสนองความต้องการในการป้องกันอาคารปนเปื้อนไม่ให้อาคารเคลื่อนที่เข้าสู่ชุมชนที่อยู่อาศัยได้ในต้นทุนค่าใช้ที่ต่ำกว่าทางเลือกที่ 2 ได้ถึง 54% หรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 366 ล้านบาท ( $674,184,838 - 307,723,047 = 366,461,791$ ) ประกอบกับอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนของทางเลือกที่ 3 ที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า ทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนของการศึกษานี้

**บทที่ 7**

**แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน**

## บทที่ 7

### แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

#### วัตถุประสงค์

- รวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกำจัดสารปนเปื้อนประเภทต่างๆในน้ำใต้ดิน
- ประมาณค่า Retardation Factor ของสารปนเปื้อน และ Dispersion Coefficient ของตัวกลางรูพรุนในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์
- ทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) เพื่อใช้ในการประมาณมวลสารปนเปื้อนตกค้างในชั้นดินและชั้นน้ำในระดับห้องปฏิบัติการ
- ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- จัดทำแผนระยะยาวในการจัดการสารปนเปื้อนที่พบ ในพื้นที่ศึกษา

#### ขอบเขตการศึกษา

- คณะที่ปรึกษาจะทำการรวบรวมข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคต่างๆที่ใช้ทั้งในและต่างประเทศในการจัดการกับสารปนเปื้อนทั้งในระดับ Laboratory Scale, Pilot Scale และ Field Scale
- ประมาณค่า Retardation Factor ของสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษา และ Dispersion Coefficient ของตัวกลางรูพรุนเพื่อใช้ในการจำลองการไหลและการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำต่อไปในอนาคต
- ทดสอบประสิทธิภาพของการเทคนิค Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับเพื่อใช้ในการประมาณมวลสารปนเปื้อนตกค้างในชั้นดินและชั้นน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Alcohol Tracers ชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็น Partitioning Alcohols และ Non-Partitioning Alcohols (เพื่อเป็นตัวควบคุม)
- ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาบริเวณที่พบสารปนเปื้อนในการย่อยสลายสารปนเปื้อนชนิดต่างๆในน้ำใต้ดิน



- จัดทำแผนการจัดการสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่อนาคตต่อไป

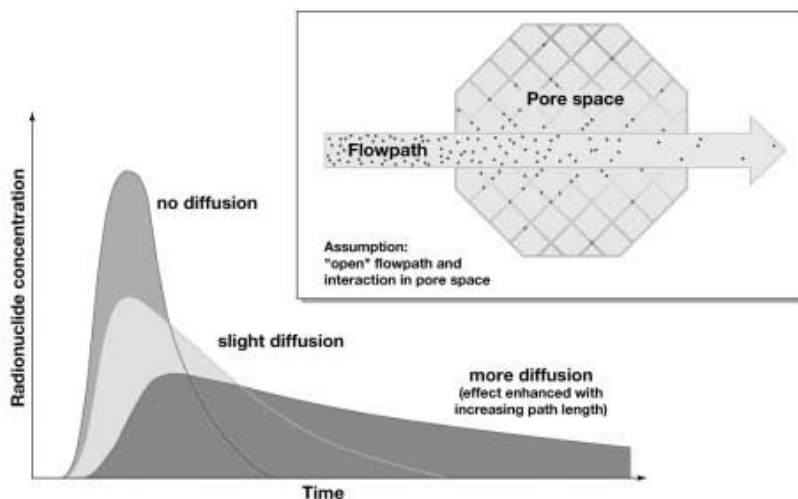
## 7.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

### 7.1.1 การทดสอบค่า Dispersion coefficient และ Retardation factor

กระบวนการสำคัญที่สุดต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินคือ Sorption และ Dispersion (รวมถึงกระบวนการ Diffusion) Dispersion หมายถึง กระบวนการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนอันเกิดจากความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินที่มีขนาดและทิศทางที่ไม่คงที่ ขนาดและทิศทางของน้ำใต้ดินที่แตกต่างกันนี้มีสาเหตุมาจาก

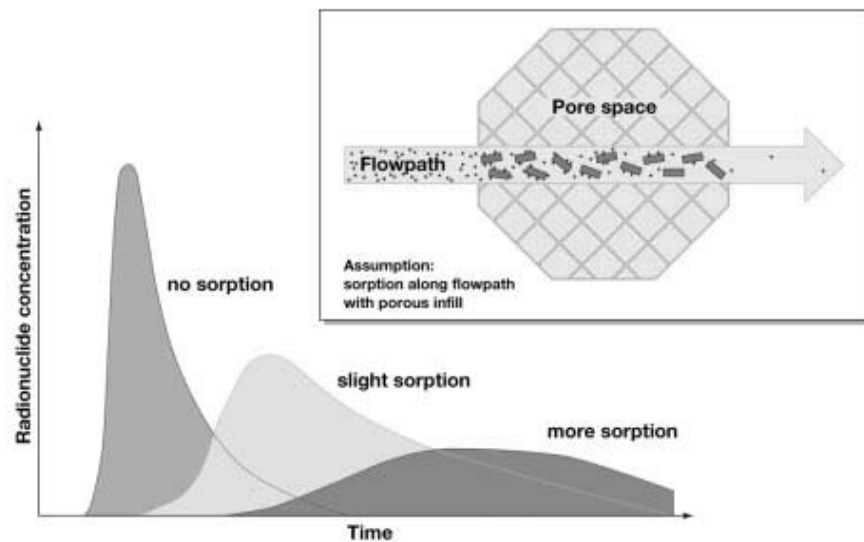
- ผลจากความหนืดของของเหลว (Viscosity)
- Tortuosity
- ขนาดของรูพรุนที่แตกต่างกัน (Pore Size Difference)

ผลของ Dispersion และ Diffusion ที่มีต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 ผลของกระบวนการ Dispersion/Diffusion ต่อพฤติกรรมเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน

กระบวนการ Sorption หมายถึง กระบวนการที่อนุภาคของสารปนเปื้อน (Sorbate) ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับ (Sorbent) ทำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ในน้ำใต้ดินได้ช้ากว่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำใต้ดิน ในที่นี้ตัวดูดซับในระบบคือเม็ดดินนั่นเอง กระบวนการ Sorption จะส่งผลให้อนุภาคของสารปนเปื้อนเคลื่อนที่ช้ากว่าความเร็วของน้ำใต้ดินเท่านั้น โดยที่มวลของสารปนเปื้อนจะยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 7-2 อัตราการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนหนึ่งๆ เทียบกับอัตราการเคลื่อนที่ปกติของน้ำใต้ดิน ที่สามารถวิเคราะห์ได้จากอัตราการเคลื่อนที่ของสาร Conservative Tracer เรียกว่า ค่า Retardation factor โดยที่ค่า Retardation Factor จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารปนเปื้อนและตัวกลางรูพรุนที่ใช้ในการทดสอบ ตัวกลางรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวสูงและมี Organic Content สูงจะส่งผลให้เกิดการดูดซับบนผิวของตัวกลางรูพรุนได้มากกว่าตัวกลางรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวต่ำและมี Silica เป็นองค์ประกอบอยู่มาก



รูปที่ 7-2 ผลของกระบวนการ Sorption ต่อพฤติกรรมเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน

ค่า Retardation factor ของสารปนเปื้อนมีประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อศึกษาและคาดการณ์การแพร่กระจายของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดภายในพื้นที่ศึกษาไปสู่สิ่งแวดล้อมและบริเวณพื้นที่ข้างเคียง นอกจากนี้ยังสามารถใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่จะพัฒนาขึ้นในอนาคตจากข้อมูล

พารามิเตอร์ต่างๆจากการดำเนินการวิจัยในโครงการนี้ในการคาดการณ์พื้นที่ปนเปื้อนที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา

Jozef Mikolajkov (2003) ได้ทำการศึกษาถึงการประมาณค่า Retardation factor ของสารประกอบไนโตรเจนที่เคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำตื้น (shallow groundwater) โดยดินที่นำมาทดลองเป็นดินที่อยู่ในพื้นที่ Kurpie outwash ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศโปแลนด์ การทดลองได้ทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1. ทดลองหาค่า Retardation factor ของ  $N-NO_3$  (nitrate ions) 2. ทดลองหาค่า Retardation factor ของ  $N-NH_4$  (ammonium ions) ผลการทดลองสรุปได้ว่า 1. ค่า Retardation factor ของ  $N-NO_3$  (nitrate ions) ในดินชนิด outwash sand มีค่าอยู่ในช่วง 1.17 – 2.68 ดินชนิด clayey sands มีค่าอยู่ในช่วง 2.75 – 6.94 ดินชนิด sandy clay มีค่าอยู่ในช่วง 7.4 – 26.54 2. ค่า Retardation factor ของ  $N-NH_4$  (ammonium ions) มีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันมาก ดังนี้คือ ในดินชนิด outwash sand มีค่าอยู่ในช่วง 9.4 – 41.4 ดินชนิด clayey sands มีค่าอยู่ในช่วง 466 – 1023 ดินชนิด sandy clay มีค่าอยู่ในช่วง 2326 – 3772

O.F. Al-Damluji และ M.A. Al-Rawi (2005) ได้ศึกษาถึงการหาค่า longitudinal dispersion และ lateral dispersion ของดิน Iraq sandy soil ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาค่าตัวแปรในห้องปฏิบัติการ จะศึกษา 1 มิติ จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้มาใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งแก้ปัญหาด้วยวิธี finite element แบบ 2 มิติ เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่า longitudinal dispersion ของตัวอย่างดิน Iraq sandy soil มีค่า 0.171 - 0.212  $cm^2/min$  และค่า lateral dispersion มีค่า 0.074 – 0.032  $m^2/min$  ผลลัพธ์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อค่า  $P_0$  มีค่าน้อยกว่า 1.0 และ มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นเมื่อค่า  $P_0$  มีค่ามากกว่า 1.0

J.D. McNeil , G.A. Oldenborger , R.A. Schincariol (2006) ได้ศึกษาถึงการหาค่า longitudinal dispersivity และ Transverse dispersivity ในตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous porous media) ด้วยวิธีภาพถ่าย ซึ่งทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องมือ Acrylic modular flow tank การทดลองจะใช้เครื่องมือถ่ายภาพ ถ่ายภาพการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน จากนั้นนำภาพที่ได้ไปสอบเทียบ เพื่อนำค่าตัวแปรที่ได้ไปใช้ในสมการเพื่อหาค่า longitudinal และ Transverse dispersivity จากการทดลองสรุปได้ว่า ค่า longitudinal dispersivity มีค่าเท่ากับ  $4.6 \times 10^{-2} m$  และ Transverse dispersivity มีค่าเท่ากับ  $1.9 \times 10^{-4} m$

Perkins และ Johnston (1963) ได้เสนอเทคนิคการหาค่า longitudinal dispersion coefficient ( $D_{1,1}$ ) แบบ 1 มิติ ด้วยการใช้กระดาษกราฟแบบ arithmetic-probability ซึ่งจะทำให้การ plot ค่า ระหว่าง relative concentration ( $C/C_0$ ) กับค่า Time. ต่อมาให้หาค่า  $C/C_0$  มาจากการ plot กราฟ arithmetic-probability โดยใช้ช่วงเวลาที่มียุค  $C/C_0$  ที่ 84 % , 50% และ 16 % เพื่อนำมาคำนวณ

### 7.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) ในห้องปฏิบัติการ

โดยปกติแล้วประเภท ปริมาณ องค์ประกอบ และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำปนเปื้อน มักจะเป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างชัดเจน ในกรณีศึกษาที่เป็นพื้นที่ลุ่มรอบฝังกลบสารเคมีก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ปริมาณ ประเภท องค์ประกอบ และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนในพื้นที่ โดยเฉพาะเมื่อสารปนเปื้อนอยู่ในกลุ่มของสาร Nonaqueous Phase Liquids (NAPLs) ทั้งแบบเบาและแบบหนัก นั้นมีความสำคัญต่อการประเมินผลกระทบและความเสียหายอันเกิดจากการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำ รวมถึงการออกแบบระบบจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสมในพื้นที่ในอนาคตอีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการเพื่อตรวจสอบหาปริมาณ ประเภท องค์ประกอบ และ การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา ก่อนการดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ต่อไป

สารปนเปื้อนประเภท Nonaqueous Phase Liquids (NAPLs) ทั้งแบบเบา (Light Nonaqueous Phase Liquids; LNAPLs) และแบบหนัก (Dense Nonaqueous Phase Liquids; DNAPLs) สามารถตกค้างในชั้นดินและชั้นน้ำ (ชั้นน้ำอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว) ก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดมลพิษระยะยาวต่อระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อม การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนประเภทนี้และการจัดการสารปนเปื้อนที่แหล่งกำเนิด (Source Zone Delineation) ทำได้ยากและมีความซับซ้อนมากเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารปนเปื้อนและความซับซ้อนทางอุทกธรณีของชั้นน้ำ ตัวอย่างเช่น สารปนเปื้อนจำพวก NAPLs นั้นมีความสามารถในการละลายในน้ำได้อย่างจำกัด โดยเฉพาะในน้ำใต้ดินที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำผิวดิน นอกจากนี้แล้วการไหลของน้ำใต้ดินยังอยู่ในลักษณะของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ทำให้ไม่เกิดสภาพ Equilibrium อย่างแท้จริง การประยุกต์ใช้สารเทรเซอร์ประเภทแอลลอกอฮอลในการประมาณการปริมาณและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนประเภท NAPLs ในชั้นน้ำใต้ดินนั้น เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจและได้รับการทดสอบแล้วในระดับหนึ่ง ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและใน

ระดับภาคสนาม จัดเป็นเทคนิคที่มีความน่าสนใจเนื่องจากการประยุกต์ใช้คุณสมบัติทางเคมีของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆกัน ซึ่งมีความสามารถในการ Partition ระหว่างน้ำและสาร NAPLs ในระดับต่างๆกันด้วย เพื่อประมาณการค่าดัชนีความอิ่มตัวของสารปนเปื้อน NAPLs (NAPLs Saturation) ในช่องว่างของดินในชั้นน้ำนั้นๆ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้สารเทอร์เซอร์ประเภทแอลกอฮอล์ในการประมาณการปริมาณและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนประเภท NAPLs ในชั้นน้ำใต้ดินนั้น มีความแตกต่างจากวิธีการประมาณการปริมาณสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาทั่วไปซึ่งมักจะเป็นวิธีแบบ Intrusive ดังนั้นวิธีนี้จึงมีข้อดีเนื่องจากเป็นเทคนิคแบบ Non-Intrusive กล่าวคือไม่ต้องทำการเจาะเก็บตัวอย่างดินและน้ำหลายตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาสารปนเปื้อน จัดว่าเป็นแนวทางเลือกใหม่สำหรับการประมาณการปริมาณและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนประเภท NAPLs

กระบวนการ Partitioning หมายถึง การกระจายตัวของสารเทอร์เซอร์ประเภทแอลกอฮอล์ระหว่างสาร NAPL และ น้ำ หลักการทำงานอย่างคร่าวๆของเทคนิคการประยุกต์ใช้สารเทอร์เซอร์ประเภทแอลกอฮอล์ในการประมาณการปริมาณและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนประเภท NAPLs ในชั้นน้ำใต้ดินนั้น คือ การเลือกใช้อัลกอฮอล์ประเภทที่สามารถ Partition เข้าสู่เฟสของ NAPL ได้ (Partitioning Alcohol Tracer) โดยมีค่า Partitioning Coefficient ( $K_{nw}$ ) ที่สามารถคำนวณหาได้อย่างถูกต้อง (จากการดำเนินการทดลองในระบบควบคุมในระดับห้องปฏิบัติการหรือในระดับภาคสนาม ภายใต้สภาวะสมดุล) ดังนั้นจะสามารถประมาณการปริมาณสาร NAPL ที่ตกค้างอยู่ในระบบที่ประกอบด้วย น้ำ-แอลกอฮอล์-NAPL ได้ ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสต่างๆในระบบสามารถแสดงได้โดย:

$$K_{nw} = \frac{C_N}{C_W}$$

โดยที่  $C_N$  = ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ในเฟสของ NAPL;  $C_W$  = ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ในเฟสของสารละลาย; และ  $K_{nw}$  = สัมประสิทธิ์ Partitioning Coefficient ระหว่างเฟสของ NAPL และ น้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสต่างๆในระบบที่แสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์ Partitioning Coefficient สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสมการการไหลของน้ำใต้ดิน (Advection-Dispersion Equation) เพื่อใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของสารละลายหรือสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินได้ ในทางทฤษฎีแล้วการเคลื่อนที่ของ Conservative Tracer หรือ Non-Partitioning Alcohol Tracer ใน

ระบบชั้นน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยสาร NAPL จะไม่ได้รับผลกระทบใดๆ จากสาร NAPL ที่ตกค้างอยู่ในระบบ แต่ทว่าจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของ Partitioning Alcohol ในระบบ กล่าวคือจะเกิดกระบวนการ Partitioning อย่างชั่วคราวขึ้นระหว่างเฟสต่างๆในระบบภายใต้สภาวะสมดุล ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของ Partitioning Alcohol ถูกหน่วง (Delay หรือ Retard) เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของ Non-Partitioning Alcohol Tracer

ค่า Retardation Factor (R) ของ Partitioning Tracer แต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จาก:

$$R = \frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_c}$$

โดยที่  $\bar{t}_p$  และ  $\bar{t}_c$  คือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางจาก Injection Point ไปยัง Extraction Point ของ Partitioning Tracer และ Non-Partitioning Tracer ตามลำดับ

สำหรับระบบที่ประกอบด้วย NAPL-น้ำ-แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ และไม่มีกระบวนการดูดซับตีติผิว (Sorption) สามารถคำนวณค่าดัชนีความอึดตัวด้วย NAPL ( $S_n$ ) ได้ ดังนี้:

$$S_n = \frac{R-1}{R + K_{nw} - 1}$$

ตัวอย่างของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ที่ได้รับการทดสอบและประยุกต์ใช้ในเทคนิค PITT ได้แก่ 2-propanol (IPA), 2,2-dimethyl-3-pentanol, 2,4-dimethyl-3-pentanol, 2-octanol, 2-ethyl-1-hexanol, 2,6-dimethyl-2-heptanol, และ 3,5,5-trimethyl-1-hexanol เป็นต้น แม้ว่าแอลกอฮอล์เหล่านี้จะสามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการประมาณปริมาณและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนได้ แต่แอลกอฮอล์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันออกไป และยังมีราคาแตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอลกอฮอล์แต่ละตัว รวมถึงข้อจำกัดด้านราคา เนื่องจากหากประยุกต์ใช้ในระดับภาคสนามต่อไปในอนาคตจำเป็นต้องใช้แอลกอฮอล์เป็นจำนวนมาก ราคาต่อหน่วยจึงเป็นตัวแปรสำคัญเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจเลือกใช้แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ในการประมาณการปริมาณและการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำ

### 7.1.3 การทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

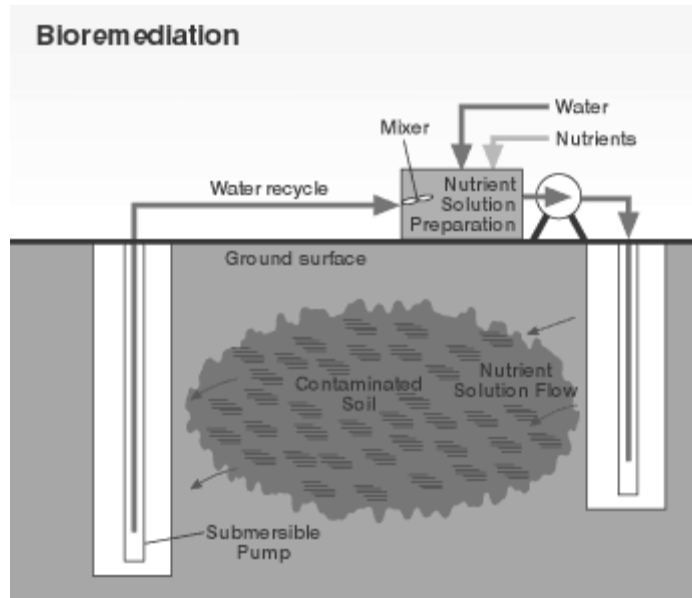
เทคนิคการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำ (In Situ Bioremediation) เป็นเทคนิคการกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในระดับหนึ่งเพื่อให้จุลินทรีย์เหล่านี้ได้ทำหน้าที่ของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สารปนเปื้อนที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธี In Situ Bioremediation ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ กระบวนการการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์นี้สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนที่ละลายตัวอยู่ในน้ำใต้ดินและที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของตัวดูดซับได้ด้วย

เทคนิคการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในดินและน้ำนั้นจำเป็นต้องได้รับการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดีในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะประยุกต์ใช้ทดสอบจริงในระดับภาคสนาม เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ต้องได้รับการควบคุมกระบวนการสร้างพลังงานและเซลล์เป็นอย่างดีเพื่อให้เกิดกระบวนการสร้างพลังงานที่สมบูรณ์ กระบวนการสร้างพลังงานและเซลล์ในจุลินทรีย์ประกอบด้วย การส่งผ่าน electron acceptor (ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน) การส่งผ่านสารอาหาร (ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) การส่งผ่านแหล่งพลังงาน (ได้แก่ คาร์บอน) โดยปกติแล้ว electron acceptor และสารอาหาร จัดว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในกระบวนการสร้างพลังงานและเซลล์ในจุลินทรีย์ธรรมชาติเหล่านี้

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนตัวอย่างหนึ่ง เช่น เทคนิค In Situ Bioremediation เพื่อจัดการกับสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินอย่างคร่าวๆ มีดังนี้

- ติดตั้งบ่อสูบน้ำบาดาลอย่างน้อย 1 บ่อในพื้นที่ปนเปื้อน
- น้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาจะถูกสูบขึ้นมาโดยใช้บ่อสูบที่ทำการติดตั้ง หากพื้นที่มีขนาดใหญ่ สามารถติดตั้งบ่อสูบมากกว่า 1 บ่อได้
- นำสารอาหารที่จำเป็นและ Electron Acceptors ที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ธรรมชาติในพื้นที่มาผสมกับน้ำใต้ดินที่สูบ
- สูบน้ำใต้ดินผสมกับสารอาหารและ Electron Acceptors ที่ผสมไว้แล้วกลับลงสู่ชั้นน้ำเดิมโดยใช้ Injection Well
- การสูบน้ำขึ้นและปล่อยกลับดังกล่าวจะทำให้เกิดระบบหมุนเวียนน้ำแบบ Closed Loop ขึ้น ทำให้เกิดการย่อยสลายสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- หากพื้นที่มีขนาดใหญ่ สามารถติดตั้งบ่อ Injection Well เพิ่มเติมตามสมควร

ขั้นตอนการดำเนินการเทคนิค In Situ Bioremediation แสดงในรูปที่ 7-3



รูปที่ 7-3 เทคนิค In Situ Bioremediation เพื่อประยุกต์ใช้จัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน

เทคนิค In Situ Bioremediation เป็นเทคโนโลยีที่มีความหลากหลาย สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เพื่อจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินและในชั้นดินได้อย่างกว้างขวาง เช่น เทคนิค Air Sparging, Soil Vapor Extraction, และ Bioventing การใช้ Bioremediation สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายสภาวะ ได้แก่

- Aerobic (Oxygen Respiration)
- Anoxic (Nitrate Respiration)
- Anaerobic (Non-Oxygen Respiration)
- Co-Metabolic

สำหรับกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะ Aerobic น้ำใต้ดินจะต้องได้รับการเติมออกซิเจนโดยการอัดอากาศผ่าน Injection Well โดยตรง หรือ การเติมอากาศลงในน้ำบนผิวดินก่อนการเติมน้ำลงในชั้นน้ำ หรือ การเติมสาร Hydrogen Peroxide ลงใน Injection Well เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน ไม่ว่าจะใช้วิธีใดในการเติมออกซิเจนลงในน้ำใต้ดิน จะต้องแน่ใจว่าออกซิเจนที่เติมได้กระจายอย่างทั่วถึงในบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน



การย่อยสลายสารปนเปื้อนภายใต้ Aerobic Conditions ได้รับการพิสูจน์และยอมรับว่าเป็นกระบวนการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เหมาะสำหรับใช้กับสารปนเปื้อนจำพวก Aliphatic (e.g., Hexane) และ สาร Petroleum Hydrocarbons (ได้แก่ Benzene Naphthalene) ในน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ สำหรับกระบวนการย่อยสลายภายใต้ Anoxic, Anaerobic, และ Co-metabolic นั้นจะใช้เพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนจำพวก Chlorinated Solvents เป็นส่วนใหญ่ แต่จะมีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำกว่าการย่อยสลายสาร Petroleum Hydrocarbons ภายใต้สภาวะใช้ออกซิเจน

## 7.2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

### 7.2.1 การทดสอบเพื่อประมาณค่า Retardation factor ของสารปนเปื้อนและ Dispersion coefficient ของตัวกลางรูพรุน

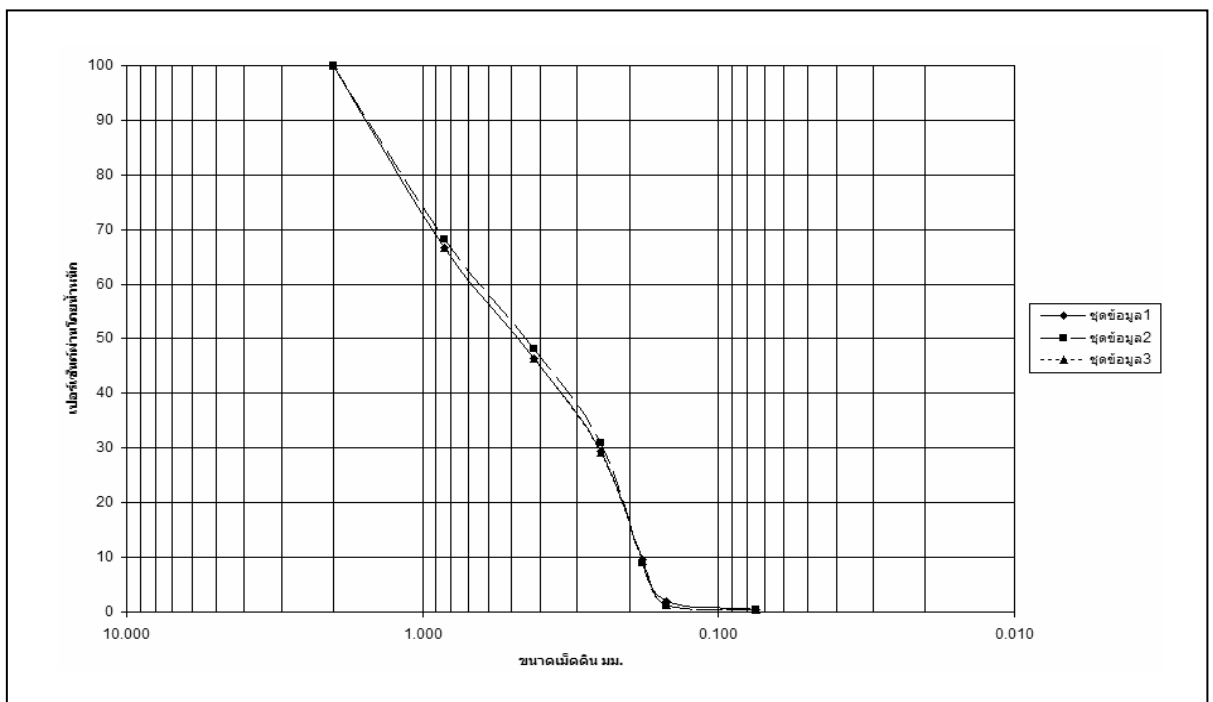
#### 1) การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประมาณค่า Dispersivity ในตัวกลางรูพรุนประเภทดินตะกอน

การทดลองในห้องปฏิบัติการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่า Dispersivity ในระดับ Laboratory Scale (ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากค่าที่ประมาณได้จากการวัดจริงในภาคสนาม ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาต้องทำการ Calibrate ค่าการประมาณจากการจำลองกับข้อมูลจริงที่เก็บได้จากสนามก่อนใช้คาดการณ์การไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจาก Groundwater Model ต่อไป) คณะที่ปรึกษาได้ทำการดำเนินการสำรวจสภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินโดยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 พบว่าลักษณะของชั้นดินและชั้นน้ำในเขตพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้นดินตะกอนความลึกประมาณ 2-5 เมตร จากระดับผิวดิน และชั้นหินแตกร้าวในระดับความลึกมากกว่า 5 เมตร เป็นต้นไป ดังนั้นในการประมาณการค่า Dispersivity และ Retardation Factor เพื่อจำลองและคาดการณ์การไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด จึงต้องใช้ตัวกลางรูพรุนธรรมชาติจากบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการทดลอง

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินตะกอนจากพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการทบทวนประวัติของพื้นที่ศึกษาพบว่ามี การขุดลอกหน้าดินที่คาดว่าจะมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมี จากการ

ลักลอบกลบฝังออกจากพื้นที่ ตั้งแต่ระดับความลึก 0-2 เมตร จากระดับผิวดิน ดังนั้นเพื่อทดลองวัดค่า Dispersion Coefficient ของชั้นดินและชั้นน้ำที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด คณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึกมากกว่า 2 เมตร จากระดับผิวดิน เพื่อนำมาวัดขนาดเม็ดดินด้วยกรรมวิธี Sieve Analysis ผลที่ได้จะถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Soil Characterization Curve ซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดิน และ Accumulative Fraction Percentage ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 7-4

กราฟความสัมพันธ์นี้บ่งบอกถึงลักษณะของดินตะกอนที่ระดับความลึก 3 เมตร ในพื้นที่ศึกษาว่าประกอบด้วยดินชนิดและขนาดใด ในอัตราส่วนเท่าใด ข้อมูลนี้จะทำให้คณะที่ปรึกษาสามารถแยกแยะชนิดของดินได้ชัดเจนมากขึ้น และยังสามารถคำนวณหาขนาดเฉลี่ย ( $d_{50}$ ) ของเม็ดดินได้ด้วย ค่า  $d_{50}$  นี้จะสามารถนำไปคำนวณหา ค่า Permeability และ Hydraulic Conductivity ได้ จากสูตรของ Nuttings



รูปที่ 7-4 Soil Characteristic Curve ของดินตะกอนที่ระดับความลึก 3 เมตร ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

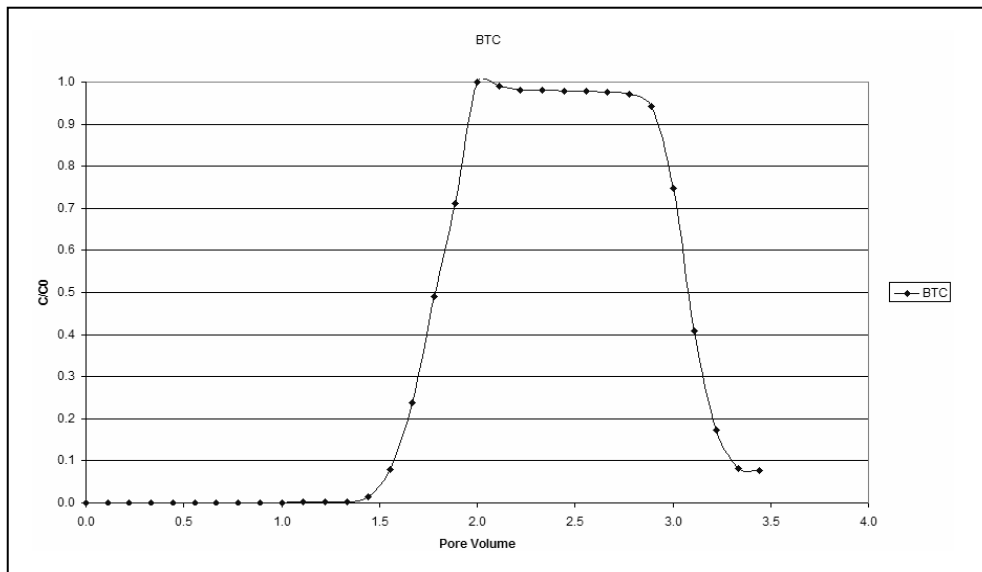
ตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาจะนำมาใช้เพื่อทดสอบหาค่า Dispersivity ของระบบ โดยการ Pack ดินลงในทรงกระบอกแก้ว (Column) ที่ทำจาก Borosilicate Glass ด้วยวิธีการ Pack ที่ได้รับการพัฒนาจาก Standard method ของ USEPA เพื่อให้ได้ตัวกลางรูพรุนที่มีความ Uniform ตลอด นอกจากนี้การ Pack ดินใน Column จะดำเนินการในลักษณะของการทำ Wet Pack เพื่อให้ได้ Column ของดินที่มีลักษณะอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างสม่ำเสมอหลังจาก Pack เสร็จแล้ว จากนั้น Column ที่บรรจุดินตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจะถูก Flush ด้วยน้ำ DI ที่ปราศจากสารปนเปื้อนหรือ Ions ใดๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองในครั้งนี้ได้ สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 1500 ppm ที่เตรียมจากการละลาย NaCl (Chemical Purity 99.99%) ในน้ำ DI จะถูกนำมาใช้เพื่อเป็น Conservative Tracer ในการทดลองครั้งนี้ โดยสารละลายที่จัดเตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.171 mol/l คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการปล่อยสาร Conservative Tracer ที่อัตราการไหล 15 mL/hr และเก็บตัวอย่างสารละลายที่ไหลผ่านตัวกลางรูพรุนที่เป็นตัวแทนดินตะกอนจากบริเวณพื้นที่ศึกษา ณ บริเวณ Outlet ของระบบ เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร Conservative Tracer ที่ละลายได้อย่างสมบูรณ์ ได้นำเครื่องมือวัดความนำไฟฟ้า (Microprocessor Conductivity meter) มาใช้วัดความเข้มข้นของสาร Conservative Tracer ดังรูปที่ 7-5 เนื่องจากหากความเข้มข้นของ Conservative Tracer ที่ใช้สูงเกินไปจะทำให้การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร Conservative Tracer ในห้องปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อนสูง และหากความเข้มข้นของ Conservative Tracer ต่ำเกินไปจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับ Tracer ได้เลย การทดลองแสดงดังรูปที่ 7-6 ในตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์ ข้อมูลความเข้มข้นของสาร Conservative Tracer จะถูกนำมา Plot ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นสัมพัทธ์ (Breakthrough Curve) ดังแสดงในรูปที่ 7-7



รูปที่ 7-5 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า(Microprocessor Conductivity meter)



รูปที่ 7-6 การทดลองหาค่า Dispersion Coefficient



รูปที่ 7-7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและ ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (Breakthrough Curve) เพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาค่า Dispersion Coefficient ของระบบ

การทดสอบเพื่อหาค่า Dispersion Coefficient ในห้องปฏิบัติการจะใช้ข้อมูล Breakthrough Curve ของสาร Conservative Tracer ที่ได้จากการทดลองตามขั้นตอนดังอธิบายข้างต้น สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Central Limit Theorem ทำให้สามารถคำนวณค่า Dispersion Coefficient ได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_L = \left( \frac{v_L L}{8} \right) \left( \frac{J_{0.84} - J_{0.16}}{J_{0.5}} \right)^2$$

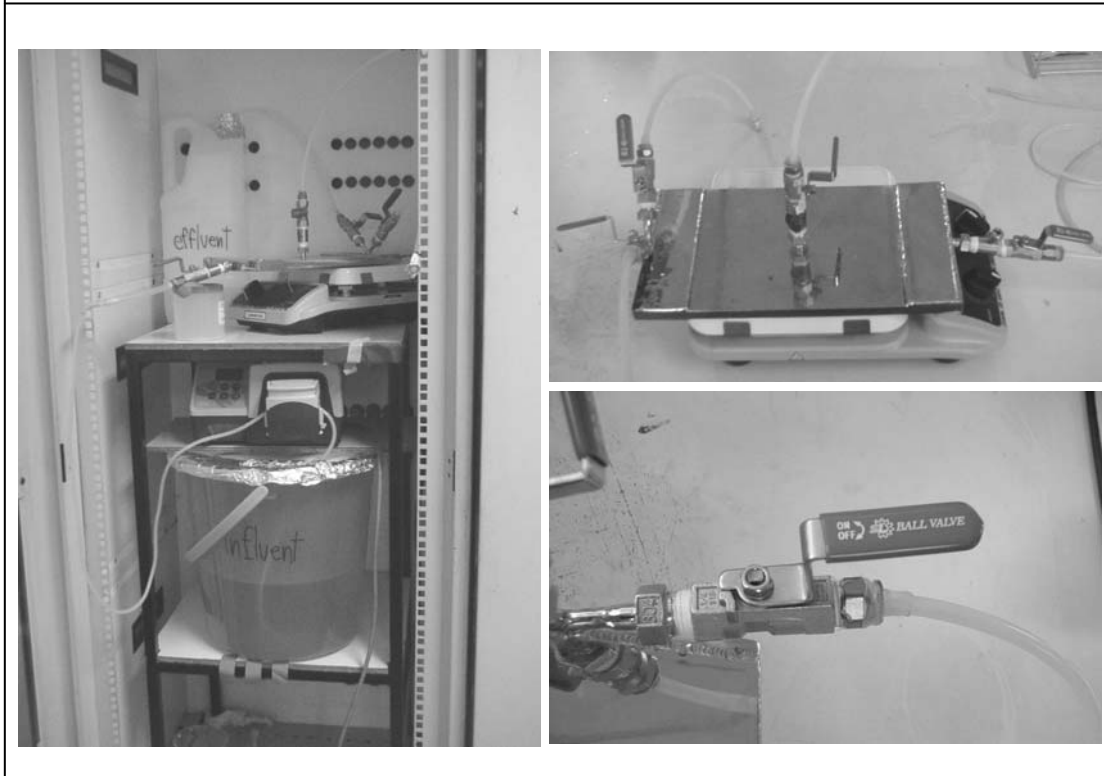
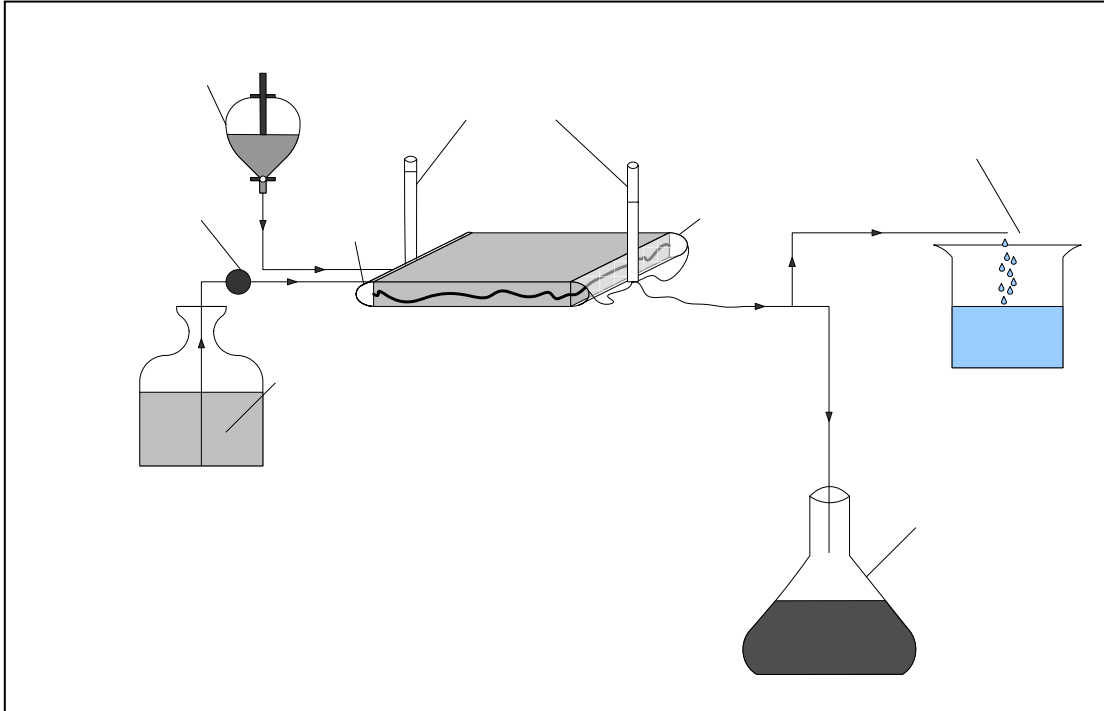
โดยที่  $D_L$  คือค่า Dispersion Coefficient  $v_L$  คือความเร็วการไหลของน้ำใต้ดิน  $L$  คือระยะทางจากจุด inlet ถึง outlet ของ Column  $J_{0.84}$  ,  $J_{0.16}$  และ  $J_{0.5}$  คือจำนวน Pore Volume ของน้ำใต้ดินที่ใช้เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ Tracers เท่ากับ 0.84 , 0.16 และ 0.5 ตามลำดับ

ความเร็วการไหลมีค่า 0.056 ซม./นาที ระยะทางจากจุด Inlet ถึง Outlet ของ Column มีค่า 17.23 ซม. จากหลักการคำนวณดังกล่าวข้างต้นพบว่า ค่า Dispersion Coefficient ของระบบตัวกลางรูปพรุนที่ประกอบด้วยดินตะกอนธรรมชาติจากพื้นที่ศึกษา มีค่า 0.0202 ซม.<sup>2</sup>/นาที และ ค่า longitudinal dispersivity มีค่า 0.36 ซม.

## 2) การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประมาณค่า Dispersivity ในตัวกลางรูพรุนประเภท Fractured Rock

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาบริเวณลัดหลอบฝั่งกลบสารเคมี ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ประกอบด้วยชั้นดินและชั้นน้ำที่เป็นหินปูนมีรอยแตกขนาดเล็ก (Fractured Limestone) ดังนั้นพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินรวมทั้งพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจึงอาจมีลักษณะแตกต่างไปจากพฤติกรรมการไหลในระบบที่ประกอบด้วยชั้นดินตะกอน ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงได้พัฒนาแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกจำลอง (Artificial Fractured Rock System) ขึ้น เพื่อดำเนินการทดสอบประมาณค่า Dispersivity และ Retardation Factor ของสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในระบบน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยหินแตกจำลองที่มีสภาพคล้ายคลึงกับการไหลในสถานะจริงในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 7-8

แบบจำลองทางกายภาพที่ใช้มีขนาดภายนอก  $28 \times 14.8 \times 1.4$  เซนติเมตร ผิวภายนอกของแบบจำลองทางกายภาพสร้างขึ้นจาก Stainless Steel วัตถุประสงค์เพื่อความแข็งแรง ในขณะที่ผิวด้านในทำจาก Borosilicate Glass เพื่อป้องกันการเกิดการดูดซับสารปนเปื้อนบนผิวของแบบจำลอง อันจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ Mass Balance ในแต่ละชุดการทดลอง ขนาดของรอยแตกภายในแบบจำลองเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ด้าน Inlet ของแบบจำลองจะมีการติดตั้ง Valve ที่ทำจาก Stainless Steel เพื่อควบคุมการปล่อยสาร Conservative Tracer สารปนเปื้อนที่ใช้ในการศึกษา และควบคุมอัตราการไหลของน้ำ บริเวณกึ่งกลางของแบบจำลองมีการติดตั้ง Venting Valve ที่ทำจาก Stainless Steel เพื่อระบายอากาศออกจากระบบ บริเวณ Outlet ของระบบมีการติดตั้ง Valve ทำจาก Stainless Steel เพื่อควบคุมการไหลของน้ำออกจากระบบด้วย นอกจากนี้ยังมี Piezometer ติดตั้งที่ Inlet และ Outlet ของระบบ เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า Hydraulic Conductivity ของระบบ อันอาจเกิดจากการอุดตันภายในทำให้น้ำไหลได้ไม่ราบรื่นนัก



Glass Endca

รูปที่ 7-8 แบบจำลองทางกายภาพเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในระบบชั้นน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยหินแตกกร้าว (Fractured Rock)

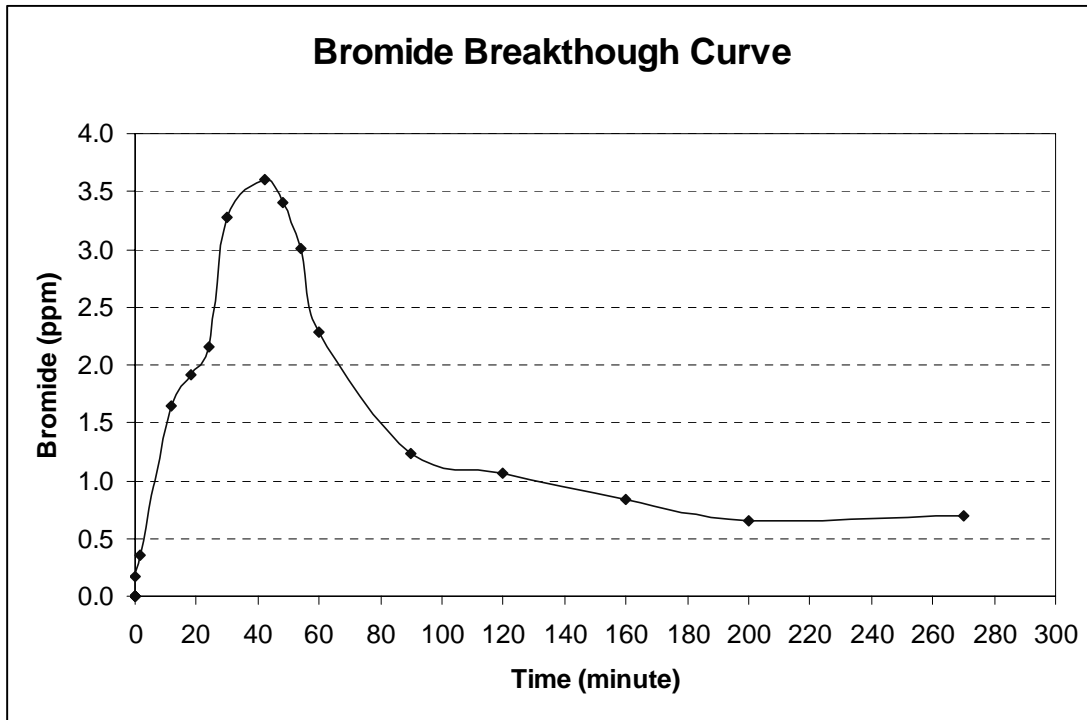
น้ำ DI จะถูก Feed เข้าสู่ระบบโดยใช้ Peristaltic Pump ดังแสดงในรูปที่ 7-8 ด้วยอัตราการสูบที่คงที่เท่ากับ 0.129 L/hr เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง เพื่อให้ระบบเกิดสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์และเพื่อให้ระบบเป็น Steady State อย่างสมบูรณ์ จากนั้นจะเริ่มดำเนินการทดลอง Tracer Test เพื่อใช้เป็น Reference ของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นนี้ สาร NaBr ที่ความเข้มข้น 800 ppm ปริมาณ 1 mL จะถูก Inject เข้าสู่ระบบทดลองที่มีน้ำ DI ไหลอยู่อย่างต่อเนื่อง สาร NaBr ที่ทำการ Inject เข้าสู่ระบบนี้จัดเป็นสาร Conservative Tracer ที่คณะที่ปรึกษาใช้ในการทดลองครั้งนี้ จากนั้นคณะที่ปรึกษาดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำและ NaBr ที่ไหลออกจากระบบทุกๆ 6-10 นาที ในช่วงเวลาระหว่าง 0-300 นาที ผลการทดลองสามารถนำเสนอในรูปแบบตารางดังแสดงในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 ค่าความเข้มข้นของสาร NaBr ในแต่ละช่วงเวลา

Time (minute)	Br- Concentration (ppm)
0	0.00
1.5	0.35
12	1.65
18	1.92
24	2.16
30	3.27
42	3.60
48	3.40
54	3.01
60	2.28
90	1.23
120	1.07
160	0.84
200	0.65
270	0.69



ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไป Plot ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความเข้มข้นของสาร Conservative Tracers หรือเรียกว่า Breakthrough Curve ได้ ดังแสดงในรูปที่ 7-9



รูปที่ 7-9 Breakthrough Curve ของ Bromide ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินร้าว (Fractured Rock)

คณะที่ปรึกษาได้คำนวณหาค่า Dispersion Coefficient จากสมการ

$$D_L = \left( \frac{v_L L}{8} \right) \left( \frac{J_{0.84} - J_{0.16}}{J_{0.5}} \right)^2$$

โดยที่  $D_L$  คือค่า Longitudinal Dispersion Coefficient  $v_L$  คือความเร็วการไหลของน้ำใต้ดิน  $L$  คือระยะทางจากจุด inlet ถึง outlet ของระบบ  $J_{0.84}, J_{0.16}$  , และ  $J_{0.5}$  คือจำนวน Pore Volume ของน้ำใต้ดินที่ใช้เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นสัมพันธ์ของ Tracers เท่ากับ 0.84, 0.16 และ 0.5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังแสดงข้างต้น คณะที่ปรึกษาได้ทำการคำนวณค่า Dispersion Coefficient ของระบบได้เท่ากับ  $2.83 \text{ cm}^2/\text{min}$  ค่า Dispersion Coefficient ที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็น Initial Input Transport Parameter ในการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินต่อไป

### 3) การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประมาณค่า Retardation Factor

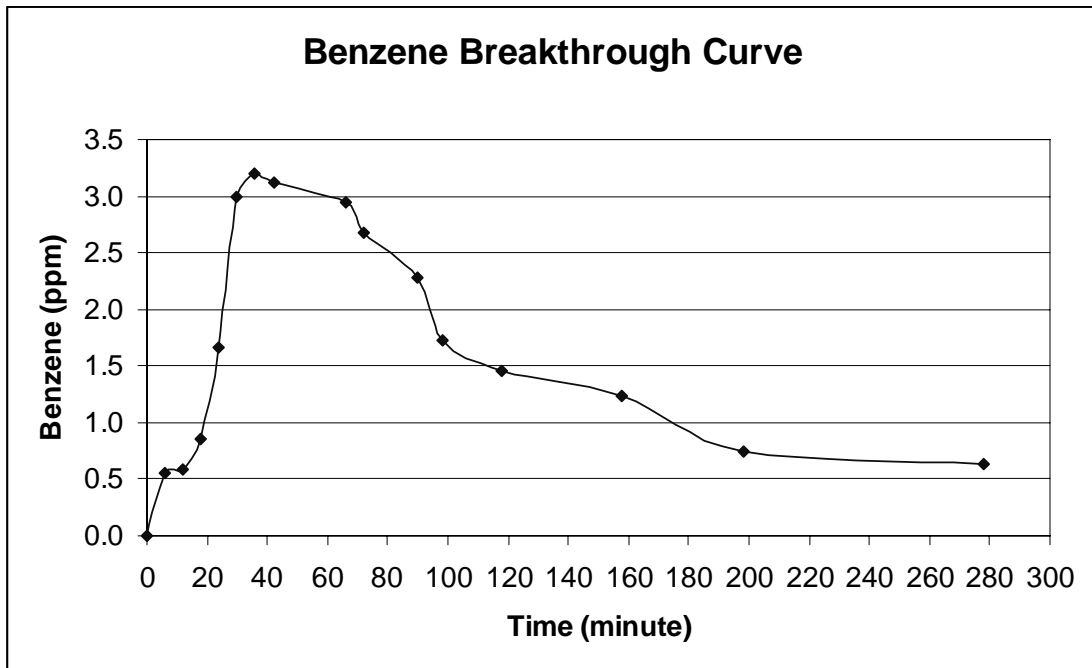
เนื่องจากสารปนเปื้อนหลักที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยสารจำพวก VOCs เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารปนเปื้อนชนิดนี้ยังสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามความหนาแน่นของสารปนเปื้อน ได้แก่ Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNAPL) และ Light Nonaqueous Phase Liquid (LNAPL) ดังนั้นคณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการศึกษาเพื่อประมาณค่า Retardation Factor ของสารปนเปื้อน 2 ชนิด ได้แก่ TCE และ Benzene ซึ่งเป็นตัวแทนของสารปนเปื้อนประเภท DNAPL และ LNAPL ตามลำดับ

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประมาณค่า Retardation Factor ของสาร Benzene และ TCE โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อประมาณค่า Dispersion Coefficient ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยเริ่มจากการ Feed น้ำ DI เข้าสู่ระบบโดยใช้ Peristaltic Pump ด้วยอัตราการสูบที่คงที่เท่ากับ  $0.129 \text{ L/hr}$  เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง เพื่อให้ระบบเกิดสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์และเพื่อให้ระบบเป็น Steady State อย่างสมบูรณ์ด้วย จากนั้นจะเริ่มดำเนินการทดลองโดยการเตรียมสารละลาย Benzene  $75 \text{ mM}$  ในน้ำ DI และ Inject สารละลาย Benzene ที่เตรียมไว้เข้าสู่ระบบการทดลองจำนวน  $1 \text{ mL}$  อย่างต่อเนื่อง จากนั้นคณะที่ปรึกษาดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำและ Benzene ที่เคลื่อนที่ออกจากระบบทุกๆ 6-10 นาที ในช่วงเวลาระหว่าง 0-300 นาที ผลการทดลองสามารถนำเสนอในรูปแบบตารางดังแสดงในตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2 ค่าความเข้มข้นของสาร Benzene ในแต่ละช่วงเวลา

Time (minute)	Benzene Concentration (ppm)
0	0
6	0.55
12	0.58
18	0.85
24	1.66
30	2.99
36	3.20
42	3.12
66	2.94
72	2.67
90	2.28
98	1.73
118	1.46
158	1.24
198	0.74
278	0.63

ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไป Plot ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความเข้มข้นของสาร Benzene หรือเรียกว่า Breakthrough Curve ของ Benzene ได้ ดังแสดงในรูปที่ 7-10



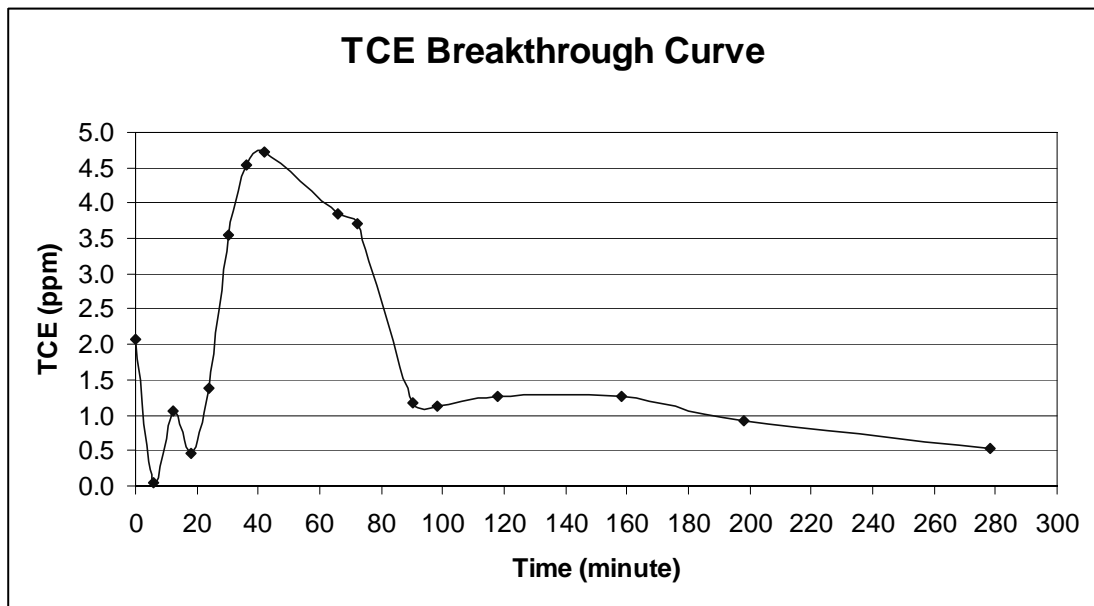
รูปที่ 7-10 Breakthrough Curve ของ Benzene ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทางกายภาพ ที่ประกอบด้วยหินร้าว (Fractured Rock)

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประมาณค่า Retardation Factor ของสาร TCE โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อประมาณค่า Dispersion Coefficient ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยเริ่มจากการ Feed น้ำ DI เข้าสู่ระบบโดยใช้ Peristaltic Pump ด้วยอัตราการสูบที่คงที่เท่ากับ 0.129 L/hr เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง เพื่อให้ระบบเกิดสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์และเพื่อให้ระบบเป็น Steady State อย่างสมบูรณ์ด้วย จากนั้นจะเริ่มดำเนินการทดลองโดยการเตรียมสารละลาย TCE 75 mM ในน้ำ DI และ Inject สารละลาย TCE ที่เตรียมไว้เข้าสู่ระบบการทดลองจำนวน 1 mL อย่างต่อเนื่อง จากนั้นคณะที่ปรึกษาดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำและ TCE ที่เคลื่อนที่ออกจากระบบทุกๆ 6-10 นาที ในช่วงเวลาระหว่าง 0-300 นาที ผลการทดลองสามารถนำเสนอในรูปแบบตารางดังแสดงในตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3 ค่าความเข้มข้นของสาร TCE ในแต่ละช่วงเวลา

Time (minute)	TCE Concentration (ppm)
0	2.08
6	0.05
12	1.06
18	0.45
24	1.39
30	3.55
36	4.54
42	4.72
66	3.84
72	3.71
90	1.17
98	1.12
118	1.26
158	1.26
198	0.92
278	0.52

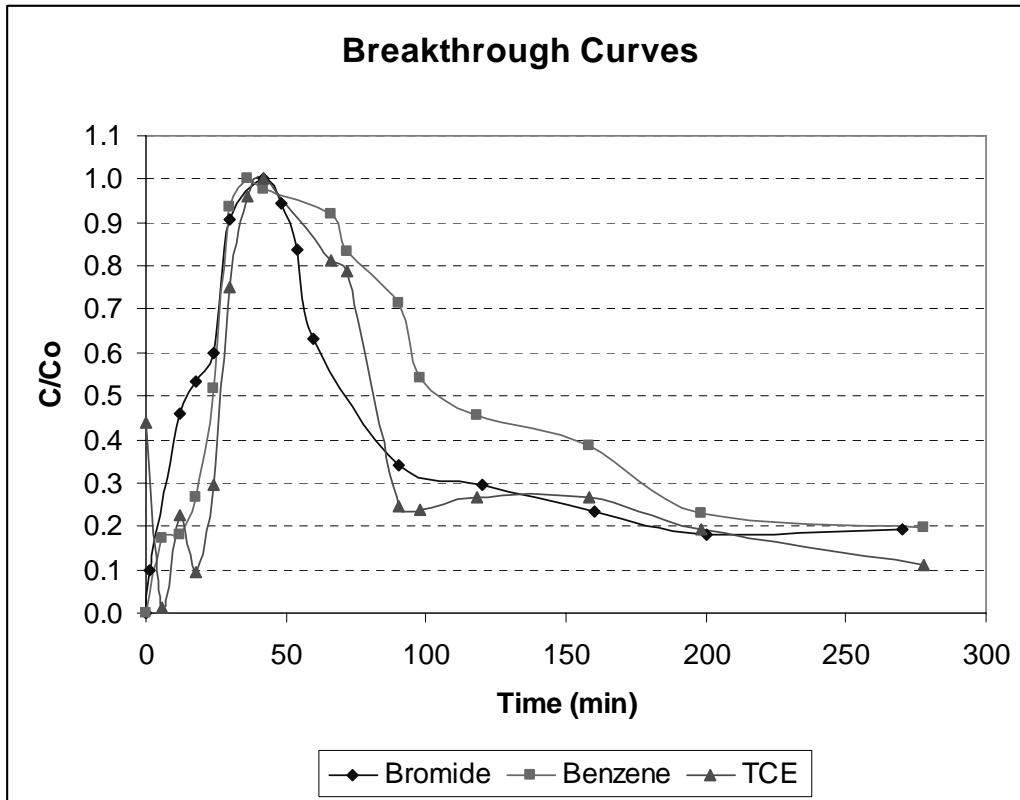
ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไป Plot ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าความเข้มข้นของสาร TCE หรือเรียกว่า Breakthrough Curve ของ TCE ได้ ดังแสดงในรูปที่ 7-11



รูปที่ 7-11 Breakthrough Curve ของ TCE ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกกร้าว (Fractured Rock)

คณะที่ปรึกษาได้ทำการคำนวณมวลสารปนเปื้อนของ Benzene และ TCE ที่สามารถ Recover ได้ที่บริเวณ Outlet ของระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดผลของ Volatilization ต่อมวลสาร Benzene และ TCE ที่ Inject เข้าสู่ระบบ จากการคำนวณพบว่าสามารถ Recover มวลของสารปนเปื้อนได้ถึง 97.7% และ 83.6% สำหรับ Benzene และ TCE ตามลำดับ

การคำนวณหาค่า Retardation Factors ของสาร Benzene และ TCE จากการทดลองในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยนำข้อมูล Breakthrough Curves ของ Bromide, Benzene และ TCE มา Plot ร่วมกัน เพื่อเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน Benzene และ TCE เมื่อเทียบกับสาร Conservative Tracer ดังแสดงในรูปที่ 7-12



รูปที่ 7-12 Breakthrough Curves ของ Bromide, Benzene, และ TCE ในการไหลผ่านระบบแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว (Fractured Rock)

จากการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของสารปนเปื้อนได้แก่ Benzene และ TCE กับ Conservative Tracer ที่ใช้ในการทดลอง (Br-) พบว่า ทั้งสาร Benzene และ TCE เคลื่อนที่ในน้ำใต้ดินในระบบ Fractured Rock ได้ช้ากว่า Bromide นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของสารปนเปื้อน Benzene และ TCE พบว่า Benzene สามารถเคลื่อนที่ในน้ำใต้ดินในระบบ Fractured Rock ได้เร็วกว่า TCE ดังจะเห็นได้ว่า Benzene สามารถ Breakthrough ออกจาก Fracture ได้ก่อน ดังนั้นค่า Retardation Factors ของสาร Benzene และ TCE สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_f = \frac{\bar{V}_{\text{contaminant}}}{\bar{V}_{\text{tracer}}}$$

จากผลการทดลองพบว่า ค่า Retardation Factors ของ Benzene และ TCE เท่ากับ 1.60 และ 2.00 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากการทดลองนี้มีความใกล้เคียงกับค่า Retardation Factors ที่รายงานในงานศึกษาวิจัยในอดีตที่ผ่านมาที่รายงานค่า Retardation Factors ของสาร Benzene เท่ากับ 1.60 (Da Silva and Alvarez, 2002) และ 2.50 สำหรับ TCE (Davis 2003)

## 7.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เทคนิค PITT ในห้องปฏิบัติการ

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ในการ Partition ระหว่างเฟสต่างๆในน้ำและสาร NAPL และความแตกต่างเชิงพฤติกรรมของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการดำเนินการทดลองดังนี้

- ศึกษาความสามารถในการ Partition ของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะสมดุล
- สาธิตการประยุกต์ใช้เทคนิค PITT ในการประมาณการปริมาณของสาร NAPL ภายใต้สภาวะควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ
- ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับ Partitioning Alcohol ในการถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีววิธี (Biodegradability) (หัวข้อ 7.2.3)

### 1) Materials and Methods

- สารเคมี (Tracer และสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหย)

คณะที่ปรึกษาได้เลือกใช้ Trichloroethylene (TCE, Lab-Scan, Analytical Reagent A.R. Assay GC 99.5%) ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่ม DNAPL เป็นสารปนเปื้อนหลักในการทดลอง TCE ถูกเลือกนำมาใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อน เนื่องจาก TCE สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก และเป็นสารปนเปื้อนที่พบได้บ่อยที่สุดในชั้นน้ำใต้ดินทั่วโลก

แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ที่เลือกใช้ประกอบด้วย Partitioning Alcohol ซึ่งสามารถ Partition ในน้ำและ TCE จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Iso-Propanol (HPLC Grade 99.9%, Fluka), Methanol



(HPLC Grade 99.5%, Fluka), และ Ethanol (CDA 19) สำหรับ Non-Partitioning Tracer ที่เลือกใช้คือสาร Conservative Tracer จำพวก Sodium Bromide ซึ่งไม่สามารถ Partition ในเฟสของ TCE ได้ ซึ่งเตรียมจากเกลือโซเดียมโบรไมด์ (NaBr, UNILAB)

- การเตรียมสารละลายมาตรฐาน (Standards)

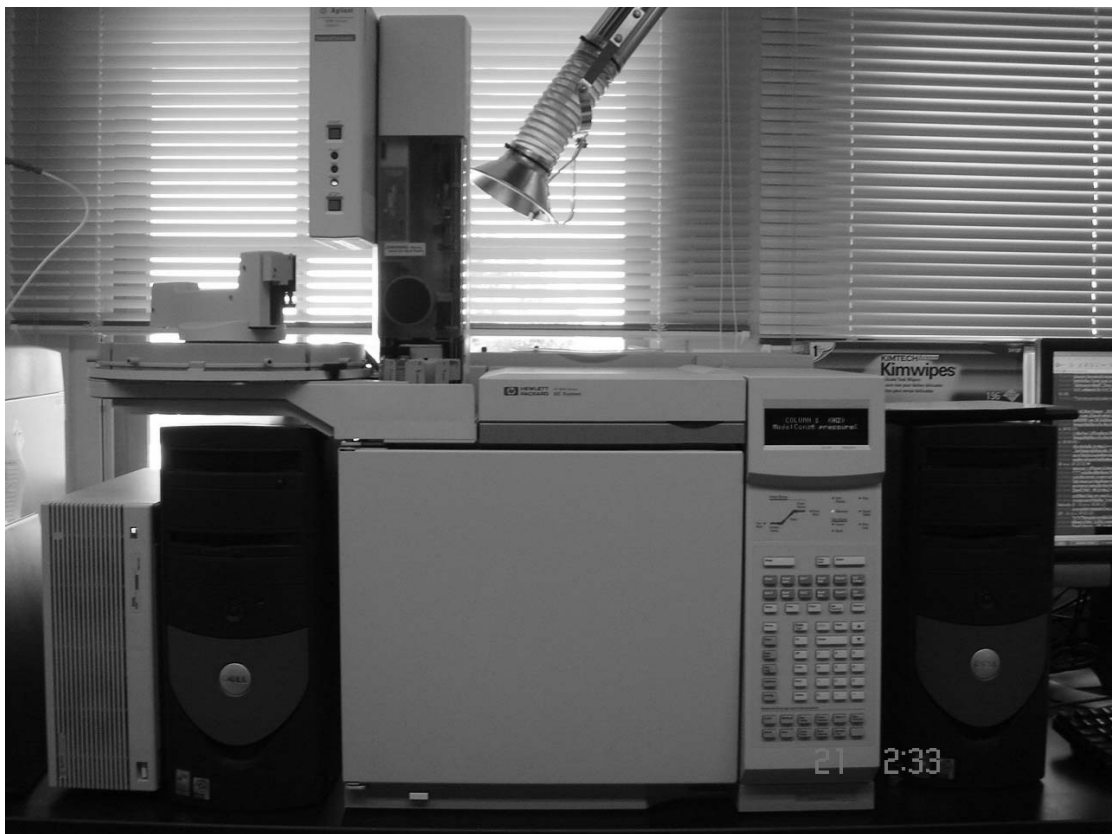
เตรียมสารละลายมาตรฐานโบรไมด์ (Br<sup>-</sup>) ในน้ำ Milli-Q water จำนวน 6 ชุดความเข้มข้นจากสารละลายมาตรฐานโบรไมด์หลักที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Bromide, BAM Certified Anion Standard Solution, Fluka) ดังนี้ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ กรองผ่านกระดาษกรองชนิดแผ่นทำจากเยื่อกรองเซลลูโลสอะซีเตท (Cellulose Acetate Filter) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน (0.45  $\mu\text{M}$ ) สารละลายมาตรฐานที่กรองได้จะถูกนำมาบรรจุลงในขวดวิเคราะห์เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโบรไมด์ไอออนด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatograph, ICS-2500, Dionex)

- เครื่องมือวิเคราะห์

การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ไอออน (Br<sup>-</sup>) ทำโดยใช้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatograph, ICS-2500, Dionex) ต่อกับคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (Conductivity Detector), คอลัมน์วิเคราะห์ (IonPac ASII, Dionex) ต่อกับแคทไอออนซัพเพรสเซอร์ (Cation Suppressor) โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 12 มิลลิโมลาร์ เป็น Eluent , ปริมาณการฉีดสารตัวอย่างและอัตราการไหลผ่านคอลัมน์เท่ากับ 80 ไมโครลิตร และ 1 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ ทั้งนี้เครื่อง Ion Chromatograph ตามลักษณะการ Setup ดังกล่าวข้างต้นจะขีดความสามารถในการวิเคราะห์ (Detection Limit) ของโบรไมด์ไอออนต่ำเพียงพอเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ดำเนินการโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph, GC Agilent Technologies 6890N) ต่อเชื่อมกับเฟลมไอออนไนเซชันดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector, FID) โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 7-13 เพื่อให้การวิเคราะห์ความเข้มข้นของ TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ เป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพนั้น เครื่อง GC จะถูก Set ภายใต้อุปกรณ์การทำงานดังต่อไปนี้ : คอลัมน์วิเคราะห์ DB-5 5% ฟีนิลเมทิลไซลอกเซน (5% Phenyl Methyl Siloxane)

ขนาด 30.0 เมตร x 320 ไมครอน x 0.25 ไมครอน) โหมดการฉีดสารตัวอย่าง (Injection Mode) : สปลิตเลส (Splitless) อัตราการพาตัวอย่าง (Flow Rate) เท่ากับ 24 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณการฉีดสารตัวอย่างเท่ากับ 2 ไมโครลิตรที่ 250 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็น Carrier Gas ที่แรงดัน 5.11 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การตั้งโปรแกรมอุณหภูมิในตู้อบ เริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียสที่อัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิในดีเทคเตอร์เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ทางคณะที่ปรึกษาได้ทำการ Set Post Run ของ Method ไว้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในเตาอบให้สูงขึ้นถึง 250°C เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่อาจจะตกค้างอยู่ใน Column และ Injector ออกก่อน อันอาจก่อให้เกิดการ Carry Over ของสารเหล่านี้ส่งผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อน ขีดความสามารถในการวิเคราะห์ (Detection Limit) ของ TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์เท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 7-13 เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ต่อกับ Automated Sampler ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร TCE และแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์

- ชุดทดลองการทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT

ชุดทดลองการทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT ที่ได้พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับการทดลองนี้ดังแสดงในรูปที่ 7-14 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 7-14 ระบบชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT

- Syringe Pump (Harvard Apparatus) สำหรับจ่ายแอลกอฮอล์เทรเซอร์ หรือน้ำ Milli-Q เข้าสู่ Reactor เป็น Pump ขนาดเล็กที่มีความละเอียดสูงกว่า Pump ทั่วไป และสามารถใช้งานในระบบที่มีความดันสูงได้ มีระบบควบคุมอัตราการจ่ายของเหลวด้วยระบบ Digital เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการทดลอง
- Gas-Tight Syringe (Hamilton) สำหรับบรรจุของเหลวที่เป็น Influent ของระบบ เช่น แอลกอฮอล์เทรเซอร์ หรือน้ำ Milli-Q มีลักษณะพิเศษคือระบบ Gas-Tight สามารถกัก

เก็บไอระเหยของ Influent Liquid ที่ใช้ได้ ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียมวลสารออกจากระบบ ซึ่งมีความสำคัญมากเนื่องจาก Influent Liquid ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติระเหยได้ง่าย เช่น แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์

- Reactor ทำจาก Borosilicate Glass เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีที่ใช้ในการทดลองกับผิวสัมผัสด้านในของ Reactor นอกจากนี้วัสดุจำพวก Borosilicate Glass ยังป้องกันการเกิดกระบวนการดูดซับติดผิว (Sorption) ระหว่างสาร TCE และผิวสัมผัสด้านในของ Reactor อีกด้วย ปริมาตรทั้งหมดของ Reactor เท่ากับ 10 mL ด้านบนสามารถเปิดออกได้ (สำหรับเติมสารต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ) ด้านข้างของ Reactor ถูกออกแบบมาให้สามารถต่อเชื่อมเข้ากับท่อขนาดเล็ก (Inner Diameter 0.38 mm) เพื่อเป็น Effluent Line ออกจาก Reactor
- ท่อ Effluent ทำจาก Stainless Steel อย่างดีมีคุณสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาต่างๆ (Inert) เพื่อป้องกันการเกิด Sorption ท่อ Effluent และ Reactor ต่อเชื่อมกันด้วยข้อต่อทำจาก Teflon โดยมี Teflon Tape พันไว้เพิ่มความแน่น เพื่อป้องกันการสูญเสียมวลสารออกจากระบบส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้
- Micro Magnetic Stir Bars จำนวน 6 อัน ใส่ไว้ภายใน Reactor โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ กวนผสมภายใน Reactor ส่งผลให้เกิดสภาวะ Completely Mix นำไปสู่สภาวะสมดุลอย่างสมบูรณ์ต่อไป Micro Magnetic Stir Bars ที่เลือกใช้มีขนาด 1×3 mm เคลือบด้วย Teflon เพื่อป้องกันการเกิด Sorption อันจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียมวลสาร TCE และ แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์
- Magnetic Stirrer สำหรับสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของ Micro Magnetic Stir Bars ใน Reactor
- Effluent Vial ขนาด 2 mL เพื่อใช้เก็บตัวอย่างน้ำ ที่ได้จาก Effluent Line ของ Reactor เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วจะทำการปิดฝาทันทีเพื่อป้องกันการสูญเสียมวลสารอันเนื่องมาจากการระเหย ฝาที่ใช้ในการทดลองทำจากอะลูมิเนียมเคลือบผิวด้านในด้วย PTFE ซึ่งสามารถป้องกันการ Sorption ได้เป็นอย่างดี

## 2) การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT

การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT ประกอบด้วย 2 การทดลองหลัก ดังนี้

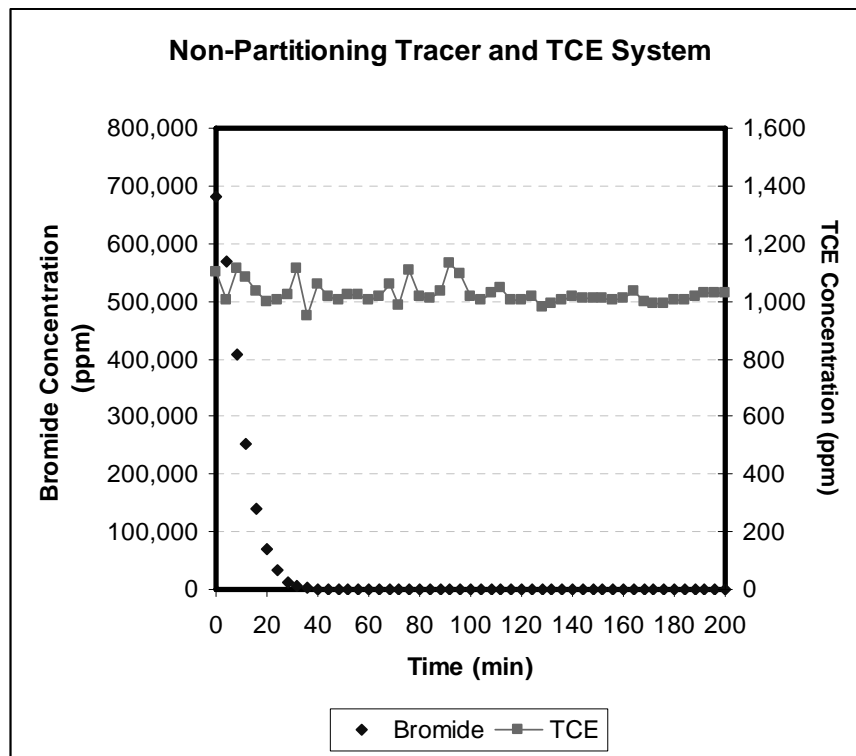
### 2.1) การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเกิด Co-solvency ระหว่าง แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และสารปนเปื้อน TCE และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohol ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 100% Cosolvent

เนื่องจากแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ที่ใช้ในเทคนิค PITT เพื่อประมาณการปริมาณสารปนเปื้อน NAPL ที่ตกค้างในชั้นน้ำนั้น สามารถ Partition ระหว่างเฟสของน้ำและ NAPL ได้ เมื่อเกิดการ Partitioning ขึ้นจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Co-Solvency ขึ้น หมายถึง การที่แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ที่ใช้มีสถานะเป็นตัวทำละลาย TCE ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของ TCE ในระบบเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ เพื่อทดสอบความสามารถในการเกิด Co-Solvency ระหว่างแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆและสารปนเปื้อน TCE ในระบบ และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohols ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 100% Cosolvent

ในขั้นตอนนี้คือขณะที่ปรึกษาดำเนินการทดลองโดยเติมสาร TCE จำนวน 1 g ลงใน Reactor ที่ได้พัฒนาขึ้น จากนั้นจึงเติมแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ ชนิดที่เป็น Partitioning Alcohol ได้แก่ Iso-Propanol (IPA) หรือ Methanol ให้เต็มพอดีและไม่มี Headspace เกิดขึ้นภายใน Reactor เพื่อให้มวลสารในระบบอยู่ในเฟสของของเหลวทั้งหมด โดยที่ปริมาตรของเหลวทั้งหมดเท่ากับ 10 mL เติม Magnetic Stir Bar จำนวน 6 อัน จากนั้นจึงปิดฝาของ Reactor ด้วยวิธี Crimp Seal โดยใช้ PTFE Coated Septum และฝาอะลูมิเนียม เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลจึงเริ่มดำเนินการทดลอง โดยจำลองการไหลของน้ำใต้ดินผ่านระบบของแอลกอฮอล์-NAPL โดยการใช้ Syringe Pump ส่งน้ำ Milli-Q เข้าสู่ Reactor ด้วยอัตราการไหล 0.5 mL/min เมื่อน้ำ Milli-Q ผ่านเข้าสู่ Reactor แล้ว จะเกิดการผสมกับแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และ TCE ใน Reactor อย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะสมดุล Effluent จาก Reactor จะถูกเก็บไว้ใน Vial ทุกๆ 4 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และ TCE ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph ต่อไป นอกจากนี้ขณะที่ปรึกษายังได้ดำเนินการทดลองในระบบที่เป็นตัวควบคุม (Control) โดยใช้ Non-Partitioning Tracer คือ Bromide Ions ในระบบลักษณะเดียวกัน และมีค่าความเข้มข้นของ Bromide Ions เริ่มต้นในระบบใกล้เคียงกับในระบบของ IPA-TCE และ Methanol-TCE ผลการทดลองแสดงความเข้มข้นของ Non-Partitioning Tracer และ TCE ใน Effluent จาก Reactor แสดงในรูปที่ 7-

15 ในขณะที่ผลการทดลองในระบบที่ประกอบด้วย IPA-TCE แสดงในรูปที่ 7-16 ส่วนผลการทดลองในระบบที่ประกอบด้วย Methanol-TCE แสดงในรูปที่ 7-17 ตามลำดับ

ในระบบ Non-Partitioning Tracer (i.e., Conservative Tracer) ที่ประกอบด้วย TCE และ Bromide นั้น จะสังเกตเห็นการแยกชั้นระหว่างเฟสของ TCE และ Tracer อย่างชัดเจน เนื่องจาก TCE มีความสามารถในการละลายในน้ำได้อย่างจำกัด นอกจากนี้ Non-Partitioning Tracer หรือ โบรไมด์ไอออน ที่ใช้ในระบบนั้นเป็น Conservative Tracer ที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ และไม่ Partition ในเฟสของ TCE

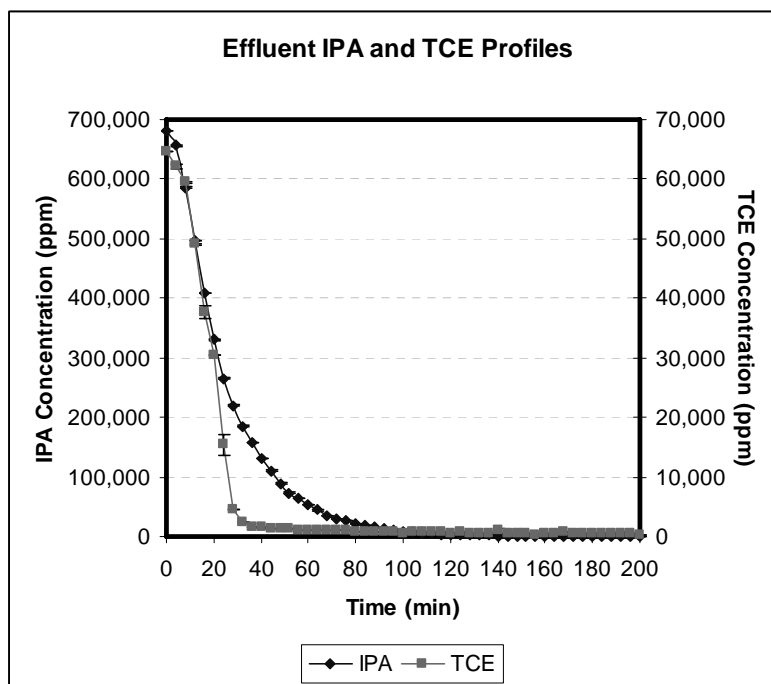


รูปที่ 7-15 Bromide Ions และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย Non-Partitioning Tracer และ TCE

ผลการทดลองจากรูปที่ 7-15 ของระบบ Non-Partitioning Tracer สอดคล้องตามทฤษฎี กล่าวคือเมื่อมีการ Feed น้ำ Milli-Q เข้าสู่ระบบใน Reactor จะทำให้โบรไมด์ไอออนเดินทางออกจาก Reactor เข้าสู่ Effluent Line ทำให้สามารถตรวจพบ Bromide Ions ได้ จากนั้นค่าความเข้มข้นของ Bromide Ions ใน Effluent จะลดลงอย่างรวดเร็ว (แกน Y ด้านซ้ายมือ) อันเกิดจาก

การ Dilution ภายใน Reactor โดยที่ไม่สามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นของ Bromide Ions ใน Effluent ได้หลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 30 นาที ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent (แกน Y ด้านขวามือ) จะตรวจวัดได้ค่อนข้างคงที่อยู่ที่ความเข้มข้นประมาณ 1,000 ppm

**รูปที่ 7-16** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ IPA (แกน Y ด้านซ้ายมือ) และ TCE (แกน Y ด้านขวามือ) ใน Effluent กับเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7-16 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ IPA เริ่มต้น (i.e.,  $t = 0$  min) ในระบบ IPA-TCE มีค่าประมาณ 700,000 mg/L ในขณะที่ความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นในระบบ (i.e.,  $t = 0$  min) มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับขีดความสามารถในการละลายน้ำของ TCE โดยที่ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 65,000 mg/L ซึ่งสูงกว่าขีดความสามารถในการละลายในน้ำของ TCE (i.e., TCE Solubility Limit in Water at  $25^{\circ}\text{C} = 1,000$  mg/L) ถึง 65 เท่า แสดงว่าเกิดปรากฏการณ์ Co-Solvency ขึ้นในระบบภายใต้สภาวะสมดุล สามารถอธิบายได้ว่า IPA (i.e., แอลกอฮอล์เทอร์เซอรั) ที่ใช้ในระบบภายใต้สภาวะที่สมดุลสามารถเพิ่มความสามารถในการละลาย TCE จาก เฟสของ NAPL ให้ออกมาอยู่ในเฟสของสารละลายได้มากขึ้นถึง 65 เท่า



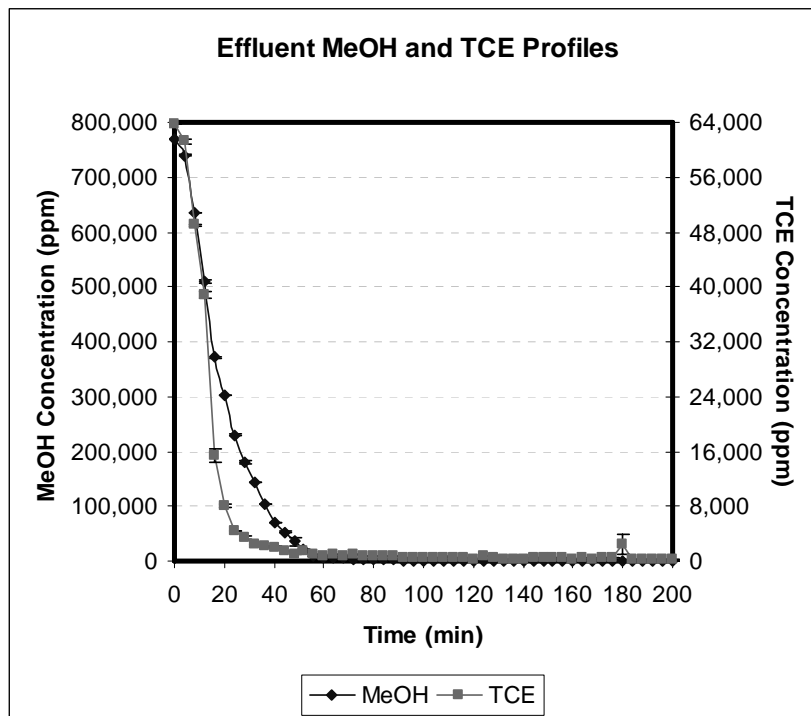
**รูปที่ 7-16** IPA และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย IPA และ TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent

เนื่องจากไม่มีการแยกเฟสระหว่าง TCE และ IPA เพราะ IPA สามารถ Partition ในเฟสของ TCE ได้ เมื่อน้ำ Milli-Q เริ่มถูก Feed เข้าสู่ใน Reactor มากขึ้น IPA ที่เคย Partition อยู่ในเฟสของ TCE เมื่อเริ่มต้นการทดลอง จะเริ่ม Partition เข้าสู่เฟสของน้ำและ TCE ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากน้ำใน Reactor ยังคงมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของ TCE และ IPA ทำให้ IPA ส่วนใหญ่ในระบบในช่วงเริ่มต้นการทดลองจะยังคง Partition ในเฟสของ TCE ในขณะที่เดียวกันกลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE-IPA-น้ำ จะถูก Flush ออกมาจาก Reactor ในรูปของ Effluent อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเข้มข้นของ IPA และ TCE ใน Effluent ลดลงอย่างรวดเร็วต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลอง (0-30 นาทีแรก) ดังแสดงในรูปที่ 7-15 มวลของ TCE จะถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent ได้เกือบทั้งหมดภายใน 30 นาทีหลังดำเนินการทดลอง ดังจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของ TCE ที่ลดลงมากกว่า 30 เท่า เทียบกับความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้น หลังจาก 30 นาทีผ่านไปพบว่าน้ำ Milli-Q ได้เข้าสู่ Reactor เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่ง IPA ที่เหลือในระบบสามารถ Partition ระหว่างเฟสของน้ำและ TCE ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ Partitioned Phase ของ TCE-IPA ยังคงถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent อย่างต่อเนื่อง น้ำ Milli-Q ยังคงถูก Feed เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาตรส่วนใหญ่ของของเหลวใน Reactor เป็นน้ำโดยมี TCE และ IPA เหลือเป็นส่วนน้อย IPA ที่เคย Partition ในเฟสของ TCE จะค่อยๆ เกิดการ Partition ออกจากเฟสของ TCE เข้าสู่เฟสของน้ำ แล้วจึงถูก Flush ออกมาพร้อมกับ Effluent ดังจะสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของ IPA จะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อเวลามากกว่า 30 นาทีดังแสดงในรูปที่ 7-15 โดยที่กราฟความเข้มข้นของ IPA จะมีความลาดชันต่ำกว่าในช่วงเวลา 0-30 นาทีแรกนับจากเริ่มดำเนินการทดลอง ส่งผลให้เกิดลักษณะของ Tailing อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของ IPA ลดลงจนกระทั่งไม่สามารถตรวจพบได้ใน Effluent ที่เวลาประมาณ 124 นาทีหลังเริ่มดำเนินการทดลอง คณะที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ IPA ใน Reactor ไม่พบ IPA ตกค้างอยู่ใน Reactor เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง การลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ IPA ใน Effluent ที่สังเกตพบนี้เกิดจากการ Partition ของ IPA ออกจากเฟสของ TCE เนื่องจากยังสามารถตรวจพบ TCE ทั้งใน Effluent และใน Reactor เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ IPA ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ Dilution ภายใน Reactor

**รูปที่ 7-17** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Methanol (แกน Y ด้านซ้ายมือ) และ TCE (แกน Y ด้านขวามือ) ใน Effluent กับเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7-17 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ Methanol เริ่มต้น (i.e.,  $t = 0$  min) ในระบบ IPA-

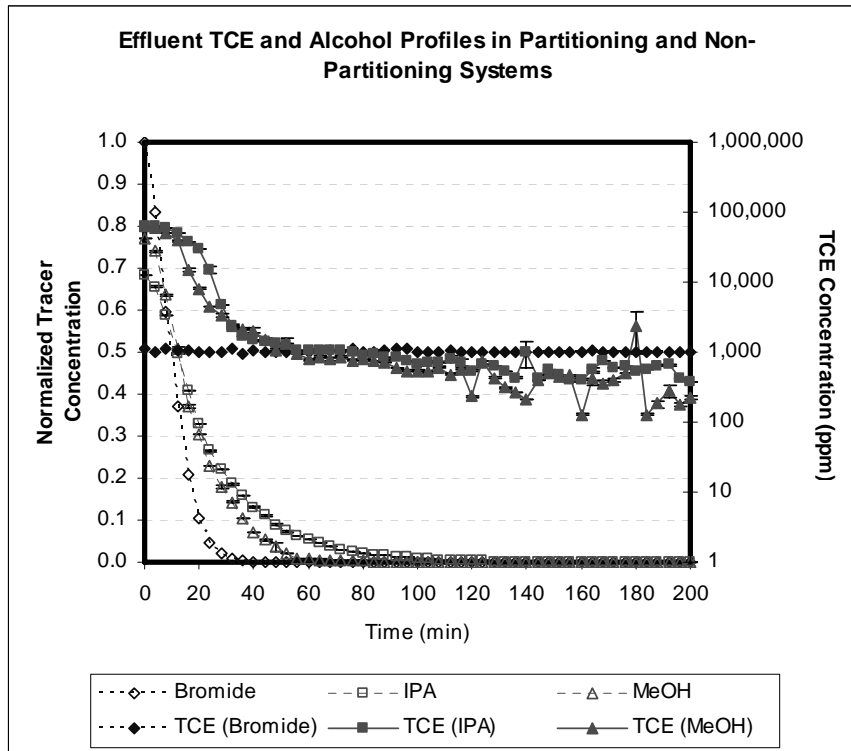


TCE มีค่าประมาณ 700,000 mg/L ในขณะที่ความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นในระบบ (i.e.,  $t = 0$  min) มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับขีดความสามารถในการละลายน้ำของ TCE โดยที่ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 64,000 mg/L ซึ่งสูงกว่าขีดความสามารถในการละลายในน้ำของ TCE (i.e., TCE Solubility Limit in Water at  $25^{\circ}\text{C} = 1,000$  mg/L) ถึง 64 เท่า แสดงว่าเกิด Co-Solvency ขึ้นในระบบภายใต้สภาวะสมดุล สามารถอธิบายได้ว่า IPA (i.e., แอลกอฮอล์เทอร์เซออร์) ที่ใช้ในระบบภายใต้สภาวะที่สมดุลสามารถเพิ่มความสามารถในการละลาย TCE จาก เฟสของ NAPL ให้ออกมาอยู่ในเฟสของสารละลายได้มากขึ้นถึง 64 เท่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกิด Co-Solvency ในระบบ MeOH-TCE กับระบบ IPA-TCE ที่ได้ดำเนินการทดลองก่อนหน้านี้ (รูปที่ 7-15) พบว่าประสิทธิภาพการเกิด Co-Solvency ในระบบ MeOH-TCE ต่ำกว่าระบบ IPA-TCE ที่อัตราส่วน Alcohol:TCE เดียวกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆในการจัดการสารปนเปื้อนจำพวก NAPL ในพื้นที่ปนเปื้อนต่อไป



รูปที่ 7-17 Methanol และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบประกอบด้วย MeOH และ TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent

เนื่องจากไม่มีการแยกเฟสระหว่าง TCE และ MeOH เพราะ MeOH สามารถ Partition ในเฟสของ TCE ได้ เมื่อน้ำ Milli-Q เริ่มถูก Feed เข้าสู่ใน Reactor มากขึ้น MeOH ที่เคย Partition อยู่ในเฟสของ TCE เมื่อเริ่มต้นการทดลอง จะเริ่ม Partition เข้าสู่เฟสของน้ำและ TCE ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากน้ำใน Reactor ยังคงมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของ TCE และ MeOH ทำให้ MeOH ส่วนใหญ่ในระบบในช่วงเริ่มต้นการทดลองจะยังคง Partition ในเฟสของ TCE ในขณะเดียวกันกลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE- MeOH -น้ำ จะถูก Flush ออกมาจาก Reactor ในรูปของ Effluent อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเข้มข้นของ MeOH และ TCE ใน Effluent ลดลงอย่างรวดเร็วต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลอง (0-40 นาทีแรก) ดังแสดงในรูปที่ 7-16 มวลของ TCE จะถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent ได้เกือบทั้งหมดภายใน 40 นาทีหลังดำเนินการทดลองดังจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของ TCE ที่ลดลงมากกว่า 30 เท่า เทียบกับความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้น หลังจาก 40 นาทีผ่านไปพบว่าน้ำ Milli-Q ได้เข้าสู่ Reactor เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่ง MeOH ที่เหลือในระบบสามารถ Partition ระหว่างเฟสของน้ำและ TCE ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ Partitioned Phase ของ TCE- MeOH ยังคงถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent อย่างต่อเนื่อง น้ำ Milli-Q ยังคงถูก Feed เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาตรส่วนใหญ่ของของเหลวใน Reactor เป็นน้ำโดยมี TCE และ MeOH เหลือเป็นส่วนน้อย MeOH ที่เคย Partition ในเฟสของ TCE จะค่อยๆเกิดการ Partition ออกจากเฟสของ TCE เข้าสู่เฟสของน้ำแล้วจึงถูก Flush ออกมาพร้อมกับ Effluent ดังจะสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของ MeOH จะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อเวลามากกว่า 40 นาทีดังแสดงในรูปที่ 7-16 โดยที่กราฟความเข้มข้นของ MeOH จะมีความลาดชันต่ำกว่าในช่วงเวลา 0-40 นาทีแรกนับจากเริ่มดำเนินการทดลอง ส่งผลให้เกิดลักษณะของ Tailing อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของ MeOH ลดลงจนกระทั่งไม่สามารถตรวจพบได้ใน Effluent ที่เวลาประมาณ 60 นาทีหลังเริ่มดำเนินการทดลอง ขณะที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ MeOH ใน Reactor ไม่พบ MeOH ตกค้างอยู่ใน Reactor เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง การลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ MeOH ใน Effluent ที่สังเกตพบนี้เกิดจากการ Partition ของ MeOH ออกจากเฟสของ TCE เนื่องจากยังคงสามารถตรวจพบ TCE ทั้งใน Effluent และใน Reactor เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ MeOH ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ Dilution ภายใน Reactor



รูปที่ 7-18 TCE และ แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ใน Effluent จากระบบของ Non-Partitioning Tracer-TCE และ Partitioning Tracer-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent

รูปที่ 7-18 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ Non-Partitioning Tracer-TCE, IPA-TCE, และ MeOH-TCE แม้ว่าผลการทดลองจะได้รับการออกแบบให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์และ TCE ในระบบคล้ายคลึงกันมากที่สุด แต่จากการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลกอฮอล์และ TCE ในแต่ละระบบยังคงมีความแตกต่างกันบ้าง อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างระบบทั้ง 3 ในรูปแบบของ Normalized Concentrations ของแอลกอฮอล์ ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ใน Effluent ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลกอฮอล์ของแต่ละระบบนั่นเอง โดยทำการ Plot ค่าความเข้มข้น (Normalized Concentration) ของ Tracer (แกน Y ด้านซ้าย) และค่าความเข้มข้นของ TCE (แกน Y ด้านขวา) ใน Effluent เทียบกับเวลา (แกน X)

จากรูปพบว่าเมื่อมีแอลกอฮอล์ (IPA หรือ MeOH) ในระบบจะเกิดการ Co-Solvency ขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ในเฟสของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อระบบถูก Flush ด้วยน้ำ Milli-Q ทำให้ TCE เดินทางออกจาก Reactor ในรูปของ Effluent จนกระทั่งเมื่อกลุ่ม

Partitioned Phase ของ TCE-IPA-น้ำ หรือ TCE-MeOH-น้ำ ถูกขับออกจาก Reactor จนหมด ทำให้ IPA หรือ MeOH และ TCE ที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อยใน Reactor จะไม่มีผลต่อการละลายของ TCE ในเฟสสารละลายมากนัก ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ลดลงสู่ขีดความสามารถในการละลายน้ำของ TCE (ประมาณ 1,000 ppm) นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 7-18 จากการคำนวณพบว่า IPA และ MeOH สามารถกำจัดมวลของ TCE-DNAPL ใน Reactor ได้เพิ่มขึ้น 12% และ 8% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมวลของ TCE ที่ออกจากระบบ Non-Partitioning Tracer-TCE

ผลการศึกษาพฤติกรรมของแอลกอฮอล์ใน Effluent ของ Reactor สามารถแสดงในรูปที่ 7-18 เช่นกัน พบว่าสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของ Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer ได้ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของ Bromide Ions ใน Reactor ส่งผลให้ค่า  $C/C_0$  ของ Bromide Ions มีค่าใกล้เคียง 1.0 ที่เวลา 4 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลอง นอกจากนี้ Bromide Ions ยังสามารถเคลื่อนที่ออกจาก Reactor ได้เร็วที่สุด โดยที่มวลส่วนใหญ่ของ Bromide Ions ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลาระหว่าง 0-30 นาทีแรก สำหรับระบบ MeOH-TCE สังเกตได้ว่าค่า  $C/C_0$  ของ MeOH มีค่าเริ่มต้นประมาณ 0.8 ภายในเวลา 4 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลองแม้ว่า TCE จะสามารถละลายใน MeOH ได้ทั้งหมด (ไม่มีการแยกเฟส) แสดงว่า MeOH บางส่วน Partition อยู่ในเฟสของ TCE และไม่ได้เดินทางออกมาพร้อมกับน้ำในรูปของ Effluent ในช่วงแรก นอกจากนี้มวลส่วนใหญ่ของ MeOH ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลา ระหว่าง 0-60 นาทีแรก ซึ่งกินเวลานานกว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer

พฤติกรรมของ IPA ใน Effluent ของระบบ IPA-TCE จะคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของ MeOH กล่าวคือค่า  $C/C_0$  ของ IPA มีค่าเริ่มต้นประมาณ 0.7 ภายในเวลา 4 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลองแม้ว่า TCE จะสามารถละลายใน IPA ได้ทั้งหมด (ไม่มีการแยกเฟส) แสดงว่า IPA บางส่วน Partition อยู่ในเฟสของ TCE และไม่ได้เดินทางออกมาพร้อมกับน้ำในรูปของ Effluent ในช่วงแรก นอกจากนี้มวลส่วนใหญ่ของ IPA ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลา ระหว่าง 0-100 นาทีแรก ซึ่งกินเวลานานกว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer และ MeOH ซึ่งเป็น Partitioning Tracer

คณะที่ปรึกษาได้ทำการคำนวณค่า Retardation Factor ของ Non-Partitioning Tracer และ Partitioning Alcohols ที่ทดสอบ โดยใช้วิธีการคำนวณ Moment Area Method ผลการคำนวณในตารางที่ 7-4

**ตารางที่ 7-4** ค่า Retardation Factor ของ Bromide Ions, MeOH, และ IPA ในสภาวะ 100% Cosolvent

Parameters	Non-Partitioning Tracer - TCE	MeOH - TCE	IPA - TCE
Retention Time (min)	7.8	15.0	22.1
Retardation Factor ( <i>R</i> )	1.00	1.92	2.83

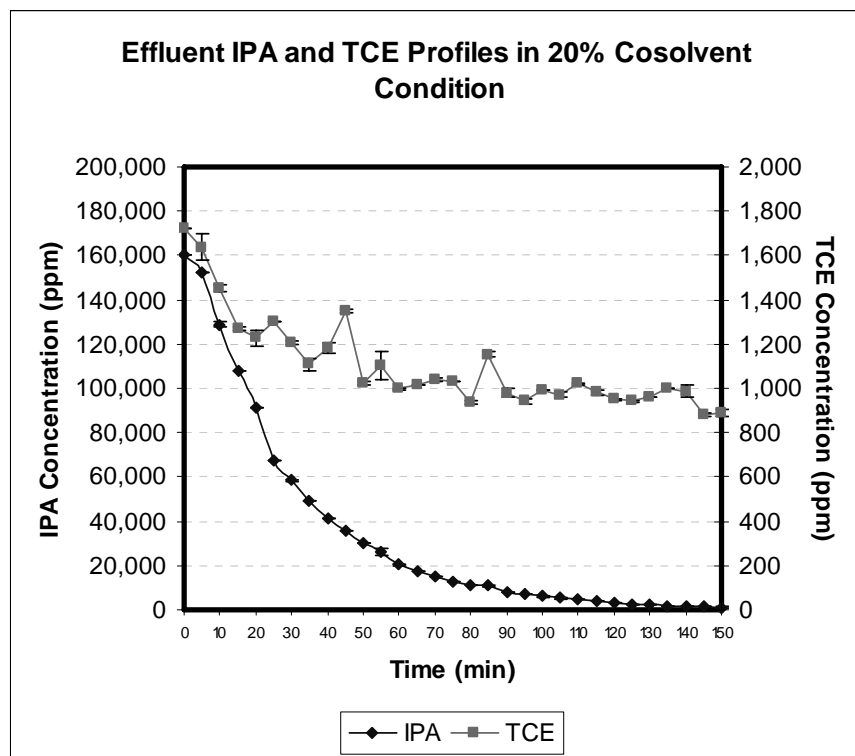
ผลการคำนวณค่า Retention Time และ Retardation Factor (*R*) ของระบบทั้งสามที่ประกอบด้วย Non-Partitioning Tracer-TCE หรือ Partitioning Alcohol-TCE พบว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอนุภาคของน้ำ โดยที่ไม่เกิดกระบวนการ Sorption หรือ Partition ขึ้นในเฟสของ TCE ภายใน Reactor ส่งผลให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ใน Reactor เท่ากับ 7.8 นาที IPA ใช้เวลาเฉลี่ยนานที่สุดใน Reactor ถึง 22.1 นาที ทำให้ค่า Retardation Factor ของ IPA มีค่าสูงสุดถึง 2.83 ในขณะที่ MeOH ใช้เวลาเฉลี่ยใน Reactor น้อยกว่าเท่ากับ 15 นาที หรืออีกนัยหนึ่งคือ IPA ซึ่งเป็น Partitioning Alcohol มีประสิทธิภาพในการ Partition ในเฟสของ TCE ได้สูงกว่า MeOH นั่นเอง

**2.2) การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเกิด Co-solvency ระหว่าง แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และสารปนเปื้อน TCE และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohol ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 20% Cosolvent**

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ เพื่อทดสอบความสามารถในการเกิด Co-Solvency ระหว่างแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆและสารปนเปื้อน TCE ในระบบ และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohols ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 20% Cosolvent (i.e., 10% TCE-DNAPL + 20% Alcohols + 70% Water) ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะชั้นน้ำที่ปนเปื้อนด้วย DNAPL ไม่อิ่มตัว (DNAPL Saturation < 1.0)

ในขั้นตอนนี้คณะที่ปรึกษาดำเนินการทดลองโดยเติมสาร TCE จำนวน 1 g ลงใน Reactor ที่ได้พัฒนาขึ้น จากนั้นจึงเติมแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ ชนิดที่เป็น Partitioning Alcohol ได้แก่ Iso-Propanol (IPA) หรือ Ethanol จำนวน 2 mL และ น้ำ Milli-Q จำนวน 7 mL ให้เต็มพอดีและไม่มี Headspace เกิดขึ้นภายใน Reactor เพื่อให้มวลสารในระบบอยู่ในเฟสของของเหลวทั้งหมด โดยที่ปริมาตรของเหลวทั้งหมดประมาณ 10 mL เติม Magnetic Stir Bar จำนวน 6 อัน จากนั้นจึงปิด

ฝาของ Reactor ด้วยวิธี Crimp Seal โดยใช้ PTFE Coated Septum และ ฝาอะลูมิเนียม เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลยังคงสังเกตการแยกชั้นของของเหลวในระบบได้อย่างชัดเจนแม้ว่าจะมี IPA อยู่ในระบบ โดยมี TCE-DNAPL แยกชั้นอยู่ด้านล่างแสดงว่า IPA ที่เติมลงในระบบไม่เพียงพอที่จะละลาย TCE ในระบบได้ทั้งหมดนั่นเอง จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดลองโดยจำลองการไหลของน้ำใต้ดินผ่านระบบของแอลกอฮอล์-NAPL โดยการใช้ Syringe Pump ส่งน้ำ Milli-Q เข้าสู่ Reactor ด้วยอัตราการไหล 0.4 mL/min เมื่อน้ำ Milli-Q ผ่านเข้าสู่ Reactor แล้วจะเกิดการผสมกับน้ำ Milli-Q เดิม แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ และ TCE ใน Reactor อย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะสมดุล Effluent จาก Reactor จะถูกเก็บไว้ใน Vial ทุกๆ 5 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และ TCE ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph ต่อไป ผลการทดลองแสดงความเข้มข้นในระบบที่ประกอบด้วย IPA-TCE แสดงในรูปที่ 7-19 ส่วนผลการทดลองในระบบที่ประกอบด้วย Ethanol-TCE แสดงในรูปที่ 7-20 ตามลำดับ



รูปที่ 7-19 IPA และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย IPA และ TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent

นอกจากนี้คณะที่ปรึกษาฯ ยังได้ดำเนินการทดลองในระบบที่เป็นตัวควบคุม (Control) โดยใช้ Non-Partitioning Tracer คือ Bromide Ions ในระบบลักษณะเดียวกัน และมีค่าความเข้มข้นของ Bromide Ions เริ่มต้นในระบบใกล้เคียงกับในระบบของ IPA-TCE และ Ethanol-TCE ในลักษณะการทดลองที่คล้ายคลึงกับการทดลองในระบบดังกล่าวแล้วข้างต้น

**รูปที่ 7-19** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ IPA (แกน Y ด้านซ้ายมือ) และ TCE (แกน Y ด้านขวามือ) ใน Effluent กับเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ ผลการทดลองที่แสดงใน **รูปที่ 7-19** แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ IPA เริ่มต้น (i.e.,  $t = 0$  min) ในระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent มีค่าประมาณ 160,000 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของ IPA ใน Effluent ที่ตรวจวัดได้ในสภาวะ 100% Cosolvent (ประมาณ 700,000 ppm) ดังแสดงใน **รูปที่ 7-16** เนื่องจากมี IPA อยู่เพียง 20% เทียบเท่าความเข้มข้นของ IPA เท่ากับ 200,000 ppm เท่านั้น ในขณะที่ความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นในระบบ (i.e.,  $t = 0$  min) มีค่าประมาณ 1,700 ppm ซึ่งสูงกว่าขีดความสามารถในการละลายน้ำปกติของ TCE (i.e., TCE Solubility Limit in Water at 25°C = 1,000 mg/L) ประมาณ 1.7 เท่า แสดงว่ายังคงเกิดปรากฏการณ์ Co-Solvency ขึ้นในระบบภายใต้สภาวะสมดุล อันเนื่องมาจาก IPA (i.e., แอลกอฮอล์ไอโซโพรพานอล) ที่เติมลงในระบบภายใต้สภาวะที่สมดุลสามารถเพิ่มความสามารถในการละลาย TCE จาก เฟสของ NAPL ให้ออกมาอยู่ในเฟสของสารละลายได้ประมาณ 1.7 เท่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent ที่ได้ดำเนินการทดลองก่อนหน้านี้ พบว่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ในสภาวะ 20% Cosolvent มีค่าต่ำกว่าในสภาวะ 100% Cosolvent แม้ว่าปริมาณของ TCE ในระบบเริ่มต้นเท่ากัน

เมื่อมี IPA ในระบบนอกจากจะทำให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ในเฟสของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นแล้ว เมื่อระบบถูก Flush ด้วยน้ำ Milli-Q จะทำให้ TCE เดินทางออกจาก Reactor ในรูปของ Effluent โดยที่ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเมื่อกลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE-IPA-น้ำ ถูกขับออกจาก Reactor จนหมด ทำให้ IPA และ TCE ที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อยใน Reactor จะไม่มีผลต่อการละลายของ TCE ในเฟสสารละลายมากนัก ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ลดลงสู่ขีดความสามารถในการละลายน้ำของ TCE (ประมาณ 1,000 ppm) ภายใน 25 นาทีนั่นเอง นอกจากนี้ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้ใน Effluent ในสภาวะ 20% Cosolvent มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ของระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent ดังแสดงใน **รูปที่ 7-19** อาจเกิดจากการที่มีเฟสของ TCE-DNAPL ในระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 20%

Cosolvent และระบบไม่ได้เข้าสู่ Local Equilibrium อย่างแท้จริง ในขณะที่ระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent นั้น TCE สามารถละลายใน IPA ได้ทั้งหมดและไม่เกิดการแยกเฟสแต่อย่างใด

เนื่องจากในระบบประกอบด้วย IPA, TCE, และน้ำ Milli-Q และเฟส TCE-DNAPL แยกชั้นอยู่ด้านล่าง แม้ว่า IPA จะสามารถ Partition ในเฟสของ TCE และน้ำได้ในเวลาเดียวกัน เมื่อน้ำ Milli-Q เริ่มถูก Feed เข้าสู่ใน Reactor มากขึ้น กลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE-IPA-น้ำ จะถูก Flush ออกมาจาก Reactor ในรูปของ Effluent อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเข้มข้นของ IPA และ TCE ใน Effluent ลดลงอย่างรวดเร็วต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลอง (0-20 นาทีแรก) ดังแสดงในรูปที่ 7-19 มวลของ TCE จะถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent ได้เกือบทั้งหมดภายใน 40 นาทีหลังดำเนินการทดลองดังจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของ TCE ที่ลดลงประมาณ 2 เท่า เทียบกับความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นใน Effluent หลังจาก 20 นาทีผ่านไปพบว่าความเข้มข้นของ IPA จะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปดังแสดงในรูปที่ 7-19 โดยที่กราฟความเข้มข้นของ IPA จะมีความลาดชันต่ำกว่าในช่วงเวลา 0-20 นาทีแรกนับจากเริ่มดำเนินการทดลอง ส่งผลให้เกิดลักษณะของ Tailing อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของ IPA ลดลงจนกระทั่งไม่สามารถตรวจพบได้ใน Effluent เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลาประมาณ 150 นาที คณะที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ IPA ใน Reactor ไม่พบ IPA ตกค้างอยู่ใน Reactor ในปริมาณที่สำคัญเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง การลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ IPA ใน Effluent ที่สังเกตพบนี้เกิดจากการ Partition ของ IPA ออกจากเฟสของ TCE เนื่องจากยังคงสามารถตรวจพบ TCE ทั้งใน Effluent และใน Reactor เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ IPA ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ Dilution ภายใน Reactor

รูปที่ 7-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Ethanol (แกน Y ด้านซ้ายมือ) และ TCE (แกน Y ด้านขวามือ) ใน Effluent กับเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ ผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7-20 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ Ethanol เริ่มต้น (i.e.,  $t = 0$  min) ในระบบ Ethanol-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent มีค่าประมาณ 130,000 mg/L ในขณะที่เดียวกันความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นในระบบ (i.e.,  $t = 0$  min) มีค่าประมาณ 1,800 ppm ซึ่งสูงกว่าขีดความสามารถในการละลายน้ำปกติของ TCE (i.e., TCE Solubility Limit in Water at  $25^{\circ}\text{C} = 1,000$  mg/L) ประมาณ 1.8 เท่า แสดงว่ายังคงเกิดปรากฏการณ์ Co-Solvency ขึ้นในระบบภายใต้สภาวะสมดุล อันเนื่องมาจาก Ethanol (i.e., แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์) ที่เติมลงในระบบ

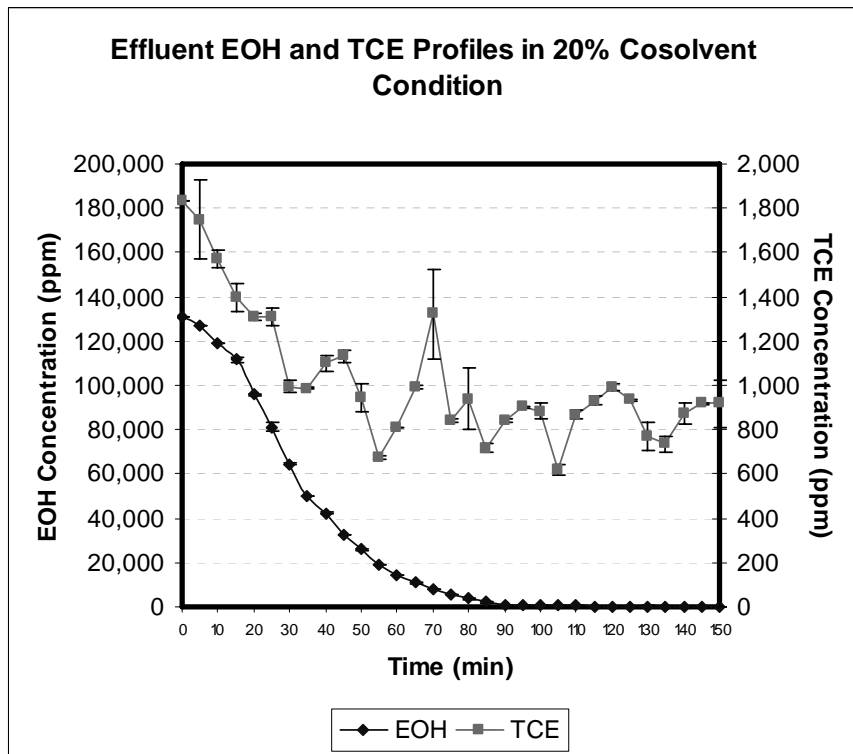


ภายใต้สภาวะที่สมดุลสามารถเพิ่มความสามารถในการละลาย TCE จาก เฟสของ NAPL ให้ ออกมาอยู่ในเฟสของสารละลายได้ประมาณ 1.8 เท่า

เมื่อมี Ethanol ในระบบนอกจากจะทำให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ในเฟสของสารละลาย เพิ่มขึ้นแล้ว เมื่อระบบถูก Flush ด้วยน้ำ Milli-Q จะทำให้ TCE เดินทางออกจาก Reactor ใน รูปของ Effluent โดยที่ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเมื่อกลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE-Ethanol-น้ำ ถูกขับออกจาก Reactor จนหมด ทำให้ Ethanol ที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อยใน Reactor จะไม่มีผลต่อการละลายของ TCE ในเฟส สารละลายมากนัก ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ลดลงสู่ขีดความสามารถในการ ละลายน้ำของ TCE (ประมาณ 1,000 ppm) ภายใน 30 นาทีนั่นเอง นอกจากนี้ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้ใน Effluent ในสภาวะ 20% Cosolvent มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ของระบบ IPA-TCE ในสภาวะ 100% Cosolvent ดังแสดง ในรูปที่ 7-20 อาจเกิดจากการที่มีเฟสของ TCE-DNAPL ในระบบ EOH-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent และระบบไม่ได้เข้าสู่ Local Equilibrium อย่างแท้จริง ในขณะที่ระบบ IPA-TCE ใน สภาวะ 100% Cosolvent นั้น TCE สามารถละลายใน IPA ได้ทั้งหมดและไม่เกิดการแยกเฟสแต่ อย่างใด

เนื่องจากในระบบประกอบด้วย EOH, TCE, และน้ำ Milli-Q และเฟส TCE-DNAPL แยก ชั้นอยู่ด้านล่าง แม้ว่า EOH จะสามารถ Partition ในเฟสของ TCE และน้ำได้ในเวลาเดียวกัน เมื่อน้ำ Milli-Q เริ่มถูก Feed เข้าสู่ใน Reactor มากขึ้น กลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE- EOH-น้ำ จะถูก Flush ออกมาจาก Reactor ในรูปของ Effluent อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความ เข้มข้นของ EOH และ TCE ใน Effluent ลดลงอย่างรวดเร็วต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลอง (0- 40 นาทีแรก) ดังแสดงในรูปที่ 7-20 มวลของ TCE จะถูก Flush ออกมาพร้อม Effluent ได้ เกือบทั้งหมดภายใน 30 นาทีหลังดำเนินการทดลองดังจะสังเกตได้จากความเข้มข้นของ TCE ที่ ลดลงประมาณ 2 เท่า เทียบกับความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นใน Effluent หลังจาก 40 นาทีผ่านไป พบว่าความเข้มข้นของ EOH จะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปดังแสดงในรูปที่ 7-20 โดยที่กราฟ ความเข้มข้นของ EOH จะมีความลาดชันต่ำกว่าในช่วงเวลา 0-40 นาทีแรกนับจากเริ่มดำเนินการ ทดลอง ส่งผลให้เกิดลักษณะของ Tailing อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของ EOH ลดลงจนกระทั่ง ไม่สามารถตรวจพบได้ใน Effluent เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลาประมาณ 150 นาที คณะที่ปรึกษา ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ EOH ใน Reactor ไม่พบ EOH ตกค้างอยู่ใน Reactor ใน ปริมาณที่สำคัญเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง การลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ

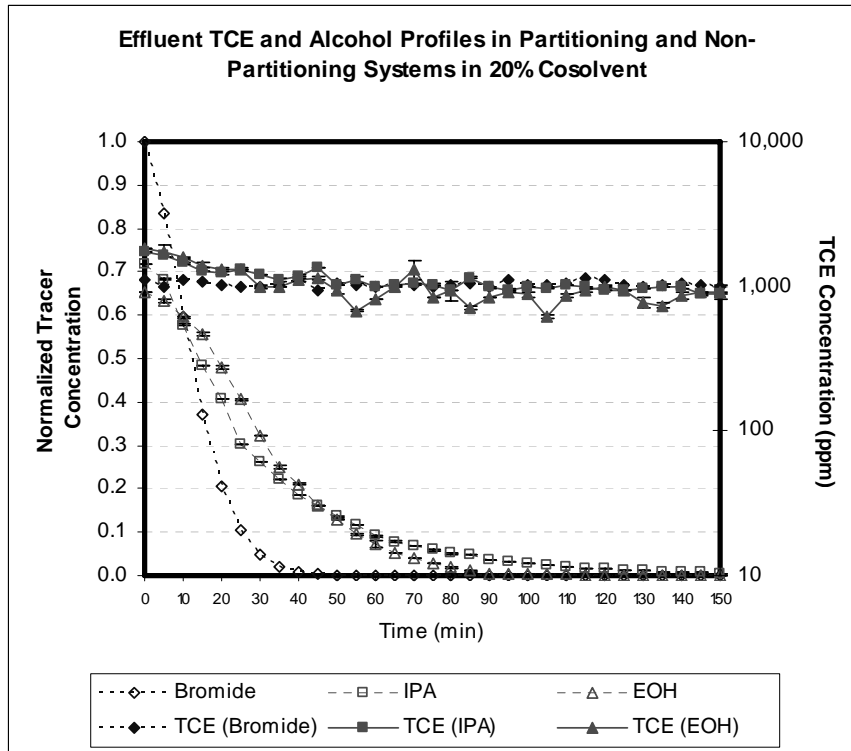
EOH ใน Effluent ที่สังเกตเห็นนี้เกิดจากการ Partition ของ IPA ออกจากเฟสของ TCE เนื่องจากยังคงสามารถตรวจพบ TCE ทั้งใน Effluent และใน Reactor เมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของความเข้มข้นของ EOH ไม่ได้เกิดจากกระบวนการ Dilution ภายใน Reactor



รูปที่ 7-20 Ethanol และ TCE Profiles จาก Effluent ของระบบที่ประกอบด้วย Ethanol และ TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent

รูปที่ 7-21 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ Non-Partitioning Tracer-TCE, IPA-TCE, และ EOH-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent แม้ว่าการทดลองจะได้รับการออกแบบให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์และ TCE ในระบบคล้ายคลึงกันมากที่สุด แต่จากการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลกอฮอล์และ TCE ในแต่ละระบบยังคงมีความแตกต่างกันบ้าง อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างระบบทั้ง 3 ในรูปแบบของ Normalized Concentrations ของแอลกอฮอล์ ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ใน Effluent ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลกอฮอล์ของแต่ละระบบนั่นเอง โดยทำการ Plot ค่าความ

เข้มข้น (Normalized Concentration) ของ Tracer (แกน Y ด้านซ้าย) และค่าความเข้มข้นของ TCE (แกน Y ด้านขวา) ใน Effluent เทียบกับเวลา (แกน X)



รูปที่ 7-21 TCE และ แอลกอฮอล์เทอร์เซอริใน Effluent จากระบบของ Non-Partitioning Tracer-TCE และ Partitioning Tracer-TCE ในสภาวะ 20% Cosolvent

จากรูปพบว่าเมื่อมีแอลกอฮอล์ (IPA หรือ EOH) ในระบบจะเกิดการ Co-Solvency ขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ในเฟสของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อระบบถูก Flush ด้วยน้ำ Milli-Q ทำให้ TCE เดินทางออกจาก Reactor ในรูปของ Effluent จนกระทั่งเมื่อกลุ่ม Partitioned Phase ของ TCE-IPA-น้ำ หรือ TCE-EOH-น้ำ ถูกขับออกจาก Reactor จนหมด ทำให้ IPA หรือ EOH และ TCE ที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อยใน Reactor จะไม่มีผลต่อการละลายของ TCE ในเฟสสารละลายมากนัก ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ TCE ใน Effluent ลดลงสู่ขีดความสามารถในการละลายน้ำของ TCE (ประมาณ 1,000 ppm) นั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 7-18 จากการคำนวณพบว่า IPA และ EOH สามารถกำจัดมวลของ TCE-DNAPL ใน Reactor ได้เพิ่มขึ้น 7.5% และ 5.25% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมวลของ TCE ที่ออกจากระบบ Non-

Partitioning Tracer-TCE 20% ในสถานะ Cosolvent ซึ่งลดลงจากประสิทธิภาพการกำจัด TCE-DNAPL ใน Reactor ในสถานะ 100% Cosolvent

ผลการศึกษาพฤติกรรมของแอลกอฮอล์ใน Effluent ของ Reactor สามารถแสดงในรูปที่ 7-21 เช่นกัน พบว่าสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของ Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer ได้ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของ Bromide Ions ใน Reactor ส่งผลให้ค่า  $C/C_0$  ของ Bromide Ions มีค่าใกล้เคียง 1.0 ที่เวลา 5 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลอง นอกจากนี้ Bromide Ions ยังสามารถเคลื่อนที่ออกจาก Reactor ได้เร็วที่สุด โดยที่มวลส่วนใหญ่ของ Bromide Ions ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลาระหว่าง 0-40 นาทีแรก ซึ่งช้ากว่าในระบบของ Non-Partitioning Tracer-TCE ที่ดำเนินการทดลองที่อัตราการไหล 0.5 mL/min ดังแสดงในรูปที่ 7-15 สำหรับระบบ EOH-TCE สังเกตได้ว่าค่า  $C/C_0$  ของ EOH มีค่าเริ่มต้นประมาณ 0.65 ภายในเวลา 5 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลอง แสดงว่า EOH บางส่วน Partition อยู่ในเฟสของ TCE และไม่ได้เดินทางออกมาพร้อมกับน้ำในรูปของ Effluent ในช่วงแรก นอกจากนี้มวลส่วนใหญ่ของ EOH ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลาระหว่าง 0-90 นาทีแรก ซึ่งกินเวลานานกว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer

พฤติกรรมของ IPA ใน Effluent ของระบบ IPA-TCE จะคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของ EOH กล่าวคือค่า  $C/C_0$  ของ IPA มีค่าเริ่มต้นประมาณ 0.7 ภายในเวลา 5 นาทีหลังเริ่มต้นดำเนินการทดลอง แสดงว่า IPA บางส่วน Partition อยู่ในเฟสของ TCE และไม่ได้เดินทางออกมาพร้อมกับน้ำในรูปของ Effluent ในช่วงแรก นอกจากนี้มวลส่วนใหญ่ของ IPA ถูกขับออกจากระบบในช่วงเวลาระหว่าง 0-120 นาทีแรก ซึ่งกินเวลานานกว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer และ EOH ซึ่งเป็น Partitioning Tracer

คณะที่ปรึกษาได้ทำการคำนวณค่า Retardation Factor ของ Non-Partitioning Tracer และ Partitioning Alcohols ที่ทดสอบ โดยใช้วิธีการคำนวณ Moment Area Method ผลการคำนวณในตารางที่ 7-5

**ตารางที่ 7-5** ค่า Retardation Factor ของ Bromide Ions, EOH, และ IPA ในสถานะ 20% Cosolvent

Parameters	Non-Partitioning Tracer - TCE	EOH - TCE	IPA - TCE
Retention Time (min)	9.7	23.0	28.3
Retardation Factor ( <i>R</i> )	1.00	2.36	2.90

ผลการคำนวณค่า Retention Time และ Retardation Factor (*R*) ของระบบทั้งสามที่ประกอบด้วย Non-Partitioning Tracer-TCE หรือ Partitioning Alcohol-TCE พบว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอนุภาคของน้ำ โดยที่ไม่เกิดกระบวนการ Sorption หรือ Partition ขึ้นในเฟสของ TCE ภายใน Reactor ส่งผลให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ใน Reactor เท่ากับ 9.7 นาที ซึ่งมีค่ามากกว่าเวลาเฉลี่ยของอนุภาคของน้ำและ Non-Partitioning Tracer ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 mL/min IPA ใช้เวลาเฉลี่ยนานที่สุดใน Reactor ถึง 28.3 นาที ทำให้ค่า Retardation Factor ของ IPA มีค่าสูงสุดถึง 2.90 ในขณะที่ EOH ใช้เวลาเฉลี่ยใน Reactor น้อยกว่าเท่ากับ 23 นาที หรืออีกนัยหนึ่งคือ IPA ซึ่งเป็น Partitioning Alcohol มีประสิทธิภาพในการ Partition ในเฟสของ TCE ได้สูงกว่า EOH นั้นเอง

นอกจากนี้แล้ว เมื่อเปรียบเทียบค่า Retardation Factor (*R*) ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 7-4 และ 7-5 พบว่าค่า Retardation Factor (*R*) ของ IPA มีค่าใกล้เคียงกันมาก (2.83 และ 2.90 ตามลำดับ) แม้ค่าทั้งสองจะได้มาจากการทดลองในสถานะแตกต่างกัน (100% และ 20% Cosolvent ตามลำดับ) ค่า Retardation Factor (*R*) ของ EOH และ MeOH มีค่าเท่ากับ 2.36 และ 1.92 ตามลำดับ

### 7.2.3 การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในดินเพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนในห้องปฏิบัติการ

จากการตรวจสอบสารปนเปื้อนในดินในพื้นที่ที่สารปนเปื้อน ไม่พบสารอินทรีย์ระเหย ที่ระดับ 2-5 เมตร (บพที่ 3) คณะที่ปรึกษาจึงคาดว่าสารปนเปื้อนอาจจะอยู่ที่ระดับลึกกว่า 5 เมตร ดังนั้นจึงไม่สามารถนำจุลินทรีย์ธรรมชาติที่อยู่ในดิน ณ ระดับ 2-5 เมตร มาทำการทดลองได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่มีคุณสมบัติพอที่จะย่อยสลายสารปนเปื้อนได้ คณะที่ปรึกษาจึงได้ปรับใช้จุลินทรีย์ *Ralstonia pickettii* สายพันธุ์ PK01 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติมา

ทำการศึกษาแทน โดยคณะที่ปรึกษาได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการย่อยสลายของสารปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

ข้อควรระวังประการหนึ่งในการประยุกต์ใช้เทคนิค PITT ในการประมาณการปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างในชั้นน้ำ คือ การแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์สามารถตกค้างอยู่ในชั้นน้ำได้เป็นเวลานาน และอาจไม่สามารถกำจัดมวลของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ออกจากระบบได้ทั้งหมด แนวทางแก้ปัญหาอาจทำได้โดยการเลือกใช้ Partitioning Alcohol ที่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงได้ดำเนินการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการย่อยสลายของ Partitioning Alcohol ด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ

คณะที่ปรึกษาเริ่มดำเนินการทดลองโดยใช้ Ethanol เป็นตัวแทนของ Partitioning Alcohol Tracer และใช้ TCE เป็นตัวแทนของสารปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มของ DNAPL นอกจากนี้จุลินทรีย์ธรรมชาติที่เลือกใช้ในการทดลอง คือ *Ralstonia pickettii* PKO1 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสาร Toluene และ TCE ได้ในสภาวะ Aerobic (โดยกระบวนการ Cometabolism) และ Denitrifying Conditions โดยใช้ Toluene 3-Monooxygenase Enzyme ที่ได้รับการ Induce ในสภาวะที่เหมาะสม การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายของ Ethanol โดยจุลินทรีย์ธรรมชาติสายพันธุ์ PKO1 ด้วยกระบวนการ Cometabolism ยังไม่ได้รับการทดสอบหรือวิจัยมาก่อน จึงจัดว่าเป็นงานวิจัยเบื้องต้นที่น่าสนใจและสามารถขยายผลการศึกษางานวิจัยเชิงลึกได้ในอนาคตเป็นอย่างดีอีกด้วย

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเลี้ยงจุลินทรีย์ PKO1 ในห้องปฏิบัติการ โดยนำเชื้อจุลินทรีย์แช่แข็งมา Streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง TNA (Tryptone Nutrient Agar) แล้วจึงเลี้ยงในตู้บ่มที่อุณหภูมิเหมาะสมเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเชื้อจุลินทรีย์ PKO1 ที่เลี้ยงไว้มา Induce ให้ผลิตเอนไซม์ T3MO โดยการ Transfer เชื้อจุลินทรีย์ลงสู่อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่เตรียมไว้ จากนั้นจึงทำการ Incubate บน Rotary Shaker ภายใต้สภาวะสมดุลกับ Toluene Vapor ในอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นเวลาอีก 72 ชั่วโมง คณะที่ปรึกษาจึงทำการ Harvest เชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวและ Resuspend เชื้อจุลินทรีย์ใน BM Solution เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

คณะที่ปรึกษาดำเนินการทดลองในระบบทั้งสิ้น 3 ระบบ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

ระบบที่ 1 จุลินทรีย์ธรรมชาติสายพันธุ์ PKO1 ที่เลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น จำนวน 1 mL + สารละลาย TCE ความเข้มข้นเริ่มต้น 45 ppm + สารละลาย Lactate ความเข้มข้นประมาณ 1,000 ppm

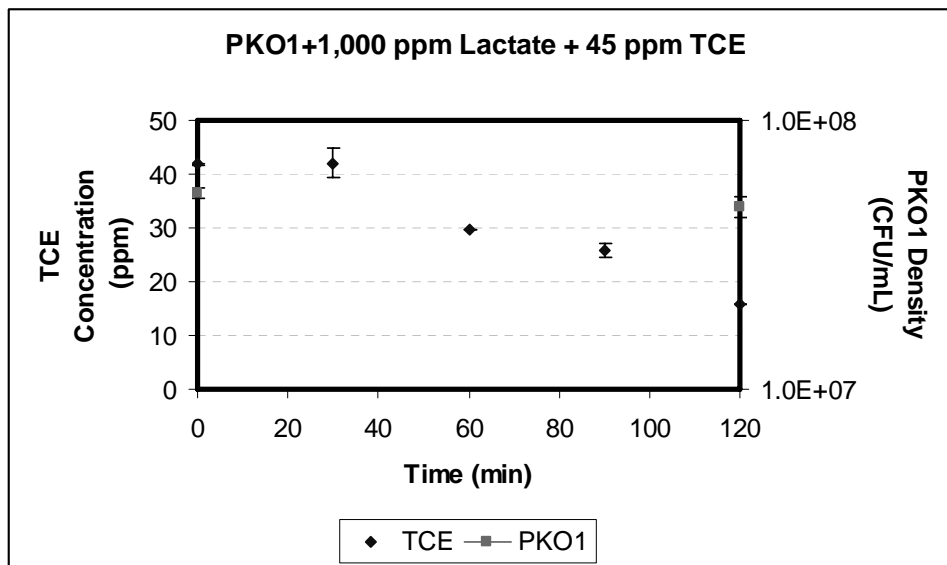
ระบบที่ 2 จุลินทรีย์ธรรมชาติสายพันธุ์ PKO1 ที่เลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น จำนวน 1 mL + สารละลาย TCE ความเข้มข้นเริ่มต้น 45 ppm + สารละลาย Ethanol ความเข้มข้นประมาณ 1,400 ppm

ระบบที่ 3 จุลินทรีย์ธรรมชาติสายพันธุ์ PKO1 ที่เลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมจำนวน 1 mL + สารละลาย Ethanol ความเข้มข้นประมาณ 1,400 ppm

Reactor ที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบ Microcosm ขนาดเล็กมีปริมาตร 10 mL เมื่อเติมองค์ประกอบต่างๆของระบบที่ได้ดำเนินการออกแบบไว้ดังกล่าวข้างต้นลงใน Reactor แล้ว จะทำการเติม Micro Magnetic Stir Bars จำนวน 3 อันลงใน Reactor ด้วยเพื่อให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ภายใน Reactor จากนั้นจะทำการปิดฝาของ Reactor ด้วยวิธี Crimp Seal โดยใช้ PTFE Coated Septum และ ฝาอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะต้องดำเนินการ Seal Reactor อย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียมลสาร TCE หรือ Ethanol ออกจากระบบเนื่องจากกระบวนการระเหย เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลคณะที่ปรึกษาจะทำการเก็บตัวอย่างจาก Reactor ที่เวลาเริ่มต้นของการทดลอง (i.e., t = 0 min) และทุกๆ 30 นาที ตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองจะนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร TCE และ Ethanol โดยใช้ Gas Chromatograph นอกจากนี้ตัวอย่างที่เก็บจาก Reactor ที่เวลาต่างๆยังถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 โดยวิธี Viable Plate Count ผลการทดลองแสดงความเข้มข้นของสาร TCE หรือ Ethanol และความหนาแน่นของ PKO1 ในระบบที่ 1-3 แสดงในรูปที่ 7-22-7-24 ตามลำดับ

ผลการทดลองใน รูปที่ 7-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TCE ในหน่วย ppm (แกน Y ด้านซ้าย) และ ความหนาแน่นของ PKO1 ในหน่วย CFU/mL (แกน Y ด้านขวา) ใน Reactor (ระบบที่ 1) เทียบกับเวลา (แกน X) ที่ดำเนินการทดลอง ในระบบที่ 1 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ PKO1 + 1,000 ppm Lactate + 45 ppm TCE ค่า TCE เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองถูกออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป เนื่องจากหาก TCE เข้มข้นมากเกินไปอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ PKO1 ในทางกลับกันหาก TCE ที่ใช้ทดสอบมีค่าความเข้มข้น

ต่ำเกินไป จะไม่เป็นตัวแทนของความเข้มข้นของสาร TCE ในพื้นที่ศึกษา เมื่อเริ่มดำเนินการทดลองความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่ Active ในระบบที่ 1 เท่ากับ  $5.35 \times 10^7 \pm 2.25 \times 10^6$  CFU/mL ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้เท่ากับ  $41.85 \pm 0.12$  ppm จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ TCE เริ่มต้นในระบบที่ตรวจวัดได้แตกต่างจากที่ออกแบบไว้ที่ 45 ppm เล็กน้อย อันเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง



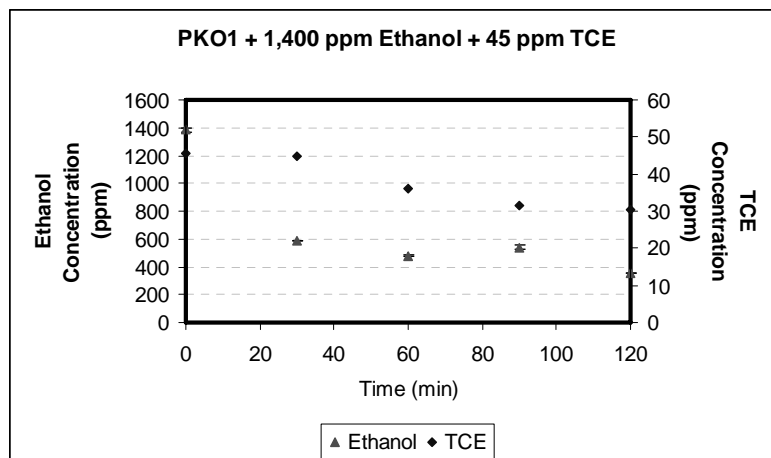
รูปที่ 7-22 ความเข้มข้นของสาร TCE และ ความหนาแน่นของ PKO1 ในระบบที่ 1 ประกอบด้วย PKO1 + 1,000 ppm Lactate + 45 ppm TCE

เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้ใน Reactor มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความเข้มข้นของ TCE ในระบบลดลงเท่ากับ  $15.77 \pm 0.12$  ppm เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 120 นาที จากการคำนวณพบว่าจุลินทรีย์ PKO1 ที่ได้รับการ Induce ด้วย Toluene อย่างเหมาะสมสามารถย่อยสลาย TCE ด้วยกระบวนการ Cometabolism โดยใช้น้ำตาล Lactate เป็น Primary Substrate ในระบบ ส่งผลให้ความเข้มข้นของ TCE ในระบบที่ 1 ลดลงมากกว่า 60% เทียบกับความเข้มข้น TCE เริ่มต้นภายใน 2 ชั่วโมง นอกจากนี้เพื่อเป็นการทดสอบให้แน่ใจว่ามีปฏิกิริยาย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ PKO1 เกิดขึ้นใน Reactor จริง คณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่เวลา 120 นาที หลังจากการทดลองสิ้นสุดลง พบว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบเท่ากับ  $4.75 \times 10^7 \pm 4.25 \times 10^6$  CFU/mL ซึ่งมี



ค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในระบบเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ก่อนที่จุลินทรีย์จะสัมผัสกับสารปนเปื้อน แสดงว่าจุลินทรีย์ PKO1 อยู่ในระบบและสามารถทำหน้าที่ในการย่อยสลายสาร TCE ทำให้ความเข้มข้นของ TCE ลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองที่ตรวจวัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 7-22 นั้นเอง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักภายใน 120 นาทีที่ดำเนินการทดลอง แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ธรรมชาติ PKO1 สามารถทนทานสารปนเปื้อน TCE ที่ระดับความเข้มข้น 45 ppm ได้อย่างดี

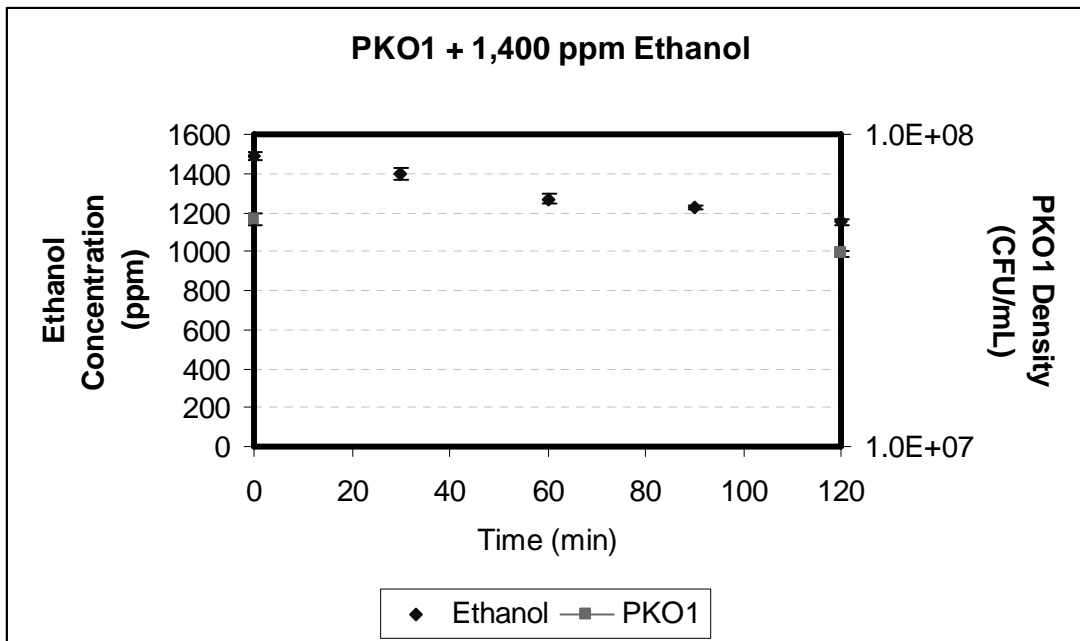
ผลการทดลองใน รูปที่ 7-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Ethanol ในหน่วย ppm (แกน Y ด้านซ้าย) และ ความเข้มข้นของ TCE ในหน่วย ppm (แกน Y ด้านขวา) ใน Reactor (ระบบที่ 2) เทียบกับเวลา (แกน X) ที่ดำเนินการทดลอง ในระบบที่ 2 ประกอบด้วย จุลินทรีย์ PKO1 + 1,400 ppm Ethanol + 45 ppm TCE ค่า TCE เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองถูกออกแบบเป็นอย่างดีเช่นเดียวกับการทดลองในระบบที่ 1 เพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป เนื่องจากหาก TCE เข้มข้นมากเกินไปอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ PKO1 ในทางกลับกันหาก TCE ที่ใช้ทดสอบมีค่าความเข้มข้นต่ำเกินไป จะไม่เป็นตัวแทนของความเข้มข้นของสาร TCE ในพื้นที่ศึกษา เมื่อเริ่มดำเนินการทดลองความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่ Active ในระบบที่ 2 มีค่าประมาณ  $5.35 \times 10^7 \pm 2.25 \times 10^6$  CFU/mL ในขณะที่ความเข้มข้นของ TCE ที่ตรวจวัดได้เท่ากับ  $45.42 \pm 0.79$  ppm นอกจากนี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจวัดความเข้มข้นของ Ethanol เริ่มต้นในระบบที่ 2 โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph ได้เท่ากับ  $1,383 \pm 19.18$  ppm จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ TCE และ Ethanol เริ่มต้นในระบบที่ตรวจวัดได้คลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้ที่ 45 ppm และ 1,400 ppm เล็กน้อย



รูปที่ 7-23 ความเข้มข้นของสาร TCE และ Ethanol ในระบบที่ 2 ประกอบด้วย PKO1 + 1,400 ppm Ethanol + 45 ppm TCE

เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ TCE และ Ethanol ที่ตรวจวัดได้ใน Reactor มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความเข้มข้นของ TCE และ Ethanol ในระบบลดลงเท่ากับ  $30.54 \pm 0.41$  ppm  $357.51 \pm 0.34$  ppm ตามลำดับเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 120 นาที แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ PKO1 ที่ได้รับการ Induce ด้วย Toluene อย่างเหมาะสมสามารถย่อยสลาย TCE ด้วยกระบวนการ Cometabolism โดยใช้ Ethanol เป็น Primary Substrate ในระบบ ส่งผลให้ความเข้มข้นของ TCE ในระบบที่ 2 ลดลงมากกว่า 30% เทียบกับความเข้มข้น TCE เริ่มต้นภายในเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยสลาย TCE ในระบบที่ 2 นี้ต่ำกว่าประสิทธิภาพในระบบที่ 1 ที่ประกอบด้วย TCE และ น้ำตาล Lactate นอกจากนี้เพื่อเป็นการทดสอบให้แน่ใจว่ามีปฏิกิริยาย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ PKO1 เกิดขึ้นใน Reactor จริง คณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่เวลา 120 นาที หลังจากการทดลองสิ้นสุดลง พบว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบเท่ากับ  $3.95 \times 10^7 \pm 2.25 \times 10^6$  CFU/mL ซึ่งมีค่าลดลงต่ำกว่าค่าความหนาแน่นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ PKO1 ก่อนที่จุลินทรีย์จะสัมผัสกับสารปนเปื้อน และยังมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบที่ 1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงว่าแม้ว่าองค์ประกอบในระบบที่ 2 ที่ประกอบด้วย TCE และ Ethanol อาจไม่เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบนักเมื่อเทียบกับสถานะในระบบที่ 2 ที่ประกอบด้วย TCE และ น้ำตาล Lactate ในระบบที่ 1 แต่จุลินทรีย์ธรรมชาติ PKO1 ที่ได้รับการ Induce อย่างเหมาะสมโดย Toluene ยังสามารถทำหน้าที่ในการย่อยสลายสาร TCE ทำให้ความเข้มข้นของ TCE ลดลงอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 7-23 นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยภายใน 120 นาทีที่ดำเนินการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความสามารถของจุลินทรีย์ธรรมชาติ PKO1 ต่อการทนทานความเป็นพิษของสาร TCE 45 ppm ลดลงเล็กน้อยเมื่อมี Ethanol 1,400 ppm ในระบบ

ผลการทดลองใน รูปที่ 7-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Ethanol ในหน่วย ppm (แกน Y ด้านซ้าย) และ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ธรรมชาติ PKO1 ในระบบ ในหน่วย CFU/mL (แกน Y ด้านขวา) ใน Reactor (ระบบที่ 3) เทียบกับเวลา (แกน X) ที่ดำเนินการทดลอง ในระบบที่ 3 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ PKO1 + 1,400 ppm Ethanol โดยไม่มี TCE เมื่อเริ่มดำเนินการทดลองความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่ Active ในระบบที่ 3 ตรวจวัดได้ประมาณ  $5.35 \times 10^7 \pm 2.25 \times 10^6$  CFU/mL ในขณะที่ความเข้มข้นของ Ethanol เริ่มต้นในระบบที่ 3 เท่ากับ  $1,491 \pm 20.51$  ppm จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ Ethanol เริ่มต้นในระบบที่ตรวจวัดได้คลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้ที่ 1,400 ppm เล็กน้อย



รูปที่ 7-24 ความเข้มข้นของสาร Ethanol และ ความหนาแน่นของ PKO1 ในระบบที่ 3 ประกอบด้วย PKO1 + 1,400 ppm Ethanol

เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ Ethanol ที่ตรวจวัดได้ใน Reactor มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความเข้มข้นของ Ethanol ในระบบลดลงเท่ากับ  $1,150.39 \pm 14.05$  ppm เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 120 นาที จากการคำนวณพบว่าความเข้มข้นของ Ethanol ในระบบที่ 3 ลดลงประมาณ 23% เทียบกับความเข้มข้น Ethanol เริ่มต้นภายในเวลา 2 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ PKO1 ที่ได้รับการ Induce ด้วย Toluene อย่างเหมาะสมนี้สามารถใช้ Ethanol เป็น Carbon Source ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากระบบที่ 2 ที่ประกอบด้วย TCE และ Ethanol ในระบบ และ PKO1 สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อน TCE โดยใช้ Ethanol เป็น Primary Substrate ดังกล่าวแล้วข้างต้นนั่นเอง นอกจากนี้เพื่อเป็นการทดสอบความเป็นพิษของ Ethanol ในระบบ คณะที่ปรึกษาจึงดำเนินการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่เวลา 120 นาที หลังจากการทดลองสิ้นสุดลง พบว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบเท่ากับ  $4.15 \times 10^7 \pm 7.50 \times 10^5$  CFU/mL ซึ่งมีค่าลดลงใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ PKO1 ก่อนที่จุลินทรีย์จะสัมผัสกับ Ethanol และยังมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ในระบบที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงว่าในระบบที่ประกอบด้วย TCE ที่ความเข้มข้น

45 ppm หรือ Ethanol ที่ความเข้มข้น 1,400 ppm นั้นไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ แต่เมื่อระบบประกอบด้วย TCE 45 ppm และ Ethanol 1,400 ppm จะเริ่มมีผลต่อการทำงานของ PKO1 ในการย่อยสลายสารปนเปื้อน TCE นั้นเอง

### 7.3 การจัดทำแผนการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

#### 7.3.1 การระบุ คัดเลือกเทคโนโลยี และทางเลือกในการดำเนินงาน (identify, screen remedial technologies and process options)

เนื่องจากสารปนเปื้อนส่วนใหญ่ที่สามารถตรวจพบในบริเวณพื้นที่ศึกษาจากการสำรวจ ณ ปัจจุบันคือ สาร Trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิด Halogenated Aliphatic สาร TCE เป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว นอกจากนี้สาร TCE ยังเป็นสารเคมีที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมซักแห้งและสารล้างคราบไขมันภายในโรงงานอุตสาหกรรมและฐานทัพทางอากาศต่างๆ สาร TCE เป็นหนึ่งในสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs) ที่พบได้บ่อยที่สุดในชั้นน้ำใต้ดินของประเทศสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก (Fischer *et al.*, 1987)

ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากการปนเปื้อนในชั้นดินและ/หรือชั้นน้ำใต้ดิน ได้แก่

- การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วย TCE ประมาณ 20% จากจำนวนบ่อน้ำบาดาลทั้งหมด 315 บ่อในรัฐ New Jersey เกินมาตรฐาน 1 ppb (Fusillo *et al.*, 1985)
- ชั้นน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสาร TCE ทำให้ต้องปิดระบบจ่ายน้ำของเมือง Long Island รัฐ New York และ รัฐ Massachusetts (Josephson, 1983)
- การตรวจพบสาร VOCs อย่างน้อย 1 ชนิด จาก 18 ชนิด (รวมถึง TCE ด้วย) ที่ทำการวิเคราะห์ในบ่อน้ำบาดาล 15.9% จาก 63 ใน Nebraska (Goodenkauf and Atkinson, 1986)

ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงบำบัดน้ำเสียทั่วไปมีหลักการทำงานประกอบด้วย Coagulation, Sedimentation, Precipitative Softening, Filtration, และ Chlorination ดังเช่นระบบส่วนใหญ่ที่

ใช้ในประเทศไทย ไม่สามารถกำจัดสาร TCE ออกจากน้ำเสียได้ทั้งหมดจนถึงระดับความเข้มข้นตามมาตรฐาน (Robeck and Love, 1983) ดังนั้นการเลือกพิจารณาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการสาร TCE ต้องอาศัยความเข้าใจในคุณสมบัติต่างๆเฉพาะตัวของ TCE เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของสาร TCE ในชั้นน้ำใต้ดิน ตารางที่ 7-6 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร TCE

ตารางที่ 7-6 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร Trichloroethylene (TCE)

Density	1.46 g/mL
Water Solubility	1,000 mg/L
Henry's Law Constant (atm-m <sup>3</sup> /mol @ 20°C	0.00892
Molecular Weight	131.4
Boiling Point	86.7°C
Log Octanol-Water Partition Coefficient	2.42

ลักษณะการจัดเรียงตัวทางเคมีของสาร TCE ที่มีคลอรีนอะตอม 3 ตัว เรียงติดกับอะตอมของคาร์บอนที่จับตัวกันอยู่ในลักษณะของพันธะคู่ (Carbon-Carbon Double Bond) ส่งผลให้สาร TCE สามารถถูก Oxidized ได้ง่ายในสภาวะที่เป็น Reducing Conditions ดังจะเห็นได้จากการที่สาร TCE สามารถถูกย่อยสลาย (Transform) ทั้งแบบ Abiotic และ Biotic การปนเปื้อนด้วย TCE ในสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในชั้นน้ำอิมตัวและไม่อิมตัว โดยที่สาเหตุของการปนเปื้อนมักเกิดจากการรั่วซึมของสารประเภทนี้ลงสู่ระบบสิ่งแวดล้อม ทั้งที่เกิดจากความตั้งใจและไม่ตั้งใจ หลังจากเกิดการรั่วซึมของสาร TCE ลงสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสาร TCE และสารปนเปื้อนอื่นในกลุ่มเดียวกันที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ค่าแรงตึงผิวสูงมาก และยังมีค่า  $K_{ow}$  ต่ำ (i.e., ละลายได้อย่างจำกัดในน้ำ) ทำให้สาร TCE เคลื่อนที่ลึกลงสู่ชั้นดินและชั้นน้ำ ลักษณะการปนเปื้อนดังกล่าวข้างต้นจะเกิดขึ้นได้เสมอและสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างใหญ่หลวง เมื่อปริมาณสารปนเปื้อนที่รั่วซึมลงสู่สิ่งแวดล้อมมีมากและตำแหน่งที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมอยู่ลึกจากระดับพื้นดินพอควร ทำให้กระบวนการระเหยเป็นไอของสารเหล่านี้เกิดขึ้นได้น้อยมาก

### 7.3.2 เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป

ในปัจจุบันยังคงไม่มีเทคโนโลยีใดที่สมบูรณ์แบบเพียงพอในการจัดการชั้นดินและชั้นน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ได้ โดยปกติแล้วมักจะต้องประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมากกว่า 1 ชนิดในการจัดการชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน เรียกว่า Treatment Train ดังจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังรูปที่ 7-25 ดังนี้

#### 1) เทคโนโลยีการทำลายหรือย่อยสลายสารปนเปื้อน (Destruction or Alteration of Contaminants)

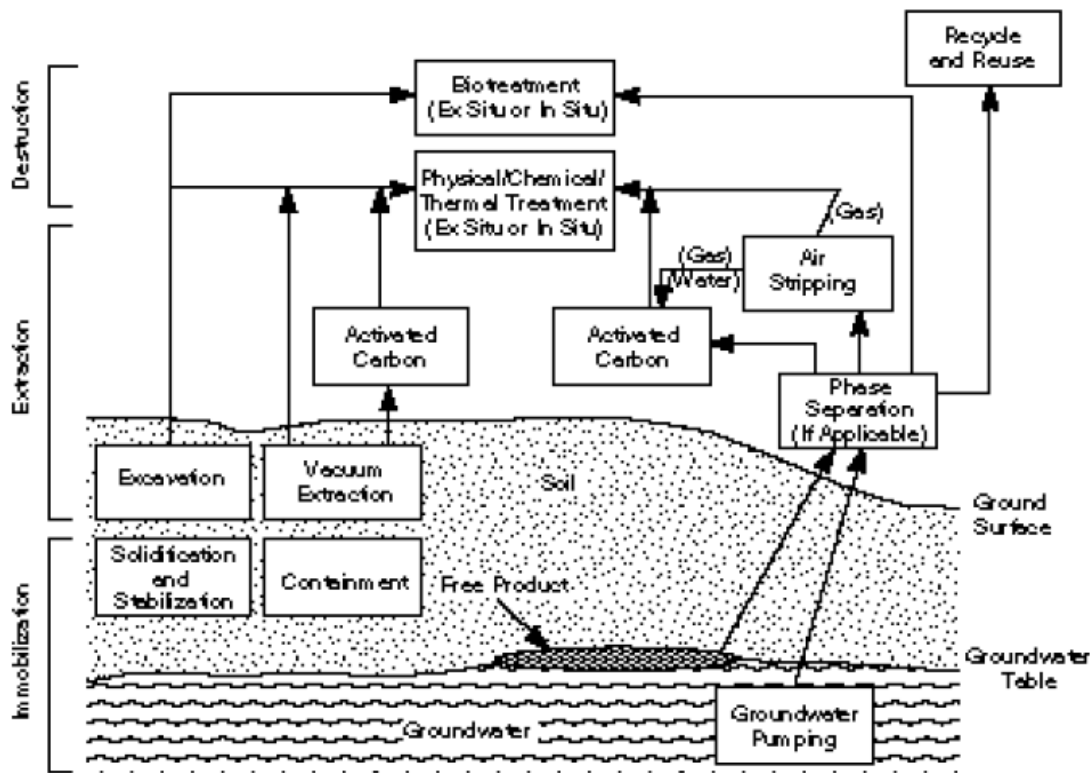
หมายถึงเทคโนโลยีที่ประกอบด้วยกระบวนการในการย่อยสลายหรือทำลายสารปนเปื้อนประเภท Volatile Organic Compounds โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารปนเปื้อนส่งผลให้มวลสารปนเปื้อนลดลงจากระบบ ได้แก่ Thermal, Biological, และ Chemical Treatment Technologies

#### 2) เทคโนโลยีการตัดแยกสารปนเปื้อนออกจากระบบสิ่งแวดล้อม (Extraction or Separation of Contaminants from Environmental Media)

หมายถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการตัดแยกสารปนเปื้อนจากระบบสิ่งแวดล้อม หรือการถ่ายเทสารปนเปื้อนจากเฟสหนึ่งไปสู่อีกเฟสหนึ่งที่ย่อยต่อการจัดการมากกว่า ได้แก่ Solvent Extraction, Air Stripping และ Carbon Adsorption เป็นต้น

#### 3) เทคโนโลยีการควบคุมสารปนเปื้อนให้อยู่กับที่ (Immobilization of Contaminants)

หมายถึงเทคโนโลยีที่ใช้เพิ่มความมีเสถียรภาพของสารปนเปื้อน ได้แก่ Stabilization, Solidification และ Containment เป็นต้น



รูปที่ 7-25 เทคโนโลยีในการจัดการสาร Volatile Organic Compounds โดยทั่วไป

### 7.3.3 ตัวอย่างเทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน

สารปนเปื้อนที่พบได้ทั่วไปในน้ำใต้ดิน ได้แก่ การรั่วซึมของน้ำเสียจากท่อระบายน้ำทิ้ง สารเคมีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (ดังที่พบการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา) และสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น โดยปกติแล้วหลักการในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในระบบ รวมถึงสภาพของพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนด้วย ดังนั้นจึงไม่มีเทคโนโลยีการจัดการการปนเปื้อนที่ดีที่สุด เนื่องจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นเรื่องเฉพาะสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนหนึ่งๆ เท่านั้น และอาจมีเทคโนโลยีที่ใช้จัดการสารปนเปื้อนมากกว่าหนึ่งวิธี พื้นที่ที่แตกต่างกันก็จะมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสารปนเปื้อนแตกต่างกันไปด้วย

การจัดการการปนเปื้อนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพหมายถึงการหยุดการเกิดการปนเปื้อนให้ได้อย่างรวดเร็วที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างเคียง จากนั้นจึงดำเนินการจัดการกับผลที่เกิดจากการปนเปื้อนนั้นๆ ที่มีต่อ

สิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดที่สำคัญในการเลือกเทคโนโลยีเพื่อใช้จัดการสารปนเปื้อนคือเทคโนโลยีนั้น ต้องมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ในพื้นที่มากไปกว่าที่ได้เกิดขึ้น แล้วจากสารปนเปื้อน และควรเป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานสามารถจัดการกับสารปนเปื้อนได้ ภายในระยะเวลาที่กำหนด

ตัวอย่างของเทคโนโลยีการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนในปัจจุบัน ที่ได้รับการพัฒนา ประยุกต์ใช้ และยอมรับอย่างกว้างขวาง (จาก USEPA) ได้แก่

- เทคนิค Pump-And-Treat
- การขุดดินปนเปื้อนและนำไปทิ้ง (Excavation and Disposal)
- Soil Vapor Extraction
- Air Sparging
- Bio-Sparging
- Landfarming
- Biopiles
- Bioventing
- Low-Temperature Thermal Desorption
- *In-Situ* Bioremediation
- Dual-Phase Extraction
- Monitored Natural Attenuation
- Enhanced Aerobic Bioremediation
- Chemical Oxidation

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่นๆที่ได้รับการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีใหม่ แต่ยังไม่ได้รับการ พิสูจน์ ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน (โดย USEPA) ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้เรียกว่า Innovative Technologies ได้แก่

- Radio Frequency Heating



- Co-Solvents
- Surfactants
- Soil Washing

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ได้รับการพัฒนา ประยุกต์ใช้ และได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายโดย US Environmental Protection Agency (USEPA) ของสหรัฐอเมริกา รวมถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละเทคนิค โดยเน้นเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อชนิดของสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สาร VOCs และ Petroleum Hydrocarbons ตัวอย่างของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนแสดงในรูปที่ 6-24 – รูปที่ 6-30

### 7.3.4 ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน

เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อนประเภท Volatile Organic Compounds (VOCs) รวมถึงสถานะการพัฒนาของเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7-7 ดังนี้

ตารางที่ 7-7 ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
Soil, Sediment, and Sludge				
1. In-Situ Biological Treatment				
1.1 Biodegradation	Full	Limited	Better	Destruct
1.2 Bioventing	Full	Limited	Better	Destruct
2. In Situ Physical/Chemical Treatment				
2.1 Soil Flushing	Pilot	Limited	Better	Extract
2.2 Soil Vapor Extraction	Full	Wide	Better	Extract
3. In Situ Thermal conductive heating				
3.1 Thermally Enhanced SVE	Full	Limited	Average	Extract
3.2 In Situ Vitrification	Pilot	Limited	Below Average	Extract/Destruction
4. Ex Situ Biological Treatment (Assuming Excavation)				
4.1 Composting	Full	Limited	Better	Destruct
4.2 Landfarming	Full	Limited	Better	Destruct
4.3 Slurry Phase Bioreactor	Full	Limited	Better	Destruct
5. Ex Situ Physical/Chemical Treatment (Assuming Excavation)				
5.1 Chemical	Full	Limited	Average	Destruct

ตารางที่ 7-7 ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน (ต่อ)

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
5.2 Dehalogenation (BCD)	Full	Limited	Average	Destruct
5.3 Dehalogenation	Full	Limited	Average	Destruct
5.4 Soil Washing	Full	Limited	Average	Extract
5.5 Soil Vapor Extraction	Full	Limited	Better	Extract
5.6 Solvent Extraction	Full	Limited	Average	Extract
6. <i>Ex Situ</i> Thermal conductive heating (Assuming Excavation)				
6.1 High Temp. Thermal	Full	Limited	Average	Extract
6.2 Incineration	Full	Wide	Average	Destruct
6.3 Low Temperature Thermal	Full	Wide	Better	Extract
6.4 Pyrolysis	Pilot	Limited	Below Average	Destruct
6.5 Vitrification	Full	Limited	Average	Extract/Destruct
7. Other Treatment				
7.1 Excavation and Off-Site	NA	Limited	Average	Extract/Immobilization
7.2 Natural Attenuation	Full	Limited	Better	Destruct
Groundwater, Surface Water, and Leachate				
1. <i>In Situ</i> Biological Treatment				
1.1 Cometabolism	Pilot	Limited	Better	Destruct
1.2 Nitrate Enhancement	Pilot	Limited	Better	Destruct
1.3 Oxygen Enhance w/ Air	Full	Limited	Better	Destruct

ตารางที่ 7-7 ตัวอย่างและสถานะของเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อน (ต่อ)

Technology	Development Status	Use Rating	Applicability	Technology Function
1.4 Oxygen Enhance w/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Full	Limited	Better	Destruct
2. <i>In Situ</i> Physical/Chemical Treatment				
2.1 Air Sparging	Full	Limited	Better	Extract
2.2 Dual Phase Extraction	Full	Limited	Better	Extract
2.3 Hot Water or Steam	Pilot	Limited	Average	Extract
2.4 Passive Treatment Walls	Pilot	Limited	Better	Destruct
2.5 Slurry Walls	Full	Limited	Average	Immobilization
2.6 Vacuum Vapor Extraction	Pilot	Limited	Better	Extract
3. <i>Ex Situ</i> Biological Treatment (Assuming Pumping)				
3.1 Bioreactors	Full	Limited	Better	Destruct
4. <i>Ex Situ</i> Physical/Chemical Treatment (Assuming Pumping)				
4.1 Air Stripping	Full	Wide	Better	Extract
4.2 Liquid Phase Carbon	Full	Wide	Better	Extract
4.3 UV Oxidation	Full	Limited	Better	Destruct
5. Other Treatment				
5.1 Natural Attenuation	Full	Limited	Better	Destruct

### 7.3.5 ข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนและออกแบบระบบจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดิน

การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในการวางแผนและออกแบบระบบจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินได้นั้น จำต้องมีข้อมูลการกระจายตัวเชิงพื้นที่ทั้งในแนว Vertical และ Horizontal ให้มากที่สุดที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกเทคโนโลยีในการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา การเก็บข้อมูลการกระจายตัวทั้งในแนว Vertical และ Horizontal ได้มาจากตัวอย่างดิน และ/หรือ น้ำใต้ดิน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี สำหรับในระยะที่ 1 ของกรณีศึกษานี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการประเมินความเสี่ยงและผลกระทบอันอาจเกิดจากน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากการลักลอบฝังกลบกากสารเคมีในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 พบหลักฐานการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอย่างชัดเจนด้วยสารอินทรีย์ระเหยชนิดต่างๆ โดยมีสาร TCE เป็นสารปนเปื้อนหลักและพบในปริมาณสูงเกินมาตรฐานมากที่สุด

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ตรวจพบในน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อฤดูกาล กล่าวคือ น้ำใต้ดินในหน้าฝนมีระดับสูงชันมากกว่า 1 เมตร เนื่องจาก Recharge ที่เพิ่มขึ้นจากฝนที่ตกลงมาเพิ่มขึ้นในพื้นที่ศึกษาซึ่งควรจะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่างๆ ที่ตรวจพบในน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์ต่างๆ ที่กระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษานั้นมีค่าลดลงเนื่องมาจากกระบวนการ Dilution คณะที่ปรึกษาตรวจวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่นอกพื้นที่ลักลอบฝังกลบกากสารเคมีนั้นมีแนวโน้มลดลงในฤดูฝนเนื่องจากการเกิด Dilution ขึ้นจาก Groundwater Recharge ที่เติมลงสู่ชั้นน้ำดังกล่าวข้างต้น แต่ทว่าสำหรับตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ลักลอบฝังกลบกากสารเคมี (ได้แก่ บ่อสังเกตการณ์ PZ04 และ PZ02) กลับพบว่าค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ตรวจวิเคราะห์พบมีค่าสูงชันมากกว่า 2 เท่าในฤดูฝนเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ตรวจพบในตำแหน่งเดียวกัน สามารถอธิบายได้ว่าสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้นจาก Recharge ที่เพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน แสดงว่า Recharge จากผิวดินจะนำพาสารปนเปื้อนจากแหล่ง Unsaturated Zone ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำลงสู่ชั้นน้ำนั่นเอง ดังนั้นแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาจึงน่าจะมีทั้งในชั้นน้ำที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) และในชั้นน้ำอิ่มตัว (Saturated Zone) ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แล้วในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินครั้งที่ 2 พบสารปนเปื้อนเพิ่มเติมอีก 1 ชนิด คือ สาร Tetrachloroethylene (PCE) ซึ่งไม่ได้ตรวจพบจากการเก็บและตรวจวิเคราะห์น้ำใต้ดินตัวอย่าง

ครั้งที่ 1 คณะที่ปรึกษาสันนิษฐานว่าสารปนเปื้อนที่ตกค้างในชั้น Unsaturated Zone ประกอบด้วย PCE เป็นส่วนใหญ่ เมื่อมี Recharge จำนวนมากจากน้ำฝนในฤดูฝนทำให้สาร PCE ถูกชะลงมาทางด้านบนลงสู่ชั้นน้ำอิ่มตัวแล้วแพร่กระจายในแนว Horizontal จากการไหลของน้ำใต้ดินผ่านรอยแตก ร้าวหลักในของชั้นหิน

คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่าเป็นที่น่าเสียดายว่าขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์การกระจายตัวแนว Vertical และ Horizontal ของสารปนเปื้อนที่ Source Zone ในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการศึกษาได้มุ่งไปที่การหาความเสี่ยงของการปนเปื้อนซึ่งพิจารณาการกระจายตัวของสารเชิงพื้นที่ ฉะนั้นการเก็บข้อมูลการปนเปื้อนจึงเน้นการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณพื้นที่ที่ทิ้งสารและโดยรอบของพื้นที่ศึกษา ดังนั้นในการดำเนินการศึกษาในระยะต่อไปจึงจำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสารปนเปื้อนในพื้นที่ทิ้งสารและเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวางแผนและออกแบบระบบจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดิน ได้แก่

- pH
- ความชื้นของดิน
- ค่าความสามารถในการส่งผ่านน้ำ
- Particle-size Distribution
- ความเป็นเนื้อเดียวกันของดิน
- Isotropy
- Bulk Density
- Particle Density
- Permeability
- Redox Potential
- Octanol/Water Partition Coefficient
- Organic Fraction
- Total Organic Carbon
- ความเร็วการไหลของน้ำใต้ดิน
- ลักษณะรอยแตกอย่างละเอียดของชั้นน้ำ
- Hydraulic Gradient

- ความพรุน
- Safe Yield
- การกระจายตัวของสารปนเปื้อนทั้งในแนว Horizontal และ Vertical ใน Source Zone

### 7.3.6 เกณฑ์การคัดเลือกระบบจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสม

เกณฑ์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการคัดเลือกระบบจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสมประกอบด้วย 9 หลักเกณฑ์ (EPA, 1988) ดังต่อไปนี้

1) การป้องกันมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (overall protection of human health and environment) เพื่อการพิจารณาความสามารถในการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ทั้งในด้านสุขภาพของมนุษย์และด้านสิ่งแวดล้อม

2) การปฏิบัติตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าแนวทางเลือกที่กำหนดไว้สามารถใช้ในการป้องกันหรือบำบัดการปนเปื้อนของสารเคมีได้ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

3) ประสิทธิภาพและความคงทนถาวรในระยะยาว (long term effectiveness and permanence) เป็นเกณฑ์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาณความเสี่ยงที่คงเหลืออยู่ในระยะยาวหลังจากที่ได้ดำเนินการตอบสนองความเสี่ยงไปเรียบร้อยแล้ว โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่คงเหลืออยู่ และความน่าเชื่อถือในระยะยาวในการควบคุมไม่ให้เกิดผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารเคมี

4) การลดลงของความเป็นพิษ การเคลื่อนตัว และปริมาณของสารพิษจากการบำบัด (reduction of toxicity, mobility, and volume through treatment) เพื่อพิจารณาว่าแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่ได้กำหนดไว้มีความสามารถมากน้อยเพียงใดในการลดความเป็นพิษ การเคลื่อนตัว และปริมาณของสารพิษในระบบ

5) ประสิทธิภาพในระยะสั้น (short term effectiveness) เพื่อพิจารณาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการตอบสนองความเสี่ยงโดยทำการตรวจวัดก่อนที่การตอบสนองความ

เสี่ยงนั้นจะสิ้นสุดลง (ระหว่างที่ดำเนินการตอบสนองความเสี่ยง) เกณฑ์ของความเสี่ยงนี้จะเน้นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก โดยพิจารณาจาก

- ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อชุมชนโดยรอบในขณะที่ทำการตอบสนองความเสี่ยง
- ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคนงานที่เข้าไปทำงานในระหว่างการก่อสร้าง
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- ระยะเวลาในการดำเนินงาน

6) ความสามารถในการดำเนินการ (implementability) เป็นความสามารถในการดำเนินงานของแนวทางเลือกต่างๆ ว่ามีความเหมาะสมในการตอบสนองความเสี่ยงเนื่องจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินเพียงใด โดยพิจารณาด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค (technical feasibility) เช่น ความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและการดำเนินงานก่อสร้าง หรือความเป็นไปได้ทางด้านเทคโนโลยี เป็นต้น
- ความเป็นไปได้ทางการบริหารงาน (administrative feasibility) เช่น ความเป็นไปในการขออนุญาตเข้าไปก่อสร้างในบริเวณพื้นที่เสี่ยง
- ความสามารถในด้านของบริการและวัสดุ (availability of services and materials)

7) ค่าใช้จ่าย (cost) ที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง โดยคำนวณจากมูลค่าปัจจุบัน (present worth cost) ของค่าใช้จ่ายในแต่ละแนวทางเลือก ซึ่งประกอบไปด้วย

- ต้นทุน (capital costs) พิจารณาต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อมของแนวทางเลือกต่างๆ
- ต้นทุนด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษา (operation and maintenance costs)

8) การยอมรับจากสังคม (community acceptance) ในการเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงจะต้องพิจารณาการยอมรับจากสังคมด้วยว่าประชาชนในพื้นที่เสี่ยงยอมรับในแนวทางเลือกที่จะใช้หรือไม่

9) การยอมรับจากรัฐ (state acceptance) แนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยงที่เลือกใช้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากภาครัฐเสียก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ

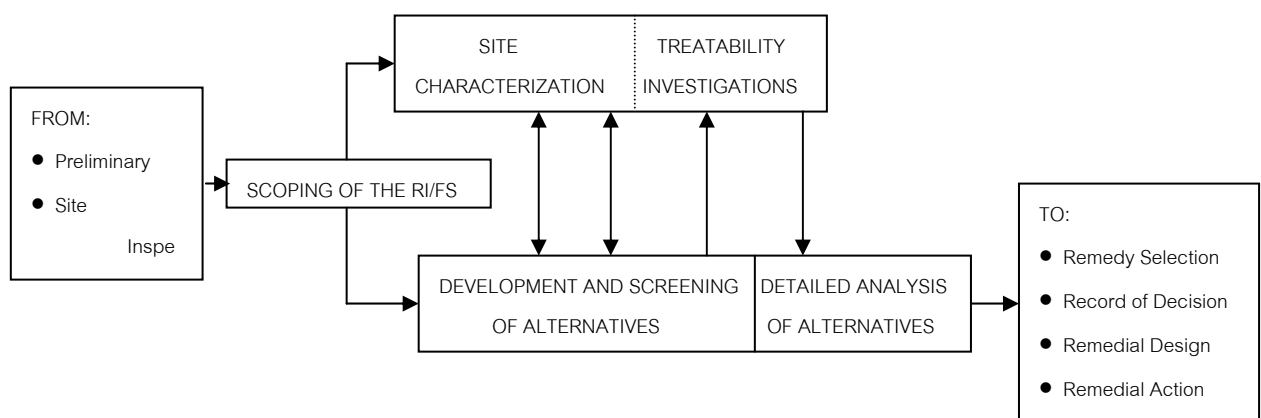


### 7.3.7 แนวทางการจัดการในอนาคตต่อโครงการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

#### 1) แนวทางการจัดการสารปนเปื้อน (VOCs) ในน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

การศึกษาเพื่อประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินจากการลักลอบฝังกลบกากสารเคมี ในพื้นที่ศึกษา ต. กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ในระยะที่หนึ่งนี้พบหลักฐานการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินจากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเก็บจากบ่อสังเกตการณ์ทั้งในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบ นอกจากนี้สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินหากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเป็นระบบจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน ชีวิต และสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง ภายในระยะเวลา 10 ปี มูลค่าความเสียหายหลายร้อยล้านบาทจากการประเมินความเสียหายเบื้องต้นสามารถบริหารจัดการและควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากได้รับการดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินอย่างถูกต้องอย่างทันที่

สำหรับการศึกษาโครงการน้ำใต้ดินปนเปื้อนในระยะต่อไป คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่าควรจะยึดกรอบการสำรวจและศึกษาของ US.EPA ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเกณฑ์ (Reference: Guidance for Conduction Remedial Investigations and Feasibility Studies, EPA/540/G-89/004, 1988) ดังแสดงในรูปที่ 7-26



รูปที่ 7-26 กรอบการสำรวจและศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินภายใต้ CERCLA

**จากรูปที่ 7-26** จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์การปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินขึ้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงต้องเริ่มดำเนินการศึกษาสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้น (i.e., Preliminary Assessment, and Site Inspection) ซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินงานโดยคณะที่ปรึกษาในโครงการระยะที่หนึ่ง (โครงการปัจจุบัน) นั่นเอง เมื่อดำเนินการสำรวจพื้นที่ปนเปื้อนเบื้องต้นนั้นสามารถรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัย เช่น ลักษณะและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ชนิด ปริมาณ และ สถานะการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน ขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อน ประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน และระบุผู้รับความเสี่ยง (Risk Receptor) จากการเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินนี้ เมื่อทางหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้พิจารณาผลการศึกษานำเสนอโดยคณะที่ปรึกษาในรายงานการศึกษาระยะที่หนึ่งนี้แล้ว สามารถดำเนินการตัดสินใจตอบสนองต่อความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาจากข้อเสนอที่จัดทำโดยคณะที่ปรึกษา อันได้แก่ (1) การไม่ดำเนินการใดๆ (2) การจัดการสารปนเปื้อนเป็นบางส่วน หรือ (3) การเลือกที่จัดการสารปนเปื้อนเหล่านี้ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง

หากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้ตัดสินใจดำเนินการจัดการกับปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน (Conducting Remedial Investigation) ผลการศึกษาและข้อมูลที่น่าเสนอโดยคณะที่ปรึกษาในการศึกษาระยะที่หนึ่งสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการวางกรอบวัตถุประสงค์ของการศึกษาในขั้นต่อไปให้มีความชัดเจนมากขึ้นได้ (Scoping the Remedial Investigation (RI) / Feasibility Study (FS)) ทั้งนี้การดำเนินการโครงการในระยะต่อไปจำเป็นต้องมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานให้ชัดเจนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จากการประเมินและวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนดำเนินการในโครงการระยะที่ 1 พบว่ามวลน้ำปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ที่ทิ้งสาร (Source Zone) โดยขอบเขตการปนเปื้อนมีการขยายตัวประมาณ 10% ในช่วง 3 เดือนหลัง (ปลายฤดูมรสุมพื้นที่ต้นเดือนมิถุนายน 2550) ซึ่งการขยายขอบเขตการปนเปื้อนมีอัตราค่อนข้างเร็ว เนื่องจากฝนที่ตกหนักในฤดูฝนทำให้เกิดการชะละลายของสารปนเปื้อนจาก Source Zone นอกจากนี้การสูบน้ำใต้ดินอย่างจริงจังที่หมู่บ้านปางอโศกทางทิศตะวันออกของพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนก่อให้เกิด Cone of Depression อย่างชัดเจน (สังเกตได้จากข้อมูลระดับน้ำที่ต่ำกว่าบริเวณข้างเคียงมาก) มีผลเหนี่ยวนำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ได้เร็วมากขึ้นตาม Hydraulic Gradient และมีทิศทางเข้าสู่หมู่บ้านปางอโศก คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่

การป้องกันไม่ให้อัตราการปนเปื้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินของหมู่บ้านปางอโคกจึงควรได้รับความสำคัญเป็นอันดับแรกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรดินและก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ได้ ดังนั้นคณะที่ปรึกษามีความเห็นว่าควรดำเนินการโครงการในระยะต่อไปควรจะต้องวัตถุประสงค์หลักคือการลดความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนโดยประชาชนที่เป็น Risk Receptors บริเวณทำนน้ำและควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน (กระบวนการ RI) รวมทั้งการทดสอบความเป็นไปได้ในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในระดับ Pilot-Scale ในพื้นที่ศึกษา (กระบวนการ FS) เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้มาพัฒนาเพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินต่อไป (Development and Screening of Alternatives)

การทำ RI และ FS มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ปนเปื้อนให้ละเอียดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการพิจารณาคัดเลือกวิธีการจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดต่อไป ข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่:

- ข้อมูลสภาพพื้นที่ปนเปื้อน (Site Conditions)
- พฤติกรรมและธรรมชาติของสารปนเปื้อน (Nature of the Contaminants)
- การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินต่อระบบสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์
- ศึกษาความเป็นไปได้ ประสิทธิภาพ และ ค่าใช้จ่ายในการใช้เทคโนโลยีในการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

การทำ RI และ FS ประกอบด้วยการทำงานหลายขั้นตอน รายละเอียดสามารถแสดงในรูปที่ 7-27 ในทางทฤษฎีแล้ว RI และ FS ควรจะเป็นกระบวนการที่ดำเนินการควบคู่กันไป โดยที่ข้อมูลที่เกิดขึ้นรวบรวมจาก RI จะถูกนำมาใช้ในการทำ FS การทำ RI/FS เป็นกระบวนการที่เหมาะสมและควรดำเนินการก่อนการลงมือบำบัดสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาโดยตรงหลังเหตุการณ์การปนเปื้อนเกิดขึ้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับจากการทำ RI/FS จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างสมบูรณ์มากกว่า นอกจากนี้การทำ RI/FS ยังมีข้อดีคือมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอน กล่าวคือ มีการเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากการทำ Preliminary Site Investigation (ดังที่ได้ดำเนินการไปแล้วในการศึกษาระยะที่ 1 โดยคณะที่ปรึกษา) เนื่องจากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการเก็บศึกษาในระยะที่ 1 นี้สามารถสะท้อนภาพโดยรวมของการปนเปื้อน

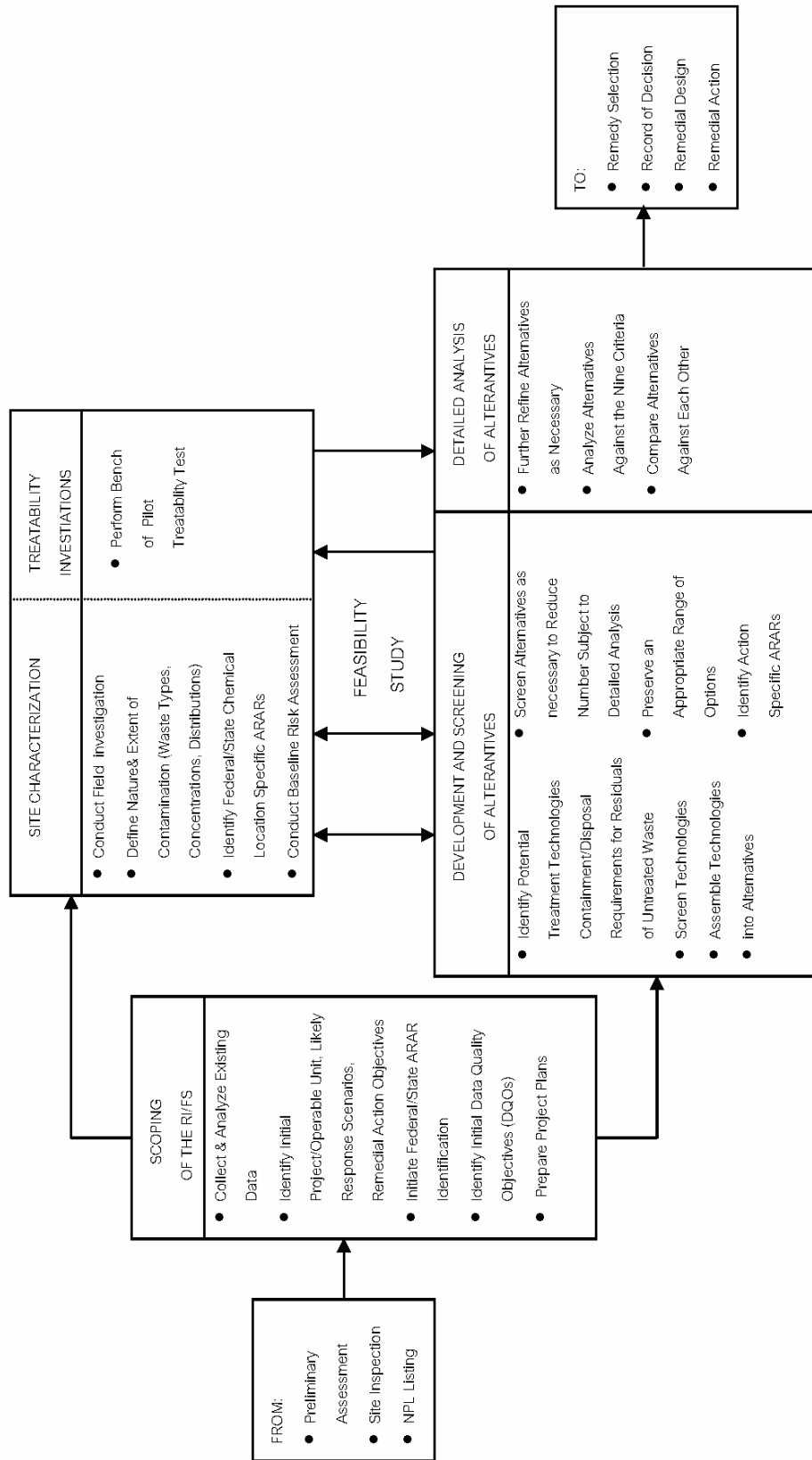
เท่านั้นแต่ก็จะมีข้อจำกัดมากในเชิงจำนวนและการกระจายตัวของข้อมูล จึงไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นสารปนเปื้อนประเภท Nonaqueous Phase Liquids (NAPLs) ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากการทำ Detailed Site Characterization จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีความจำเป็นมากในหลักการของ RI/FS

ขณะที่ปรึกษาได้พัฒนาโครงสร้างการดำเนินการในระยะต่อไปภายใต้หลักการ RI/FS (ตามรูปที่ 7-27) ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้:

### 1) Scoping

หมายถึงการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาที่ได้จากการทำ Preliminary Investigation ซึ่งก็คือการศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อน้ำใต้ดินปนเปื้อน เพื่อที่จะใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกแนวทางการดำเนินงานจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำต่อไป Scoping จัดเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการศึกษาในขั้นตอนต่อไปภายใต้หลักการ RI/FS ข้อมูลที่สำคัญเหล่านี้ ได้แก่ ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ทิศทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำ คุณสมบัติของชั้นน้ำ ขอบเขตการปนเปื้อน Sensitivity ของข้อมูลเหล่านี้ต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เป็นต้น

จากนั้นขณะที่ปรึกษาจะใช้ผลการศึกษาจากโครงการในระยะที่ 1 เป็นเกณฑ์ในการระบุพื้นที่ที่เป็นขอบเขตพื้นที่ศึกษา (ซึ่งแน่นอนว่าเปลี่ยนแปลงไปจากการศึกษาในระยะที่ 1) ขณะที่ปรึกษาจะดำเนินการจัดทำแผนการดำเนินงานอย่างละเอียด อันได้แก่ การทำ Detailed Site Characterization ซึ่งรวมถึงการทำ Background Check ของข้อมูลการปนเปื้อนในดินและน้ำ เพื่อเป็น Background Data ก่อนดำเนินโครงการ นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผน Field Sampling Plan (FSP) และ แผนการดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการจัดการสารปนเปื้อนในระดับ Pilot Scale



รูปที่ 7-27 กรอบหลักการของ RI/FS ภายใต้ CERCLA

## 2) Site Characterization

วัตถุประสงค์ของการทำ Site Characterization เพิ่มเติมในการดำเนินโครงการในระยะต่อไป เพื่อที่จะวิเคราะห์การกระจายตัวของสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำอย่างละเอียดมากขึ้น วัตถุประสงค์หลักของการดำเนินงานในระยะที่ 1 เพื่อหาหลักฐานการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินและประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน ดังนั้นการทำ Site Characterization ในระยะที่ 1 จึงได้ถูกออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน กล่าวคือ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ได้รับการวางให้มีการกระจายตัวให้ครอบคลุมพื้นที่ที่อาจเกิดการปนเปื้อนและสามารถทำให้คณะที่ปรึกษาสามารถสังเกตการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนวราบ (Horizontal) ได้ รวมทั้งการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้อย่างชัดเจนเทียบกับเวลา นอกจากนี้แล้วบ่อสังเกตการณ์ที่ได้ติดตั้งในโครงการระยะที่ 1 นั้น มีลักษณะเป็นแบบ Single-Interval Well (Open Hole) ที่มีสกรีนยาวตลอด ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างในบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้จะให้ค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนน้อยกว่าความเป็นจริงอันเกิดจากกระบวนการ Dilution นั้นเอง บ่อสังเกตการณ์ที่ติดตั้งในการศึกษาระยะที่ 1 จึงไม่เหมาะสมต่อการศึกษาระยะที่ 1 นี้เอง

Vertical (Nielsen, 2005) คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่าคุณลักษณะทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อนของชั้นน้ำที่เป็นชั้นหินมีรอยแตกกว้างรวมทั้งลักษณะเฉพาะตัวของสาร PCE และ TCE ที่มี Interfacial Tension สูง และมีความสามารถในการละลายในน้ำจำกัด ทำให้สารปนเปื้อนเหล่านี้สามารถตกค้างอยู่ในรอยแตกของชั้นหินได้ทั้งในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและชั้นน้ำอิ่มตัว ดังนั้นการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยการพิจารณาข้อมูลการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนว Vertical ประกอบด้วย

ในปัจจุบันมีเทคนิคการทำ Site Characterization ที่พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำในแนว Vertical สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

### 1. Passive Sampling โดยใช้ Passive Diffusion Bag Samplers (PDBS)

หมายถึงวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำโดยไม่ต้องใช้การสูบน้ำเก็บแต่จะอาศัยความแตกต่างของ Concentration Gradient ทำให้มีข้อดีคือไม่เกิดการรบกวนการไหลของน้ำใต้ดินมากนักและสามารถให้ค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในตัวอย่างใกล้เคียงกับธรรมชาติ (เมื่อไม่มี Vertical Flow ของน้ำใต้ดิน) การเก็บน้ำด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความ

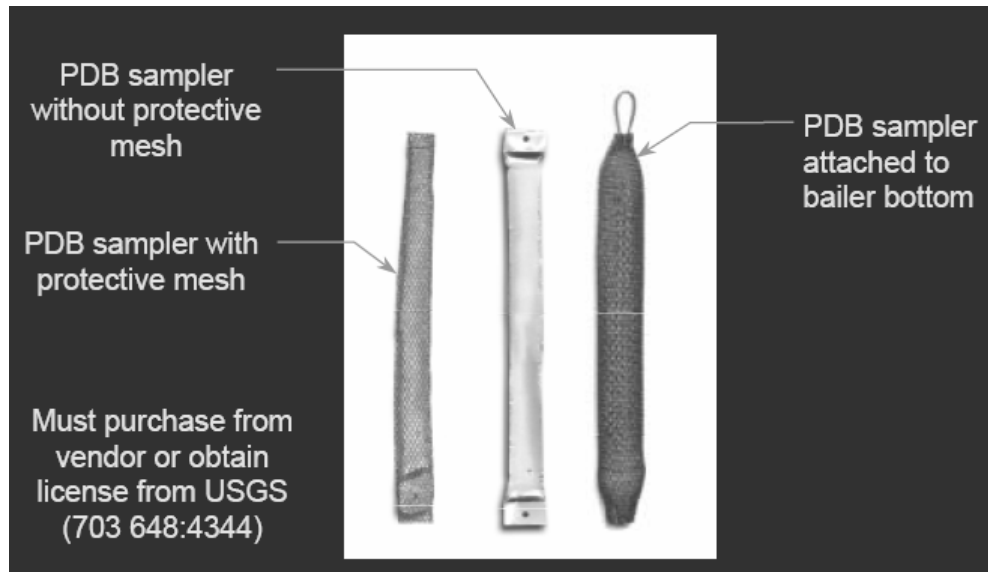
พิเศษเฉพาะตัว ได้รับการพัฒนาโดย U.S. Geological Survey เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสาร VOCs โดยไม่ต้องทำการสูบน้ำใต้ดินออกจากบ่อก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่าง

ถุงเก็บตัวอย่างทำจาก Low Density Polyethylene (LDPE) ความหนา 3-4 mm ยาวประมาณ 18-20 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.25 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 7-28 ถุงเก็บตัวอย่างสามารถแขวนไว้ด้วยเชือกที่ตำแหน่งความลึกต่างๆกัน ถ่วงปลายเชือกด้วยตุ้มน้ำหนักและหย่อนลงในบ่อสังเกตการณ์ที่เป็น Single Interval Monitoring Well ได้ สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะไหลผ่านเข้าสู่บ่อสังเกตการณ์และสามารถแพร่เข้าสู่ถุง PDBS ได้ในสถานะสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 7-29 ทำให้สามารถวัดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ตำแหน่งต่างๆในแนว Vertical ได้

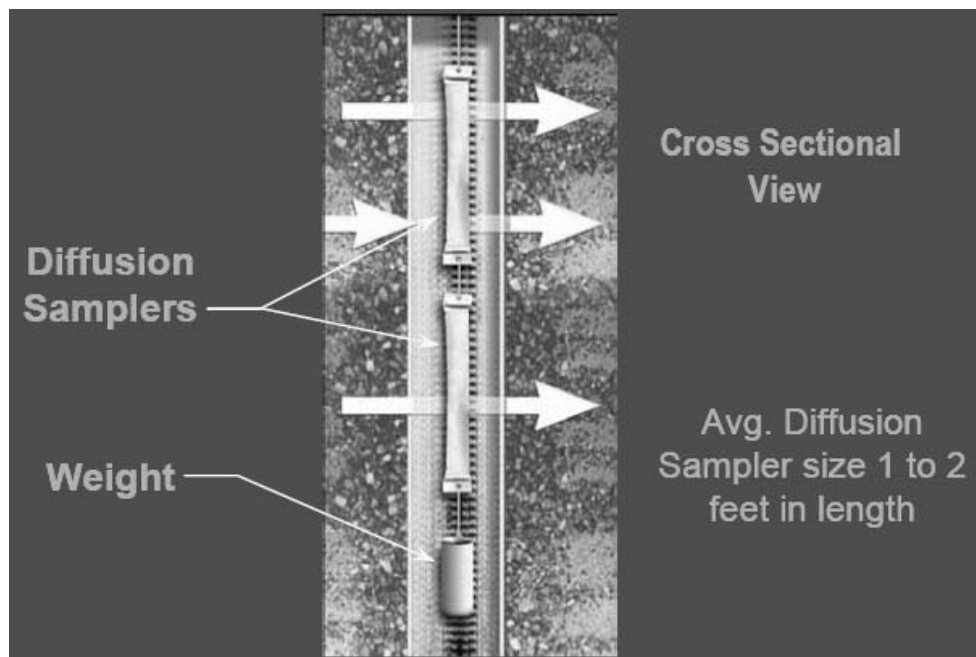
## 2. Active Sampling

หมายถึงการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินโดยอาศัยการสูบน้ำตัวอย่างจากบริเวณความลึกที่ต้องการเข้าสู่ขวดเก็บตัวอย่าง เป็นวิธีการเก็บน้ำที่สะดวกและรวดเร็วเนื่องจากอัตราการสูบน้ำตัวอย่างมักจะค่อนข้างสูงทำให้ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำน้อยลง วิธีการเก็บตัวอย่างในลักษณะ Active Sampling ต้องมีการสูบน้ำใต้ดินออกจากบ่อสังเกตการณ์ก่อนเพื่อเป็นการกำจัดน้ำเก่าและสารปนเปื้อนที่อาจจะตกค้างอยู่ในบ่อได้ ทว่าวิธีนี้อาจก่อให้เกิดการรบกวนการไหลของน้ำใต้ดิน อาจทำให้ Flow Rate มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากและระบบไม่อยู่ในสถานะสมดุล ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ตรวจวัดได้แตกต่างไปจากสภาพจริง

เครื่องมือแบบ Active Sampling ที่เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อศึกษาการกระจายตัวของสาร VOCs เช่น PCE และ TCE ได้แก่ Multilevel Groundwater Sampling Device ดังแสดงในรูปที่ 7-30 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้ Multilevel Groundwater Sampling Device นี้จะสามารถให้ข้อมูลความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่มีความแตกต่างกันในแนว Vertical ได้ดี และยิ่งมีความเหมาะสมต่อลักษณะโครงสร้างของชั้นน้ำที่ประกอบด้วยหินแตกร้าว เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีการริเริ่มพัฒนาเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ตำแหน่งความลึกต่างๆกันในชั้นน้ำที่เป็นหินแตกร้าว (Cherry and Johnson, 1982) สามารถออกแบบตำแหน่งที่เก็บให้ตรงกับบริเวณรอยแตกของชั้นหินได้

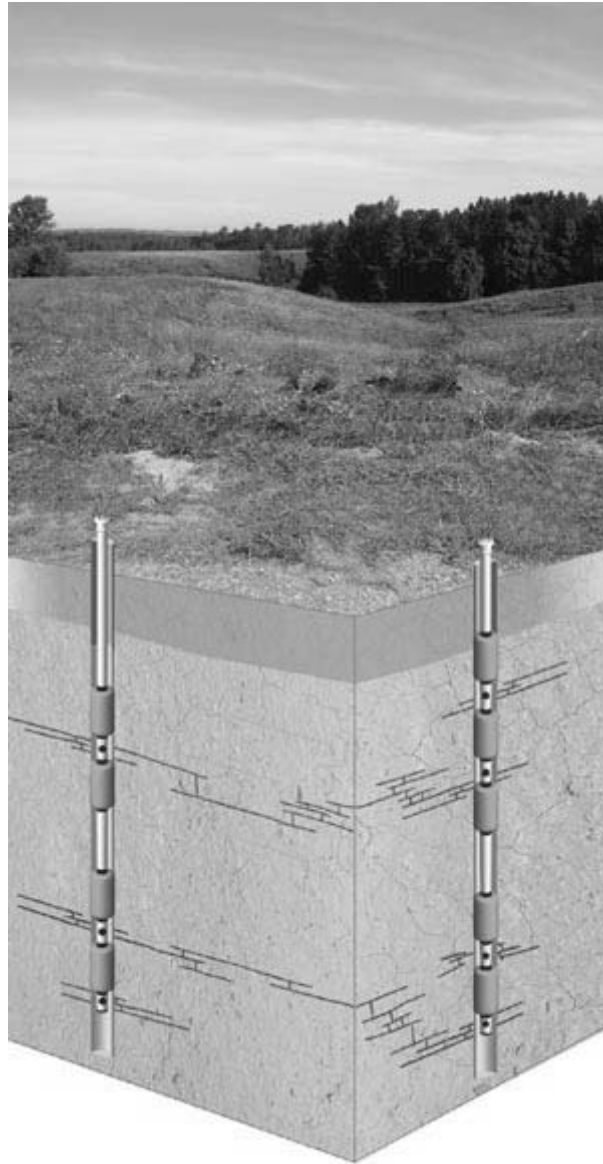


รูปที่ 7-28 Passive Diffusion Bag Sampler



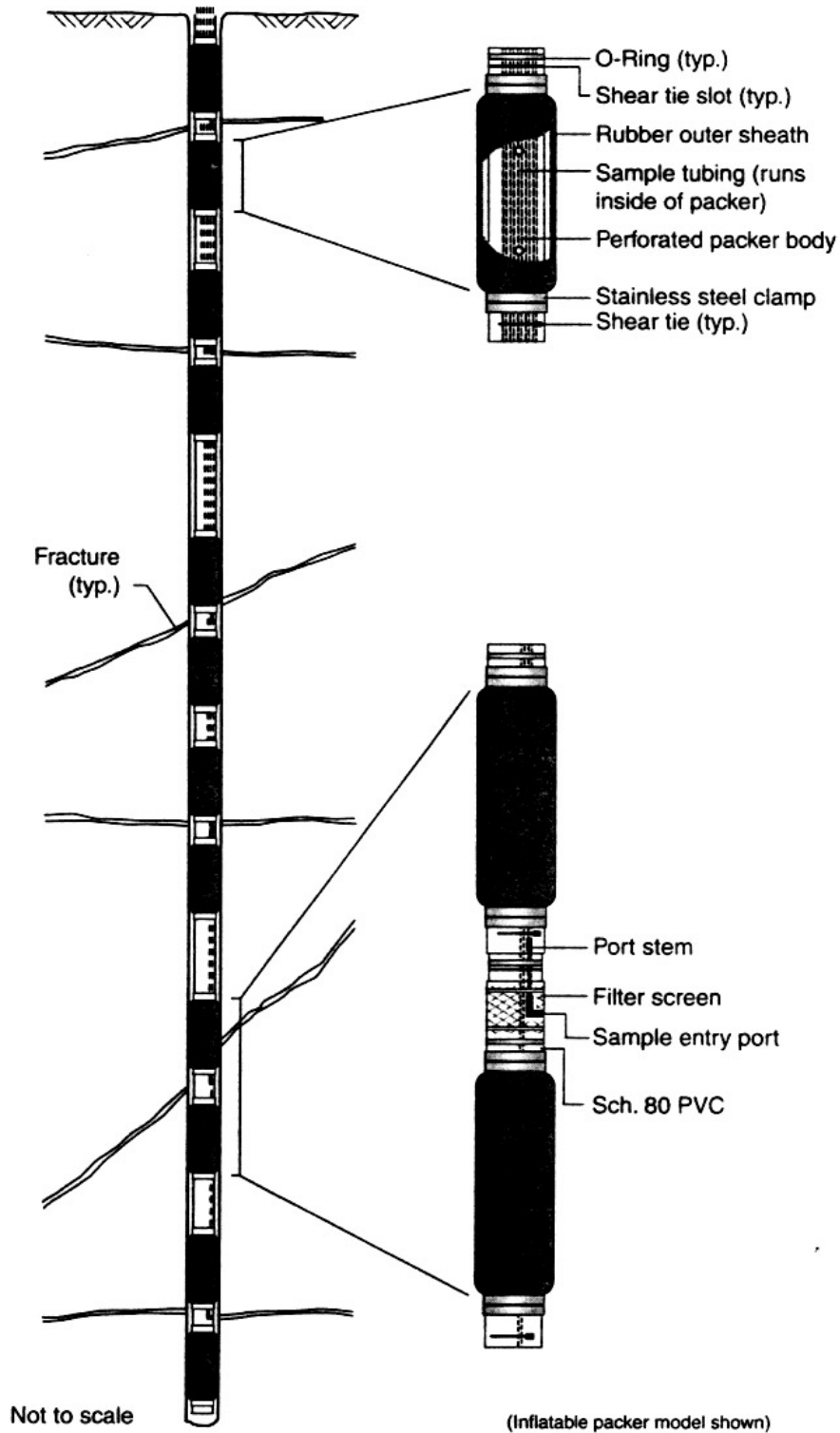
รูปที่ 7-29 การติดตั้ง Passive Diffusion Bag Sampler ในบ่อสังเกตการณ์





รูปที่ 7-30 ลักษณะของ Active Sampling โดยใช้ Multilevel Groundwater Sampling Device

ขณะที่ปรึกษามีความเห็นว่า Multilevel Groundwater Sampling Device ชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานในโครงการศึกษาในระยะต่อไป เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่มีความลึกต่างๆกัน คือ Continuous Multichannel Tubing (CMT) ดังแสดงในรูปที่ 7-31 ซึ่งเป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำที่ได้รับการพัฒนาจากหลักการของ Nested Wells ข้อดีของระบบ CMT ได้แก่



รูปที่ 7-31 ลักษณะของ Active Sampling โดยใช้ CMT

- สามารถให้ข้อมูลความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ระดับความลึกต่างๆได้ เพื่ออธิบายพฤติกรรมเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารปนเปื้อน
- เป็นเทคนิคที่สามารถประยุกต์ใช้ต่อในการทำ Natural Attenuation ได้เป็นอย่างดี โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติม
- ลดการเหนียวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในแนว Vertical จากการขุดเจาะบ่อ Nested Wells
- ให้ข้อมูล Vertical Hydraulic Head เพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองน้ำใต้ดิน
- ลดภาระค่าใช้จ่ายในการทำระบบเฝ้าระวังติดตามสารปนเปื้อนระยะยาว (Long Term Monitoring System)



รูปที่ 7-32 ลักษณะหน้าตัดของ CMT แบบ 7 ระดับความลึก

ข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินที่ได้จากการทำ Multilevel Groundwater Sampling นี้ควรประกอบด้วยข้อมูลคุณภาพน้ำจากบริเวณพื้นที่ที่ทิ้งสาร (Source Zone) ส่วนหนึ่ง และข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินที่มาจากบ่อสังเกตการณ์ในบริเวณโดยรอบพื้นที่ใกล้เคียง (Downstream) อีกส่วนหนึ่ง

การทำ Detailed Site Characterization ใน step นี้รวมถึงการทำ Source Zone Characterization ในบริเวณ Unsaturated Zone ด้วย เนื่องจากคณะที่ปรึกษาตั้งสมมติฐานไว้ประเด็นหนึ่งว่าน่าจะมี Secondary Source ตกค้างหลงเหลืออยู่ในชั้น Unsaturated Zone เนื่องจากมีหลักฐานความเข้มข้นของสาร TCE ที่เพิ่มขึ้นจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินในเดือนมิถุนายน 2550 และสารปนเปื้อนที่ตกค้างในชั้น Unsaturated Zone น่าจะประกอบด้วยสาร PCE เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นโครงการในระยะต่อไปจึงควรดำเนินการศึกษาโครงสร้างและการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในบริเวณที่เป็น Secondary Source ซึ่งตกค้างในชั้นดินความลึก

ระหว่าง 5-25 เมตรจากระดับผิวดิน คณะที่ปรึกษาที่มีความเห็นว่าวิธีการที่น่าจะเหมาะสมต่อการทำ Site Characterization ในช่วงชั้น Unsaturated Zone นี้คือการทำ Undisturbed Soil and Rock Coring เพื่อที่จะได้ตัวอย่างชั้นดินและหินธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM D2113 หากมีสารปนเปื้อนตกค้างใน Soil and Rock Cores ที่ได้ จะสามารถสังเกตได้บางส่วน นอกจากนี้ในระหว่างการทำ Soil and Rock Coring คณะที่ปรึกษาเห็นควรให้ดำเนินการทำ Headspace Screening เพื่อตรวจวัดการปนเปื้อนของสาร VOCs ในบริเวณพื้นที่สำรวจทันทีโดยใช้เครื่อง PID (Photoionization Detector)

### 3. Development and Screening of Alternatives

ขั้นตอนนี้หมายถึงการวางแผนทางหลักในการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่ซึ่งต้องเริ่มดำเนินการทันทีหลังจากการทำ Scoping เพื่อที่จะวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการตอบสนองต่อการปนเปื้อนที่เกิดขึ้น ในการพัฒนาแนวทางตอบสนองและจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินนี้ควรประกอบด้วย

- (1) วางกรอบวัตถุประสงค์ของการทำ Site Remediation ให้ชัดเจน จัดเป็นกระบวนการสำคัญที่สุดของการทำ Site Remediation ภายใต้หลักการ RI/FS เนื่องจากโครงการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินมากมายหลายโครงการในประเทศสหรัฐอเมริกาไม่สามารถดำเนินงานตรงตามแผนงานที่วางไว้หรือไม่สามารถปิดโครงการได้เนื่องจากขาดวัตถุประสงค์การดำเนินงานที่ชัดเจน การกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนที่ดีและสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นจากการศึกษาเบื้องต้นในระยะที่ 1 จากการประเมินและวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนดำเนินการในโครงการระยะที่ 1 พบว่ามวลน้ำปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ที่ทิ้งสาร (Source Zone) โดยขอบเขตการปนเปื้อนมีการขยายตัวประมาณ 10% ในช่วง 3 เดือนหลัง (ปลายฤดูมรสุมพฤษภาคม-ต้นเดือนมิถุนายน 2550) ซึ่งการขยายขอบเขตการปนเปื้อนมีอัตราค่อนข้างเร็วเนื่องจากฝนที่ตกหนักในฤดูฤดูฝนหนุนให้เกิดการชะละลายของสารปนเปื้อนจาก Source Zone นอกจากนี้การสูบน้ำใต้ดินอย่างจริงจังที่หมู่บ้านปางอโศกทางทิศตะวันออกของพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนก่อให้เกิด Cone of Depression อย่างชัดเจน (สังเกตได้จากข้อมูลระดับน้ำที่ต่ำกว่าบริเวณข้างเคียงมาก) มีผลเหนี่ยวนำให้สาร

ปนเปื้อนเคลื่อนที่ที่เร็วมากขึ้นตาม Hydraulic Gradient และมีทิศทางเข้าสู่หมู่บ้านปางอโศก ขณะที่ปรึกษามีความเห็นว่า การป้องกันไม่ให้นิวคลีอิดสารปนเปื้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินของหมู่บ้านปางอโศกจึงควรได้รับความสำคัญเป็นอันดับแรกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ได้ ดังนั้นคณะที่ปรึกษามีความเห็นว่า การดำเนินการโครงการในระยะต่อไปควรจะต้องตั้งวัตถุประสงค์หลักคือการลดความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนโดยประชาชนที่เป็น Risk Receptors บริเวณทำนบน้ำและควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน (กระบวนการ RI)

- (2) การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินจากขั้นตอนการทำ Detailed Site Characterization เพื่อระบุเทคโนโลยีการจัดการปัญหาแหล่งน้ำใต้ดินปนเปื้อน อันประกอบด้วยกระบวนการเหล่านี้ คือ การบำบัดน้ำใต้ดินปนเปื้อน การกำจัดสารปนเปื้อนออกจากชั้นดินและชั้นน้ำ และ การจำกัดขอบเขตการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน โดยที่เทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเป็นเทคโนโลยีเพียงชนิดเดียวเท่านั้นแต่สามารถประกอบขึ้นจากกลุ่มของเทคโนโลยีที่เหมาะสมได้ เรียกว่า Technology Train
- (3) การคัดเลือก Technology Train ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงในพื้นที่ปนเปื้อน และราคา
- (4) การประกอบ Technology Train ที่ได้คัดเลือกแล้วขึ้นเป็นแนวทางเลือกในการจัดการสารปนเปื้อนแบบต่างๆ (Options) เพื่อที่จะดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพต่อไปในขั้นตอน Feasibility Study แนวทางเลือกในการจัดการสารปนเปื้อนที่ได้รับการคัดเลือกแล้วเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันออกไป ทั้งในระดับของการจัดการ (Degree of Treatment) โดยความแตกต่างที่สำคัญที่สุดคือการที่เทคโนโลยีนั้นๆ ประกอบด้วยระบบเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินระยะยาวอันเกิดจากสารปนเปื้อนที่ยังตกค้างอยู่หรือได้รับการบำบัดไม่หมดหรือไม่ กล่าวคือ แนวทางเลือกขั้นสูง (Upper Bound) จะประกอบด้วยเทคโนโลยีการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำที่สามารถกำจัดและบำบัดสารปนเปื้อนได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้และไม่มี ความจำเป็นต้องติดตั้งระบบเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินระยะยาวอีกต่อไปหลังจากเสร็จ

สิ้นการบำบัด ในทางกลับกันแนวทางเลือกขั้นต่ำ (Lower Bound) จะประกอบด้วยระบบบำบัดสารปนเปื้อน (Treatment) เป็นองค์ประกอบหลักเพื่อจัดการมลพิษน้ำใต้ดินปนเปื้อนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความเสี่ยงหลักและประกอบด้วยระบบฝ้าระวังติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินเป็นองค์ประกอบย่อยอีกด้วย เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินอันเกิดจากสารปนเปื้อนที่ตกค้างหรือกำจัดไม่หมดในระยะยาวต่อไป นอกจากนี้แล้วแนวทางเลือกในการจัดการสารปนเปื้อนที่เหมาะสมที่นำเสนอต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีหน้าที่รับผิดชอบปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินโดยตรงตามหลักการ RI/FS นั้น ยังจำเป็นต้องประกอบด้วยเทคโนโลยีที่สามารถจำกัดขอบเขตการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำได้อีกด้วย เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่แนวทางการจัดการสารปนเปื้อนที่นำเสนอจะต้องมีการนำเสนอแนวทางเลือกที่ประกอบด้วยการไม่ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนด้วยวิธีใดเลยรวมทั้งมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากการเลือกแนวทางเลือกนี้จะต้องถูกนำเสนอเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับแนวทางเลือกอื่นๆเสมอ

#### 4. Treatability Investigations

หมายถึงกระบวนการทดสอบแนวทางเลือกที่ได้รับการคัดสรรจากขั้นตอนที่แล้ว (Development and Screening of Alternatives) ว่ามีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปกติแล้วการทำ Treatability Investigations มักจะประกอบด้วย การดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนจริงในพื้นที่ศึกษาที่ระดับ Pilot Scale เพื่อทดสอบสมรรถนะของแนวทางเลือกหรือเทคโนโลยีที่นำเสนอ นอกจากนี้การทำ Treatability Investigations ยังช่วยให้สามารถประมาณค่าใช้จ่ายในการจัดการสารปนเปื้อนตามแนวทางเลือกนั้นมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นด้วย

## 2) แนวทางการประเมินความเสี่ยงจากสารปนเปื้อน (VOCs) ในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

### 2.1) การพัฒนาระบบจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนซึ่งได้นำเสนอในโครงการศึกษาวิจัยนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากแนวความคิดในการจัดการความเสี่ยงทั่วไป ผสมกับวิธีการจัดการความเสี่ยงที่ใช้ในต่างประเทศ รวมถึงองค์ความรู้ในด้านอื่น ๆ เช่น เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม เป็นต้น แม้ว่าวิธีการประเมินความเสี่ยงที่พัฒนาขึ้นจะสามารถตอบคำถามที่เราสนใจในโครงการนี้ได้ แต่เพื่อให้การประเมินความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์และน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น ในอนาคตอันใกล้ ควรจะมีการพัฒนาระบบการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (environmental risk management system) ขึ้น โดยอาจอาศัยระบบจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ (เช่น ระบบของ US EPA) เป็นต้นแบบ อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นจะต้องสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยอาจเริ่มจากการพัฒนาระบบการจัดการความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินก่อน แล้วจึงปรับเปลี่ยนระบบดังกล่าวเพื่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

ระบบการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่จะพัฒนานี้ควรประกอบด้วย แนวทางปฏิบัติเพื่อจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เป็นระบบและชัดเจน ตัวอย่างเช่น ระบบการจัดการบริเวณที่ปนเปื้อนของประเทศออสเตรเลียจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การตรวจสอบบริเวณที่ปนเปื้อนในเบื้องต้น (2) การตรวจสอบบริเวณที่ปนเปื้อนโดยละเอียด (3) การวางแผนการจัดการบริเวณดังกล่าว และ (4) การจัดการด้านบำบัดและติดตามผล เป็นต้น

องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งของระบบการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม คือ กระบวนการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่แนวทางปฏิบัติข้างต้น โดยทุก ๆ ขั้นตอนของการจัดการความเสี่ยงจะต้องได้รับการพัฒนาอย่างครบถ้วนและเหมาะสมต่อการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมของไทย ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

### 2.2) การระบุความเสี่ยง

ในส่วนของการระบุความเสี่ยง ควรจะมีการศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบความเสี่ยงต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของความเสี่ยง ตัวกลางของสารปนเปื้อน

และผลกระทบต่อผู้รับสารปนเปื้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาผลกระทบด้านต่าง ๆ ในบริบทของประเทศไทย เช่น ผลกระทบของสารปนเปื้อนต่อสุขภาพของมนุษย์ (human health) ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ในไทยมีอยู่ค่อนข้างจำกัด อันเป็นอุปสรรคสำคัญประการหนึ่งในการศึกษานี้

### 2.3) การวิเคราะห์ความเสี่ยง

เนื่องจากโครงการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน ดังนั้นข้อมูลต่าง ๆ (เช่น การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เป็นต้น) จึงมีอยู่ค่อนข้างจำกัด การวิเคราะห์ความเสี่ยงซึ่งจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลนำเข้าจึงอยู่ในรูปแบบการวิเคราะห์เชิงกำหนด (deterministic) แทนที่จะเป็นการวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็น (probabilistic) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าในการวิเคราะห์ความเสี่ยง ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น จึงควรที่จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลมากยิ่งขึ้นในอนาคต รวมถึงการนำเทคนิคต่าง ๆ (เช่น geostatistics, fault-tree analysis เป็นต้น) มาวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว อันจะนำไปสู่ความสมบูรณ์และน่าเชื่อถือของข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงความน่าจะเป็น

ในอีกส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ความเสี่ยง คือ ผลกระทบที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า การวิเคราะห์ความเสี่ยงในรูปมูลค่าเงินมีอุปสรรคอย่างยิ่งในกรณีทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสุขภาพและชีวิตของมนุษย์ หรือในกรณีวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสาเหตุสำคัญคือ การประเมินผลกระทบดังกล่าวในรูปมูลค่าของเงินนั้นทำได้ลำบากและไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ความเสี่ยงครอบคลุมผลกระทบที่สำคัญทุกด้านและเป็นที่ยอมรับ จึงควรมีการพัฒนาดัชนีชี้วัดความเสี่ยงในรูปแบบอื่น เช่น ดัชนีซึ่งใช้โดย US EPA เป็นต้น

### 2.4) การตอบสนองความเสี่ยง

เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้ได้แก่ การลดลงของผลกระทบ (ความเสี่ยง) ในรูปมูลค่าของเงิน และ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง แม้เกณฑ์ทั้งสองจะสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงได้ แต่เพื่อความเหมาะสมในการตัดสินใจ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความ



ละเอียดอ่อนเป็นอย่างยิ่ง) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะพิจารณาเกณฑ์อื่น ๆ ควบคู่กันไปด้วย อาทิเช่น การปกป้องสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพในระยะสั้นและระยะยาว ความยั่งยืนของแนวทางที่เลือก การยอมรับของสังคม เป็นต้น แนวทางในการปรับปรุงในส่วนนี้ในอนาคต จึงอาจมีการนำเทคนิคการตัดสินใจ เช่น multi-objective decision making มาใช้เพื่อผนวกเกณฑ์ต่าง ๆ ที่พิจารณาแล้วว่าสำคัญมาช่วยในการตัดสินใจ

## 2.5) การเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง

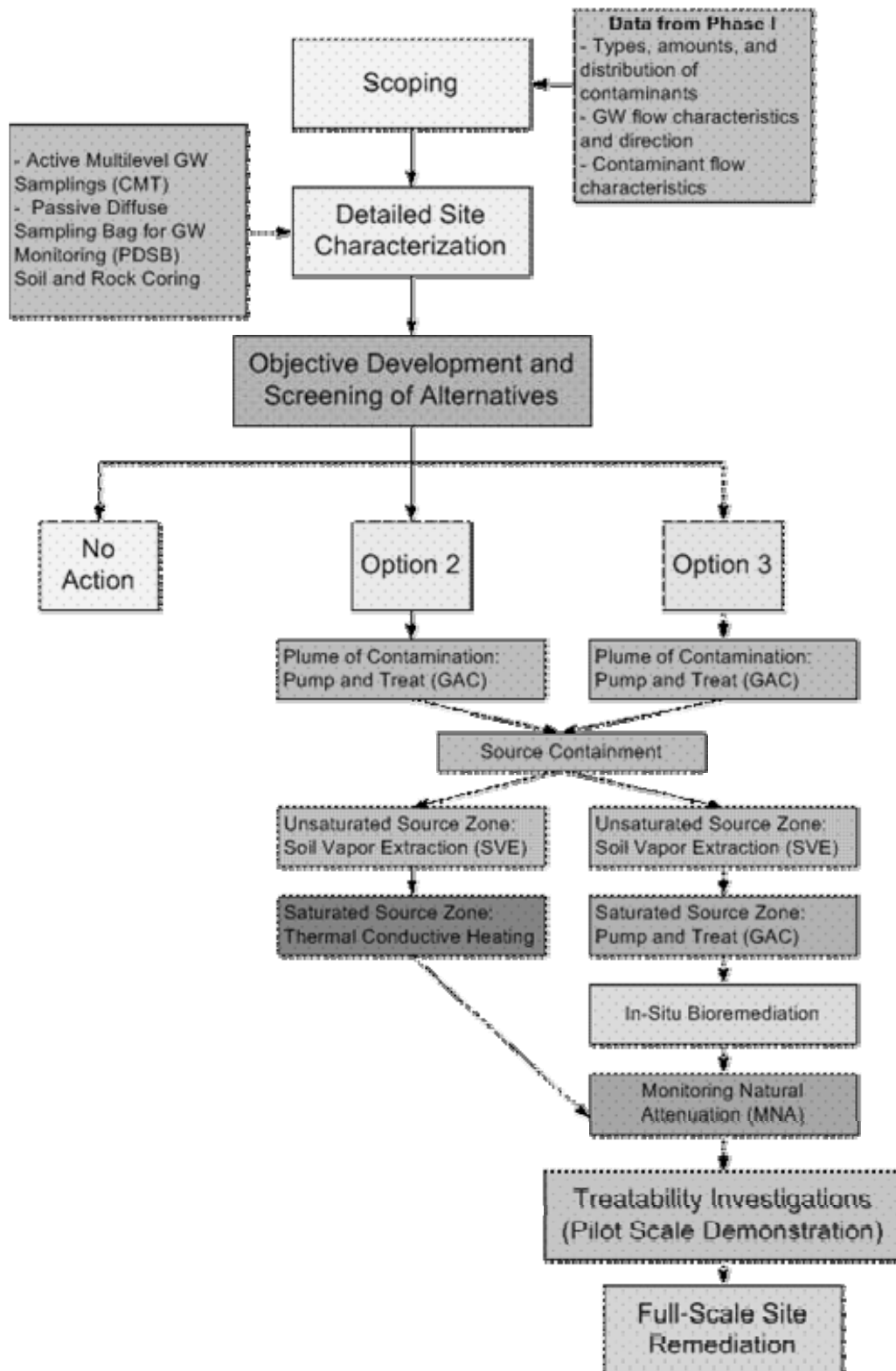
โครงการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาขั้นตอนการเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยงในเบื้องต้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้นับว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการจัดการความเสี่ยงเป็นอย่างมาก เพราะ เป็นขั้นตอนในการติดตามผลของแนวทางการตอบสนองของความเสี่ยงที่เลือกใช้ในขั้นตอนก่อน เพื่อให้ระบบการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์และใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะผนวกขั้นตอนนี้ในระบบ

### 7.3.8 แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม

จากผลการศึกษาและข้อมูลจากการทำ Preliminary Investigation และการประเมินความเสี่ยงต่อการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน พบว่ามีการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินอันเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการดำเนินการบางอย่างเพื่อจัดการกับสารปนเปื้อนเหล่านั้น อันจะนำไปสู่การลดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินจากแหล่งปนเปื้อนนั่นเอง

จากการดำเนินการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนด้วยสารปนเปื้อน Volatile Organic Compounds (VOCs) พบสาร VOCs สำคัญที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษา คือ Tetrachloroethylene (PCE) และ Trichloroethylene (TCE) โดยที่ Source ของสารปนเปื้อนตรวจพบได้ทั้งในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและชั้นน้ำอิ่มตัว นอกจากนี้แล้วผลการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน แสดงให้เห็นว่ามลพิษน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายตามแนวรอยแตกของชั้นน้ำในทิศ

ตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นเป้าหมายของการดำเนินการในการศึกษา  
ระยะต่อไป (Phase 2) เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินสู่แหล่งชุมชน และ  
ลดระดับการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้คณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอแผนการ  
จัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนโดยส่งเขปตามหลักการ RI/FS ที่ได้วิเคราะห์ไปแล้วข้างต้นดัง  
แสดงในรูปที่ 7-33



รูปที่ 7-33 แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม

## 1) รายละเอียดการดำเนินงาน

- ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด (Detailed Site Characterization) รวมทั้งดำเนินการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนว Horizontal และ Vertical ได้แก่
  - การประมาณปริมาณและศึกษาการกระจายตัวของสารปนเปื้อนใน Unsaturated Zone โดยการทำ Soil and Rock Coring
  - การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณและการกระจายตัวของสารปนเปื้อนใน Saturated Zone โดยใช้ Passive Diffusion Sampling Bag (PDSB)
  - การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณและการกระจายตัวของสารปนเปื้อนใน Saturated Zone โดยใช้ Active Multilevel Sampling Device เช่น Continuous Multichannel Tubing (CMT)
- ดำเนินการปิดบ่อน้ำบาดาลของประชาชนในพื้นที่ที่อยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนหลักในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
- ดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำทดแทนการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภคให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปิดบ่อน้ำบาดาล และบำบัดแหล่งน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค
- ดำเนินการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยติดตั้ง Pumping Wells และ Monitoring Wells บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศเหนือ (ขนานแนวถนนมิตรภาพ) พร้อมทั้งติดตั้งระบบ Surface Treatment Units ประเภท Granular Activated Carbon (GAC) ในบริเวณ Plume of Contamination เพื่อบำบัดมลพิษปนเปื้อน
- ดำเนินการติดตั้งระบบ Containment เพื่อจำกัดการขยายขอบเขตการปนเปื้อนออกจากพื้นที่ปนเปื้อน หลังจากการพิจารณาจุด hotspot ของแหล่งปนเปื้อน
- ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์เพื่อติดตามตรวจสอบระดับการปนเปื้อนหลังติดตั้งระบบ Containment และ ระบบ Pump and Treat
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวบริเวณ Source Zone

- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Circulating Pump-and-Treat เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำอ้อมตัวบริเวณ Source Zone
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ In-Situ Bioremediation เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำอ้อมตัวบริเวณ Plume of Contamination
- เฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษาจาก Multilevel Monitoring Wells ที่ดำเนินการติดตั้งไว้แล้วตามหลักของ Monitoring Natural Attenuation

คณะที่ปรึกษาได้ประเมินประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินดังกล่าวข้างต้นพบว่าจะสามารถกำจัดสาร TCE ออกจากระบบได้อย่างน้อย 30% (Ramburg *et. al*, 2005) นอกจากนี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินภายใน 10 ปีตามแผนที่นำเสนอโดยสังเขปข้างต้น เท่ากับ 374 ล้านบาท โดยมีรายละเอียดของแผนงานแต่ละปีในดังที่จะกล่าวต่อไป

### **แนวทางการจัดการสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่ศึกษาและการออกแบบเบื้องต้น**

หลักการในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในระบบ รวมถึงสภาพของพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนด้วย ดังนั้นจึงไม่มีเทคโนโลยีการจัดการการปนเปื้อนที่ดีที่สุดเนื่องจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นเรื่องเฉพาะสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนหนึ่งๆ เท่านั้น และอาจมีเทคโนโลยีที่ใช้จัดการสารปนเปื้อนมากกว่าหนึ่งวิธี พื้นที่ที่แตกต่างกันก็จะมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสารปนเปื้อนแตกต่างกันไปด้วย การตอบสนองต่อความเสี่ยงอันเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาดังกล่าวแล้วข้างต้น 3 วิธี กล่าวคือ ไม่ดำเนินการใดๆ ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 5 ปี และ ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี และตัดสินใจเลือกการจัดการสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี เป็นแนวทางในการบำบัดสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

การจัดการการปนเปื้อนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพหมายถึงการหยุดการเกิดการปนเปื้อนภายในพื้นที่ที่กำหนด เพื่อไม่ให้การปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม

ข้างเคียง จากนั้นจึงดำเนินการจัดการกับผลที่เกิดจากการปนเปื้อนนั้นๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดที่สำคัญในการเลือกเทคโนโลยีเพื่อใช้จัดการสารปนเปื้อน คือ เทคโนโลยีนั้นต้องมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ในพื้นที่มากกว่าที่ได้เกิดขึ้นแล้วจากสารปนเปื้อน และควรเป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานสามารถจัดการกับสารปนเปื้อนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

จากการรวบรวมงานวิจัยและกรณีศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมาในอดีตจนถึงปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน รวมทั้งงบประมาณในการดำเนินการ คณะที่ปรึกษาจึงได้นำเสนอวิธีการในการตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา รวมถึงค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการดำเนินการตามวิธีที่นำเสนอ

### การดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและน้ำใต้ดินภายใน 10 ปี (แนวทางที่ 3)

เมื่อมีหลักฐานการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน หรือตรวจพบหลักฐานการปนเปื้อนที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำใต้ดิน อันเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ก่อให้เกิดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินปนเปื้อน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการดำเนินการบางอย่างเพื่อจัดการกับสารปนเปื้อนเหล่านั้น อันจะนำไปสู่การลดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินจากแหล่งปนเปื้อนนั่นเอง

จากการดำเนินการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนด้วยสารปนเปื้อน Volatile Organic Compounds (VOCs) พบสาร VOCs สำคัญที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษา คือ Tetrachloroethylene (PCE) และ Trichloroethylene (TCE) โดยที่ Source ของสารปนเปื้อนตรวจพบได้ทั้งในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและชั้นน้ำอิ่มตัว นอกจากนี้แล้วผลการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินแสดงให้เห็นว่ามวลน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายตามแนวรอยแตกของชั้นน้ำในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นเป้าหมายของการดำเนินการในการศึกษา ระยะต่อไป (Phase 2) จึงควรป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินสู่แหล่งชุมชนและลดระดับการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้คณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอการจัดการสารปนเปื้อนโดยสังเขป ดังนี้

### ปีที่ 1

- ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด รวมทั้งดำเนินการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนว Horizontal และ Vertical
- ดำเนินการปิดบ่อน้ำบาดาลของประชาชนในพื้นที่ที่อยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนหลักในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
- ดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำทดแทนการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภคให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปิดบ่อน้ำบาดาล

## ปีที่ 2

- ดำเนินการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยติดตั้ง Pumping Wells และ Monitoring Wells บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศเหนือ (ขนานแนวถนนมิตรภาพ) พร้อมทั้งติดตั้งระบบ Surface Treatment Units ในบริเวณพื้นที่
- ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด รวมทั้งดำเนินการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนว Horizontal และ Vertical

## ปีที่ 3

- ดำเนินการติดตั้งระบบ Containment เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ปนเปื้อน
- ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์เพื่อติดตามตรวจสอบระดับการปนเปื้อนหลังติดตั้งระบบ Containment และ ระบบ Pump and Treat
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Circulating Pump-and-Treat เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำอิ่มตัวบริเวณ Source Zone
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวบริเวณ Source Zone

## ปีที่ 3 ขึ้นไป

- ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์เพื่อติดตามตรวจสอบระดับการปนเปื้อนหลังติดตั้งระบบ Containment และ ระบบ Pump and Treat
- ดำเนินการทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวบริเวณ Source Zone

- ดำเนินการทดสอบระบบ Bioremediation ในห้องปฏิบัติการ เพื่อจัดการสารปนเปื้อน และนำประยุกต์ใช้ในการบำบัดด้วยระบบ In-situ bioremediation

คณะที่ปรึกษาได้ประเมินประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนทางคณิตศาสตร์ พบว่าจะสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนของสาร TCE ได้ประมาณ 64% นอกจากนี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินบางส่วนตามแผนที่นำเสนอโดยสังเขปข้างต้น เท่ากับ 374 ล้านบาท โดยมีรายละเอียดการประมาณค่าใช้จ่ายอย่างคร่าวๆ แสดงในตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7-8 การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสารปนเปื้อนในเวลา 10 ปี (Regular Track)

No.	งาน	ค่าใช้จ่าย
		(ล้านบาท)
1	Site characterization	25
2	Containment	56
3	Groundwater monitoring	100
4	Pumping unit	5
5	Ground surface treatment unit	62
6	PITT	13
7	Soil Vapor Extraction	62
8	Bioremediation	31
9	Natural Attenuation	19
		374



**บทที่ 8**

**แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน**

## บทที่ 8

### แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

ปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากการลักลอบกบฝังกากสารเคมีอันตรายได้ทวีความรุนแรงและความถี่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากการขาดความรู้และการละเลยกฎหมายอันเป็นแนวทางที่ถูกต้องในการปฏิบัติเพื่อรักษาไว้ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชากรและของประเทศเป็นจำนวนมาก สาเหตุหนึ่งของปัญหาดังกล่าวเกิดจากความไม่พร้อมในการรับมือสถานการณ์การลักลอบกบฝังกากสารเคมีอันตรายและขาดประสบการณ์ในการประเมินสถานการณ์อันตรายเหล่านี้ล่วงหน้า นอกจากนี้การวางแผนและการเตรียมความพร้อมรองรับในการป้องกันและแก้ไขสถานการณ์ฉุกเฉินอย่างเป็นระบบ

คณะที่ปรึกษาได้สังเกตเห็นถึงปัญหาการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินที่ทวีความรุนแรงขึ้นมาก นอกจากนี้การจัดทำแผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินฉุกเฉินนั้นต้องอาศัยเทคนิคการจัดการและความรู้ความเข้าใจในศาสตร์ด้านต่างๆ ได้แก่ อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน และ ธรณีเคมี เป็นต้น ดังนั้นคณะที่ปรึกษาจึงได้จัดทำแผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและมีหน้าที่ความรับผิดชอบโดยตรงต่อปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดเตรียมความพร้อมในการจัดการ ป้องกัน และบรรเทาความเสียหายจากปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ได้ต่อไป

#### 8.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

##### 8.1.1 หน่วยงาน/องค์กรในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐที่มีส่วนรับผิดชอบในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของชั้นน้ำและชั้นดินของประเทศไทยทั้งทางตรงและทางอ้อมมีหลายหน่วยงาน ส่วนใหญ่จะเป็นหน่วยงานหลักในสังกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงที่กำหนดไว้ภายใต้กรอบของกฎหมาย ดังนี้

## 1) กรมควบคุมมลพิษ

มีอำนาจตามพระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ดังนี้

- เสนอความเห็นเพื่อจัดทำนโยบายและแผนการส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติด้านการควบคุมมลพิษ
- เสนอแนะการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม และมาตรฐานควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด
- จัดทำแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมและมาตรการในการควบคุมป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากภาวะมลพิษ
- ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับการจัดการมลพิษ
- ประสานความร่วมมือกับต่างประเทศและองค์การระหว่างประเทศในด้านการจัดการมลพิษ
- ดำเนินการเกี่ยวกับเรื่องรื้อถอนทุกชนิดด้านมลพิษ
- ดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติด้านการควบคุมมลพิษ และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง
- ปฏิบัติการอื่นใดตามที่กฎหมายกำหนดให้เป็นหน้าที่ของกรม หรือตามที่กระทรวงหรือคณะรัฐมนตรีมอบหมาย

## 2) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สน.)

มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากโครงการหรือกิจกรรมของภาครัฐหรือเอกชนซึ่งมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีหน้าที่บริหารงานกองทุนสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนนโยบาย แผน และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทุกภาคส่วน

### 3) กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

มีอำนาจหน้าที่ในการศึกษา วิเคราะห์ วิจัย พัฒนา ถ่ายทอด และ ส่งเสริมเทคโนโลยี เพื่อการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยหน่วยงานภายในที่มีภารกิจเกี่ยวข้องโดยตรง คือ กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านน้ำ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

### 4) สำนักงานกองทุนสิ่งแวดล้อม

มีอำนาจหน้าที่ ดังนี้

- แสอแนะนโยบายและแนวทางการบริหารและจัดการกองทุนสิ่งแวดล้อม
- จัดทำแผนการจัดสรรกองทุนสิ่งแวดล้อม
- แสอแนะหลักเกณฑ์ เงื่อนไข ระเบียบวิธีการดำเนินงานของกองทุนสิ่งแวดล้อม
- จัดทำแผนการจัดสรรกองทุนสิ่งแวดล้อม
- แสอแนะหลักเกณฑ์ เงื่อนไข ระเบียบ และวิธีการดำเนินงานของกองทุนสิ่งแวดล้อม
- จัดลำดับความสำคัญและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการสนับสนุนเงินอุดหนุน ให้แก่ส่วนราชการ และราชการส่วนท้องถิ่น
- จัดลำดับความสำคัญและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการสนับสนุนเงินกู้ให้แก่ส่วนราชการส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ และ เอกชน
- ประสานงานเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการทั้งด้านการลงทุนและวิชาการสำหรับโครงการที่จะได้รับการสนับสนุน ในลักษณะของเงินอุดหนุน และโครงการเงินกู้
- พิจารณาและจัดหาแหล่งเงินทุน
- ติดตามตรวจสอบและประเมินผลโครงการที่ให้การจัดสรรและให้เงินกู้ยืม
- แสอรายงานการรับจ่ายของกองทุนสิ่งแวดล้อม
- ดำเนินงานเกี่ยวกับงานเลขานุการของคณะกรรมการกองทุนสิ่งแวดล้อม และคณะอนุกรรมการที่คณะกรรมการกองทุนสิ่งแวดล้อมแต่งตั้งขึ้น

- ปฏิบัติงานร่วมกับหรือสนับสนุนการปฏิบัติงานของหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือได้รับมอบหมาย

## 5) กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

มีภารกิจเกี่ยวข้องกับการเสนอแนะในการจัดทำนโยบาย แผน มาตรการที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำบาดาล ดำเนินการสำรวจ บริหารจัดการ พัฒนา อนุรักษ์ รวมทั้งควบคุมดูแล กำกับ ประสาน ติดตามประเมินผล และแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำบาดาล พัฒนาวิชาการ กำหนดมาตรฐานและเทคโนโลยีด้านทรัพยากรน้ำบาดาล อำนาจหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล มีดังนี้:

- เสนอแนะนโยบาย แผน มาตรการบริหารจัดการ พัฒนา อนุรักษ์ และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล
- ดำเนินการสำรวจ บริหาร จัดการ พัฒนาอนุรักษ์ ฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล
- ติดตามประเมินผลตรวจสอบ บริหารจัดการ และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาล
- ศึกษา วิจัย และพัฒนาเพื่อบริหารจัดการอนุรักษ์ และ ฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล

### 8.1.2 แผนปฏิบัติการฉุกเฉินสำหรับอุบัติภัยทางสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

กรมควบคุมมลพิษได้ตระหนักถึงปัญหาอุบัติภัยจากสารเคมีที่เกิดจากนโยบายของภาครัฐในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้มีความเจริญก้าวหน้า สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้โดยการเร่งรัดพัฒนาอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ และสารเคมีมากมายหลายชนิดมาใช้ในกระบวนการผลิตก่อให้เกิดอุบัติภัยจากสารเคมีอย่างต่อเนื่อง กรมควบคุมมลพิษในฐานะผู้มีหน้าที่ดูแลและควบคุมระบบสิ่งแวดล้อมของประเทศจึงตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาเหล่านี้จึงได้จัดทำแผนปฏิบัติการฉุกเฉินจากสารเคมีระดับจังหวัด (Hazardous Materials Emergency Planning Guide) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดเตรียมความพร้อมในการป้องกันและบรรเทาภัยจากสารเคมีโดยเฉพาะ มีเนื้อหาครอบคลุมกระบวนการจัดทำแผนปฏิบัติการฉุกเฉินจากสารเคมีเพื่อรองรับการรั่วไหลและอันตรายที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของ

สารเคมีในอากาศ การทรุดบนพื้นดิน และไหลลงสู่แหล่งน้ำของสารเคมีอันตรายร้ายแรง ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบในลักษณะเฉียบพลันและมีผู้ได้รับผลกระทบเป็นจำนวนมาก

อนึ่ง แผนปฏิบัติการฉุกเฉินจากสารเคมีระดับจังหวัด (Hazardous Materials Emergency Planning Guide) โดยกรมควบคุมมลพิษ เป็นคู่มือที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดเตรียมความพร้อมในการป้องกันและบรรเทาภัยจากสารเคมีโดยเฉพาะ มีเนื้อหาค่อนข้างกว้างและไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบและ/หรืออันตรายที่เกิดจากการรั่วไหลของสารเคมีอันตรายต่อระบบสิ่งแวดล้อมมากนัก โดยเฉพาะผลกระทบต่อดินและแหล่งน้ำใต้ดิน นอกจากนี้สารปนเปื้อนที่พบได้บ่อยครั้งในน้ำใต้ดินปนเปื้อนเป็นสารปนเปื้อนจำพวก Volatile Organic Compounds (VOCs) ประเภท Nonaqueous Phase Liquids (NAPLs) ที่มีลักษณะเฉพาะตัว ไม่เหมือนสารเคมีประเภทอื่น หากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธีอาจก่อให้เกิดผลเสียหายต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินและมีผู้ได้รับความเสียหายในวงกว้างได้

การตอบสนองต่อเหตุการณ์ปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินหรือระบบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนนั้นขึ้นอยู่กับการพิจารณาหลายประการ เช่น วัตถุประสงค์ของแผนงานจัดการความเสี่ยง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเสี่ยง และต้นทุนของทางเลือกในการตอบสนองความเสี่ยง เป็นต้น โดยทั่วไป ทางเลือกในการตอบสนองความเสี่ยงอาจจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

- 1) แผนการตอบสนองในกรณีฉุกเฉิน (Emergency Response Action หรือ Short Term Response Plan) และ
- 2) แผนการตอบสนองที่มีการวางแผนล่วงหน้า (Planned Response Action หรือ Long Term Response Plan)

การตัดสินใจในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ปนเปื้อนหรือรับมือกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ต้องอาศัยข้อมูล 6 ประเภท (Wilson, 1991) ได้แก่

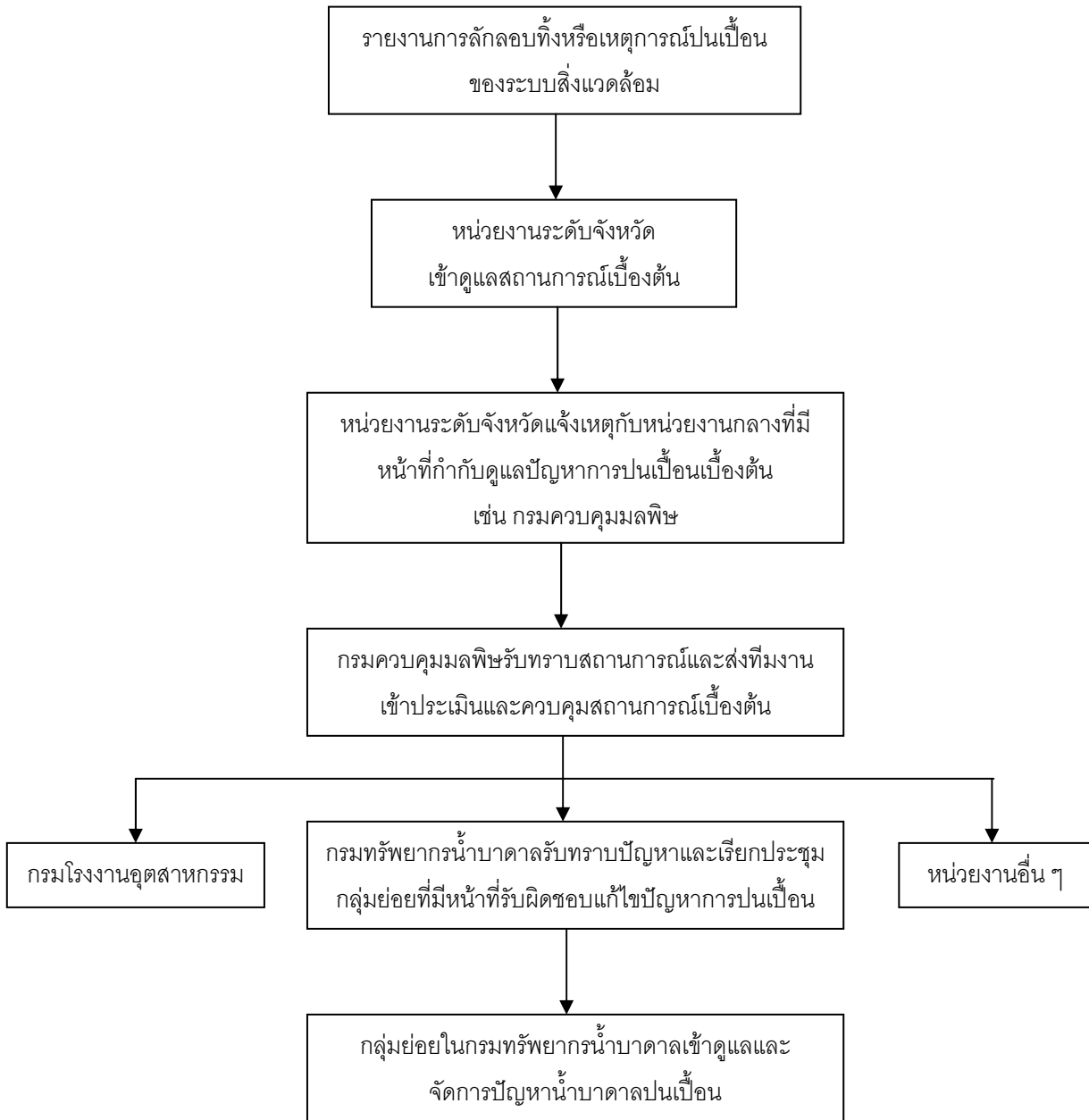
- 1) การประเมินสภาพ อาทิเช่น การประเมินกลไกควบคุมและกลไกไปนำพาโดยผู้ตรวจสอบ
- 2) ลักษณะการปนเปื้อน (occupancy characteristics)
- 3) ผลกระทบที่เป็นไปได้ของความเสียหายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

- 4) การประเมินต้นทุนของมาตรการตอบสนองที่มีอยู่
- 5) ผลกระทบในเชิงการลดความเสี่ยงของแต่ละมาตรการตอบสนอง
- 6) ทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อนำมาตรการตอบสนองไปปฏิบัติ

ในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนของน้ำใต้ดินขึ้น จำต้องมีแนวทางการดำเนินการอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถบรรเทา หรือแก้ไขสถานการณ์ได้อย่างทันที่ อันจะทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติและ ความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตประชากรในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบต่ำที่สุด แนวทางดังกล่าวคือ เมื่อมีการรายงานเหตุการณ์การปนเปื้อนขึ้นไม่ว่าจะเกิดจากการ Breakout ตามธรรมชาติ (ซึ่งมีโอกาสเกิดได้น้อยมาก) หรือเกิดจากการตั้งใจลักลอบทิ้งสารปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินก็ตาม จากชาวบ้านหรือหน่วยงานท้องถิ่นในบริเวณที่เกิดเหตุการณ์ จะต้องมีการรายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสู่ระดับจังหวัด ได้แก่ องค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.) ผู้ว่าราชการจังหวัด เป็นต้น จากนั้นหน่วยงานระดับจังหวัดได้แก่ทรัพยากรจังหวัดนั้นๆ ควรจะเข้าดูแลสถานการณ์เบื้องต้นหลังได้รับการร้องเรียนเพื่อตรวจสอบสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้นว่ามีความเสียหายรุนแรงเพียงใด หลังจากการตรวจสอบสภาพเบื้องต้นของการปนเปื้อนในพื้นที่ปนเปื้อนแล้วหน่วยงานระดับจังหวัดจึงควรดำเนินการแจ้งเหตุกับหน่วยงานกลางที่มีหน้าที่กำกับดูแลปัญหาการปนเปื้อนของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในระดับแรก ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อหน่วยงานกลางที่มีหน้าที่ในการกำกับดูแลปัญหาการปนเปื้อนรับทราบสถานการณ์และรายงานการตรวจสอบสถานการณ์เบื้องต้นจากทรัพยากรจังหวัดแล้ว ควรมีการเรียกประชุมหารือหน่วยงานย่อยที่เกี่ยวข้องและมีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อประเมินสถานการณ์เบื้องต้น จากนั้นจึงดำเนินการส่งทีมงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเข้าประเมินสถานการณ์ในพื้นที่ปนเปื้อนจริงอย่างรวดเร็วที่สุด การควบคุมสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้น (หากมีความจำเป็น) จะต้องดำเนินการทันทีอย่างรวดเร็วที่สุดที่จะทำได้ เพื่อลดความเสียหายที่พึงเกิดขึ้นได้ จากนั้นทีมงานที่เกี่ยวข้องดูแลสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้นนี้ควรจัดทำรายงานสรุปชนิดและปริมาณการปนเปื้อน รวมทั้งประเมินความเสี่ยงและวิธีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนไปสู่ Receptor ในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์การปนเปื้อนนี้ เพื่อใช้ประกอบการประชุมร่วมที่ทางหน่วยงานกลางควรจะต้องเรียกประชุมระหว่างหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องและอาจมีขอบเขตอำนาจรับผิดชอบโดยตรงในการจัดการปัญหาการปนเปื้อน เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมโรงงานอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อมีการประชุมรับทราบสถานการณ์การปนเปื้อนร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อรับทราบ

ปัญหาแล้ว หน่วยงานที่มีขอบเขตอำนาจโดยตรงในการดูแลระบบสิ่งแวดล้อมหรือทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดปัญหาการปนเปื้อนขึ้น ควรจะเรียกประชุมเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความเข้าใจในปัญหาการปนเปื้อนโดยตรง เพื่อประชุมหารือแนวทางการจัดการและแก้ปัญหาการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน หากมีหลักฐานการปนเปื้อนที่ชัดเจนและปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาการปนเปื้อนที่รุนแรง หน่วยงานที่มีส่วนรับผิดชอบโดยตรงมีความจำเป็นต้องให้ความช่วยเหลือเพื่อบรรเทาความเดือดร้อนจากปัญหาการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน โดยการใช้งบประมาณฉุกเฉิน เช่น การจัดหาแหล่งน้ำทดแทนเพื่อบรรเทาปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลักเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชากรในพื้นที่ปนเปื้อนที่เกิดการปนเปื้อน ก่อนที่จะดำเนินการแก้ปัญหาการปนเปื้อนจากการปนเปื้อนอย่างจริงจังโดยกลุ่มทำงานย่อยที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในปัญหาการปนเปื้อนนี้นั้นๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 8-1





รูปที่ 8-1 แนวทางการดำเนินงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

## 8.2 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนฉุกเฉิน-ระยะสั้น (Short Term Emergency Response Plan)

มาตรการในการแก้ปัญหา น้ำใต้ดินปนเปื้อนสามารถพิจารณาได้เป็นมาตรการระยะสั้นเฉพาะหน้าและมาตรการระยะยาว ในส่วนของมาตรการเฉพาะหน้าระยะสั้นในการรับมือกับเหตุการณ์การปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินนั้น ในทางทฤษฎีเมื่อเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนของน้ำใต้ดินสามารถสรุปโดยสังเขปได้ ดังนี้:

- รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสารปนเปื้อน ปริมาณ ชนิด สถานะ ทั้งหมดที่เกิดการรั่วซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน
- ศึกษาลักษณะโครงสร้างเบื้องต้นของชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา
- ระบุพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเบื้องต้นจากการปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน
- ระบุ Pathway ที่สารปนเปื้อนสามารถเดินทางเข้าสู่ระบบแหล่งน้ำใต้ดิน
- ระบุทิศทางและความเร็วการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- พยายามจำกัดการขยายขอบเขต (Containing) ของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อจำกัดความเสียหายของแหล่งน้ำใต้ดิน
- แจ้งเหตุการณ์ปนเปื้อนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรง เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมควบคุมมลพิษ ฯลฯ
- หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าควบคุมดูแลพื้นที่ปนเปื้อน แก้ปัญหาเฉพาะหน้า และประกาศเขตควบคุม หากจำเป็น
- จัดหาแหล่งน้ำใหม่ให้ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอย่างเร่งด่วน เช่น การนำน้ำดื่มบรรจุขวดไปแจกจ่ายแก่ประชาชนในพื้นที่ การนำรถขนน้ำประปาจากแหล่งน้ำใกล้เคียงเข้าสู่พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ การจัดหาแหล่งน้ำผิวดินสำรองที่สะอาดปราศจากมลพิษ เพื่อให้ประชาชนได้ใช้ในการอุปโภค ฯลฯ
- หากไม่สามารถหาแหล่งน้ำใหม่เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ทันท่วงที หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องนำระบบบำบัดน้ำปนเปื้อนมาติดตั้งให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เพื่อให้มีการบำบัดสารปนเปื้อนออกจากแหล่งน้ำใต้ดินก่อนการอุปโภคบริโภค
- หากมีการตรวจวิเคราะห์และยืนยันการปนเปื้อนได้แล้ว และน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสามารถก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อประชาชนหรือรัฐ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องประกาศเลิก

สูบน้ำใต้ดินชั่วคราวจนกว่าจะสามารถฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินกลับสู่สภาพที่เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภคต่อไป

ในส่วนของกรณีรับมือเหตุการณ์ปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินโดยนั้นขณะนี้มาตรา 9 ของ พ.ร.บ. ส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ให้อำนาจนายกรัฐมนตรีสามารถสั่งการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเมื่อมีเหตุฉุกเฉินต่อสาธารณชนเนื่องมาจากภาวะมลพิษ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อประชาชนหรือรัฐและสามารถดึงงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อมมาแก้ปัญหาได้เป็นกรณีไป

อนึ่ง การใช้มาตรา 9 ของ พ.ร.บ. ส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากปัญหาการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินด้วยสารเคมีหรือความเค็มก็ดี มีอยู่หลายกรณี นอกจากนี้ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมอื่นๆในประเทศก็ทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกขณะ หากจำเป็นต้องใช้มาตรา 9 ของ พ.ร.บ. ส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ในการแก้ปัญหาทุกกรณีคงทำได้ยาก และการใช้งบประมาณที่ใช้ในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนเป็นงบประมาณส่วนกลางทำให้ต้องมีการแข่งขันกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ หลายหน่วยงาน ดังนั้นประเทศไทยจึงควรมีหน่วยงานกลางที่จัดตั้งขึ้นเพื่อดูแลและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง ดังเช่น องค์การ United State Environmental Protection Agency (US. EPA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

แนวทางแก้ปัญหามลพิษการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินโดยหลีกเลี่ยงการใช้งานมาตรา 9 ของ พ.ร.บ. ส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 นั้น สามารถดำเนินการได้โดยอาศัยมาตรา 5 ของ พ.ร.บ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 ที่กล่าวไว้ดังนี้ “การกำหนดเขตท้องที่ใดให้เป็นเขตน้ำบาดาลตามพระราชบัญญัติให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการมีอำนาจกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาในกรณีที่มีการสูบน้ำบาดาลในเขตท้องที่ใดจะทำให้ชั้นน้ำบาดาลเสียหาย หรือเสื่อมสภาพหรืออาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพยากรของชาติ หรือทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ หรือเป็นอันตรายแก่ทรัพย์สินหรือสุขภาพของประชาชน หรือทำให้แผ่นดินทรุด ให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการมีอำนาจกำหนดเขตท้องที่นั้นให้เป็นเขตห้ามสูบน้ำบาดาลโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา การเปลี่ยนแปลงเขตน้ำบาดาลหรือเขตห้ามสูบน้ำบาดาลหรือการยกเลิกเขตน้ำบาดาลหรือเขตห้ามสูบน้ำบาดาลที่ได้ประกาศกำหนดไว้ ให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการ” จะเห็นได้ว่ามาตรา 5 ของ พ.ร.บ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 ให้อำนาจรัฐมนตรีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสามารถสั่งการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแก้ปัญหา

เฉพาะหน้าเมื่อมีเหตุฉุกเฉินต่อสาธารณชนเนื่องมาจากภาวะมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อประชาชนหรือรัฐได้โดยการประกาศเขตห้ามสูบน้ำบาดาล ซึ่งน่าจะเป็นขั้นตอนแรกในการตอบสนองเมื่อมีหลักฐานการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน

หลังเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินไม่ว่าจะมีสาเหตุจากการลักลอบกบถฝังกากสารเคมีเหมือนในกรณีศึกษา หรืออาจเกิดจากอุบัติเหตุการรั่วซึมของสารปนเปื้อนเหล่านี้ลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ได้ตั้งใจ หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงจำเป็นต้องมีการจัดสรรงบประมาณสำหรับการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนระดับฉุกเฉินก่อนที่สารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำจะแพร่กระจายก่อให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินของประเทศและก่อให้เกิดอันตรายต่อทรัพย์สินหรือสุขภาพของประชาชน งบประมาณฉุกเฉินนี้ควรต้องมีวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน รวมทั้งต้องความคล่องตัวต่อการใช้งานเพื่อการแก้ปัญหาในระดับฉุกเฉินดังกล่าวข้างต้น สำหรับกองทุนฟื้นฟูน้ำใต้ดินปนเปื้อนในต่างประเทศได้มาจากการเก็บภาษีสิ่งแวดล้อม หรือ มาจากการจัดทำระบบประกันสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การมีพันธบัตรสิ่งแวดล้อม (Performance Bond) ซึ่งเปรียบเสมือนการวางมัดจำในการทำกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพทรัพยากรน้ำใต้ดินของประเทศ เมื่อเกิดปัญหาการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำเงินจากกองทุนไปใช้แก้ปัญหาได้ทันทีที่ มาตรการการวางมัดจำในการทำกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพน้ำใต้ดินนี้ยังสามารถใช้ควบคู่กับมาตรา 5 ของ พ.ร.บ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เมื่อมีหลักฐานการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ทำให้ผู้ประกอบการอาจประสบปัญหาขาดแคลนแหล่งน้ำและต้องดำเนินการหาแหล่งน้ำใหม่มาทดแทนแหล่งน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน เป็นมาตรการบังคับผู้ประกอบการให้รักษาคุณภาพน้ำใต้ดินไปในตัวด้วย

### 8.3 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินในระยะยาว (Long Term Response Plan)

แนวทางการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำในประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้แก่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีความสมบูรณ์มากกว่าในประเทศไทยมาก ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงได้จัดทำและรวบรวมมาตรการด้านโครงสร้างขององค์กรที่กำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมรวมถึงทรัพยากรน้ำใต้ดินของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและฟื้นฟูความเสียหายจากการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำของประเทศไทย

#### 8.3.1 กฎหมาย กฎ และข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา

ในระบบกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐบัญญัติของสหรัฐ (federal laws) ด้านสิ่งแวดล้อมจะเป็นบทบัญญัติซึ่งแต่ละรัฐ (state), เทศมณฑล (county), หรือเมือง (city or town) สามารถเลือกที่จะนำไปปรับให้เข้มงวดยิ่งขึ้นเพื่อนำไปใช้ตามที่ตนประสงค์ โดยทั่วไปรัฐบัญญัติของสหรัฐจะเป็นข้อบัญญัติซึ่งกำหนดข้อบังคับพื้นฐานของความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละมลรัฐ มลรัฐต่าง ๆ จะเพิ่มเติมรัฐบัญญัติของรัฐ (state laws) ของตนและคำพิพากษาของศาล

รัฐบัญญัติของสหรัฐหลายฉบับได้กำหนดพื้นฐานของข้อบังคับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม โดยกฎหมายสำคัญ 3 ฉบับซึ่งกำหนดขอบเขตของข้อบังคับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- The National Environmental Policy Act (NEPA)
- The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)
- The Toxic Substances Control Act (TSCA)

NEPA ใช้โดยรัฐบาลกลาง (federal government) ของสหรัฐอเมริกาในกิจกรรมเกือบทุกรูปแบบซึ่งใช้เงินรัฐบาลกลางเพื่อสนับสนุนโครงการ กฎหมายดังกล่าวกำหนดให้รัฐบาลกลางต้องทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมก่อนจะเริ่มปฏิบัติการโครงการหรือใช้เงินของรัฐบาลกลาง (ยกเว้นในบางกรณี เช่น โครงการป้องกันประเทศ) อย่างไรก็ตาม รัฐบาลของรัฐและท้องถิ่นหลายรัฐสามารถได้นำข้อกำหนดของ NEPA ไปใช้ในรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงภาคเอกชนด้วย

TSCA เป็นกฎหมายที่กำหนดว่าสิ่งใดจัดเป็น “สารที่เป็นอันตราย (hazardous substance)” ในขณะที่ RCRA เป็นกฎหมายที่กำหนดว่าสารดังกล่าวจะต้องถูกควบคุมอย่างไร ตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุด

กฎหมายทั้งสามฉบับถือเป็นกฎหมายพื้นฐานของกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่สำคัญของประเทศสหรัฐอเมริกา อาทิเช่น

- The Clean Water Act และ The Safe Drinking Water Act ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน
- The Clean Air Act ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษทางอากาศ อันรวมไปถึง บทบัญญัติใน The National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAPs)
- The Superfund laws (CERCLA and SARA) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปล่อยสารที่เป็นอันตรายโดยไม่ควบคุมหรืออันอาจเป็นภัยคุกคามต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

สำหรับ Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) แก้ไขเพิ่มเติมโดย the Superfund Amendment and Reauthorization Act (SARA) เป็นข้อบัญญัติใน the Superfund laws ซึ่งกำหนดว่าใครจะต้องรับผิดชอบต่อการปล่อยสารที่เป็นอันตรายโดยไม่ควบคุมในสิ่งแวดล้อมและขอบเขตความรับผิดชอบของบุคคลดังกล่าว ภายใต้กฎหมายดังกล่าว ความรับผิดชอบต่อความเสียหายของเจ้าของหรือผู้ประกอบการ (owners or operators) จะเป็นไปในลักษณะ “เด็ดขาด ร่วมกัน และแบ่งแยกได้ (strict, joint, and several)” รวมถึงการย้อนหลังได้ตลอดไป (perpetually retroactive) โดยในกฎหมายนี้ ขอบเขตของผู้ต้องรับผิดชอบจะถูกกำหนดไว้อย่างกว้างมาก อาทิเช่น การกำหนดให้ครอบคลุม เจ้าของที่ดินปัจจุบัน และในอดีต ผู้ปฏิบัติงานซึ่งผลิตวัสดุ รวมไปถึงผู้ขนส่งวัสดุมาที่บริเวณปนเปื้อน หรือ การกำหนดให้เจ้าของและผู้ปฏิบัติการจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการบำบัดสิ่งแวดล้อมทั้งหมดแม้ว่าเจ้าของและผู้ปฏิบัติการจะเพียงแต่มีส่วนก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวเท่านั้น (Wilson, 1991)

### 8.3.2 นโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Management Policy)

การพัฒนาโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมโดยองค์กรที่รับผิดชอบในการควบคุมความเสี่ยง (controlling organization) มีข้อพิจารณาที่สำคัญดังต่อไปนี้

แผนการตอบสนองความเสี่ยงที่มีการวางแผนล่วงหน้า หมายถึง แนวทางแก้ไขปัญหาคือเป็นผลสืบเนื่องจากความเสี่ยงที่ได้มีการพิจารณาวางแผนไว้ล่วงหน้าก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้น การวางแผนการตอบสนองความเสี่ยงล่วงหน้านี้ควรมีการจัดทำงบประมาณควบคู่กันไปด้วย เพื่อที่ว่าในกรณีเมื่อเกิดปัญหาขึ้นจริง การแก้ไขปัญหาจะเป็นไปโดยทัน่วงที (quick fix) นอกจากนี้การวางแผนล่วงหน้าจะทำให้การใช้งบประมาณในการแก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างรอบคอบเปรียบเทียบกับการตัดสินใจอย่างรีบร้อนในกรณีที่มีปัญหาเกิดขึ้นแต่ไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า

แผนการตอบสนองในกรณีฉุกเฉิน หมายถึง แนวทางการแก้ไขปัญหาซึ่งมิได้มีการวางแผนในการตอบสนองไว้ล่วงหน้า ในกรณีนี้ ปัญหาเกิดจากความเสียหายที่ยากต่อการคาดการณ์หรือมีโอกาสคาดการณ์ได้ล่วงหน้า (เช่นกรณี Exxon Valdez) แม้ว่าจะไม่มีการจัดเตรียมแผนการตอบสนองความเสี่ยงไว้ล่วงหน้า แต่องค์กรที่รับผิดชอบควรมีการจัดเตรียมแนวทางเบื้องต้นในการจัดหาและการใช้งบประมาณเพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีฉุกเฉินต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากความล่าช้าในการแก้ไขปัญหาอย่างทัน่วงทีมักจะนำไปสู่ความเสียหายที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล นอกจากนี้ความล่าช้าอาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพของคน ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม และการประชาสัมพันธ์

### 8.3.3 หน่วยงานกลางที่กำกับดูแลระบบสิ่งแวดล้อมของประเทศ

สำหรับในประเทศไทยนั้นหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการกำกับดูแลระบบสิ่งแวดล้อมระดับประเทศมีหลายหน่วยงาน ได้แก่ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม การนิคมอุตสาหกรรม สำนักงานกรุงเทพมหานคร เป็นต้น จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่าระบบจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยยังคงขาดความมีเอกภาพเนื่องจากในบางหน่วยงานมีขอบเขตอำนาจทับซ้อนกันอยู่

หน่วยงาน United States Environmental Protection Agency (US. EPA) เป็นองค์กรของรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดในด้านการจัดการดูแลระบบ

สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ เป็นหน่วยงานของรัฐบาลกลางที่เกิดจากการรวบรวมหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมที่เคยมีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน และยังมีห้องปฏิบัติการที่มีศักยภาพสูงในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมกระจายกันอยู่ทั่วประเทศ US.EPA หน้าที่กำกับดูแลออกและบังคับใช้กฎหมาย การให้ความช่วยเหลือในลักษณะเงินทุน (Grants) เพื่อศึกษาวิจัย ส่งเสริมความเข้าใจในการรักษาระบบสิ่งแวดล้อม และประชาสัมพันธ์ข่าวสาร ให้แก่ประชาชนทั่วไปและนักวิจัยในมหาวิทยาลัย

ขอบเขตอำนาจหน้าที่และพันธกิจด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของ US.EPA มีดังนี้

1. กำหนดและจัดทำนโยบายและแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม
  - 1.1 กำหนดนโยบายและจัดทำแผนบริหารและจัดการสิ่งแวดล้อมระดับชาติ (Federal Implementation Plans หรือ FIP) เสนอต่อรัฐบาลกลาง
  - 1.2 มลรัฐแต่ละแห่งจะใช้แผน FIP เป็นกรอบและทิศทางการจัดทำแผนปฏิบัติการระดับรัฐ (State Implementation Plus หรือ SIP) และเสนอแผน SIP ต่อ US.EPA เพื่อให้ความเห็นชอบ มลรัฐจะดำเนินการประเมินประสิทธิภาพหรือปรับปรุงแผน SIP ทุก 3 ปี
  - 1.3 มีการใช้ระบบงบประมาณเป็นเครื่องมือกำกับดูแลและผลักดันให้มีการดำเนินการตามข้อ 1.2
  - 1.4 หากรัฐดำเนินการตามแผน SIP แต่ยังไม่สามารถรักษาสิ่งแวดล้อมให้ออกุในเกณฑ์มาตรฐานได้ US.EPA จะดำเนินการตัดงบประมาณและใช้แผน FIP ผลักดันให้มลรัฐปรับปรุงแผน SIP ให้สามารถแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและต้องเสนอแผนที่ปรับปรุงดังกล่าวต่อ US.EPA
2. การบริหารงบประมาณ
  - 2.1 เป็นหน่วยงานหลักในการจัดสรรงบประมาณด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่มลรัฐ ท้องถิ่น องค์การเอกชน สถาบันการศึกษา และภาคเอกชนที่มีแผนงานหรือโครงการที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนา ส่งเสริม และรักษาสิ่งแวดล้อม
  - 2.2 มีกองทุนสิ่งแวดล้อมกลาง (Super Fund) เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานฟื้นฟูและระงับเหตุฉุกเฉิน



- 2.3 มีอำนาจสั่งการให้มลรัฐดำเนินการระงับเหตุฉุกเฉินโดยใช้เงินกองทุนฉุกเฉินของมลรัฐดำเนินการแทนโดยใช้กองทุนฟื้นฟู (Super Fund)
3. การป้องกันและพิทักษ์สิ่งแวดล้อม
    - 3.1 นำหลักการจัดการมลพิษเชิงพื้นที่มาใช้ในการป้องกันและควบคุมมลพิษ เช่น กำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม มาตรฐานการปล่อยมลพิษ ระบบใบอนุญาตการปล่อยมลพิษ การเก็บค่าธรรมเนียมการปล่อยมลพิษหรือค่าปรับจากบทลงโทษเพื่อจนพรายได้เข้ากองทุนสิ่งแวดล้อมกลาง การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ใบอนุญาตการบำบัดและกำจัดของเสีย ควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืช การควบคุมการเกิด การขนส่งและกำจัดของเสียอันตราย
    - 3.2 จัดทำโปรแกรมการลดปริมาณของเสียให้เหลือน้อยที่สุดหรือการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ตามหลักการป้องกันการเกิดมลพิษ (Pollution Prevention) และให้เงินทุนสนับสนุน (Grants) แก่มลรัฐที่มีการดำเนินงานดังกล่าว
    - 3.3 ภารกิจดูแลสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศในบรรยากาศและในอาคาร ภูมิอากาศโลก คุณภาพน้ำ (น้ำผิวดิน น้ำทะเล น้ำบาดาล น้ำดื่ม น้ำเสีย พื้นที่ชุ่มน้ำ) ระบบนิเวศ รั้วสี สารอันตราย และสารเคมี ขยะมูลฝอย ของเสียอันตราย การทำเหมือง การขุดเจาะน้ำมันและก๊าซ อาวุธยุทธโศปกรณ์ งานอนามัยและความปลอดภัย
  4. การพัฒนากฎหมายและการบังคับใช้
    - 4.1 กฎหมายของ US.EPA กำหนดเป็นกฎหมายเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องกับการปกป้องคุ้มครองสุขภาพอนามัยของประชาชนและคุณภาพสิ่งแวดล้อมมากกว่า 30 ฉบับ เช่น กฎหมายด้านน้ำ อากาศ รั้วสี ขยะ กากของเสีย อาหารและยา การป้องกันมลพิษ เหตุฉุกเฉิน การชดเชยความเสียหาย และการฟ้องร้องผู้กระทำความผิด การจัดสรรเงินกองทุนเพื่อฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนมลพิษ เป็นต้น
    - 4.2 สามารถบังคับใช้กฎหมายได้ทั้งทางแพ่ง อาญา และปกครอง
    - 4.3 มีระบบสนับสนุนการบังคับใช้กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบใกล้เคียงมาตรการทางสังคม การสาธารณประโยชน์ จัดทำโปรแกรมส่งเสริมการลดและจัดการมลพิษร่วมกับบทลงโทษทางกฎหมาย

5. การติดตามตรวจสอบประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อม
  - 5.1 มีหน้าที่ในการจัดทำข้อกำหนดการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม
  - 5.2 องค์การระดับเขตของ US.EPA (Regional Office) เป็นผู้กำกับ ดูแล และติดตามการดำเนินงานของมลรัฐในเขตรับผิดชอบให้ปฏิบัติตามข้อกำหนด รวมทั้งการประเมินสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับเขต
  - 5.3 งานติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นกิจกรรมหนึ่งที่กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการระดับรัฐ
  - 5.4 ดำเนินการติดตามข้อมูลการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิดโดยผู้ครอบครองแหล่งกำเนิด เป็นผู้วิเคราะห์และรายงานผล
  - 5.5 จัดทำรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมเสนอต่อฝ่ายนิติบัญญัติ
6. การบรรเทาความเสียหายจากอุบัติเหตุด้านมลพิษและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม
  - 6.1 มีหน้าที่ในการออกข้อกำหนดและกำกับดูแลการจัดการระดับเหตุฉุกเฉินและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม
  - 6.2 เป็นศูนย์รับแจ้งเหตุและประสานเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง และเป็นศูนย์ได้ตอบมลพิษสิ่งแวดล้อม
  - 6.3 มีอำนาจสั่งการให้มลรัฐดำเนินการระดับเหตุฉุกเฉินของรัฐกรณีที่เกิดขีดความสามารถของมลรัฐที่จะดำเนินการได้ US.EPA จะดำเนินการแทนโดยใช้เงินกองทุน Super Fund ทั้งนี้สามารถประสานกับหน่วยงานเอกชนที่รับจ้างระดับอุบัติเหตุหรือฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อม
  - 6.4 เจ้าหน้าที่จากส่วนกลางและองค์การระดับเขตจะทำหน้าที่เป็นหน่วยเร่งรัดและประสานให้มลรัฐและท้องถิ่นดำเนินการปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎหมาย รวมทั้งจัดสรรบุคลากรที่มติดอบได้มลพิษสิ่งแวดล้อมจากส่วนกลางและหน่วยงานเอกชนให้ความช่วยเหลือแก่มลรัฐและส่วนท้องถิ่น
7. การเสริมสร้างความรู้และจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม
  - 7.1 กำหนดแผนงานหรือโปรแกรมสนับสนุนการมีส่วนร่วมระหว่างหน่วยงานภาครัฐ ประชาชน และเอกชน ในลักษณะอาสาสมัครสำหรับนโยบายการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เพื่อสร้างเครือข่ายพันธมิตรด้านสิ่งแวดล้อม

- 7.2 ให้การสนับสนุนการศึกษาและการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมทุกระดับ
- 7.3 จัดทำหลักสูตรและดำเนินการฝึกอบรม
8. ความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ
  - 8.1 ประสานงานระหว่างประเทศเกี่ยวกับการดำเนินงานด้านมลพิษบริเวณรอยต่อระหว่างประเทศและระดับโลก
  - 8.2 เสนอแนะเชิงนโยบายและท่าทีของหน่วยงานในการดำเนินงานความร่วมมือระหว่างประเทศเกี่ยวกับข้อตกลงและพันธสัญญาาระหว่างประเทศ ตลอดจนดำเนินการตามนโยบายต่างประเทศของรัฐบาล
  - 8.3 ประสานงานความร่วมมือสร้างเครือข่ายกับองค์กรระหว่างประเทศ กลุ่มประเทศ และประเทศ (Regional, Multilateral, Bilateral)
9. การวิจัยและพัฒนา
  - 9.1 ดำเนินการวิจัยและพัฒนาครอบคลุมงานด้านน้ำดื่ม คุณภาพแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก คุณภาพอากาศ การประเมินระบบนิเวศและการฟื้นฟู การป้องกันมลพิษสารเคมี และ ความเสี่ยงต่อสุขภาพ การใช้ประโยชน์ของเสีย
  - 9.2 ให้ทุนวิจัยหรือร่วมลงทุนการวิจัยกับสถานการศึกษาหรือภาคเอกชน และให้ทุนการศึกษา เพื่อพัฒนาบุคลากรด้านการจัดการสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม
  - 9.3 กำหนดกรอบทิศทางการวิจัยของประเทศด้านสิ่งแวดล้อม
  - 9.4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม
  - 9.5 พัฒนาและกำหนดเทคนิคการตรวจวัดและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 8.3.4 การพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อม

ในกระบวนการดำเนินคดีด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยการพิสูจน์ ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางเทคนิคและกฎหมายเป็นอย่างมากเนื่องจากผู้ได้รับผลกระทบจากการเกิดความเสียหายในคดีสิ่งแวดล้อมเป็นประชาชนธรรมดา ที่อาจไม่สามารถรับภาระการพิสูจน์หาหลักฐานทางสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการพิสูจน์จึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งเพื่อสืบหาผู้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยการพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Forensics) ตกอยู่ที่ผู้เสียหายเกือบทั้งหมดจึงเป็นการยากที่จะดำเนินคดีกับผู้ถูกกล่าวหาว่าก่อ

มลพิษทางสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าแนวความคิดการเปลี่ยนภาระการพิสูจน์หาหลักฐานทางสิ่งแวดล้อมไปยังผู้ถูกกล่าวหาว่าก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในมาตรการจัดการการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

### 8.3.5 การมีส่วนร่วมของภาคประชาชน

การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน เนื่องจากประชาชนคือผู้ได้รับผลกระทบหรือเป็นผู้เสียหายที่แท้จริงนั่นเอง การที่ภาคประชาชนจะเข้มแข็งและมีบทบาทได้อย่างเต็มที่มีนั้น จำต้องมีความรู้และมีข้อมูลเพียงพอในการตรวจสอบ ใฝ่ระวัง และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำใต้ดิน คอยเป็นหูเป็นตาให้กับภาครัฐในการ ระวัง ปกป้อง ดูแลรักษาแหล่งน้ำใต้ดิน ดังนั้นการสร้างกระบวนการเรียนรู้เพื่อเพิ่มศักยภาพให้แก่ภาคประชาชนอย่างเป็นระบบจึงเป็นส่วนสำคัญอย่างมากให้ภาคประชาชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลคุณภาพของแหล่งน้ำใต้ดินได้มากขึ้น

### 8.3.6 การจัดทำ National Priority List (NPL)

ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการจัดทำ National Priority List (NPL) โดยหน่วยงานต่างๆที่มีหน้าที่รับผิดชอบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ US.EPA, Department of Energy (DOE), Department of Defense (DOD) เป็นต้น เพื่อเป็นมาตรฐานให้แก่หน่วยงานเหล่านี้ในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศ ปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากกรณีร้องเรียนที่เพิ่มมากขึ้นจากภาคประชาชน สำหรับในประเทศไทยยังขาดการจัดลำดับความสำคัญของกรณีปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนในปัจจุบันทำให้ยากต่อการจัดการบริหารจัดการ แม้ว่าในปัจจุบันจะยังไม่มียุทธศาสตร์กลางที่มีอำนาจและหน้าที่ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจังในประเทศไทย แต่องค์กรต่างๆในประเทศไทยที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูแลสิ่งแวดล้อม เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ก็สามารถดำเนินการจัดทำ NPL เฉพาะสำหรับแต่ละหน่วยงานได้เช่นกัน จากการรวบรวมข้อมูลในต่างประเทศ พบว่า NPL ของแต่ละหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน เนื่องจากแต่ละหน่วยงานมีกลุ่มสารปนเปื้อนเป้าหมายต่างกันออกไป เช่น US.EPA จะให้ความสำคัญต่อการปนเปื้อนด้วยสาร Chlorinated Compounds กลุ่ม PCE และ TCE เป็น

อย่างอันดับแรก ในขณะที่ DOE จะให้ความสำคัญต่อสารปนเปื้อนที่เป็นกากสารกัมมันตภาพรังสีจากโรงปฏิกรณ์นิวเคลียร์เป็นหลัก เป็นต้น

### 8.3.7 การจัดทำฐานข้อมูลสารอันตรายของประเทศ

การจัดทำฐานข้อมูลสารเคมีอันตรายและการขนส่งสารเคมีต่างๆทั่วประเทศจัดเป็นมาตรการที่สำคัญในการเข้าถึงข้อมูลความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำของประเทศไทยเช่นเดียวกัน ตัวอย่างข้อมูลที่ต้องได้รับรายงาน ได้แก่ ที่ตั้งโรงงาน ประเภทของโรงงาน ชนิด ปริมาณ และ สถานะของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ชนิด ปริมาณ และสถานะของสารเคมีที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบของของเสีย กลุ่มที่ควรรายงานข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม เหมือนแร่ การเกษตร (ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช) เป็นต้น

นอกจากนี้แล้วสารเคมีที่ใช้ในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้นมีเพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นจึงควรมีการจัดทำรายชื่อสารเคมีเหล่านี้ที่มีการใช้งานจริงในประเทศไทย เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เฝ้าระวัง ติดตาม และ Update ความรู้ในการจัดการสารเหล่านี้เมื่อเกิดการปนเปื้อนขึ้นในแหล่งน้ำใต้ดินนั่นเอง ข้อมูลที่ควรมีการบันทึกและรายงาน ได้แก่ ชนิด ปริมาณ สถานะ กิจกรรม แนวทางการใช้งานสารเหล่านี้อย่างปลอดภัย (Material Safety Data Sheet) อันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ Half-Life ของสารเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

### 8.3.8 การประชาสัมพันธ์

เนื่องจากการรับรู้ของสาธารณชน (อาทิเช่น ประชาชน สื่อมวลชน ผู้มีหน้าที่ควบคุมดูแลด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงกระบวนการยุติธรรม) เกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่มีผลอย่างยิ่งต่อการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดความแตกต่างระหว่างความเสี่ยงที่สาธารณชนรับรู้ (perceived risk) และความเสี่ยงที่มีอยู่จริง (actual risk) ให้มากที่สุด

ดังนั้นความสำเร็จของแผนงานจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมจึงไม่เพียงขึ้นอยู่กับความเข้าใจในผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้จากความเสี่ยง แต่ยังรวมไปถึงการตระหนักถึงการรับรู้ของสาธารณชนต่อผลกระทบดังกล่าวและความสามารถของหน่วยงานที่รับผิดชอบในการควบคุมความเสี่ยงนั้น

ในประเทศสหรัฐอเมริกา การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับภัยที่เป็นไปได้อันเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดความเสี่ยงต่อสาธารณชน (public disclosure) ได้ถูกกำหนดไว้ในกฎหมาย เช่น ข้อบัญญัติ “Community Right-to-Know” ของ SARA เป็นต้น ทั้งนี้ข้อกำหนดดังกล่าวถูกมองว่ามีผลทั้งในเชิงกลยุทธ์ (strategic) และเชิงกลวิธี (tactical) กล่าวคือ ในเชิงกลยุทธ์การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณชนเป็นการกระทำที่สอดคล้องกับสิทธิในการรับรู้ (right to know) ของสาธารณชน สำหรับในส่วนของกลวิธีนั้น การเปิดเผยข้อมูลจะทำให้ผู้กระทำผิดเปลี่ยนแปลงการกระทำของตน (เช่น หยุดการปล่อยสารพิษ) อันเป็นการลดความเสี่ยงที่เป็นไปได้อีกด้วย

การประชาสัมพันธ์ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการสื่อสารด้านความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพ (effective risk communications) กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างความน่าเชื่อถือของผู้รับผิดชอบปัญหา รวมถึงการสร้างความเข้าใจต่อปัญหาของสาธารณชนอีกด้วย

### 8.3.9 การกำหนดวัตถุประสงค์ของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน

นโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีควรเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์พื้นฐานของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Management Program) โดยองค์กรที่รับผิดชอบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแผนงานและนำแผนงานดังกล่าวไปปฏิบัติ

วัตถุประสงค์ของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป คือ “การลดความเสี่ยงให้ได้มากที่สุดโดยใช้ต้นทุนที่เป็นไปได้ที่น้อยที่สุด (maximization of risk reduction at minimum feasible cost)” กล่าวคือ การลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขบังคับของเทคโนโลยี เศรษฐกิจ และสภาพท้องถิ่น ทั้งนี้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องกำจัดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมโดยสิ้นเชิง อย่างไรก็ตามการไม่ลดความเสี่ยงเลยก็เป็นสิ่งที่ไม่อาจยอมรับได้เช่นกัน

องค์กรที่รับผิดชอบจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความจำเป็นในการลดความเสี่ยง สมรรถนะทางเทคโนโลยีของวิธีการลดความเสี่ยงที่มีอยู่ สภาพของท้องถิ่น และความสามารถขององค์กรในการหาเงินสนับสนุน การหาจุดสมดุลดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดนโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม

### 8.3.10 การจัดทำมาตรการการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนเพื่อเป็นมาตรฐานในการดำเนินงาน

มาตรฐานการจัดการสารปนเปื้อนสามารถพัฒนาจากมาตรการตอบสนองของความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมทั่วไป ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท (Wilson, 1991) ได้แก่

- (1) แผนดำเนินงานและบำรุงรักษา (operations and maintenance, O&M) ซึ่งออกแบบสำหรับการบำรุงรักษากลไกควบคุม (control mechanism) แหล่งกำเนิดความเสี่ยงในระยะยาว
- (2) มาตรการซ่อมแซม (repair) หรือการแก้ไขปรับปรุงกลไกควบคุมให้กลับสู่สภาพที่ใช้งานได้
- (3) มาตรการ encapsulation หรือการใช้ impermeable membrane เพื่อป้องกันแหล่งกำเนิดความเสี่ยงจากกลไกนำพา (transport mechanism)
- (4) มาตรการ enclosure หรือการสร้างแนวป้องกันประเภท impermeable physical barrier เพื่อป้องกันแหล่งกำเนิดความเสี่ยงจากกลไกนำพา
- (5) มาตรการ isolation หรือการกั้นบริเวณแหล่งกำเนิดความเสี่ยงออกจากการเข้าถึงของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม แต่อาจจะอนุญาตให้บุคคลซึ่งผ่านการฝึกอบรม มีการเตรียมพร้อม และมีคุณสมบัติเข้าสู่บริเวณดังกล่าวได้
- (6) มาตรการ removal and disposal หรือการเคลื่อนย้ายทางกายภาพของแหล่งกำเนิดความเสี่ยงจากตำแหน่งที่มีความเสี่ยงสูงไปยังตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่ำกว่า หรืออาจจะทำการเปลี่ยนแปลงเป็นสภาพที่ไม่มีอันตราย

## 8.4 บทสรุปกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

เมื่อเกิดปัญหาการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินก็ดี หรือในระบบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ก็ดี โดยเฉพาะเมื่อต้นเหตุการเกิดการปนเปื้อนนั้นไม่สามารถถูกระบุได้อย่างชัดเจนว่าเป็นการกระทำโดยกลุ่มบุคคลใด และทำที่สุดผู้เสียหายหรือได้รับผลกระทบควรจะดำเนินคดีเพื่อเรียกร้องค่าเสียหายที่เกิดขึ้นกับใครนั้น ยังคงเป็นประเด็นปัญหาหลักสำหรับประเทศไทย เนื่องจากมีปัญหาและอุปสรรคมากมายหลายด้านในการที่จะสามารถดำเนินคดีกับผู้กระทำผิดได้ เช่น ขาดกลไกทางเทคนิคที่จำเป็นในการพิสูจน์ทราบสาเหตุของการปนเปื้อน ขาดกลไกช่วยเหลือในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง ขาดความชัดเจนในกระบวนการยุติธรรมในคดีสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ดังนั้นคณะที่ปรึกษาจึงได้ดำเนินการสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมไว้ โดยดัดแปลงจากบทความของ วินัย เรืองศรี (2550) ดังนี้

### 1) คดีสิ่งแวดล้อมและกฎหมายสิ่งแวดล้อม

คดีสิ่งแวดล้อม (environmental cases) หมายถึง ข้อพิพาทหรือความขัดแย้งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ให้นิยามไว้ว่า “สิ่งแวดล้อม” หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่มีลักษณะในทางกายภาพและชีวภาพที่อยู่รอบตัวมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์ทำขึ้น หากพิจารณาตามนิยามดังกล่าวโดยตรงจะเห็นได้ว่า คดีสิ่งแวดล้อมมีขอบเขตที่กว้างมาก อันอาจนำไปสู่ปัญหาต่อเขตอำนาจศาลในการพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวางหลักเกณฑ์เพื่อกำหนดขอบเขตคดีสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยให้ชัดเจนและสอดคล้องกับแนวความคิดพื้นฐานในการอนุรักษ์และคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของประเทศ

เนื่องจากนโยบายของรัฐบาลไทยจากอดีตจนถึงปัจจุบันมุ่งพัฒนาประเทศโดยเน้นทางด้านการลงทุนและเพิ่มผลผลิตในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ จึงนำไปสู่ปัญหาการลดลงและการถูกทำลายของทรัพยากรธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรน้ำ หรือ ทรัพยากรพลังงาน ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และ ปัญหาทางด้านมลพิษ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าว รัฐจึงได้ใช้กลไกทางกฎหมายเพื่อเป็นมาตรการคุ้มครองและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จากข้อเท็จจริงดังกล่าว ขอบเขตของ “คดีสิ่งแวดล้อม” ในไทยจึงควรหมายถึง คดีใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบังคับใช้



กฎหมายสิ่งแวดล้อม โดยการพิจารณาว่ากฎหมายฉบับใดเป็นกฎหมายสิ่งแวดล้อมนั้น จะต้องพิจารณาในรายละเอียดเนื้อหาของกฎหมายนั้นเป็นสำคัญ

ถ้าพิจารณาจากนิยามข้างต้น เราอาจให้คำจำกัดความของ “กฎหมายสิ่งแวดล้อม” (environmental law) คือ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการคุ้มครองเรื่องสาธารณสุขและธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น หรือ คือ กฎหมายที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือหรือมาตรการในการป้องกัน แก้ไข บรรเทา เยียวยา หรือลดโทษผลจากการกระทำที่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือคุกคามต่อสิ่งแวดล้อม สาธารณสุข และความปลอดภัยแก่บุคคลและทรัพย์สิน รวมถึงการใช้และการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ

กฎหมายสิ่งแวดล้อมของไทยมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจัดกระจายไม่เป็นระบบ อาทิ เช่น

- ธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2540 (ยกเลิกแล้ว)
- พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2504
- พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2504
- พระราชบัญญัติรักษาคลองประปา พ.ศ. 2526
- พระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535
- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เกี่ยวกับของเสียอันตราย และไม่อันตราย โดยรวม
- พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 เป็นต้น

นอกจากนี้กฎหมายสิ่งแวดล้อมยังอาจรวมถึง ประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์และประมวลกฎหมายอาญา อันเป็นกฎหมายพื้นฐานซึ่งมีบทบัญญัติคุ้มครองในเรื่องสิ่งแวดล้อมเช่นกัน กล่าวคือ ผู้ที่ได้รับความเสียหายจากการกระทำซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาจฟ้องเรียกค่าเสียหายในมูลละเมิด (คดีแพ่ง) หรืออาจฟ้องให้ผู้กระทำต้องรับโทษในความผิดต่อชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สิน (คดีอาญา) ซึ่งการฟ้องร้องดังกล่าวถือเป็นการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในตัวเอง

แม้การบังคับใช้กฎหมายนี้จะจำกัดเฉพาะผู้ที่ได้รับความเดือดร้อนเสียหายโดยตรงเท่านั้น แต่อาจพิจารณาได้ว่าสามารถเสริมให้การใช้กฎหมายเป็นเครื่องมือเพื่อคุ้มครองสิ่งแวดล้อมให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ดังนั้นขอบเขตของคดีสิ่งแวดล้อมจึงควรเกี่ยวข้องกับประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ และประมวลกฎหมายอาญาในส่วนที่ให้ความคุ้มครองต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย อาทิเช่น ความรับผิดชอบในมูลละเมิด เรื่องแดนกรรมสิทธิ์และการใช้กรรมสิทธิ์ ความผิดเกี่ยวกับการก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชน และความผิดเกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย ทรัพย์สิน และสุขภาพ เป็นต้น

คดีสิ่งแวดล้อมไม่เพียงแต่จะมีความเกี่ยวข้องกับสิทธิของเอกชน แต่ยังมีความเกี่ยวข้องกับต่อประโยชน์ของส่วนรวม (สาธารณประโยชน์) อีกด้วย นอกจากนี้บุคคลที่ต้องเข้ามีส่วนรับผิดชอบหรือมีส่วนเกี่ยวข้องมักมีหลายฝ่าย ทั้งหน่วยงานของรัฐและภาคเอกชน อันอาจนำไปสู่ความขัดแย้งระหว่างหน่วยงานของรัฐกับเอกชน ระหว่างเอกชนผู้ก่อให้เกิดปัญหาและเอกชนผู้ได้รับความเสียหาย หรือระหว่างหน่วยงานของรัฐด้วยกันเอง ผู้ได้รับความเสียหายหรือผลกระทบจากเหตุข้างต้นอาจใช้สิทธิในการเรียกร้องค่าเสียหายหรือการเยียวยาความเสียหายได้ทั้งในทางแพ่งและในทางปกครอง ผู้ที่ฝ่าฝืนกฎหมายสิ่งแวดล้อมก็ต้องถูกดำเนินคดีอาญาอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากคดีสิ่งแวดล้อมบางส่วนอาจเกี่ยวข้องกับกฎหมายปกครองดังนั้นคดีดังกล่าวอาจจัดเป็นคดีปกครองอีกด้วย

## 2) ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อม

ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อมของไทยอาจสรุปได้ดังนี้

### ● เขตอำนาจศาล

เนื่องจากประเทศไทยมีกฎหมายสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก และกฎหมายเหล่านี้มีทั้งโทษทางแพ่งและทางอาญา ดังนั้นเมื่อเกิดข้อพิพาทเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม คดีดังกล่าวอาจเป็นคดีแพ่งหรือคดีอาญา นอกจากนี้หากเป็นกรณีที่เจ้าพนักงานของรัฐมีคำสั่งทางปกครองและผู้อยู่เสียหายไม่พอใจ ผู้เสียหายก็อาจนำคดีขึ้นสู่ศาลปกครองได้ หรือในกรณีที่เป็นคดีสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับคดีแรงงาน ก็อาจนำคดีขึ้นสู่การพิจารณาของศาลแรงงานได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าคดีสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยจะจัดกระจายอยู่หลายศาล ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องเขตอำนาจศาลซึ่งอาจทำให้ผู้เสียหายเกิดความสับสนว่าควรนำคดีขึ้นสู่ศาลใด นอกจากนี้ระบบการพิจารณาคดีในแต่ละศาลก็มีความแตกต่างกัน อาทิเช่น การพิจารณาคดีในศาลยุติธรรมเป็นระบบกล่าวหา นั่นคือ คู่ความมีหน้าที่หาพยานหลักฐานมาสนับสนุนข้ออ้างของตน ในขณะที่การพิจารณาคดีในศาลแรงงานและศาลปกครองเป็นระบบไต่สวน นั่นคือ ศาลเป็นผู้ค้นหาความจริงด้วยตนเอง ดังนั้นภาระในการนำเสนอพยานหลักฐานของคู่ความในศาลต่าง ๆ ย่อมแตกต่างกันไปด้วย

### • อำนาจฟ้อง

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายวิธีพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ ดังนั้นการฟ้องจึงอาศัยประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งมาตรา 55 และมาตรา 172 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่ง มาตรา 55 บัญญัติไว้ว่า

“เมื่อมีข้อโต้แย้งเกิดขึ้นเกี่ยวกับสิทธิหรือหน้าที่ของบุคคลใดตามกฎหมายแพ่งหรือบุคคลใดจะต้องใช้สิทธิทางศาล บุคคลนั้นชอบที่จะเสนอคดีของตนต่อศาลส่วนแพ่งที่มีเขตอำนาจได้ ตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายแพ่งและประมวลกฎหมายนี้”

ปัญหาในการปรับใช้มาตราดังกล่าวกับข้อพิพาทเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม คือ การกระทำเพียงใดจะถือว่ามี การโต้แย้งสิทธิเกิดขึ้น อันจะถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของคดีสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากในหลายคดี ความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมมิได้ปรากฏทันทีดังเช่นในข้อพิพาทอื่น ๆ ทั่วไป อาทิเช่น ความเสียหายเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ดำเนินไปอย่างช้า ๆ หรือจากการสะสมของสารพิษจะถึงระดับหนึ่ง จึงสร้างความเสียหายขึ้น ซึ่งหากผลจากความเสียหายดังกล่าวยังไม่เกิดขึ้น ก็ยังมีอาจถือได้ว่าผู้เสียหายถูกโต้แย้งสิทธิตามมาตราดังกล่าว ในบางกรณีแม้ว่าประชาชนผู้เสียหายสามารถสังเกตเห็นได้ว่าความเสียหายใกล้จะเกิดขึ้นแก่ตนแล้ว แต่ก็ไม่สามารถใช้สิทธิทางศาลตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 มาตรา 96 หรือ มาตรา 97 ได้เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากความเสียหายยังไม่เกิดขึ้นนั่นเอง

ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่ง มาตรา 172 วรรคสองและวรรคท้าย บัญญัติไว้ว่า

“คำฟ้องต้องแสดงโดยแจ้งชัดซึ่งสภาพแห่งข้อหาของโจทก์และคำขอบังคับ ทั้งข้ออ้างที่อาศัยเป็นหลักแหล่งแห่งข้อหาเช่นนั้น

ให้ศาลตรวจคำฟ้องนั้นแล้วสั่งให้รับไว้ หรือให้ยกเสียหรือให้คืนไป ตามที่บัญญัติไว้ในมาตรา 18”

การตีความโดยเคร่งครัดของศาลทำให้ในคดีสิ่งแวดล้อมของไทยหลายคดีโจทก์ผู้เสียหาย ถูกตัดฟ้องเนื่องจากการบรรยายฟ้องไม่ครบถ้วนตามมาตรานี้

ดังนั้นการตีความ มาตรา 55 และ 172 แห่งประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งอย่างเคร่งครัดเกินไปของศาลจึงอาจไม่เหมาะสมกับคดีสิ่งแวดล้อมซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ ความเสียหายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ อาศัยเวลานานและต่อเนื่อง (ในบางกรณีต่อเนื่องภายหลังการพิจารณาคดีสิ้นสุดลง)

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เหตุแห่งการฟ้องคดี ซึ่งตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งได้กำหนดให้ผู้ที่ฟ้องคดีต่อศาลได้จะต้องเป็นผู้เสียหายโดยตรง อย่างไรก็ตามในคดีสิ่งแวดล้อมหลายกรณี ผู้ที่ต้องการฟ้องร้องอาจไม่ใช่ผู้เสียหายโดยตรงแต่เป็นผู้ซึ่งต้องการรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่กำลังถูกทำลาย บุคคลดังกล่าวจึงไม่มีสิทธิฟ้องเนื่องจากกฎหมายดังกล่าวมิได้ถือว่าเป็นผู้เสียหายนั่นเอง

### ● การระงับการพิสูจน์

การระงับการพิสูจน์ในคดีสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับการตั้งเรื่องฟ้องคดี กล่าวคือ ถ้าคดีสิ่งแวดล้อมดังกล่าวฟ้องเป็นคดีละเมิด การระงับการพิสูจน์จะตกแก่โจทก์ผู้ฟ้องคดี โดยต้องพิสูจน์ว่าโจทก์ได้รับความเสียหายจากการกระทำของจำเลยอย่างไร (เช่น ความเสียหายจากมลพิษที่จำเลยทำให้เกิดขึ้น)

แต่หากโจทก์ตั้งเรื่องฟ้องคดีในความผิดทางแพ่งตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 มาตรา 96 ซึ่งมีลักษณะเป็นความรับผิดอย่างเคร่งครัด (strict liability)

โจทก์จะได้รับประโยชน์ คือ ไม่ต้องพิสูจน์ว่าการกระทำของจำเลยเป็นการจงใจหรือประมาทเลินเล่อ เพียงแต่นำสืบให้ศาลเห็นว่าจำเลยเป็นผู้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่โจทก์ก็เพียงพอแล้ว (causation)

อย่างไรก็ตามการพิสูจน์ในลักษณะ causation ในคดีสิ่งแวดล้อมก็ยังคงเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น การแพร่กระจายของมลพิษอันก่อให้เกิดความเสียหายมักจะใช้เวลานานพอสมควรทำให้ยากต่อการเก็บรวบรวมพยานหลักฐาน แหล่งกำเนิดมลพิษมักอยู่ในสถานที่ของเอกชนซึ่งยากต่อการเข้าไปตรวจสอบ หรือการพิสูจน์คดีสิ่งแวดล้อมต้องอาศัยพยานผู้เชี่ยวชาญและหลักทางวิทยาศาสตร์เข้ามาประกอบ ทำให้ผู้พิพากษาซึ่งตัดสินคดีสิ่งแวดล้อมพิจารณาคดีด้วยความยากลำบาก เป็นต้น

- **ระยะเวลาในการดำเนินคดี**

การพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมของไทยในปัจจุบันอาศัยประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งเป็นหลัก เนื่องจากกระบวนการพิจารณาของกฎหมายดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้อาจเกิดความล่าช้าในการพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมได้ ระยะเวลาในการดำเนินคดีที่เนิ่นนานดังกล่าวส่งผลให้ แม้ผู้เสียหายจะชนะคดีและได้รับค่าสินไหมทดแทนในที่สุด แต่ความเสียหายหรือผลกระทบของปัญหาก็ได้ถูกแก้ไขอย่างทันท่วงที ทำให้ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมอาจทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

- **ค่าเสียหาย**

การกำหนดค่าเสียหายในคดีสิ่งแวดล้อมมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมากไม่อาจคิดคำนวณเป็นจำนวนเงินที่แน่นอนได้ หรืออาจจำเป็นต้องใช้ความรู้ความสามารถพิเศษของพยานผู้เชี่ยวชาญ เช่น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์เพื่อกำหนดค่าเสียหายที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือ

นอกจากนี้การเยียวยาและการชดเชยค่าเสียหายแก่ผู้เสียหายในคดีสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันยังคงใช้หลักการพิจารณาตามความรับผิดชอบทางละเมิด ในคดีสิ่งแวดล้อมหลายกรณีต้องอาศัยระยะเวลายาวนานที่ความเสียหายจะปรากฏ ดังนั้นการพิจารณาค่าเสียหายของผู้พิพากษาอาจจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

### ● อายุความ

ตาม มาตรา 444 วรรค 2 แห่งประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ ได้บัญญัติว่า

“ถ้าในเวลาพิพากษาคดี เป็นพันวิสัยจะหยั่งรู้ได้แน่ความเสียหายนั้นได้มี  
แท้จริงเพียงใด ศาลจะกล่าวในคำพิพากษาว่ายังสงวนไว้ซึ่งสิทธิที่จะแก้ไขคำพิพากษานั้น  
อีกภายในระยะเวลาไม่เกินสองปีก็ได้”

จะเห็นได้ว่าศาลจะใช้ดุลพินิจตามมาตราดังกล่าวได้ก็ต่อเมื่อเป็นกรณีพันวิสัยที่ศาลจะทราบได้และกรณีที่ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับผู้เสียหายเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเป็นไปตามกรณีดังกล่าวศาลอาจกำหนดค่าสินไหมทดแทนใหม่ได้ แต่ต้องภายในระยะเวลา 2 ปีเท่านั้น ในความเป็นจริงดังที่ได้อธิบายในข้างต้น ความเสียหายหลายประเภทในคดีสิ่งแวดล้อมอาจเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งพ้นจากระยะเวลาดังกล่าว อันอาจล่วงเลยระยะเวลาที่ศาลจะสามารถแก้ไขคำพิพากษาในส่วนค่าสินไหมทดแทนได้ อายุความจึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งในกระบวนการพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อม

จากตัวอย่างของปัญหาและอุปสรรคของกระบวนการยุติธรรมสำหรับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นำเสนอในข้างต้น ทำให้เกิดแนวความคิดต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวหลายแนวทาง อาทิเช่น การพัฒนากฎหมายวิธีพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อม การจัดตั้งศาลสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย เป็นต้น แนวความคิดดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

## 8.5 ภาพรวมอุปสรรคในการดำเนินการจัดการปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินของประเทศไทย

คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่า การจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนในประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน กระบวนการจัดการกับปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนของประเทศไทยนั้นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ ในศาสตร์หลายสาขาประกอบกัน รวมทั้งต้องได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ หลายหน่วยงานที่มีขอบเขตอำนาจหน้าที่ในการดูแลรักษาอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม อุปสรรคในการดำเนินการจัดการการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนั้นมีมากมาย ได้แก่

- การขาดความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมของการปนเปื้อนอย่างแท้จริง
- ขาดความรู้ความเข้าใจในลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษา
- ขาดความทันสมัยในเชิงเทคโนโลยีการทำ Site Characterization และ การจัดการสารปนเปื้อนที่มีความสลับซับซ้อน เช่น Nonaqueous Phase Liquids
- ขาดความรู้ความเข้าใจและบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีต่างๆ ในการจัดการสารปนเปื้อนชนิดนั้นๆ
- ขาดงบประมาณในการลงทุนเพื่อจัดการกับปัญหาการปนเปื้อนอย่างจริงจัง
- ขาดความชัดเจนเกี่ยวกับความเป็นไปได้และที่มาของกองทุนฉุกเฉิน (Emergency Fund) เพื่อใช้จ่ายในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนในระดับฉุกเฉิน
- ขาด National Priority List ของปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนในประเทศไทย เพื่อประกอบการพิจารณาจัดสรรงบประมาณในการจัดการกับปัญหาเหล่านี้
- ขาดกลไกทางเทคนิคที่จำเป็นในการพิสูจน์ทราบสาเหตุของการปนเปื้อน
- ขาดกลไกช่วยเหลือในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง
- ขาดการประชาสัมพันธ์เพื่อสนับสนุนการมีส่วนร่วมของประชาชนในท้องถิ่นทั่วประเทศต่อสำนึกในการดูแล รักษา และปกป้องทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

**บทที่ 9**

**บทสรุป**



## บทที่ 9

### บทสรุป

#### 9.1 สรุปผลการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษาโครงการในระยະที่หนึ่งนี้ เพื่อประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินจากเหตุการณ์การลักลอบฝังกลบกากสารเคมี ในพื้นที่ศึกษา ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ผลการศึกษาของโครงการสามารถสรุปผลตามหัวข้อในข้อกำหนดการจ้างที่ปรึกษา (TOR) โดยสังเขปได้ดังนี้

##### 1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ (TOR ข้อ 3.1)

- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และศึกษารอยแตกของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ โดยการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ การหยังธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะด้วยวิธี television log จำนวน 10 บ่อ และวิธี caliper log จำนวน 12 บ่อ ได้ว่าลักษณะธรณีวิทยาที่ความลึกประมาณ 1-12 เมตร เป็นตะกอนดิน จากนั้นเป็นหินปูน ผิวบนของหินปูนมีลักษณะขรุขระเนื่องจากการผุกร่อน มีรอยแตกในแนวอนมากกว่ารอยแตกในแนวตั้ง ปริมาตรรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหินสามารถประเมินจากภาพ television log ได้ประมาณร้อยละ 10-45 โดยรอยแตกของหินปูนในแนวอนมีหลายขนาด หลายระดับความลึก รอยแตกของหินมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในแนว 26 องศา
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง โดยพิจารณาตำแหน่งการเจาะบ่อสังเกตการณ์จากข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ผิวดิน ระดับน้ำบาดาล ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล การใช้น้ำและที่ดิน การปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารเคมีบางชนิด การเจาะดำเนินการด้วยวิธีกดกระแทก (down the hole hammer) มีบ่อสังเกตการณ์จำนวน 12 บ่อ ความลึกรวม 611 ม. (ความลึกบ่อทดสอบ 110 ม. ความลึกบ่อสังเกตการณ์ 501 ม.) จากเดิมที่เสนอความลึกรวมไว้ไม่น้อยกว่า 500 ม. ระดับความสูงของปากบ่อคณะที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจจริงวัดระดับความสูง

- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น ได้แก่ Electrical Conductivity (EC) Total Dissolved Solids (TDS) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยดำเนินการ 3 ครั้งในช่วงต้นฤดูฝน ฤดูฝน และฤดูแล้ง ตรวจวัดค่าจากบ่อน้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะเพิ่มเติมจำนวน 33 บ่อ ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน พบน้ำพุในช่วงฤดูฝนบริเวณตอนกลาง พื้นที่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำซับตะเคียน คุณภาพตลอดพื้นที่เป็นน้ำจืด (TDS น้อยกว่า 700 มก./ล.) ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าในช่วง 6.5 - 7.8 ระดับน้ำในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง และบริเวณบ้านปางอโศกมีการใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมากและระดับน้ำอยู่ลึก
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้าง Topographic Map เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา โดยอาศัยข้อมูลแรงดันระดับน้ำบาดาล (hydraulic head) จากการสำรวจทั้ง 3 ครั้งพบว่า บริเวณพื้นที่ที่ขุดสารปนเปื้อน มีค่า hydraulic head ประมาณ 350 ม.รทก. ซึ่งจะค่อยๆ ลดลงไปตามทิศเหนือและทิศตะวันตก ซึ่งเป็นห้วยกันเกรา และห้วยมวกเหล็กตามลำดับ และมีค่า hydraulic head ประมาณ 220 ม.รทก. บริเวณหมู่บ้านปางอโศก มีค่า hydraulic head ประมาณ 330 – 340 ม.รทก. เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำบาดาลเท่ากัน (equipotential line) ของระดับน้ำบาดาลเป็นรูปกรวยน้ำลาด ซึ่งในฤดูแล้งกรวยน้ำลาดมีการขยายพื้นที่กว้างกว่าในฤดูฝน

## 2. การศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยา (TOR ข้อ 3.2)

- ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน พบว่า น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกและโพรงภายในเนื้อหินปูน ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ลบ.ม./ช.ม.) ส่วนบริเวณบ้านชายเขา บ้านกลางดง บ้านเขาพระ บ้านบุญบันดาล และพื้นที่ตอนบนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้มีมากกว่า 20 ลบ.ม./ช.ม. สำหรับคุณภาพน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีคุณภาพดี
- น้ำบาดาลที่กักเก็บในรอยแตกของหินปูน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินทราย ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนมีการไหลที่ต่อเนื่องกันซึ่งมีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลโดยสังเขปจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (พื้นที่รับน้ำ, recharge area) ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาบริเวณห้วยซับตะเคียน (พื้นที่สูญเสียน้ำ, discharge area) และบริเวณบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมาก

- สภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก มีความยาว 13 กม. และกว้าง 10 กม. บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ล้อมรอบด้วยภูเขาหินปูน ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่มีห้วยมวกเหล็กไหลจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ และมีลำห้วยซับตะเคียนไหลผ่านตอนกลางของพื้นที่จากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกห้วยมวกเหล็ก การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ กำหนดให้พื้นที่ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก และทิศใต้ซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) เป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (no flow boundary) และบริเวณทิศตะวันตกซึ่งเป็นลำห้วยมวกเหล็กซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาลเช่นกันที่เป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลถูกกักเก็บไว้ในรอยแตกของหินปูน ดังนั้นความลึกของหินปูนที่จะอนุมานได้จากข้อมูลทางโครงสร้างของหิน ควรจะทำการจำลองลึกในระดับไม่เกิน 400 เมตร ความหนาของดินที่ปิดทับหินปูน ประมาณ 12 เมตร ความลึกของรอยแตกหลักที่ให้น้ำมี 2 ระดับ ได้แก่ 20-30 เมตร และ 45-50 เมตร โดยทิศทางการวางตัวของแนวรอยแตกหลัก ได้แก่ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

### 3. การสร้างระบบเครือข่ายสังเกตการณ์ระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน (TOR ข้อ 3.3)

- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินใน Top Soil ในบริเวณพื้นที่ที่ตั้งสารปนเปื้อนที่ระดับความลึกจากผิวดินถึงความลึกประมาณ 2-5 เมตร จำนวน 22 ตัวอย่าง ไม่พบหลักฐานการปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs), โลหะหนัก, หรือสารกำจัดศัตรูพืช ตามมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเจาะบ่อสังเกตการณ์เพิ่มเติมจำนวนทั้งสิ้น 12 บ่อ โดยที่ตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 12 บ่อนี้ได้ถูกออกแบบมาอย่างดี เพื่อศึกษาตำแหน่ง Hot Spot ของสารปนเปื้อนในพื้นที่ และศึกษาการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในพื้นที่ได้ ณ เวลาต่างๆ กัน คณะที่ปรึกษาสามารถดำเนินการเก็บน้ำตัวอย่างครั้งที่ 1 ได้จากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 9 บ่อ ที่ระดับความลึกต่างกันออกไปเพื่อตรวจวิเคราะห์หาสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ในน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ผลการศึกษาพบหลักฐานการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ตั้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียงในจำนวนน้ำตัวอย่างจำนวน 7 บ่อ จากจำนวน 9 บ่อ สารปนเปื้อนที่ตรวจพบและมีความเข้มข้นเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน ได้แก่ Trichloroethylene, Benzene, และ cis-DCE (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)

- ข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินจากการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 ไม่พบสารปนเปื้อนใดๆ ในตัวอย่างน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ PZ06 และ PZ08 ที่ตั้งนอกพื้นที่ที่ตั้งสารปนเปื้อนในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แม้ว่าบ่อสังเกตการณ์ทั้งสองจะอยู่ท้ายน้ำ (Downstream) ในแนวการเคลื่อนที่หลักของน้ำใต้ดิน คณะที่ปรึกษาตั้งสมมติฐานว่าสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินอาจจะยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ06 และ PZ08 (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)
- ข้อมูลการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์น้ำครั้งที่ 1 ถูกนำไปวิเคราะห์ โดยการสร้าง Contour ของน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน แยกตามสารปนเปื้อนแต่ละชนิด ผลปรากฏว่าน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสาร TCE เกินมาตรฐานน้ำใต้ดินครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 4) นอกจากนี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับแนวรอยแตกหลักของชั้นน้ำ ซึ่งก็คือ แนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินจำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 เป็นตัวแทนระดับน้ำใต้ดินก่อนเริ่มโครงการ ครั้งที่ 2 เป็นตัวแทนระดับน้ำใต้ดินในหน้าแล้ง และ ครั้งที่ 3 เป็นตัวแทนของระดับน้ำใต้ดินในหน้าฝน ในภาพรวมพบว่าระดับน้ำใต้ดินในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการศึกษาเก็บข้อมูลมีระดับใกล้เคียงกัน ยกเว้นในบริเวณที่มีบ้านเรือนของประชาชนในพื้นที่หนาแน่นและมีการสูบน้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างจริงจัง ส่งผลให้เกิด Cone of Depression อย่างชัดเจน ทำให้ระดับน้ำในบริเวณหมู่บ้านมีระดับต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง นอกจากนี้แล้วเมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำใต้ดินจากการตรวจวัดครั้งที่ 1 และ 2 ไม่พบว่ามีความแตกต่างกัน
- เมื่อคณะที่ปรึกษาดำเนินการเก็บข้อมูลระดับน้ำครั้งที่ 3 เป็นตัวแทนของระดับน้ำใต้ดินในหน้าฝน พบว่าระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระดับน้ำใต้ดินจากการเก็บครั้งที่ 1 และ 2 อันเนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้มี Recharge จากน้ำผิวดินเติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของระดับน้ำใต้

ดินจากการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำครั้งที่ 2 และ 3 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 เมตร (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)

- คณะที่ปรึกษาสามารถดำเนินการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดินครั้งที่ 2 ในเดือนมิถุนายน 2550 จากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 7 บ่อ ที่ระดับความลึกต่างกันออกไป และจาก Open Pit ของเหมืองหินปูนข้างเคียงเพื่อตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานน้ำใต้ดิน กล่าวคือ สาร Volatile Organic Compounds (VOCs), โลหะหนัก, และ สารกำจัดศัตรูพืช ผลการศึกษาพบว่า ยังมีหลักฐานการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียงในจำนวนน้ำตัวอย่างจำนวน 7 บ่อ แต่ไม่พบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่เก็บจาก Open Pit ของเหมืองหินปูนข้างเคียง สารปนเปื้อนที่ตรวจพบและมีความเข้มข้นเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน ได้แก่ Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, และ cis-DCE (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3)
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้าง Iso-Concentration ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำจากข้อมูลคุณภาพน้ำจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ในเดือนมิถุนายน 2550 และทำการเปรียบเทียบข้อมูลของสารปนเปื้อนชนิดเดียวกัน (TCE) พบว่าขอบเขตการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินด้วยสาร TCE มีการขยายขอบเขตออกไปกว้างขึ้นจากเดิมที่เคยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 255,000 ตร.ม. ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2550 และขยายพื้นที่ปนเปื้อนเป็น 300,000 ตร.ม.ในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2550 โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินยังคงเป็นไปในลักษณะที่คณะที่ปรึกษาได้คาดการณ์ไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้คณะที่ปรึกษา ยังได้เริ่มตรวจพบสารปนเปื้อนจากตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์ PZ06 ด้วย (ตรวจพบ PCE และ TCE ในปริมาณสูงเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน) แสดงว่าสมมติฐานที่คณะที่ปรึกษาตั้งไว้ในตอนต้น (กล่าวคือ สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินอาจจะยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ06 และ PZ08 จากข้อมูลคุณภาพน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ 2550) เป็นจริง
- ในเดือนมิถุนายน 2550 คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนที่ระดับความลึกมากขึ้นเมื่อเทียบกับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 พบว่า Benzene และ Toluene มีความเข้มข้นลดลง ส่วนสารปนเปื้อน 1,2-dichloroethane, cis-1,2-dichloroethylene, Tetrachloroethylene,

Trichloroethylene, 1,1,2- trichloroethane มีแนวโน้มกระจายตัวออกไปสู่บ่อนอกพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนมากขึ้น (PZ06, PZ10) ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2

- เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ Toluene พบว่ามีแนวโน้มลดลงในระดับน้ำที่ลึกมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของ LNAPL ที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำและมีแนวโน้มที่จะลอยอยู่บริเวณระดับผิวน้ำ ส่วนสาร TCE ซึ่งเป็น DNAPL นั้นมีแนวโน้มที่พบความเข้มข้นมากเมื่อระดับความลึกมากขึ้น อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของสารปนเปื้อนตามแนวตั้งนั้นยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้ชัดเจน เนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะของบ่อสังเกตการณ์ที่มีลักษณะเป็น Open-Hole ตลอดความยาวบ่อ ส่งผลให้ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของการกระจายตัวตามแนวตั้งของสารปนเปื้อนในการศึกษาครั้งนี้
- ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินในบริเวณจุดทิ้งสารปนเปื้อน ที่พบว่ามีแนวโน้มความเข้มข้นของสารปนเปื้อนมากขึ้นในฤดูฝน (มิ.ย. 2550) เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บในฤดูแล้ง (ก.พ. 2550) ทำให้เห็นว่า อาจมีแหล่งของสารปนเปื้อนที่ตกค้าง (secondary source) ในบริเวณส่วนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (5-25 เมตรจากผิวดิน) ที่อยู่บริเวณเหนือชั้นน้ำใต้ดินภายในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน เมื่อมีการการเติมน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) ในฤดูฝน น้ำจากผิวดินจะไหลผ่านแหล่งสารปนเปื้อนที่ตกค้างในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยละลายเอาสารปนเปื้อนเหล่านี้ และไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินด้านใต้พื้นที่ทิ้งสารต่อไป
- จากการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินเดือนเมษายนและมิถุนายน 2550 แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายดินในระดับตื้นที่ความลึก 0-2 เมตร ออกจากพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนก่อนหน้านี้ ไม่สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากผิวดินลงไปสู่ส่วนที่ลึกลง รวมไปถึงชั้นน้ำใต้ดินได้ ฉะนั้นจึงควรมีการบำบัดสารปนเปื้อนที่ยังมีอยู่ในชั้นน้ำใต้ดิน (aqueous phase contaminants) และป้องกันการปนเปื้อนเพิ่มเติมจากแหล่งสารปนเปื้อนที่ยังคงค้างอยู่ในชั้นดินและหิน (free phase contaminants) ในบริเวณที่ทิ้งสาร

#### 4. การประมาณตัวแปรที่ควบคุมการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน (TOR ข้อ 3.4)

- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการสุบทดสอบจำนวน 7 บ่อ และวิเคราะห์ข้อมูลเดิมของการสุบทดสอบ ทั้งหมด 19 บ่อ ได้คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของ 2 หน่วยหิน ได้แก่ หินปูนหน่วยหินเขาขาด (Pkd) ที่รองรับพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำอยู่ในช่วง

- 1.26x10<sup>-3</sup> - 8.99 x10<sup>-2</sup> ม<sup>2</sup>/วินาที และหน่วยหินปางอโศก (Ppa) ซึ่งส่วนใหญ่เป็น หินดินดาน หินชนวนอยู่บริเวณบ้านปางอโศกและด้านเหนือของพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ 7.85x10<sup>-5</sup> - 1.16 x10<sup>-1</sup> ม<sup>2</sup>/วินาที
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินตะกอนจากพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการทบทวนประวัติของพื้นที่ศึกษาพบว่าการขุดลอกหน้าดินที่คาดว่าจะมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมีจากการลักลอบกลบฝังออกจากพื้นที่ ตั้งแต่ระดับความลึก 0-2 เมตร จากระดับผิวดิน เพื่อทดลองวัดค่า Dispersion Coefficient ของชั้นดินและชั้นน้ำที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด
  - จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่า Dispersion Coefficient ของระบบตัวกลางรูปพรุนที่ประกอบด้วยดินตะกอนธรรมชาติจากพื้นที่ศึกษา มีค่า 0.0202 ซม.<sup>2</sup>/นาที่ และ ค่า longitudinal dispersivity มีค่า 0.36 ซม.
  - เนื่องจากพื้นที่ศึกษาบริเวณลักลอบกลบฝังสารเคมี ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ประกอบด้วยชั้นดินและชั้นน้ำที่เป็นหินปูนมีรอยแตกขนาดเล็ก (Fractured Limestone) ดังนั้นพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินรวมทั้งพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจึงอาจมีลักษณะแตกต่างไปจากพฤติกรรมการไหลในระบบที่ประกอบด้วยชั้นดินตะกอน ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงได้พัฒนาแบบจำลองทางกายภาพที่ประกอบด้วยหินร้าว (Artificial Fractured Rock System) ขึ้น เพื่อดำเนินการทดสอบประมาณค่า Dispersivity และ Retardation Factor ของสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในระบบน้ำใต้ดินที่ประกอบด้วยหินร้าวที่มีสภาพคล้ายคลึงกับการไหลในสภาวะจริงในพื้นที่ศึกษา
  - คณะที่ปรึกษาได้ทำการคำนวณค่า Dispersion Coefficient ของระบบน้ำใต้ดินในรอยหินแตกได้เท่ากับ 2.83 ซม.<sup>2</sup>/นาที่ ค่า Dispersion Coefficient ที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็น Initial Input Transport Parameter ในแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินต่อไป
  - จากผลการทดลองพบว่า ค่า Retardation Factors ของ Benzene และ TCE เท่ากับ 1.60 และ 2.00 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากการทดลองนี้มีความใกล้เคียงกับค่า Retardation Factors ที่รายงานในงานศึกษาวิจัยในอดีตที่ผ่านมาที่รายงานค่า Retardation Factors ของสาร Benzene เท่ากับ 1.60 (Da Silva and Alvarez, 2002) และ 2.50 สำหรับ TCE (Davis 2003)

## 5. การจำลองและการไหลและการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำใต้ดิน (TOR ข้อ 3.5)

- แบบจำลองน้ำใต้ดินในการศึกษานี้ ได้ใช้การจำลองสภาพการไหลด้วยแบบจำลอง MODFLOW-2000 ซึ่งเป็นชุดคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้สร้างโดย USGS ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในส่วนการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ใช้วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference) ที่มีหน่วยย่อยในการคำนวณเชิงพื้นที่นั้นอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ต่อกันด้วยรูปสี่เหลี่ยม เรียกว่า กริดเซลล์ โดย 1 กริดเซลล์ มีขนาด 500x500 จำนวนทั้งสิ้น 731 กริดเซลล์
- การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต พบว่าบริเวณชุมชนบ้านปางอโศกเกิดการลดลงของระดับน้ำ (cone of depression) ขนาดใหญ่ในอนาคต ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจส่งผลให้มีการซึมน้ำให้สารพิษไหลเข้าสู่พื้นที่ชุมชนได้มากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ 3 บริเวณ ได้แก่ (1) พื้นที่ทั้งสาร (2) บริเวณชุมชนบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำใต้ดิน และ (3) บริเวณทิศใต้ของพื้นที่ทั้งสาร ปนเปื้อน พบว่าในอนาคตบริเวณที่ทั้งสารปนเปื้อนกับบริเวณทิศใต้จะมีการลดลงของระดับน้ำใต้ดินไปในทิศทางเดียวกัน เว้นแต่บริเวณบ้านปางอโศกที่มีการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการระจุกตัวกันของการสูบน้ำใต้ดิน
- การจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ด้วยแบบจำลอง UTCHEM โดยแบ่งขนาดพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาขนาดไม่เกิน 600 x 600 ม. เพื่อศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในระยะเวลาที่เริ่มมีสารปนเปื้อนตกลงสู่ชั้นน้ำจนถึงเวลาปัจจุบัน ช่วงระยะเวลาการคำนวณประมาณ 2 ปี และ 2) พื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา มีขนาดใหญ่ครอบคลุมชุมชนที่อยู่อาศัย เพื่อศึกษาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชาชนในพื้นที่รอบบริเวณพื้นที่ศึกษา จะจำลองเป็นระยะเวลาประมาณ 50 ปี
- พบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร TCE ที่ระดับ 5 µg/L (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม. เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลใน



พื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 25 ปี

- เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร Benzene ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับ 30 เมตรจากผิวดิน เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene จะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 14 ปี
- พบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร PCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม. เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ โดยภายในระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 23 ปี
- การจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำจากการปนเปื้อนของ TCE ประกอบด้วย 3 ทางเลือก คือ 1) ไม่มีการฟื้นฟูชั้นน้ำ 2) ฟื้นฟูชั้นน้ำได้ร้อยละ 30 และ 3) ฟื้นฟูชั้นน้ำได้ร้อยละ 90 เพื่อดูผลลัพธ์จากการใช้เทคโนโลยีที่ได้เลือกไว้ จากการจำลองพบว่า การฟื้นฟูชั้นน้ำในทางเลือกที่ 2 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะคงยังเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) เมื่อถึงปีที่ 8 จากนั้นจะเคลื่อนตัวต่อไปเพียงเล็กน้อยและจะไม่เคลื่อนตัวต่อไป เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะหายไปเมื่อเวลาผ่านไป 14 ปี สำหรับทางเลือกที่ 3 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะไม่เคลื่อนตัวเข้าสู่บ้านไร่กลางดง(2) โดยจะเคลื่อนตัวผ่านถนนมิตรภาพไปเพียงเล็กน้อย จากนั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5  $\mu\text{g/L}$  จะหายไปเมื่อเวลาผ่านไป 8 ปี

## 6. การประเมินความเสี่ยงจากการปนเปื้อน (TOR ข้อ 3.6)

- การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการความเสี่ยง (risk management) อันเนื่องมาจากการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในพื้นที่ทำการศึกษา กระบวนการจัดการความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การระบุความเสี่ยง, (2) การวิเคราะห์ความเสี่ยง, (3) การตอบสนองความเสี่ยง, และ (4) การเฝ้าสังเกตและประเมินความเสี่ยง โครงการศึกษาวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในส่วนการระบุและวิเคราะห์ความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน รวมถึงการวิเคราะห์หาแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่เหมาะสม
  - ขั้นตอนของการระบุความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับการระบุองค์ประกอบของความเสี่ยงที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่ (1) แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง, (2) ตัวกลางของการปนเปื้อน, (3) ผู้รับความเสี่ยง, และ (4) ผลกระทบของความเสี่ยง การศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญสารเคมีซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความเสี่ยง 2 ตัว ได้แก่ TCE และ Benzene โดยสารเคมีทั้งสองได้แพร่กระจายโดยอาศัยน้ำใต้ดินเป็นตัวกลางของการปนเปื้อน ซึ่งรายละเอียดของรูปแบบลักษณะของการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินดังกล่าวได้นำเสนอในบทที่ 4 สำหรับผู้รับความเสี่ยงจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ได้แก่ มนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ภายในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ
  - การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงโดยประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในเชิงเศรษฐศาสตร์ (economic impacts) จากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน 4 ประการ ได้แก่ (1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย (2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน (การสูญเสียรายได้ของในการประกอบอาชีพ) (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล และ (4) ค่าใช้จ่ายในการหาแหล่งน้ำทดแทนทั้งเพื่ออุปโภคและบริโภค (ค่าใช้จ่ายของประชาชนที่เพิ่มมากขึ้นในการซื้อน้ำ) ภายในระยะเวลา 50 ปี ผลกระทบทั้งสามประการได้ถูกประเมินในเชิงปริมาณในรูปแบบมูลค่าทางการเงิน โดยพิจารณาค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value, NPV) จากอัตราส่วนลดร้อยละ 8 เพื่อสะท้อนมูลค่าของเงินตามเวลา ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะถูกนำไปใช้เพื่อตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงต่อไป
7. การศึกษาวิธีการกักสารพิษที่ปนเปื้อนโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ (TOR ข้อ 3.7)

- การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT มีวัตถุประสงค์ของการดำเนินการทดลองดังนี้
  - ศึกษาความสามารถในการ Partition ของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะสมดุล
  - สถิติการประยุกต์ใช้เทคนิค PITT ในการประมาณการปริมาณของสาร NAPL ภายใต้สภาวะควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ
  - ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับ Partitioning Alcohol ในการถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีววิธี (Biodegradability)
- การทดลองเทคนิค PITT ในการศึกษานี้ประกอบด้วย การทดลองหลัก 2 ส่วน คือ
  - การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT โดยการดำเนินการทดลองความสามารถในการเกิด Co-solvency ระหว่างแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และสารปนเปื้อน TCE และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohol ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 100% Cosolvent
  - การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค PITT โดยการดำเนินการทดลองความสามารถในการเกิด Co-solvency ระหว่างแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์และสารปนเปื้อน TCE และประมาณค่า Retardation Factors ของ Partitioning Alcohol ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะ 20% Cosolvent
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ในการ Partition ระหว่างเฟสต่างๆ ในน้ำและสาร NAPL และความแตกต่างเชิงพฤติกรรมของแอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ชนิดต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ
- คณะที่ปรึกษาได้เลือกใช้ Trichloroethylene (TCE, Lab-Scan, Analytical Reagent A.R. Assay GC 99.5%) ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่ม DNAPL เป็นสารปนเปื้อนหลักในการทดลอง TCE ถูกเลือกนำมาใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ระเหยปนเปื้อนเนื่องจาก TCE สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก และเป็นสารปนเปื้อนที่พบได้บ่อยที่สุดในชั้นน้ำใต้ดินทั่วโลก
- แอลกอฮอล์เทอร์เซอร์ที่เลือกใช้ประกอบด้วย Partitioning Alcohol ซึ่งสามารถ Partition ในน้ำและ TCE จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Iso-Propanol (HPLC Grade 99.9%, Fluka), Methanol (HPLC Grade 99.5%, Fluka), และ Ethanol (CDA 19) สำหรับ Non-Partitioning Tracer ที่เลือกใช้คือสาร Conservative Tracer จำพวก Sodium Bromide

ซึ่งไม่สามารถ Partition ในเฟสของ TCE ได้ ซึ่งเตรียมจากเกลือโซเดียมโบรไมด์ (NaBr, UNILAB)

- ผลการคำนวณค่า Retention Time และ Retardation Factor ( $R$ ) ของระบบทั้งสามที่ประกอบด้วย Non-Partitioning Tracer-TCE หรือ Partitioning Alcohol-TCE พบว่า Bromide Ions ซึ่งเป็น Non-Partitioning Tracer จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอนุภาคของน้ำ โดยที่ไม่เกิดกระบวนการ Sorption หรือ Partition ขึ้นในเฟสของ TCE ภายใน Reactor ส่งผลให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ใน Reactor เท่ากับ 7.8 นาที IPA ใช้เวลาเฉลี่ยนานที่สุดใน Reactor ถึง 22.1 นาที ทำให้ค่า Retardation Factor ของ IPA มีค่าสูงสุดถึง 2.83 ในขณะที่ MeOH ใช้เวลาเฉลี่ยใน Reactor น้อยกว่าเท่ากับ 15 นาที หรืออีกนัยหนึ่งคือ IPA ซึ่งเป็น Partitioning Alcohol มีประสิทธิภาพในการ Partition ในเฟสของ TCE ได้สูงกว่า MeOH นั้นเอง
- พบว่าค่า Retardation Factor ( $R$ ) ของ IPA มีค่าใกล้เคียงกันมาก (2.83 และ 2.90 ตามลำดับ) แม้ค่าทั้งสองจะได้มาจากการทดลองในสภาวะแตกต่างกัน (100% และ 20% Cosolvent ตามลำดับ) ค่า Retardation Factor ( $R$ ) ของ EOH และ MeOH มีค่าเท่ากับ 2.36 และ 1.92 ตามลำดับ
- โดยปกติแล้วประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนเกิดจากความสามารถในการปรับตัวของจุลินทรีย์ต่อสารปนเปื้อนนั้นๆ โดยการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารปนเปื้อนนั่นเอง การตรวจสอบสารปนเปื้อนในดินในพื้นที่ที่ทั้งสารปนเปื้อนไม่พบสารอินทรีย์ระเหย ที่ระดับ 2-5 เมตร ดังนั้นจึงไม่ปรากฏจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยในดินที่ระดับ 2-5 เมตร คณะที่ปรึกษาจึงได้ปรับใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ PKO1 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติมาทำการศึกษาแทน โดยคณะที่ปรึกษาได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการย่อยสลายของสารปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติในห้องปฏิบัติการ
- คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการเลี้ยงจุลินทรีย์ PKO1 ในห้องปฏิบัติการ โดยนำเชื้อจุลินทรีย์แช่แข็งมา Streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง TNA (Tryptone Nutrient Agar) แล้วจึงเลี้ยงในตู้บ่มที่อุณหภูมิเหมาะสมเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเชื้อจุลินทรีย์ PKO1 ที่เลี้ยงไว้มา Induce ให้ผลิตเอนไซม์ T3MO โดยการ Transfer เชื้อจุลินทรีย์ลงสู่อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่เตรียมไว้ จากนั้นจึงทำการ Incubate บน Rotary Shaker ภายใต้สภาวะสมดุลกับ Toluene Vapor ในอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นเวลาอีก 72 ชั่วโมง คณะที่ปรึกษา

จึงทำการ Harvest เชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวและ Resuspend เชื้อจุลินทรีย์ใน BM Solution เพื่อใช้ดำเนินการทดลอง

- ผลการทดลองแสดงว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ภายใน 120 นาทีที่ดำเนินการทดลองในระบบที่มีสารละลาย TCE ความเข้มข้นเริ่มต้น 45 ppm + สารละลาย Lactate ความเข้มข้นประมาณ 1,000 ppm แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ ธรรมชาติ PKO1 สามารถทนทานสารปนเปื้อน TCE ที่ระดับความเข้มข้น 45 ppm ได้ อย่างดี
- ผลการทดลองแสดงว่าความหนาแน่นของจุลินทรีย์ PKO1 ที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยภายใน 120 นาทีที่ดำเนินการทดลองในระบบที่มีสารละลาย TCE ความเข้มข้นเริ่มต้น 45 ppm + สารละลาย Ethanol ความเข้มข้นประมาณ 1,400 ppm แสดงให้เห็นว่า ความสามารถของจุลินทรีย์ธรรมชาติ PKO1 ต่อการทนทานความเป็นพิษของสาร TCE 45 ppm ลดลงเล็กน้อย เมื่อมี Ethanol 1,400 ppm ในระบบ
- ผลการทดลองในระบบที่ประกอบด้วย TCE ที่ความเข้มข้น 45 ppm หรือ Ethanol ที่ ความเข้มข้น 1,400 ppm นั้นไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ แต่เมื่อระบบประกอบด้วย TCE 45 ppm และ Ethanol 1,400 ppm จะเริ่มมีผลต่อการทำงานของ PKO1 ในการย่อยสลาย สารปนเปื้อน TCE

#### 8. การกำหนดแนวทางการกู้สารพิษในเชิงปฏิบัติ (TOR ข้อ 3.8)

- การตอบสนองต่อความเสี่ยง เริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา ซึ่ง ทางเลือกโดยทั่วไป ได้แก่ การแบกรับความเสี่ยง การลดความเสี่ยง การถ่ายโอนความ เสี่ยง และการหลีกเลี่ยงความเสี่ยง ในการศึกษาี้ คณะที่ปรึกษาได้กำหนดวัตถุประสงค์ ของการตอบสนองความเสี่ยง คือ “ลดความเสี่ยงให้ได้มากที่สุดโดยใช้ค่าใช้จ่ายที่เป็นไป ได้ที่น้อยที่สุด (maximization of risk reduction at minimum feasible cost)”
- ขั้นตอนต่อมาของการตอบสนองความเสี่ยง ได้แก่ การพัฒนาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการ ตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน ซึ่งในนี้มีทั้งสิ้น 3 แนวทาง ได้แก่ (1) การไม่ลงมือใด ๆ (no action) (2) การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน ระยะเวลา 5 ปี และ (3) การบำบัดสารปนเปื้อนภายในระยะเวลา 10 ปี

- มาตรการเฉพาะหน้าระยะสั้นเป็นมาตรการรับมือกับเหตุการณ์การปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินโดยสังเขป ดังนี้:
  - รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารปนเปื้อน
  - ศึกษาลักษณะโครงสร้างเบื้องต้นของชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา
  - ระบุพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเบื้องต้นจากการปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน
  - ระบุ Pathway ที่สารปนเปื้อนสามารถเดินทางเข้าสู่ระบบแหล่งน้ำใต้ดิน
  - ระบุทิศทางและความเร็วการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
  - พยายามจำกัดการขยายขอบเขต (Containing) ของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
  - แจ้งเหตุการณ์ปนเปื้อนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรง เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมควบคุมมลพิษ ฯลฯ
  - หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าควบคุมดูแลพื้นที่ปนเปื้อน แก้ปัญหาเฉพาะหน้า และประกาศเขตควบคุม หากจำเป็น
  - จัดหาแหล่งน้ำใหม่ให้ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอย่างเร่งด่วน
  - หากไม่สามารถหาแหล่งน้ำใหม่เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ทันท่วงที หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องนำระบบบำบัดน้ำปนเปื้อนมาติดตั้งให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ
  - หากมีการตรวจวิเคราะห์และยืนยันการปนเปื้อนได้แล้ว และน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสามารถก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อประชาชนหรือรัฐ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องประกาศเลิกสูบน้ำใต้ดินชั่วคราวจนกว่าจะสามารถฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินกลับสู่สภาพที่เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภคต่อไป
- เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้คณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอการจัดการสารปนเปื้อนตามแนวทางที่ 3 เพื่อบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี สามารถสรุปโดยสังเขป ได้ดังนี้
  - ดำเนินการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อนอย่างละเอียด
  - ดำเนินการปิดบ่อน้ำบาดาลของประชาชนในพื้นที่

- ดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำทดแทนการใช้น้ำบาดาล และบำบัดแหล่งน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค
- ดำเนินการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยติดตั้ง pumping wells และ monitoring wells
- จัดทำระบบ containment เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนบริเวณ hotspot ด้วยการสร้างกำแพงที่น้ำปิดโดยรอบ (grouting) ตรวจสอบระดับการปนเปื้อนในพื้นที่ทั้งสารและบริเวณใกล้เคียง
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ pilot-scale ของระบบ circulating pump-and-treat และ soil vapor extraction (SVE)
- ติดตั้งระบบ circulating pump-and-treat และ soil vapor extraction (SVE) แบบเต็มรูปแบบ
- ดำเนินการบำบัดน้ำบาดาลด้วยวิธี In-situ Bioremediation

ค่าใช้จ่ายและค่าดำเนินการในแต่ละปีโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินบางส่วนตามแผนที่นำเสนอข้างต้นเท่ากับ 374 ล้านบาท ประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินด้วยแนวทาง Regular track จากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสามารถกำจัดสาร TCE บริเวณ source zone ออกจากระบบได้อย่างน้อย 30% และลดพื้นที่ปนเปื้อนได้ 64% ภายในระยะเวลา 10 ปี

## 9. การประเมินค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นและค่าเสียหายหลังการฟื้นฟู (TOR ข้อ 3.9)

- การวิเคราะห์ผลกระทบแต่ละประการในช่วงต้นเริ่มจากการแบ่งพื้นที่ที่ทำการศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ ในรูปแบบกริดขนาด 500x500 เมตร จากนั้นคณะที่ปรึกษาได้ใช้ข้อมูลจากแผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ณ เวลาต่าง ๆ (จากการวิเคราะห์ในบทที่ 4) ผสมกับข้อมูลจากแผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อวิเคราะห์ว่า ณ เวลาต่าง ๆ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเช่นใด แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของพื้นที่เหล่านั้นในช่วงระยะเวลา 50 ปี จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบจากสารปนเปื้อนทั้งสี่ประการ คือ 683,548,018 บาท 285,311,440 บาท 3,310,311 บาท และ 1,655,156 บาท ตามลำดับ รวมเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าเสียหายทั้งสิ้น 973,824,925 บาท

- แนวทางแรก การไม่ลงมือใด ๆ ถือเป็นทางเลือกที่รับความเสี่ยงทั้งหมด อันหมายถึงการยอมรับความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นการเลือกแนวทางนี้จะไม่เป็นการลดความเสี่ยงใด ๆ สำหรับแนวทางที่สอง การบำบัดสารปนเปื้อนเพียงบางส่วน เป็นการลดความเสี่ยงให้ลดลงมาอยู่ที่ระดับหนึ่งที่ยอมรับได้ โดยที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ซึ่งแตกต่างจากแนวทางสุดท้าย การบำบัดสารปนเปื้อนทั้งหมด ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ (ลดลงร้อยละ 80-90 ของความเสี่ยงทั้งหมด) โดยแนวทางนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าแนวทางที่สอง คณะที่ปรึกษาได้ทำการประมาณค่าใช้จ่ายของการบำบัดสารปนเปื้อนตามแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงที่ 2 และ 3 โดยอาศัยข้อมูลจากต่างประเทศ พบว่ามีมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 674,184,838 บาท และ 307,723,047 บาท ตามลำดับ
- การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยง โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้เกณฑ์ที่ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจ คือ การวิเคราะห์ประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน (net benefit-cost analysis) ซึ่งจะสอดคล้องกับเกณฑ์ของความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่ได้ประเมินไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้า อันได้แก่ ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง และประสิทธิผลซึ่งประเมินจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณของการปนเปื้อนของสารเคมีที่ยังคงเหลืออยู่จากการดำเนินการในแต่ละแนวทางเลือก โดยประโยชน์สุทธิ คือ ความเสี่ยงที่ลดลงจากการดำเนินการลดด้วยต้นทุนที่เกิดขึ้นจากแนวทางเลือกการตอบสนองความเสี่ยง ผลการวิเคราะห์ประโยชน์สุทธิ-ต้นทุนของแต่ละแนวทางเลือก
- ผลการวิเคราะห์พบว่า การบำบัดสารปนเปื้อนด้วยวิธี Fast track ซึ่งใช้เวลาเวลา 5 ปีในการบำบัด นำไปสู่การลดลงของความเสียหายคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันทั้งสิ้น 836,450,155 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งสิ้น 674,184,838 บาท ดังนั้นประโยชน์สุทธิที่ได้จากแนวทางเลือกนี้มีมูลค่า 162,265,317 บาท ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนจะมีค่าประมาณ 0.24 กล่าวคือประโยชน์สุทธิที่ได้รับมีค่าเพียงร้อยละ 24 ของต้นทุน ในขณะที่ การบำบัดสารปนเปื้อนด้วยวิธี Regular track ซึ่งใช้เวลา 10 ปี ในการบำบัด นำไปสู่การลดลงของความเสียหายคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันทั้งสิ้น ทั้งสิ้น 906,535,857 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งสิ้น 307,723,047 บาท ประโยชน์สุทธิที่ได้จากแนวทางเลือกนี้มีมูลค่า 598,812,810 บาท ถ้าคำนวณอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุน



จะมีค่าประมาณ 1.95 ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากประโยชน์สุทธิที่ได้รับมีค่าประมาณ 1.95 เท่าของต้นทุน

- ผลการวิเคราะห์แนวทางในการตอบสนองของความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้เกณฑ์ที่ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจ คือ ป้องกันไม่ให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ชุมชนและต้นทุนในการบำบัดและฟื้นฟู พบว่าทางเลือกที่ 3 ที่ใช้เวลาในการบำบัด 10 ปี สามารถตอบสนองของความต้องการในป้องกันสารปนเปื้อนไม่ให้ไปสู่ชุมชนที่อยู่อาศัยได้ในต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าทางเลือกที่ 2 ได้ถึง 54% หรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 366 ล้านบาท ( $674,184,838 - 307,723,047 = 366,461,791$ ) ประกอบกับอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนของทางเลือกที่ 3 ที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนของการศึกษานี้

#### 10. แนวทางการจัดการปัญหาปนเปื้อน

- แนวทางการจัดการปัญหาปนเปื้อนควรมีการกำหนดมาตรการระยะสั้นเฉพาะหน้า และแผนระยะยาว โดยแผนระยะสั้นจะเป็นการแก้ปัญหาในภาวะฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุการณ์ โดยอาศัย พรบ.สำหรับคุณภาพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 และพรบ.น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 มาตรการเพื่อแก้ไขปัญหเฉพาะหน้า สำหรับแผนระยะยาวต้องมีการทบทวนกฎหมาย และกำหนดนโยบายการจัดการความเสี่ยง การจัดทำศูนย์ข้อมูลสารอันตรายของประเทศ การจัดทำรายชื่อสารอันตราย (ตามความสำคัญ) การหามาตรการทางการเงิน เช่น ภาษีสิ่งแวดล้อม การประชาสัมพันธ์ และกลไกการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน

เอกสารอ้างอิง

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมชลประทาน. 2547. การทบทวนค่าสัมประสิทธิ์การไหลรายเดือนเฉลี่ย. กรุงเทพมหานคร.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2528. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย, มาตรฐาน 1:250,000, ระวัง ND 47-8. กองธรณีวิทยา.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2531. แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครราชสีมา มาตรฐาน 1:100,000. กรุงเทพมหานคร: กองน้ำบาดาล, กรมทรัพยากรธรณี. (แผ่นที่ 4/6).
- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการเลือกรูปแบบและขนาดระบบประปาหมู่บ้านในโครงการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค.
- กรมแผนที่ทหาร. 2540ก. แผนที่ประเทศไทย มาตรฐาน 1:50,000, ระวัง 5238III, L7018, อ. แก่งคอย, พิมพ์ครั้งที่ 1.
- กรมแผนที่ทหาร. 2540ข. แผนที่ประเทศไทย มาตรฐาน 1:50,000, ระวัง 5238II, L7018, อ. ปากช่อง, พิมพ์ครั้งที่ 1.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม. 2543. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 20 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน. 263-267.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 25 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. 170-181.
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาการใช้น้ำผิวดินร่วมกับบาดาล บริเวณที่ราบภาคกลางตอนบน.
- คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. รายงานการประเมินผลด้านเศรษฐกิจ-สังคม โครงการประเมินผลโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548. รายงานเบื้องต้น การศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน บริเวณภาคกลางตอนบน.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549. การศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน ภาคผนวกเล่มที่ 2.
- มีศักดิ์ มิลินทวิสมัย. 2540. การตรวจสอบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ (VOCs) ในดินและน้ำใต้ดิน. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

- มีศักดิ์ มีลินทวิสมัย และคณะ. 2544. การปนเปื้อนของสาร Chlorinated Ethylene ในดินและน้ำใต้ดินและกรณีศึกษาของประเทศไทย. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. วิทยาลัยประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546. ระบบสุขภาพและการประเมินผลการดำเนินการ.
- สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ. 2545. รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง.
- สุรสิทธิ์ ศรีวนิชย์. 2542. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารมลพิษในชั้นน้ำใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กรม. 2547. ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดนครราชสีมา.
- องค์การบริหารส่วนตำบลกลางดง. 2548. สรุปสถานการณ์ปัญหามลพิษ ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.
- อบต.กลางดง. 2549. เอกสารประชาสัมพันธ์: บรรยายสรุป องค์การบริหารส่วนตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. สำนักปลัดฯ.

#### ภาษาอังกฤษ

- Al-Damluji O.F. and M.A. Al-Rawi. 2005. Experiment and numerical investigation of dispersion and transport of pollutants in an Iraq soil, Emirates Journal for Engineering Research No. 10.
- B. Setarge *et al.* 1999. Partitioning and Interfacial Tracers to Characterize Non-Aqueous Phase Liquids (NAPLs) in Natural Aquifer Material. Phys. Chem. Earth Journal. Germany.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1989. National Guidelines on Physical-Chemical-Biological Treatment of Hazardous Waste. Edmonton. Alberta.
- Christ, J.A., C.A. Ramburg, L.M. Abriola, P.D. Kurt and F.E. Loffer. 2005. Coupling

- Aggressive Mass Removal with Microbial Reductive Dechlorination for Remediation of DNAPL Source Zone. Environmental Health Perspective. 465-427.
- Chunmiao Zheng and P. Patrick Wang University of Alabama. 1999. MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems. 205 pp.
- Chu, X. *et al.* 2000. Aldicarb Transport in Subsurface Environmental : Comparison of Models . Journal of Environmental Engineering. 121-129.
- Domenico, P. A., W. Schwartz. 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. Canada. Edwards Aquifer Optimization Program (EAOP). 2004. 2004 Edwards Aquifer Optimization Program.
- Environmental Modeling Research Laboratory. 2003. Groundwater Modeling System Tutorials Volume 3 , Brigham Young University.
- Environmental Resources Management Norloch House. 2001. Guidance on EIA Screening. Edinburgh
- Fischer, A.J., E.A. Rowan, and R.F. Spalding. 1987. VOCs in Groundwater Influenced by Large Scale Withdrawals. Groundwater 25: 407-413.
- Fusillo, T.V., J.J. Hochreiter, and D.G. Lord. 1985. Distribution of Volatile Organic Compounds in a New Jersey Coastal Plain Aquifer System. Groundwater 23: 354-360.
- Goodenkauf, O., and J. C. Atkinson. 1986. Occurrence of Volatile Organic Chemicals in Nebraska Ground Water. Groundwater 24: 231-233.
- Haimes, Y. Y. 1998. Risk Modeling, Assessment, and Management: John Wiley and Sons.
- How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers, EPA Document 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007; and EPA 510-R-04-002, US. EPA.

- Huling, S.G., and Weaver, J. W. 1991. Dense Nonaqueous Phase Liquids. United States Environmental Protection Agency. Ground Water Issue, 1-7.
- Jan F. 2006. A multi-objective optimization framework for surfactant-enhanced remediation of DNAPL contaminations. Journal of Contaminant Hydrology No.86.
- Jean C. L. and Donald E. R. 2002. Simulated ground-water flow, naval air warfare center, West Trenton, New Jersey. Water Resources Investigation Report 02-4019. New Jersey, USA.
- Josephson, J. 1983. Subsurface Contaminants. Environ. Sci. Tech. 17: 518A-521A.
- Jozef, M. 2003. Laboratory methods of estimating the retardation factor of migrating mineral nitrogen compounds in shallow groundwater, Geological Quarterly No. 47.
- Kovach Computing Services, 2549, Oriana v.2.02c. Internet:  
<http://www.kovcomp.com/oriana/index.html>.
- Mark L. Brusseau *et al.* 2003. Partitioning Tracer Tests for Characterizing Immiscible-Fluid Saturations and Interfacial Areas in the Vadose Zone. pp.138-147, Vadose Zone Journal.
- Mcdonald, M. G. and Harbaugh A. W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. USGS. 596 pp.
- McNeil J.D., Oldenborger G.A. and Schincariol R.A. 2006. Quantitative imaging of Contaminant distribution in heterogeneous porous media laboratory experiment. Journal of Contaminant Hydrology No. 84.
- Mills, C.H. 1995. Bioremediation Comes of Age. Civil Engineering. 65: 80-81.
- Newell, C.J., Acree, S.D., Ross R.R. and Huling S.G. 1991. Light Nonaqueous Phase Liquids. United States Environmental Protection Agency. Ground Water Issue. Reservoir Engineering Research Program Center of Petroleum and Geosystems Engineering The University of Texas , 2000. UTCHEM-9.0 . Texas. 237 pp.

- Sandra M. Eberts and Lori L. George. 2000. Regional ground-water flow and geochemistry in the Midwestern Basins and Arches Aquifer System in Parts of Indiana Ohio Michigan and Illinois. USGS Professional Paper 1423-C. USA.
- Soesilo, J.A., and S.R. Wilson. 1997. Site Remediation: Planning and Management. Lewis Publishers.
- Spitz, K. and Moreno, J., 1996, A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- US. EPA. 1988. Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies under CERCLA. Washington, D.C.
- US. EPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A). Washington, D.C.
- US. EPA. 1993. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version I (EPA, USAF).
- US.EPA. 1994. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide.
- US.EPA. 1995. Thermal Enhancements. In Situ Remediation Technology Status Report.
- US. Geological Survey. 1998. Simulating Transport of Volatile Organic Compound in the Unsaturated Zone Using the Computer Model R-UNSAT. FS-019-98.
- Vaughan. J.E. 1997. Risk Management: John Wiley and Sons.
- Ward, C.H., J.A. Cherry and M.R. Scalf . 1997. Subsurface Restoration. Ann Arbor Press, Inc., Ann Arbor, Michigan.
- Waterloo Hydrogeologic Inc., Aquifer Test for Windows, version 2.54.
- Wouter H. Noordman *et al.* 2000. Assessment of the Use of Partitioning and Interfacial Tracers To Determine the Content and Mass Removal Rates of Nonaqueous Phase Liquids. American Chemical Society Journal. USA.
- Zheng, C. and Jiao, J. J. 1998. Numerical Simulation of Tracer Test in Heterogeneous Aquifer. Journal of Environmental Engineering. 510-516.

**ภาคผนวก**



## ภาคผนวก ก

ข้อมูลทั่วไปของบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยชั้นตะกอน

อักษรย่อ	ความหมาย
AMPHOE	อำเภอ
BIT_DEPTH_M	ความลึกเจาะของหัวเจาะแต่ละชนิด (เมตร)
BIT_SIZE_INCH	ขนาดหัวเจาะ (นิ้ว)
BIT_TYPE	ชนิดหัวเจาะ
CALIPER_DATE	วันที่หยั่ง Caliper
CASING_DEPTH_M	ความลึกท่อกันพัง (เมตร)
DD_M	ระยะน้ำลาด (เมตร)
DRILL_DATE_END	วันที่เจาะบ่อน้ำบาดาลแล้วเสร็จ
DRILL_DATE_STRAT	วันที่เริ่มเจาะบ่อน้ำบาดาล
DRILLED_DEPTH_M	ความลึกเจาะ (เมตร)
DRILLING_ORG	เจ้าของบ่อ
ELV_M	ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ม. รทก.)
FIELD_NO	หมายเลขบ่อของการดำเนินงานในภาคสนาม
HEAD_DATE	วันที่วัดระดับแรงดันน้ำบาดาล
HEAD_M_MSL	ระดับแรงดันน้ำบาดาล (ม. รทก.)
ID	รหัสกลุ่มบ่อน้ำบาดาล
ID1	รหัสกลุ่มบ่อน้ำบาดาลที่มีข้อมูลชั้นดินชั้นหิน และหรือข้อมูลสูบทดสอบบ่อ
ID2	รหัสกลุ่มบ่อน้ำบาดาลที่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น ช่วงเดือน ต.ค. 49 ก.พ. 50 และ พ.ค. 50
ID3	รหัสของกลุ่มบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะขึ้นใหม่ภายใต้การดำเนินงานของโครงการ
K_COOPER-JACOLP	ค่า K ที่วิเคราะห์โดยวิธี COOPER-JACOLB
LITHO	มีข้อมูลชนิดดินชั้นหิน
LOCATION	สถานที่
MU	หมู่ที่
NO	ลำดับที่
PROPOSED_DEPTH_M	ความลึกที่เสนอเจาะ (เมตร)
PROVINCE	จังหวัด
PUMP_RATE_m3/hr	อัตราการสูบน้ำบาดาล (ลบ. ม./ ชม.)
PUMP_TYPE	ชนิดของเครื่องสูบน้ำ
SLOTTED_INTERVAL	ระยะท่อเจาะร่อง
SWL_M	ระดับน้ำปกติ (เมตร จากผิวดิน)
T_COOPER-JACOLP	ค่า T ที่วิเคราะห์โดยวิธี COOPER-JACOLB
TAMBOL	ตำบล
TV_BOREHOLE_DATE	วันที่หยั่ง TV Borehole
UTM_E	ตำแหน่งพิกัดตะวันออก
UTM_N	ตำแหน่งพิกัดเหนือ
WELL_DEPTH_M	ความลึกบ่อน้ำบาดาลที่พัฒนาแล้ว (เมตร)
WELL_NAME	หมายเลขบ่อ
WELL_STATUS	ศักยภาพของบ่อน้ำบาดาล
WELL_TEST	ประเภทการสูบทดสอบบ่อน้ำบาดาล
YIELD	ความสามารถในการให้น้ำของบ่อน้ำบาดาล

## ตารางที่ ก-1 บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยชั้บตะเคียนที่มีข้อมูลชั้นดินชั้นหินและหรือข้อมูลสูบ

### ทดสอบ

ID	NO	WELL_NAME	LOCATION	MU	TAMBON	AMPHOE	PROVINCE	UTM_E	UTM_N	DRILL_DATE_STRAT	DRILL_DATE_END	WELL_DEPTH_M	DRILLED_DEPTH_M
1	1	A0059	สถานีตำรวจบ้านกลางดง	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'19/10/04	'30/10/04	49.8	75
1	2	D0315	วัดถนนโค้ง	8	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	739050	1619400	'16/06/14	'28/06/14	45	45
1	3	E0049	ไร่ชนะฟาร์ม (ไร่สุวรรณ)	-	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	748860	1620100	'22/06/04	'10/08/04	85.8	86
1	4	E0051	ไร่ปุ่นเกษตร	2	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'01/09/04	'06/09/04	18.9	19
1	5	G0031	ไร่ปุ่นเกษตร	2	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'6/02/04	'19/02/04	45	116
1	6	MG0160	บ้านกลางดง	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	743100	1620500	'11/08/23	'15/08/23	30	30
1	7	N0406	บ้านกลางดง	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'02/08/24	'10/08/24	21	21
1	8	N0407	กลุ่มเกษตรกรบ้านปางอโคก	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'12/08/24	'20/08/24	36	36
1	9	P0002	ไร่ชนะฟาร์ม (ไร่สุวรรณ)	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	748660	1620110	'27/02/05	'27/03/05	61.8	62
1	10	P0022	วัดปางอโคก	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	748200	1621200	'14/11/06	'24/11/06	45	33
1	11	P0171	บ้านกลางดง	13	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	743050	1617950	'25/05/13	'06/06/13	30	30
1	12	P0258	สุชาภิบาลกลางดง	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'24/12/18	'31/12/18	24	36
1	13	P0409	วัดใหม่บ้านน้ำพุ	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	737850	1620800	'19/11/24	'21/11/24	24	24
1	14	P0412	วัดเทพพิทักษ์บุญญาราม	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	743800	1617200	'19/012/24	'03/01/25	42	42
1	15	P0413	บ้านลาดชะโด	7	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746400	1617500	'10/01/25	'16/01/25	24	24
1	16	P0442	บ้านบุญบันดาล 1	2	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746600	1618750	'22/12/25	'23/01/26	49.5	49.5
1	17	P0821	โรงเรียนเบทาโกวิ	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	748100	1621050	'21/08/35	'31/08/35	30	30
1	18	T0725	โรงเรียนบ้านปูลงวิทยา (บ้านเขาพระ)	9	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	743900	1617900	'01/09/29	'10/09/29	34.5	34.5
1	19	T0726	บ้านบุญบันดาล (ชลประทาน)	14	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา			'11/09/29	'20/09/29	-	45

**ตารางที่ ก-1** บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนที่มีข้อมูลชั้นดินชั้นหินและหรือข้อมูลสูบทดสอบ (ต่อ)

ID	NO	WELL_NAME	WELL_DIA. INCH	DRILLING_ORG	PUMP_TYPE	LITHO	SWL_M	WELL_TEST	PUMP_RATE m <sup>3</sup> /hr	DD_M	YIELD	T_COOPER- JACOLP	WELL_STATUS
1	1	A0059		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	litho	2	SINGLE_WELL_T EST	-	31.43	12	-	ใช้ได้-น้ำจืด
1	2	D0315	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบนกนอน	-	3	SINGLE_WELL_T EST	5.27	6.51	5	1.37.E-04	ใช้ได้-น้ำจืด
1	3	E0049		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบทอร์โบ	-	23	SINGLE_WELL_T EST	9.00	8.69	19	3.55.E-02	ใช้ได้-น้ำจืด
1	4	E0051		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	litho	10	-	-	0.81	36	-	ปิดบ่อ (ถอน/ชุกกลบ/ เลิกใช้)
1	5	G0031		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบทอร์โบ	litho	4	SINGLE_WELL_T EST	-	22.41	5	-	ใช้ได้-น้ำจืด
1	6	MG0160	5	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบน้ำฟ้า	-	5	SINGLE_WELL_T EST	2.34	0.29	18	3.02.E-05	ใช้ได้-น้ำจืด
1	7	N0406		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	litho	8	-	-	2.40	3	-	ใช้ได้-น้ำจืด
1	8	N0407		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	litho	12	-	-	15.00	2	-	ใช้ได้-น้ำจืด
1	9	P0002		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ระบุชนิด	litho	28	SINGLE_WELL_T EST	25.67	0.63	26	3.89.E-02	ใช้ได้-น้ำกร่อย
1	10	P0022	8	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบน้ำฟ้า	litho	16	SINGLE_WELL_T EST	5.54	10.20	6	7.85.E-05	ใช้ได้-น้ำจืด
1	11	P0171		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	-	23	SINGLE_WELL_T EST	8.20	1.51	8	-	ใช้ได้-น้ำจืด
1	12	P0258		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	litho	1	-	-	18.22	1	2.04.E-02	ใช้ได้-น้ำจืด
1	13	P0409	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	-	5	SINGLE_WELL_T EST	7.20	12.58	7	1.00.E-04	ใช้ได้-น้ำจืด
1	14	P0412	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบน้ำฟ้า	-	32	SINGLE_WELL_T EST	31.20	0.80	31	5.56.E-03	ใช้ได้-น้ำจืด
1	15	P0413	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	-	12	SINGLE_WELL_T EST	6.58	0.03	7	3.73.E-03	ใช้ได้-น้ำจืด
1	16	P0442	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบน้ำฟ้า	litho	38	SINGLE_WELL_T EST	4.80	6.00	9	2.15.E-02	ใช้ได้-น้ำจืด
1	17	P0821	5	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบล้อโยก	-	18	SINGLE_WELL_T EST	14.39	1.70	14	3.00.E-02	ใช้ได้-น้ำจืด
1	18	T0725	8	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	สูบน้ำฟ้า	-	15	SINGLE_WELL_T EST	14.77	9.00	7	1.16.E-01	ใช้ได้-น้ำจืด
1	19	T0726		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	-	-	-	-	-	-	ใช้ไม่ได้-น้ำแห้ง

ตารางที่ ก-2 บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยชั้บตะเคียนที่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น

ID	NO	WELL_NAME	WELL_DEPTH_M	SLOTTED_INTERVAL	DRILLING_ORG	PUMP_TYPE	LITHO	WELL_TEST	PUMP_RATE_m³/hr	DD_M	T_COOPER_JACOLP	K_COOPER_JACOLP	WELL_STATU S
2	1	PCR-GWM01	40	34-40	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	บ่อสังเกตการณ์	litho	SINGLE_WELL_T	7.20	0.04	4.25E-02	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	2	PCR-GWM02	48	21-27	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	บ่อสังเกตการณ์	litho	SLUG TEST	-	-	-	3.19E-05	ใช้ได้-น้ำจืด
2	3	PCR-GWM03	40	33-39	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	บ่อสังเกตการณ์	litho	SINGLE_WELL_T	7.20	2.56	2.40E-03	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	4	PCR-GWM04	-	-	บริษัทปูนซีเมนต์ (2539)	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	5	PCR-GWM05	-	-	องค์การบริหารส่วนตำบล	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	6	PCR-GWM06	120	45-105	องค์การบริหารส่วนตำบล	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	7	PCR-GWM07	-	-	วัด	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	8	PCR-GWM08	-	-	วัด	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	9	PCR-GWM09	60	-	วัด	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	10	PCR-GWM10	-	-	องค์การบริหารส่วนตำบล	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	11	PCR-GWM11	-	-	กรมโยธาธิการ	โยก	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	12	PCR-GWM12	66	-	กรมทรัพยากรธรณี	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	13	PCR-GWM13	-	-	กรมทรัพยากรธรณี	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	14	PCR-GWM14	-	-	วัด	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	15	PCR-GWM15	60	-	วัด	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	16	PCR-GWM16	-	-	เอกชน	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	17	PCR-GWM17	47	-	องค์การบริหารส่วนตำบล พญาเย็น	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	18	PCR-GWM18	26	-	สำนักงานจังหวัดพัฒนานครราชสีมา	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	19	PCR-GWM19	-	-	องค์การบริหารส่วนตำบล พญาเย็น	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	20	PCR-GWM20	120	-	องค์การบริหารส่วนตำบล พญาเย็น	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	21	PCR-GWM21	30	-	กรมทรัพยากรธรณี	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	22	PCR-GWM22	-	-	-	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	23	PCR-GWM23	50	-	เอกชน	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	24	PCR-GWM24	-	-	กรมอนามัย	โยก	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	25	PCR-GWM25	-	-	กรมทรัพยากรธรณี	โยก	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	26	PCR-GWM26	50	-	กรมอนามัย	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	27	PCR-GWM27	40	-	กรมทรัพยากรธรณี	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	28	PCR-GWM28	40	-	องค์การบริหารส่วนตำบล	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	29	PCR-GWM29	40	-	สำนักงานจังหวัดพัฒนานครราชสีมา	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	30	PCR-GWM30	80	-	องค์การบริหารส่วนตำบล กลางดง	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	31	PCR-GWM31	-	-	กรมทรัพยากรธรณี	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	32	PCR-GWM32	40	-	องค์การบริหารส่วนตำบล	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด
2	33	PCR-GWM33	-	-	องค์การบริหารส่วนตำบล กลางดง	ประปาบาดาล	-	-	-	-	-	-	ใช้ได้-น้ำจืด

**ตารางที่ ก-2** บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนที่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น (ต่อ)

ID	NO	WELL_NAME	SAMPLING_DATE	WL__M__OCT06	HEAD_M_MSL__OCT06	EH__MV__OCT06	PH_LAB_OCT06	TDS_MG_L__OCT06	EC_MICROS__OCT06	TEMP__C__OCT06	REMARKS_SAMPLING_OCT49
2	1	PCR-GWM01	'14/10/49	22.80	356.28	-	-	-	-	-	เก็บน้ำตัวอย่างไม่ได้
2	2	PCR-GWM02	'14/10/49	21.67	356.53	-	-	-	-	-	เก็บน้ำตัวอย่างไม่ได้
2	3	PCR-GWM03	'14/10/49	20.61	356.62	-	-	-	-	-	เก็บน้ำตัวอย่างไม่ได้
2	4	PCR-GWM04	'13/10/49	-	-	10.6	6.71	269	432	27.8	วัดระดับน้ำไม่ได้
2	5	PCR-GWM05	'13/10/49	29.81	351.19	-	-	-	-	-	เก็บน้ำตัวอย่างไม่ได้ (ตั้งอยู่ท้ายหมู่บ้านทางไปบ้านชลประทาน)
2	6	PCR-GWM06	'13/10/49	38.88	363.12	-6.8	6.99	499	782	26	วัดที่ก่อนสูบ-หลังสูบ / ความลึก pump 60 ม.
2	7	PCR-GWM07	'13/10/49	24.6	353.40	-	-	-	-	-	ในเขตวัดข้างประตู 2 บ่อ ป้อนน้ำเข้ามา 30 ม. ได้ดินมะขาม
2	8	PCR-GWM08	'13/10/49	36	343.00	5.5	6.8	307	485	26.22	ระดับหลังปิดบ่อ วัดน้ำคืนตัวห่างจากเดิม 5 นาที ได้ 31.20 ม.
2	9	PCR-GWM09	'13/10/49	1.65	373.35	-	-	-	-	-	บ่อเปิดทิ้งไว้ลักษณะเปิดน้ำผ่านเข้าบ่อได้ จึงไม่เก็บน้ำวัดคุณภาพน้ำ
2	10	PCR-GWM10	'13/10/49	10	352.00	-	-	527	896	30	-
2	11	PCR-GWM11	'13/10/49	10.8	352.20	0.3	6.87	527	896	30	โยกน้ำไม่ได้ / เก็บน้ำตัวอย่างไม่ได้
2	12	PCR-GWM12	'13/10/49	-1	346.00	9.7	6.62	518	822	26.7	น้ำพุ / Q 1 ลิตร/วินาที
2	13	PCR-GWM13	'13/10/49	-1	346.00	5.9	6.8	522	825	26.5	น้ำพุ / ห่างจากบ่อ PCS_11 ไปทาง E 30 ม.
2	14	PCR-GWM14	'13/10/49	-	-	-2.4	6.92	526	848	27.5	วัดระดับน้ำไม่ได้
2	15	PCR-GWM15	'13/10/49	-	-	-	-	634	1010	27	วัดระดับน้ำไม่ได้
2	16	PCR-GWM16	'13/10/49	11.4	268.60	-	-	-	-	-	ในเขตศรีสุธรรม์บ่อ 4 บ่อ รอบพื้นที่
2	17	PCR-GWM17	'13/10/49	2.5	235.50	-5.1	6.94	-	766	26.4	หอดึง ปริมาตร 15 ลบ.ม. สูง 15 ม.
2	18	PCR-GWM18	'13/10/49	12.74	229.26	0.8	6.86	-	647	27.5	เจาะปี 2533 (สนับสนุนงบประมาณโดยธนาคารนครธน)
2	19	PCR-GWM19	'13/10/49	2.17	202.83	0.3	6.87	-	657	27.8	เจาะ มี.ค.2549
2	20	PCR-GWM20	'13/10/49	-	-	1.0	6.85	-	1018	28.9	บ่อน้ำบาดาลใช้เฉพาะในอบต. / วัดระดับน้ำไม่ได้ / ยกเปิดปากบ่อไม่ได้
2	21	PCR-GWM21	'14/10/49	1.81	328.19	-	-	536	849	26.5	ใช้เฉพาะในวัด
2	22	PCR-GWM22	'14/10/49	1.96	328.04	-	-	-	-	-	ใช้ในโรงเรียน / ห่างจากบ่อที่วัดประมาณ 6 ม. ไปทาง NW
2	23	PCR-GWM23	'14/10/49	-	-	20.5	6.5	555	879	26.5	น้ำพุ / Q-6 ลิตรต่อวินาที / หน้าแล้งน้ำไม่พุ
2	24	PCR-GWM24	'14/10/49	1.69	337.31	-	-	751	1069	21.5	น้ำบ่อไม่ลึก
2	25	PCR-GWM25	'14/10/49	1.95	316.05	6.8	6.76	525	826	26.1	-
2	26	PCR-GWM26	'14/10/49	16.47	235.53	22.6	6.5	795	935	26.6	ถึงประปา ~15 ลบ.ม.
2	27	PCR-GWM27	'14/10/49	39.4	328.60	0.3	6.87	-	825	28.2	ความลึกเจาะได้จากการสัมภาษณ์ / บีม 1.5 แรงม้า
2	28	PCR-GWM28	'14/10/49	5.41	357.59	5	6.79	581	918	26.44	บีม 1.5 แรงม้า
2	29	PCR-GWM29	'14/10/49	14.84	351.16	-	-	-	-	-	ความลึกเจาะได้จากการสัมภาษณ์, ระดับน้ำวัดขณะที่ยังมีการสูบน้ำใช้ 1.5
2	30	PCR-GWM30	'14/10/49	-	-	2.5	6.83	-	1027	32.4	-
2	31	PCR-GWM31	'14/10/49	33.93	326.07	-	-	-	-	-	บีม 1.5 แรงม้า
2	32	PCR-GWM32	'14/10/49	11.3	354.70	-	-	-	-	-	ความลึกเจาะได้จากการสัมภาษณ์ / วันที่เจาะ พ.ย.- ธ.ค.2548 / บีม 1.5
2	33	PCR-GWM33	'14/10/49	-	-	-6.7	6.98	-	1063	27.1	วัดระดับน้ำไม่ได้ / ยกเปิดปากบ่อไม่ได้ / บ่อ 6 นิ้ว / บีม 3 แรงม้า

**ตารางที่ ก-2 บ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนที่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น (ต่อ)**

ID	NO	WELL_NAME	SAMPLING DATE	WL_M_FEB07	HEAD_M_MSL_FEB07	PH_LAB_FEB07	TDS_MG_L_FEB07	EC_MICROS_FEB07	TEMP_OC_FEB07	REMARKS_SAMPLING_FEB50
2	1	PCR-GWM01	'15/02/50	25.41	353.67	-	-	-	27.8	เก็บตัวอย่างน้ำขณะทดสอบบีม 1.5 ชม.
2	2	PCR-GWM02	'15/02/50	24.41	353.79	-	-	-		
2	3	PCR-GWM03	'14/02/50	23.24	353.99	6.75	519	800	27.8	เก็บตัวอย่างน้ำขณะทดสอบบีม 1.5 ชม.
2	4	PCR-GWM04	'23/02/50	-	-	7.19	-	549	28.9	มีตะกอนวัดระดับน้ำไม่ได้
2	5	PCR-GWM05	'23/02/50	32.93	348.07	-	-	-		ระดับปากบ่อ - 0.30 เมตร
2	6	PCR-GWM06	'23/02/50	38.87	363.13	7.13	-	753	28.4	ระดับปากบ่อ - 0.30 เมตร
2	7	PCR-GWM07	'23/02/50	27.92	350.08	-	-	-		ระดับปากบ่อ - 3.30 เมตร (60 เมตร บีมทำงาน)
2	8	PCR-GWM08	'23/02/50	39.00	340.00	7.49	-	765	28.2	(108 เมตร บีมทำงาน)
2	9	PCR-GWM09	'23/02/50	5.11	369.89		-	-	-	-
2	10	PCR-GWM10	'23/02/50	13.42	348.58	7.33	-	707	29.0	-
2	11	PCR-GWM11	'-	-	-	-	-	-	-	เปิดบ่อไม่ได้และก้านโยกขาด
2	12	PCR-GWM12	'23/02/50	2.55	342.45	7.23	-	771	28.6	-
2	13	PCR-GWM13	'23/02/50	3.42	341.58	7.32	-	775	28.5	-
2	14	PCR-GWM14	'23/02/50	-	-	-	-	784	30.8	-
2	15	PCR-GWM15	'23/02/50	-	-	6.96		936	29.0	-
2	16	PCR-GWM16	'-	-	-	-	-	-	-	-
2	17	PCR-GWM17	'13/02/50	4.10	233.90	7.77	407	636	26.4	-
2	18	PCR-GWM18	'13/02/50	12.21	229.79	7.72	475	751	33.7	-
2	19	PCR-GWM19	'13/02/50	2.49	202.51	7.11	463	713	30.0	-
2	20	PCR-GWM20	'13/02/50	-	-	6.92	626	980	27.1	วัดระดับน้ำไม่ได้/ยกเปิดปากบ่อไม่ได้
2	21	PCR-GWM21	'13/02/50	4.28	325.72	6.98	520	809	32.4	-
2	22	PCR-GWM22	'13/02/50	11.45	318.55	7.29	497	769	30.6	บีมหยุด 5 นาที
2	23	PCR-GWM23	'23/02/50	0.96	337.04	-	-	808	30.0	-
2	24	PCR-GWM24	'23/02/50	-	-	7.09	-	1092	28.9	-
2	25	PCR-GWM25	'24/02/50	4.40	313.60	7.58	-	680	28.6	-
2	26	PCR-GWM26	'13/02/50	-	-	7.12	516	800	29.1	วัดWI ไม่ได้เนื่องจากหย่อนสายวัดไม่ได้
2	27	PCR-GWM27	'24/02/50	18.75	349.25	-	-	959	30.5	ระดับปากบ่อ -0.60 เมตร
2	28	PCR-GWM28	'23/02/50	8.20	354.80	7.22	-	843	28.8	-
2	29	PCR-GWM29	'24/02/50	23.54	342.46	-	-	-	-	บีมทำงาน -0.60 เมตร
2	30	PCR-GWM30	'24/02/50	-	-	-	-	1180	28.5	-
2	31	PCR-GWM31	'24/02/50	-	-	-	-	946	27.5	บีมทำงาน (ระดับปากบ่อ) - 0.50 เมตร
2	32	PCR-GWM32	'24/02/50	18.97	347.03	-	-	856	26.8	บีมทำงาน (ระดับปากบ่อ) - 0.30 เมตร
2	33	PCR-GWM33	'23/02/50	-	-	7.46	-	1097	28.5	-

ตารางที่ ก-3 บ่อสังเกตการณ์ที่เจาะขึ้นใหม่ภายใต้การดำเนินงานของโครงการฯ

ID	NO	WELL_NAME	LOCATION	MU	TAMBON	AMPHOE	PROVINCE	UTM_E	UTM_N	ELV_M	DRILL_DATE_STRAT	DRILL_DATE_END	PROPOSED_DEPTH_M	WELL_DEPTH_M	DRILLED_DEPTH_M
3	1	PW01	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746962	1619776	377.47	12/02/50	12/02/50	40-50	30	50
3	2	PW02	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746926	1619751	377.56	13/02/50	13/02/50	40-50	60	60
3	3	PZ01	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746897	1619756	377.77	02/02/50	03/2/50	40-50	60	60
3	4	PZ02	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746938	1619771	376.25	03/2/50	04/02/50	30-35	50	50
3	5	PZ03	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746932	1619715	378.14	05/02/50	05/02/50	30-40	48	48
3	6	PZ04	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746975	1619734	377.81	04/02/50	04/02/50	50-60	48	48
3	7	PZ05	หจก. เวย์รทีฟ คอนกรีต	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746860	1619872	376.37	16/02/50	16/02/50	30-40	60	60
3	8	PZ06	บ.ปูนซิเมนต์นครหลวง	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746675	1620089	372.35	19/02/50	20/02/50	40-50	70	70
3	9	PZ07	บ.ปูนซิเมนต์นครหลวง	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746532	1620048	372.20	20/02/50	20/02/50	30-35	25	25
3	10	PZ08	บ.ปูนซิเมนต์นครหลวง	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746351	1620056	371.26	21/02/50	21/02/50	40-50	60	60
3	11	PZ09	บ.กลางดงโสม แอนด์ เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง แมนท์ จำกัด	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746950	1620005	376.58	21/02/50	21/02/50	30-40	30	30
3	12	PZ10	บ.กลางดงโสม แอนด์ เอ็กซ์เพิร์ทเอ็นจิเนียริ่ง แมนท์ จำกัด	1	กลางดง	ปากช่อง	นครราชสีมา	746954	1620147	374.99	22/02/50	22/02/50	-	50	50

ตารางที่ ก-3 บ่อสังเกตการณ์ที่เจาะขึ้นใหม่ภายใต้การดำเนินงานของโครงการฯ (ต่อ)

ID	NO	WELL_NAME	BIT_TYPE	BIT_SIZE_INCH	BIT_DEPTH_M	CASING_M	CASING_DEPTH_M	DRILLING_ORG	PUMP_TYPE	LITHO	CALIPER_DATE	TV_BOREHOLE_DATE	SWL_M	HEAD_M_MSL	HEAD_DATE
3	1	PW01	DHH, DHH	8, 6	0 - 6, 6 - 50	8	4	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	22-24/2/50	24.11	353.36	12/2/50
3	2	PW02	DHH, DHH	8, 6	0 - 3, 3 - 60	8	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	22-24/2/50	24.48	353.08	14/2/50
3	3	PZ01	DRAG BIT, DHH, DHH	8, 8, 6	0 - 3, 3 - 48, 48-60	8	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	6/2/50	6/2/50	23.94	353.83	5/2/50
3	4	PZ02	DHH, DHH	8, 6	0-9, 9-50	6	10	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	6/2/50	22-24/2/50	23.62	352.63	5/2/50
3	5	PZ03	DHH, DHH	8, 6	0-4, 4-48	8	4	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	22-24/2/50	24.35	353.79	6/2/50
3	6	PZ04	DHH, DHH	8, 6	0-1, 1-48	8	4	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	22-24/2/50	23.95	353.86	5/2/50
3	7	PZ05	DHH, DHH	8, 6	0-2, 2-60	6	4	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	22-24/2/50	22.82	353.55	17/2/50
3	8	PZ06	DHH, DHH	8, 6	0-5, 5-70	8	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	22/2/50	22-24/2/50	18.90	353.45	20/2/50
3	9	PZ07	DHH, DHH	8, 6	0-6, 6-25	8	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	21/2/50	-	18.82	353.38	21/2/50
3	10	PZ08	DHH, DHH	8, 6	0-4, 4-60	6	4	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	23/2/50	22-24/2/50	15.23	356.03	21/2/50
3	11	PZ09	DHH, DHH	8, 6	0-6, 6-30	6	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	22/2/50	-	-	-	-
3	12	PZ10	DHH, DHH	8, 6	0-6, 6-50	6	6	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ได้ติดตั้ง	litho	23/2/51	22-24/2/50	21.04	353.95	22/2/50



ตารางที่ ก-3 บ่อสังเกตการณ์ที่เจาะขึ้นใหม่ภายใต้การดำเนินงานของโครงการฯ (ต่อ)

ID	NO	WELL_NAME	PUMP_RATE_ m <sup>3</sup> /hr	DD_M	T_COOPER- JACOLP	WELL_STATUS	REMARKS_SAMPLING_FEB50
3	1	PW01	7.20	0.12	8.99.E-02	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	บ่อตื้นขึ้นมาเหลือ 33 ม.
3	2	PW02	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	3	PZ01	7.20	0.07	3.53E-02	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	4	PZ02	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	5	PZ03	7.20	0.03	4.81E-02	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	6	PZ04	7.20	0.04	1.13E-02	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	7	PZ05	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	8	PZ06	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	9	PZ07	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	10	PZ08	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-
3	11	PZ09	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	บ่อตื้นขึ้นมาเหลือ 24 ม. ยังไม่พบน้ำ
3	12	PZ10	-	-	-	บ่อสังเกตการณ์ โครงการปากช่อง	-

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลสุบทดสอบบ่อและผลการวิเคราะห์

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อในพื้นที่โครงการ

ลำดับ <sup>(1)</sup>	ชื่อบ่อ	พิกัด ตะวันออก-ตะวันตก	พิกัด เหนือ-ใต้	สถานที่	ความลึกบ่อ (เมตร)	ขนาดบ่อ (นิ้ว)
1	D0315	739050	1619400	วัดถนนโค้ง	45	6
2	E0049	748860	1620100	ไร่ธนฟาร์ม (ไร่สุวรรณ)	85.8	-
3	MG0160	743100	1620500	บ้านกลางดง	30	5
4	P0002	748660	1620110	ไร่ธนฟาร์ม (ไร่สุวรรณ)	61.8	-
5	P0022	748200	1621200	วัดปางอโศก	45	8
6	P0171	743050	1617950	บ้านกลางดง	30	-
7	P0409	737850	1620800	วัดน้ำพุ	24	6
8	P0412	743800	1617200	วัดเทพพิทักษ์บุญญาราม	42	6
9	P0413	746400	1617500	บ้านลาดโด	24	6
10	P0442	746600	1618750	บ้านบุญบันดาล	49.5	6
11	P0821	748100	1621050	โรงเรียนเบทาโกรวิทยา	30	5
12	T0725	743900	1617900	โรงเรียนกลางดงปทุมวิทย	34.5	8
13	MW01	747001	1619679	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	40	4
14	MW03	746888	1619824	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	40	4
15	PW01	746962	1619776	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	50	6
16	PZ01	746897	1619756	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	60	6
17	PZ03	746932	1619715	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	48	6
18	PZ04	746975	1619734	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	48	6
19	MW02	746911	1619739	หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต	48	4

หมายเหตุ:

- (1) ข้อมูลดิบของการสุบทดสอบบ่อในลำดับที่ 1-12 อ้างอิงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Cooper & Jacob Time-Drawdown
- (3) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Hvorslev

**ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อในพื้นที่โครงการ (ต่อ)**

ลำดับ <sup>(1)</sup>	ชื่อบ่อ	ระดับน้ำปกติ (เมตร)	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ช.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) <sup>(2)</sup>	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที) <sup>(3)</sup>	หมายเหตุ
1	D0315	3.05	5.26	1.37E-04	-	Single Well Test
2	E0049	16.31	9.00	3.55E-02	-	Single Well Test
3	MG0160	5.41	2.34	3.02E-05	-	Single Well Test
4	P0002	28.1	25.67	3.89E-02	-	Single Well Test
5	P0022	15.9	5.54	7.85E-05	-	Single Well Test
6	P0171	23.76	8.21	2.04E-02	-	Single Well Test
7	P0409	5.21	7.20	1.00E-04	-	Single Well Test
8	P0412	32.92	31.21	5.56E-03	-	Single Well Test
9	P0413	12.19	6.59	3.73E-03	-	Single Well Test
10	P0442	32.99	4.79	2.15E-02	-	Single Well Test
11	P0821	5.67	14.40	3.00E-02	-	Single Well Test
12	T0725	15.01	14.76	1.16E-01	-	Single Well Test
13	MW01	40	7.20	4.25E-02	-	Single Well Test
14	MW03	23.6	7.20	2.40E-03	-	Single Well Test
15	PW01	24.11	7.20	8.99E-02	-	Single Well Test
16	PZ01	24.15	7.20	3.53E-02	-	Single Well Test
17	PZ03	24.35	7.20	4.81E-02	-	Single Well Test
18	PZ04	24.25	7.20	1.13E-02	-	Single Well Test
19	MW02	24.4	-	-	3.19E-05	Slug Test

**หมายเหตุ:**

- (1) ข้อมูลดิบของการสูบทดสอบบ่อในลำดับที่ 1-12 อ้างอิงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Cooper & Jacob Time-Drawdown
- (3) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที) วิเคราะห์โดยวิธีการ Hvorslev

**ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ D0315**

Pumping well number D 315 NR 135

Location บริเวณวัดถนนโค้ง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

Elevation .....

Type of pump.....

Static water level 10.00 Well depth 150 Well size Q 6" Set 80'

Yield 23.21 gpm Method of Neasuring.....

Observer.....Date13 เมษายน 2517

Depth..... Size .....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
5.55			10.00					
6.00	0		10.00					
6.00	1		14.32	4.32				Pumping Started
	2		15.76	5.76				
	3		16.13	6.13				
	4		17.04	7.04				
	5		19.13	9.13				
	6		20.21	10.21				
	7		20.54	10.54				
	8		20.95	10.95				
	9		21.15	11.15				
	10		21.35	11.35				H 5" Q 22.18 gpm
	15		22.26	12.26				1300 RPM
	20		23.00	13.00				
	25		24.08	14.08				H 6" Q 24.29 gpm
	30		24.46	14.46				1300 RPM
	40		25.11	15.11				
7.00	60		26.17	16.17				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	80		26.90	16.90				1300 RPM
	100		27.43	17.43				
8.00	120		27.92	17.92				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	140		28.47	18.47				1300 RPM
	160		28.36	18.36				
9.00	180		23.65	18.65				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	200		28.85	18.85				1300 RPM
	220		29.06	19.06				
10.00	240		29.33	19.33				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	260		29.50	19.50				1300 RPM
	280		29.80	19.80				
11.00	300		30.00	20.00				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	320		30.02	20.02				1300 RPM
	340		30.40	20.40				
12.00	360		30.73	20.73				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	380		30.87	20.87				1300 RPM
	400		31.44	21.44				
13.00	420		31.50	21.56				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	440		31.69	21.69				1300 RPM
	460		31.71	21.71				
14.00	480		31.69	21.69				
	500		31.70	21.70				H 5 1/2" Q 23.21 gpm
	520		31.72	21.72				1300 RPM
	540	0	31.70	27.70				Pumping Stopped
	541	1	28.73		18.73	2.97	541.00	
	542	2	26.00		16.00	5.7	271.00	

**ตารางที่ ข-2** ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ D0315 (ต่อ)

Pumping well number D 315 NR 135

Location บริเวณวัดถนนโค้ง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

Elevation .....

Type of pump.....

Static water level 10.00 Well depth 150 Well size Q 6" Set 80'

Yield 23.21 gpm Method of Neasuring.....

Observer.....Date 13 เมษายน 2517

Depth..... Size .....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	543	3	25.00		15.00	6.70	181.00	
	544	4	24.67		14.67	7.30	136.00	
	545	5	23.93		13.93	7.77	109.00	
	546	6	23.30		13.30	7.40	91.00	
	547	7	22.78		12.78	8.92	78.14	
	548	8	22.37		12.37	9.33	69.62	
	549	9	21.87		11.87	9.83	61.00	
	550	10	21.60		11.60	10.10	55.00	
	555	15	21.10		11.10	10.60	37.00	
	560	20	20.42		10.42	11.28	28.00	
	565	25	20.00		10.00	11.70	22.60	
	570	30	19.60		9.60	12.10	19.00	
	580	40	19.31		9.31	12.39	14.50	
16.00	600	60	18.00		8.00	13.70	10.00	
	620	80	17.05		7.05	14.65	7.75	
	640	100	16.57		6.57	15.13	6.40	
17.00	660	120	16.06		6.06	15.64	5.50	
	630	140	15.71		5.71	15.99	4.85	
	700	160	15.40		5.40	16.30	4.37	
18.00	720	180	15.00		5.00	16.70	4.00	
	740	200	14.69		4.69	17.01	3.70	
	760	220	14.44		4.44	17.26	3.45	
19.00	780	240	14.21		4.21	17.49	3.25	
	800	260	14.00		4.00	17.70	3.76	
	820	280	13.78		3.78	17.92	2.92	
20.00	840	300	13.59		3.59	18.11	2.80	
	860	320	13.36		3.36	18.34	2.68	
	880	340	13.10		3.10	18.60	2.58	
21.00	900	360	12.82		2.82	18.88	2.50	
	920	340	12.63		2.63	19.07	2.42	
	940	400	12.42		2.42	19.28	2.35	
22.00	960	420	12.26		2.26	19.44	2.28	
	980	440	12.07		2.07	19.63	2.22	
	1020	460	11.85		1.85	19.85	2.85	
23.00	1040	480	11.60		1.60	20.10	2.16	
	1060	500	11.44		1.44	20.26	2.12	
	1080	520	11.28		1.28	20.42	2.77	
24.00	1100	540	11.09		1.09	20.61	2.37	

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ E0049

Pumping well number E 49 NR 3  
 Location ไส้สุวรรณจากกิจ บ่อกลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Elevation .....  
 Type of pump.....  
 Static water level.. 53.52" .....Hole depth 100'  
 Yield... 39.63 .....gpm Method of Neasuring.....  
 Observer.....Date.. August 1960  
 Depth..... Size .....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	1		57.02	3.50				
	2		0.00	0.00				
	3		0.00	0.00				
	4		0.00	0.00				
	5		0.00	0.00				
	6		0.00	0.00				
	7		0.00	0.00				
	8		57.18	3.66				
	9		57.24	3.72				
	10		57.25	3.73				
	15		27.16	3.64				
	20		57.20	3.68				
	25		57.11	3.59				
	30		57.06	3.54				
	35		57.12	3.60				
	40		57.12	3.60				
	45		57.12	3.60				
	50		57.12	3.60				
	60		57.11	3.59				
	70		57.12	3.60				
	80		57.09	3.57				
	90		57.09	3.57				
	100		57.11	3.57				
	120		57.09	3.57				
	140		57.11	3.59				
	160		57.10	3.58				
	180		57.09	3.57				
	200		57.11	3.59				
	220		57.10	3.58				
	240		57.10	3.58				
	260		57.11	3.59				
	280		57.09	3.57				
	300		57.10	3.58				
	301	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	302	2	53.74		22.00	3.36	151	
	303	3	53.63		11	3.47	101	
	304	4	53.59		7	3.51	76	

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ E0049 (ต่อ)

Pumping well number E 49 NR 3  
 Location ไร่สุวรรณจากกิจ บ่อกลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Elevation  
 Type of pump  
 Static water level 53.52" Hole depth 100'  
 Yield 39.63 gpm Method of Neasuring  
 Observer Date August 1960  
 Depth Size

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	305	5	0.00		0	0.00	0	
	306	6	53.57		0.05	3.53	51	
	307	7	53.56		0.04	3.54	43.83	
	308	8	0.00		0	0	0	
	309	9	53.55		0.03	3.55	34.33	
	310	10	53.54		0.02	3.56	31.00	
	315	15	0.00		0.00	0	0.00	
	320	30	0		0	0	0	
	325	25	0		0	0	0	
	330	30	53.54		0.02	3.56	11	
	335	35	0		0	0	0	
	340	40	0		0	0	0	
	345	45	0		0	0	0	
	350	50	53.53		0.01	3.87	7	
	360	60	0		0	0	0	
	370	70	53.52		0	0	0	
	380	80	0		0	0	0	
	390	90	53.52		0	0	0	
	400	100	0		0	0	0	
	420	120	0		0	0	0	
	440	140	53.5		0	0	0	
	460	160	0		0	0	0	
	480	180	0		0	0	0	
	500	200	53.5		0	0	0	
	520	220	0		0	0	0	
	540	240	0		0	0	0	
	560	260	53.5		0	0	0	
	580	280	0		0	0	0	
	600	300	53.5		0	0	0	



ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MG0160

Well Number ..... MG 160 NR 135  
 Location ..... โรงเรียนวัดกลางดง ม. 12 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth..... 100'..... Size ..... 5"..... Elevation .. 4"  
 Type of test pump... Monolift..... capacity..... 20 pm..... Setting..... 60.92.....ft.  
 Static water level.....ft. Yield.....gpm. Drawdown.....ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice.....  
 Size of discharge ..... 2"  
 Head.....  
 2. Bucket..... ตวงน้ำ 13 วินาที/สูบ  
 Observer..... Date..... 12.ต.ค. 2535

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
6.50	0		17.76					
6.55	0		17.76					
7.00	0		17.76					Pumping Started
	1		31.09	13.33				
	2		36.64	18.88				
	3		44.67	26.91				
	4		51.26	33.50				
	5		55.10	37.34				
	6		58.03	40.27				
	7		60.00	42.24				
	8		61.14	43.38				
	9		62.39	44.63				
	10		63.08	45.32				
	15		65.92	48.16				
	20		67.13	49.37				
	30		69.08	51.32				
	40		71.35	53.59				
	50		73.69	55.93				
8.00	60		75.00	57.24				
	80		76.01	58.25				
	100		77.06	60.30				
9.00	120		77.37	60.61				
	150		77.47	59.71				
10.00	180		78.68	60.92				
	210		78.62	60.86				
11.00	240		78.45	60.69				
	270		78.67	60.91				
12.00	300		78.68	60.92				
	330		78.66	60.90				
13.00	360		78.67	60.91				Pumping Stopped

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MG160 (ต่อ)

Well Number .. MG 160 NR 135 .....

Location ..โรงเรียนวัดกลางดง ม. 12 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา .....

Depth..100'..... Size ..... 5"..... Elevation ..... 4".....

Type of test pump... Monolift ..... capacity..... 20 pm ..... Setting..... 60.92 .....ft.

Static water level.....ft. Yield.....gpm. Drawdown.....ft.

Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice.....

Size of discharge ..... 2".....

Head.....

2. Bucket..... ตวงปั๊บ 13 วินาที/ปั๊บ .....

Observer..... Date..... 12 ส.ค. 2535.....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	361	1	52.37		34.61	26.31	361	
	362	2	41.14		23.38	37.54	181	
	363	3	31.75		13.99	46.93	121	
	364	4	25.00		7.24	53.68	91	
	365	5	20.46		2.70	58.22	73	
	366	6	19.72		1.96	58.96	61	
	367	7	19.40		1.64	59.28	52.42	
	368	8	19.21		1.45	59.47	46	
	369	9	19.18		1.42	59.50	41	
	370	10	19.04		1.28	59.64	37	
	375	15	18.98		1.22	59.70	25	
	380	20	18.92		1.16	59.76	19	
	390	30	18.80		1.04	59.88	13	
	400	40	18.78		1.02	59.90	10	
	410	50	18.74		0.98	59.94	8.2	
14.00	420	60	18.70		0.94	59.98	7	
	440	80	18.67		0.91	60.01	5.5	
	460	100	18.66		0.90	60.02	4.6	
15.00	480	120	18.65		0.89	60.03	4	
	510	150	18.65		0.89	60.03	3.4	
16.00	540	180	18.64		0.88	60.04	3	
	570	210	18.64		0.88	60.04	2.71	
17.00	600	240	18.63		0.87	60.05	2.5	

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0002

Pumping well number P 2 NR 2  
 Location Km. 155, Frind ship Highivay  
 Elevation ..... Moasuring point... Top of Casing  
 Type of pump.. Turbine Fairbanks Morse 500 gpm.  
 Source of ongin Gasoline engine.  
 Static water level... 92.2..... Hole depth ..100'  
 Yield..... 113 ..... gpm Method of Neasuring... Measured by gas. Can.  
 Date... Oct 8, 1962  
 Depth..... Size .....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
12.40	0		92.20					
12.50	10		92.20					
13.05	25		93.70					
13.10	35		92.20					
13.15	40		93.00					
13.20	45		92.15					
13.25	50		92.20					
13.30	55		92.20					
13.40	65		92.23					
13.50	75		92.17					
14.00	85		92.20					
14.53	135		92.29					
15.00	0	0	92.20	0.00	0	0	0	Pumping started
16.25	85	0	94.28	2.08	0	0	0	
16.35	95	0	94.30	2.10	0	0	0	
17.15	135	0	94.30	2.10	2.1	0	0	
17.17	137	2	93.28	0.00	1.08	1.02	68.5	Pumping stoped
17.18	138	3	93.13	0.00	0.93	1.17	46	
17.20	140	5	92.92	0.00	0.72	1.38	28	
17.22	142	7	92.78	0.00	0.58	0.52	20.28	
17.25	145	10	92.63	0.00	0.43	1.67	14.5	
17.30	150	15	92.45	0.00	0.25	1.85	10	
17.35	155	20	92.34	0.00	0.14	1.96	7.75	
17.40	160	25	92.29	0.00	0.09	2.01	6.4	
17.50	170	35	92.20	0.00	0	2.1	4.85	
18.00	180	45	92.18	0.00	-0.02	2.12	4	
18.15	195	60	92.10	0.00	-0.1	2.2	3.25	

**ตารางที่ ข-6** ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0022

Well Number P 22 NR 13  
 Location วัดบ้านปางอโศก ม.1 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth 110" Size 8" Elevation 1"  
 Type of test pump Monolift capacity 50gpm Setting 100" ft.  
 Static water level 52.16 ft. Yield 24.38 gpm. Drawdown 34.01 ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice  
 Size of discharge 2"  
 Head  
 2. Bucket ตวงปั๊บน้ 13 วินาที/ปั๊บน้  
 Observer ประทีติ เกตุใหม่ Date 17 พ.ย. 2535

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
6.50	0		52.16					
6.55	0		52.16					
7.00	0		52.16					Pumping Started
	1		58.67	6.51				
	2		60.55	8.39				
	3		61.27	9.11				
	4		61.84	9.68				
	5		62.79	10.63				
	6		64.14	11.98				
	7		66.13	13.97				
	8		67.05	14.89				
	9		67.79	15.63				
	10		68.30	16.14				
	15		71.53	19.37				
	20		73.62	21.46				13 วินาที/ปั๊บน้
	30		75.27	23.11				Q 24.28. gpm
	40		76.73	24.57				
	50		77.00	24.84				
8.00	60		78.58	26.42				13 วินาที/ปั๊บน้
	80		79.35	27.19				Q 24.38 gpm
	100		80.00	27.84				
9.00	120		81.00	28.84				
	150		82.70	30.54				
10.00	180		83.68	31.52				13 วินาที/ปั๊บน้
	210		84.35	32.19				Q 24.38 gpm
11.00	240		84.53	32.37				
	270		85.00	32.84				
12.00	300		85.47	33.31				
	330		85.68	33.52				
13.00	360		85.91	33.75				13 วินาที/ปั๊บน้
	390		86.00	33.84				Q 24.38 gpm
14.00	420		86.17	34.01				Pumping Stopped

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0022 (ต่อ)

Well Number ..... P 22 NR 13 .....  
 Location ..... วัดบ้านปางอโศก ม.1 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา .....  
 Depth..... 110" ..... Size ..... 8" ..... Elevation 1" .....  
 Type of test pump..... Monolift ..... capacity..... 50gpm ..... Setting..... 100" .....ft.  
 Static water level..... 52.16 .....ft. Yield..... 24.38 .....gpm. Drawdown..... 34.01 .....ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice.....  
 Size of discharge ..... 2" .....  
 Head.....  
 2. Bucket..... ตวงปั๊บ 13 วินาที/ปั๊บ .....  
 Observer..... ประเกียรติ เกตุใหม่ ..... Date..... 17 พ.ย. 2535 .....

Time	Time Since pumping started	Time Since	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	421	1	80.30		28.14	5.87	421	
	422	2	77.55		25.39	8.62	211	
	423	3	75.00		22.84	11.17	141	
	424	4	72.98		20.82	13.19	106	
	425	5	70.00		17.84	16.17	85	
	426	6	68.84		16.68	17.33	71	
	427	7	67.89		15.73	18.28	61	
	428	8	67.00		14.84	19.17	53.5	
	429	9	66.24		14.08	19.93	47.6	
	430	10	65.64		13.48	20.53	43	
	435	15	61.20		9.04	24.97	29	
	440	20	58.44		6.28	27.73	22	
	450	30	56.90		4.74	29.27	15	
	460	40	56.47		4.31	29.70	11.5	
	470	50	56.18		4.02	29.99	9.4	
15.00	480	60	56.02		3.86	30.15	8	
	500	80	55.94		3.78	30.23	6.25	
	520	100	55.91		3.75	30.26	5.2	
16.00	540	120	55.86		3.70	30.31	4.5	
	570	150	55.82		3.66	30.35	3.8	
17.00	600	180	55.79		3.63	30.38	3.3	
	630	210	55.75		3.59	30.42	3	
18.00	660	240	55.72		3.56	30.45	2.75	

ตารางที่ ข-7 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0171

Pumping well number P 171 NR 69  
 Location ไร่ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Elevation .....  
 Type of pump.....  
 Static water level 77.95 .....Hole depth 100'  
 Yield 36.10 .....gpm Method of Neasuring.....  
 Observer.....Date 3 ก.ค. 2513

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	0		77.95	0.00				
9.30	1		0.00	0.00				
	2		79.34	1.39				Pumping Started
	3		80.51	2.56				
	4		81.38	3.43				
	5		81.59	3.64				
	6		81.79	3.84				
	7		81.87	3.92				
	8		81.96	4.01				
	9		82.07	4.12				
	10		82.18	4.23				
	15		82.37	4.42				
	20		82.45	4.50				
	25		82.49	4.54				
	30		82.55	4.60				H = 12 1/2"
	35		82.59	4.64				
	40		82.63	4.68				
	45		82.67	4.72				
	50		82.69	4.74				
10.30	60		82.73	4.78				
	80		82.78	4.83				
	100		82.81	4.86				
11.30	120		82.93	4.98				
	150		82.95	5.00				
12.30	180		82.97	5.02				H = 12 1/2"
	210		82.99	5.04				H = 13 1/4"
13.30	240		82.99	5.04				H = 13 1/4"
	270		82.99	5.04				H = 13 1/4"
14.30	300		82.99	5.04				Pumping Stopped
	301	1	78.72		0.77	4.27	301	
	302	2	78.01		0.06	4.98	151	
	303	3	77.98		0.03	5.01	101	
	304	4	77.96		0.01	5.03	76	
	305	5	77.95		0.00	5.04	61	
	306	6	77.95		0.00	5.40	51	
	307	7	77.93		0.98	5.06	43.8	
	308	8	77.91		0.96	5.08	38.5	
	309	9	77.89		0.94	5.10	34.3	
	310	10	77.89		0.94	5.10	31	
	315	15	77.89		0.94	5.10	31.5	
	320	20	77.88		0.93	5.11	16	
	325	25	77.88		0.93	5.11	15	
15.00	330	30	77.88		0.93	5.11	11.00	

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0409

Well Number P 409 NR 225  
 Location วัดใหม่บ้านน้ำพุ ม.9 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth 80' Size 6" Elevation 3 1/2"  
 Type of test pump Submerible capacity 20 Setting 70 ft.  
 Static water level 17.09 ft. Yield 31.70 gpm. Drawdown 41.93 ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice  
 Size of discharge 1 1/2"  
 Head  
 2. Bucket ตวงน้ำ 10 วินาที/ปั๊ม  
 Observer PT 8 Date 12 January 1982

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
7.40	0		17.09					
7.50	0		17.10	17.09				
8.00	0		17.09					Pumping Started
	1		26.52	9.43				
	2		30.84	13.75				10 วินาที/ปั๊ม
	3		33.85	16.76				Q 31.70 gpm
	4		34.45	17.36				
	5		35.46	18.37				
	6		36.47	19.38				
	7		37.03	19.94				
	8		37.37	20.28				
	9		37.67	20.58				
	10		38.00	20.91				
	15		38.63	21.54				
	20		39.47	22.38				
	25		40.45	23.36				
	30		40.96	23.87				10 วินาที/ปั๊ม
	40		41.65	24.56				Q 31.70 gpm
	50		42.39	25.30				
9.00	60		43.22	26.13				
	80		45.38	28.29				
	100		46.82	29.73				
10.00	120		47.90	30.81				10 วินาที/ปั๊ม
	140		49.75	32.66				Q 31.70 gpm
	160		50.62	33.53				
11.00	180		51.60	34.51				10 วินาที/ปั๊ม
	200		52.15	35.06				Q 31.70 gpm
	220		53.10	36.01				
12.00	240		54.11	37.02				10 วินาที/ปั๊ม
	260		55.00	37.91				Q 31.70 gpm
	280		55.84	38.75				
13.00	300		56.59	39.50				10 วินาที/ปั๊ม
	320		57.21	40.12				Q 31.70 gpm
	340		57.74	40.65				
14.00	360		58.15	41.06				10 วินาที/ปั๊ม
	380		58.45	41.36				Q 31.70 gpm
	400		58.67	41.58				เก็บตัวอย่างน้ำ 1ขวด
15.00	420	0	59.02	41.93				Pumping Stopped

### ตารางที่ ข-8 ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0409 (ต่อ)

Well Number P 409 NR 225  
 Location วัดใหม่บ้านน้ำพ ม.9 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth 80' Size 6" Elevation 3 1/2"  
 Type of test pump Submerible capacity 20 Setting 70 ft.  
 Static water level 17.09 ft. Yield 31.70 gpm. Drawdown 41.93 ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice  
 Size of discharge 1 1/2"  
 Head  
 2. Bucket ตวงปีบ 10 วินาที/ปีบ  
 Observer PT 8 Date 12 January 1982

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	421	1	45.79		28.7	13.23	421	
	422	2	40.65		23.56	18.37	211	
	423	3	36.51		19.42	22.51	141	
	424	4	31.91		14.82	27.11	106	
	425	5	30.45		13.36	28.57	85	
	426	6	29.39		12.30	29.63	71	
	427	7	28.23		11.14	30.79	61	
	428	8	27.43		10.34	31.59	53.5	
	429	9	26.94		9.85	32.08	47.67	
	430	10	26.51		9.42	32.51	43	
	435	15	25.15		8.06	33.87	29	
	440	20	24.59		7.50	34.43	22	
	445	25	24.35		7.26	34.67	17.8	
	450	30	24.00		6.91	35.02	15	
	460	40	23.63		6.54	35.39	11.5	
	470	50	23.37		6.28	35.65	9.4	
16.00	480	60	23.10		6.01	35.92	8	
	500	80	22.80		5.71	36.22	6.25	
	520	100	22.56		5.47	36.46	5.2	
17.00	540	120	22.36		5.27	36.66	4.5	
	560	140	22.21		5.12	36.81	4	
	580	160	22.10		5.01	36.90	3.63	
18.00	600	180	22.02		4.93	37.00	3.33	
	620	200	21.96		4.87	37.06	3.1	
	640	220	21.96		4.82	37.11	2.91	
19.00	660	240	21.86		4.77	37.16	2.75	
	680	260	21.80		4.71	37.22	2.62	
	700	280	21.76		4.67	37.26	2.5	
20.00	720	300	21.72		4.63	37.30	2.4	
	09.00 13 January 1982 SWL 18.76'							







ตารางที่ ข-10 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0413

Well Number ..... P 413 NR 229  
 Location ..... ที่สาธารณะ บ้านลาดชะโด ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth.....80..... Size .....6"..... Elevation .....  
 Type of test pump..... capacity.....30.96.....Setting..... 75.....ft.  
 Static water level...40.00.....ft. Yield.....28.96.....gpm. Drawdown...0.10.....ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice..... 1 1/2  
 Size of discharge ..... 3"  
 Head..... 8 1/4  
 2. Bucket.....  
 Observer..... กิติเดช ราชบุรี Date..... 24 ธันวาคม 2525

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
40			40.00					
50			40.00					
7.00	0	-						Pumping Started
	1		40.18	0.18				
	2		39.87	-0.13				
	3		39.84	-0.16				
	4		39.98	-0.02				
	5		39.59	-0.43				
	6		39.66	-0.03				
	7		39.60	-0.40				
	8		39.70	-0.30				
	9		39.84	-0.16				น้ำพุ่งสีขาวทรายละเอียดปะปนเล็กน้อย
	10		39.81	-0.19				Speed 3500 ppm
	15		39.61	-0.39				H 8 1/4"
	20		39.73	-0.27				Q 28.96. Gpm
	25		39.44	-0.56				
	30		39.86	-0.14				
	40		39.54	-0.46				
	50		39.54	-0.46				
8.00	60		39.82	-0.14				
	80		39.79	-0.21				
	100		39.94	-0.06				
9.00	120		40.00	-				
	140		40.04	0.04				
	160		40.06	0.06				
10.00	180		40.10	0.10				
	200		40.08	0.08				
	220		40.06	0.06				
11.00	240		40.11	0.11				
	260		40.16	0.16				
	280		40.17	0.17				
12.00	300		40.14	0.14				
	320		40.08	0.08				
	340		40.13	0.13				
13.00	360		40.11	0.11				
	380		40.15	0.15				น้ำใสสะอาด
	400		40.14	0.14				Speed 3500 RPM
14.00	420		40.16	0.16				H 8 1/4
	440		40.16	0.16				Q 28.69. Gpm
	460		40.08	0.08				เก็บตัวอย่างน้ำ 1ขวด
15.00	480	0	40.10	0.10				Pumping Stopped

### ตารางที่ ข-10 ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0413 (ต่อ)

Well Number .. P 413 NR 229 .....

Location ..ที่สาธารณะ บ้านลาดชะโด ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา .....

Depth.....80..... Size .....6"..... Elevation .....

Type of test pump..... capacity.....30.96.....Setting.....75.....ft.

Static water level...40.00.....ft. Yield.....28.96.....gpm. Drawdown...0.10.....ft.

Method of measuring:                   1. Orifice. Size of orifice.....1 1/2.....

  Size of discharge .....3".....

  Head.....8 1/4.....

  2. Bucket.....

Observer..... กิติเดช ราชบุรี..... Date.....24 ธันวาคม 2525.....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	481	1	39.73		-0.27	0.45	481	
	482	2	39.65		-0.35	0.53	241	
	483	3	39.61		-0.39	0.57	161	
	484	4	39.60		-0.40	0.58	121	
	485	5	39.58		-0.42	0.60	97	
	486	6	39.57		-0.43	0.61	81	
	487	7	39.57		-0.43	0.61	69.5	
	488	8	39.56		-0.44	0.62	61	
	489	9	39.56		-0.44	0.62	54.3	
	490	10	39.55		-0.45	0.63	49	
	495	15	39.53		-0.47	0.65	32.3	
	500	20	39.52		-0.48	0.66	25	
	505	25	39.5		-0.50	0.68	20.2	
	510	30	39.49		-0.51	0.69	17	
	520	40	39.47		-0.53	0.70	13	
	530	50	39.45		-0.55	0.72	10.6	
16.00	540	60	39.44		-0.56	0.73	9	
	560	80	39.42		-0.57	0.75	7	
	580	100	39.41		-0.59	0.76	5.8	
17.00	600	120	39.4		-0.60	0.77	5	
	620	140	39.39		-0.61	0.78	4.42	
	640	160	39.38		-0.62	0.79	4	
18.00	660	180	39.37		-0.63	0.80	36	
วัดตอนเช้าเวลา 06.30 น. ของวันที่ 25								

**ตารางที่ ข-11** ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0442

Well Number P 442 NR 258  
 Location ที่สาธารณะ บ้านบุญบันดาล หมู่ 2 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.  
 Depth 165' บ่อดินเหนียว 150' Size 6" Elevation Top of casing 10' 2"  
 Type of test pump Tur-bine capacity 30 gpm Setting 135 ft.  
 Static water level 108.22 ft. Yield 21.13 gpm. Drawdown 00.50 ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice  
 Size of discharge 2"  
 Head  
 2. Bucket ตวงปั๊ 15 วินาที/ปั๊  
 Observer ประเสริฐ นิตยใหม่ Date 5 สิงหาคม 2530

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s)	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
6.50	0		108.21					
6.55	0		108.22					
7.00	0		108.22					Pumping Started
	1		108.73	0.51				
	2		108.79	0.57				
	3		108.65	0.43				
	4		108.65	0.43				15 วินาที/ปั๊
	5		108.67	0.45				Q 21.13 gpm
	6		108.68	0.46				
	7		108.66	0.44				
	8		108.72	0.50				
	9		108.69	0.47				
	10		108.68	0.46				
	15		108.74	0.52				15 วินาที/ปั๊
	20		108.70	0.48				Q 21.13 gpm
	25		108.64	0.42				
	30		108.72	0.50				
	40		108.80	0.58				15 วินาที/ปั๊
	50		108.69	0.47				Q 21.13 gpm
8.00	60		108.65	0.43				
	80		108.68	0.46				
	100		108.72	0.50				
9.00	120		108.72	0.50				15 วินาที/ปั๊
	140		108.75	0.53				Q 21.13 gpm
	160		108.70	0.48				
10.00	180		108.73	0.51				
	200		108.70	0.48				
	220		108.70	0.48				15 วินาที/ปั๊
11.00	240		108.67	0.45				Q 21.13 gpm
	260		108.72	0.50				
	280		108.70	0.48				เก็บตัวอย่างน้ำ
	300		108.72	0.50				Pumping Stopped



ตารางที่ ข-12 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0821

Well Number ..... P 821 .....  
 Location ..... โรงเรียนเบทาโกรวิทยา หมู่ 1 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา .....  
 Depth..... 30 ..... Size ..... 5" ..... Elevation ..... 51 ซม. ....  
 Type of test pump..... Monolifet ..... capacity..... 50 gpm ..... Setting..... 27 เมตร .....ft.  
 Static water level..... 18.61 เมตร .....ft. Yield..... 63.36 .....gpm. Drawdown..... 1.73 ม. ....ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice.....  
 Size of discharge ..... 2" .....  
 Head.....  
 2. Bucket..... ตวงปั๊บ 5 วินาที/ปั๊บ .....  
 Observer..... ประเกียรติ เกตุใหม่ ..... Date..... 5 พฤษภาคม 2538 .....

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s)	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
6.55	0		18.61					
7.00	0		18.61					
	1		18.89	0.28				Pumping Started
	2		19.03	0.42				
	3		19.23	0.62				
	4		19.32	0.71				
	5		19.34	0.73				
	6		19.60	0.99				
	7		19.61	1.00				
	8		20.11	1.50				
	9		20.24	1.63				
	10		20.26	1.65				
	15		20.30	1.79				
	20		20.31	1.70				5 วินาที/ปั๊บ
	30		20.32	1.71				Q 14.4 $\text{Á}^3$
	40		20.32	1.71				
	50		20.32	1.71				
8.00	60		20.32	1.71				5 วินาที/ปั๊บ
	80		20.31	1.70				Q 14.4 $\text{Á}^3$
	100		20.32	1.71				
9.00	120		20.33	1.72				
	150		20.34	1.73				
10.00	180		20.33	1.72				5 วินาที/ปั๊บ
	210		20.34	1.73				Q 14.4 $\text{Á}^3$
11.00	240		20.34	1.73				
	270		20.33	1.72				
12.00	300		20.34	1.73				
	330		20.34	1.73				
13.00	360		20.34	1.73				Pumping Stopped

**ตารางที่ ข-12** ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ P0821 (ต่อ)

Well Number ..... P 821

Location ..... โรงเรียนเบทาโกรวิทยา หมู่ 1 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

Depth.....30..... Size .....5"..... Elevation ..... 51 ซม.

Type of test pump... Monolifet..... capacity..... 50 gpm.....Setting..... 27 เมตร .....ft.

Static water level...18.61 เมตร ft. Yield..... 63:36.....gpm. Drawdown...1.73 ม.....ft.

Method of measuring:                   1. Orifice. Size of orifice.....

  Size of discharge ..... 2"

  Head.....

  2. Bucket. ตวงน้ำ 5 วินาที/ปั๊ม

Observer..... ประเกียรติ เกตุใหม่..... Date..... 5 พฤษภาคม 2538

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s')	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
	361	1	18.63		0.02	1.71	361	
	362	2	18.63		0.02	1.71	181	
	363	3	18.63		0.02	1.71	121	
	364	4	18.63		0.02	1.71	91	
	365	5	18.62		0.01	1.72	73	
	366	6	18.62		0.01	1.72	61	
	367	7	18.62		0.01	1.72	52.42	
	368	8	18.62		0.01	1.72	46	
	369	9	18.62		0.01	1.72	41	
	370	10	18.62		0.01	1.72	37	
	375	15	18.62		0.01	1.72	25	
	380	20	18.62		0.01	1.72	19	
	390	30	18.62		0.01	1.72	13	
	400	40	18.62		0.01	1.72	10	
	410	50	18.61		0.01	1.72	8.2	
14.00	420	60	18.61		0.00	1.73	7	
	440	80	18.61		0.00	1.73	5.5	
	460	100	18.61		0.00	1.73	4.6	
15.00	480	120	18.61		0.00	1.73	4	
	510	150	18.61		0.00	1.73	3.4	
16.00	540	180	18.61		0.00	1.73	3	
	570	210	18.61		0.00	1.73	2.71	
17.00	600	240	18.61		0.00	1.73	2.5	



ตารางที่ ข-13 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0725

Well Number ..... T 125 NR 25  
 Location ..... โรงเรียนปทุมวิทยานบ้านเขาวัว ม.7 ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา  
 Depth..... 115' ..... Size ..... Q 8" ..... Elevation ..... 4"  
 Type of test pump..... MONO ..... capacity..... 50 gpm ..... Setting..... 70 .....ft.  
 Static water level..... 49.26 .....ft. Yield..... 65.04 .....gpm. Drawdown..... - .....ft.  
 Method of measuring: 1. Orifice. Size of orifice..... 2"  
 Size of discharge ..... 1 1/2"  
 Head..... 43"  
 2. Bucket.....

Observer..... นายกิตติเดช ราชบุรี ..... Date..... 26 ธันวาคม 2529

Time	Time Since pumping started min. (t)	Time Since pumping stopped min. (t)	Water level ft.	Drawdown ft. (s)	Residual drawdown (s)	Recovery ft. (sr)	t/t	Remarks
7.20	0		49.26					
7.25	0		49.25					
7.30	0		49.26					Pumping Started
	1		49.78	0.52				
	2		49.84	0.58				
	3		49.89	0.63				
	4		49.94	0.68				
	5		49.96	0.70				
	6		49.98	0.72				
	7		49.99	0.73				
	8		49.99	0.73				
	9		49.98	0.72				
	1		50.00	0.74				น้ำขุ่น
	15		50.00	0.74				H 43"
	20		49.98	0.72				Speed 1700 rpm
	25		49.96	0.70				
	30		49.94	0.68				
	40		49.96	0.70				
	50		49.98	0.72				
8.30	60		49.95	0.69				น้ำขุ่น
	80		50.00	0.74				H 43"
	100		50.00	0.74				
9.30	120		49.94	0.68				
	140		49.96	0.70				
	160		49.98	0.72				
10.30	180		49.94	0.68				
	200		50.00	0.74				น้ำขุ่น
	220		50.00	0.74				H 43 1/2"
11.30	240		49.96	0.70				
	260		49.94	0.68				
	280		49.98	0.72				
12.30	300		49.92	0.66				
	320		49.94	0.68				
	340		49.98	0.72				
13.30	360		49.96	0.70				
	380		50.00	0.74				น้ำขุ่น
	400		49.98	0.72				Speed 1700 rpm
14.30	420		50.00	0.74				H 43"
	440		49.99	0.73				Q 65.04 gpm
	460		49.98	0.72				เก็บตัวอย่างน้ำ 1ขวด
15.30	480	0	50.00	0.74				Pumping Stopped



ตารางที่ ข-14 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PW01

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนต์ สรรพ์สมบัติ และนางสาวศิริรัตน์ อุปลิทธิ												
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบน้ำ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบน้ำ : PW01						พิกัดกริด (E) :			746962			
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) :			1619774 (377.469 m)			
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทรีฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : ( นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :			7.20 ลบ.ม./ชม.			
บ่อลึก : 50 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 30 ม.						ระดับน้ำปกติ :			24.07 ม.			
ความสูงของปากบ่อ: จนถึงท่อสูบน้ำคอนกรีต 0.77 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบน้ำ :			- ม.			
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 353.40 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน บ่อสูบน้ำ : บ่อสังเกตการณ์: วันที่ : อังคารที่ 13 กุมภาพันธ์ 2550												
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T ( °C )	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
9:57	1		24.15	0.08								Pump 1.5 hrs.
9:58	2		24.17	0.10								บ่อคืนขึ้นมา 30.33 ม. (ทดสอบจากการลงเครื่องสูบน้ำ)
9:59	3		24.17	0.10								
10:00	4		24.18	0.11								
10:01	5		24.18	0.11								
10:06	10		24.19	0.12								
10:11	15		24.18	0.12								
10:16	20		24.19	0.12								
10:21	25		24.19	0.12								
10:51	30		24.19	0.12								
11:06	45		24.19	0.12								
11:11	60		24.19	0.12								
Pumping Stop												
11:14		1	24.06			0.01						
11:16		2	24.06			0.01						
11:19		3	24.06			0.01						

ตารางที่ ข-15 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PZ01

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา													
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนัด สรรพ์สมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์													
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบน้ำ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test													
หมายเลขบ่อสูบน้ำ PZ01						พิกัดกริด (E) : 746897							
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) : 1619756 (377.774 ม.รทก.)							
ที่ตั้งของบ่อ : หกก. เอเวอร์ทอฟ คอนกรีต													
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :			7.20			ลบ.ม./ชม.	
บ่อลึก : 60 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 45 ม.						ระดับน้ำปกติ :			24.15			ม.	
ความสูงของปากบ่อ : 0.75 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบน้ำ :			-			ม.	
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)													
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 353.62 ม.													
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร													
หน่วยหิน		บ่อสูบน้ำ :		บ่อสังเกตการณ์:		วันที่ : อังคารที่ 13 กุมภาพันธ์ 2550							
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )	
	Started t (min)	Stopped t' (min)											
6:57	0		24.15									Pump 1.5 hrs.	
6:58	1		24.20	0.05									
6:59	2		24.21	0.06									
7:00	3		24.21	0.06									
7:01	4		24.21	0.06									
7:02	5		24.21	0.06									
7:07	10		24.21	0.06									
7:12	15		24.22	0.07									
7:17	20		24.22	0.07									
7:22	25		24.22	0.07									
7:27	30		24.22	0.07									
7:32	45		24.22	0.07									
7:47	60		24.22	0.07									
pumping stop													
7:48		1	24.16			0.01							
7:49		2	24.16			0.01							
7:50		3	24.16			0.01							
7:51		4	24.16			0.01							
7:52		5	24.16			0.01							
8:02		10	24.16			0.01							

ตารางที่ ข-16 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PZ03

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสาชนันต์ สรรพ์สมบัติ น.ศ.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์												
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ PZ03						พิกัดกริด (E) : 746932						
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) : 1619715 (378.139 ม.รทก.)						
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : ๔ นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :		7.20		ลบ.ม./ชม.		
บ่อลึก : 48 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : ๐ ม.						ระดับน้ำปกติ :		24.54		ม.		
ความสูงของปากบ่อ : 0.49 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบน้ำ :		-		ม.		
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 353.60 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน			บ่อสูบ :			บ่อสังเกตการณ์:			วันที่ : จันทร์ที่ 12 กุมภาพันธ์ 2550			
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
12:28	0		24.54									Pump 1.5 hrs.
12:29	1		24.58	0.04								
12:30	2		24.58	0.04								
12:31	3		24.58	0.04								
12:32	4		24.58	0.04								
12:33	5		24.58	0.04								
12:39	10		24.58	0.04								
12:44	15		24.58	0.04								
12:49	20		24.58	0.04								
13:14	25		24.58	0.04								
13:44	30		24.58	0.04								
14:29	45		24.58	0.04								
13:14	60		24.58	0.04								
13:55	101		24.57	0.03								
14:03	192		24.57	0.03								
Pumping Stop												
14:05		1	24.54			0.00						
14:06		2	24.54			0.00						

ตารางที่ ข-17 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PZ04

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนัด ศรีรสสมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์												
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ PZ04						พิกัดกริด (E) :			746975			
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) :			1619715 (377.81 ม.รทก.)			
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : 6 นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :			7.20 ลบ.ม./ชม.			
บ่อลึก : 48 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 44.2ม.						ระดับน้ำปกติ :			24.25 ม.			
ความสูงของปากบ่อ : 0.46 ม.รทก.						ระยะห่างจากบ่อสูบน้ำ :			- ม.			
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 353.56 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน		บ่อสูบ :		บ่อสังเกตการณ์:		วันที่ : จันทร์ที่ 12 กุมภาพันธ์ 2550						
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
10:25	0		24.25									Pump 1.5 hrs.
10:26	1		24.27	0.02								
10:27	2		24.27	0.02								
10:28	3		24.27	0.02								
10:29	4		24.27	0.02								
10:03	5		24.27	0.02								
10:35	10		24.27	0.02								
10:04	15		24.28	0.03								
10:45	20		24.28	0.03								
10:50	25		24.29	0.04								
10:55	30		24.29	0.04								
11:10	45		24.27	0.02								* มีแรงดันอากาศจากการเจาะบ่อ pw01
11:25	60		24.30	0.05								
Pumping Stop												
11:27		1	24.27			0.02						
11:28		2	24.27			0.02						
11:29		3	24.27			0.02						
11:30		4	24.28			0.03						

ตารางที่ ข-18 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW03

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนด์ สรรพ์สมบัติ น.ศ.ศิริรัตน์ อุปลสิทธิ์												
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ MW03						พิกัดกริด (E) : 747001						
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (E) : 1619679 (379.083 ม.รทก.)						
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : 4 นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :		7.20		ลบ.ม./ชม.		
บ่อลึก : 40 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 35 ม.						ระดับน้ำปกติ :		23.24		ม.		
ความสูงของปากบ่อ: 0.36 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบ :		-		ม.		
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 355.84 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน			บ่อสูบ :			บ่อสังเกตการณ์:			วันที่ : พุธที่ 14 กุมภาพันธ์ 2550			
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
15:20	0		23.24									Pump 1.5 hrs.
15:21	1		-									
15:22	2		25.54	2.30								
15:23	3		25.59	2.35								
15:24	4		25.60	2.36								
15:25	5		25.67	2.43								
15:30	10		25.73	2.49								
15:35	15		25.75	2.51								
15:40	20		25.77	2.53								
15:45	25		25.78	2.54								
15:50	30		25.78	2.54								
16:00	40		25.79	2.55								
16:10	50		25.80	2.56								
16:20	60		25.80	2.56								
Pumping Stop												

ตารางที่ ข-18 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW03 (ต่อ)

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนต์ สรรพ์สมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปลสิทธิ์												
การสูบน้ำทดสอบ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ :						พิกัดกริด (E) :						
หมายเลขบ่อ : PZ01, PZ02, PZ03, PZ04, PW01, PZ04						พิกัดกริด (E) :						
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ : - ลบ.ม./ชม.						
บ่อลึก : 40 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 35 ม.						ระดับน้ำปกติ : 24.02, 23.74, 24.59, 23.74, 24.10, 24.29 ม.						
ความสูงของปากบ่อ :						ระยะห่างจากบ่อสูบน้ำ 71, 74, 117, 74, 88, 130 ม.						
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: ม.												
<input type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง : ลิตร												
หน่วยหิน บ่อสูบ : บ่อสังเกตการณ์: วันที่ : พุธที่ 14 กุมภาพันธ์ 2550												
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
<i>After Pumping Stop of Well MW03</i>												
16:44	PZ01	24	24.22		0.20							
16:45	PZ02	25	24.24		0.50							
16:47	PZ03	27	24.26		0.33							
16:50	PZ02	30	23.70		-0.04							
16:54	PW01	34	24.12		0.02							
16:56	PZ04	36	24.31		0.02							



ตารางที่ ข-19 ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW01

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนต์ สรรพสมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปลิทธิ												
การสูบน้ำทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ MW01						พิกัดกริด (E) :			746911			
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) :			1619739 (378.199 ม.รทก.)			
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : ๔ นิ้ว						อัตราการสูบน้ำ :			7.20 ลบ.ม./ชม.			
บ่อลึก : 40 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 35 ม.						ระดับน้ำปกติ :			25.41 ม.			
ความสูงของปากบ่อ : 0.14 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบ :			- ม.			
เครื่องวัดอัตราการสูบน้ำ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 352.79 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน บ่อสูบ : บ่อสังเกตการณ์: วันที่: พุธที่ 15 กุมภาพันธ์ 2550												
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
9:43	0		25.41									Pump 1.5 hrs.
9:44	1		25.44	0.03								
9:45	2		25.44	0.03								
9:46	3		25.44	0.03								
9:47	4		25.44	0.03								
9:48	5		25.44	0.03								
9:53	10		25.445	0.025								
9:58	15		25.45	0.04								
10:03	20		25.45	0.04								
10:08	25		25.45	0.04								
10:13	30		25.45	0.04								
10:23	40		25.45	0.04								
10:33	50		25.45	0.04								
10:43	60		25.45	0.04								
Pumping Stop												
10:45		1.00	25.56			0.01						
10:46		2.00	25.56			0.01						
10:47		3.00	25.56			0.01						
10:48		4.00	25.56			0.01						
10:49		5.00	25.56			0.01						

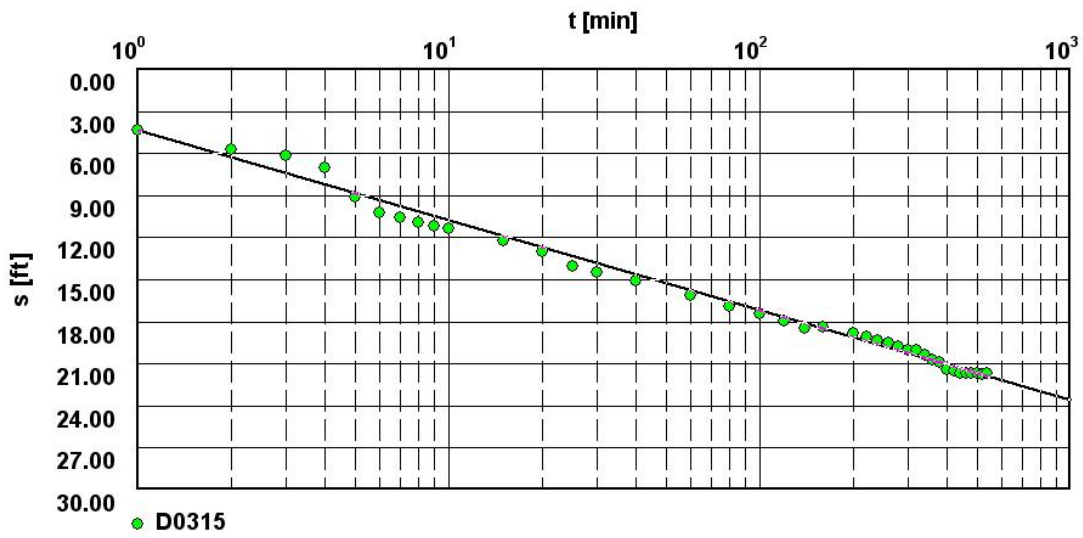
ตารางที่ ข-19 ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อ MW01 (ต่อ)

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสายชนัด สรรพ์สมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์												
การสุบทดสอบ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ: พิกัดกริด (E,N):												
หมายเลขบ่อ: PZ04, PZ03, PZ02, PW01, PW02, PZ04, PZ01, MW02 พิกัดกริด (E,N):												
ที่ตั้งของบ่อ: หจก. เอเวอร์ทไฟ คอนกรีต												
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ: นิ้ว อัตราการสูบน้ำ: - ลบ.ม./ชม.												
บ่อลึก: ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ: ระดับน้ำปกติ: 24.29, 24.59, 23.74, 24.10, 24.48, 24.29, 24.02, 24.40 ม.												
ความสูงของปากบ่อ: ม.รทก. ระยะห่างจากบ่อสูบ: 62, 79, 113, 102, 105, 62, 130, 109 ม.												
เครื่องวัดอัตราการสูบ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice: Size of Orifice: Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: ม.												
<input type="checkbox"/> ถัง: ขนาดของถัง: ลิตร												
หน่วยหิน บ่อสูบ: บ่อสังเกตการณ์: วันที่: พฤหัสบดีที่ 15 กุมภาพันธ์ 2550												
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
Water Level (m)												
			PZ04	PZ03	PZ02	PW01	PW02	PZ04	PZ01			
9:43	0		24.33	24.64	23.72	24.14	24.24	24.23	24.41			
9:44	1		-	-	-	-	-	-	-			
9:45	2		24.33	-	-	-	-	-	-			
9:46	3		-	-	-	-	-	-	-			
9:47	4		-	-	-	24.15	-	-	-			
9:48	5		-	-	23.72	-	24.24	24.23				
9:53	10		-	-	-	-	-	-	24.41			
9:58	15		-	-	-	-	-	-	-			
10:03	20		-	-	-	-	-	-	-			
10:08	25		-	-	-	-	-	-	-			
10:13	30		24.33	24.64	23.72	24.15	24.24	24.23	24.41			
10:23	40		-	-	-	-	-	-	-			
10:33	50		-	-	-	-	-	-	-			
10:43	60		-	-	-	-	-	-	-			
Pumping Stop												

### ตารางที่ ข-20 ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อ W02

โครงการศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา												
ผู้ดำเนินการ: นายสว่าง อ่อนทุม นายสาชนันต์ สรรพสมบัติ น.ส.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์												
การสูบทดสอบ <input type="checkbox"/> บ่อสังเกตการณ์ <input checked="" type="checkbox"/> บ่อสูบ <input type="checkbox"/> Step Draw Down Test <input type="checkbox"/> Constant Discharge Pumping Test												
หมายเลขบ่อสูบ MW02						พิกัดกริด (E) : 746911						
หมายเลขบ่อ :						พิกัดกริด (N) : 1619739 (378.199 ม.รทก.)						
ที่ตั้งของบ่อ : หจก. เอเวอร์ทรีฟ คอนกรีต						อัตราสูบน้ำ : - ลบ.ม./ชม.						
เส้นผ่านศูนย์กลางบ่อ : นิ้ว						ระดับน้ำปกติ : 24.40 ม.						
บ่อลึก : 48 ม. ความลึกที่วางเครื่องสูบน้ำ : 35 ม.						ระยะห่างจากบ่อสูบ : - ม.						
ความสูงของปากบ่อ : 0.28 ม.												
เครื่องวัดอัตราการสูบ (Discharge Measurement)												
<input type="checkbox"/> Orifice : Size of Orifice : Size of Discharge Pipe: นิ้ว Head: 353.80 ม.												
<input checked="" type="checkbox"/> ถัง : ขนาดของถัง: 20 ลิตร												
หน่วยหิน บ่อสูบ : บ่อสังเกตการณ์: วันที่ : พุธ ที่ 14 กุมภาพันธ์ 2550												
Time	Time since pumping		Water level (m)	Drawdown s (m)	Residual drawdown s' (m)	Recovery (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS mg/l	pH	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Remarks water meter (m <sup>3</sup> )
	Started t (min)	Stopped t' (min)										
After Pumping Stop of Well MW02, 4 min.												
13:20:00		0.00	38.54			14.14						Pump 1.5 hrs
13:20:30		0.30	34.18			9.78						Slug Test
13:21:00		1.00	30.72			6.32						
13:21:30		1.30	29.05			4.65						
13:22:00		2.00	27.64			3.24						
13:22:30		2.30	27.07			2.67						
13:23:00		3.00	26.40			2.00						
13:23:30		3.30	25.84			1.44						
13:24:00		4.00	24.42			0.02						
13:24:30		4.30	25.09			0.69						
13:25:00		5.00	24.95			0.55						
13:26:00		6.00	24.75			0.35						
13:27:00		7.00	24.71			0.31						
13:28:00		8.00	24.68			0.28						
13:29:00		9.00	24.66			0.26						
13:30:00		10.00	24.65			0.25						
13:31:00		11.00	24.64			0.24						
13:32:00		12.00	24.64			0.24						
13:33:00		13.00	24.64			0.24						
13:34:00		14.00	24.645			0.25						
13:35:00		15.00	24.645			0.25						
13:36:00		16.00	24.645			0.25						
13:37:00		17.00	24.645			0.25						
13:38:00		18.00	24.645			0.25						
13:39:00		19.00	24.645			0.25						
13:40:00		20.00	24.645			0.25						
13:45:00		25.00	24.645			0.25						
13:50:00		30.00	24.645			0.25						
13:55:00		35.00	24.645			0.25						
14:00:00		40.00	24.645			0.25						
14:05:00		45.00	24.645			0.25						
14:10:00		50.00	24.645			0.25						
14:15:00		55.00	24.645			0.25						
14:20:00		60.00	24.640			0.24						
15:20:00		120.00	24.640			0.24						

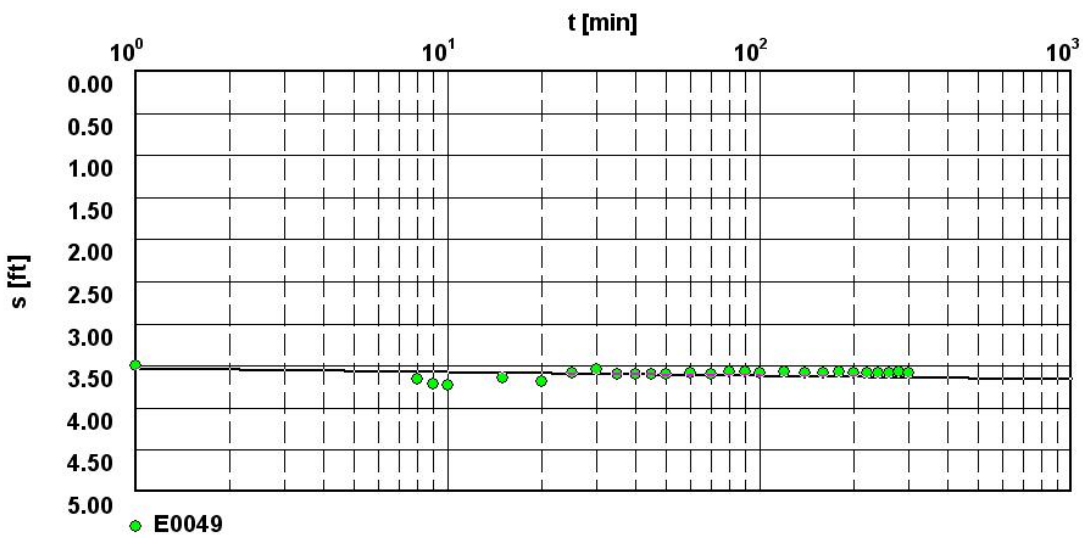
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $8.87 \times 10^{-2}$  ft<sup>2</sup>/min,  $1.37 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ D0315

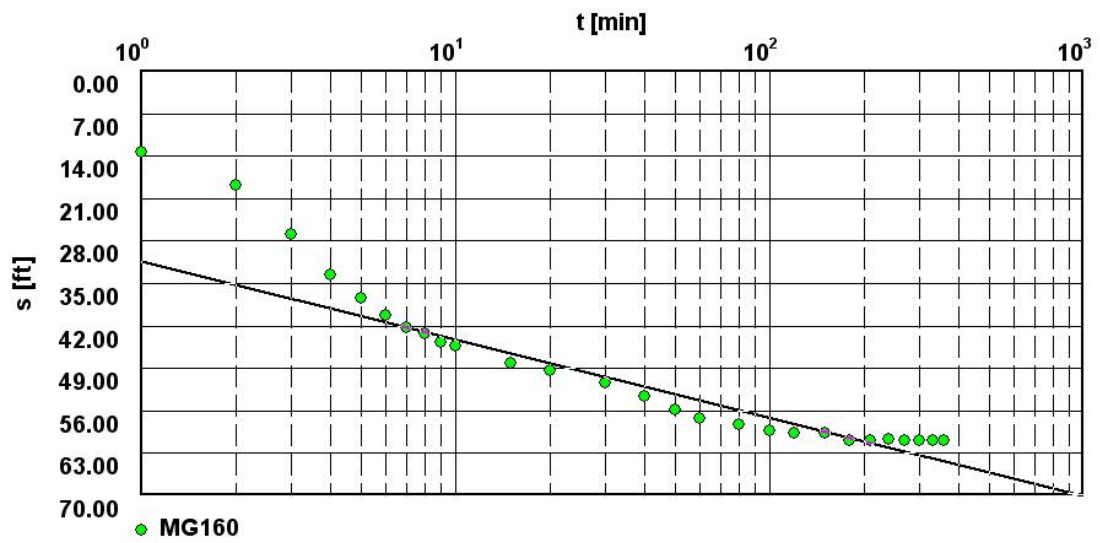
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $2.29 \times 10^{-1}$  ft<sup>2</sup>/min,  $3.55 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s

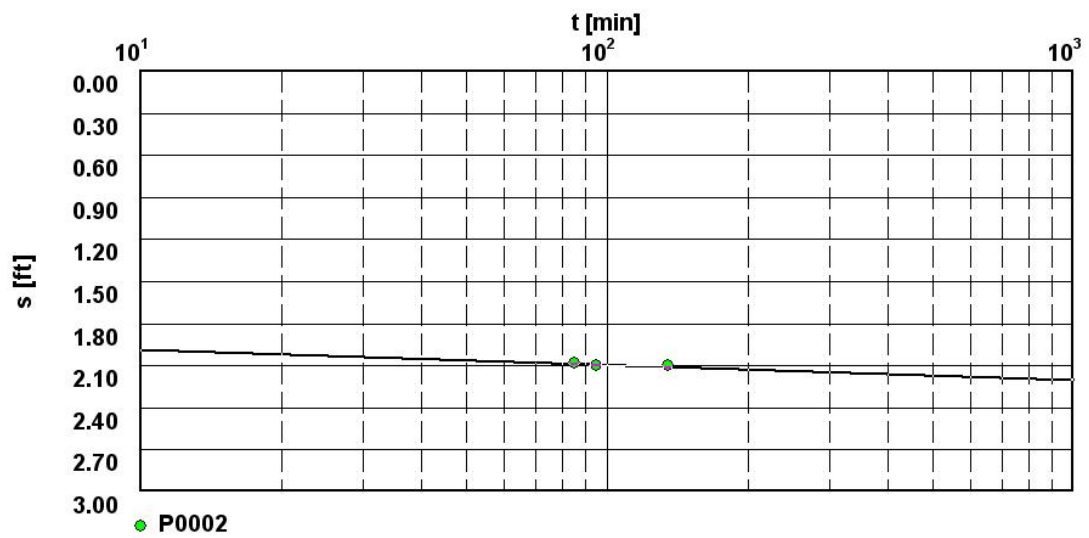
รูปที่ ข-2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ E0049

**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



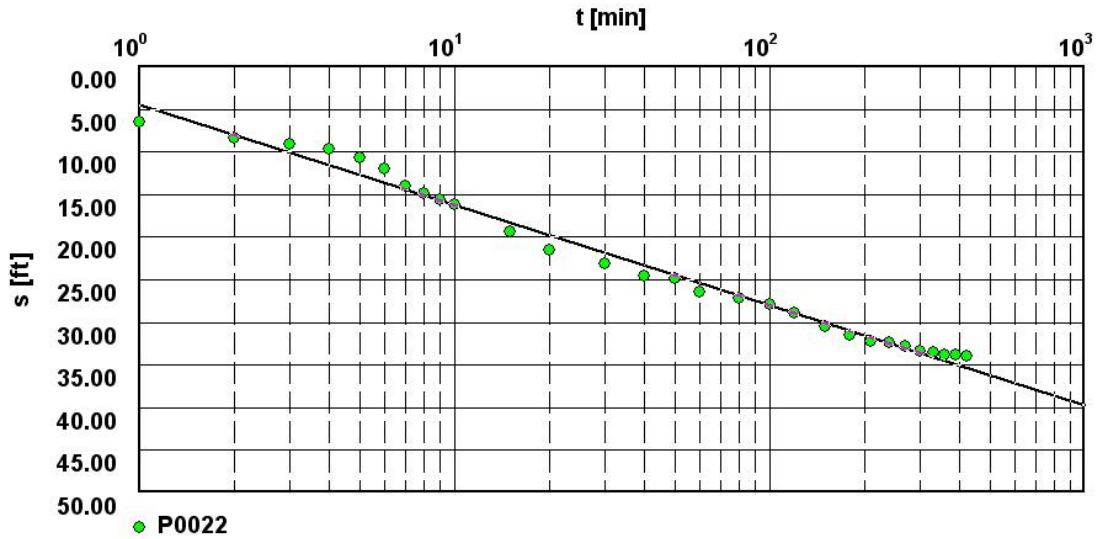
รูปที่ ข-3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MG0160

**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



รูปที่ ข-4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0002

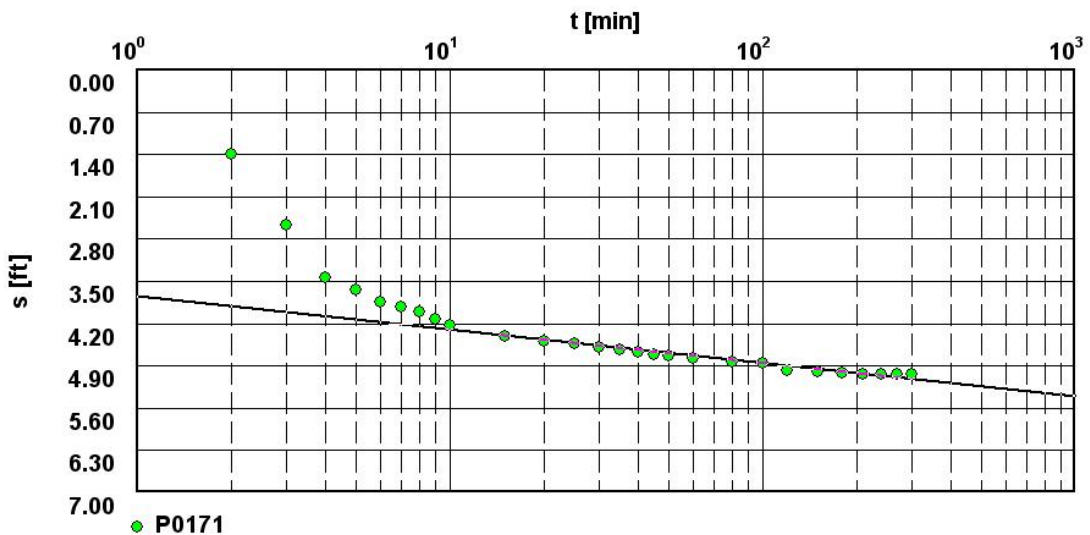
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $5.07 \times 10^{-2}$  ft<sup>2</sup>/min,  $7.85 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0022

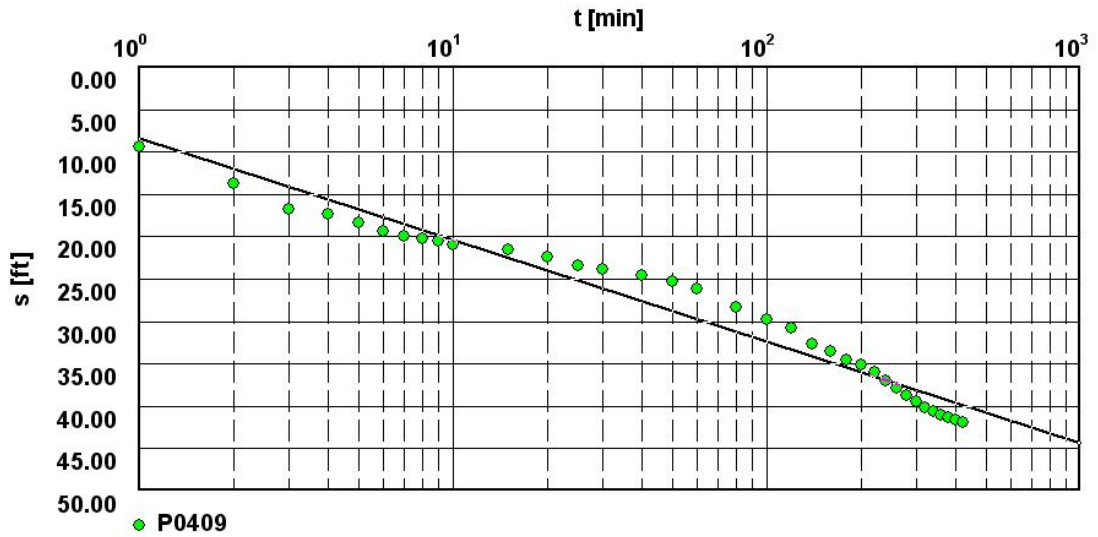
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $1.32 \times 10^1$  ft<sup>2</sup>/min,  $2.04 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0171

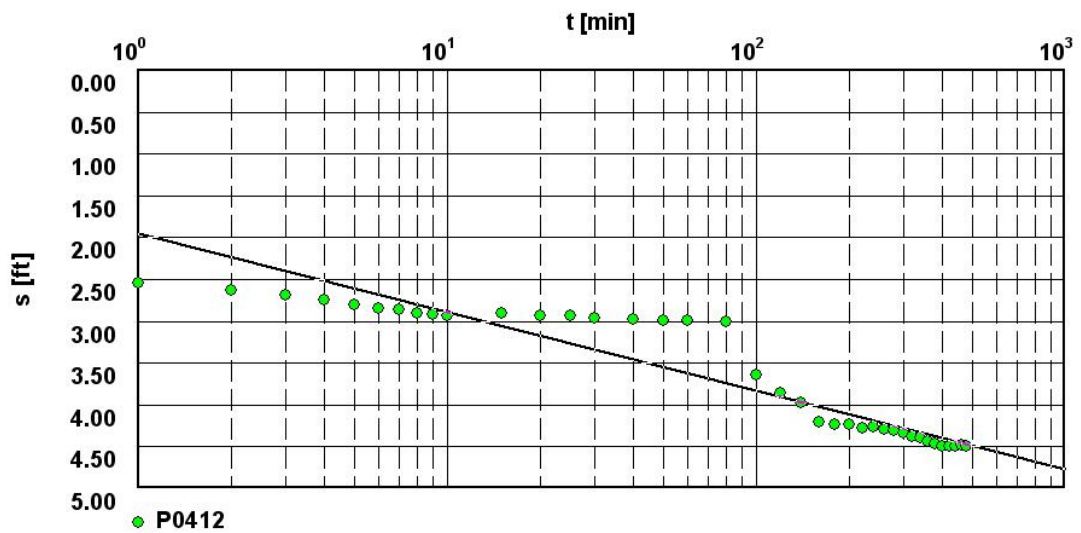
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $6.48 \times 10^{-2}$  ft<sup>2</sup>/min,  $1.00 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0409

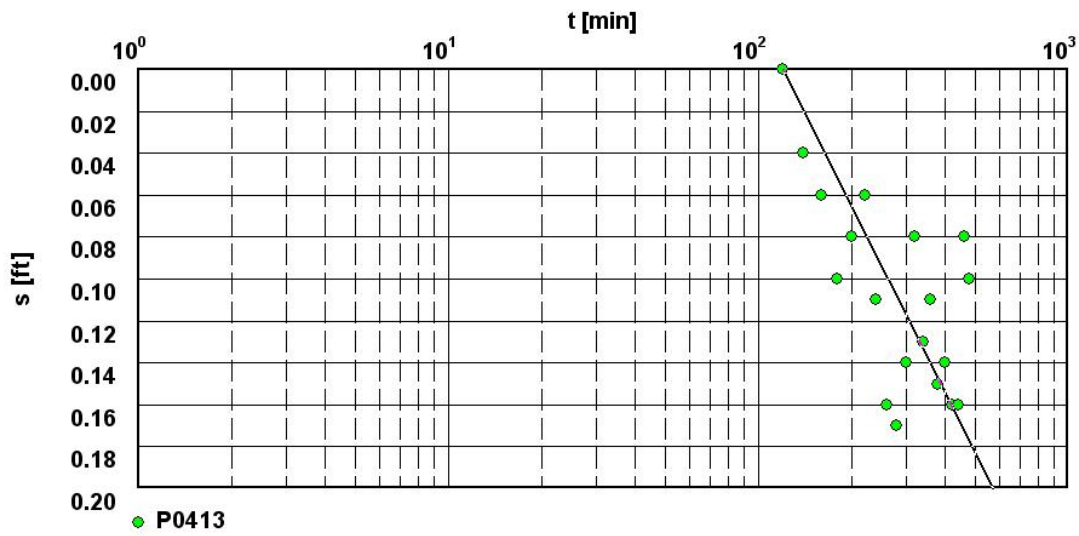
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $3.59 \times 10^0$  ft<sup>2</sup>/min,  $5.56 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0412

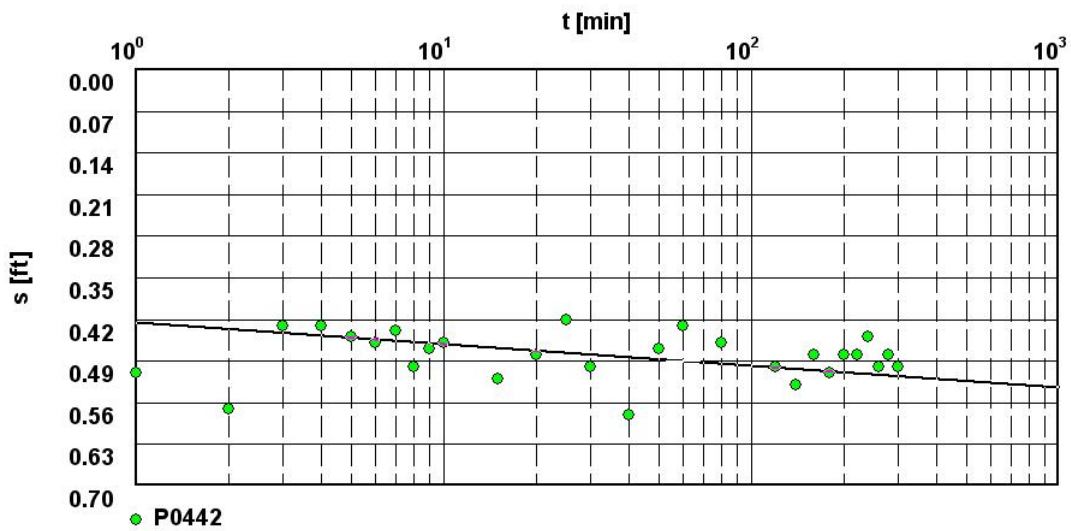
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $2.41 \times 10^0$  ft<sup>2</sup>/min,  $3.73 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-9 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อ P0413

**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**

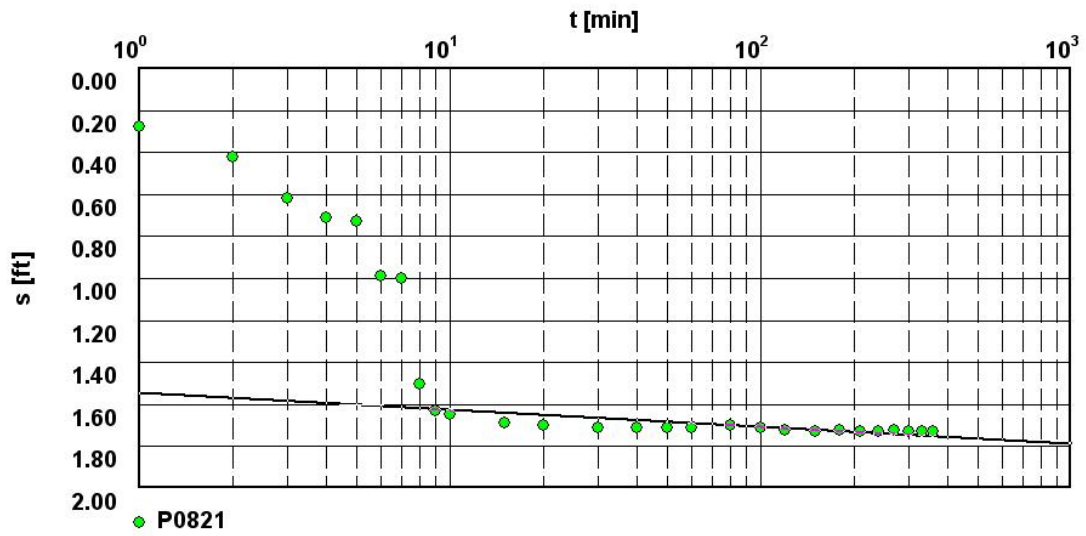


Transmissivity :  $1.39 \times 10^1$  ft<sup>2</sup>/min,  $2.15 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ข-10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อ P0442



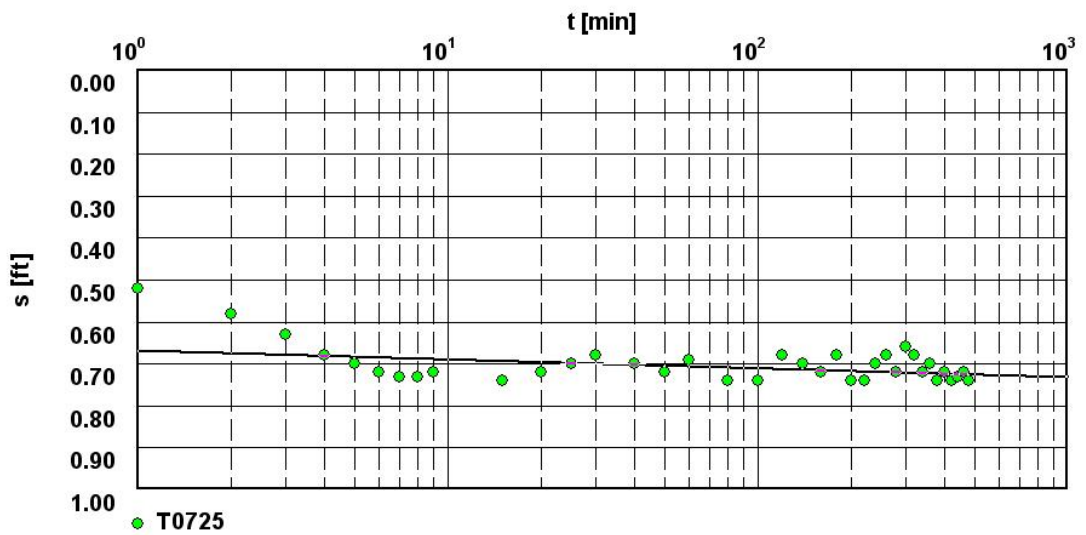
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $1.94 \times 10^1$  ft<sup>2</sup>/min,  $3.00 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ๑-11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0821

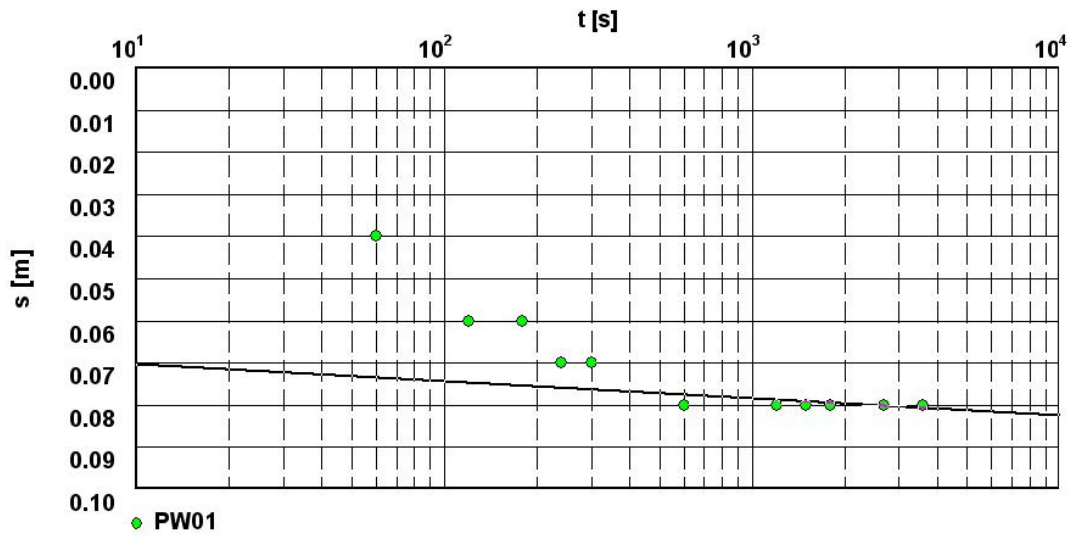
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $7.49 \times 10^1$  ft<sup>2</sup>/min,  $1.16 \times 10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s

รูปที่ ๑-12 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ P0275

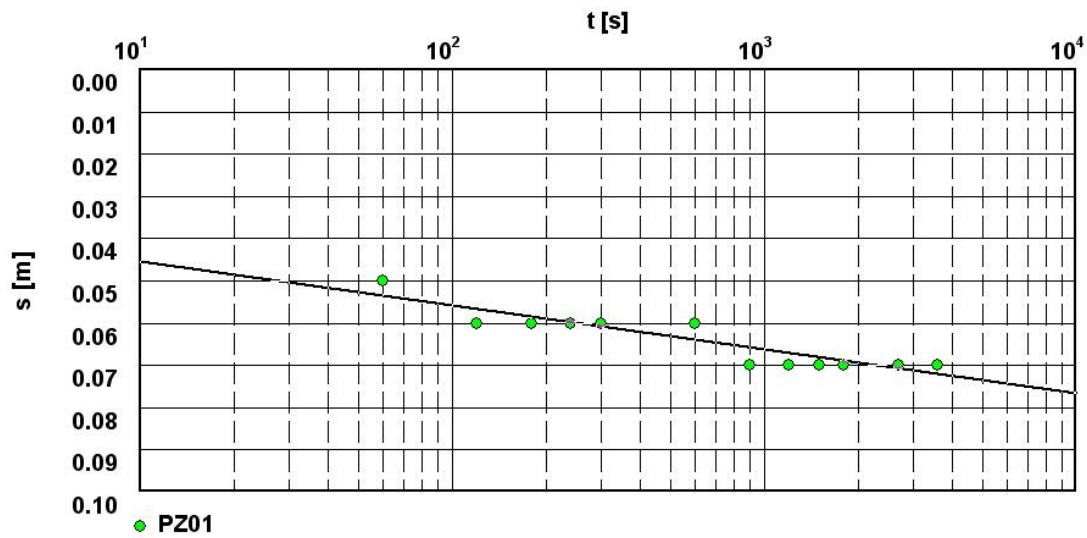
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $8.99 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ๑-13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PW01

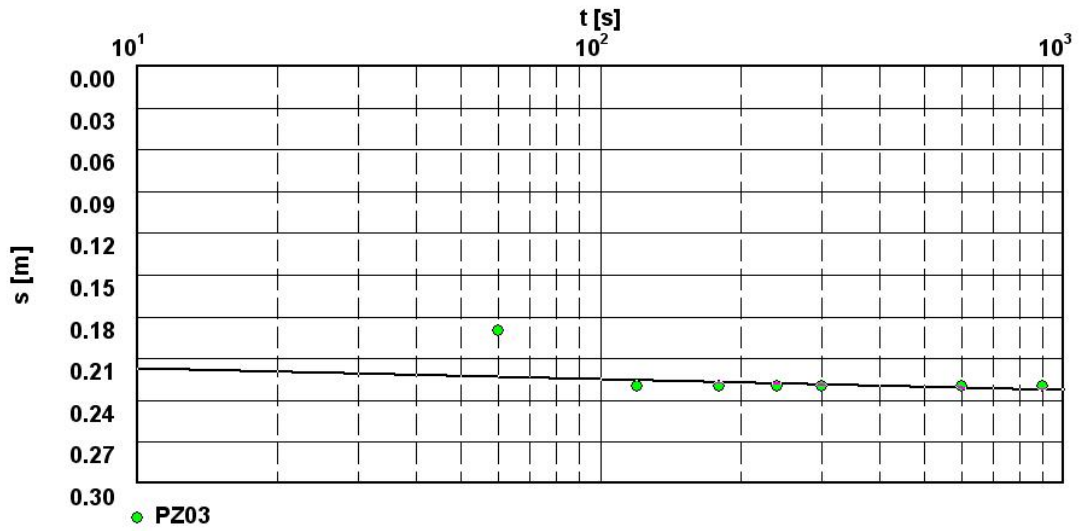
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $3.53 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ๑-14 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ PZ01

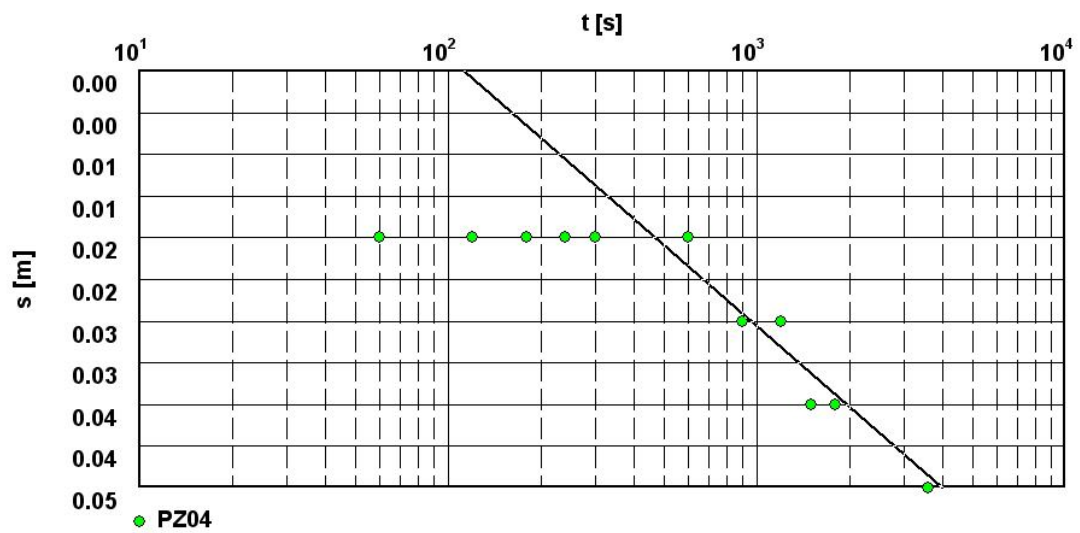
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $4.81 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ข-15 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อ PZ03

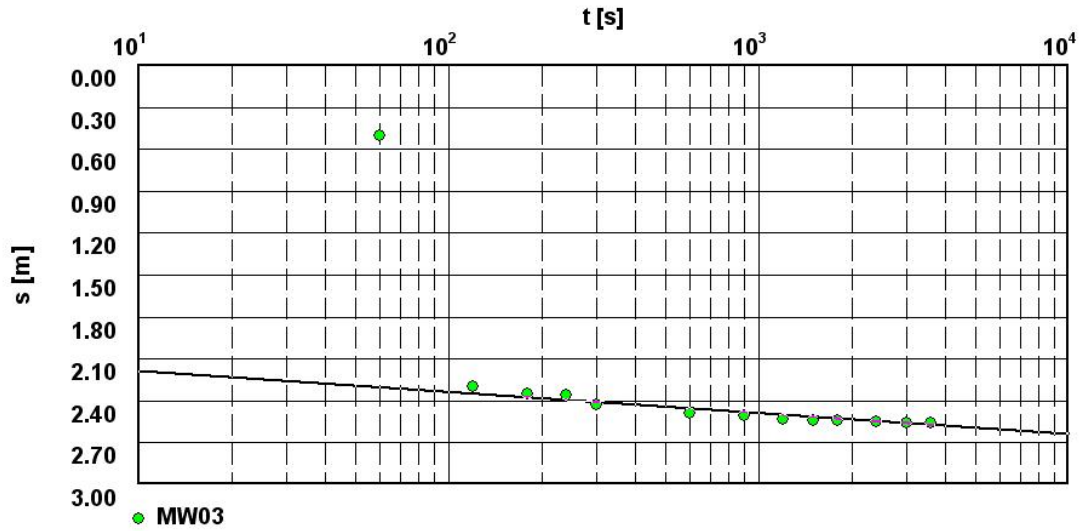
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $1.13 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ข-16 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อ PZ04

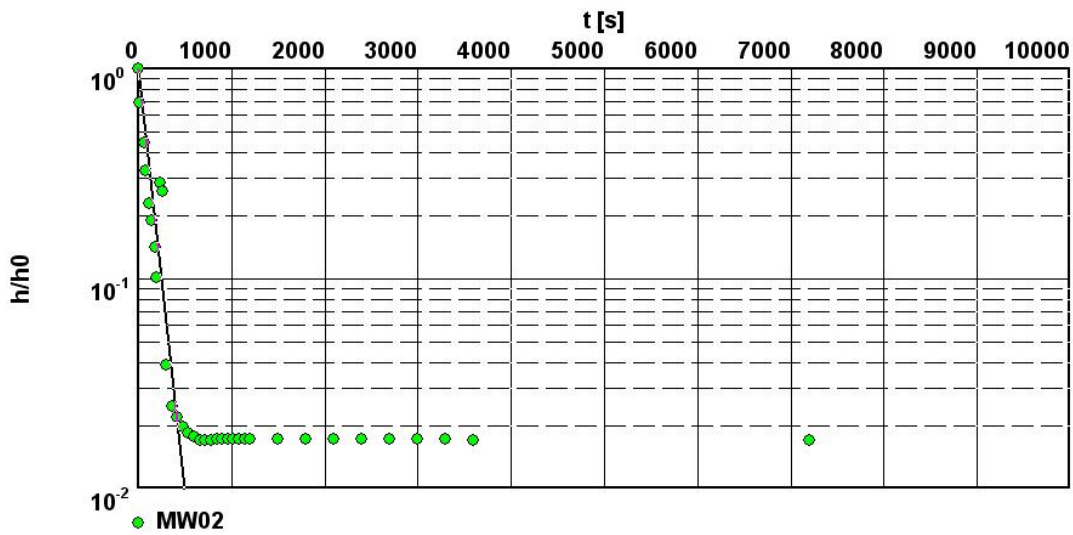
**Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer**



Transmissivity :  $2.40 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ข-17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW03

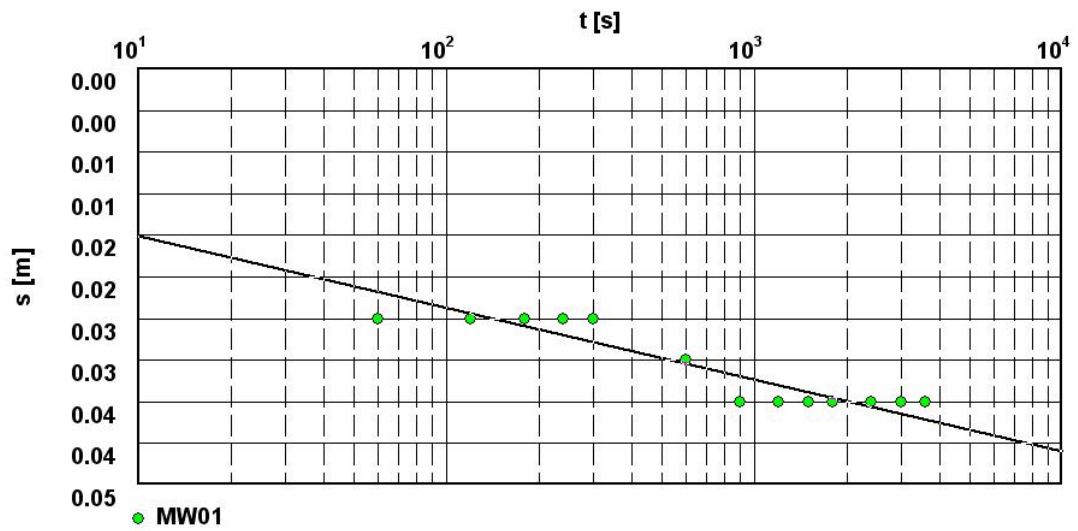
**slug/bail test analysis - HVORSLEV's method**



Hydraulic conductivity :  $3.19 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

รูปที่ ข-18 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW02

Analysis after COOPER & JACOB I - Confined aquifer



Transmissivity :  $4.25 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

รูปที่ ข-19 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบบ่อ MW01

## ภาคผนวก ค

### กิจกรรมการเจาะบ่อบำบัดน้ำเสียและการหยั่งธรณีฟิสิกส์



(ก) เครื่องเจาะน้ำบาดาลและเครื่องอัดลม



(ข) หัวเจาะแบบกดกระแทก (DHH)  
ขนาด 6 นิ้ว



(ค) ช่วงการเจาะที่เป็นหินแข็งไม่มีน้ำ



(ง) การเก็บตัวอย่างหินจากการเจาะ



(จ) ช่วงการเจาะที่พบความชื้นในหิน



(ฉ) ช่วงการเจาะที่พบน้ำบาดาลในรอยแตกของหิน

### รูปที่ ค-1 กิจกรรมการเจาะและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์



(ก) การติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อทำ slug test



(ข) submersible pump ที่ใช้สูบน้ำทดสอบแบบ slug test



(ค) อุปกรณ์ที่ใช้สูบน้ำทดสอบ



(ง) การวัดระดับน้ำขณะดำเนินการสูบน้ำทดสอบแบบ slug test



(จ) การวัดปริมาณการสูบน้ำจากการสูบน้ำทดสอบ



(ฉ) การทำความสะอาดอุปกรณ์ภายหลังการสูบน้ำทดสอบ

## รูปที่ ค-2 กิจกรรมการสูบน้ำทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ





(ก) การวัดระดับน้ำจากบ่อประปาบาดาลหมู่บ้าน



(ข) การวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์  
ในพื้นที่ทิ้งสารเคมี (PZ03)



(ค) การวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม

รูปที่ ค-3 กิจกรรมการติดตามตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น

ภาคผนวก ง  
ข้อมูลชั้นดินชั้นหิน

Well no.: A59NR3  
 Location: Ban Klang Dong Police Station, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima,  
 Km 148.80 Friendship High way.  
 Grid. Ref. :  
 Elevation:  
 Depth: 75.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	19.20	Marble	Grayish orange, massive, very hard, with veinlettes of calcite and calcite crystals in places.
19.20	75.00	Sandstone	Yellowish grey to darkgrey, fine grained, angular to subangular, partially silty, rarely micaceous, non calcareous, mostly metamorphosed, compacted, fissile, with alternating layers of carbonaceous slate.

Well no.: E51NR5  
 Location: Pak Chong, Nakhon Ratchasima, Km 150.80 Friendship High way.  
 Grid. Ref. :  
 Elevation:  
 Depth: 18.90 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	3.00	Soil	Reddish orange, sandy, oxidized, with laterite.
3.00	6.60	Laterite	Yellowish brown to reddish brown, ferruginous, loosely compact, with sands.
6.60	15.00	Fill- Deposit	White to pale yellowish grey, formation derived from decomposition of limestone and transported fragments of quartz from quartz vein, with some ferromagnesian minerals which is associated with the vein, the fragments ranged from sand size to pebble size.
15.00	18.90	Limestone	Light grey to dark grey, crystalline calcite veinlettes in places.

Well no.: G31NR3  
 Location: Plantation Headquarters, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, 100 m N of Km 150.20 Friendship High way.  
 Grid. Ref. :  
 Elevation:  
 Depth: 115.50 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	4.80	Marble	White and light brown, massive, medium hard, with some ferromagnesian minerals at the upper part.
4.80	21.00	Marl	Yellowish grey to greyish orange, very loose, partially limonitic, may be formed by solution channelling, with some white clay spots and marble fragments.
21.00	34.80	Marble	Yellowish orange to light brown, loose, clayey and oxidized in places, with calcite, phyllite and slate fragments.
34.80	115.50	Slate	Dark grey, slaty cleavage, compact, indurated, with calcite veinlettes.

Well no.: N406NR1  
 Location: Ban Klang Dong Sanitary, Mu Thi 6, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, km 155.00, Friendship Highway  
 Grid. Ref. :  
 Elevation:  
 Depth: 21.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	3.00	Sand	Brown to yellow, clayey, fine to medium sand, angular to subangular, clay compacted, composed of limestone fragments and some quartz.
3.00	18.00	Gravel	Yellow to cream, sandy, clayey, limonitic at the upper parts, angular to subangular, 2-4 mm insizes, moerately to poorly sorted, composed of limestone fragments.
18.00	21.00	Sand	Same as 0.00-3.00 m.

Well no.: N407NR2

Location: Ban Prang Sok Agricultural Group, Mu Thi 1, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, 50 m W of km 161.00, Friendship Highway

Grid. Ref. :

Elevation:

Depth: 36.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	28.50	Shale	Light brownish gray, brittle, compacted, moderately hard, fissility shown.
28.50	36.00	Shale	Same as 0.00-28.50 m but color changes to dark grey with carbonaceous matters.

Well no.: P2NR2

Location: Pak Chong, Nakhon Ratchasima, Km 155

Grid. Ref. : 748660E1620110N

Elevation:

Depth: 61.80 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	3.00	Soil	Dark reddish brown.
3.00	9.00	Calcite	
9.00	61.80	Limestone	Dark grey.

Well no.: P22NR19

Location: Wat Ban Pang Asok, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, 300 m NW of Km 155 Friendship Highway.

Grid. Ref. : 748200E 1621200N

Elevation:

Depth: 45.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	3.00	Clay	Greyish orange to moderate yellowish brown, lateritic, with some slate fragments.

3.00	31.50	Slate	Greyish orange pink to pale orange, predominated slaty cleavage, very compacted, very indurated, slightly decomposed, at 3.00-4.50 m.
31.50	45.00	Slate	Bluish gray to grayish black, predominated slaty cleavage, very compacted, very indurated.

Well no.: P258NR134

Location: Klang Dong Sanitary Area, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima

Grid. Ref. :

Elevation:

Depth: 42.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	3.00	Clay	Brown, lateritic, oxidized, partially compacted.
3.00	42.00	Clay	Grayish yellow, silty, lateritic, with some gravel in places, slightly plastic, partially compacted.

Well no.: P442NR258

Location: Ban Bun Ban Dan Public Area, Mu Thi 1, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, 2.5 km South of km 149, Saraburi-Nakhon Ratchasima Highway

Grid. Ref. : 746600E1618750N

Elevation:

Depth: 49.50 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	18.00	Clay	Reddish brown to orangish brown, silty, some laterite, non plastic, compacted (terra-rasa).
18.00	49.50	Limestone	Grey to dark grey, massive numerous calcite veinlets, karstic feature presented from 18.00-24.00, hard.

Well no.: T726NR26  
 Location: Ban Bun Ban Dan, Mu Thi 12, Klang Dong, Pak Chong, Nakhon Ratchasima  
 Grid. Ref. :  
 Elevation:  
 Depth: 45.00 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0.00	18.00	Shale	Reddish brown, peppy, brittle, feasility, highly weathered.
18.00	31.50	Limestone	Dark grey, moderately hard, calcite veinlets presented.
31.50	45.00	Limestone/ Shale	Dark grey, and reddish brown, moderately hard, moderately to high weathered.

Well no.: MW01  
 Location: หจก. เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต ม.1 บ.ปางอโศก ต.กลางดง อ.ปากช่อง  
 Grid. Ref. : 747001E1619679N  
 Elevation: 379 ม. รทก.  
 Depth: 40 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0	1.5	ดินเหนียวปนทราย	สีแดง
1.5	6	ดินเหนียว	สีน้ำตาล
6	12	หินปูน	
12	13.5	ดินเหนียว	สีเหลือง
13.5	37.5	หินปูน	
37.5	40	-	ช่วงชั้นน้ำ

อ้างอิง: ตามหนังสือกรมทรัพยากรธรณี ที่ ทส 0502/979 ลงวันที่ 21 ต.ค. 2547

Well no.: MW02  
 Location: หจก. เอเวอร์ทรีฟ คอนกรีต ม.1 บ.ปางอโศก ต.กลางดง อ.ปากช่อง  
 Grid. Ref. : 746911E1619739N  
 Elevation: 378 ม.รทก.  
 Depth: 48 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0	1.5	ดินเหนียวปนทราย	สีแดง
1.5	6	ดินเหนียว	สีน้ำตาล
6	48	หินปูน	

อ้างอิง: ตามหนังสือกรมทรัพยากรธรณี ที่ ทส 0502/979 ลงวันที่ 21 ต.ค. 2547

Well no.: MW03  
 Location: หจก. เอเวอร์ทรีฟ คอนกรีต ม.1 บ.ปางอโศก ต.กลางดง อ.ปากช่อง  
 Grid. Ref. : 746888E 1619824N  
 Elevation: 377 ม.รทก.  
 Depth: 40 ม.

Top (m)	Base (m)	Key Word	Description
0	1.5	ดินเหนียวปนทราย	สีแดง
1.5	6	ดินเหนียว	สีน้ำตาล
6	39	หินปูน	

อ้างอิง: ตามหนังสือกรมทรัพยากรธรณี ที่ ทส 0502/979 ลงวันที่ 21 ต.ค. 2547



## ภาคผนวก จ

### ข้อมูลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

**ตารางที่ จ-1** แนวสำรวจ L1 ระยะ 750 ม. แบบ Dipole- Dipole

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 28th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1**

**Length: 750 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 50 meters**

St	A	B	M	N	V	I	R
	1	2	3	4	1.209	5.001	0.2418
	1	2	4	5	0.268	5.001	0.0536
	1	2	5	6	2.781	5.001	0.5562
	1	2	6	7	0.316	5.001	0.0632
	1	2	7	8	0.053	5.000	0.0106
	1	2	8	9	0.047	5.001	0.0095
	1	2	9	10	0.018	5.001	0.0036
	1	2	10	11	0.029	5.000	0.0058
	1	2	11	12	0.051	5.001	0.0103
	2	3	4	5	0.183	4.990	0.0366
	2	3	5	6	0.135	4.999	0.0270
	2	3	6	7	0.051	4.999	0.0102
	2	3	7	8	0.036	4.999	0.0073
	2	3	8	9	0.025	5.001	0.0051
	2	3	9	10	0.068	5.001	0.0136
	2	3	10	11	0.028	5.001	0.0059
	2	3	11	12	0.057	5.001	0.0115
	2	3	12	13	0.027	5.001	0.0055
	3	4	5	6	0.239	4.999	0.0478
	3	4	6	7	0.069	4.999	0.0139
	3	4	7	8	0.035	4.999	0.0070
	3	4	8	9	0.108	4.999	0.0217
	3	4	9	10	0.196	4.998	0.0393
	3	4	10	11	0.061	4.999	0.0123
	3	4	11	12	0.033	4.999	0.0066
	3	4	12	13	0.018	4.998	0.0037
	3	4	13	14	0.020	4.999	0.0040
	4	5	6	7	1.487	4.998	0.2976
	4	5	7	8	0.522	4.998	0.1045
	4	5	8	9	0.181	4.998	0.0362
	4	5	9	10	1.686	4.997	0.3375
	4	5	10	11	0.188	4.997	0.0377
	4	5	11	12	0.927	4.999	0.1854

**ตารางที่ จ-1** แนวสำรวจ L1 ระยะ 750 ม. แบบ Dipole- Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 28th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1**

**Length: 750 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 50 meters**

St	A	B	M	N	V	I	R
	4	5	12	13	0.084	4.999	0.0169
	4	5	13	14	0.078	4.998	0.0156
	4	5	14	15	0.032	4.998	0.0065
	5	6	7	8	0.942	4.970	0.1895
	5	6	8	9	0.511	4.998	0.1023
	5	6	9	10	0.023	4.998	0.0046
	5	6	10	11	0.191	4.998	0.0383
	5	6	11	12	0.139	4.998	0.0278
	5	6	12	13	0.055	9.998	0.0110
	5	6	13	14	0.075	4.998	0.0151
	5	6	14	15	0.188	4.998	0.0377
	5	6	15	16	0.033	4.998	0.0066
	6	7	8	9	1.109	4.998	0.2219
	6	7	9	10	0.352	4.998	0.0705
	6	7	10	11	0.250	4.998	0.5000
	6	7	11	12	0.134	4.998	0.0269
	6	7	12	13	0.085	4.998	0.0170
	6	7	13	14	0.087	4.998	0.0175
	6	7	14	15	0.229	4.998	0.0459
	6	7	15	16	0.036	4.998	0.0072
	7	8	9	10	2.172	4.998	0.4346
	7	8	10	11	1.075	4.998	0.2150
	7	8	11	12	0.460	4.998	0.0920
	7	8	12	13	0.260	4.998	0.0521
	7	8	13	14	0.216	4.998	0.0433
	7	8	14	15	0.182	4.998	0.0364
	7	8	15	16	0.090	4.998	0.0181
	8	9	10	11	2.604	4.999	0.5208
	8	9	11	12	0.818	4.999	0.1637
	8	9	12	13	0.400	4.998	0.0802
	8	9	13	14	0.212	4.998	0.0424
	8	9	14	15	0.174	4.998	0.0349
	8	9	15	16	0.092	4.998	0.0184

**ตารางที่ จ-1** แนวสำรวจ L1 ระยะ 750 ม. แบบ Dipole- Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 28th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 750 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 50 meters**

St	A	B	M	N	V	I	R
	9	10	11	12	596.600	4.999	119.3300
	9	10	12	13	60.480	4.999	12.0970
	9	10	13	14	3.469	4.999	0.6939
	9	10	14	15	1.311	4.999	0.2622
	9	10	15	16	0.304	4.999	0.0608
	10	11	12	13	1.628	4.999	0.3257
	10	11	13	14	0.947	4.999	0.1895
	10	11	14	15	0.497	4.999	0.0995
	10	11	15	16	0.195	4.999	0.0390
	11	12	13	14	2.351	4.999	0.4703
	11	12	14	15	0.891	5.000	0.1783
	11	12	15	16	0.304	4.999	0.0608
	12	13	14	15	2.186	5.000	0.4372
	12	13	15	16	0.570	4.999	0.1140
	13	14	15	16	1.516	4.999	0.3033

**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
a=10	1	2	3	4	7.112	5.001	1.4220
	2	3	4	5	5.430	5.000	1.0858
	3	4	5	6	6.880	5.001	1.3759
	4	5	6	7	6.287	5.000	1.2572
	5	6	7	8	6.825	5.000	1.3650
	6	7	8	9	7.538	5.000	1.5073
	7	8	9	10	5.307	5.000	1.0612
	8	9	10	11	7.486	5.000	1.4973
	9	10	11	12	7.693	5.000	1.5385
	10	11	12	13	8.851	5.000	1.7701
	11	12	13	14	9.227	5.000	1.8454
	12	13	14	15	9.564	4.999	1.9128
	13	14	15	16	9.856	4.999	1.9713
	14	15	16	17	8.367	5.000	1.6734
	15	16	17	18	11.030	5.000	2.2063
	16	17	18	19	9.009	5.000	1.8019
	17	18	19	20	12.300	5.000	2.4613
	18	19	20	21	9.023	4.999	1.8047
	19	20	21	22	13.540	4.999	2.7096
	20	21	22	23	9.445	4.999	1.8891
	21	22	23	24	11.160	4.999	2.2340
	22	23	24	25	13.890	4.999	2.7795
	23	24	25	26	15.260	4.999	3.0532
	24	25	26	27	13.390	4.999	2.6791
	25	26	27	28	16.620	4.758	3.4933
	26	27	28	29	13.840	4.998	2.7688
	27	28	29	30	20.810	4.998	4.1648
	28	29	30	31	18.300	4.998	3.6627
	29	30	31	32	15.310	4.999	3.0637
	30	31	32	33	17.680	4.998	3.5378
	31	32	33	34	16.020	4.999	3.2061
	32	33	34	35	18.290	4.998	3.6597
	33	34	35	36	19.890	4.998	3.9803

ตารางที่ จ-2 แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Nov 29-30th, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 1 Length: 400 meters

Method: Wenner

Spacing: 10 meters

St	A	M	N	B	V	I	R
	34	35	36	37	17.350	4.999	3.4720
	35	36	37	38	20.630	4.998	4.1283
	36	37	38	39	19.480	4.998	3.8986
	37	38	39	40	18.720	4.998	3.7453
a=20	34	36	38	40	2.6307	4.998	2.0203
	33	35	37	39	10.88	4.998	2.1778
	32	34	36	38	12.21	4.998	2.4437
	31	33	35	37	13.91	4.998	2.7843
	30	32	34	36	14.31	4.998	2.8638
	29	31	33	35	13.20	4.998	2.6427
	28	30	32	34	12.45	4.998	2.4927
	27	29	31	33	13.20	4.998	2.6534
	26	28	30	32	16.08	4.998	3.2170
	25	27	29	31	15.08	4.998	3.0169
	24	26	28	30	11.64	4.998	2.3292
	23	25	27	29	11.83	4.997	2.3670
	22	24	26	28	13.81	4.991	2.7684
	21	23	25	27	14.88	4.998	2.9790
	20	22	24	26	11.73	4.998	2.3475
	19	21	23	25	4.438	4.999	0.8878
	18	20	22	24	10.22	4.998	2.0463
	17	19	21	23	10.10	4.998	2.0203
	16	18	20	22	9.012	4.998	1.8026
	15	17	19	21	8.964	4.998	1.7930
	14	16	18	20	8.971	4.998	1.7947
	13	15	17	19	8.443	4.998	1.6891
	12	14	16	18	8.627	4.998	1.7258
	11	13	15	17	8.397	4.998	1.6799
	10	12	14	16	7.624	4.998	1.5252
	9	11	13	15	6.294	4.998	1.2592
	8	10	12	14	5.237	4.998	1.0477
	7	9	11	13	4.974	4.998	0.9897
	6	8	10	12	5.009	4.998	1.0021

**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	5	7	9	11	5.940	4.998	1.1884
	4	6	8	10	3.353	4.852	0.8970
	3	5	7	9	4.527	4.992	0.4057
	2	4	6	8	5.198	4.998	1.0401
	1	3	5	7	5.428	4.899	1.1131
a = 30	1	4	7	10	4.762	4.550	1.0466
	2	5	8	11	5.712	4.998	1.1428
	3	6	9	12	4.713	4.998	0.9431
	4	7	10	13	6.544	4.998	1.3095
	5	8	11	14	4.238	4.998	0.8481
	6	9	12	15	4.450	4.998	0.8905
	7	10	13	16	6.883	4.998	1.3772
	8	11	14	17	6.294	4.998	1.2593
	9	12	15	18	7.899	4.998	1.5804
	10	13	16	19	7.972	4.998	1.5950
	11	14	17	20	8.473	4.998	1.6952
	12	15	18	21	7.419	4.998	1.4845
	13	16	19	22	7.945	4.998	1.5896
	14	17	20	23	7.405	4.998	1.4816
	15	18	21	24	8.920	4.998	1.7848
	16	19	22	25	8.148	4.998	1.6302
	17	20	23	26	9.145	4.998	1.8295
	18	21	24	27	9.967	4.998	1.9941
	19	22	25	28	12.460	4.998	2.4933
	20	23	26	29	11.480	4.998	2.2974
	21	24	27	30	11.010	4.998	2.2033
	22	25	28	31	9.919	4.998	1.9845
	23	26	29	32	11.040	4.998	2.2100
	24	27	30	33	12.180	4.998	2.4378
	25	28	31	34	12.940	4.998	2.5899
	26	29	32	35	11.500	4.998	2.3022
	27	30	33	36	10.950	4.999	2.1923
	28	31	34	37	11.610	4.998	2.3230

ตารางที่ จ-2 แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Nov 29-30th, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 1 Length: 400 meters

Method: Wenner

Spacing: 10 meters

St	A	M	N	B	V	I	R
	29	32	35	38	11.540	4.998	2.3086
	30	33	36	39	10.240	4.998	2.494
	31	34	37	40	9.522	4.998	1.9049
a = 40	28	32	36	40	9.089	4.999	1.818
	27	31	35	39	4.999	4.999	1.9618
	26	30	34	38	9.941	4.999	1.9885
	25	29	33	37	10.440	4.999	2.0899
	24	28	32	36	10.880	4.999	2.1766
	23	27	31	35	9.663	4.999	1.9322
	22	26	30	34	9.788	4.999	1.9578
	21	25	29	33	9.689	4.999	1.9382
	20	24	28	32	9.691	4.999	1.9384
	19	23	27	31	10.020	4.999	2.0052
	18	22	26	30	9.462	4.999	1.8926
	17	21	25	29	9.522	4.999	1.9046
	16	20	24	28	9.198	4.916	1.8708
	15	19	23	27	7.536	4.999	1.5074
	14	18	22	26	7.220	4.999	1.4441
	13	17	21	25	7.015	4.999	1.4031
	12	16	20	24	6.938	4.999	1.3877
	11	15	19	23	7.330	4.999	1.4661
	10	14	18	22	7.559	4.999	1.5121
	9	13	17	21	7.810	4.999	1.5621
	8	12	16	20	7.547	5.000	1.5094
	7	11	15	19	6.766	4.999	1.3532
	6	10	14	18	5.342	4.999	1.0684
	5	9	13	17	4.563	4.999	0.9127
	4	8	12	16	4.117	4.999	0.8234
	3	7	11	15	4.057	4.999	0.8115
	2	6	10	14	4.271	4.999	0.8542
	1	5	9	13	4.526	4.999	0.9052
a = 50	1	6	11	16	12.960	5.001	2.5919
	2	7	12	17	12.840	5.001	2.5674



**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	3	8	13	18	1.769	5.001	0.3538
	4	9	14	19	3.235	5.001	0.6469
	5	10	15	20	3.399	5.001	0.6797
	6	11	16	21	0.316	5.001	0.0632
	7	12	17	22	1.413	5.001	0.2827
	8	13	18	23	0.334	5.001	0.0669
	9	14	19	24	2.215	5.000	0.4429
	10	15	20	25	2.132	5.000	0.4264
	11	16	21	26	0.558	5.000	0.1116
	12	17	22	27	1.351	5.000	0.2703
	13	18	23	28	10.280	5.000	2.0562
	14	19	24	29	3.410	5.000	0.6821
	15	20	25	30	0.200	5.000	0.0400
	16	21	26	31	1.160	5.000	0.232
	17	22	27	32	2.548	5.000	0.5096
	18	23	28	33	1.936	4.999	0.3872
	19	24	29	34	0.283	5.000	0.0566
	20	25	30	35	0.611	5.000	0.1223
	21	26	31	36	3.799	4.999	0.7598
	22	27	32	37	1.983	5.000	0.3966
	23	28	33	38	3.164	4.999	0.6329
	24	29	34	39	2.220	5.000	0.4441
	25	30	35	40	0.385	4.999	0.0763
a = 60	22	28	34	40	3.881	4.999	0.7763
	21	27	33	39	4.238	4.999	0.8477
	20	26	32	38	1.525	4.999	0.3052
	19	25	31	37	0.339	4.999	0.0679
	18	24	30	36	3.693	4.999	0.7387
	17	23	29	35	8.324	4.999	1.6650
	16	22	28	34	1.760	4.999	0.352
	15	21	27	33	7.817	4.999	1.5637
	14	20	26	32	16.420	4.999	3.286
	13	19	25	31	1.506	4.999	0.3012

**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	12	18	24	30	0.468	4.999	0.0936
	11	17	23	29	36.380	4.999	7.2781
	10	16	22	28	51.680	4.999	10.338
	9	15	21	27	5.074	4.999	1.015
	8	14	20	26	6.566	4.999	1.3135
	7	13	19	25	6.954	4.999	1.3911
	6	12	18	24	6.797	4.999	1.3596
	5	11	17	23	6.781	4.999	1.3565
	4	10	16	22	5.974	4.999	1.1953
	3	9	15	21	5.410	4.998	1.0824
	2	8	14	20	4.396	4.998	0.8794
	1	7	13	19	3.876	4.998	0.7754
a = 70	1	8	15	22	4.906	4.998	0.9816
	2	9	16	23	5.466	4.998	1.0935
	3	10	17	24	6.102	4.998	1.2207
	4	11	18	25	6.193	4.998	1.2390
	5	12	19	26	6.369	4.998	1.2742
	6	13	20	27	6.155	4.998	1.2313
	7	14	21	28	6.455	4.997	1.2917
	8	15	22	29	5.525	4.998	1.1054
	9	16	23	30	5.194	4.998	1.0391
	10	17	24	31	5.346	4.998	1.0695
	11	18	25	32	6.796	4.998	1.1595
	12	19	26	33	5.835	4.998	1.1673
	13	20	27	34	6.149	4.998	1.2301
	14	21	28	35	6.111	4.998	1.2225
	15	22	29	36	7.010	4.998	1.4025
	16	23	30	37	7.652	4.998	1.5308
	17	24	31	38	15.150	4.998	3.0311
	18	25	32	39	1.570	4.998	0.3141
	19	26	33	40	0.971	4.998	0.1944
a = 80	16	24	32	40	3.358	4.998	0.6719
	15	23	31	39	7.521	4.997	1.5049

**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	14	22	30	38	0.562	4.998	0.1125
	13	21	29	37	2.691	4.998	0.5385
	12	20	28	36	2.866	4.998	0.5734
	11	19	27	35	0.280	4.998	0.0561
	10	18	26	34	10.00	4.998	2.0010
	9	17	25	33	8.987	4.998	1.7982
	8	16	24	32	3.983	4.998	0.7969
	7	15	23	31	1.504	4.998	0.3009
	6	14	22	30	4.425	4.998	0.8854
	5	13	21	29	14.81	4.998	2.9644
	4	12	20	28	6.021	4.998	1.2048
	3	11	19	27	10.600	4.998	2.1216
	2	10	18	26	8.795	4.998	1.7595
	1	9	17	25	18.76	4.997	3.7542
a = 90	1	10	19	28	9.154	4.997	1.8317
	2	11	20	29	10.500	4.997	2.1004
	3	12	21	30	10.050	4.997	2.0115
	4	13	22	31	6.800	4.997	1.3605
	5	14	23	32	10.910	4.997	2.1846
	6	15	24	33	5.007	4.997	1.0017
	7	16	25	34	3.615	4.998	0.7232
	8	17	26	35	4.031	4.998	0.8066
	9	18	27	36	4.876	4.998	0.9757
	10	19	28	37	9.428	4.998	1.8862
	11	20	29	38	0.751	4.998	0.1504
	12	21	30	39	3.064	4.998	0.613
	13	22	31	40	2.081	4.999	0.4164
a = 100	10	20	30	40	10.000	4.999	2.0017
	9	19	29	39	4.711	4.998	0.9426
	8	18	28	38	3.553	4.998	0.7107
	7	17	27	37	4.366	4.998	0.8734
	6	16	26	36	6.210	4.998	1.2425
	5	15	25	35	13.19	4.998	2.6388

**ตารางที่ จ-2** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 10 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	4	14	24	34	6.515	4.998	1.3035
	3	13	23	33	0.958	4.999	0.1917
	2	12	22	32	7.883	4.999	1.5768
	1	11	21	31	13.64	4.998	2.7292
a = 110	1	12	23	34	6.590	4.998	1.3181
	2	13	24	35	0.855	4.998	0.171
	3	14	25	36	5.351	4.999	1.0705
	4	15	26	37	5.877	4.999	1.1754
	5	16	27	38	2.371	4.999	0.4744
	6	17	28	39	7.061	4.999	1.4124
	7	18	29	40	2.267	4.999	0.4534
a = 120	4	16	28	40	6.894	5.000	1.3789
	3	15	27	39	9.725	4.999	1.9451
	2	14	26	38	8.325	4.999	1.6652
	1	13	25	37	13.19	4.999	2.6395
a = 130	1	14	27	40	12.85	5.000	2.5719

## ตารางที่ จ-2 แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Nov 29-30th, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 1 Length: 400 meters

Method: Dipole-Dipole

Spacing: 10 meters

St	A	B	N	M	V	I	R
a=10	1	2	3	4	5.795	5.001	1.1588
	2	3	4	5	3.195	5.001	0.6389
	3	4	5	6	5.315	5.000	1.0628
	4	5	6	7	4.157	5.000	0.8314
	5	6	7	8	4.858	5.001	0.9716
	6	7	8	9	6.332	5.001	1.2662
	7	8	9	10	3.231	5.000	0.6462
	8	9	10	11	6.049	5.000	1.2097
	9	10	11	12	5.552	5.000	1.1103
	10	11	12	13	5.556	5.001	1.1112
	11	12	13	14	6.115	5.000	1.2230
	12	13	14	15	7.724	5.000	1.5448
	13	14	15	16	7.992	5.000	1.5986
	14	15	16	17	5.758	4.999	1.1517
	15	16	17	18	9.326	5.000	1.8653
	16	17	18	19	6.300	5.000	1.2602
	17	18	19	20	10.110	4.999	2.0228
	18	19	20	21	5.493	4.999	1.0987
	19	20	21	22	24.800	4.999	4.9621
	20	21	22	23	6.645	4.999	1.3292
	21	22	23	24	9.018	4.999	1.8039
	22	23	24	25	11.250	4.999	2.252
	23	24	25	26	11.940	4.999	2.3901
	24	25	26	27	9.786	4.999	1.9575
	25	26	27	28	14.610	4.998	2.9245
	26	27	28	29	7.893	4.999	1.579
	27	28	29	30	16.810	4.999	3.3632
	28	29	30	31	14.220	4.998	2.8453
	29	30	31	32	10.270	4.999	2.056
	30	31	32	33	13.230	4.998	2.6477
	31	32	33	34	11.870	4.999	2.3746
	32	33	34	35	14.850	4.998	2.9726
	33	34	35	36	14.470	4.999	2.8964

**ตารางที่ ๑-3** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1 Length: 400 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 10 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	34	35	36	37	8.8930	4.999	1.7789
	35	36	37	38	15.4900	4.999	3.099
	36	37	38	39	14.330	4.998	2.8673
	37	38	39	40	13.850	4.999	2.7717
a=20	34	36	38	40	10.440	4.972	2.0203
	33	35	37	39	6.554	4.998	1.3112
	32	34	36	38	8.053	4.998	1.6075
	31	33	35	37	10.810	4.998	2.1633
	30	32	34	36	10.870	4.998	2.1763
	29	31	33	35	9.954	4.998	1.9914
	28	30	32	34	8.5200	4.998	1.7045
	27	29	31	33	9.459	4.998	1.8923
	26	28	30	32	13.320	4.998	2.6782
	25	27	29	31	11.330	4.998	2.2672
	24	26	28	30	6.722	4.998	1.345
	23	25	27	29	6.907	4.997	1.3819
	22	24	26	28	10.330	4.998	2.0678
	21	23	25	27	12.580	4.998	2.5186
	20	22	24	26	9.147	4.998	1.8300
	19	21	23	25	2.122	4.999	0.4245
	18	20	22	24	7.953	4.999	1.5909
	17	19	21	23	7.783	4.999	1.5571
	16	18	20	22	6.407	4.999	1.2817
	15	17	19	21	6.530	4.999	1.3062
	14	16	18	20	6.533	4.998	1.3069
	13	15	17	19	6.067	4.998	1.2137
	12	14	16	18	6.593	4.998	1.3190
	11	13	15	17	6.800	4.998	1.3604
	10	12	14	16	6.291	4.998	1.2587
	9	11	13	15	5.006	4.998	1.0015
	8	10	12	14	3.403	4.998	0.6810
	7	9	11	13	3.237	4.998	0.6476
	6	8	10	12	3.785	4.998	0.7573

**ตารางที่ จ-3** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 10 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	5	7	9	11	3.982	4.998	0.7967
	4	6	8	10	3.478	4.998	0.6960
	3	5	7	9	2.286	4.692	0.4873
	2	4	6	8	3.541	4.42	0.8012
	1	3	5	7	2.611	4.998	0.7226
a = 30	1	4	7	10	3.760	4.998	0.7525
	2	5	8	11	4.410	4.998	0.8825
	3	6	9	12	3.521	4.998	0.7045
	4	7	10	13	6.796	4.998	1.3598
	5	8	11	14	2.856	4.998	0.5714
	6	9	12	15	2.969	4.998	0.5940
	7	10	13	16	5.768	4.936	1.1684
	8	11	14	17	5.177	4.998	1.0359
	9	12	15	18	6.589	4.998	1.3197
	10	13	16	19	6.431	4.998	1.2867
	11	14	17	20	6.694	4.998	1.3393
	12	15	18	21	4.885	4.998	0.9773
	13	16	19	22	5.582	4.998	1.1168
	14	17	20	23	4.824	4.998	0.9653
	15	18	21	24	6.778	4.998	1.3562
	16	19	22	25	5.692	4.998	1.1390
	17	20	23	26	6.833	4.998	1.3672
	18	21	24	27	7.328	4.998	1.4661
	19	22	25	28	10.130	4.998	2.0280
	20	23	26	29	8.673	4.998	1.7353
	21	24	27	30	7.234	4.998	1.4473
	22	25	28	31	5.104	4.982	1.0245
	23	26	29	32	7.234	4.988	1.4473
	24	27	30	33	9.028	4.998	1.8062
	25	28	31	34	10.070	4.998	2.0157
	26	29	32	35	8.395	4.998	1.6795
	27	30	33	36	8.010	4.998	1.6025
	28	31	34	37	8.892	4.998	1.7790

ตารางที่ จ-3 แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Nov 29-30th, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 1 Length: 400 meters

Method: Dipole-Dipole

Spacing: 10 meters

St	A	B	N	M	V	I	R
	29	32	35	38	8.503	4.998	1.7011
	30	33	36	39	7.152	4.998	1.4307
	31	34	37	40	5.798	4.998	1.16
a = 40	28	32	36	40	6.281	4.999	1.2564
	27	31	35	39	7.339	4.999	1.4680
	26	30	34	38	7.347	4.999	1.4695
	25	29	33	37	7.895	4.999	1.5790
	24	28	32	36	8.249	4.999	1.6501
	23	27	31	35	6.695	4.999	1.3391
	22	26	30	34	6.753	4.999	1.3508
	21	25	29	33	6.189	4.999	1.2380
	20	24	28	32	5.239	4.4600	1.1745
	19	23	27	31	7.151	4.999	1.4303
	18	22	26	30	6.850	4.999	1.3700
	17	21	25	29	6.878	4.999	1.3757
	16	20	24	28	6.884	4.999	1.3768
	15	19	23	27	5.011	4.999	1.0024
	14	18	22	26	4.725	4.999	0.9452
	13	17	21	25	4.627	4.999	0.9257
	12	16	20	24	4.553	4.999	0.9106
	11	15	19	23	5.282	4.999	1.0565
	10	14	18	22	5.830	4.999	1.1661
	9	13	17	21	6.451	4.999	1.2903
	8	12	16	20	6.353	4.999	1.2707
	7	11	15	19	5.700	4.999	1.1402
	6	10	14	18	4.113	4.999	1.8227
	5	9	13	17	3.319	4.999	0.6638
	4	8	12	16	2.796	4.999	0.5593
	3	7	11	15	2.968	4.999	0.5936
	2	6	10	14	3.100	4.999	0.6218
	1	5	9	13	3.142	4.999	0.6285
a = 50	1	6	11	16	17.930	5.001	3.5858
	2	7	12	17	2.720	5.001	2.5562



**ตารางที่ จ-3** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 10 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	3	8	13	18	1.698	5.001	0.3396
	4	9	14	19	2.369	5.001	0.4737
	5	10	15	20	3.798	5.001	0.7595
	6	11	16	21	1.002	5.001	0.2003
	7	12	17	22	0.170	5.001	0.0341
	8	13	18	23	0.337	5.000	0.0674
	9	14	19	24	2.051	5.000	0.4102
	10	15	20	25	2.035	5.000	0.407
	11	16	21	26	0.960	5.000	0.192
	12	17	22	27	0.522	5.000	0.1045
	13	18	23	28	0.878	5.000	0.1757
	14	19	24	29	1.317	5.000	0.2634
	15	20	25	30	0.520	5.000	0.1041
	16	21	26	31	2.171	5.000	0.4342
	17	22	27	32	2.812	5.000	0.5624
	18	23	28	33	25.890	4.999	5.1785
	19	24	29	34	6.648	5.000	1.3296
	20	25	30	35	2.269	5.000	0.4539
	21	26	31	36	3.765	4.999	0.7531
	22	27	32	37	6.304	4.999	1.261
	23	28	33	38	0.694	4.999	0.1388
	24	29	34	39	2.259	4.999	0.4519
	25	30	35	40	0.455	4.999	0.0910
a = 60	22	28	34	40	4.089	4.999	0.818
	21	27	33	39	2.879	4.999	0.5759
	20	26	32	38	13.660	4.999	2.7337
	19	25	31	37	3.366	4.999	0.6733
	18	24	30	36	1.041	4.999	0.2083
	17	23	29	35	11.536	4.999	2.3141
	16	22	28	34	43.220	4.296	10.06
	15	21	27	33	1.655	4.999	0.3311
	14	20	26	32	1.025	4.999	0.2050
	13	19	25	31	1.409	4.999	0.2819

ตารางที่ จ-3 แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Nov 29-30th, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 1 Length: 400 meters

Method: Dipole-Dipole

Spacing: 10 meters

St	A	B	N	M	V	I	R
	12	18	24	30	1.491	4.999	0.2983
	11	17	23	29	0.380	4.999	0.076
	10	16	22	28	5.575	4.999	1.1153
	9	15	21	27	7.000	4.999	1.4005
	8	14	20	26	5.015	4.999	1.0032
	7	13	19	25	5.770	4.999	1.1543
	6	12	18	24	5.756	4.999	1.1514
	5	11	17	23	5.891	4.999	1.1786
	4	10	16	22	4.994	4.999	0.9991
	3	9	15	21	4.370	4.999	0.8743
	2	8	14	20	3.251	4.998	0.6504
	1	7	13	19	2.664	4.998	0.5331
a = 70	1	8	15	22	3.875	4.998	0.7754
	2	9	16	23	4.461	4.999	0.8925
	3	10	17	24	5.226	4.998	1.0455
	4	11	18	25	5.214	4.998	1.0432
	5	12	19	26	5.358	4.998	1.072
	6	13	20	27	4.902	4.998	0.9808
	7	14	21	28	4.903	4.998	0.9809
	8	15	22	29	3.473	4.998	0.6948
	9	16	23	30	2.823	4.998	0.5648
	10	17	24	31	6.674	4.998	0.5351
	11	18	25	32	3.247	4.998	0.6496
	12	19	26	33	3.165	4.998	0.6332
	13	20	27	34	3.615	4.998	0.7233
	14	21	28	35	3.432	4.998	0.6866
	15	22	29	36	4.966	4.998	0.9935
	16	23	30	37	5.714	4.998	1.4310
	17	24	31	38	11.330	4.998	2.2685
	18	25	32	39	1.754	4.998	0.3510
	19	26	33	40	13.68	4.998	2.7387
a = 80	16	24	32	40	16.120	4.998	3.2265
	15	23	31	39	6.813	4.998	1.3632

**ตารางที่ จ-3** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 10 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	14	22	30	38	0.492	4.998	0.0985
	13	21	29	37	2.107	4.998	0.4215
	12	20	28	36	0.848	4.998	0.1698
	11	19	27	35	0.372	4.998	0.0746
	10	18	26	34	7.047	4.998	1.4101
	9	17	25	33	4.514	4.998	0.9032
	8	16	24	32	0.961	4.998	0.1924
	7	15	23	31	1.366	4.998	0.2734
	6	14	22	30	0.595	4.998	0.1191
	5	13	21	29	12.080	9.916	2.4181
	4	12	20	28	5.224	4.998	1.0453
	3	11	19	27	9.627	4.998	1.9262
	2	10	18	26	8.822	4.998	1.7651
	1	9	17	25	9.541	4.997	1.909
a = 90	1	10	19	28	16.770	4.997	3.3572
	2	11	20	29	5.112	4.997	1.0228
	3	12	21	30	24.390	4.997	4.8805
	4	13	22	31	1.385	4.997	0.2771
	5	14	23	32	3.374	4.997	0.6751
	6	15	24	33	0.729	4.997	0.1459
	7	16	25	34	3.818	4.998	0.7639
	8	17	26	35	1.716	4.998	0.3435
	9	18	27	36	4.900	4.998	0.9803
	10	19	28	37	8.547	4.998	1.7100
	11	20	29	38	0.901	4.998	0.1802
	12	21	30	39	2.532	4.998	0.5066
	13	22	31	40	1.024	4.998	0.2049
a = 100	10	20	30	40	10.270	4.998	2.0546
	9	19	29	39	4.759	4.998	0.9521
	8	18	28	38	2.413	4.998	0.4828
	7	17	27	37	4.413	4.999	0.8829
	6	16	26	36	4.319	4.998	0.8639
	5	15	25	35	12.39	4.999	2.4797

**ตารางที่ จ-3** แนวสำรวจ L1 ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Nov 29-30th, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 1      Length: 400 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 10 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	4	14	24	34	2.415	4.999	0.483
	3	13	23	33	2.747	4.998	0.5495
	2	12	22	32	5.393	4.998	1.0788
	1	11	21	31	7.899	4.999	1.5801
a = 110	1	12	23	34	3.183	4.999	0.6368
	2	13	24	35	3.018	4.999	0.6036
	3	14	25	36	2.511	4.999	0.5024
	4	15	26	37	1.022	4.999	0.2044
	5	16	27	38	2.555	4.999	0.5112
	6	17	28	39	5.591	4.999	0.1183
	7	18	29	40	0.861	4.999	0.1723
a = 120	4	16	28	40	4.324	5.000	0.8649
	3	15	27	39	9.418	4.999	1.8837
	2	14	26	38	7.392	4.999	1.4786
	1	13	25	37	22.850	4.999	4.5701
a = 130	1	14	27	40	12.91	4.999	2.5824

**ตารางที่ ๑-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Wenner

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
a=5	1	2	3	4	45.430	5.002	9.0818
	2	3	4	5	34.360	5.002	6.8688
	3	4	5	6	41.700	5.002	8.3375
	4	5	6	7	27.140	5.001	5.4274
	5	6	7	8	30.200	5.001	6.0392
	6	7	8	9	30.010	5.001	5.9999
	7	8	9	10	26.100	5.001	5.2189
	8	9	10	11	24.090	5.001	4.8165
	9	10	11	12	29.300	5.001	5.8593
	10	11	12	13	26.460	5.001	5.2914
	11	12	13	14	24.970	5.001	4.9933
	12	13	14	15	26.340	5.001	5.2676
	13	14	15	16	21.770	5.001	4.3536
	14	15	16	17	26.690	5.001	5.3376
	15	16	17	18	20.400	5.001	4.0810
	16	17	18	19	17.540	5.001	3.5081
	17	18	19	20	25.770	5.001	5.1539
	18	19	20	21	27.220	5.001	5.4439
	19	20	21	22	27.850	5.001	5.5708
	20	21	22	23	33.370	5.001	6.6739
	21	22	23	24	32.220	5.001	6.4437
	22	23	24	25	51.810	5.001	10.3620
	23	24	25	26	34.330	5.001	6.8654
	24	25	26	27	47.200	5.001	9.4383
	25	26	27	28	39.950	5.001	7.9891
	26	27	28	29	28.310	5.000	5.6627
	27	28	29	30	21.960	5.000	4.3931
a=10	24	26	28	30	26.920	5.000	5.3848
	23	25	27	29	30.500	5.001	6.0993
	22	24	26	28	24.160	5.000	4.8324
	21	23	25	27	27.600	5.000	5.5203
	20	22	24	26	30.140	5.000	6.0283

**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	19	21	23	25	26.350	5.000	5.2711
	18	20	22	24	23.760	5.000	4.7530
	17	19	21	23	23.680	5.000	4.7362
	16	18	20	22	22.920	5.000	4.5836
	15	17	19	21	17.950	5.000	3.5905
	14	16	18	20	15.650	5.001	3.1300
	13	15	17	19	20.680	5.000	4.1368
	12	14	16	18	21.810	5.000	4.3633
	11	13	15	17	18.190	5.000	3.6378
	10	12	14	16	17.860	5.000	3.5733
	9	11	13	15	20.700	5.000	4.1398
	8	10	12	14	23.130	5.000	4.6258
	7	9	11	13	20.460	5.000	4.0935
	6	8	10	12	15.530	5.000	3.1073
	5	7	9	11	18.530	5.000	3.7172
	4	6	8	10	21.590	5.000	4.3195
	3	5	7	9	17.680	5.000	3.5375
	2	4	6	8	19.210	5.000	3.8429
	1	3	5	7	20.560	5.000	4.1129
a=15	1	4	7	10	15.150	5.000	3.0305
	2	5	8	11	15.070	5.000	3.0144
	3	6	9	12	15.210	5.000	3.0437
	4	7	10	13	14.260	5.000	2.8530
	5	8	11	14	15.740	5.000	3.1498
	6	9	12	15	17.630	4.999	3.5262
	7	10	13	16	17.750	5.000	3.5518
	8	11	14	17	16.730	4.999	3.3468
	9	12	15	18	15.470	4.999	3.0959
	10	13	16	19	16.870	5.000	3.3740
	11	14	17	20	16.820	4.999	3.3644
	12	15	18	21	16.640	5.000	3.3292
	13	16	19	22	15.730	4.999	3.1467

**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	14	17	20	23	17.620	5.000	3.5239
	15	18	21	24	19.730	5.000	3.9462
	16	19	22	25	21.710	5.000	4.3421
	17	20	23	26	20.720	5.000	4.1442
	18	21	24	27	21.030	5.000	4.2064
	19	22	25	28	19.880	4.999	3.9771
	20	23	26	29	20.870	5.000	4.1742
	21	24	27	30	19.700	4.999	3.9414
a=20	18	22	26	30	15.17	4.999	3.0357
	17	21	25	29	16.870	5.000	3.3757
	16	20	24	28	18.210	5.000	3.6423
	15	19	23	27	16.270	4.999	3.2545
	14	18	22	26	17.590	4.999	3.5188
	13	17	21	25	15.710	4.999	3.1440
	12	16	20	24	14.590	4.999	2.9200
	11	15	19	23	15.460	4.999	3.0928
	10	14	18	22	13.220	4.999	2.6449
	9	13	17	21	14.550	4.999	2.9108
	8	12	16	20	15.680	4.999	3.1380
	7	11	15	19	14.690	4.999	2.9385
	6	10	14	18	15.550	4.999	3.1103
	5	9	13	17	14.540	4.999	2.9086
	4	8	12	16	14.330	4.999	2.8672
	3	7	11	15	14.830	4.999	2.9670
	2	6	10	14	12.780	4.999	2.5572
	1	5	9	13	11.670	4.999	2.3346
a=25	1	6	11	16	11.620	4.998	2.3253
	2	7	12	17	12.620	4.999	2.5263
	3	8	13	18	13.040	4.999	2.6090
	4	9	14	19	13.570	4.999	2.7162
	5	10	15	20	14.120	4.999	2.8248
	6	11	16	21	14.020	4.999	2.8061

**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	7	12	17	22	13.030	4.999	2.6072
	8	13	18	23	12.540	4.999	2.5098
	9	14	19	24	12.280	5.000	2.4565
	10	15	20	25	13.080	5.000	2.6178
	11	16	21	26	12.730	5.000	2.5469
	12	17	22	27	13.080	5.000	2.6160
	13	18	23	28	13.840	5.000	2.7684
	14	19	24	29	14.970	5.000	2.9946
	15	20	25	30	14.200	5.000	2.8412
a=30	12	18	24	30	12.470	5.000	2.4958
	11	17	23	29	10.940	5.000	2.1881
	10	16	22	28	10.430	5.000	2.0875
	9	15	21	27	10.920	4.999	2.1859
	8	14	20	26	11.260	4.999	2.2538
	7	13	19	25	11.050	4.999	2.2110
	6	12	18	24	10.620	4.999	2.1259
	5	11	17	23	12.390	4.999	2.4787
	4	10	16	22	13.370	4.999	2.6754
	3	9	15	21	12.450	4.999	2.4908
	2	8	14	20	11.980	4.999	2.3964
	1	7	13	19	11.570	4.999	2.3149
a=35	1	8	15	22	10.480	4.999	2.0976
	2	9	16	23	11.580	4.999	2.3173
	3	10	17	24	11.110	4.999	2.2227
	4	11	18	25	10.040	4.999	2.0098
	5	12	19	26	10.010	4.998	2.0033
	6	13	20	27	9.270	4.999	1.8543
	7	14	21	28	9.403	4.998	1.8811
	8	15	22	29	10.000	4.999	2.0009
	9	16	23	30	9.121	4.999	1.8246
a=40	6	14	22	30	8.375	4.999	1.6752
	5	13	21	29	8.532	4.999	1.7067



**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	4	12	20	28	8.341	4.999	1.6685
	3	11	19	27	8.728	4.999	1.7457
	2	10	18	26	9.076	4.999	1.8156
	1	9	17	25	9.331	4.999	1.8666
a=45	1	10	19	28	7.700	4.999	1.5403
	2	11	20	29	7.566	4.999	1.5135
	3	12	21	30	7.505	4.999	1.5013

**ตารางที่ ๑-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 5 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
a=5	1	2	3	4	31.640	5.002	6.3247
	2	3	4	5	20.650	5.002	4.1294
	3	4	5	6	34.350	5.002	6.8684
	4	5	6	7	17.190	5.002	3.4371
	5	6	7	8	19.720	5.001	3.9426
	6	7	8	9	19.390	5.001	3.8776
	7	8	9	10	18.680	5.001	3.7358
	8	9	10	11	17.100	5.001	3.4206
	9	10	11	12	21.510	5.001	4.3024
	10	11	12	13	17.540	5.001	3.5020
	11	12	13	14	17.730	5.001	3.5457
	12	13	14	15	21.240	5.001	4.2480
	13	14	15	16	14.940	5.001	2.9891
	14	15	16	17	20.420	5.001	4.0847
	15	16	17	18	14.830	5.001	2.9655
	16	17	18	19	0.543	5.001	0.1085
	17	18	19	20	20.660	5.001	4.1320
	18	19	20	21	20.490	5.001	4.0988
	19	20	21	22	18.980	5.001	3.7971
	20	21	22	23	26.690	5.001	5.3382
	21	22	23	24	23.660	5.001	4.7317
	22	23	24	25	42.390	5.001	8.4757
	23	24	25	26	12.280	5.001	2.4564
	24	25	26	27	40.280	5.001	8.0564
	25	26	27	28	33.060	5.001	6.6109
	26	27	28	29	18.810	5.000	3.7631
	27	28	29	30	13.480	5.000	2.6963
a=10	24	26	28	30	20.800	5.001	4.1596
	23	25	27	29	24.050	5.001	4.8098
	22	24	26	28	12.460	5.001	2.4915
	21	23	25	27	17.270	5.000	3.4552
	20	22	24	26	21.930	5.000	4.3867
	19	21	23	25	17.750	5.000	3.5494

**ตารางที่ ๑-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 5 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	18	20	22	24	16.930	5.000	3.3862
	17	19	21	23	18.410	5.000	3.6835
	16	18	20	22	19.380	5.001	3.8759
	15	17	19	21	13.740	5.000	2.7496
	14	16	18	20	10.300	5.000	2.0612
	13	15	17	19	16.740	5.000	3.3493
	12	14	16	18	17.230	5.000	3.4463
	11	13	15	17	11.580	5.000	2.3175
	10	12	14	16	11.380	5.000	2.2761
	9	11	13	15	14.97	5.000	2.9951
	8	10	12	14	18.970	5.000	3.7939
	7	9	11	13	15.650	5.000	3.1302
	6	8	10	12	8.671	5.000	1.7340
	5	7	9	11	13.450	5.000	2.6911
	4	6	8	10	17.410	5.000	3.4822
	3	5	7	9	12.010	5.000	2.4022
	2	4	6	8	13.510	5.000	2.7025
	1	3	5	7	14.670	5.000	2.9339
a=15	1	4	7	10	10.620	5.000	2.1242
	2	5	8	11	10.820	5.000	2.1645
	3	6	9	12	11.460	4.999	2.2925
	4	7	10	13	9.364	5.000	1.8728
	5	8	11	14	10.980	4.999	2.1963
	6	9	12	15	13.770	4.999	2.7552
	7	10	13	16	13.580	5.000	2.7163
	8	11	14	17	11.730	5.000	2.3478
	9	12	15	18	9.786	4.999	1.9575
	10	13	16	19	12.390	5.000	2.4798
	11	14	17	20	12.850	4.999	2.5714
	12	15	18	21	12.500	5.000	2.5015
	13	16	19	22	11.140	5.000	2.2283
	14	17	20	23	13.490	4.999	2.6989
	15	18	21	24	15.550	5.000	3.1114

**ตารางที่ ๑-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 5 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	16	19	22	25	16.860	5.000	3.3720
	17	20	23	26	13.810	4.999	2.7639
	18	21	24	27	13.270	5.000	2.6553
	19	22	25	28	11.030	5.000	2.2065
	20	23	26	29	12.530	4.999	2.5074
	21	24	27	30	11.620	4.762	2.4409
a=20	18	22	26	30	7.955	5.000	1.5911
	17	21	25	29	10.050	4.999	2.0110
	16	20	24	28	12.530	4.999	2.5071
	15	19	23	27	10.610	4.999	2.1227
	14	18	22	26	13.400	4.999	2.6808
	13	17	21	25	11.130	4.979	2.2276
	12	16	20	24	9.715	4.999	1.9433
	11	15	19	23	11.350	4.999	2.2703
	10	14	18	22	8.703	4.999	1.7407
	9	13	17	21	10.710	4.999	2.1422
	8	12	16	20	11.860	4.999	2.3726
	7	11	15	19	10.140	4.999	2.0283
	6	10	14	18	11.880	4.999	2.3778
	5	9	13	17	10.750	4.999	2.1512
	4	8	12	16	10.330	4.999	2.0666
	3	7	11	15	11.080	4.999	2.2660
	2	6	10	14	8.852	4.999	1.7706
	1	5	9	13	7.504	4.999	1.5011
a=25	1	6	11	16	7.928	4.999	1.5859
	2	7	12	17	9.073	4.999	1.8150
	3	8	13	18	9.392	4.999	1.8786
	4	9	14	19	10.240	4.999	2.0495
	5	10	15	20	10.740	4.999	2.1485
	6	11	16	21	10.570	4.999	2.1161
	7	12	17	22	9.376	4.999	1.8755
	8	13	18	23	8.461	4.999	1.6925
	9	14	19	24	7.776	5.000	1.5553

**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 5 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
	10	15	20	25	8.377	5.000	1.6753
	11	16	21	26	7.576	5.000	1.5151
	12	17	22	27	8.264	5.000	1.6527
	13	18	23	28	9.293	5.000	1.8584
	14	19	24	29	10.290	5.000	2.0587
	15	20	25	30	8.930	5.000	1.7860
a=30	12	18	24	30	8.564	5.000	1.7129
	11	17	23	29	6.187	5.000	1.2373
	10	16	22	28	5.194	5.000	1.0388
	9	15	21	27	6.118	4.999	1.2237
	8	14	20	26	6.704	5.000	1.3408
	7	13	19	25	6.795	4.999	1.3592
	6	12	18	24	6.452	4.999	1.2905
	5	11	17	23	9.231	4.999	1.8463
	4	10	16	22	10.580	4.999	2.1162
	3	9	15	21	9.253	4.999	1.8509
	2	8	14	20	8.591	4.999	1.7185
	1	7	13	19	8.306	4.999	1.6614
a=35	1	8	15	22	7.119	4.999	1.4241
	2	9	16	23	8.777	4.999	1.7557
	3	10	17	24	8.093	4.999	1.6189
	4	11	18	25	6.404	4.999	1.2811
	5	12	19	26	6.018	4.999	1.2039
	6	13	20	27	4.763	4.999	0.9527
	7	14	21	28	4.680	4.999	0.9323
	8	15	22	29	5.567	4.999	1.1136
	9	16	23	30	4.213	4.999	0.8428
a=40	6	14	22	30	4.010	4.998	0.8022
	5	13	21	29	4.250	4.998	0.8501
	4	12	20	28	4.153	4.998	0.8308
	3	11	19	27	4.965	4.999	0.9932
	2	10	18	26	5.739	4.998	1.1481
	1	9	17	25	6.275	4.990	1.2553

**ตารางที่ จ-4** แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2**

**Length: 150 meters**

**Method: Dipole-Dipole**

**Spacing: 5 meters**

St	A	B	N	M	V	I	R
a=45	1	10	19	28	4.310	4.998	0.8622
	2	11	20	29	3.749	4.998	0.7500
	3	12	21	30	3.496	4.999	0.6994

ตารางที่ จ-5 แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ wenner

Resistivity Data Sheet: Project Pakchong

Date: Dec 1st, 2006

Location: Contaminated site

Line no: 2 Length: 150 meters

Method: Wenner

Spacing: 5 meters

St	A	M	N	B	V	I	R
a=5	1	2	3	4	45.430	5.002	9.0818
	2	3	4	5	34.360	5.002	6.8688
	3	4	5	6	41.700	5.002	8.3375
	4	5	6	7	27.140	5.001	5.4274
	5	6	7	8	30.200	5.001	6.0392
	6	7	8	9	30.010	5.001	5.9999
	7	8	9	10	26.100	5.001	5.2189
	8	9	10	11	24.090	5.001	4.8165
	9	10	11	12	29.300	5.001	5.8593
	10	11	12	13	26.460	5.001	5.2914
	11	12	13	14	24.970	5.001	4.9933
	12	13	14	15	26.340	5.001	5.2676
	13	14	15	16	21.770	5.001	4.3536
	14	15	16	17	26.690	5.001	5.3376
15	16	17	18	20.400	5.001	4.0810	
16	17	18	19	17.540	5.001	3.5081	
17	18	19	20	25.770	5.001	5.1539	
18	19	20	21	27.220	5.001	5.4439	
19	20	21	22	27.850	5.001	5.5708	
20	21	22	23	33.370	5.001	6.6739	
21	22	23	24	32.220	5.001	6.4437	
22	23	24	25	51.810	5.001	10.3620	
23	24	25	26	34.330	5.001	6.8654	
24	25	26	27	47.200	5.001	9.4383	
25	26	27	28	39.950	5.001	7.9891	
26	27	28	29	28.310	5.000	5.6627	
27	28	29	30	21.960	5.000	4.3931	
a=10	24	26	28	30	26.920	5.000	5.3848
	23	25	27	29	30.500	5.001	6.0993
	22	24	26	28	24.160	5.000	4.8324
	21	23	25	27	27.600	5.000	5.5203
	20	22	24	26	30.140	5.000	6.0283
	19	21	23	25	26.350	5.000	5.2711
	18	20	22	24	23.760	5.000	4.7530
	17	19	21	23	23.680	5.000	4.7362
	16	18	20	22	22.920	5.000	4.5836
	15	17	19	21	17.950	5.000	3.5905
	14	16	18	20	15.650	5.001	3.1300
13	15	17	19	20.680	5.000	4.1368	
12	14	16	18	21.810	5.000	4.3633	
11	13	15	17	18.190	5.000	3.6378	
10	12	14	16	17.860	5.000	3.5733	
9	11	13	15	20.700	5.000	4.1398	
8	10	12	14	23.130	5.000	4.6258	
7	9	11	13	20.460	5.000	4.0935	

ตารางที่ จ-5 แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2 Length: 150 meters**

**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
	6	8	10	12	15.530	5.000	3.1073
	5	7	9	11	18.530	5.000	3.7172
	4	6	8	10	21.590	5.000	4.3195
	3	5	7	9	17.680	5.000	3.5375
	2	4	6	8	19.210	5.000	3.8429
	1	3	5	7	20.560	5.000	4.1129
a=15	1	4	7	10	15.150	5.000	3.0305
	2	5	8	11	15.070	5.000	3.0144
	3	6	9	12	15.210	5.000	3.0437
	4	7	10	13	14.260	5.000	2.8530
	5	8	11	14	15.740	5.000	3.1498
	6	9	12	15	17.630	4.999	3.5262
	7	10	13	16	17.750	5.000	3.5518
	8	11	14	17	16.730	4.999	3.3468
	9	12	15	18	15.470	4.999	3.0959
	10	13	16	19	16.870	5.000	3.3740
	11	14	17	20	16.820	4.999	3.3644
	12	15	18	21	16.640	5.000	3.3292
	13	16	19	22	15.730	4.999	3.1467
	14	17	20	23	17.620	5.000	3.5239
	15	18	21	24	19.730	5.000	3.9462
	16	19	22	25	21.710	5.000	4.3421
	17	20	23	26	20.720	5.000	4.1442
	18	21	24	27	21.030	5.000	4.2064
	19	22	25	28	19.880	4.999	3.9771
	20	23	26	29	20.870	5.000	4.1742
	21	24	27	30	19.700	4.999	3.9414
a=20	18	22	26	30	15.17	4.999	3.0357
	17	21	25	29	16.870	5.000	3.3757
	16	20	24	28	18.210	5.000	3.6423
	15	19	23	27	16.270	4.999	3.2545
	14	18	22	26	17.590	4.999	3.5188
	13	17	21	25	15.710	4.999	3.1440
	12	16	20	24	14.590	4.999	2.9200
	11	15	19	23	15.460	4.999	3.0928
	10	14	18	22	13.220	4.999	2.6449
	9	13	17	21	14.550	4.999	2.9108
	8	12	16	20	15.680	4.999	3.1380
	7	11	15	19	14.690	4.999	2.9385
	6	10	14	18	15.550	4.999	3.1103
	5	9	13	17	14.540	4.999	2.9086
	4	8	12	16	14.330	4.999	2.8672
	3	7	11	15	14.830	4.999	2.9670
	2	6	10	14	12.780	4.999	2.5572
	1	5	9	13	11.670	4.999	2.3346



ตารางที่ จ-5 แนวสำรวจ L2 ระยะ 150 ม. แบบ wenner (ต่อ)

**Resistivity Data Sheet: Project Pakchong**

**Date: Dec 1st, 2006**

**Location: Contaminated site**

**Line no: 2 Length: 150 meters**

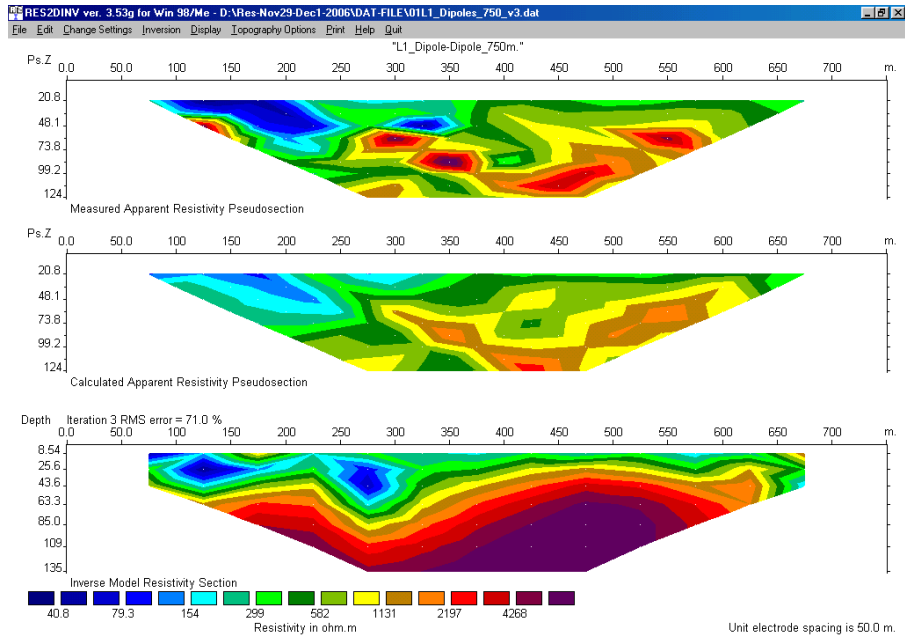
**Method: Wenner**

**Spacing: 5 meters**

St	A	M	N	B	V	I	R
a=25	1	6	11	16	11.620	4.998	2.3253
	2	7	12	17	12.620	4.999	2.5263
	3	8	13	18	13.040	4.999	2.6090
	4	9	14	19	13.570	4.999	2.7162
	5	10	15	20	14.120	4.999	2.8248
	6	11	16	21	14.020	4.999	2.8061
	7	12	17	22	13.030	4.999	2.6072
	8	13	18	23	12.540	4.999	2.5098
	9	14	19	24	12.280	5.000	2.4565
	10	15	20	25	13.080	5.000	2.6178
	11	16	21	26	12.730	5.000	2.5469
	12	17	22	27	13.080	5.000	2.6160
	13	18	23	28	13.840	5.000	2.7684
	14	19	24	29	14.970	5.000	2.9946
	15	20	25	30	14.200	5.000	2.8412
a=30	12	18	24	30	12.470	5.000	2.4958
	11	17	23	29	10.940	5.000	2.1881
	10	16	22	28	10.430	5.000	2.0875
	9	15	21	27	10.920	4.999	2.1859
	8	14	20	26	11.260	4.999	2.2538
	7	13	19	25	11.050	4.999	2.2110
	6	12	18	24	10.620	4.999	2.1259
	5	11	17	23	12.390	4.999	2.4787
	4	10	16	22	13.370	4.999	2.6754
	3	9	15	21	12.450	4.999	2.4908
	2	8	14	20	11.980	4.999	2.3964
	1	7	13	19	11.570	4.999	2.3149
a=35	1	8	15	22	10.480	4.999	2.0976
	2	9	16	23	11.580	4.999	2.3173
	3	10	17	24	11.110	4.999	2.2227
	4	11	18	25	10.040	4.999	2.0098
	5	12	19	26	10.010	4.998	2.0033
	6	13	20	27	9.270	4.999	1.8543
	7	14	21	28	9.403	4.998	1.8811
	8	15	22	29	10.000	4.999	2.0009
	9	16	23	30	9.121	4.999	1.8246
a=40	6	14	22	30	8.375	4.999	1.6752
	5	13	21	29	8.532	4.999	1.7067
	4	12	20	28	8.341	4.999	1.6685
	3	11	19	27	8.728	4.999	1.7457
	2	10	18	26	9.076	4.999	1.8156
	1	9	17	25	9.331	4.999	1.8666
a=45	1	10	19	28	7.700	4.999	1.5403
	2	11	20	29	7.566	4.999	1.5135
	3	12	21	30	7.505	4.999	1.5013

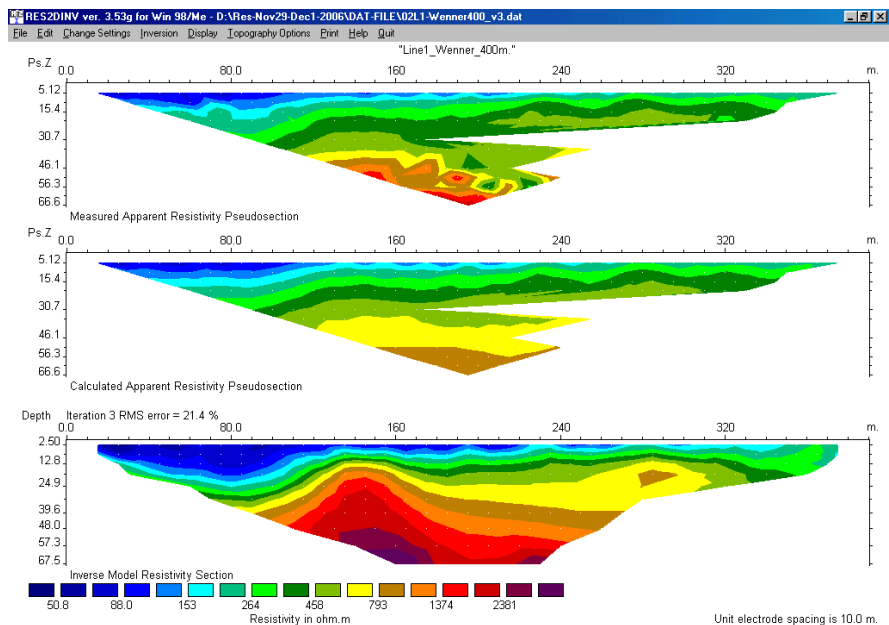
### รูปที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวสำรวจ L1

ระยะ 750 ม. แบบ Dipole- Dipole



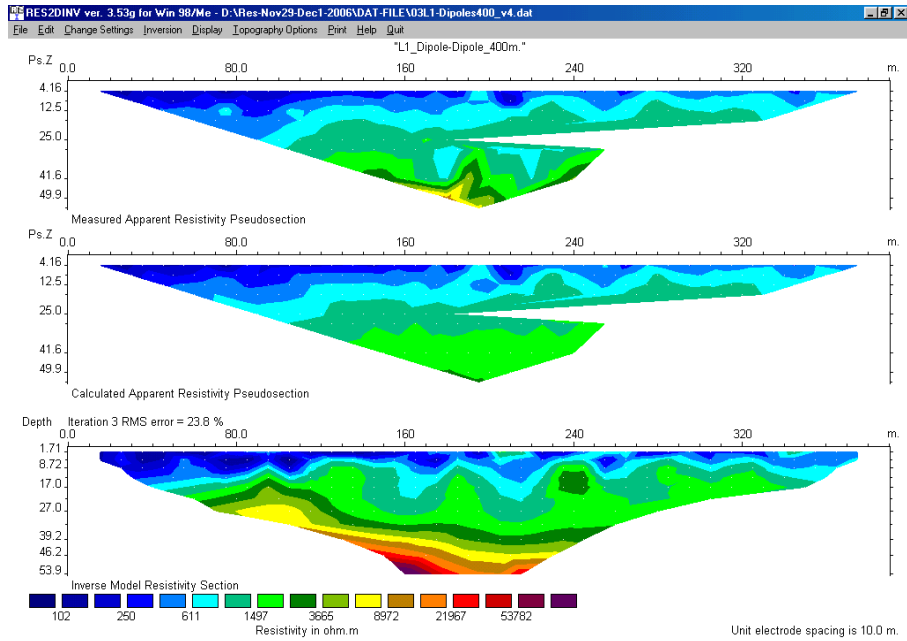
### รูปที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวสำรวจ L1

ระยะ 400 ม. แบบ Wenner



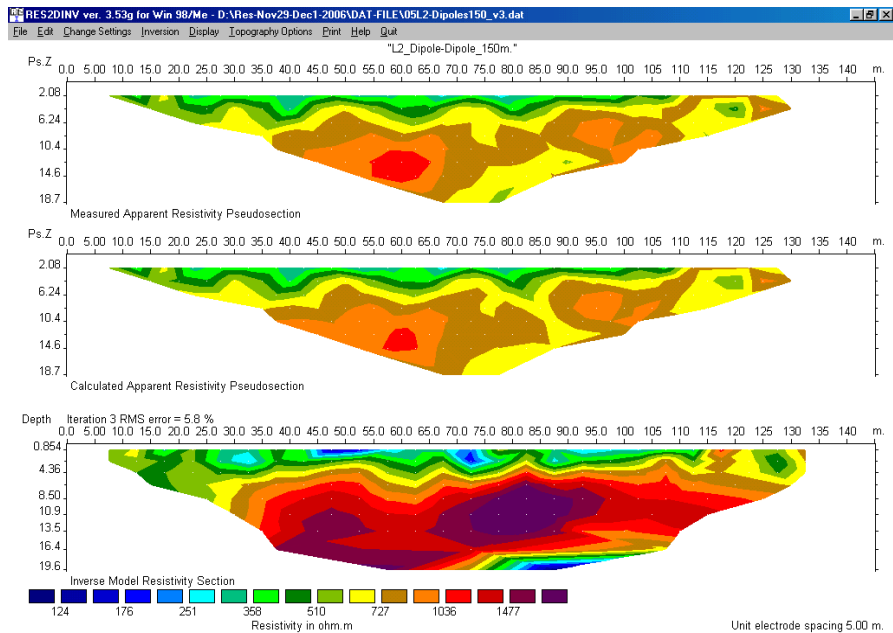
### รูปที่ จ-3 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวสำรวจ L1

ระยะ 400 ม. แบบ Dipole-Dipole



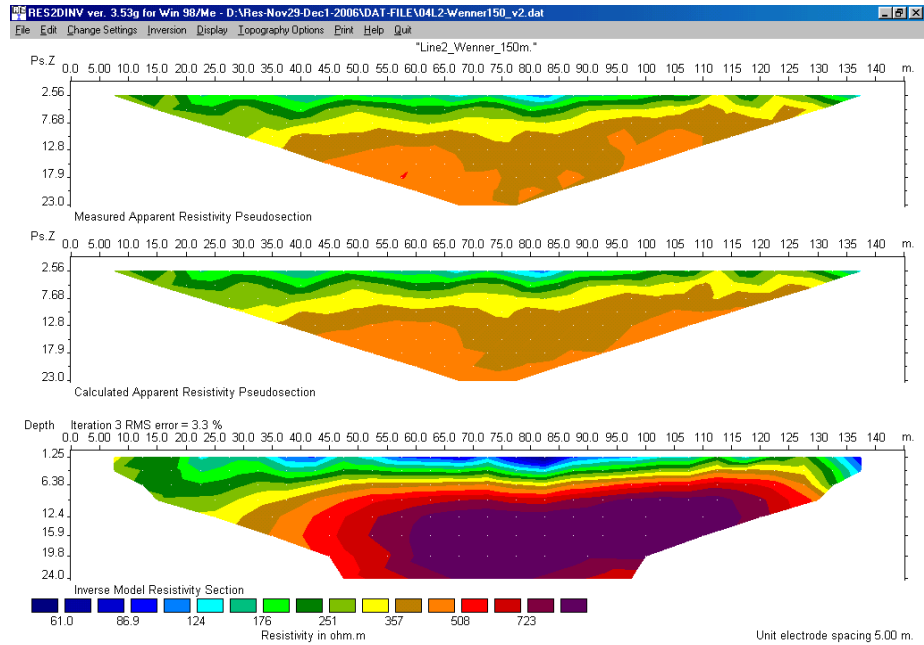
### รูปที่ จ-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวสำรวจ L2

ระยะ 150 ม. แบบ Dipole-Dipole



## รูปที่ ๑-5 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวสำรวจ L2

ระยะ 150 ม. แบบ Wenner



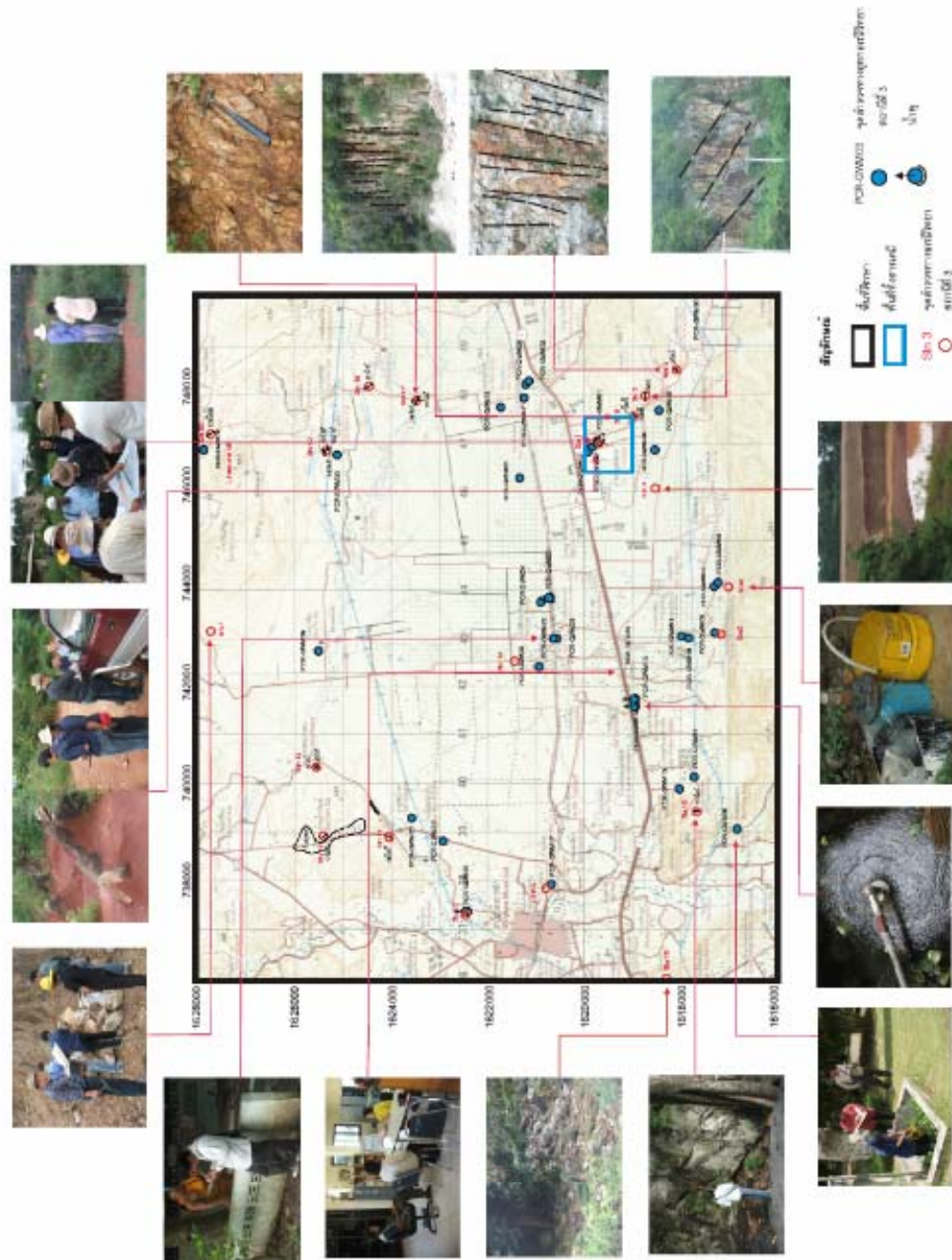
ภาคผนวก จ

ข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาในภาคสนาม  
ระหว่างวันที่ 11- 14 ตุลาคม 2549

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาในภาคสนาม ระหว่างวันที่ 11- 14 ตุลาคม 2549

สถานี	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันตก	ระดับความสูง (ม.รทก.)	สถานที่	วันที่สำรวจ	แนวแตก (องศาเอียง)	มุมของซิงเกิ้ล (องศา)	คำอธิบาย
1	747000	1619700	366	บ้านกลางดง ต.กลางดง	11 ต.ค.49	195 <sup>(1)</sup>	-	ป่าทึบหินปูน
2	747850	1618750	-	บ้านบุญบันดาล ต.กลางดง	11 ต.ค.49	90 <sup>(2)</sup>	25	หินปูนโน้ล
3	748450	1618100	-	บ้านบุญบันดาล ต.กลางดง	11 ต.ค.49	25 <sup>(2)</sup>	80	หินปูนโน้ล, เหมืองหินเก่า
4	746068	1618536	383	บ้านบุญบันดาล ม.2 ต.กลางดง	11 ต.ค.49	-	-	บ่อขุด หินชนวน หินสีแดง
5	743050	1617150	-	วัดพระศรีวิไล ต.กลางดง	11 ต.ค.49	-	-	หินปูนมวลไพศาล, สีเทาอ่อนถึงเทาดำ
6	744050	1617000	-	วัดเทพพิทักษ์บุญความ ต.กลางดง	11 ต.ค.49	-	-	หินปูนมวลไพศาล, สีเทาอ่อนถึงเทาดำ
7	742878	1627730	271	บ้านรักเจริญ ต.กลางดง	12 ต.ค.49	-	-	หินโน้ลปรากฏจากการตัดถนน, หินปูน, หินดินดาน, หินชนวน, เศษหินแตกหัก, ดินสีดํา
8	747506	1619030	401	ที่ทิ้งขยะของบต. กลางดง	13 ต.ค.49	170, 75 <sup>(2)</sup>	85, 60	เหมืองหินปูนเก่า, หินปูนสีเทา
9	737350	1622400	-	บ้านท่ามะพร้าว ต.กลางดง	13 ต.ค.49	-	-	หินปูน, หินทรายแข็ง, เศษหินแตกหัก, พบนํ้าพุ
10	737900	1620800	-	วัดบ้านท่ามะพร้าว ต.พญาเย็น	13 ต.ค.49	-	-	หินปูน, หินทรายแข็ง, เศษหินแตกหัก, พบนํ้าพุ
11	738900	1624050	-	บ้านหัวโพธิ์ ต.พญาเย็น	13 ต.ค.49	40 <sup>(2)</sup>	70	หินปูนโน้ล
12	738900	1625400	-	บ้านท่ามะพร้าว ต.พญาเย็น	13 ต.ค.49	170 <sup>(2)</sup>	30	หินปูนโน้ล
13	740350	1625550	-	บ้านหนองแดง ต.กลางดง	13 ต.ค.49	15, 35 <sup>(2)</sup>	70	หินปูนโน้ล
14	742200	1621450	-	บ้านทับตะเคียน ต.กลางดง	13 ต.ค.49	-	-	หินดินดาน, ดินสีดํา
15	735978	1618295	252	บ้านต้นตะเคียน ต.พญาเย็น	14 ต.ค.49	-	-	หินปูนมวลไพศาล, สีเทาอ่อน
16	739450	1617650	335	วัดพรหมประทีป ต.บ้านดง	14 ต.ค.49	130 <sup>(2)</sup>	50	หินปูนมวลไพศาล, สีเทาอ่อน, โขง ถ้าหินปูน
17	747900	1623500	316	ฝายน้ำล้นหนองตาพาก บ้านป่าอโศก ต.กลางดง	14 ต.ค.49	170, 290 <sup>(3)</sup>	60, 65	หินดินดาน
18	748200	1624500	381	บ้านหนองศรีอุดม ต.กลางดง	14 ต.ค.49	325 <sup>(3)</sup>	70	หินดินดาน หินขุ
19	746850	1625450	310	บ้านสามใจ ต.กลางดง	14 ต.ค.49	-	-	หินโน้ล, หินดินดาน, หินขุ, หินแอนดีไซต์
20	747200	1627750	384	บ้านหนองศรีอุดม ม. 8 ต.กลางดง	14 ต.ค.49	150 <sup>(3)</sup>	60	หินโน้ล, หินดินดาน, หินขุ

หมายเหตุ: <sup>(1)</sup> lineament, <sup>(2)</sup> joint, <sup>(3)</sup> cleavage



รูปที่ ข-1 กิจกรรมการสำรวจภาคสนาม ระหว่างวันที่ 11- 14 ตุลาคม 2549

ภาคผนวก ช

ข้อมูลการสำรวจระดับความสูงบ่อสังเกตการณ์  
ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง  
วันที่ 24 ก.พ. 2549



## ตารางที่ ๕-1 ค่ากำหนดสูงป่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ที่ขุดสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง

STA	B.S	H.I	F.S	Elevation (m. MSL)	Remark
BM.1	1.611	374.119	-	372.508	Sta156+650 CL
Tp1	2.044	375.205	0.958	373.161	
Tp2	1.231	375.563	0.873	374.332	
PZ10			0.275	375.288	
Tp3	1.647	375.872	1.338	374.225	
Tp4	2.015	376.952	0.935	374.937	
Tp5	1.249	376.917	1.284	375.668	
PZ09			0.334	376.583	
Tp6	1.450	377.233	1.134	375.783	
PZ05			0.581	376.652	
Tp7	1.311	377.762	0.782	376.451	
MW03 พื้นปูน			0.900	376.862	
MW03 ปากบ่อ			0.536	377.226	
Tp8	1.784	379.012	0.534	377.228	
Tp9	1.248	379.002	1.258	377.754	
PW01			1.143	377.859	
PZ02			1.003	377.999	
PZ04			0.742	378.260	
PZ01			0.868	378.134	
PW02			1.070	377.932	
MW02 พื้นปูน			1.070	377.932	
MW02 ปากบ่อ			0.803	378.199	
Tp10	1.634	379.791	0.845	378.157	
PZ03			1.172	378.619	
Tp11	1.419	380.322	0.888	378.903	
MW01 พื้นปูน			1.387	378.935	
MW01 ปากบ่อ			1.239	379.083	
Tp12	1.460	380.230	1.552	378.770	

**ตารางที่ ข-1** ค่ากำหนดสูงป่อสังเกตการณ์ ในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง (ต่อ)

STA	B.S	H.I	F.S	Elevation (m. MSL)	Remark
Tp13	1.050	380.180	1.100	379.130	
Tp14	1.015	379.351	1.844	378.336	
Tp15	1.039	378.581	1.809	377.542	
Tp16	0.995	377.840	1.736	376.845	
Tp17	1.129	377.210	1.759	376.081	
Tp18	0.910	376.329	1.791	375.419	
Tp19	1.060	375.474	1.915	374.414	
Tp20	1.009	374.675	1.808	373.666	
Tp21	1.220	374.148	1.747	372.928	
<b>BM1</b>	1.112	373.620	1.640	<b>372.508</b>	Sta156+650 CL
Tp22	1.524	373.803	1.341	372.279	
<b>PZ06</b>	1.491	374.253	1.041	<b>372.762</b>	
Tp23	1.226	373.901	1.578	372.675	
Tp24	1.329	373.718	1.512	372.389	
<b>PZ07</b>			1.267	<b>372.451</b>	
Tp25	1.321	373.534	1.505	372.213	
Tp26	1.280	373.465	1.349	372.185	
Tp27	1.481	372.776	2.170	371.295	
<b>PZ08</b>			1.287	<b>371.489</b>	
Tp28	1.658	372.724	1.710	371.066	
Tp29	1.340	372.269	1.795	370.929	
Tp30	1.874	373.292	0.851	371.418	
<b>BM2</b> บ่อบาดาล			1.279	<b>372.013</b>	ศูนย์บริการ ทางหลวง

## ตารางที่ ๕-2 ค่ากำหนดสูงระดับบ่อบาดาลในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง

หมายเลขบ่อ	ค่ากำหนดสูง (m. MSL) ระดับปากบ่อสังเกตการณ์	ค่าแสดงพิกัด	
		ตะวันออก (E)	เหนือ (N)
PZ01	378.134	746897	1619756
PZ02	377.999	746938	1619771
PZ03	378.619	746932	1619715
PZ04	378.260	746975	1619734
PZ05	376.652	746860	1619872
PZ06	372.762	746675	1620089
PZ07	372.451	746532	1620092
PZ08	371.489	746351	1620056
PZ09	376.583	746950	1620005
PZ10	375.288	746954	1620147
PW01	377.859	746962	1619776
PW02	377.932	746926	1619751
MW01	379.083	747001	1619679
MW02	378.199	746911	1619739
MW03	377.226	746888	1619824
UGW6	375.013	746831	1620023
BM2	372.013	746315	1620100

## ภาคผนวก ซ

### การเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจสอบสารปนเปื้อน

## การเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินเพื่อตรวจหาสารปนเปื้อน

### การเก็บตัวอย่างดิน

#### ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน

1. เจาะเก็บตัวอย่างดินแต่ละระดับด้วยเครื่องเจาะแบบหมุน (Rotary Drilling) ดังรูปที่ ซ-1 เมื่อได้ตัวอย่างดินแล้ว ทำการเก็บตัวอย่างดินสำหรับตรวจหาสารอินทรีย์ระเหยใส่ขวด Amber Vial เป็นลำดับแรกทันที จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินสำหรับวิเคราะห์โลหะหนักใส่ Polyethylene Box และสำหรับวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชใส่ขวด Amber Glass bottle ตามลำดับ โดยผู้เก็บตัวอย่างต้องใส่ถุงมือชนิด nonlatex เพื่อป้องกันการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่าง
2. หลังจากนั้น ทำการเก็บรักษาตัวอย่างดินไว้ที่อุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส และนำส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนทันที



รูปที่ ๕-1 อุปกรณ์และขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างดิน

## การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

วิธีการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2543) เรื่องกำหนดคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. วัดระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แต่ละบ่อ จากนั้นทำการสูบน้ำเก็บในบ่อออกเป็นเวลา 10-30 นาที
2. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่อง submersible pump แต่ละระดับ โดยตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในแต่ละจุด คณะที่ปรึกษาได้ทำการเก็บ 2 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ซ้ำ (duplication) เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
3. เก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่างแต่ละชนิด ให้เต็มขวดโดยไม่ให้มีอากาศภายในขวด และผู้เก็บตัวอย่างต้องสวมถุงมือชนิด nonlatex เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
4. เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 2$  องศาเซลเซียส และนำส่งห้องปฏิบัติการทันที



รูปที่ ๕-2 บ่อสังเกตการณ์ PZ02



รูปที่ ๕-3 การวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์



รูปที่ ๕-4 การหย่อน submersible pump เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำ



รูปที่ ๕-5 submersible pump



รูปที่ ๕-6 การเก็บตัวอย่างน้ำ



รูปที่ ๕-7 การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  ก่อนนำส่งห้องปฏิบัติการ



ภาคผนวก ฅ  
การสุ่มตัวอย่างของประชากร

## การสุ่มตัวอย่างของประชากร

จำนวนตัวอย่างเมื่อทราบจำนวนประชากร จำแนกตามระดับความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ที่ระดับความเชื่อมั่นในการเลือกตัวอย่างตั้งแต่ร้อยละ 90 ถึงร้อยละ 99

จำนวนประชากร (N)	จำนวนตัวอย่าง (n) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน (e)					
	±1%	±2%	±3%	±4%	±5%	±10%
500	-	-	-	-	222	83
1,000	-	-	-	385	286	91
1,500	-	-	638	441	316	94
2,000	-	-	714	476	333	95
2,500	-	1,250	769	500	345	96
3,000	-	1,364	811	517	353	97
3,500	-	1,458	843	530	359	97
4,000	-	1,538	870	541	364	98
4,500	-	1,607	891	549	367	98
5,000	-	1,667	909	556	370	98
6,000	-	1,765	938	566	375	98
7,000	-	1,842	959	574	378	99
8,000	-	1,905	976	580	381	99
9,000	-	1,957	989	584	383	99
10,000	5,000	2,000	1,000	588	385	99
15,000	6,000	2,143	1,034	600	390	99
20,000	6,667	2,222	1,053	606	392	100
25,000	7,143	2,273	1,064	610	394	100
50,000	8,333	2,381	1,087	617	397	100
100,000	9,091	2,439	1,099	621	398	100
Infinity	10,000	2,500	1,111	625	400	100

ที่มา : คู่มือการวิจัยเชิงปฏิบัติ ของ ดร.วิเชียร เกตุสิงห์

หมายเหตุ : (1) ตารางนี้ คำนวณจากสูตร 
$$n = \frac{Z^2 \pi(1-\pi)N}{Z^2 \pi(1-\pi) + Ne^2}$$
 โดยกำหนดค่า  $\pi = 0.5$  และ  $Z = 2$

(2) เครื่องหมาย - เป็นกรณีที่ข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการกระจายแบบโค้งปกติไม่สามารถนำมาใช้ได้ ไม่เหมาะสมที่จะใช้การคำนวณตามสูตรข้างต้น

## ภาคผนวก ญ

### ตัวอย่างแบบสอบถามการใช้น้ำภาคสนาม

**แบบสอบถามการใช้น้ำภาคสนาม**  
**การศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน**  
**บริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา**

ปัญหาการปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินโดยสารเคมีที่มนุษย์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมของประเทศไทย นับว่าเป็นปัญหาใหม่ที่มีผลต่อการทำลายทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของประเทศที่นับวันจะเพิ่มจำนวนและความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ดังเห็นได้จากการร้องเรียนของประชาชนที่เกิดขึ้นเสมอๆ ในขณะที่ปัญหาเหล่านี้ที่เกิดขึ้นในประเทศต่างๆ ที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในกลุ่มภูมิภาคยุโรปได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้สำหรับการตรวจสอบ ป้องกัน แก้ไขและฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมจึงมีเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกำเนิดขึ้นมากมาย ประเทศไทยก็อยู่ในสถานะเดียวกัน แม้ว่าปัญหาการปนเปื้อนของดิน และน้ำใต้ดินยังเป็นปัญหาใหม่ทางด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ แต่การเตรียมการในการสร้างบุคลากรที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ ตลอดจนองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าวนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ดำเนินการแก้ไขและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างทันที่และมีประสิทธิภาพ

การปนเปื้อนของสารพิษในพื้นที่ ก่อให้เกิดการร่วซึมของสารอินทรีย์ระเหยสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำใต้ดิน ดังนั้น การสำรวจปัจจัยเสี่ยงจากการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่บ่งชี้ความเสี่ยงของประชาชนในพื้นที่ การประเมินความเสี่ยง และการหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

**วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม**

1. สำรวจปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพการใช้น้ำ
2. สำรวจปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ
3. สำรวจปัจจัยเสี่ยงด้านเศรษฐกิจ
4. สำรวจปัจจัยเสี่ยงด้านสังคม
5. สำรวจปัจจัยเสี่ยงด้านอื่นๆ

โปรดกรอกแบบสอบถามและส่งแบบสอบถามของท่านกลับมาที่  
“หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ ห้อง 203 ตึก 2  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กทม.10330”  
ทางโครงการฯ ขอขอบพระคุณสำหรับความคิดเห็นของท่านเป็นอย่างสูง



4.2.2 ชนิดภาชนะหลักที่ใช้เก็บกักน้ำดูตารางที่ 1.1 (ชนิด ปริมาตรและจำนวนของภาชนะเก็บกักน้ำ)

ภาชนะ	กิจกรรมที่ใช้ เช่น ต้ม/อาบน้ำ	จำนวนภาชนะ	คุณภาพน้ำ เช่น ไส้/ขุ่น/สนิม	ใช้กี่ภาชนะหรือกี่ลิตร/วัน
<input type="checkbox"/> ถัง				
<input type="checkbox"/> ตุ่มเล็ก				
<input type="checkbox"/> ตุ่มใหญ่				
<input type="checkbox"/> โอ่ง				
<input type="checkbox"/> บ่อวงเล็ก				
<input type="checkbox"/> บ่อวงกลาง				
<input type="checkbox"/> บ่อวงใหญ่				
<input type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....				

4.2.3 สูบน้ำบาดาลครั้งละ ..... ชม. จำนวนวัน ..... วัน/สัปดาห์

4.2.4 ค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ 1)  น้ำมัน..... ลิตร/ครั้ง ..... บาท/ลิตร

2)  ไฟฟ้า..... บาท/เดือน

4.2.5 ช่วงระยะเวลาในการสูบน้ำ

1)  ตลอดปี 2)  บางเดือน (ระบุ).....

4.3 ถ้ำใช้น้ำประปา

4.3.1 ค่าน้ำประปา.....บาท/เดือน ยูนิตละ.....บาท จำนวนยูนิต.....

4.3.2 แหล่งน้ำ

1)  น้ำผิวดิน 2)  น้ำบาดาล 3)  อื่นๆ (ระบุ).....

4.3.3 หน่วยงาน

1)  ประปาหมู่บ้าน 2)  ประปาเทศบาล 3)  ประปาภูมิภาค 4)  อื่นๆ (ระบุ).....

4.4 ถ้ำใช้น้ำจากคลอง

4.4.1 มีภาชนะบรรจุหรือไม่ 1)  มี (ตอบข้อ 4.4.2) 2)  ไม่มี (ข้ามไปตอบข้อ 4.4.3)

ตารางที่ 1.1 ชนิดและปริมาตรของภาชนะเก็บกักน้ำ

ภาชนะ	(1) ถัง	(2) ตุ่มเล็ก	(3) ตุ่มใหญ่	(4) โอ่ง	(5) บ่อวงเล็ก(1 วง)	(6) บ่อวงกลาง(1 วง)	(7) บ่อวงใหญ่(1 วง)
ปริมาตร (ลิตร)	16	222	1,018	138	135	275	1,570
กว้าง/สูง (ชม.)	27/28	77/57	137/90	60/60	70/35	100/35	200/50

4.4.2 ชนิดภาชนะหลักที่ใช้เก็บกักน้ำดูตารางที่ 1.1 (ชนิด ปริมาตรและจำนวนของภาชนะเก็บกักน้ำ)

ภาชนะ	กิจกรรมที่ใช้ เช่น ต้ม/อาบน้ำ	จำนวนภาชนะ	คุณภาพน้ำ เช่น ใส/ขุ่น/สนิม	ใช้กี่ภาชนะหรือกี่ลิตร/วัน
<input type="checkbox"/> ถัง				
<input type="checkbox"/> ตุ่มเล็ก				
<input type="checkbox"/> ตุ่มใหญ่				
<input type="checkbox"/> ไถ่				
<input type="checkbox"/> บ่อวงเล็ก				
<input type="checkbox"/> บ่อวงกลาง				
<input type="checkbox"/> บ่อวงใหญ่				
<input type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....				

4.4.3 สูบน้ำจากคลองครั้งละ ..... ชม. จำนวนวัน ..... วัน/สัปดาห์

4.4.4 ค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ 1)  น้ำมัน..... ลิตร/ครั้ง ..... บาท/ลิตร  
2)  ไฟฟ้า..... บาท/เดือน

4.4.5 ช่วงระยะเวลาในการสูบน้ำ

1)  ตลอดปี 2)  บางเดือน (ระบุ).....

4.5 ถ้ำน้ำจากสระน้ำ

4.5.1 มีภาชนะบรรจุหรือไม่ 1)  มี (ตอบข้อ 4.5.2) 2)  ไม่มี (ข้ามไปตอบข้อ 4.5.3)

4.5.2 ชนิดภาชนะหลักที่ใช้เก็บกักน้ำดูตารางที่ 1.1 (ชนิด ปริมาตรและจำนวนของภาชนะเก็บกักน้ำ)

ภาชนะ	กิจกรรมที่ใช้ เช่น ต้ม/อาบน้ำ	จำนวนภาชนะ	คุณภาพน้ำ เช่น ใส/ขุ่น/สนิม	ใช้กี่ภาชนะหรือกี่ลิตร/วัน
<input type="checkbox"/> ถัง				
<input type="checkbox"/> ตุ่มเล็ก				
<input type="checkbox"/> ตุ่มใหญ่				
<input type="checkbox"/> ไถ่				
<input type="checkbox"/> บ่อวงเล็ก				
<input type="checkbox"/> บ่อวงกลาง				
<input type="checkbox"/> บ่อวงใหญ่				
<input type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....				

4.5.3 สูบน้ำจากสระครั้งละ ..... ชม. จำนวนวัน ..... วัน/สัปดาห์

4.5.4 ค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ 1)  น้ำมัน..... ลิตร/ครั้ง ..... บาท/ลิตร  
2)  ไฟฟ้า..... บาท/เดือน





6. ข้อมูลด้านเกษตรกรรม (พื้นที่ครอบครอง ทั้งเช่าและซื้อรวม.....ไร่)

พืช	1) <input type="checkbox"/> .....	2) <input type="checkbox"/> .....	3) <input type="checkbox"/> .....	4) <input type="checkbox"/> .....	5) <input type="checkbox"/> .....
พื้นที่เพาะปลูก	.....ไร่	.....ไร่	.....ไร่	.....ไร่	.....ไร่
อยู่ในเขตชลประทานหรือไม่	1) <input type="checkbox"/> อยู่ .....ไร่ 2) <input type="checkbox"/> ไม่อยู่.....ไร่	1) <input type="checkbox"/> อยู่ .....ไร่ 2) <input type="checkbox"/> ไม่อยู่.....ไร่	1) <input type="checkbox"/> อยู่ .....ไร่ 2) <input type="checkbox"/> ไม่อยู่.....ไร่	1) <input type="checkbox"/> อยู่ .....ไร่ 2) <input type="checkbox"/> ไม่อยู่.....ไร่	1) <input type="checkbox"/> อยู่ .....ไร่ 2) <input type="checkbox"/> ไม่อยู่.....ไร่
พืช	1) <input type="checkbox"/> .....	2) <input type="checkbox"/> .....	3) <input type="checkbox"/> .....	4) <input type="checkbox"/> .....	5) <input type="checkbox"/> .....
เริ่มเพาะปลูกเดือน.....ถึง.....					
1 รอบเพาะปลูกใช้เวลากี่เดือน					
เพาะปลูก.....รอบ/ปี					
เก็บผลผลิตตั้งแต่เดือน.....ถึง.....					
เก็บผลผลิตได้.....ครั้ง/รอบ					
ผลผลิตต่อไร่ (หน่วย/ไร่)					
แหล่งน้ำที่ใช้ (เรียงจากหลักไปรอง 3 อันดับ*) [1] น้ำฝน 2) บาดาล 3) คลองชลฯ 4) คลองธรรมชาติ 5) สระ 6) อื่นๆ]	อันดับ 1..... อันดับ 2..... อันดับ 3.....	อันดับ 1..... อันดับ 2..... อันดับ 3.....	อันดับ 1..... อันดับ 2..... อันดับ 3.....	อันดับ 1..... อันดับ 2..... อันดับ 3.....	อันดับ 1..... อันดับ 2..... อันดับ 3.....
การให้น้ำ เดือน.....ถึง.....					
จำนวนบ่อบาดาลในพื้นที่	.....บ่อ	.....บ่อ	.....บ่อ	.....บ่อ	.....บ่อ
ใน 1 ฤดูเพาะปลูกสูบน้ำกี่ครั้ง (*)					
ใน 1 ครั้งสูบน้ำกี่วัน (*)					
ใน 1 วันสูบน้ำกี่ชั่วโมง (*)					
สูบน้ำได้.....ไร่/วัน					
ค่าเชื้อเพลิงในการสูบน้ำ	.....ลิตร/ครั้ง .....บาท	.....ลิตร/ครั้ง .....บาท	.....ลิตร/ครั้ง .....บาท	.....ลิตร/ครั้ง .....บาท	.....ลิตร/ครั้ง .....บาท

7. ข้อมูลบ่อบาดาล (ถ้ามี)

7.1 จำนวนบ่อที่ใช้อุปโภคบริโภค (บ่อส่วนตัว).....บ่อ      7.2 จำนวนบ่อที่ใช้ในการเกษตร.....บ่อ

7.3 รายละเอียดบ่อบาดาล

บ่อที่	1	2	3	4
ที่ตั้ง (เลือกตอบ)	1) <input type="checkbox"/> บ้าน 2) <input type="checkbox"/> พท.เกษตร	1) <input type="checkbox"/> บ้าน 2) <input type="checkbox"/> พท.เกษตร	1) <input type="checkbox"/> บ้าน 2) <input type="checkbox"/> พท.เกษตร	1) <input type="checkbox"/> บ้าน 2) <input type="checkbox"/> พท.เกษตร
ขนาดบ่อ (นิ้ว)				
ขนาดท่อดูด (นิ้ว)				
ความลึกบ่อจากผิวดิน (เมตร)				
ผู้ที่จะมาให้ (เลือกตอบ)	1) <input type="checkbox"/> เจาะเอง 2) <input type="checkbox"/> ราชการ ร ระบุ.....	1) <input type="checkbox"/> เจาะเอง 2) <input type="checkbox"/> ราชการ ร ระบุ.....	1) <input type="checkbox"/> เจาะเอง 2) <input type="checkbox"/> ราชการ ร ระบุ.....	1) <input type="checkbox"/> เจาะเอง 2) <input type="checkbox"/> ราชการ ร ระบุ.....
คุณภาพน้ำบาดาล (เลือกตอบ)	1) <input type="checkbox"/> ดี (ระบุ)..... 2) <input type="checkbox"/> ไม่ดี(ระบุ).....	1) <input type="checkbox"/> ดี (ระบุ)..... 2) <input type="checkbox"/> ไม่ดี(ระบุ).....	1) <input type="checkbox"/> ดี (ระบุ)..... 2) <input type="checkbox"/> ไม่ดี(ระบุ).....	1) <input type="checkbox"/> ดี (ระบุ)..... 2) <input type="checkbox"/> ไม่ดี(ระบุ).....

8. จำนวนสมาชิกในครัวเรือนจำแนกตามอายุ

ที่	ช่วงอายุ (ปี)	เพศชาย (คน)	เพศหญิง (คน)
1	ต่ำกว่า 15		
2	15-30		
3	30-45		
4	45-60		
5	สูงกว่า 60		

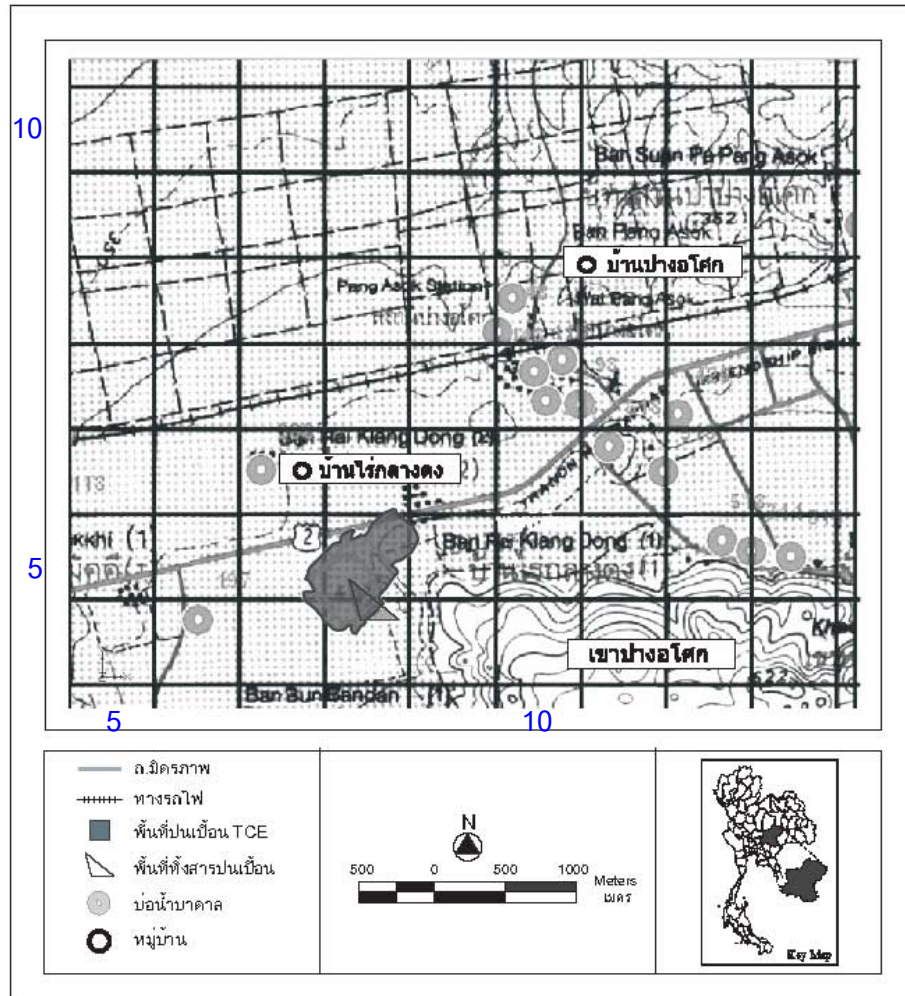
9. อัตราป่วยของสมาชิกในครัวเรือน

ที่	กลุ่มโรค	จำนวนสมาชิกที่ป่วย (คน)	อัตราการป่วยต่อครั้ง
1	กลุ่มโรคติดเชื้อระบบทางเดินอาหารและน้ำ เช่น โรคอุจจาระร่วง อาหารเป็นพิษ		1) <input type="checkbox"/> น้อยกว่า 1 เดือน 2) <input type="checkbox"/> 1-6 เดือน 3) <input type="checkbox"/> 6-12 เดือน 4) <input type="checkbox"/> 1-5 ปี 5) <input type="checkbox"/> 5 ปีขึ้นไป 6) <input type="checkbox"/> เรื้อรัง 7) <input type="checkbox"/> ไม่เคย
2	กลุ่มโรคติดต่อทางเดินหายใจ เช่น ไข้เลือดออก มาลาเรีย		1) <input type="checkbox"/> น้อยกว่า 1 เดือน 2) <input type="checkbox"/> 1-6 เดือน 3) <input type="checkbox"/> 6-12 เดือน 4) <input type="checkbox"/> 1-5 ปี 5) <input type="checkbox"/> 5 ปีขึ้นไป 6) <input type="checkbox"/> เรื้อรัง 7) <input type="checkbox"/> ไม่เคย
3	กลุ่มโรคติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอดบวม ไข้หวัดใหญ่ วัณโรค		1) <input type="checkbox"/> น้อยกว่า 1 เดือน 2) <input type="checkbox"/> 1-6 เดือน 3) <input type="checkbox"/> 6-12 เดือน 4) <input type="checkbox"/> 1-5 ปี 5) <input type="checkbox"/> 5 ปีขึ้นไป 6) <input type="checkbox"/> เรื้อรัง 7) <input type="checkbox"/> ไม่เคย
4	กลุ่มโรคติดต่อทางผิวหนัง เช่น โรคฉี่หนู (โรคเล็ปโตสไปโรซิส)		1) <input type="checkbox"/> น้อยกว่า 1 เดือน 2) <input type="checkbox"/> 1-6 เดือน 3) <input type="checkbox"/> 6-12 เดือน 4) <input type="checkbox"/> 1-5 ปี 5) <input type="checkbox"/> 5 ปีขึ้นไป 6) <input type="checkbox"/> เรื้อรัง 7) <input type="checkbox"/> ไม่เคย
5	กลุ่มโรคติดต่อที่ป้องกันด้วยวัคซีน เช่น โรคหัด คางทูม สุกใส		1) <input type="checkbox"/> น้อยกว่า 1 เดือน 2) <input type="checkbox"/> 1-6 เดือน 3) <input type="checkbox"/> 6-12 เดือน 4) <input type="checkbox"/> 1-5 ปี 5) <input type="checkbox"/> 5 ปีขึ้นไป 6) <input type="checkbox"/> เรื้อรัง 7) <input type="checkbox"/> ไม่เคย
6	กลุ่มโรคมะเร็ง ระบุ.....		เริ่มป่วยเมื่อ.....อาการอยู่ในระยะ..... เข้ารับการรักษาเมื่อ.....



ภาคผนวก ก  
แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE

### แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE

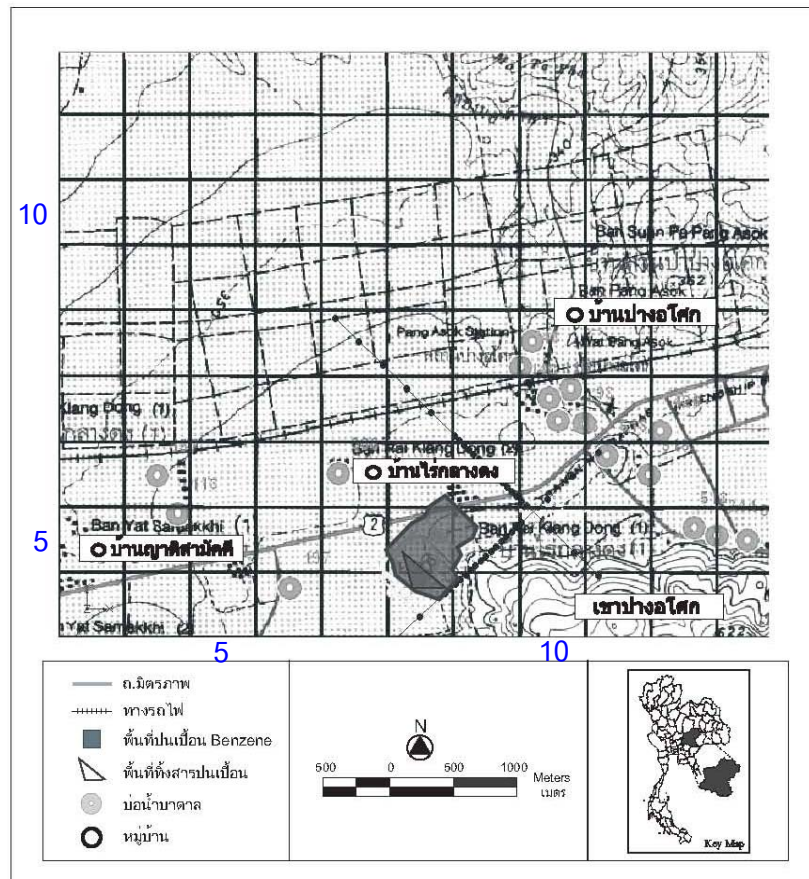


รูปที่ ๑-1 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ 2



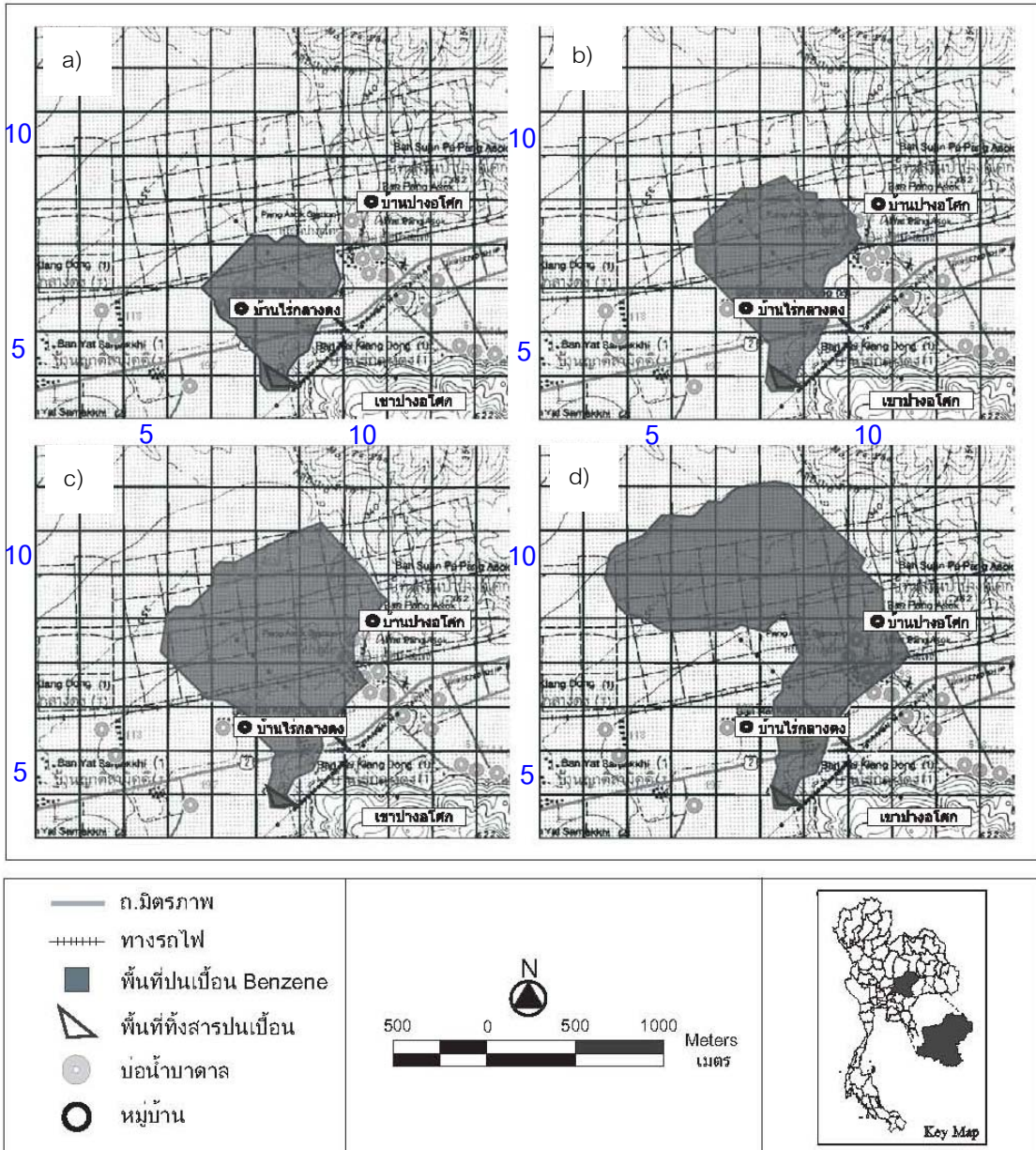
ภาคผนวก ก  
แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ Benzene

### แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ BENZENE



รูปที่ ๑-1 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ 2

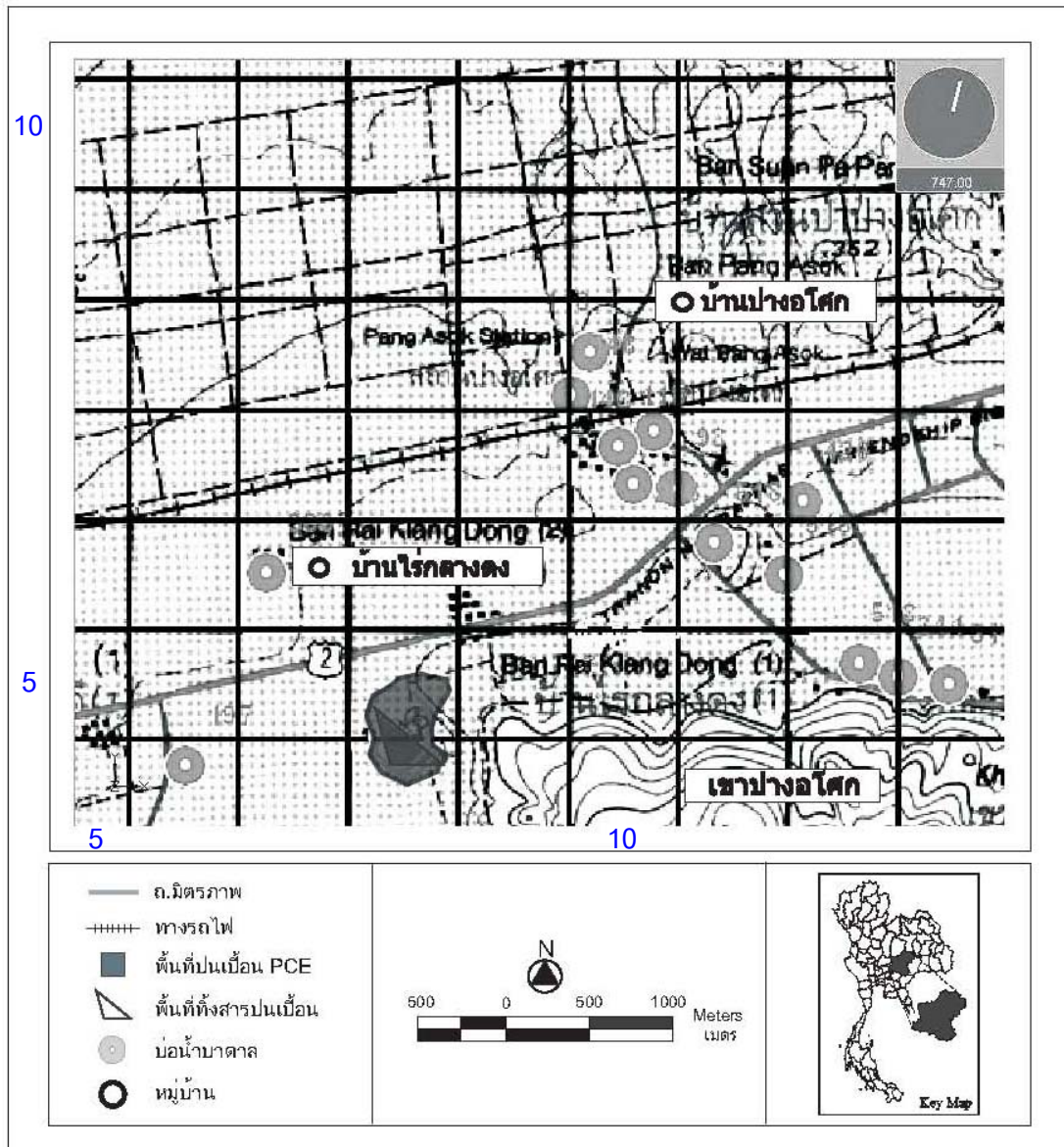




รูปที่ ๒-2 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ a) 10 b) 14 c) 25 และ d) 50

ภาคผนวก ฐ  
แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ PCE

### แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ PCE



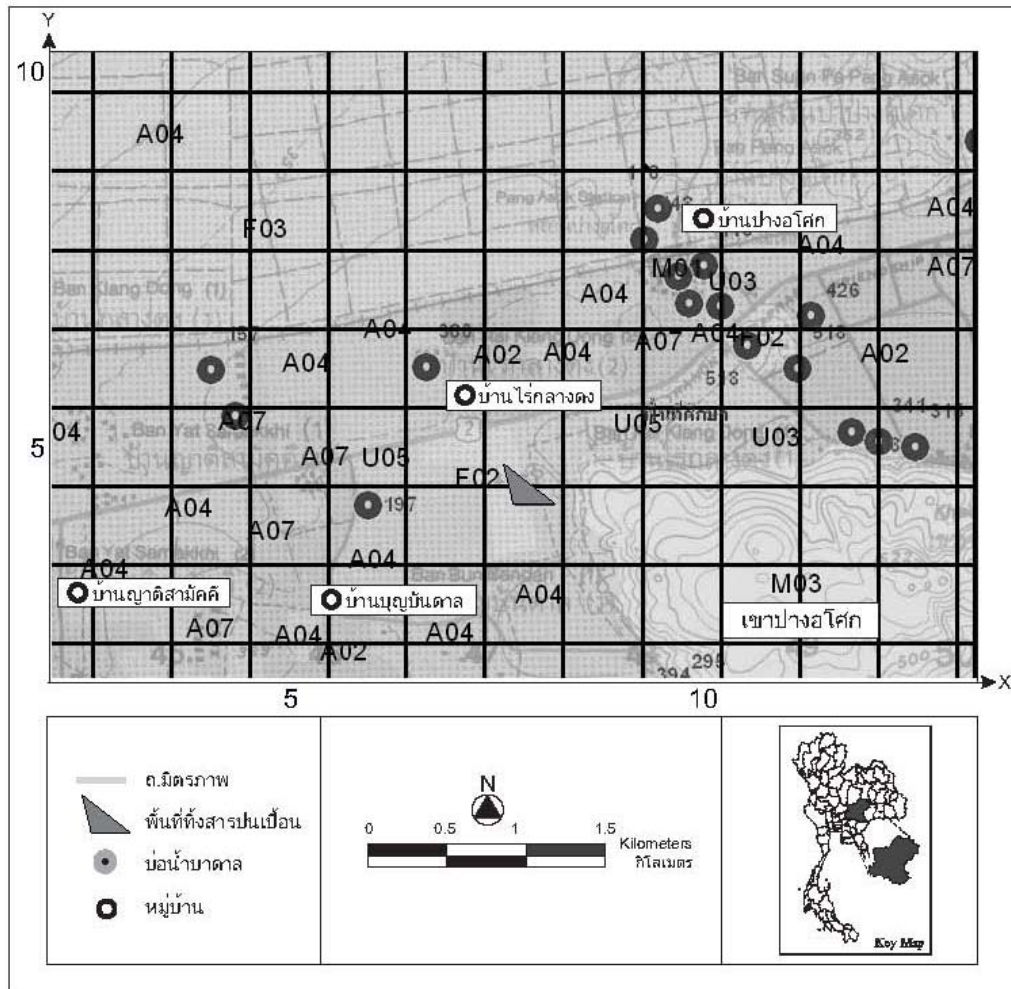
รูปที่ ๑-1 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ PCE ปีที่ 2



## ภาคผนวก ก

### แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

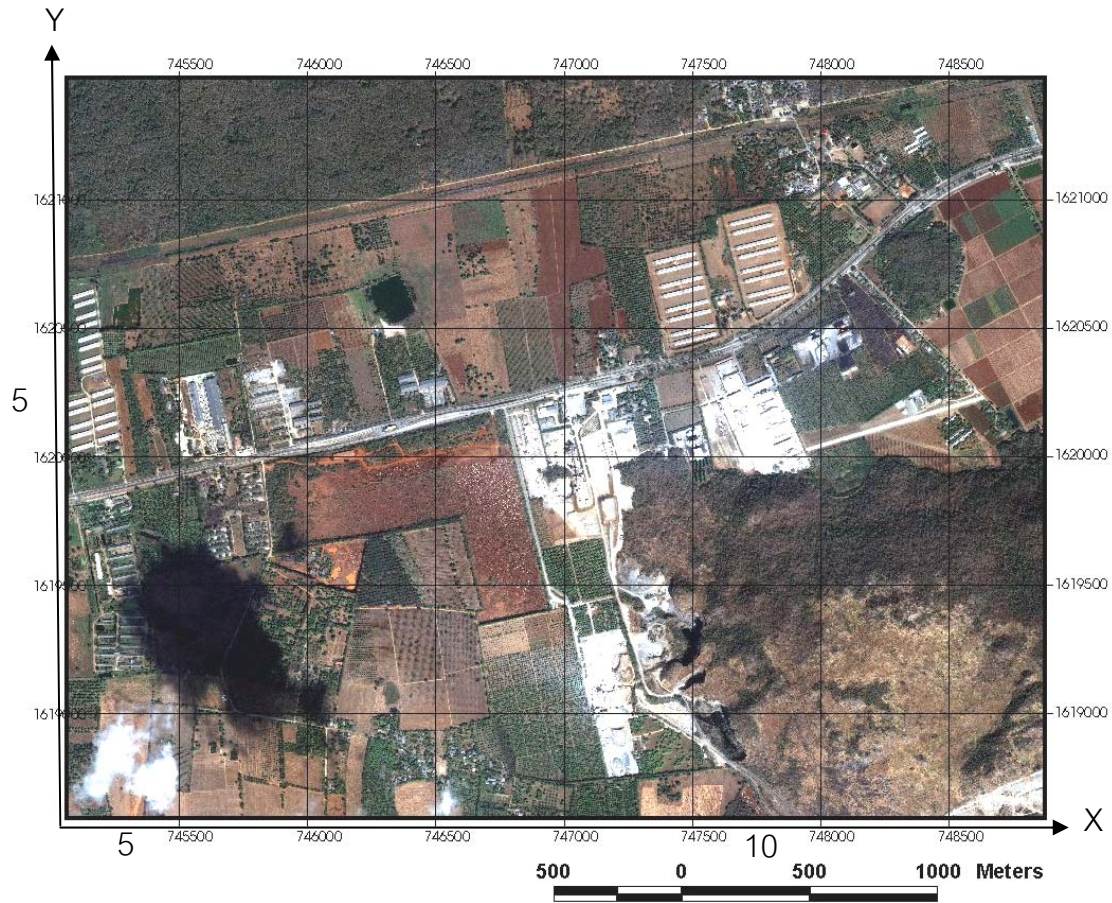
แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) และแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ ๓-1 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) โดยกรมพัฒนาที่ดิน

**หมายเหตุ**

A02	พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่	F03	พื้นที่ป่า
A04	พื้นที่เพาะปลูกไม้ผล	M03	พื้นที่เหมืองแร่ บ่อขุด
A07	พื้นที่ทุ่งหญ้าและเลี้ยงสัตว์	M01	ทุ่งหญ้าธรรมชาติ
U02	พื้นที่อยู่อาศัย		
U03	สถานที่ราชการ		
U05	พื้นที่อุตสาหกรรม		



รูปที่ ๓-2 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน

ภาคผนวก ค  
ผลการประเมินผลกระทบการลดลงของที่ดินทำกิน  
เนื่องจากได้รับการปนเปื้อน



ผลการประเมินผลกระทบการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการป้อนปุ๋ย

ตารางที่ ๓-๑ มูลค่าทางการเงินของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการป้อนปุ๋ย

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	-	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00
(7,5)	-	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00
(7,6)	-	-	1,433,208.33	2,866,416.67	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(8,4)	-	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00
(8,5)	-	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00
(8,6)	-	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(9,5)	-	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00
(9,6)	-	-	-	1,237,222.22	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67
(9,7)	-	-	-	-	-	275,825.00	551,650.00	827,475.00	1,103,300.00	1,379,125.00
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม		14,296,875.00	15,730,083.33	18,400,513.89	22,308,166.67	22,583,991.67	22,859,816.67	23,135,641.67	23,411,466.67	23,687,291.67

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(6,6)	-	-	-	-	662,520.83	1,325,041.67	1,987,562.50	2,650,083.33	3,312,604.17	3,975,125.00
(7,4)	790,968.75	527,312.50	263,656.25	-	175,770.83	351,541.67	527,312.50	703,083.33	878,854.17	1,054,625.00
(7,5)	2,798,812.50	1,865,875.00	932,937.50	-	621,958.33	1,243,916.67	1,865,875.00	2,487,833.33	3,109,791.67	3,731,750.00
(7,6 )	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(8,4)	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00
(8,5)	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00
(8,6)	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(9,5)	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00
(9,6)	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67
(9,7)	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	22,490,697.92	21,294,104.17	20,097,510.42	18,900,916.67	20,361,166.67	21,821,416.67	23,281,666.67	24,741,916.67	26,202,166.67	27,662,416.67

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(6,6)	3,180,100.00	2,385,075.00	1,590,050.00	795,025.00	-	-	-	-	-	-
(7,4)	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,054,625.00	1,012,440.00	970,255.00	928,070.00	885,885.00	843,700.00
(7,5)	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,731,750.00	3,582,480.00	3,433,210.00	3,283,940.00	3,134,670.00	2,985,400.00
(7,6 )	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,127,640.00	3,955,655.00	3,783,670.00	3,611,685.00	3,439,700.00
(8,4)	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00
(8,5)	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00
(8,6)	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(9,5)	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00
(9,6)	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67
(9,7)	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00
(10,7)	48,675.00	97,350.00	146,025.00	194,700.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00
(11,7)	405,625.00	811,250.00	1,216,875.00	1,622,500.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00
รวม	27,321,691.67	26,980,966.67	26,640,241.67	26,299,516.67	25,958,791.67	25,595,351.67	25,231,911.67	24,868,471.67	24,505,031.67	24,141,591.67

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	801,515.00	759,330.00	717,145.00	674,960.00	632,775.00	590,590.00	548,405.00	506,220.00	464,035.00	421,850.00
(7,5)	2,836,130.00	2,686,860.00	2,537,590.00	2,388,320.00	2,239,050.00	2,089,780.00	1,940,510.00	1,791,240.00	1,641,970.00	1,492,700.00
(7,6)	3,267,715.00	3,095,730.00	2,923,745.00	2,751,760.00	2,579,775.00	2,407,790.00	2,235,805.00	2,063,820.00	1,891,835.00	1,719,850.00
(8,4)	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00
(8,5)	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00
(8,6)	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(9,5)	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00
(9,6)	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67
(9,7)	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00
(10,7)	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00
(11,7)	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00
รวม	23,778,151.67	23,414,711.67	23,051,271.67	22,687,831.67	22,324,391.67	21,960,951.67	21,597,511.67	21,234,071.67	20,870,631.67	20,507,191.67

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	379,665.00	337,480.00	295,295.00	253,110.00	210,925.00	168,740.00	126,555.00	84,370.00	42,185.00	-
(7,5)	1,343,430.00	1,194,160.00	1,044,890.00	895,620.00	746,350.00	597,080.00	447,810.00	298,540.00	149,270.00	-
(7,6 )	1,547,865.00	1,375,880.00	1,203,895.00	1,031,910.00	859,925.00	687,940.00	515,955.00	343,970.00	171,985.00	-
(8,4)	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00	973,500.00
(8,5)	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00	2,677,125.00
(8,6)	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00	4,299,625.00
(9,5)	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00	1,560,250.00
(9,6)	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67	3,711,666.67
(9,7)	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00	1,379,125.00
(10,7)	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00	243,375.00
(11,7)	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00	2,028,125.00
รวม	20,143,751.67	19,780,311.67	19,416,871.67	19,053,431.67	18,689,991.67	18,326,551.67	17,963,111.67	17,599,671.67	17,236,231.67	16,872,791.67

ตารางที่ ฅ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเป็น

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	-	1,054,625.00	976,504.63	904,170.95	837,195.33	775,180.86	717,760.05	664,592.64	615,363.56	569,781.07
(7,5)	-	3,731,750.00	3,455,324.07	3,199,374.14	2,962,383.47	2,742,947.65	2,539,766.35	2,351,635.51	2,177,440.28	2,016,148.41
(7,6)	-	-	1,327,044.75	2,457,490.28	3,413,180.95	3,160,352.73	2,926,252.53	2,709,493.08	2,508,789.89	2,322,953.60
(8,4)	-	973,500.00	901,388.89	834,619.34	772,795.69	715,551.56	662,547.74	613,470.13	568,027.90	525,951.76
(8,5)	-	2,677,125.00	2,478,819.44	2,295,203.19	2,125,188.14	1,967,766.79	1,822,006.29	1,687,042.86	1,562,076.72	1,446,367.34
(8,6)	-	4,299,625.00	3,981,134.26	3,686,235.43	3,413,180.95	3,160,352.73	2,926,252.53	2,709,493.08	2,508,789.89	2,322,953.60
(9,5)	-	1,560,250.00	1,444,675.93	1,337,662.89	1,238,576.75	1,146,830.33	1,061,879.93	983,222.16	910,390.89	842,954.53
(9,6)	-	-	-	1,060,718.64	2,946,440.67	2,728,185.80	2,526,097.97	2,338,979.60	2,165,721.85	2,005,298.01
(9,7)	-	-	-	-	-	202,739.61	375,443.72	521,449.61	643,764.95	745,098.33
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>รวม</b>		14,296,875.00	14,564,891.98	15,775,474.87	17,708,941.94	16,599,908.07	15,558,007.11	14,579,378.68	13,660,365.94	12,797,506.65

ตารางที่ ฅ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(6,6)	-	-	-	-	243,607.54	451,125.07	626,562.59	773,534.06	895,294.05	994,771.17
(7,4)	395,681.30	244,247.72	113,077.65	-	64,630.57	119,686.24	166,230.89	205,223.32	237,526.99	263,918.88
(7,5)	1,400,103.06	864,261.15	400,120.90	-	228,692.79	423,505.16	588,201.62	726,174.83	840,480.13	933,866.81
(7,6)	2,150,882.97	1,991,558.30	1,844,035.46	1,707,440.24	1,580,963.19	1,463,854.80	1,355,421.12	1,255,019.55	1,162,055.14	1,075,976.98
(8,4)	486,992.37	450,918.86	417,517.46	386,590.24	357,953.93	331,438.82	306,887.80	284,155.37	263,106.82	243,617.43
(8,5)	1,339,229.02	1,240,026.87	1,148,173.02	1,063,123.17	984,373.31	911,456.77	843,941.45	781,427.27	723,543.77	669,947.93
(8,6)	2,150,882.97	1,991,558.30	1,844,035.46	1,707,440.24	1,580,963.19	1,463,854.80	1,355,421.12	1,255,019.55	1,162,055.14	1,075,976.98
(9,5)	780,513.45	722,697.64	669,164.48	619,596.74	573,700.69	531,204.34	491,855.87	455,422.10	421,687.13	390,451.05
(9,6)	1,856,757.42	1,719,219.83	1,591,870.21	1,473,953.90	1,364,772.13	1,263,677.90	1,170,072.13	1,083,400.12	1,003,148.26	928,840.98
(9,7)	689,905.86	638,801.72	591,483.07	547,669.51	507,101.40	469,538.33	434,757.72	402,553.44	372,734.67	345,124.69
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>รวม</b>	11,250,948.40	9,863,290.38	8,619,477.73	7,505,814.06	7,486,758.73	7,429,342.24	7,339,352.29	7,221,929.62	7,081,632.11	6,922,492.91

ตารางที่ ฅ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(6,6)	736,867.53	511,713.57	315,872.57	146,237.30	-	-	-	-	-	-
(7,4)	244,369.34	226,267.90	209,507.32	193,988.26	179,618.76	159,661.12	141,674.60	125,476.70	110,901.12	97,796.41
(7,5)	864,691.49	800,640.27	741,333.59	686,419.99	635,574.06	564,954.72	501,310.13	443,994.48	392,419.36	346,048.82
(7,6)	996,274.98	922,476.84	854,145.22	790,875.20	732,291.85	650,926.09	577,596.46	511,558.86	452,135.35	398,708.43
(8,4)	225,571.69	208,862.68	193,391.37	179,066.08	165,801.93	153,520.30	142,148.43	131,618.92	121,869.37	112,842.01
(8,5)	620,322.16	574,372.37	531,826.27	492,431.73	455,955.31	422,180.84	390,908.18	361,952.02	335,140.76	310,315.52
(8,6)	996,274.98	922,476.84	854,145.22	790,875.20	732,291.85	678,048.01	627,822.23	581,316.88	538,256.37	498,385.53
(9,5)	361,528.75	334,748.84	309,952.63	286,993.18	265,734.42	246,050.39	227,824.44	210,948.55	195,322.73	180,854.38
(9,6)	860,037.94	796,331.43	737,343.92	682,725.85	632,153.56	585,327.37	541,969.79	501,823.88	464,651.74	430,233.09
(9,7)	319,559.90	295,888.80	273,971.11	253,676.95	234,886.07	217,487.10	201,376.94	186,460.13	172,648.27	159,859.51
(10,7)	11,278.58	20,886.27	29,008.71	35,813.22	41,450.48	12,028.25	22,274.54	30,936.87	38,193.66	44,205.63
(11,7)	93,988.21	174,052.23	241,739.21	298,443.47	345,420.69	38,380.08	35,537.11	32,904.73	30,467.34	28,210.50
<b>รวม</b>	<b>6,330,765.57</b>	<b>5,788,718.03</b>	<b>5,292,237.12</b>	<b>4,837,546.43</b>	<b>4,421,178.98</b>	<b>319,833.97</b>	<b>296,142.56</b>	<b>274,206.08</b>	<b>253,894.52</b>	<b>235,087.51</b>



ตารางที่ ฅ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปรับเบื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	86,024.62	75,460.19	65,988.85	57,506.62	49,918.94	43,139.83	37,091.12	31,701.81	26,907.40	22,649.33
(7,5)	304,394.80	267,012.98	233,499.00	203,484.97	176,636.26	152,648.62	131,245.51	112,175.65	95,210.81	80,143.78
(7,6)	350,715.74	307,645.39	269,031.46	234,450.08	203,515.69	175,877.76	151,217.65	129,245.85	109,699.41	92,339.57
(8,4)	104,483.34	96,743.83	89,577.62	82,942.24	76,798.37	71,109.61	65,842.23	60,965.03	56,449.10	52,267.68
(8,5)	287,329.18	266,045.54	246,338.46	228,091.17	211,195.53	195,551.42	181,066.13	167,653.82	155,235.02	143,736.13
(8,6)	461,468.08	427,285.26	395,634.50	366,328.24	339,192.82	314,067.42	290,803.17	269,262.20	249,316.85	230,848.93
(9,5)	167,457.76	155,053.48	143,568.04	132,933.37	123,086.45	113,968.94	105,526.80	97,710.00	90,472.22	83,770.57
(9,6)	398,363.98	368,855.53	341,532.90	316,234.17	292,809.41	271,119.83	251,036.88	232,441.55	215,223.66	199,281.17
(9,7)	148,018.06	137,053.76	126,901.63	117,501.51	108,797.70	100,738.61	93,276.49	86,367.12	79,969.55	74,045.88
(10,7)	49,117.37	53,058.88	56,146.97	58,486.42	60,171.22	61,285.50	61,904.54	62,095.61	61,918.70	61,427.28
(11,7)	26,120.83	24,185.96	22,394.41	20,735.56	19,199.59	17,777.40	16,460.56	15,241.26	14,112.27	13,066.92
<b>รวม</b>	<b>217,673.62</b>	<b>201,549.65</b>	<b>186,620.05</b>	<b>172,796.34</b>	<b>159,996.61</b>	<b>148,145.01</b>	<b>137,171.31</b>	<b>127,010.47</b>	<b>117,602.29</b>	<b>108,891.01</b>

ตารางที่ ฅ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	18,874.44	15,534.52	12,585.84	9,988.76	7,707.38	5,709.17	3,964.70	2,447.35	1,133.03	-
(7,5)	66,786.48	54,968.30	44,534.50	35,344.84	27,272.26	20,201.67	14,028.94	8,659.84	4,009.18	-
(7,6)	76,949.64	63,333.04	51,311.49	40,723.41	31,422.38	23,275.84	16,163.78	9,977.64	4,619.28	-
(8,4)	48,396.00	44,811.11	41,491.77	38,418.31	35,572.51	32,937.51	30,497.69	28,238.60	26,146.85	24,210.05
(8,5)	133,089.01	123,230.56	114,102.37	105,650.34	97,824.39	90,578.14	83,868.65	77,656.16	71,903.85	66,577.64
(8,6)	213,749.01	197,915.75	183,255.33	169,680.86	157,111.90	145,473.99	134,698.13	124,720.50	115,481.94	106,927.72
(9,5)	77,565.34	71,819.76	66,499.78	61,573.87	57,012.84	52,789.67	48,879.32	45,258.63	41,906.14	38,801.98
(9,6)	184,519.60	170,851.48	158,195.82	146,477.61	135,627.41	125,580.94	116,278.65	107,665.41	99,690.20	92,305.74
(9,7)	68,561.00	63,482.41	58,780.01	54,425.94	50,394.38	46,661.47	43,205.06	40,004.69	37,041.38	34,297.57
(10,7)	60,668.92	59,685.86	58,515.55	57,191.12	55,741.83	54,193.45	52,568.60	50,887.11	49,166.29	47,421.19
(11,7)	12,099.00	11,202.78	10,372.94	9,604.58	8,893.13	8,234.38	7,624.42	7,059.65	6,536.71	6,052.51
<b>รวม</b>	100,825.01	93,356.49	86,441.19	80,038.14	74,109.39	68,619.80	63,536.86	58,830.42	54,472.61	50,437.60

## ภาคผนวก ณ

ผลการประเมินผลกระทบการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

ผลการประเมินผลกระทบการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(9,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(9,8)	-	-	-	124,065.99	127,167.64	130,346.83	133,605.51	136,945.64	140,369.28	143,878.52
(10,7)	-	-	-	124,065.99	127,167.64	130,346.83	133,605.51	136,945.64	140,369.28	143,878.52
(10,8)	-	-	-	124,065.99	127,167.64	130,346.83	133,605.51	136,945.64	140,369.28	143,878.52
(11,7)	-	-	-	124,065.99	127,167.64	130,346.83	133,605.51	136,945.64	140,369.28	143,878.52
รวม	-	-	-	496,263.98	508,670.58	521,387.34	534,422.02	547,782.57	561,477.14	575,514.07

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(9,8)	147,475.5	151,162.4	154,941.4	158,815.0	162,785.34	166,854.97	171,026.34	175,302.00	179,684.55	184,176.67
(10,7)	147,475.5	151,162.4	154,941.4	158,815.0	162,785.34	166,854.97	171,026.34	175,302.00	179,684.55	184,176.67
(10,8)	147,475.5	151,162.4	154,941.4	158,815.0	162,785.34	166,854.97	171,026.34	175,302.00	179,684.55	184,176.67
(11,7)	147,475.5	151,162.4	154,941.4	158,815.0	162,785.34	166,854.97	171,026.34	175,302.00	179,684.55	184,176.67
<b>รวม</b>	<b>589,901.92</b>	<b>604,649.47</b>	<b>619,765.70</b>	<b>635,259.85</b>	<b>651,141.34</b>	<b>667,419.88</b>	<b>684,105.37</b>	<b>701,208.01</b>	<b>718,738.21</b>	<b>736,706.66</b>
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(9,8)	188,781.08	193,500.61	198,338.12	203,296.58	208,378.99	213,588.47	218,928.18	224,401.38	230,011.42	235,761.70
(10,7)	188,781.08	193,500.61	198,338.12	203,296.58	208,378.99	213,588.47	218,928.18	224,401.38	230,011.42	235,761.70
(10,8)	188,781.08	193,500.61	198,338.12	203,296.58	208,378.99	213,588.47	218,928.18	224,401.38	230,011.42	235,761.70
(11,7)	188,781.08	193,500.61	198,338.12	203,296.58	208,378.99	213,588.47	218,928.18	224,401.38	230,011.42	235,761.70
<b>รวม</b>	<b>755,124.33</b>	<b>774,002.44</b>	<b>793,352.50</b>	<b>813,186.31</b>	<b>833,515.97</b>	<b>854,353.87</b>	<b>875,712.71</b>	<b>897,605.53</b>	<b>920,045.67</b>	<b>943,046.81</b>

ตารางที่ ฅ-1 มูลค่าทางการเงินของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(9,8)	241,655.75	247,697.14	253,889.57	260,236.81	266,742.73	273,411.30	280,246.58	287,252.74	294,434.06	301,794.91
(10,7)	241,655.75	247,697.14	253,889.57	260,236.81	266,742.73	273,411.30	280,246.58	287,252.74	294,434.06	301,794.91
(10,8)	241,655.75	247,697.14	253,889.57	260,236.81	266,742.73	273,411.30	280,246.58	287,252.74	294,434.06	301,794.91
(11,7)	241,655.75	247,697.14	253,889.57	260,236.81	266,742.73	273,411.30	280,246.58	287,252.74	294,434.06	301,794.91
<b>รวม</b>	<b>966,622.98</b>	<b>990,788.56</b>	<b>1,015,558.27</b>	<b>1,040,947.23</b>	<b>1,066,970.91</b>	<b>1,093,645.18</b>	<b>1,120,986.31</b>	<b>1,149,010.97</b>	<b>1,177,736.24</b>	<b>1,207,179.65</b>

ตารางที่ ณ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(9,8)										
(10,7)										
(10,8)										
(11,7)										
รวม										
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(9,8)				49,268.31	46,759.28	44,378.02	42,118.03	39,973.13	37,937.46	36,005.46
(10,7)				49,268.31	46,759.28	44,378.02	42,118.03	39,973.13	37,937.46	36,005.46
(10,8)				49,268.31	46,759.28	44,378.02	42,118.03	39,973.13	37,937.46	36,005.46
(11,7)				49,268.31	46,759.28	44,378.02	42,118.03	39,973.13	37,937.46	36,005.46
รวม				197,073.25	187,037.11	177,512.08	168,472.11	159,892.51	151,749.84	144,021.84

ตารางที่ ณ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(9,8)	34,171.85	32,431.61	30,780.00	29,212.50	27,724.83	26,312.92	24,972.91	23,701.14	22,494.14	21,348.60
(10,7)	34,171.85	32,431.61	30,780.00	29,212.50	27,724.83	26,312.92	24,972.91	23,701.14	22,494.14	21,348.60
(10,8)	34,171.85	32,431.61	30,780.00	29,212.50	27,724.83	26,312.92	24,972.91	23,701.14	22,494.14	21,348.60
(11,7)	34,171.85	32,431.61	30,780.00	29,212.50	27,724.83	26,312.92	24,972.91	23,701.14	22,494.14	21,348.60
รวม	136,687.39	129,726.46	123,120.02	116,850.02	110,899.32	105,251.67	99,891.63	94,804.56	89,976.55	85,394.41
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(9,8)	20,261.41	19,229.57	18,250.29	17,320.88	16,438.80	15,601.63	14,807.11	14,053.04	13,337.38	12,658.16
(10,7)	20,261.41	19,229.57	18,250.29	17,320.88	16,438.80	15,601.63	14,807.11	14,053.04	13,337.38	12,658.16
(10,8)	20,261.41	19,229.57	18,250.29	17,320.88	16,438.80	15,601.63	14,807.11	14,053.04	13,337.38	12,658.16
(11,7)	20,261.41	19,229.57	18,250.29	17,320.88	16,438.80	15,601.63	14,807.11	14,053.04	13,337.38	12,658.16
รวม	81,045.62	76,918.30	73,001.16	69,283.51	65,755.18	62,406.54	59,228.43	56,212.17	53,349.51	50,632.64



ตารางที่ ณ-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(9,8)	12,013.53	11,401.73	10,821.09	10,270.01	9,747.00	9,250.63	8,779.53	8,332.43	7,908.09	7,505.36
(10,7)	12,013.53	11,401.73	10,821.09	10,270.01	9,747.00	9,250.63	8,779.53	8,332.43	7,908.09	7,505.36
(10,8)	12,013.53	11,401.73	10,821.09	10,270.01	9,747.00	9,250.63	8,779.53	8,332.43	7,908.09	7,505.36
(11,7)	12,013.53	11,401.73	10,821.09	10,270.01	9,747.00	9,250.63	8,779.53	8,332.43	7,908.09	7,505.36
รวม	48,054.12	45,606.92	43,284.35	41,080.05	38,988.01	37,002.51	35,118.12	33,329.70	31,632.36	30,021.45

ภาคผนวก ด

ผลการประเมินผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล  
ที่ได้รับการปนเปื้อน

ผลการประเมินผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

ตารางที่ ด-1 มูลค่าทางการเงินของค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(10,7)	-	-	-	24,813.20	25,433.53	26,069.37	26,721.10	27,389.13	28,073.86	28,775.70
(11,7)	-	-	-	223,318.79	228,901.76	234,624.30	240,489.91	246,502.16	252,664.71	258,981.33
รวม	-	-	-	248,131.99	254,335.29	260,693.67	267,211.01	273,891.29	280,738.57	287,757.03
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(10,7)	29,495.10	30,232.47	30,988.29	31,762.99	32,557.07	33,370.99	34,205.27	35,060.40	35,936.91	36,835.33
(11,7)	265,455.86	272,092.26	278,894.57	285,866.93	293,013.60	300,338.94	307,847.42	315,543.60	323,432.19	331,518.00
รวม	294,950.96	302,324.73	309,882.85	317,629.92	325,570.67	333,709.94	342,052.69	350,604.00	359,369.10	368,353.33

ตารางที่ ด-1 มูลค่าทางการเงินของค่าใช้จ่ายในการการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(10,7)	37,756.22	38,700.12	39,667.62	40,659.32	41,675.80	42,717.69	43,785.64	44,880.28	46,002.28	47,152.34
(11,7)	339,805.95	348,301.10	357,008.62	365,933.84	375,082.19	384,459.24	394,070.72	403,922.49	414,020.55	424,371.07
รวม	377,562.16	387,001.22	396,676.25	406,593.16	416,757.98	427,176.93	437,856.36	448,802.77	460,022.83	471,523.41
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(10,7)	48,331.15	49,539.43	50,777.91	52,047.36	53,348.55	54,682.26	56,049.32	57,450.55	58,886.81	60,358.98
(11,7)	434,980.34	445,854.85	457,001.22	468,426.25	480,136.91	492,140.33	504,443.84	517,054.94	529,981.31	543,230.84
รวม	483,311.49	495,394.28	507,779.14	520,473.61	533,485.45	546,822.59	560,493.15	574,505.48	588,868.12	603,589.82

ตารางที่ ด-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(10,7)	-	-	-	9,853.66	9,351.86	8,875.60	8,423.61	7,994.63	7,587.49	7,201.09
(11,7)	-	-	-	88,682.96	84,166.70	79,880.43	75,812.45	71,951.63	68,287.43	64,809.83
รวม	-	-	-	98,536.63	93,518.56	88,756.04	84,236.05	79,946.26	75,874.92	72,010.92
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(10,7)	6,834.37	6,486.32	6,156.00	5,842.50	5,544.97	5,262.58	4,994.58	4,740.23	4,498.83	4,269.72
(11,7)	61,509.33	58,376.91	55,404.01	52,582.51	49,904.70	47,363.25	44,951.23	42,662.05	40,489.45	38,427.48
รวม	68,343.70	64,863.23	61,560.01	58,425.01	55,449.66	52,625.84	49,945.82	47,402.28	44,988.27	42,697.21

ตารางที่ ด-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(10,7)	4,052.28	3,845.91	3,650.06	3,464.18	3,287.76	3,120.33	2,961.42	2,810.61	2,667.48	2,531.63
(11,7)	36,470.53	34,613.23	32,850.52	31,177.58	29,589.83	28,082.94	26,652.79	25,295.47	24,007.28	22,784.69
รวม	40,522.81	38,459.15	36,500.58	34,641.76	32,877.59	31,203.27	29,614.21	28,106.08	26,674.75	25,316.32
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(10,7)	2,402.71	2,280.35	2,164.22	2,054.00	1,949.40	1,850.13	1,755.91	1,666.49	1,581.62	1,501.07
(11,7)	21,624.36	20,523.11	19,477.96	18,486.02	17,544.61	16,651.13	15,803.16	14,998.37	14,234.56	13,509.65
รวม	24,027.06	22,803.46	21,642.17	20,540.03	19,494.01	18,501.26	17,559.06	16,664.85	15,816.18	15,010.72

ภาคผนวก ต

ผลการประเมินผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

ผลการประเมินผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

ตารางที่ ต-1 มูลค่าทางการเงินของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	-	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625
(7,5)	-	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750
(7,6)	-	-	1,433,208	2,866,417	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(8,4)	-	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500
(8,5)	-	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125
(8,6)	-	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(9,5)	-	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250
(9,6)	-	-	-	1,237,222	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667
(9,7)	-	-	-	-	-	275,825	551,650	827,475	1,103,300	1,379,125
(9,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	-	14,296,875	15,730,083	18,400,514	22,308,167	22,583,992	22,859,817	23,135,642	23,411,467	23,687,292



ตารางที่ ต-1 มูลค่าทางการเงินของผลกระทบบรรทุก 4 ด้าน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	1	14	15	16	17	18	19	20
(6,6)	-	-	-	-	662,521	1,325,042	1,987,563	2,650,083	3,312,604	3,975,125
(7,4)	790,969	527,313	263,656	-	175,771	351,542	527,313	703,083	878,854	1,054,625
(7,5)	2,798,813	1,865,875	932,938	-	621,958	1,243,917	1,865,875	2,487,833	3,109,792	3,731,750
(7,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(8,4)	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500
(8,5)	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125
(8,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(9,5)	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250
(9,6)	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667
(9,7)	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125
(9,8)	-	-	-	124,066	127,168	130,347	133,606	136,946	140,369	143,879
(10,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,7)	-	-	-	12,862,771	12,942,777	13,023,333	13,104,445	13,186,117	13,268,356	13,351,167
(10,8)	-	-	-	124,066	127,168	130,347	133,606	136,946	140,369	143,879
(11,7)	-	-	-	114,772,413	115,467,647	116,167,219	116,871,156	117,579,491	118,292,254	119,009,475
รวม	22,490,698	21,294,104	20,097,510	146,784,233	149,025,926	151,272,662	153,524,479	155,781,417	158,043,515	160,310,816

ตารางที่ ต-1 มูลค่าทางการเงินของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(6,6)	3,180,100	2,385,075	1,590,050	795,025	-	-	-	-	-	-
(7,4)	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,054,625	1,012,440	970,255	928,070	885,885	843,700
(7,5)	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,731,750	3,582,480	3,433,210	3,283,940	3,134,670	2,985,400
(7,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,127,640	3,955,655	3,783,670	3,611,685	3,439,700
(8,4)	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500
(8,5)	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125
(8,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(9,5)	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250
(9,6)	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667
(9,7)	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125
(9,8)	147,475	151,162	154,941	158,815	162,785	166,855	171,026	175,302	179,685	184,177
(10,6)	-	-	-	-	-	76,273	152,547	228,820	305,093	381,367
(10,7)	13,483,229	13,615,874	13,749,107	13,882,933	14,017,358	14,103,714	14,190,680	14,278,263	14,366,470	14,455,305
(10,8)	147,475	151,162	154,941	158,815	162,785	166,855	171,026	175,302	179,685	184,177
(11,7)	120,136,811	121,268,669	122,405,080	123,546,077	124,691,693	125,436,334	126,185,660	126,939,704	127,698,500	128,462,081
รวม	160,782,383	161,259,234	161,741,412	162,228,957	162,721,913	163,273,883	163,831,351	164,394,363	164,962,963	165,537,198

ตารางที่ ต-1 มูลค่าทางการเงินของผลกระทบบรรทุก 4 ด้าน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	801,515	759,330	717,145	674,960	632,775	590,590	548,405	506,220	464,035	421,850
(7,5)	2,836,130	2,686,860	2,537,590	2,388,320	2,239,050	2,089,780	1,940,510	1,791,240	1,641,970	1,492,700
(7,6)	3,267,715	3,095,730	2,923,745	2,751,760	2,579,775	2,407,790	2,235,805	2,063,820	1,891,835	1,719,850
(8,4)	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500
(8,5)	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125
(8,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(9,5)	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250
(9,6)	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667
(9,7)	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125
(9,8)	188,781	193,501	198,338	203,297	208,379	213,588	218,928	224,401	230,011	235,762
(10,6)	457,640	533,913	610,187	686,460	762,733	839,007	915,280	991,553	1,067,827	1,144,100
(10,7)	14,544,776	14,634,888	14,725,649	14,817,065	14,909,142	15,001,888	15,095,309	15,189,412	15,284,205	15,379,694
(10,8)	188,781	193,501	198,338	203,297	208,379	213,588	218,928	224,401	230,011	235,762
(11,7)	129,230,483	130,003,740	130,781,888	131,564,962	132,352,999	133,146,034	133,944,104	134,747,247	135,555,500	136,368,901
รวม	166,117,113	166,702,755	167,294,172	167,891,412	168,494,524	169,103,557	169,718,561	170,339,587	170,966,686	171,599,910

ตารางที่ ต-1 มูลค่าทางการเงินของผลกระทบบรรทุก 4 ด้าน (ต่อ)

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	379,665	337,480	295,295	253,110	210,925	168,740	126,555	84,370	42,185	-
(7,5)	1,343,430	1,194,160	1,044,890	895,620	746,350	597,080	447,810	298,540	149,270	-
(7,6)	1,547,865	1,375,880	1,203,895	1,031,910	859,925	687,940	515,955	343,970	171,985	-
(8,4)	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500	973,500
(8,5)	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125	2,677,125
(8,6)	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625	4,299,625
(9,5)	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250	1,560,250
(9,6)	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667	3,711,667
(9,7)	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125	1,379,125
(9,8)	241,656	247,697	253,890	260,237	266,743	273,411	280,247	287,253	294,434	301,795
(10,6)	1,220,373	1,296,647	1,372,920	1,449,193	1,525,467	1,601,740	1,678,013	1,754,287	1,830,560	1,906,833
(10,7)	15,475,887	15,572,792	15,670,416	15,768,767	15,867,853	15,967,681	16,068,261	16,169,600	16,271,706	16,374,590
(10,8)	241,656	247,697	253,890	260,237	266,743	273,411	280,247	287,253	294,434	301,795
(11,7)	137,187,488	138,011,300	138,840,377	139,674,757	140,514,482	141,359,590	142,210,125	143,066,126	143,927,636	144,794,697
รวม	172,239,312	172,884,945	173,536,863	174,195,123	174,859,778	175,530,886	176,208,504	176,892,689	177,583,502	178,281,001

ตารางที่ ต-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบบรรทุกทั้ง 4 ด้าน

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	-	1,054,625	976,505	904,171	837,195	775,181	717,760	664,593	615,364	569,781
(7,5)	-	3,731,750	3,455,324	3,199,374	2,962,383	2,742,948	2,539,766	2,351,636	2,177,440	2,016,148
(7,6)	-	-	1,327,045	2,457,490	3,413,181	3,160,353	2,926,253	2,709,493	2,508,790	2,322,954
(8,4)	-	973,500	901,389	834,619	772,796	715,552	662,548	613,470	568,028	525,952
(8,5)	-	2,677,125	2,478,819	2,295,203	2,125,188	1,967,767	1,822,006	1,687,043	1,562,077	1,446,367
(8,6)	-	4,299,625	3,981,134	3,686,235	3,413,181	3,160,353	2,926,253	2,709,493	2,508,790	2,322,954
(9,5)	-	1,560,250	1,444,676	1,337,663	1,238,577	1,146,830	1,061,880	983,222	910,391	842,955
(9,6)	-	-	-	1,060,719	2,946,441	2,728,186	2,526,098	2,338,980	2,165,722	2,005,298
(9,7)	-	-	-	-	-	202,740	375,444	521,450	643,765	745,098
(9,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(11,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	-	14,296,875	14,564,892	15,775,475	17,708,942	16,599,908	15,558,007	14,579,379	13,660,366	12,797,507

ตารางที่ ต-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(6,6)	-	-	-	-	243,608	451,125	626,563	773,534	895,294	994,771
(7,4)	395,681	244,248	113,078	-	64,631	119,686	166,231	205,223	237,527	263,919
(7,5)	1,400,103	864,261	400,121	-	228,693	423,505	588,202	726,175	840,480	933,867
(7,6)	2,150,883	1,991,558	1,844,035	1,707,440	1,580,963	1,463,855	1,355,421	1,255,020	1,162,055	1,075,977
(8,4)	486,992	450,919	417,517	386,590	357,954	331,439	306,888	284,155	263,107	243,617
(8,5)	1,339,229	1,240,027	1,148,173	1,063,123	984,373	911,457	843,941	781,427	723,544	669,948
(8,6)	2,150,883	1,991,558	1,844,035	1,707,440	1,580,963	1,463,855	1,355,421	1,255,020	1,162,055	1,075,977
(9,5)	780,513	722,698	669,164	619,597	573,701	531,204	491,856	455,422	421,687	390,451
(9,6)	1,856,757	1,719,220	1,591,870	1,473,954	1,364,772	1,263,678	1,170,072	1,083,400	1,003,148	928,841
(9,7)	689,906	638,802	591,483	547,670	507,101	469,538	434,758	402,553	372,735	345,125
(9,8)	-	-	-	49,268	46,759	44,378	42,118	39,973	37,937	36,005
(10,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10,7)	-	-	-	5,107,983	4,759,032	4,433,937	4,131,067	3,848,902	3,586,025	3,341,117
(10,8)	-	-	-	49,268	46,759	44,378	42,118	39,973	37,937	36,005
(11,7)	-	-	-	45,577,704	42,457,214	39,550,412	36,842,663	34,320,333	31,970,723	29,782,006
<b>รวม</b>	<b>11,250,948</b>	<b>9,863,290</b>	<b>8,619,478</b>	<b>58,290,038</b>	<b>54,796,524</b>	<b>51,502,448</b>	<b>48,397,318</b>	<b>45,471,111</b>	<b>42,714,255</b>	<b>40,117,626</b>

ตารางที่ ต-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(6,6)	736,868	511,714	315,873	146,237	-	-	-	-	-	-
(7,4)	244,369	226,268	209,507	193,988	179,619	159,661	141,675	125,477	110,901	97,796
(7,5)	864,691	800,640	741,334	686,420	635,574	564,955	501,310	443,994	392,419	346,049
(7,6)	996,275	922,477	854,145	790,875	732,292	650,926	577,596	511,559	452,135	398,708
(8,4)	225,572	208,863	193,391	179,066	165,802	153,520	142,148	131,619	121,869	112,842
(8,5)	620,322	574,372	531,826	492,432	455,955	422,181	390,908	361,952	335,141	310,316
(8,6)	996,275	922,477	854,145	790,875	732,292	678,048	627,822	581,317	538,256	498,386
(9,5)	361,529	334,749	309,953	286,993	265,734	246,050	227,824	210,949	195,323	180,854
(9,6)	860,038	796,331	737,344	682,726	632,154	585,327	541,970	501,824	464,652	430,233
(9,7)	319,560	295,889	273,971	253,677	234,886	217,487	201,377	186,460	172,648	159,860
(9,8)	34,172	32,432	30,780	29,213	27,725	26,313	24,973	23,701	22,494	21,349
(10,6)	-	-	-	-	-	12,028	22,275	30,937	38,194	44,206
(10,7)	3,124,227	2,921,261	2,731,339	2,553,634	2,387,370	2,224,146	2,072,093	1,930,446	1,798,493	1,675,568
(10,8)	34,172	32,432	30,780	29,213	27,725	26,313	24,973	23,701	22,494	21,349
(11,7)	27,837,148	26,017,976	24,316,473	22,725,128	21,236,901	19,781,227	18,425,366	17,162,472	15,986,169	14,890,518
<b>รวม</b>	<b>37,255,218</b>	<b>34,597,880</b>	<b>32,130,861</b>	<b>29,840,477</b>	<b>27,714,029</b>	<b>25,748,183</b>	<b>23,922,311</b>	<b>22,226,408</b>	<b>20,651,189</b>	<b>19,188,032</b>

ตารางที่ ต-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบบรรทุกทั้ง 4 ด้าน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	86,025	75,460	65,989	57,507	49,919	43,140	37,091	31,702	26,907	22,649
(7,5)	304,395	267,013	233,499	203,485	176,636	152,649	131,246	112,176	95,211	80,144
(7,6)	350,716	307,645	269,031	234,450	203,516	175,878	151,218	129,246	109,699	92,340
(8,4)	104,483	96,744	89,578	82,942	76,798	71,110	65,842	60,965	56,449	52,268
(8,5)	287,329	266,046	246,338	228,091	211,196	195,551	181,066	167,654	155,235	143,736
(8,6)	461,468	427,285	395,635	366,328	339,193	314,067	290,803	269,262	249,317	230,849
(9,5)	167,458	155,053	143,568	132,933	123,086	113,969	105,527	97,710	90,472	83,771
(9,6)	398,364	368,856	341,533	316,234	292,809	271,120	251,037	232,442	215,224	199,281
(9,7)	148,018	137,054	126,902	117,502	108,798	100,739	93,276	86,367	79,970	74,046
(9,8)	20,261	19,230	18,250	17,321	16,439	15,602	14,807	14,053	13,337	12,658
(10,6)	49,117	53,059	56,147	58,486	60,171	61,285	61,905	62,096	61,919	61,427
(10,7)	1,561,055	1,454,376	1,354,996	1,262,415	1,176,166	1,095,817	1,020,964	951,230	886,266	825,743
(10,8)	20,261	19,230	18,250	17,321	16,439	15,602	14,807	14,053	13,337	12,658
(11,7)	13,869,987	12,919,425	12,034,033	11,209,341	10,441,187	9,725,693	9,059,248	8,438,489	7,860,283	7,321,712
<b>รวม</b>	<b>17,828,938</b>	<b>16,566,475</b>	<b>15,393,749</b>	<b>14,304,356</b>	<b>13,292,353</b>	<b>12,352,221</b>	<b>11,478,837</b>	<b>10,667,444</b>	<b>9,913,626</b>	<b>9,213,282</b>



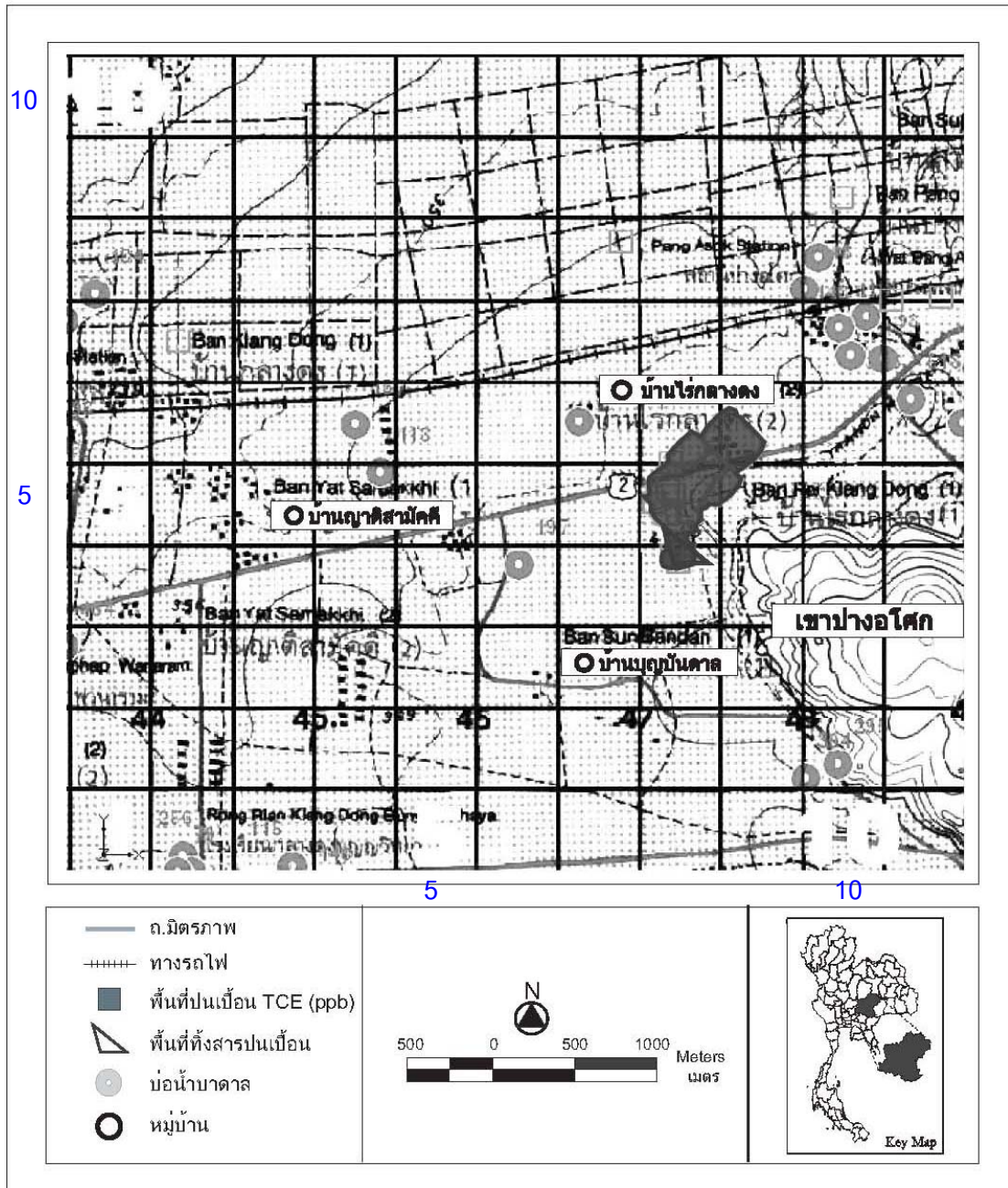
ตารางที่ ต-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบบรรทุกทั้ง 4 ด้าน (ต่อ)

Discount rate = 8 %

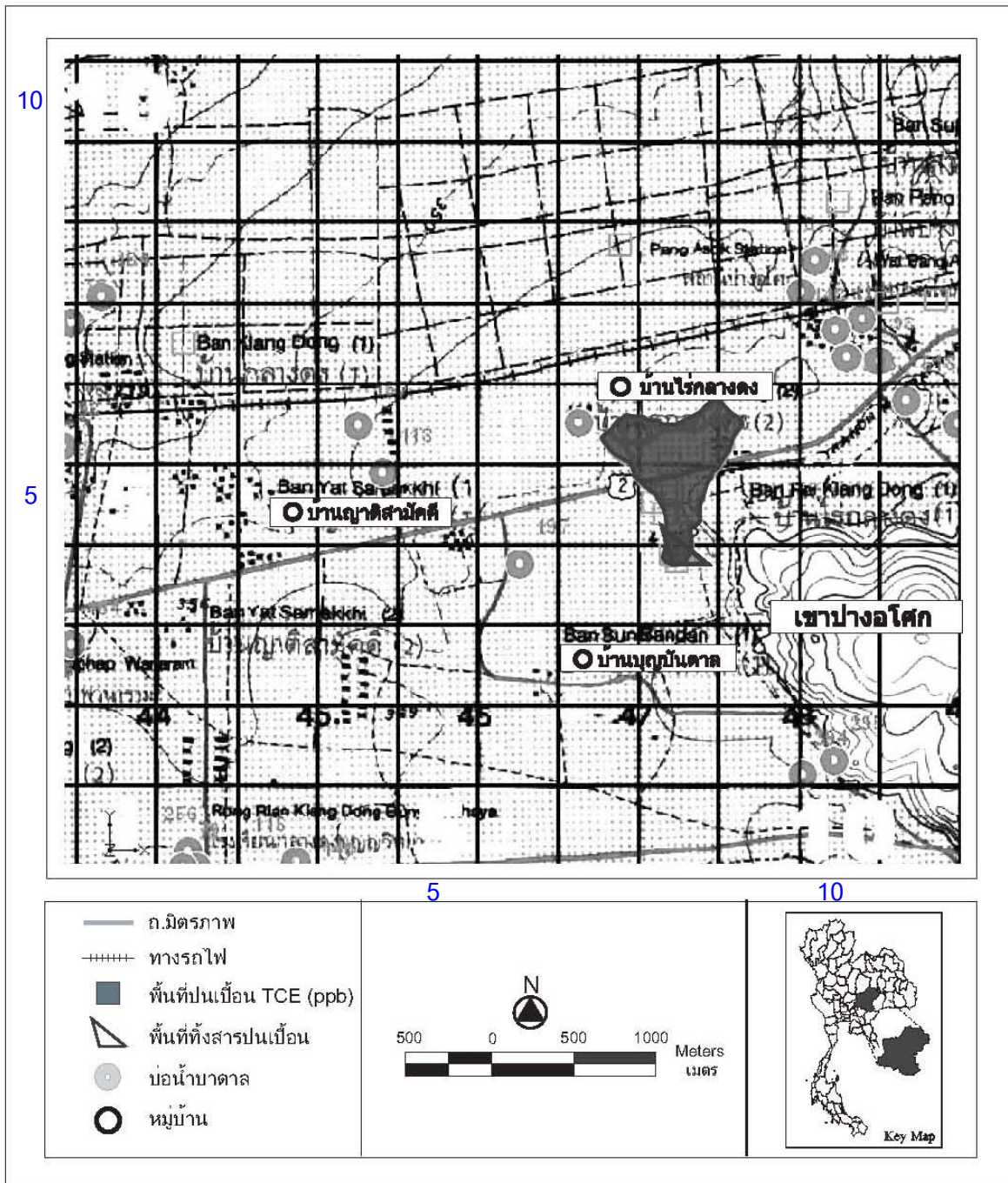
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(6,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(7,4)	18,874	15,535	12,586	9,989	7,707	5,709	3,965	2,447	1,133	-
(7,5)	66,786	54,968	44,535	35,345	27,272	20,202	14,029	8,660	4,009	-
(7,6)	76,950	63,333	51,311	40,723	31,422	23,276	16,164	9,978	4,619	-
(8,4)	48,396	44,811	41,492	38,418	35,573	32,938	30,498	28,239	26,147	24,210
(8,5)	133,089	123,231	114,102	105,650	97,824	90,578	83,869	77,656	71,904	66,578
(8,6)	213,749	197,916	183,255	169,681	157,112	145,474	134,698	124,720	115,482	106,928
(9,5)	77,565	71,820	66,500	61,574	57,013	52,790	48,879	45,259	41,906	38,802
(9,6)	184,520	170,851	158,196	146,478	135,627	125,581	116,279	107,665	99,690	92,306
(9,7)	68,561	63,482	58,780	54,426	50,394	46,661	43,205	40,005	37,041	34,298
(9,8)	12,014	11,402	10,821	10,270	9,747	9,251	8,780	8,332	7,908	7,505
(10,6)	60,669	59,686	58,516	57,191	55,742	54,193	52,569	50,887	49,166	47,421
(10,7)	769,359	716,830	667,892	622,300	579,825	540,252	503,385	469,036	437,035	407,221
(10,8)	12,014	11,402	10,821	10,270	9,747	9,251	8,780	8,332	7,908	7,505
(11,7)	6,820,058	6,352,789	5,917,548	5,512,139	5,134,517	4,782,776	4,455,142	4,149,961	3,865,696	3,600,911
<b>รวม</b>	<b>8,562,603</b>	<b>7,958,055</b>	<b>7,396,355</b>	<b>6,874,455</b>	<b>6,389,523</b>	<b>5,938,931</b>	<b>5,520,239</b>	<b>5,131,179</b>	<b>4,769,646</b>	<b>4,433,685</b>

ภาคผนวก ถ  
แผนที่แสดงเส้นชั้นความเข้มข้นของ TCE  
ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี

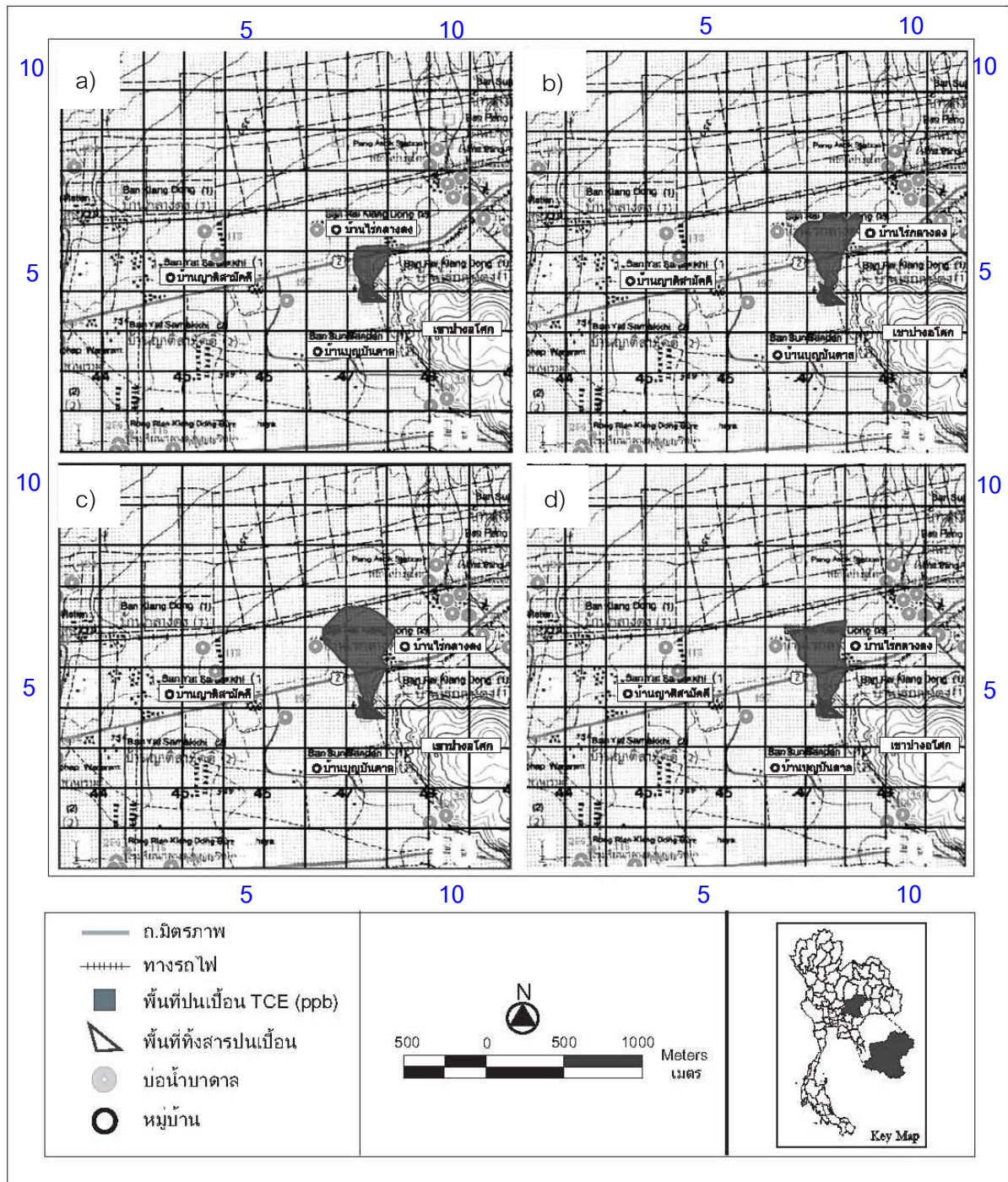
### แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี



รูปที่ ๓-1 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ 4



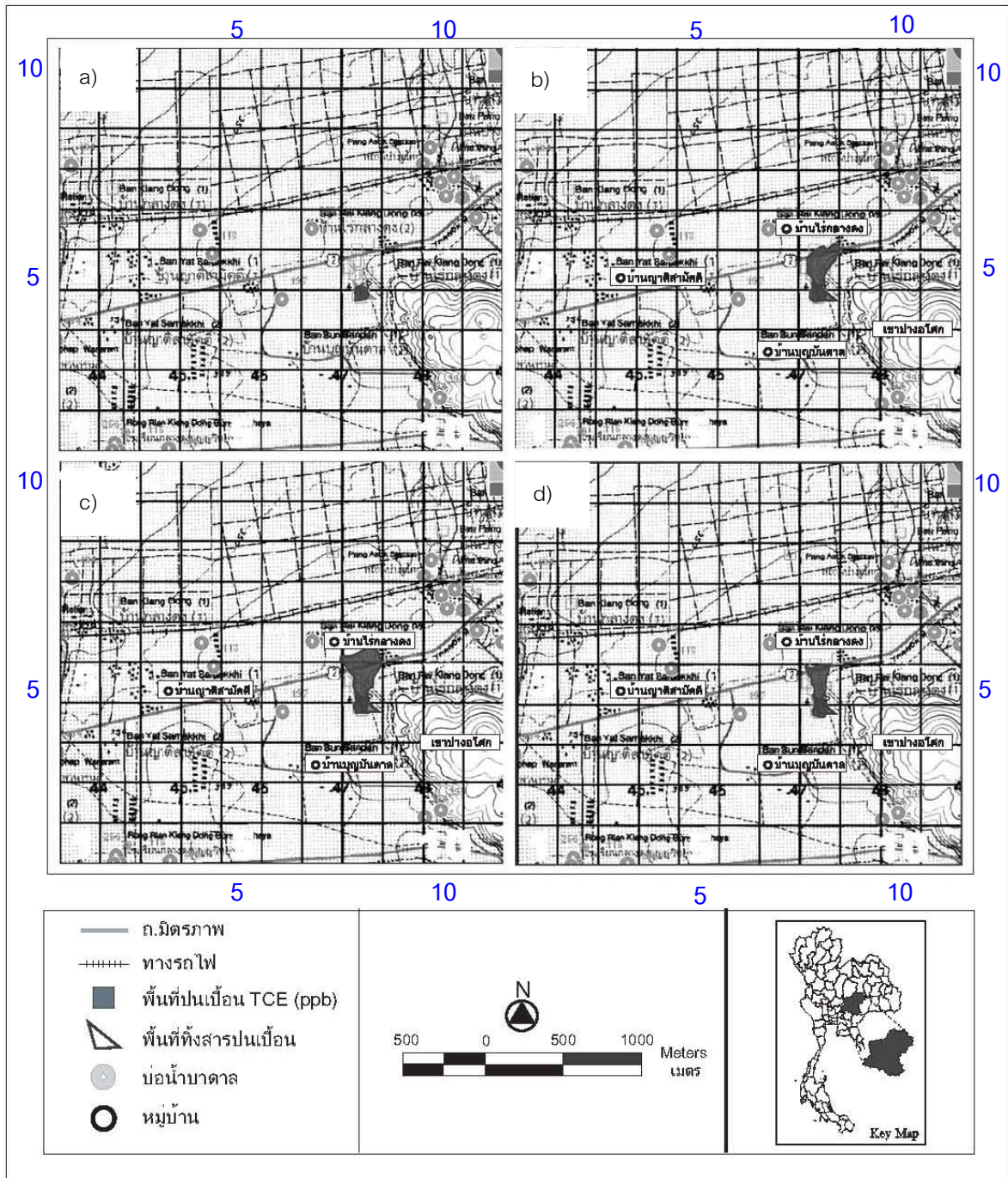
รูปที่ ๓-2 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ 6



รูปที่ ๓-3 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ a) 8 b) 10 c) 12 d) 14

ภาคผนวก ท  
แผนที่แสดงเส้นชั้นความเข้มข้นของ TCE  
ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี

แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี



รูปที่ ท-1 แผนที่แสดงชั้นความเข้มข้นของ TCE ปีที่ a) 4 b) 6 c) 8 และ d) 10

## ภาคผนวก ๓

ผลการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน  
ภายใน 5 ปี









ตารางที่ ๕-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบของความเสียหายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(7,6)		-	-	-	-	3,160,352.73	2,926,252.53	2,709,493.08	2,508,789.89	2,322,953.60
(8,4)		973,500.00	901,388.89	834,619.34	772,795.69	715,551.56	662,547.74	613,470.13	568,027.90	525,951.76
(8,5)		2,677,125.00	2,478,819.44	2,295,203.19	2,125,188.14	1,967,766.79	1,822,006.29	1,687,042.86	1,562,076.72	1,446,367.34
(8,6)		-	1,990,567.13	3,686,235.43	3,413,180.95	3,160,352.73	2,926,252.53	2,709,493.08	2,508,789.89	2,322,953.60
(9,5)		-	-	1,337,662.89	-	2,728,185.80	-	2,338,979.60	-	2,005,298.01
(9,6)		-	-	3,182,155.92	-	11,732,209.62	-	10,058,478.76	-	745,098.33
(9,7)		-	-	-	-	-	-	-	-	8,623,524.31
รวม	-	3,650,625.00	5,370,775.46	11,335,876.77	6,311,164.77	23,464,419.24	8,337,059.09	20,116,957.51	7,147,684.41	17,992,146.95
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(7,6)	2,150,882.97	1,991,558.30	922,017.73	-	-	-	-	-	-	-
(8,4)	486,992.37	450,918.86	417,517.46	386,590.24	357,953.93	331,438.82	306,887.80	284,155.37	263,106.82	243,617.43
(8,5)	1,339,229.02	1,240,026.87	1,148,173.02	1,063,123.17	984,373.31	911,456.77	843,941.45	781,427.27	723,543.77	669,947.93
(8,6)	2,150,882.97	1,991,558.30	922,017.73	-	-	-	-	-	-	-
(9,5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	6,127,987.32	5,674,062.33	3,409,725.95	1,449,713.42	1,342,327.24	1,242,895.59	1,150,829.25	1,065,582.64	986,650.59	913,565.36

ตารางที่ ๘-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบของความเสียหายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(7,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(8,4)	225,571.69	208,862.68	193,391.37	179,066.08	165,801.93	153,520.30	142,148.43	131,618.92	121,869.37	112,842.01
(8,5)	620,322.16	574,372.37	531,826.27	492,431.73	455,955.31	422,180.84	390,908.18	361,952.02	335,140.76	310,315.52
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	845,893.85	783,235.05	725,217.64	671,497.81	621,757.23	575,701.14	533,056.61	493,570.94	457,010.13	423,157.53
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(7,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(8,4)	104,483.34	96,743.83	89,577.62	82,942.24	76,798.37	71,109.61	65,842.23	60,965.03	56,449.10	52,267.68
(8,5)	287,329.18	266,045.54	246,338.46	228,091.17	211,195.53	195,551.42	181,066.13	167,653.82	155,235.02	143,736.13
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	391,812.52	362,789.37	335,916.09	311,033.41	287,993.90	266,661.02	246,908.35	228,618.84	211,684.12	196,003.81

ตารางที่ ๓-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบของความเสียหายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(7,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(8,4)	48,396.00	44,811.11	41,491.77	38,418.31	35,572.51	32,937.51	30,497.69	28,238.60	26,146.85	24,210.05
(8,5)	133,089.01	123,230.56	114,102.37	105,650.34	97,824.39	90,578.14	83,868.65	77,656.16	71,903.85	66,577.64
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(9,7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	181,485.01	168,041.68	155,594.14	144,068.65	133,396.90	123,515.65	114,366.34	105,894.76	98,050.70	90,787.69

ภาคผนวก น  
ผลการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงภายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อน  
ภายใน 10 ปี







ตารางที่ น-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบของความเสียหายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(8,4)	-	973,500	901,389	834,619	772,796	715,552	662,548	613,470	568,028	525,952
(8,5)	-	2,677,125	2,478,819	2,295,203	2,125,188	1,967,767	1,822,006	1,687,043	1,562,077	1,446,367
(8,6)	-	-	1,990,567	3,686,235	3,413,181	3,160,353	2,926,253	2,709,493	1,254,395	-
รวม	-	3,650,625	5,370,775	6,816,058	6,311,165	5,843,671	5,410,807	5,010,006	3,384,500	1,972,319
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(8,4)	486,992	450,919	417,517	386,590	357,954	331,439	306,888	284,155	263,107	243,617
(8,5)	1,339,229	1,240,027	1,148,173	1,063,123	984,373	911,457	843,941	781,427	723,544	669,948
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	1,826,221	1,690,946	1,565,690	1,449,713	1,342,327	1,242,896	1,150,829	1,065,583	986,651	913,565
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(8,4)	225,572	208,863	193,391	179,066	165,802	153,520	142,148	131,619	121,869	112,842
(8,5)	620,322	574,372	531,826	492,432	455,955	422,181	390,908	361,952	335,141	310,316
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	845,894	783,235	725,218	671,498	621,757	575,701	533,057	493,571	457,010	423,158

ตารางที่ น-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบของความเสียหายหลังจากการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี (ต่อ)

Discount rate = 8 %

ปีที่ ช่องที่ (x, y)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
(8,4)	104,483	96,744	89,578	82,942	76,798	71,110	65,842	60,965	56,449	52,268
(8,5)	287,329	266,046	246,338	228,091	211,196	195,551	181,066	167,654	155,235	143,736
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>รวม</b>	<b>391,813</b>	<b>362,789</b>	<b>335,916</b>	<b>311,033</b>	<b>287,994</b>	<b>266,661</b>	<b>246,908</b>	<b>228,619</b>	<b>211,684</b>	<b>196,004</b>
ปีที่ ช่องที่ (x, y)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
(8,4)	48,396	44,811	41,492	38,418	35,573	32,938	30,498	28,239	26,147	24,210
(8,5)	133,089	123,231	114,102	105,650	97,824	90,578	83,869	77,656	71,904	66,578
(8,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>รวม</b>	<b>181,485</b>	<b>168,042</b>	<b>155,594</b>	<b>144,069</b>	<b>133,397</b>	<b>123,516</b>	<b>114,366</b>	<b>105,895</b>	<b>98,051</b>	<b>90,788</b>

ภาคผนวก ผ

ข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดิน กรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ ผ-1 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเหตุการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chloro benzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloro methane	1,4-dichloro benzene	Carbon tetra chlo ride
MW1	22/12/47	ND	803	27	70	20	30	19	-	-	-	-	-	-	-	-
	11/01/48	65	1367	-	338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	4.8	255	ND	75	0.3	0.6	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/05/48	2	151	1.1	ND	1.2	ND	ND	47	182	-	-	-	-	-	-
	09/06/48	1.2	78	1.2	0.2	ND	ND	ND	2.1	95	-	-	-	-	-	-
	14/07/48	1.7	9.5	2.1	ND	ND	0.9	ND	1.9	16	-	-	-	-	-	-
	13/09/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13/10/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/11/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	09/12/48	ND	35	ND	ND	ND	ND	ND	ND	49	-	-	-	-	-	-
	16/01/49	1.2	283	0.3	ND	ND	0.6	0.3	0.5	118	-	-	-	-	-	-
	07/02/49	ND	33	0.6	ND	ND	0.5	0.3	ND	5.9	-	-	-	-	-	-
	08/03/49	ND	16	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	5	-	-	-	-	-	-
	18/04/49	0.3	149	0.2	ND	ND	0.3	ND	0.2	69	-	-	-	-	-	-
	19/05/49	ND	78	0.4	ND	ND	ND	ND	0.3	31	-	-	-	-	-	-
	06/12/49	ND	11.7	1.3	ND	ND	ND	ND	ND	25	-	-	-	-	-	-
	19/03/50	1.2	5.9	1.4	0.5	1.9	1.8	1.3	0.8	2.2	-	-	-	-	-	-
	22/05/50	ND	7	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	1.6	-	-	-	-	-	-
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	0.2	0.2	ND	5

ตารางที่ ผ-2 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเกิดการรั่วโดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetra chloride
MW2	22/12/47	755	4200	9	50	14	17	16	-	-	-	-	-	-	-	-
	11/01/48	22	19	20	705	20	15	44	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	409	1016	9.4	9.1	16	1.6	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/05/48	59	385	2.8	9	1.1	ND	ND	6.8	64	668	-	-	-	-	-
	09/06/48	53	641	3.2	8.9	ND	ND	ND	9.7	77	1134	-	-	-	-	-
	14/07/48	39	1443	2.6	15	1.1	ND	0.6	13	205	583	-	-	-	-	-
	13/09/48	11	99	1.1	1.3	ND	ND	0.5	2.8	4.4	739	-	-	-	-	-
	13/10/48	21	1124	1.4	29	0.9	ND	0.4	8	162	700	-	-	-	-	-
	10/11/48	35	1766	5	351	ND	ND	ND	19	1.4	1310	-	-	-	-	-
	09/12/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16/01/49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07/02/49	11	2086	7.6	25	ND	0.5	0.5	10.1	423	946	-	-	-	-	-
	08/03/49	ND	218	1.7	2.1	ND	ND	ND	1	28	245	-	-	-	-	-
	18/04/49	3.4	753	2.5	1	ND	ND	ND	4.9	127	369	-	-	-	-	-
	19/05/49	ND	788	6	13	ND	ND	ND	7	154	206	-	-	-	-	-
	06/12/49	1.4	114	1.2	8.6	ND	ND	ND	0.9	9.3	274	-	-	-	-	-
	19/03/50	1.1	19	1.3	2	2	1.8	1.3	0.9	3.4	13.8	-	-	-	-	-
	22/05/50	ND	138	ND	6.8	ND	ND	ND	ND	38	42	0.6	0.4	ND	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	-	5	-	5

ตารางที่ ผ-3 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเหตุการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetrachloride
MW3	22/12/47	ND	97	27	154	32	84	20	-	-	-	-	-	-	-	-
	11/01/48	-	-	23	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	1.7	2.7	0.8	0.9	0.4	0.2	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/05/48	1.7	10	1.2	5.5	1.4	ND	1.8	ND	21	-	-	-	-	-	-
	09/06/48	ND	2.2	1.3	0.6	ND	ND	ND	ND	2.4	-	-	-	-	-	-
	14/07/48	3	ND	2.8	ND	0.9	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	13/09/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	13/10/48	1.9	29	1.2	ND	ND	ND	0.3	ND	1.7	-	-	-	-	-	-
	10/11/48	1.3	4.0	0.9	2.5	ND	ND	ND	ND	1.5	-	-	-	-	-	-
	09/12/48	ND	0.6	0.7	ND	ND	0.2	0.1	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	16/01/49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07/02/49	ND	6.8	0.4	ND	ND	0.4	0.3	ND	2.9	-	-	-	-	-	-
	08/03/49	ND	0.7	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	18/04/49	ND	0.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	19/05/49	ND	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.1	-	-	-	-	-	-
	06/12/49	ND	0.3	0.9	ND	ND	ND	ND	ND	0.9	-	-	-	-	-	-
	19/03/50	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	22/05/50	ND	8.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.5	-	-	-	-	-	-
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	5	ND	5	5

ตารางที่ ๕-4 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetrachloride
UGW1	11/01/48	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	4.6	2.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/05/48	1.5	2.8	1	ND	ND	ND	1.1	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/06/48	ND	ND	1.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14/07/48	ND	ND	1.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/09/48	1.3	ND	1.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/10/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/11/48	ND	ND	0.9	ND	1	ND	0.5	2.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/12/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16/01/49	3.1	ND	3.2	ND	ND	6.5	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	07/02/49	ND	1.2	1.1	ND	ND	0.5	0.3	ND	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	08/03/49	ND	0.6	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	18/04/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	06/12/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/03/50	ND	ND	1.2	ND	1.4	1.3	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22/05/50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	5	5	5	5



ตารางที่ ผ-5 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเหตุการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetrachloride
UGW2	11/01/48	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	1.2	1.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/05/48	1.1	ND	1	ND	1.2	ND	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/06/48	ND	ND	2.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14/07/48	1	ND	1.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/09/48	ND	ND	0.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/10/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/11/48	ND	ND	0.9	ND	1	ND	0.7	ND	ND	2.1	ND	ND	ND	ND	ND
	09/12/48	ND	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16/01/49	ND	ND	0.1	ND	ND	0.3	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	07/02/49	ND	0.7	0.8	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	08/03/49	ND	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	18/04/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	06/12/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/03/50	ND	ND	1	ND	1.6	1.5	1.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22/05/50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	10000	5	70	100	5	5	5	5

ตารางที่ ผ-6 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chloro benzene	PCE	cis-1,2-dichloro ethylene	trans-1,2-dichloro ethylene	1,1-dichloro ethene	Dichloro methane	1,4-dichloro benzene	Carbon tetra chlo ride
UGW3	11/01/48	3.5	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	1.4	2.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/05/48	1.3	4.9	0.9	ND	1.3	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/06/48	ND	ND	ND	0.8	ND	ND	ND	ND	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14/07/48	1.2	ND	1.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/09/48	ND	ND	0.9	ND	ND	ND	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/10/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/11/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/12/48	ND	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16/01/49	4	ND	4.6	ND	ND	9.4	5.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	07/02/49	ND	0.8	0.6	ND	ND	0.5	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	08/03/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	18/04/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	06/12/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/03/50	1	ND	1.2	ND	1.8	ND	1.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22/05/50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	5	5	ND	5

ตารางที่ ผ-7 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetra chloride
UGW4	11/01/48	3.8	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/05/48	1.2	ND	1.1	ND	1.3	ND	1.6	ND	1.2	-	-	-	-	-	-
	09/06/48	ND	ND	ND	1.3	ND	ND	ND	ND	1.4	-	-	-	-	-	-
	14/07/48	1.6	ND	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	13/09/48	ND	ND	0.9	ND	ND	ND	0.7	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	13/10/48	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	10/11/48	1.2	ND	1.5	ND	1	ND	ND	2.9	ND	-	-	-	-	-	-
	09/12/48	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	0.1	ND	0.2	-	-	-	-	-	-
	16/01/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.3	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	07/02/49	ND	0.8	ND	ND	ND	ND	0.5	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	08/03/49	ND	ND	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	18/04/49	ND	ND	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	06/12/49	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	19/03/50	ND	ND	1.2	ND	1.6	ND	1.5	ND	ND	-	-	-	-	-	-
	22/05/50	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	-	5	-	5

ตารางที่ ผ-8 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเหตุการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chloro benzene	PCE	cis-1,2-dichloro ethylene	trans-1,2-dichloro ethylene	1,1-dichloro ethene	Dichloro methane	1,4-dichloro benzene	Carbon tetra chlo ride
UGW5	11/01/48	3.3	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	1.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/05/48	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/06/48	1.2	ND	ND	1.3	ND	ND	ND	ND	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14/07/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/09/48	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/10/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/11/48	1.1	ND	1	ND	1.1	ND	ND	ND	2.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/12/48	ND	ND	0.9	ND	ND	ND	ND	ND	3.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16/01/49	2.9	ND	2.9	ND	ND	6	3.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	07/02/49	ND	1.4	0.7	ND	ND	0.5	0.3	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	08/03/49	ND	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	18/04/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	06/12/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/03/50	ND	ND	1.3	ND	ND	1.5	1.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22/05/50	ND	7	0.6	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND	0.2	ND	0.2	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	5	-	5	5

ตารางที่ ๙-9 ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อส่งเหตุการณ์โดยกรมควบคุมมลพิษ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บ	Parameters (ug/l)														
		Benzene	TCE	Toluene	1,1,2-Trichloroethane	Ethyl benzene	m,p-Xylene	o-xylene	Chlorobenzene	PCE	cis-1,2-dichloroethylene	trans-1,2-dichloroethylene	1,1-dichloroethene	Dichloromethane	1,4-dichlorobenzene	Carbon tetrachloride
UGW6	11/01/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/01/48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10/05/48	1.1	ND	1	ND	1.3	ND	1.8	ND	3.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/06/48	1.2	5.1	3.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14/07/48	2	ND	2.9	ND	1	ND	0.5	ND	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/09/48	ND	ND	0.8	ND	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	13/10/48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	10/11/48	1	ND	1	ND	1	ND	0.5	2.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	09/12/48	ND	0.2	0.7	ND	ND	2	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16/01/49	4	0.4	3.6	ND	ND	7.2	4	ND	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	07/02/49	ND	0.7	ND	ND	ND	0.4	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	08/03/49	ND	0.8	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	18/04/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/05/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	06/12/49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19/03/50	1.1	ND	1.2	ND	ND	1.6	1.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22/05/50	ND	ND	ND	ND	1.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
มาตรฐาน		5	5	1000	5	700	10000	10000	-	5	70	100	ND	5	ND	5