



รายงานฉบับผู้บริหาร
(Executive Summary Report)

โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของ
การปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในบริเวณ ต.กลางดง
อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา



เสนอ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

110016

โดย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรกฎาคม 2550

รายงานฉบับผู้บริหาร

รายงานฉบับผู้บริหาร

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ

บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน

บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์

บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อน
ในพื้นที่

บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์
ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 9 บทสรุป

รายงานหลัก

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ

บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน

บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์

บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อน
ในพื้นที่

บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์
ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

บทที่ 9 บทสรุป

ภาคผนวก

สัญญาเลขที่ 85/2549

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

คณะกรรมการตรวจสอบงาน

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

สัญญาเลขที่ 85/2549

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

คณะที่ปรึกษา

1. รศ.ดร. สุจิตต์	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	มหาวิทยาลัยTufts สหรัฐอเมริกา
8. นายวีระพล	เพชรานนท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. นายเกียรติศักดิ์	มานะจิตต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. นางสาววรรณวลี	วงศ์เกษมสันต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. นางสาวสุดารัตน์	ชุตม	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. นายอภิชาติ	นิมิตสถาพร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. นางสาวศิริลักษณ์	เจนช่างกล	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. นางสาวธิดารัตน์	โคตนนท์	คณะเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. นางสาวศิริรัตน์	อุปสิทธิ์	คณะเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กิตติกรรมประกาศ

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

นอกจากนี้ทางโครงการฯ สามารถดำเนินการมาได้ด้วยดีจากความร่วมมือจากหลายฝ่าย ไม่ว่าจะเป็น ศูนย์ทรัพยากรน้ำบาดาลภาค 1 จังหวัดนครราชสีมา องค์การบริหารส่วนตำบลกลางดง กรมควบคุมมลพิษ บริษัท กลางดงโลม แอนด์ เอ็กซ์เพริทเอ็นไวรอนเมนท์ จำกัด บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอเวอร์ทัฟ คอนกรีต รวมทั้งผู้ประกอบการ และประชาชนในจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสระบุรี ที่เอื้อเพื่อข้อมูล สถานที่ ในการเจาะบ่อสังเกตการณ์ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการฯ นอกจากนี้ทางโครงการฯ ยังได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมสัมมนาที่โครงการจัดขึ้นทุกท่าน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการฯ

ทางคณะที่ปรึกษาขอแสดงความขอบคุณหน่วยงาน ผู้ทรงคุณวุฒิ ประชาชนและผู้ประกอบการดังกล่าว ข้างต้นที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี 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 การหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะด้วยวิธี television log จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเจาะจำนวน 12 บ่อ พบรอยแตกในแนวนอนมากกว่ารอยแตกในแนวตั้ง ปริมาตรรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหินสามารถประเมินจากภาพ television log ได้ประมาณร้อยละ 10-45 โดยรอยแตกของหินปูนในแนวนอนมีหลายขนาด หลายระดับความลึก รอยแตกของหินมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในแนว 26 องศา จากการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2550 พบหลักฐานการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียงเกินระดับมาตรฐานจำนวน 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 4ประการ ได้แก่ การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาลและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล ภายในระยะเวลา 50 ปี พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าเสียหายรวมทั้งสิ้น เท่ากับ 973,824,925 บาท ในการตอบสนองต่อความเสี่ยง คณะที่ปรึกษาได้พัฒนาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองต่อความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน 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

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ	3
2.1 สภาพภูมิประเทศและภูมิสังฐาน	3
2.2 สภาพภูมิอากาศ	3
2.3 สภาพอุทกวิทยา	3
2.4 สภาพธรณีวิทยา	5
2.5 สภาพอุทกธรณีวิทยา	9
2.6 สภาพการใช้ที่ดิน	11
2.7 ประชากรและลักษณะเศรษฐกิจและสังคม	11
บทที่ 3 การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน	12
3.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	12
3.2 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหินและรอยแตกของหิน ในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์	15
3.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน	18
3.4 การสำรวจน้ำใต้ดิน	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การสุบทดสอบบ่อสังเกตการณ์	22
3.6 การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน	24
บทที่ 4 การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	28
4.1 การสร้าง Topographic Map เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา	28
4.2 การสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	33
4.3 การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot Spots)	33
4.4 การประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย	33
บทที่ 5 การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์	39
5.1 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน	39
5.2 การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะต่างๆ	41
5.3 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน	46
บทที่ 6 การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่	54
6.1 การจัดการความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำดิน	54
บทที่ 7 แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	70
7.1 แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compound (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม	70
บทที่ 8 แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	76
8.1 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนฉุกเฉิน-ระยะสั้น	79
8.2 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินในระยะยาว	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.3 บทสรุปกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม	83
8.4 ภาพรวมอุปสรรคในการดำเนินการจัดการปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ของประเทศไทย	86
บทที่ 9 บทสรุป	87

สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	ที่ตั้งอำเภอปากช่อง จ.นครราชสีมา	4
2-2	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน	6
2-3	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนแนว A-A' และ B-B'	7
2-4	แผนที่น้ำบาดาลของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน	10
3-1	แผนที่แสดงระดับความลึกของดินที่ปิดทับหินปูน	16
3-2	ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ PW01-PW02 และ PZ01-PZ10	21
3-3	แผนที่การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน	23
4-1	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน	29
4-2	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน	30
4-3	แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะสำรวจเพิ่มเติมและการกระจายของค่าแรงดันระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ทั้งสารเคมีและบริเวณใกล้เคียง	31
4-4	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ทั้งสารเคมีและบริเวณใกล้เคียง	32
4-5	เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene เดือนกุมภาพันธ์ 2550	34
4-6	เส้นชั้นความเข้มข้นของ Trichloroethylene	35
4-7	ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL	36
4-8	ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL	37
4-9	พื้นที่ปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย	38
5-1	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	40
5-2	แบบจำลอง MODFLOW ที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล	41
5-3	การลดลงของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมื่อมีการใช้น้ำมากขึ้นในอนาคต	45
5-4	เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L	48
5-5	เส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L	49
5-6	เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L	50

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-7	เปรียบเทียบเส้นชั้น TCE ที่เวลา 5 ปี กรณีที่ไม่มีการบำบัดและกรณีที่ใช้ทางเลือกที่ 2 Fast Track ในการบำบัด	52
5-8	เปรียบเทียบเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่เวลา 5 ปี และ 10 ปี กรณีที่ไม่มีการบำบัดและกรณีที่ใช้ทางเลือกที่ 3 Regular Track ในการบำบัด	53
6-1	องค์ประกอบของความเสี่ยงจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	55
6-2	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย	59
6-3	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากได้รับการปนเปื้อน	60
6-4	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล	61
6-5	กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน	62
6-6	กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน	62
6-7	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 2	64
6-8	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 5	64
6-9	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 10	65
6-10	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 14	65
6-11	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 20	66
6-12	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 25	66
6-13	แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 50	67
7-1	แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมาให้กลับสู่สภาพเดิม	71
8-1	แนวทางการดำเนินงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	79

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
3-1	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน	13
3-2	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน	14
3-3	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำใต้ดิน	14
3-4	รายละเอียดของบ่อที่สำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดิน	17
3-5	พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในดิน	19
3-6	ข้อมูลตำแหน่งและรายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์	20
3-7	ผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	26
5-1	การสูบน้ำที่ใช้ในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต	43
6-1	จำนวนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน	58
6-2	การวิเคราะห์ประโยชน์-ต้นทุนของแต่ละแนวทางเลือก	69
7-1	การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสารปนเปื้อนในเวลา 10 ปี (Regular Track)	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

จากกรณีสารเคมีอันตรายรั่วไหลจากบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่บริเวณบ้านปางอโศก ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา กรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าดินมีการปนเปื้อนอย่างรุนแรงด้วยสารอินทรีย์ระเหยหลายชนิด เช่น Trichloroethene (TCE) และ Benzene กรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในเบื้องต้นโดยการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์จำนวน 3 บ่อในบริเวณพื้นที่ทิ้งสารและพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบ นอกจากนี้ทางกรมควบคุมมลพิษได้ทำการวิเคราะห์น้ำบาดาลเบื้องต้น ซึ่งพบว่าน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์บ่อหนึ่งมีการปนเปื้อนในระดับสูงด้วยสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) โดยที่การแพร่กระจายของสารพิษอาจเข้าสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคของประชาชนในพื้นที่เป็นวงกว้างและก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพอนามัยได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาและสำรวจลักษณะทางกายภาพและอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา
- 1.2.2 ประเมินชนิดและปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในดิน และน้ำใต้ดิน
- 1.2.3 ประเมินความเสี่ยงและพยากรณ์การแพร่กระจายของสารพิษที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ทิ้งกากของเสีย และพื้นที่ข้างเคียงได้ จัดทำแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
- 1.2.4 ประเมินความเสียหายที่เกิดต่อทรัพยากรน้ำบาดาล
- 1.2.5 เสนอแนวทางและแผนงานการป้องกันและแก้ไขปัญหาในพื้นที่ต่อไปอย่างเหมาะสม
- 1.2.6 เป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้ เครื่องมือ การพัฒนาบุคลากรภาครัฐที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบ การจัดการ การแก้ไขปัญหา และการป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษสู่ดินและน้ำใต้ดินของประเทศแบบยั่งยืน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยซับตะเคียน เป็นพื้นที่ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่โดยรอบพื้นที่ปนเปื้อนสารพิษ ครอบคลุมพื้นที่ 165 ตร.กม. บริเวณตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง และบางส่วนของตำบลพญาเย็น อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดนครราชสีมา

คณะที่ปรึกษาได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนและพื้นที่ใกล้เคียง
- 1.3.2 ศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ และบริเวณใกล้เคียง
- 1.3.3 สร้างระบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์
- 1.3.4 ศึกษาและประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ควบคุมการไหลของน้ำใต้ดิน และสารปนเปื้อนทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม
- 1.3.5 ศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำใต้ดิน การจำลองการไหลและการแพร่กระจายสารพิษในน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์
- 1.3.6 ประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง
- 1.3.7 ศึกษาวิธีการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
- 1.3.8 กำหนดแนวทางและแผนการจัดการสารปนเปื้อนในเชิงการปฏิบัติในพื้นที่ต่อไป
- 1.3.9 ประเมินค่าความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับทรัพยากรของชาติ และค่าความเสียหายเบื้องต้น

บทที่ 2

สภาพทั่วไปของพื้นที่โครงการ

2.1 สภาพภูมิประเทศและภูมิสัณฐาน

อำเภอปากช่อง เป็นส่วนหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ใน จังหวัดนครราชสีมา **ดังรูปที่ 2-1** มีเนื้อที่ประมาณ 1,883.98 ตารางกิโลเมตร หรือ 1,177,487.50 ไร่ มีแม่น้ำสายหลักไหลผ่านอำเภอด้านทิศตะวันตก คือ คลองมวกเหล็ก และคลองลำตะคอง

2.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยฝนจะเริ่มตกประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และอากาศหนาวเย็นจะเริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ในช่วงระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนพฤษภาคม จะเป็นช่วงที่มีสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ทิศทางและความเร็วลมไม่แน่นอน ช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่อาจจะมีพายุฝนฟ้าคะนองเป็นบางครั้ง

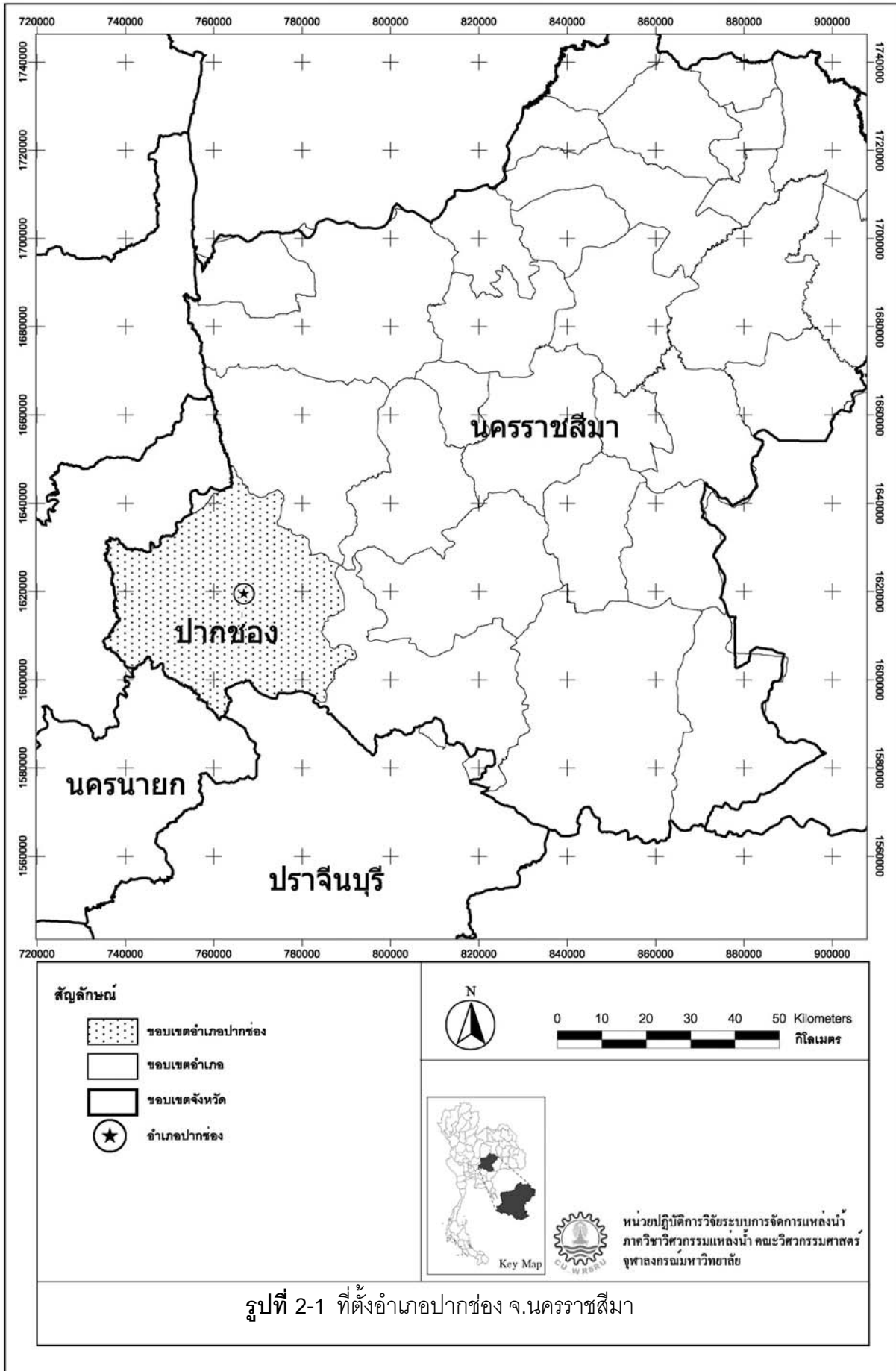
2.3 สภาพอุทกวิทยา

1) พื้นที่รับน้ำผิวดิน

อำเภอปากช่อง ประกอบด้วยพื้นที่ 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำมูล ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำบางปะกงและลุ่มน้ำปราจีน และแอ่งรับน้ำย่อยประกอบด้วย แอ่งคลองม่วงและแอ่งคลองซับตะเคียน

2) ปริมาณน้ำฝน

เมื่อพิจารณาปริมาณฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดนครราชสีมา พบว่ามีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2514-2543 1,035 มม./ปี โดยมีปริมาณฝนตกมากที่สุดอยู่ในเดือนกันยายน



รูปที่ 2-1 ที่ตั้งอำเภอปากช่อง จ.นครราชสีมา

3) ทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน

ทิศทางการไหลของน้ำผิวดินเหล่านี้เกิดจากฝนที่ตกในพื้นที่ศึกษา พบว่าการไหลของน้ำผิวดินจากบริเวณพื้นที่ที่ขยะปนเปื้อนนั้นไหลไปตามพื้นที่รับน้ำย่อยของคลองซับตะเคียน กล่าวคือ ทิศทางการไหลของน้ำผิวดินนั้นมี เป็นไปตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งไหลลงสู่คลองมวกเหล็ก แม่น้ำป่าสักในลำดับต่อไป

4) ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำคลองซับตะเคียนอยู่ในช่วง 0.01-0.87 ล้าน ลบ.ม./เดือน โดยแปรผันตามปริมาณฝนที่ตก

2.4 สภาพธรณีวิทยา

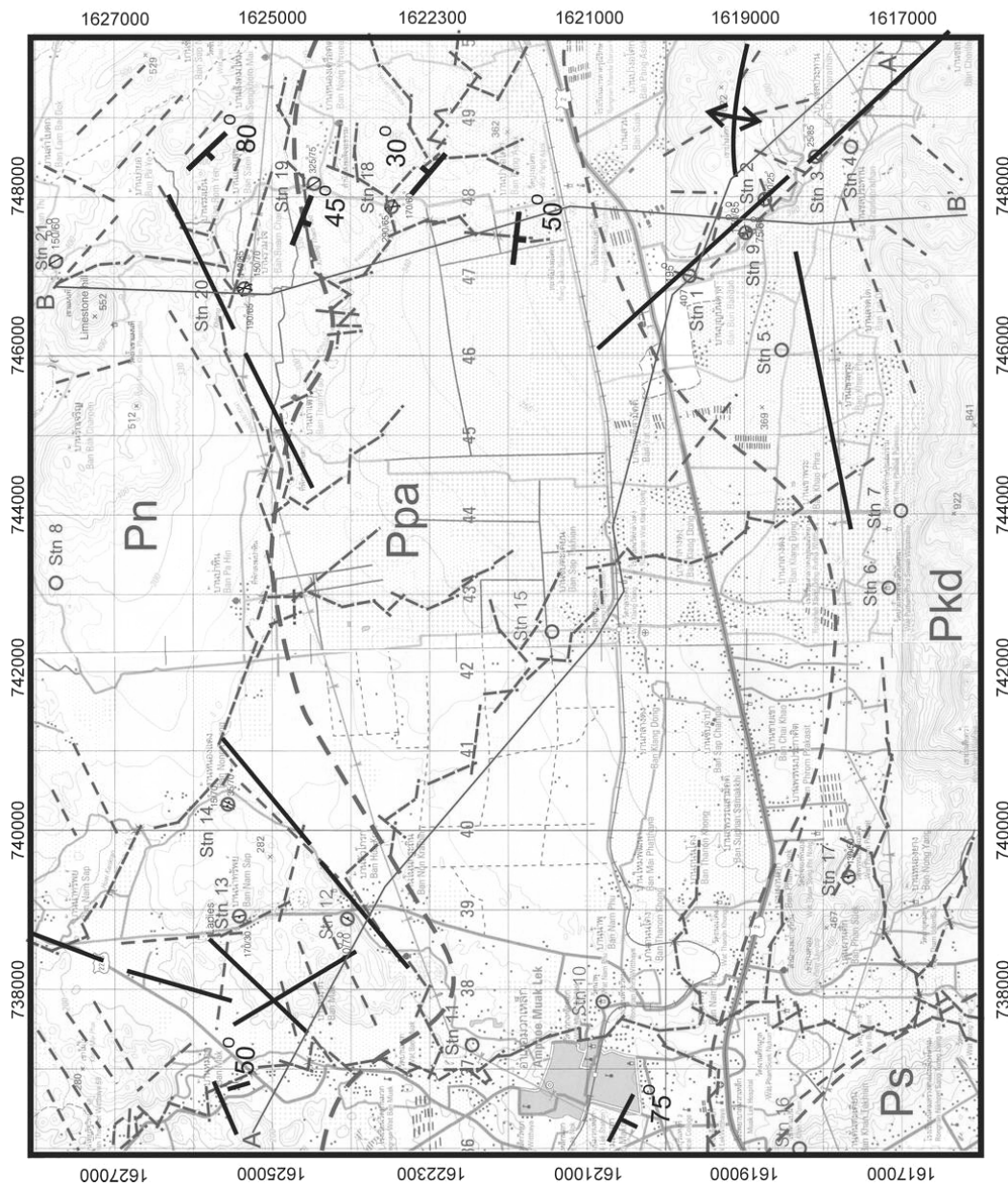
1) สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน

หมวดหินทางธรณีวิทยา

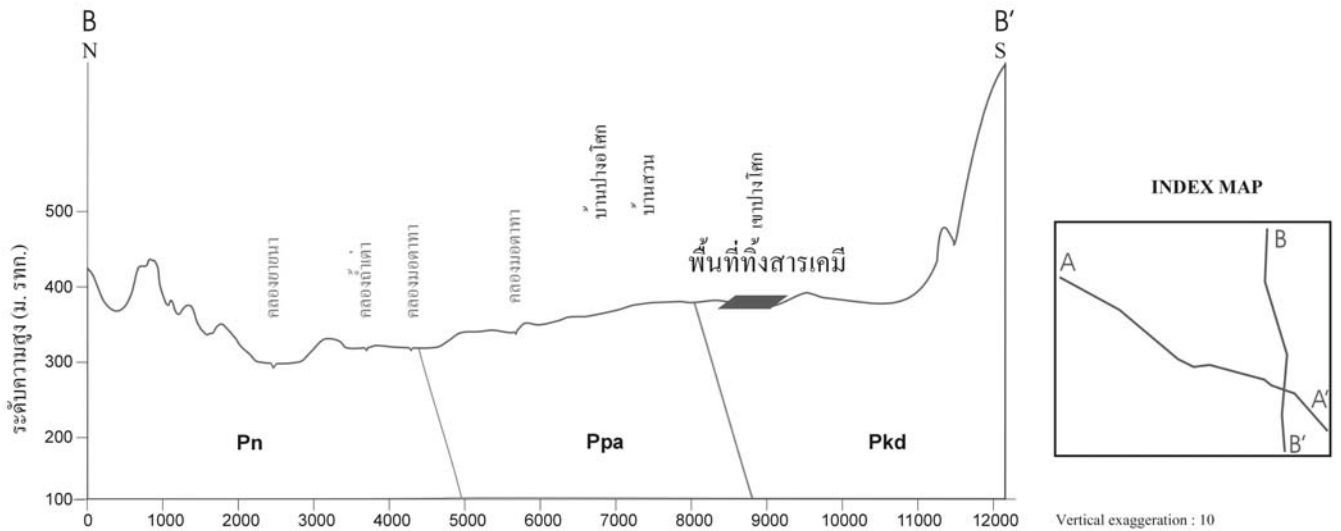
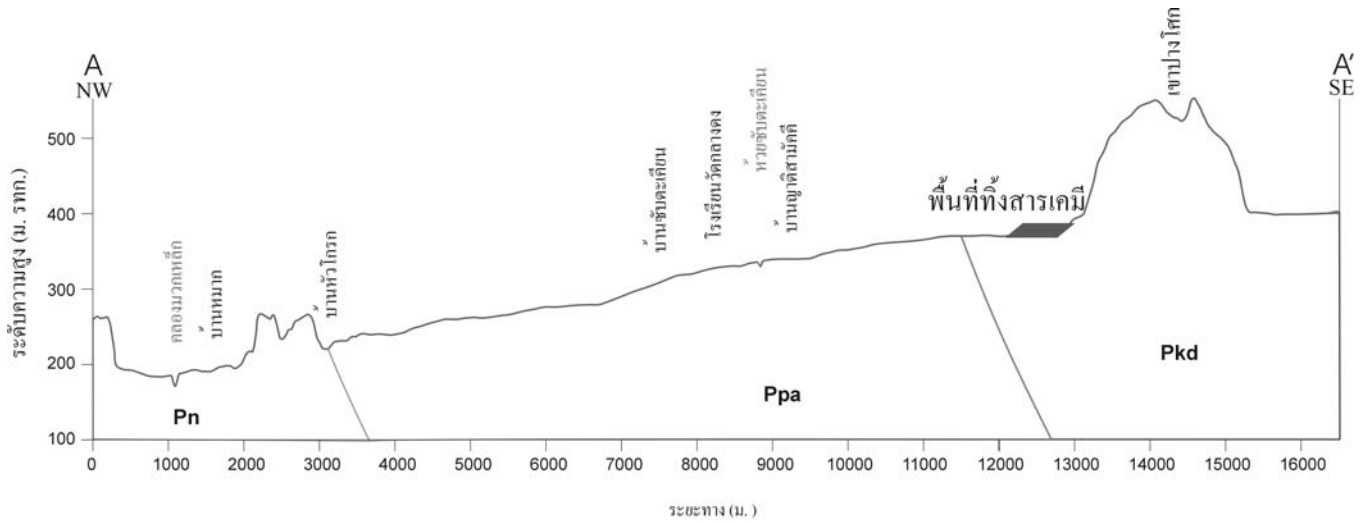
หมวดหินทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนจากการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยมาตราส่วน 1:250,000 ระวัง ND47-8 (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) ร่วมกับการตรวจสอบข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม (field check) เพิ่มเติม จำนวน 21 สถานี ระหว่างวันที่ 11-14 ตุลาคม 2549 และการวิเคราะห์รอยแตกของหินจากภาพถ่ายทางอากาศแสดงในรูปแบบที่ 2-2 และ 2-3 สรุปได้ดังนี้

หมวดหินทางธรณีวิทยา ประกอบด้วย หินชั้นและหินแปรของกลุ่มหินราชบุรี มีอายุระหว่างช่วงกลางถึงช่วงปลายยุคเพอร์เมียน (ประมาณ 245 ถึง 266 ล้านปี) ประกอบด้วยหมวดหินซึ่งเรียงลำดับอายุจากน้อยไปหามาก ดังนี้ หมวดหินซับบอน (Ps) หมวดหินเขาขาด (Pkd) หมวดหินปางอโศก (Ppa) และหมวดหินหนองโป่ง (Pn)

หมวดหินซับบอน (Ps) ประกอบด้วย หินทราย หินชีสต์ หินดินดาน หินดินดานปนเชิร์ต และหินเชิร์ตสีเทา น้ำตาลอ่อนชั้นบางๆ ชั้นสลับด้วยหินปูนสีเทา บางแห่งเป็นหินฟิลไลต์ และหินชีสต์พบในพื้นที่บางส่วนของด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ บริเวณบ้านคันตะเคียน และนิคมสร้างตนเองมวกเหล็ก



รูปที่ 2-2 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำโดยตัดปะตะเคียน



คำอธิบาย

หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation, Pkd)
หินปูนสีน้ำตาล เขียวจนถึงเทาอ่อน แด่ หินปูนเนื้อดิน กับหินโดโลไมต์ มีหินซิริตแทรกเป็นกระจปะหรือชั้นบางส่วนชั้นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และ หินภูเขาไฟ บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลก-ซิลิเกต

หมวดหินป่างโศก (Pang Asok Formation, Ppa)
หินดินดาน หินดินดานกึ่งชนวน และหินชนวน สีเทา เขียวขีมน้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงหรือ มีชั้นหินทราย และหินปูนแทรกเป็นกระจปะบาง บางแห่งเป็น หินสอเรนเฟลส

หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation, Pn)
หินปูนสีน้ำตาล มีหลายเป็นแถบหยาบและถึกับแทรกด้วย ชั้นหินซิริต หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์ สีเขียวขีมน้ำตาล บางแห่งเป็นหินภูเขาไฟ หินสอเรนเฟลส หินชนวนและหินควอร์ตไซต์

รูปที่ 2-3 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน แนว A-A' และ B-B'

หมวดหินเขาขาด (Pkd) เป็นหินปูนสีดํา สีเทาเข้มจนถึงเทาอ่อน บางส่วนเป็นหินปูนตกผลึกใหม่ และหินปูนเนื้อดินกับหินโดโลไมต์ มักมีหินเชิร์ตที่เป็นกระเปาะและเป็นชั้นแทรก บางส่วนคั่นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟบ้างเล็กน้อย บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลกซิลิเกตส่วนมากมีซากฟอสซิล ปะการัง หอยตะเกียง และสาหร่าย พบบริเวณตอนล่างของพื้นที่ศึกษา ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินสีแดง (Terra Rosa) ส่วนพื้นที่ภูเขาหินปูนในบางบริเวณพบหน้าผาหินปูนที่มีรอยแตกจำนวนมาก ส่วนบริเวณพื้นที่ราบพบป่าช้าหินปูน (lapies)

หมวดหินปางอโศก (Ppa) เป็นหินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้นบาง สีเทา เขียวซีม้ํา น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดง มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะบางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์ พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดิน สีดํา

หมวดหินหนองโป่ง (Pn) เป็นหินปูนสีดําถึงเทาดํา ลักษณะมีลายเป็นแถบหยาบและถักกับหินเชิร์ตเป็นชั้น หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์สีเขียว เทาแกมน้ำตาล น้ำตาลแกมเทา บางแห่ง พบหินแอนดีไซต์ หินฮอร์นเฟลส์ หินชนวนและหินควอร์ตไซต์ ส่วนมากมีซากโคเรียนอยด์ ฟอสซิล และปะการัง พบบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษา

โครงสร้างทางธรณีวิทยา

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ รอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (anticline) รูปประทุนหงาย (syncline) รอยแตก (fracture) รอยแยก (joint) และแนวระดับ (strike of bed) ซึ่งปรากฏให้เห็นโดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษา รอยคดโค้งพบมากบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งรองรับด้วยหมวดหินเขาขาด แนวระดับการวางตัวของหิน มีหลายทิศทางโดยมีมุมเทของชั้นหิน (dip of bed) ตั้งแต่ 30-80 องศา รอยแตกของหินมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในแนว 26 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2-1

2) สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง

สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงรองรับด้วยหินปูนสีเทาเข้มจนถึงเทาอ่อน ซึ่งจัดอยู่ในหน่วยหินเขาขาด (Pkd) มีดินสีแดง (Terra Rosa) ปกคลุมพื้นที่ หนา 1-12 เมตร จากผิวดิน รอยแตกของหินจากหินโผล่พบทั้งรอยแตกในแนวระนาบและแนวตั้ง

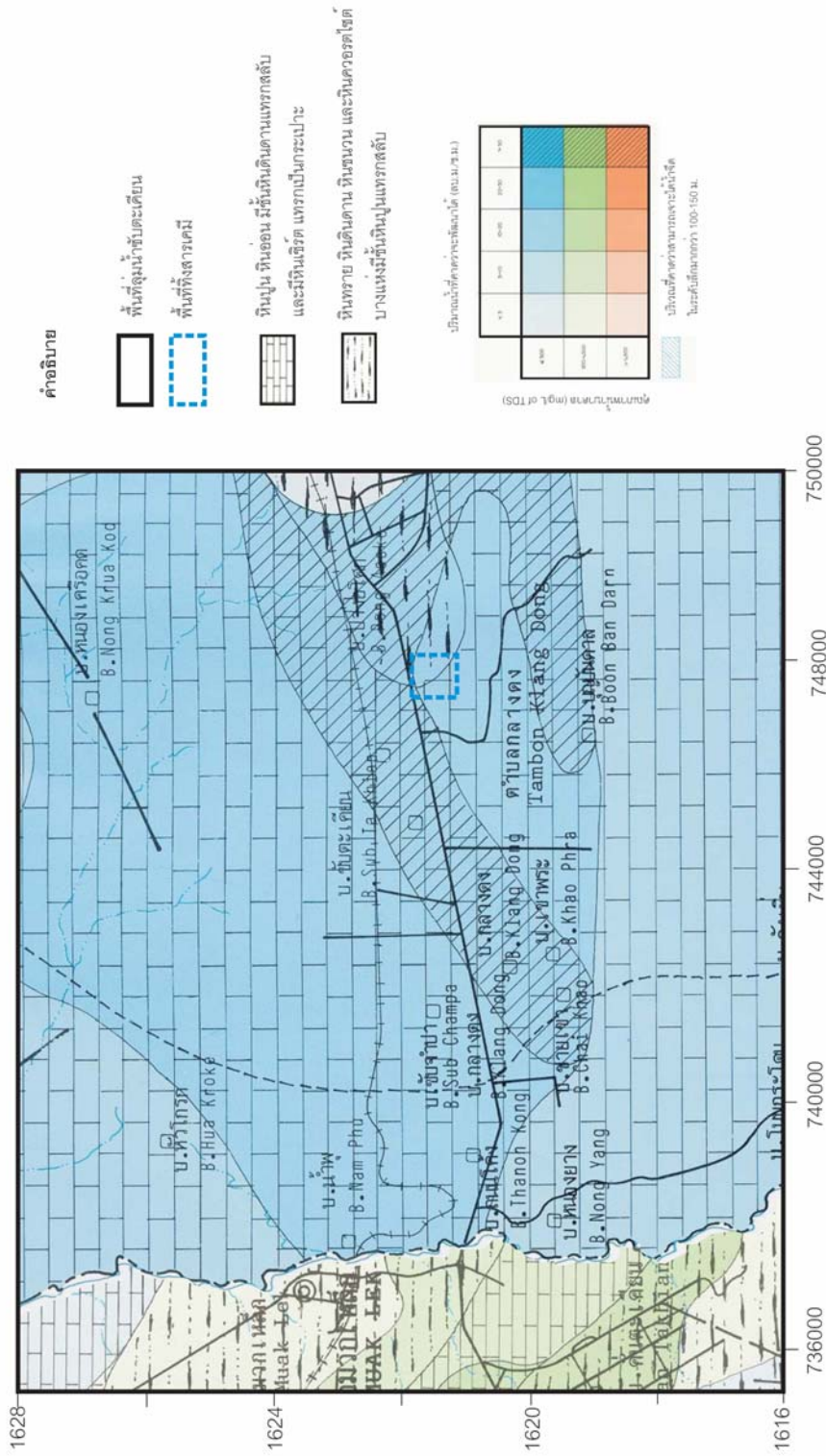
2.5 สภาพอุทกธรณีวิทยา

ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยระดับตะเคียนจากข้อมูลแผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:100,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2531) ดังแสดงในรูปที่ 2-4 และการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาพบว่าหน่วยหินอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยระดับตะเคียน มี 3 หน่วยหิน แบ่งตามหมวดหินทางธรณีวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2-2 โดยเรียงลำดับจากอายุน้อยไปมาก ได้ดังต่อไปนี้

หน่วยหินเขาขาด (Pkd) ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดำ เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน และ พบหินโดโลไมต์แทรกชั้นด้วยกระเปาะหินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟบ้างเล็กน้อย และพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนรองรับด้วยหน่วยหินเขาขาดตั้งอยู่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยระดับตะเคียน 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.)

หน่วยหินปางอโศก (Ppa) ส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และ หินชนวนชั้นบางสีเทา เขียวเข้ม น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดง มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะ พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ด้านตะวันออกไปทิศตะวันตก พื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินสีดำ กักเก็บอยู่ในรอยแตกและช่องว่างของหินผุ เช่น บริเวณพื้นที่บางส่วนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ ประมาณ 10-20 ลบ.ม./ชม. ส่วน พื้นที่ตอนบนของบ้านปางอโศก ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้มีมากกว่า 20 ลบ.ม./ชม. น้ำบาดาลมีคุณภาพดี

หน่วยหินหนองโป่ง (Pn) ส่วนใหญ่เป็นหินปูนสีดำถึงเทาดำ มีลายเป็นแถบของชั้นหินเชิร์ต บางแห่งเป็นหินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์ และหินภูเขาไฟ พบบริเวณตอนเหนือของพื้นที่ซึ่งเป็นที่เขาสูง ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ ประมาณ 10-20 ลบ.ม./ชม. และมีคุณภาพน้ำดี



2.6 สภาพการใช้ที่ดิน

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

2.7 ประชากรและลักษณะเศรษฐกิจและสังคม

1) ประชากร

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

2) เศรษฐกิจ

อาชีพหลักของประชากร คือ อาชีพเกษตรกรรม สัตว์เศรษฐกิจได้แก่ ไก่ สุกร โค เนื้อ และโคนม สำหรับอุตสาหกรรมในพื้นที่อำเภอปากช่อง ประกอบด้วย กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร และแปรรูปสินค้าการเกษตร และอุตสาหกรรมสนับสนุนวิศวกรรม เช่น โรงงานหินอ่อน ผลิตภัณฑ์คอนกรีต ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ยานยนต์

บทที่ 3

การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน

การศึกษาวิจัยลักษณะของพื้นที่ปนเปื้อน มีขอบเขตพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ศึกษาระดับที่ 1 คือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ครอบคลุมบริเวณส่วนใหญ่ของตำบลกลางดง และบางส่วนของตำบลพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการได้รับการปนเปื้อนของสารเคมีจากพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน พื้นที่ศึกษาระดับที่ 2 ได้แก่ พื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง บริเวณบ้านปางอโศก ต.กลางดง

3.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหิน

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:100,000 ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำซับตะเคียนของกรมทรัพยากรธรณี ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1:50,000 และภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลเหล่านี้นำมาแปลความลงในแผนที่พื้นฐานมาตราส่วน 1:50,000

3.1.2 การตรวจสอบสารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

1) สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยกลุ่มที่มีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้มาก สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทตามความหนาแน่นของสารได้ดังนี้

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

- Dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) เป็นสารที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ และมีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เมื่อมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะอยู่ด้านล่างของชั้น

น้ำ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ Trichloroethylene (TCE) 1,1,1-trichloroethane (TCA) และ Tetrachloroethylene (PCE) เป็นต้น

ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยประเภทต่าง ๆ ในน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543 แสดง 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

2) โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวในกระบวนการตามธรรมชาติได้ จึงมีบางส่วนที่สะสมอยู่ในดินและดินตะกอนในน้ำ โดยมาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543 แสดงดังตารางที่ 3-2 ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสาร

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

3) สารกำจัดศัตรูพืช

สารกำจัดศัตรูพืชแบ่งประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย สารประกอบฟอสเฟต สารกลุ่มคาร์บาเมต สารประเภทไพรีทรอยด์ และสารประกอบคลอรีน สำหรับค่ามาตรฐานของสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543 แสดงดัง**ตารางที่ 3-3**

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

3.2 การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และศึกษารอยแตกของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์

คณะที่ปรึกษาได้ศึกษาการวางตัวและรอยแตกของหินโดยการแปลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ การสำรวจหินโผล่และวัดแนวการวางตัวของหิน (11-14 ตุลาคม 2549) การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดินด้วยวิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้า (29 พฤศจิกายน ถึง 1 ธันวาคม 2549) และการสำรวจธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ (6-24 กุมภาพันธ์ 2550) โดยใช้เครื่องวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ (caliper log) และเครื่องถ่ายภาพโทรทัศน์วงจรมัด (television log) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบรอยแตกในหินปูนได้อย่างชัดเจน

3.2.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดิน

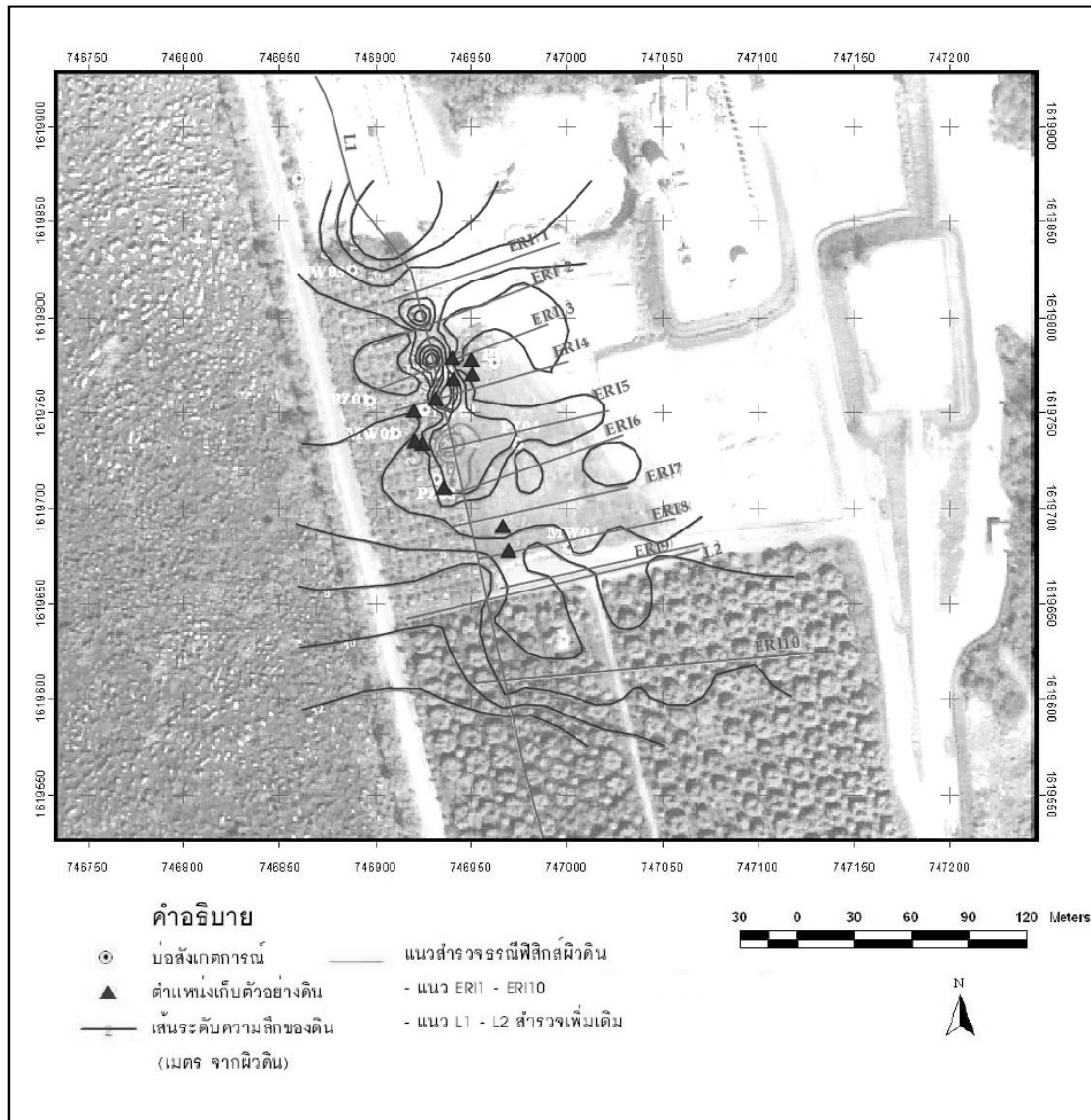
การสำรวจธรณีฟิสิกส์ผิวดิน ระหว่างวันที่ 29 พฤศจิกายน 2549 - 1 ธันวาคม 2549 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน วิเคราะห์ความลึกที่พบหินปูน และแนวรอยแตก มีวิธีการศึกษาดังนี้

1) การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยาบ โดยวางขั้วอิเล็กโทรดแบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole) จำนวน 2 แนว แนวที่ 1 (L1) ระยะสำรวจ 750 เมตร และแนวที่ 2 (L2) ระยะสำรวจ 150 เมตร

2) การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบละเอียด โดยวางขั้วอิเล็กโทรดเวนเนอร์ (Wenner array) จำนวน 2 แนว แนวที่ 1 (L1) ระยะสำรวจ 400 เมตร และแนวที่ 2 (L2) ระยะสำรวจ 150 เมตร

3) การแปลความโดยการสร้างภาพตัดขวางด้วยโปรแกรม RES2DINV

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้า สามารถแปลความหมายสภาพใต้ผิวดินได้ว่า ที่ความลึกประมาณ 1-12 เมตร เป็นตะกอนดิน จากนั้นเป็นหินปูนเนื้อแน่น ผิวบนของหินปูนมีลักษณะขรุขระเนื่องจากการผุกร่อน ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนที่แสดงระดับความลึกของดินที่ปิดทับหินปูน

3.2.2 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดิน

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดินเป็นการหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะที่เจาะเพิ่มเติมในพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง โดยใช้วิธี television log จำนวน 10 บ่อ (PW01-PW02 และ PZ01-PZ06, PZ08, PZ10) เพื่อตรวจหาตำแหน่งและแนวการวางตัวของรอยแตกในหิน และวิธี caliper log จำนวน 12 บ่อ (PW01-PW02 และ PZ01-PZ10) โดยวัดขนาดความกว้างของหลุมเจาะ ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดของบ่อที่สำรวจธรณีฟิสิกส์ใต้ดิน

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ระดับความสูง* (ม รทก)	ความลึกเจาะ (ม.)	ช่วงความลึก (ม.) ที่เจาะโดยหัวเจาะ 6"	วันที่หยั่ง caliper log (ว/ค/ป)	วันที่หยั่ง television log (ว/ค/ป)
1	PW01	746962	1619776	377.47	50	6 - 50	21/2/50	22-24/2/50
2	PW02	746926	1619751	377.56	60	3 - 60	21/2/50	22-24/2/50
3	PZ01	746897	1619756	377.77	60	3-60	6/2/50	6/2/50
4	PZ02	746938	1619771	376.25	50	9-50	6/2/50	22-24/2/50
5	PZ03	746932	1619715	378.14	48	4-48	21/2/50	22-24/2/50
6	PZ04	746975	1619734	377.81	48	1-48	21/2/50	22-24/2/50
7	PZ05	746860	1619872	376.37	60	2-60	21/2/50	22-24/2/50
8	PZ06	746675	1620089	372.35	70	5-70	22/2/50	22-24/2/50
9	PZ07	746532	1620048	372.20	25	6-25	21/2/50	-
10	PZ08	746351	1620056	371.26	60	4-60	23/2/50	22-24/2/50
11	PZ09	746950	1620005	376.58	30	6-30	22/2/50	-
12	PZ10	746954	1620147	374.99	50	6-50	23/2/50	22-24/2/50

3.2.3 ลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกของหินจากการศึกษาด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์

การสำรวจธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะโดยใช้เครื่องถ่ายโทรมัดสนับจรวด พบว่าหินปูนหน่วยหินเขาขาดที่รองรับพื้นที่ที่สำรวจปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียงมีรอยแตกในแนวนอนมากกว่า รอยแตกในแนวตั้ง โดยรอยแตกของหินปูนในแนวนอนมีหลายขนาด หลายระดับความลึก แต่ยังไม่สามารถเชื่อมต่อกันระหว่างบ่อได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ส่วนรอยแตกในแนวตั้งมีระยะประมาณ 1-3 เมตร และทิศทางการวางตัวไม่แน่นอน ความลึกของรอยแตกหลักที่ให้น้ำมี

2 ระดับ ได้แก่ 20-30 เมตร และ 45-50 เมตร และปริมาณรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหินสามารถประเมินจากภาพ television log ได้ประมาณร้อยละ 10-45

3.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนในดิน

3.3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

คณะที่ปรึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของสารเคมีในดินใช้เทคนิค Rotary Drilling

3.3.2 การตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน

การตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน ประกอบด้วย การตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยด้วยวิธี Gas Chromatography การตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrometers และการตรวจสารกำจัดศัตรูพืชด้วยวิธี Gas Chromatography ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 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

ผลการตรวจวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหยในดิน ไม่พบสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 15 พารามิเตอร์ รวมทั้งผลการสุ่มตรวจวิเคราะห์หาสารกำจัดศัตรูพืช ก็ตรวจไม่พบสารกำจัดศัตรูพืช ทั้ง 16 พารามิเตอร์เช่นกัน

สำหรับผลการสุ่มตรวจวิเคราะห์โลหะหนักจากตัวอย่างดิน ตรวจพบโลหะหนัก 8 ชนิด คือ Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead, Manganese, Nickle, Copper และ Zinc โดยพบ Arsenic เกินระดับมาตรฐานคุณภาพดิน

3.4 การสำรวจน้ำใต้ดิน

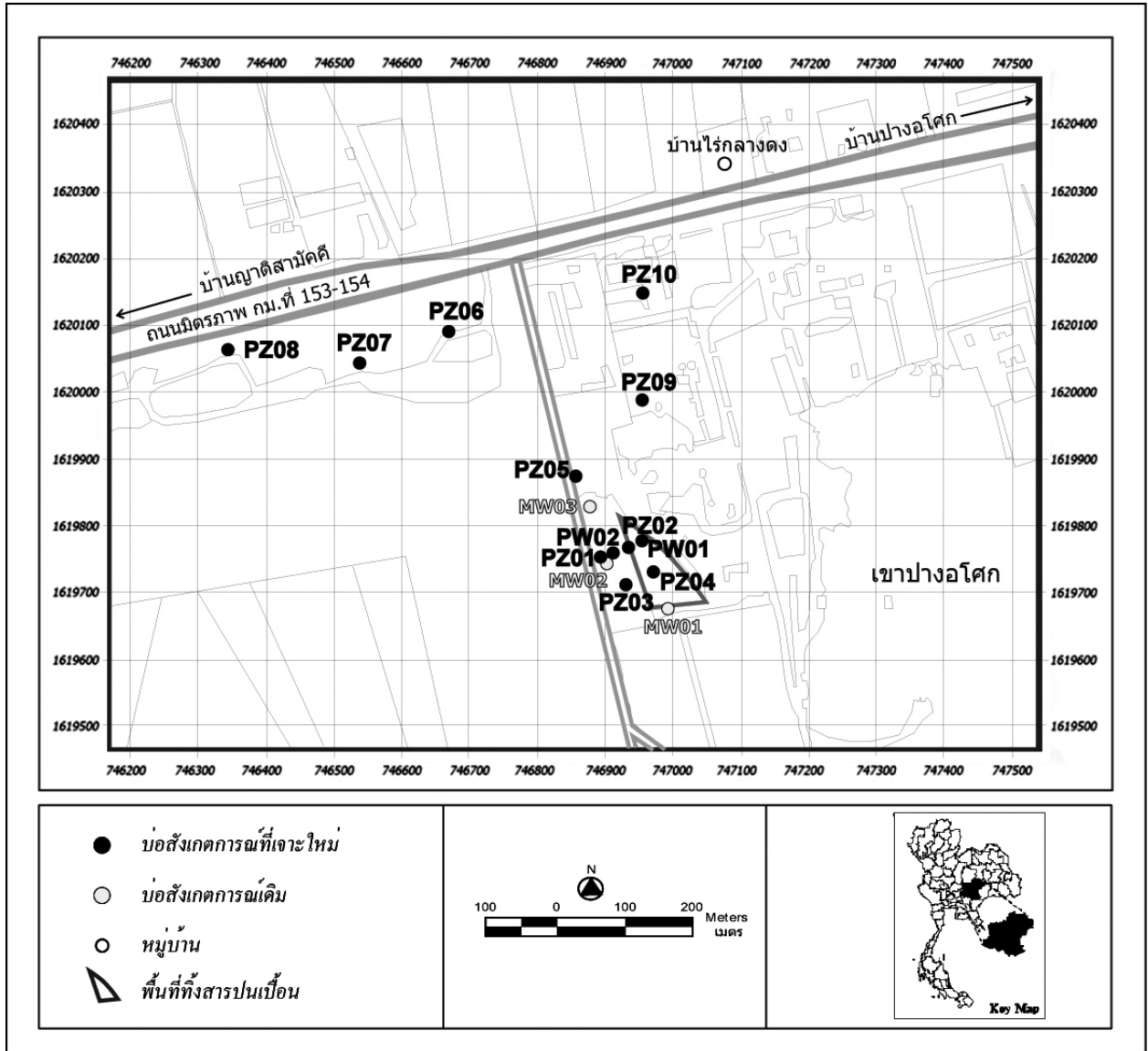
การสำรวจน้ำใต้ดินเป็นการสำรวจขอบเขตและการแพร่กระจายของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา การตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้น (EC, TDS, pH) การเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การรังวัดระดับความสูงของบ่อสังเกตการณ์ การสุบทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบเพื่อประมวลสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะ และรูปแบบการไหลของน้ำบาดาล โดยจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงมโนทัศน์และเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่ เพื่อให้ประเมินความเสี่ยงและผลกระทบของสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ต่อไป

3.4.1 งานเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์

งานเจาะและติดตั้งเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง เพื่อตรวจสอบชั้นดินชั้นหิน ติดตามการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ วัดระดับน้ำบาดาล (water level) และวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ใช้วิธีการเจาะแบบกดกระแทก (down the hole hammer) ความลึกการเจาะรวมทั้งสิ้น 611 เมตร รายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์แสดงดังตารางที่ 3-3 และรูปที่ 3-2

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลตำแหน่งและรายละเอียดการเจาะบ่อสังเกตการณ์

หมายเลขบ่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ระดับความสูง (ม รทก)	ความลึกที่เสนอเจาะ (ม.)	วันที่เจาะ	ความลึกบ่อที่เจาะ (ม.)	ช่วงความลึก (ม.) ที่เจาะโดยหัวเจาะ 6"	ท่อกันพังขนาด(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



รูปที่ 3-2 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ PW01-PW02 และ PZ01-PZ10

3.5 การสุบทดสอบบ่อสังเกตการณ์

คณะที่ปรึกษาดำเนินการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยว (บ่อ MW01 MW03 PW01 PZ01 PZ03 และ PZ04) และ slug test (บ่อ MW01) ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ที่ความลึก 35-40 เมตร

จากข้อมูลการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยวนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T, ตร.ม./วินาที) และข้อมูลสุบทดสอบแบบ slug test นำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K, ม./วินาที)

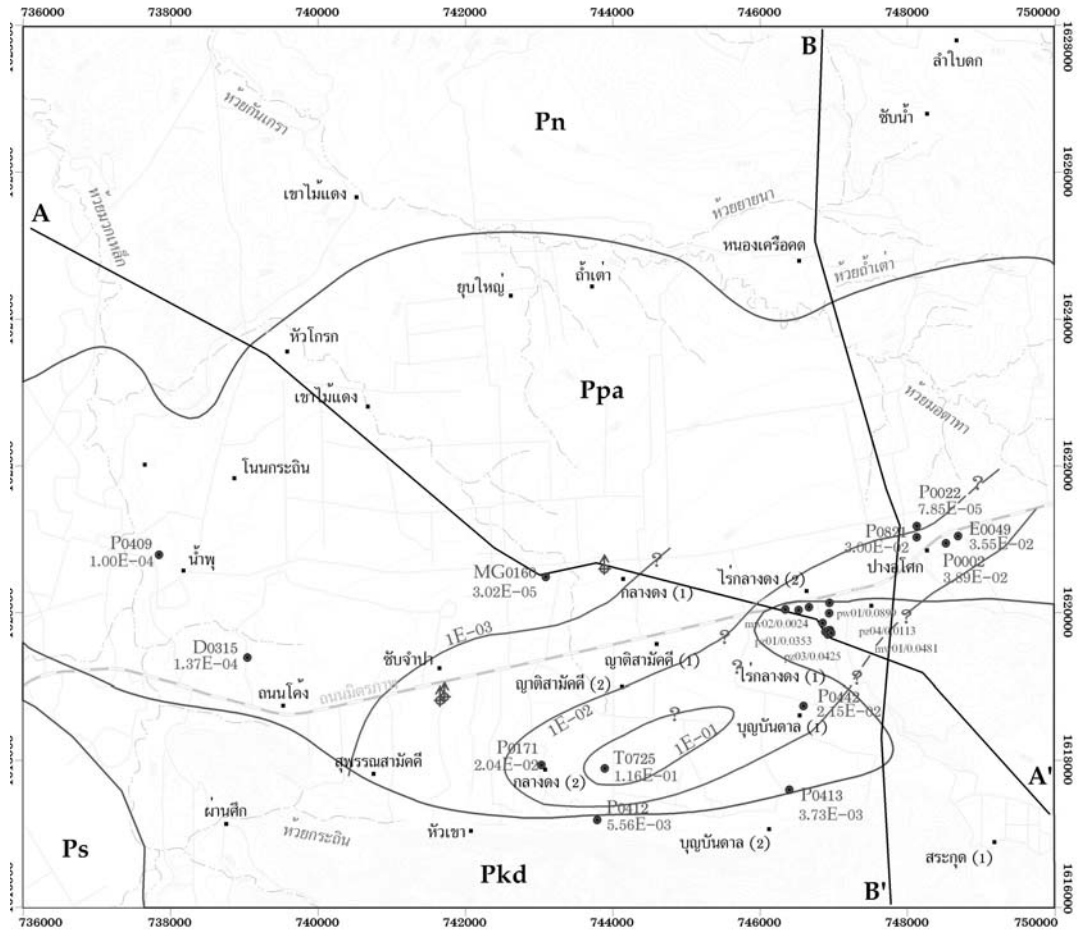
ผลการวิเคราะห์หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่มีค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ ดังนี้

1) หน่วยหินเขาขาด (Pkd) มีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ $1.26 \times 10^{-3} - 8.99 \times 10^{-2}$ $\text{m}^2/\text{วินาที}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน $2.52 \times 10^{-5} - 1.80 \times 10^{-3}$ ม./วินาที

2) หินปางอโศก (Ppa) มีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ $7.85 \times 10^{-5} - 1.16 \times 10^{-1}$ $\text{m}^2/\text{วินาที}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน $1.57 \times 10^{-6} - 2.32 \times 10^{-3}$ ม./วินาที

3) หน่วยหินหนองโป่ง (Pn) ไม่มีข้อมูลการสุบทดสอบ จึงประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำจากชนิดและรอยแตกของหิน ซึ่งมีค่าประมาณ $2.10 \times 10^{-5} - 9.20 \times 10^{-3}$ $\text{m}^2/\text{วินาที}$ (Spitz and Moreno, 1996) และมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน $4.20 \times 10^{-7} - 1.84 \times 10^{-4}$ ม./วินาที

การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน ดังแสดงในรูปที่ 3-3



คำอธิบาย

- หมู่บ้าน
- ทางหลวง
- ทางสายรอง
- ทางน้ำ
- เส้นระดับชั้นความสูงของภูมิประเทศ (ม. รทก.)
- บ่อนบาดาล
- ⊕ บ่อน้ำพุ
- 1E-02 เส้นชั้นความสูงของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (ตร.ม./วัน)
- A A' แนวตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา
- เขตหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา



รูปที่ 3-3 แผนที่การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน

3.6 การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน

1) การติดตามระดับและคุณภาพน้ำใต้ดิน

การตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำใต้ดิน ได้แก่ Electrical Conductivity (EC) Total Dissolved Solids (TDS) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ ซึ่งดำเนินการครบทั้ง 3 ครั้งในรอบปีแล้ว โดยตรวจวัดในช่วงเดือนตุลาคม 2549 จำนวน 26 บ่อ เดือนกุมภาพันธ์ 2550 จำนวน 32 บ่อ และเดือนพฤษภาคม 2550 จำนวน 33 บ่อ

ระดับน้ำใต้ดินระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) และเดือนตุลาคม (ช่วงฤดูฝน) บริเวณที่ลุ่มฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษาลดลงเฉลี่ย 0.5 เมตร ส่วนบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาและบริเวณบ้านปางอโศกพบว่า ค่าระดับน้ำใต้ดินของเดือนกุมภาพันธ์ลดลงจากเดือนตุลาคมประมาณ 2-9 เมตร และ 3-9 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการใช้น้ำในเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) มากกว่าเดือนตุลาคม (ช่วงฤดูฝน) สำหรับคุณภาพน้ำใต้ดินเบื้องต้นที่ตรวจวัดพบว่าเป็นน้ำจืด (TDS น้อยกว่า 700 มก./ล.) ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าในช่วง 6.5 - 7.8

ส่วนระดับน้ำใต้ดินระหว่างเดือนพฤษภาคม (ช่วงต้นของฤดูฝน) และเดือนกุมภาพันธ์ (ช่วงฤดูแล้ง) บ่อใต้ดินโดยส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณทิศใต้และที่ลุ่มฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 2 เมตร ส่วนบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินลดต่ำลงพบบริเวณตอนกลางและบริเวณบ้านปางอโศกพบว่า ระดับน้ำใต้ดินลดลงตั้งแต่ 0.5 - 6 ม. ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ คุณภาพน้ำใต้ดินเบื้องต้นที่ตรวจวัดพบว่าเป็นน้ำจืด (TDS น้อยกว่า 700 มก./ล.) ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าในช่วง 6.9 - 7.5

2) การตรวจสอบหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

ขณะที่ปรึกษาดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจำนวน 2 ครั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดยนำมาตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) พบว่า ข้อมูลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจากการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 ในช่วงฤดูแล้งพบสาร VOCs ประเภท Benzene, Trichloroethylene (TCE), cis-dichloroethylene (cis-DCE), 1,1,2-dichloroethane, 1,2-dichloroethane และ 1,1-dichloroethylene ในพื้นที่ที่ขุดสารปนเปื้อนดัง **ตารางที่ 3-4** อย่างไรก็ตามไม่พบสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ด้านท้ายน้ำ (Downstream) ซึ่งอยู่ในแนวการเคลื่อนที่หลักของน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ขณะที่ปรึกษาตั้งสมมติฐานว่า สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินอาจจะยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าว

สำหรับผลการตรวจหาสาร VOCs สารกำจัดศัตรูพืช และโลหะหนักในน้ำใต้ดิน ครั้งที่ 2 ในช่วงฤดูฝน จากบ่อสังเกตการณ์ที่ระดับความลึกต่างกันออกไป และจาก Open Pit ของเหมืองหินปูนข้างเคียง ผลการศึกษาพบว่ายังมีหลักฐานการปนเปื้อนของสาร VOCs ในน้ำใต้ดินในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียง แต่ไม่พบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่เก็บจาก Open Pit ของเหมืองหินปูนข้างเคียง สาร VOCs ที่ตรวจพบเกินระดับมาตรฐานน้ำใต้ดิน ได้แก่ Tetrachloroethylene (PCE), Trichloroethylene (TCE), cis-dichloroethylene (cis-DCE), 1,1,2 dichloroethane, 1,2-dichloroethane และ 1,1-dichloroethylene ดังตารางที่ 3-4 แต่ไม่พบสารกำจัดศัตรูพืช และโลหะหนักเกินระดับมาตรฐานน้ำใต้ดิน โดยจากการตรวจสอบหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 และ 2 พบว่าความเข้มข้นของ TCE และ PCE ในน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสาร PCE จากเดิมตรวจไม่พบในตัวอย่งน้ำที่เก็บในครั้งที่ 1 ทั้งนี้คณะที่ปรึกษาตั้งสมมติฐานเพื่ออธิบายพฤติกรรมนี้ว่า Secondary Contaminant Source ในชั้นน้ำใต้ดินแบบไม่อิ่มตัวน่าจะประกอบด้วย PCE เป็นส่วนมาก และมี TCE บ้าง

ตารางที่ 3-4 ผลการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

Parameters	wells	results (ppb)																												
		PZ02		PZ04		PZ01		PW02		PZ03		PZ05		PZ06		PZ08		PZ10		P300		ST		DL						
Benzene	depth(m)	36	40	50	32	48	26	40	35	40	31	50	40	60	70	40	40	30	35	-	-	-	-	-	-					
	Feb-07	-	17.9	-	2.95	-	-	-	-	-	3.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Carbon Tetrachloride	Jun-07	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-					
	Feb-07	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-				
1,2-Dichloroethane	Jun-07	49.61	-	22.25	-	2.2	-	<2	-	4.95	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-					
	Feb-07	-	<2	48.72	-	12.66	-	27.34	-	8.905	-	12.26	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-					
1,1-Dichloroethylene	Jun-07	7.11	-	5.875	-	6.26	-	<2	-	5.155	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-				
	Feb-07	-	105.5	-	24	-	215	-	<10	-	23.4	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-				
cis-1,2-Dichloroethylene	Jun-07	330	-	391.5	-	206	-	287.5	-	281	115.5	-	12.2	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-				
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
trans-1,2-Dichloroethylene	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
Dichloromethane	Jun-07	<2	-	2.2	-	2.35	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-			
	Feb-07	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-			
Ethylbenzene	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
Styrene	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-			
Tetrachloroethylene	Jun-07	696.5	-	527	-	723	-	401.5	-	880.5	276	-	77.92	-	16.04	-	25.26	-	25.26	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-		
	Feb-07	-	409	-	221.5	-	795	-	860	-	206.5	86.35	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
Toluene	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
Trichloroethylene	Jun-07	990.5	-	451	-	322.5	-	2310	-	3320	-	302.5	120	-	11.04	-	23.98	-	25.5	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-		
	Feb-07	-	<10	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
1,1,1-Trichloroethane	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
1,1,2-Trichloroethane	Jun-07	228.5	-	86.6	-	2.45	-	43.05	-	22.25	-	8.15	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	<2	-	
	Feb-07	-	<10	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
Total Xylenes	Jun-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
	Feb-07	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	<10	-	
PCB (Aroclor 1254)	Jun-07	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Feb-07	-	-	-	-	-	-	<0.05ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formaldehyde	Jun-07	-	-	-	-	-	-	<0.05ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Feb-07	-	-	-	-	-	-	<0.05ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ST: มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกาศกรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) PZ02, PZ04: บ่อสังเกตการณ์พื้นที่ซึ่งสามารถเก็บ PZ01, PW02, PZ03, PZ05, PZ06, PZ08, PZ10: บ่อสังเกตการณ์พื้นที่ซึ่งสามารถเก็บ PZ03: หลุมเปิดออกพื้นที่ซึ่งสามารถเก็บ

DL: Detection Limit

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 มีแนวโน้มกระจายตัวออกไปสู่บ่อนอกพื้นที่ที่ซึ่งสารปนเปื้อนมากขึ้น (PZ06, PZ10) ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2

เมื่อพิจารณา Toluene นั้นพบว่ามีความเข้มข้นที่ลดลงในระดับที่ลึกมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของ LNAPL ส่วนสาร TCE ซึ่งเป็น DNAPL นั้นมีแนวโน้มที่พบความเข้มข้นมากเมื่อระดับความลึกมากขึ้น อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของสารปนเปื้อนตามแนวดิ่งนั้นยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้ชัดเจน เนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะของบ่อสังเกตการณ์ที่มีลักษณะของ Open-Hole ส่งผลให้ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของการกระจายตัวตามแนวดิ่งของสารปนเปื้อนในการศึกษาครั้งนี้

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินในบริเวณจุดที่ซึ่งสารปนเปื้อน ที่พบว่ามีแนวโน้มของสารปนเปื้อนมากขึ้นในฤดูฝน ทำให้เห็นว่า อาจมีแหล่งของสารปนเปื้อนที่ตกค้างอยู่ในบริเวณส่วนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) เนื่องจากการเติมน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) ในฤดูฝนจากผิวดินไหลผ่านชั้นดินและชั้นหินส่วนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน โดยนำพาเอาสารปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในบริเวณพื้นที่ที่ซึ่งสารปนเปื้อนมีมากขึ้น ดังเห็นได้จากการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในเดือนมิถุนายน 2550 พบว่าความเข้มข้นของ TCE และ PCE ในน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสาร PCE จากเดิมตรวจไม่พบในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 แต่กลับตรวจพบในปริมาณสูงในเดือนมิถุนายน 2550

การเพิ่มขึ้นของสารปนเปื้อนในฤดูฝนแสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนย้ายดินในระดับตื้นที่มีความลึก 0-2 เมตร ออกจากพื้นที่ที่ซึ่งสารปนเปื้อนก่อนหน้านั้น ไม่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่ยังคงค้างอยู่ในส่วนไม่อิ่มตัวด้วยน้ำไปได้หมด ฉะนั้นควรมีการบำบัดสารปนเปื้อนในบริเวณไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อกำจัดแหล่งของสารปนเปื้อนที่ยังคงค้างอยู่ในชั้นดินและหินเหล่านั้นด้วย

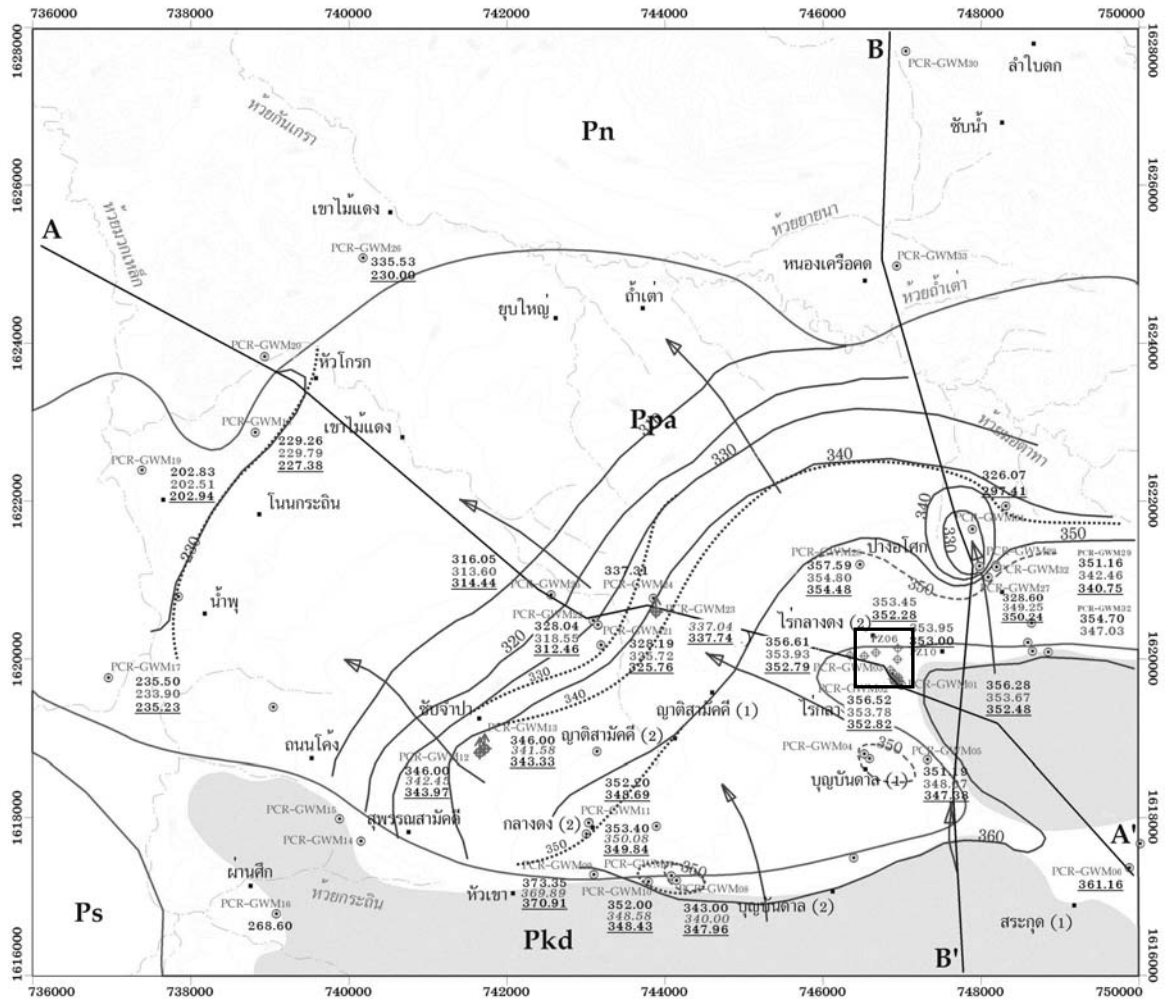
บทที่ 4

การประมาณพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนนี้ครอบคลุมถึงการเก็บข้อมูลการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน ณ ตำแหน่งต่างๆ กระจายทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังรวมถึงการนำผลวิเคราะห์การปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ได้มาประมาณพื้นที่ปนเปื้อนโดยการวาดเส้น Iso-Concentration ของสารปนเปื้อนแต่ละชนิดที่อาจพบเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์ สำหรับสารปนเปื้อนที่พบในดินจะนำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot Spots) ต่อไป

4.1 การสร้าง Topographic Map เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลแรงดันระดับน้ำบาดาล (hydraulic head) ได้จากการสำรวจภาคสนามช่วงเดือนตุลาคม 2549 เดือนกุมภาพันธ์ 2550 และเดือนพฤษภาคม 2550 พบว่า บริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (พื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน) มีค่า hydraulic head ประมาณ 350 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ม.รทก.) และบริเวณด้านทิศตะวันตก (ห้วยมวกเหล็ก) มีค่า hydraulic head ประมาณ 220 ม.รทก. ซึ่งในบริเวณดังกล่าวพบน้ำพุในช่วงฤดูฝน (จากข้อมูลในเดือนตุลาคม) เช่น บ่อน้ำบาดาลบริเวณวัดมิตรภาพนาราม โรงเรียนวัดมิตรภาพนาราม บ.กลางดง ต.กลางดง บริเวณวัดน้ำพุ ต. พญาเย็น และบ่อเอกชน บ.ญาติสามัคคี ต.กลางดง มีความสูงประมาณ 0 – 1 ม. จากผิวดินบริเวณหมู่บ้านปางอโศก มีค่า hydraulic head ประมาณ 330 – 340 ม.รทก. เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำบาดาลเท่ากัน (equipotential line) ของระดับน้ำบาดาลเป็นรูปกรวยน้ำลด ซึ่งในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) จะขยายวงกว้างกว่าในเดือนตุลาคม จากรูปที่ 4-1 สรุปได้ว่าน้ำบาดาลที่กักเก็บในรอยแตกของหินปูน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินทราย ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียนมีการไหลที่ต่อเนื่องกันซึ่งมีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลโดยสังเขปจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (พื้นที่รับน้ำ, recharge area) ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาบริเวณห้วยซับตะเคียน (พื้นที่สูญเสียน้ำ, discharge area) และบริเวณบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำบาดาลเป็นปริมาณมาก ลักษณะการไหลของน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 4-1 ถึงรูปที่ 4-4

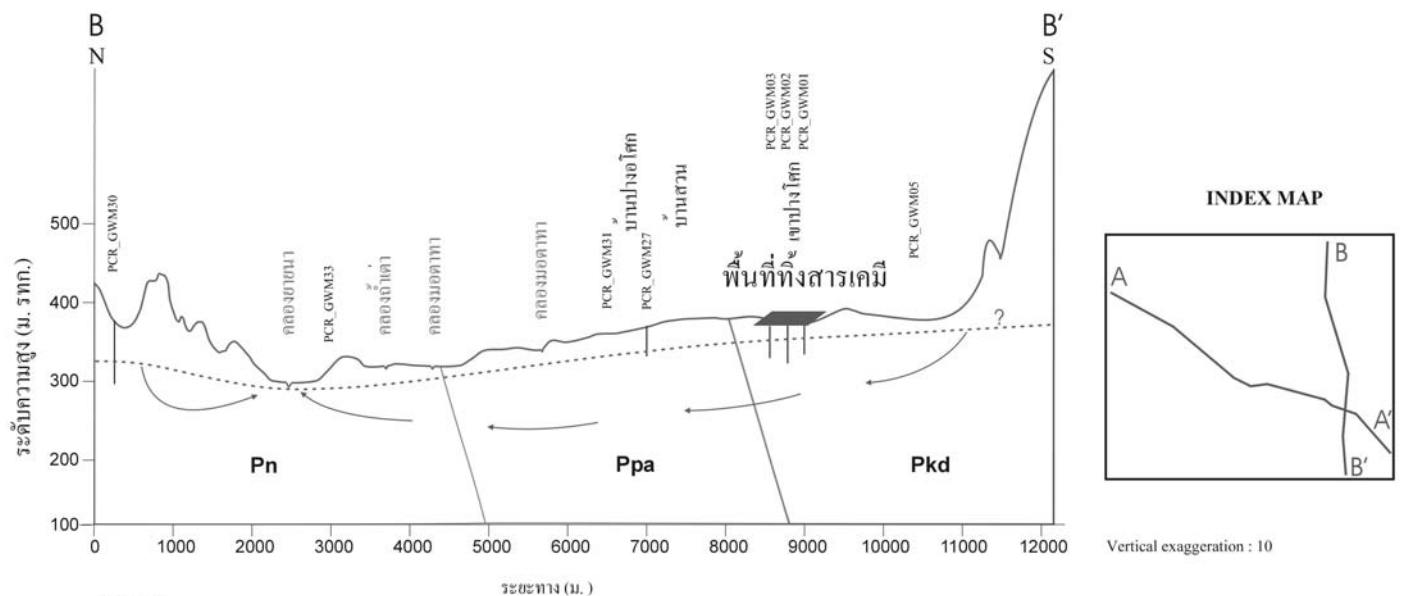
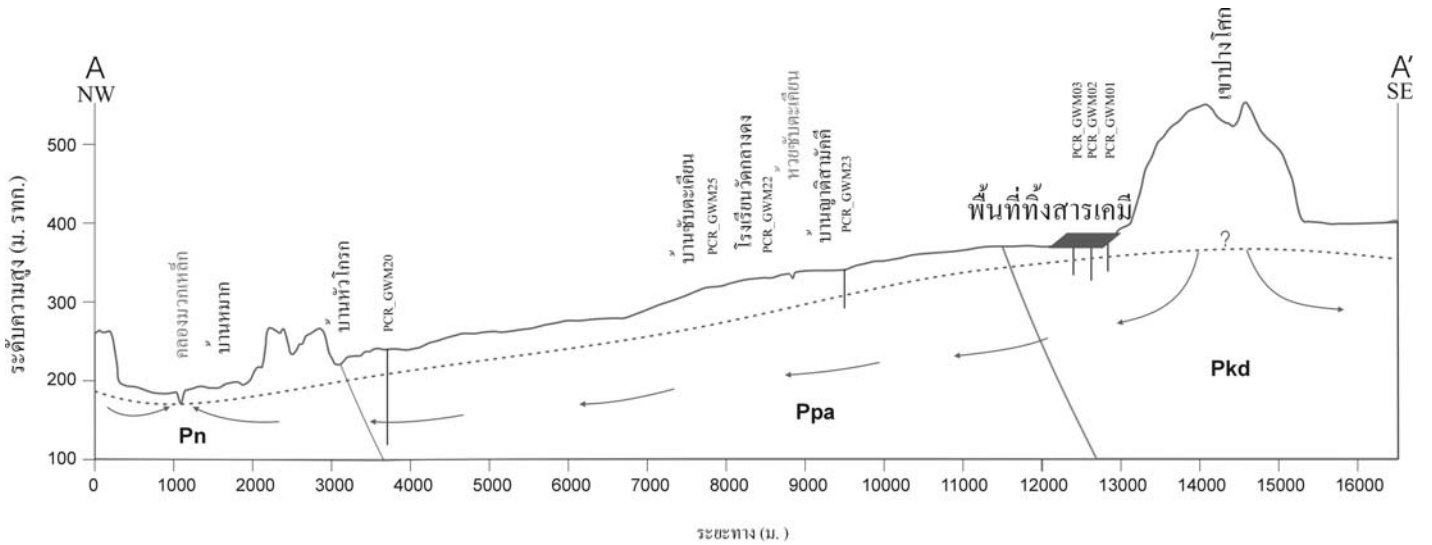


คำอธิบาย

- หมู่บ้าน
- ทางน้ำ
- 320 เส้นระดับชั้นความสูงของภูมิประเทศ (ม. รทก.)
- ⊙ บ่อนบาดาล
- ⊕ บ่อน้ำพุ
- ⊕ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์เจาะใหม่
- ← ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล
- เส้นชั้นความสูงค่าแรงดันของระดับน้ำบาดาล (ม. รทก.)
- 320 ตรวจวัด เดือนตุลาคม 2549
- 350 ตรวจวัด เดือนกุมภาพันธ์ 2550
- 330 ตรวจวัด เดือนพฤษภาคม 2550
- A—A' แนวตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา
- พื้นที่รับน้ำ
- ขอบเขตหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา



รูปที่ 4-1 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน



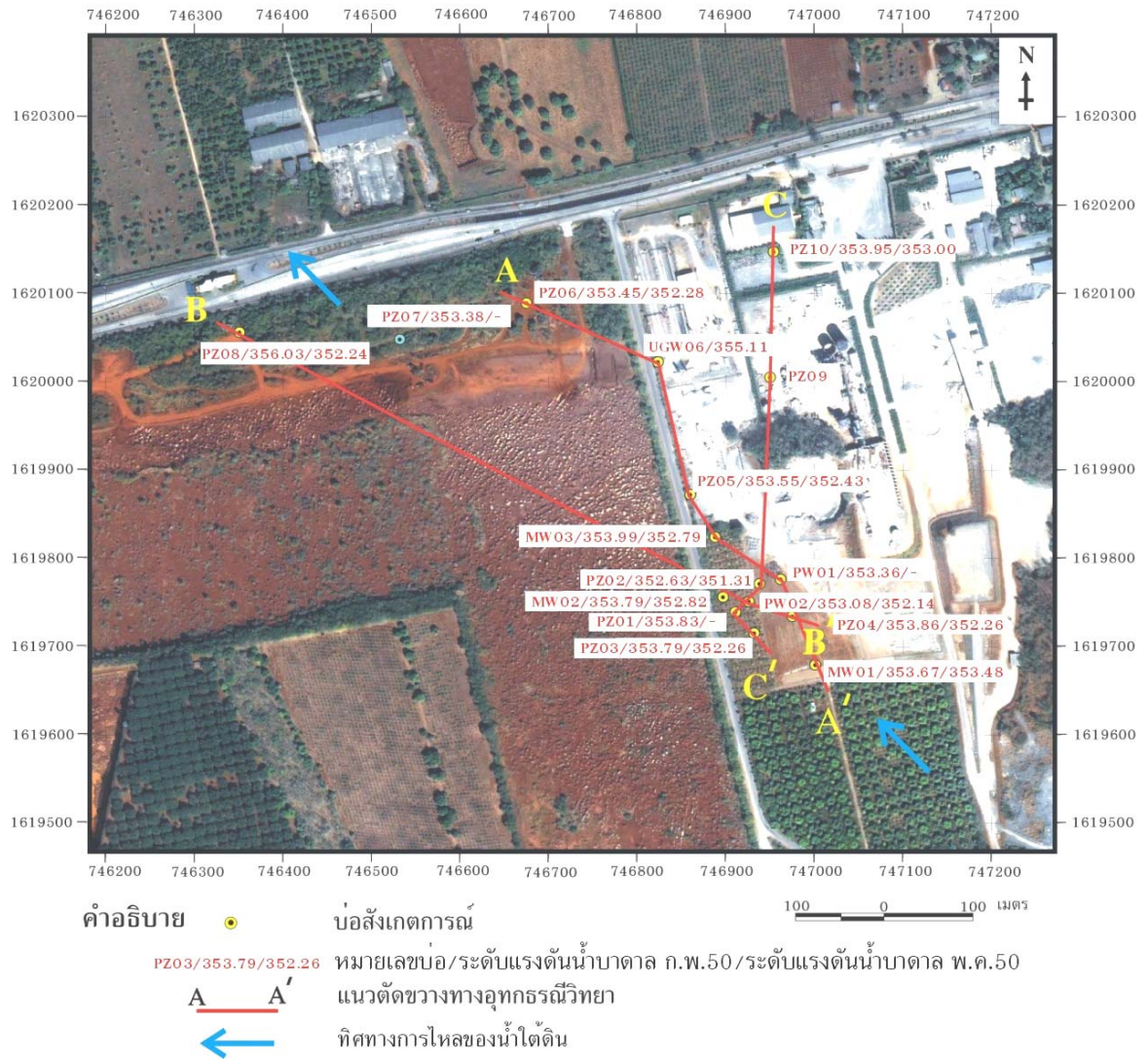
คำอธิบาย

หมวดหินเขาคู (Khao Khad Formation, Pkd)
หินปูนสีน้ำตาลถึงเทาอ่อน แด หินปูนเนื้อดินกับหินโคลไรต์ มีหินเชิร์ตแทรกเป็นกระจุกหรือชั้นบางส่วนชั้นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟ บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลกซิติก

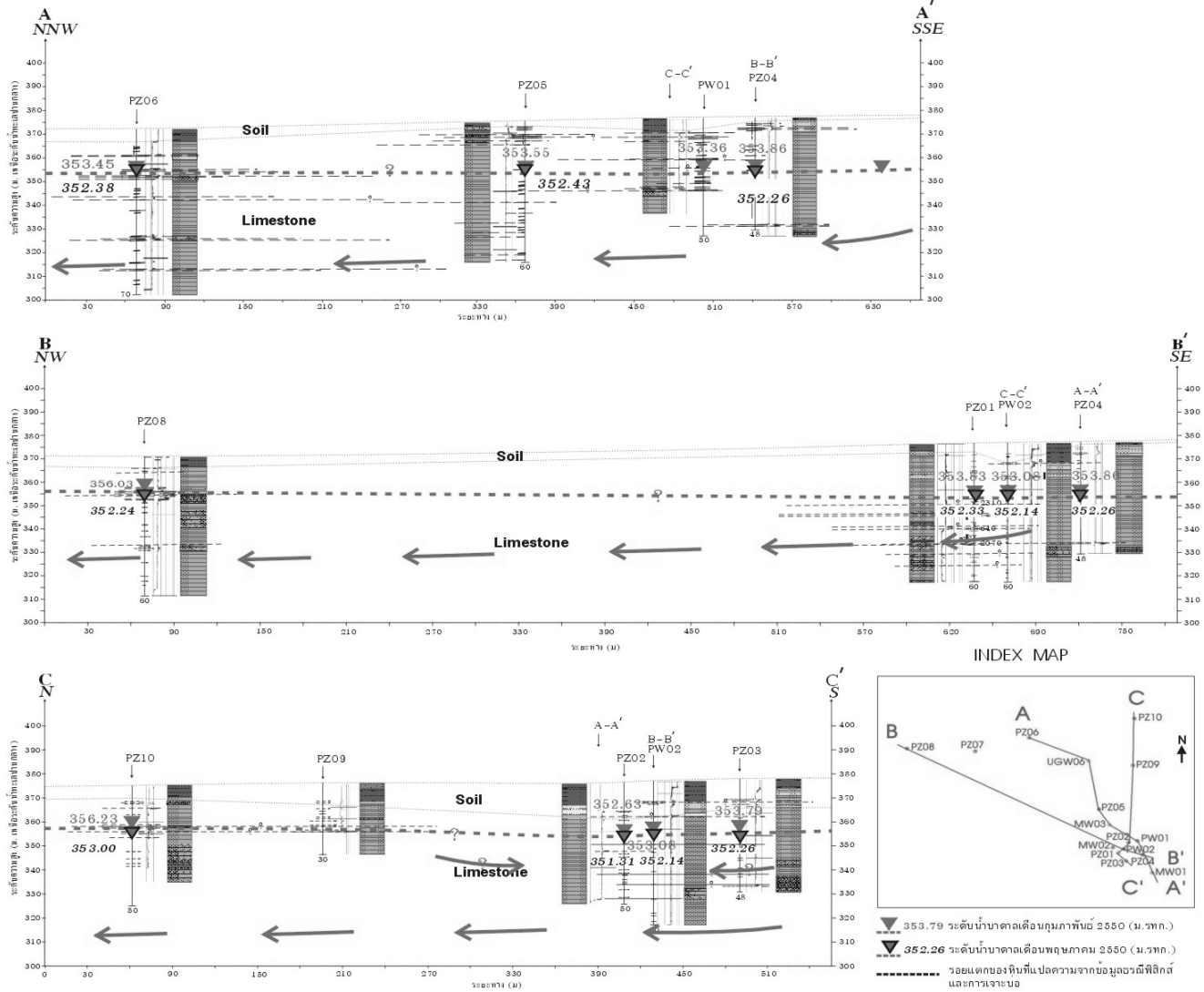
หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation, Ppa)
หินดินดาน หินดินดานกึ่งชนวน และหินชนวน สีเทาเขียวขีมน้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงเรื่อ มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระจุกบาง บางแห่งเป็นหินสอรัสฟอส

หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation, Pn)
หินปูนสีน้ำตาลถึงเทา มีลายเป็นแถบหยาบและถี่กับแทรกด้วยชั้นหินเชิร์ต หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์ สีเขียวขีมน้ำตาล บางแห่งเป็นหินภูเขาไฟ หินสอรัสฟอส หินชนวนและหินควอร์ตไซต์

รูปที่ 4-2 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซับตะเคียน



รูปที่ 4-3 แผนที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่จะสำรวจเพิ่มเติมและการกระจายของค่าแรงดันระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 4-4 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนและบริเวณใกล้เคียง

4.2 การสร้าง Iso-Concentration Contour Map ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินภายในและโดยรอบพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อน จำนวน 10 บ่อ จำนวน 2 ครั้งในเดือนกุมภาพันธ์และมิถุนายน 2550 ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหย 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

จากแผนที่ iso-concentration ของสารทั้ง 7 ชนิด พบว่าการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไป 2 ทิศทาง คือ ไปตามทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ และการเคลื่อนตัวของ Trichloroethylene (TCE) ที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน มีการเคลื่อนที่ออกไปนอกพื้นที่ที่ทิ้งสารปนเปื้อนมากที่สุด ดังรูปที่ 4-5 แสดง iso-concentration ของสาร Benzene ซึ่งเป็นตัวแทนของ LNAPL และรูปที่ 4-6 แสดง iso-concentration ของสาร TCE ซึ่งเป็นตัวแทนของสาร DNAPL โดยขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนเหล่านี้ ถูกนำไปใช้ในการพิจารณาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนและการพิจารณาความเสี่ยงต่อไป

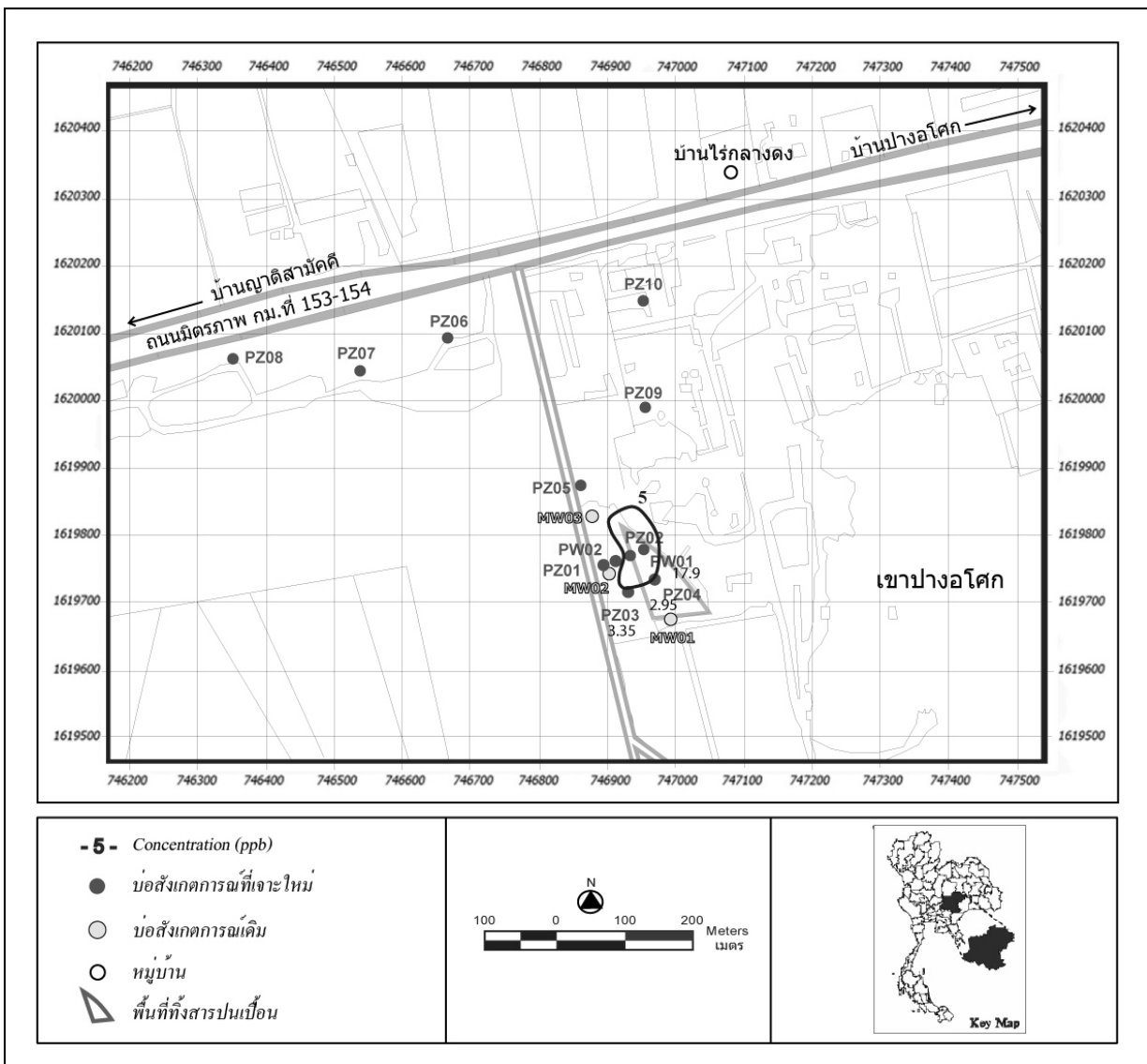
4.3 การกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน (Hot spots)

จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ คณะที่ปรึกษาได้ทำการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อน โดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบ และคุณสมบัติความหนาแน่นของสารอินทรีย์ระเหย ออกเป็น 2 ประเภท คือ LNAPL และ DNAPL โดยศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL อยู่บริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ01, PZ02 และ PW02 ดังรูปที่ 4-7 และศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL อยู่บริเวณบ่อสังเกตการณ์ PZ01-PZ04 และ PW02 ดังรูปที่ 4-8

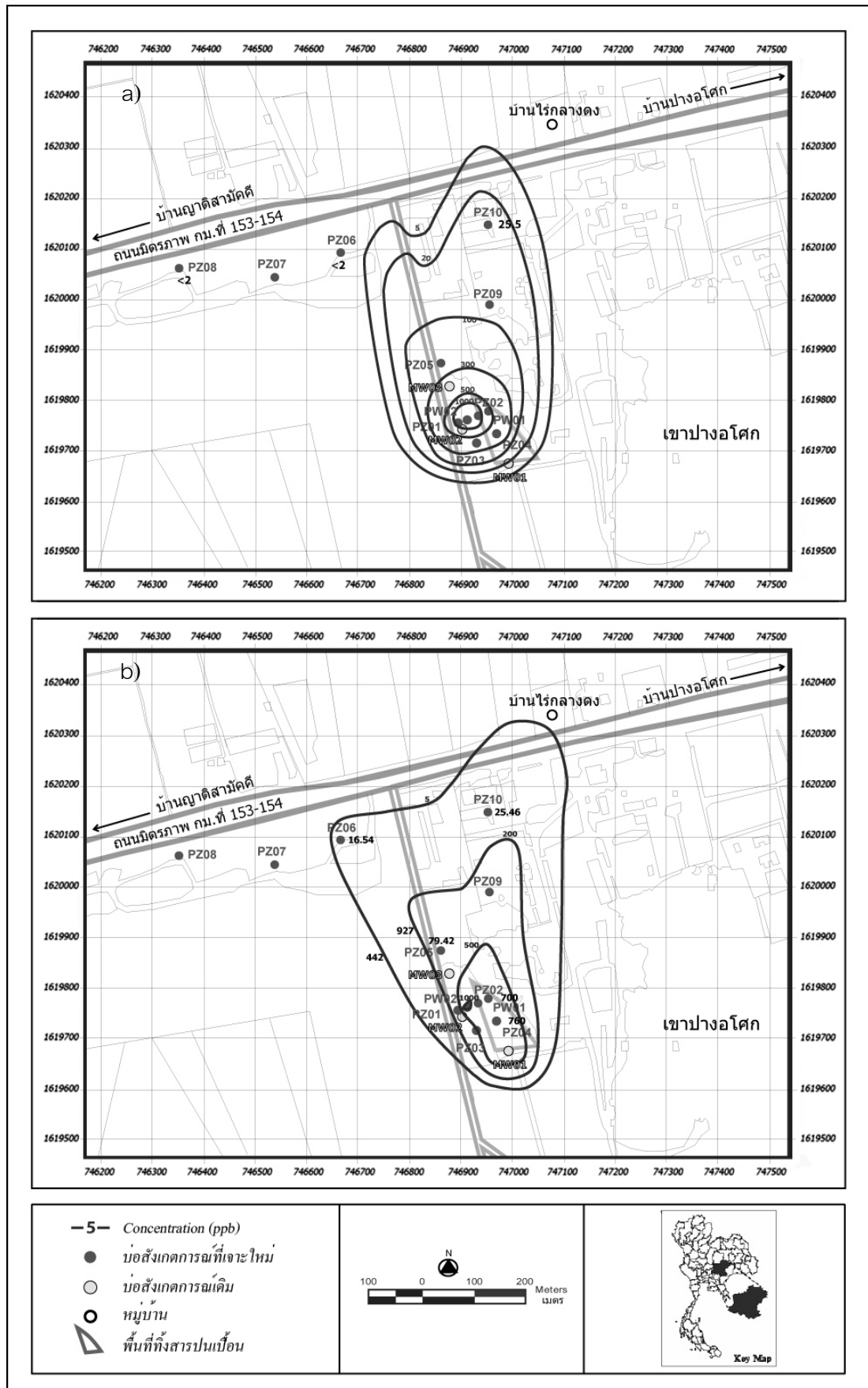
4.4 การประมาณพื้นที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหย

ขอบเขตของพื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน พบว่า Trichloroethylene และ Tetrachloroethylene มีการกระจายตัวของสารที่มีปริมาณเกินมาตรฐานครอบคลุมการกระจายตัวของสารปนเปื้อนชนิดอื่น โดยพบว่าพื้นที่ปนเปื้อนในเดือนมิถุนายน 2550 มีขนาดกว้างประมาณ 600 เมตรตามแนวตะวันออกตะวันตก และยาวประมาณ 700 เมตรไปทางด้านทิศเหนือ

ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 300,000 ตร.ม. ดังแสดงขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนที่ได้จากขอบเขตการแพร่กระจายของสารที่ระดับ 5 ไมโครกรัม/ลิตร (ppb) ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ซึ่งขอบเขตพื้นที่ปนเปื้อนได้เพิ่มขึ้นมาจากเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ประมาณ 45,000 ตร.ม. โดยขอบเขตการปนเปื้อน จะถูกนำไปใช้ในการการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน รวมถึงพิจารณาความเสี่ยงและผลกระทบต่อ การปนเปื้อน

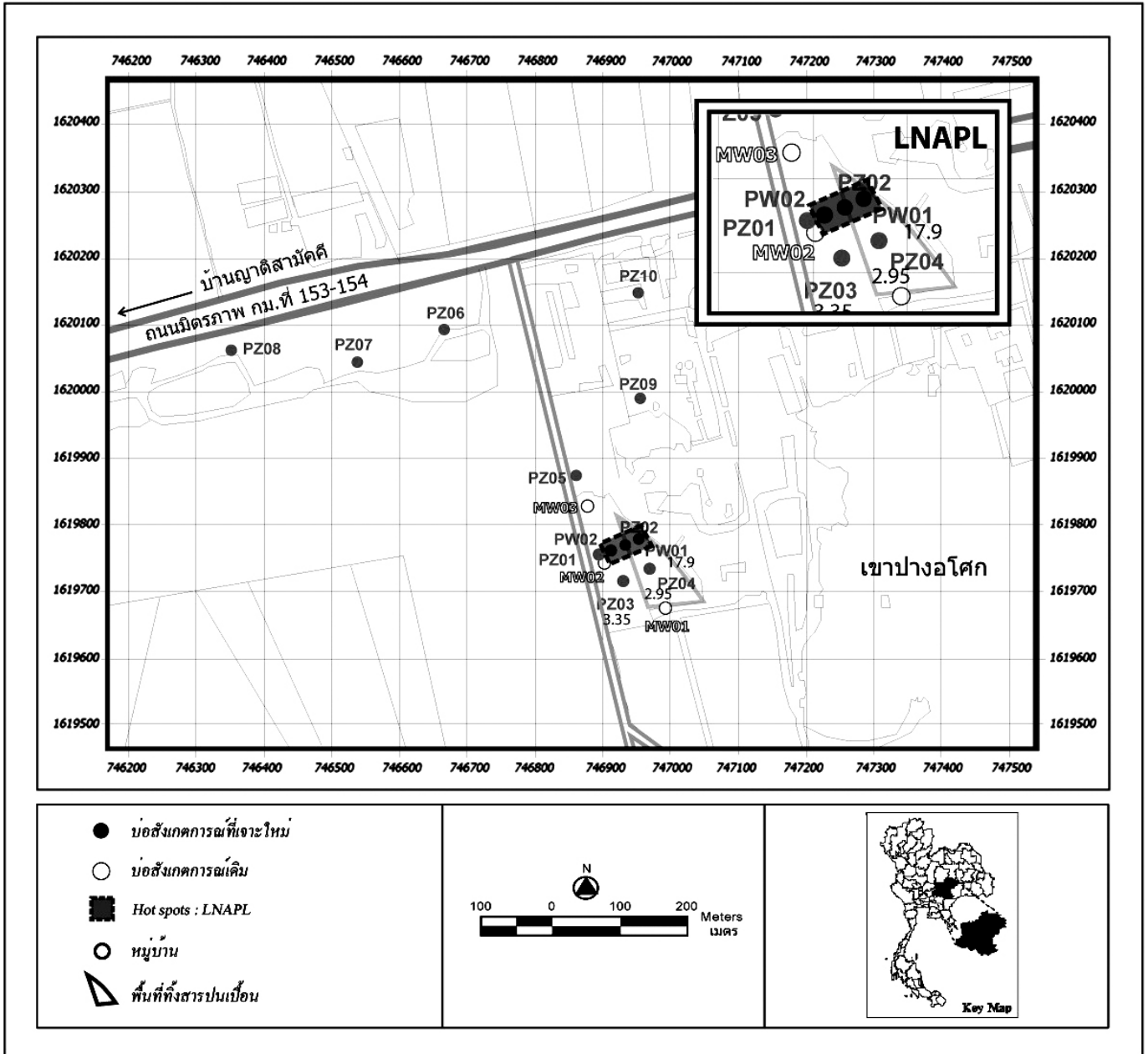


รูปที่ 4-5 เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene เดือนกุมภาพันธ์ 2550

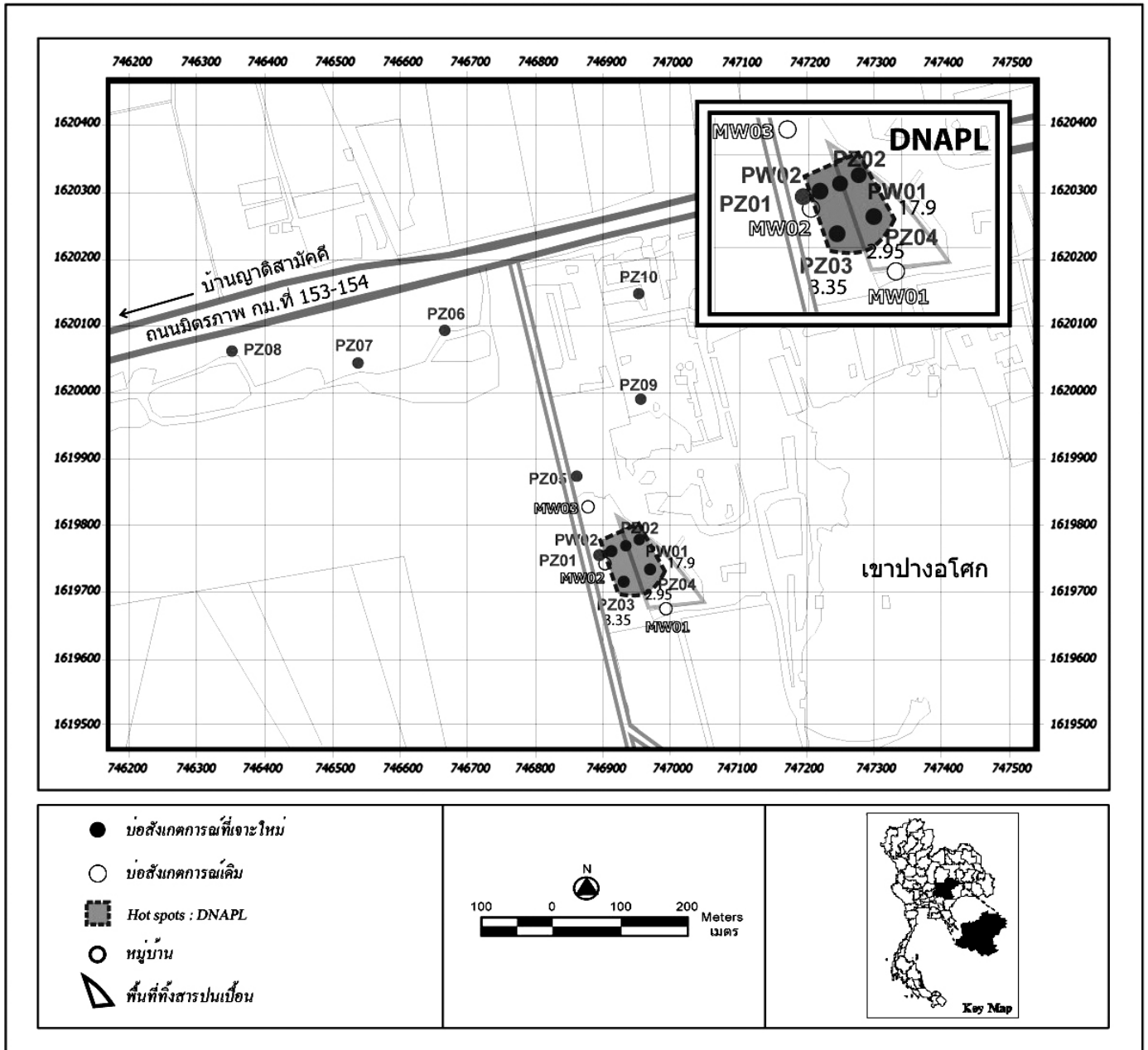


รูปที่ 4-6 เส้นชั้นความเข้มข้นของ Trichloroethylene

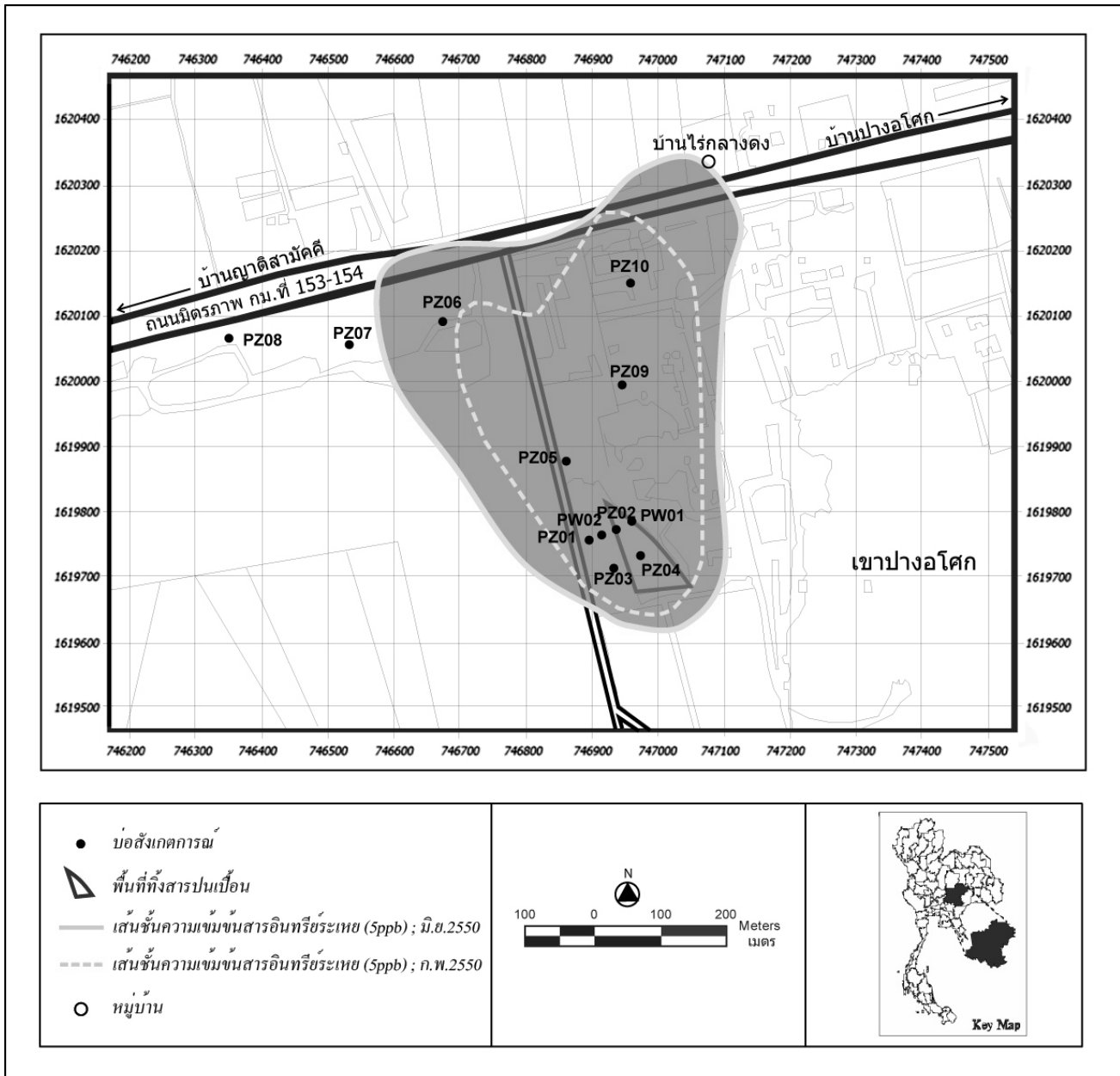
a) เดือนกุมภาพันธ์ 2550 b) เดือนมิถุนายน 2550



รูปที่ 4-7 ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร LNAPL



รูปที่ 4-8 ตำแหน่งศูนย์กลางการปนเปื้อนของสาร DNAPL



รูปที่ 4-9 พื้นที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

บทที่ 5

การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์

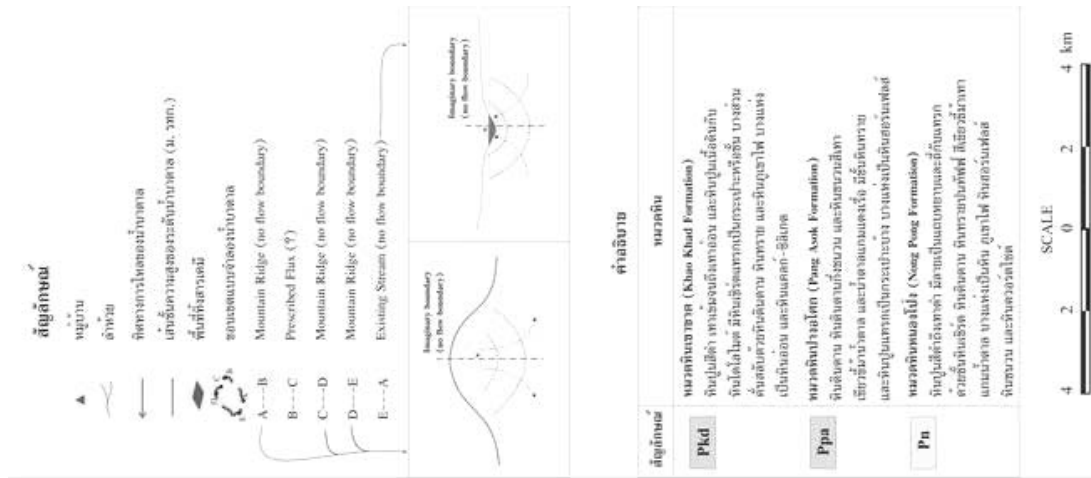
ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง มีทั้งข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ โดยนำข้อมูลเหล่านี้มากำหนดเงื่อนไขและค่าตัวแปรในแบบจำลอง จำแนกออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

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

5.1 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

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

สำหรับการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ เนื่องจากพื้นที่ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันออก และทิศใต้เป็นสันเขาสูง ซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) จึงกำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (no flow boundary) และบริเวณทิศตะวันตกซึ่งเป็นลำห้วยมวกเหล็กซึ่งเป็นสันปันน้ำบาดาลเช่นกัน จึงกำหนดให้เป็น no flow boundary นอกจากนี้แหล่งน้ำบาดาลถูกกักเก็บไว้ในรอยแตกของหินปูน ดังนั้นความลึกของหินปูนที่จะอนุมานได้จากข้อมูลทางโครงสร้างของหินควรจะทำกรจำลองลึกในระดับไม่เกิน 400 เมตร ความหนาของดินที่ปิดทับหินปูน ประมาณ 12 เมตร ความลึกของรอยแตกหลักที่ให้น้ำมี 2 ระดับ ได้แก่ 20-30 เมตร และ 45-50 เมตร โดยทิศทางการวางตัวของแนวรอยแตกหลัก ได้แก่ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

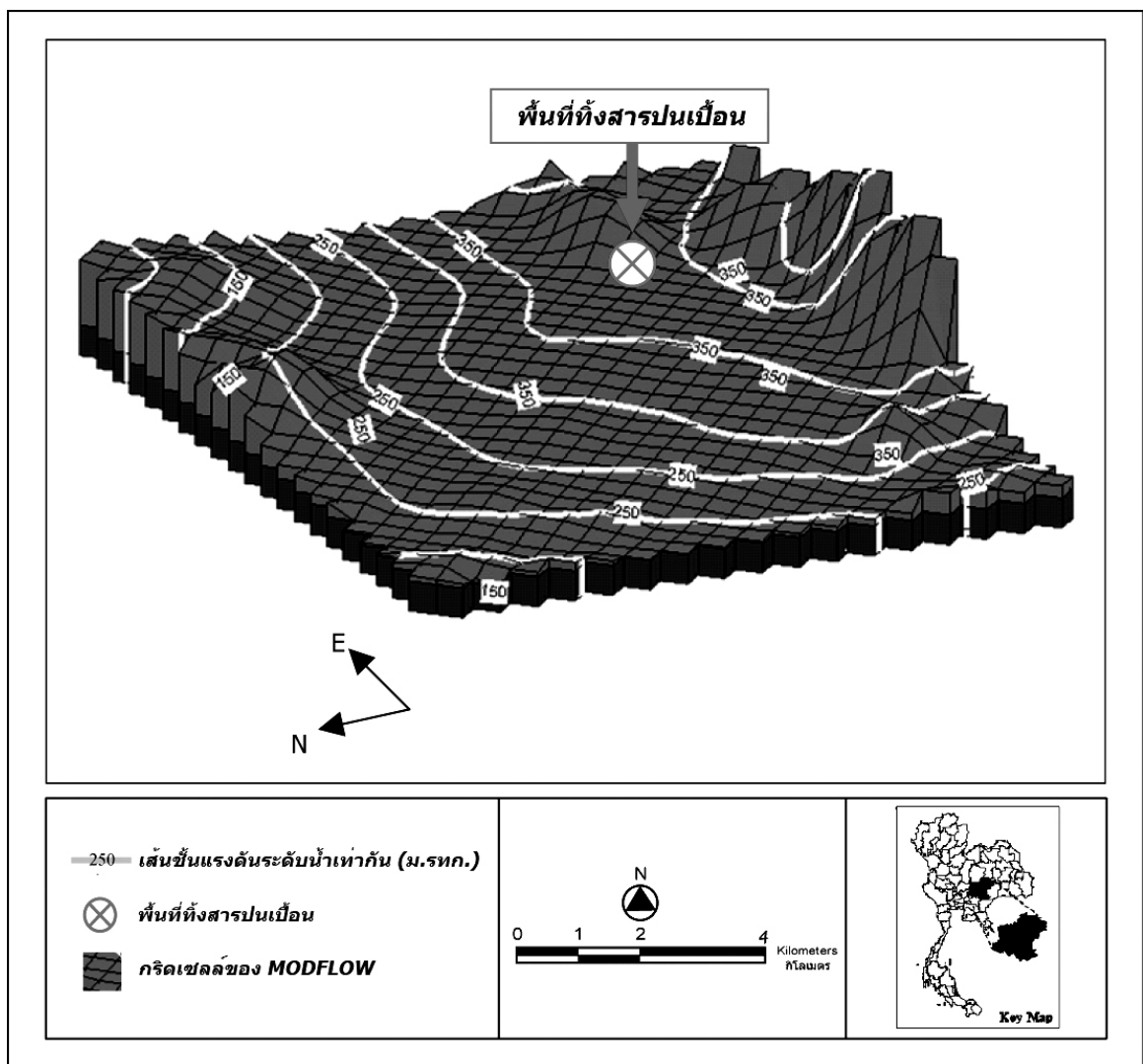


รูปที่ 5-1 แบบจำลองเชิงโมเดล

5.2 การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้สภาวะต่างๆ

5.2.1 การออกแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองน้ำใต้ดินในการศึกษานี้ ได้ใช้การจำลองสภาพการไหลด้วยแบบจำลอง MODFLOW-2000 ซึ่งเป็นชุดคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้สร้างโดย USGS ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในส่วนการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference) ที่มีหน่วยย่อยในการคำนวณเชิงพื้นที่นั้นอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ต่อกันด้วยรูปสี่เหลี่ยม เรียกว่า กริดเซลล์ โดย 1 กริดเซลล์ มีขนาด 500x500 เมตร ดังรูปที่ 5-2 เป็นแบบจำลองกริดเซลล์ จำนวนทั้งสิ้น 731 กริดเซลล์



รูปที่ 5-2 แบบจำลอง MODFLOW ที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล

5.2.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Transmissivity) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแนวตั้งระหว่างชั้นน้ำ (Vertical Leakance)

5.2.3 อัตราการเติมน้ำ

การประเมินอัตราการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล พิจารณาจากข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน สภาพภูมิประเทศ และสภาพทางอุทกธรณีวิทยา รวมถึงแบบจำลองเชิงมโนภาพของชั้นน้ำบาดาล มากำหนดพื้นที่และรูปแบบการเติมน้ำบาดาล โดยอัตราการเติมน้ำใต้ดินได้ถูกปรับแก้ในชั้นการดำเนินการแบบจำลองในสภาวะการไหลคงตัว ซึ่งได้ค่าอัตราการเติมน้ำเฉลี่ย 3.30×10^{-5} เมตร/วัน หรือประมาณ 1% ของปริมาณน้ำฝน โดยแยกเป็นการเติมน้ำในฤดูฝน 2.56×10^{-5} เมตร/วัน และฤดูแล้ง 0.34×10^{-5} เมตร/วัน

5.2.4 การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน

ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 56 บ่อ จำแนกได้เป็น 2 ส่วน คือ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม

1) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภค

จากการวิเคราะห์ผลการออกสำรวจรูปแบบการใช้น้ำของประชาชนด้วยแบบสอบถาม ภายในพื้นที่ศึกษาจำนวน 103 ครัวเรือน พบว่าประชาชนมีการสูบน้ำเฉลี่ยวันละ 1.78 ชั่วโมง ประเมินการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภคเฉลี่ย 133,000 ลบ.ม./ปี นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำที่บริเวณหมู่บ้านปางอโศกในการผลิตน้ำใต้ดินเฉลี่ยอีก 750,000 ลบ.ม./ปี

2) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม

ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม พบว่าประชาชนที่สูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้น้ำบาดาลทั้งหมด ซึ่งมีบ่อน้ำบาดาลจำนวน 4 บ่อ ที่มีการใช้เพื่อการเกษตรรวมกับการอุปโภค-บริโภค การสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรมีในเฉพาะฤดูแล้ง และมีอัตราการสูบรวมเฉลี่ย 780 ลบ.ม./ปี

การดำเนินการแบบจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะไม่คงตัว เพื่อพิจารณาหาสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในอนาคต ได้พิจารณาอัตราการสูบที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการเติบโตของประชากรอำเภอปากช่อง โดยกำหนดให้อัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคมีการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 2.5 ต่อปีตามอัตราการเติบโตของประชากรในพื้นที่ศึกษา โดยปริมาณการใช้น้ำในอนาคตโดยแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 การสูบน้ำที่ใช้ในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต

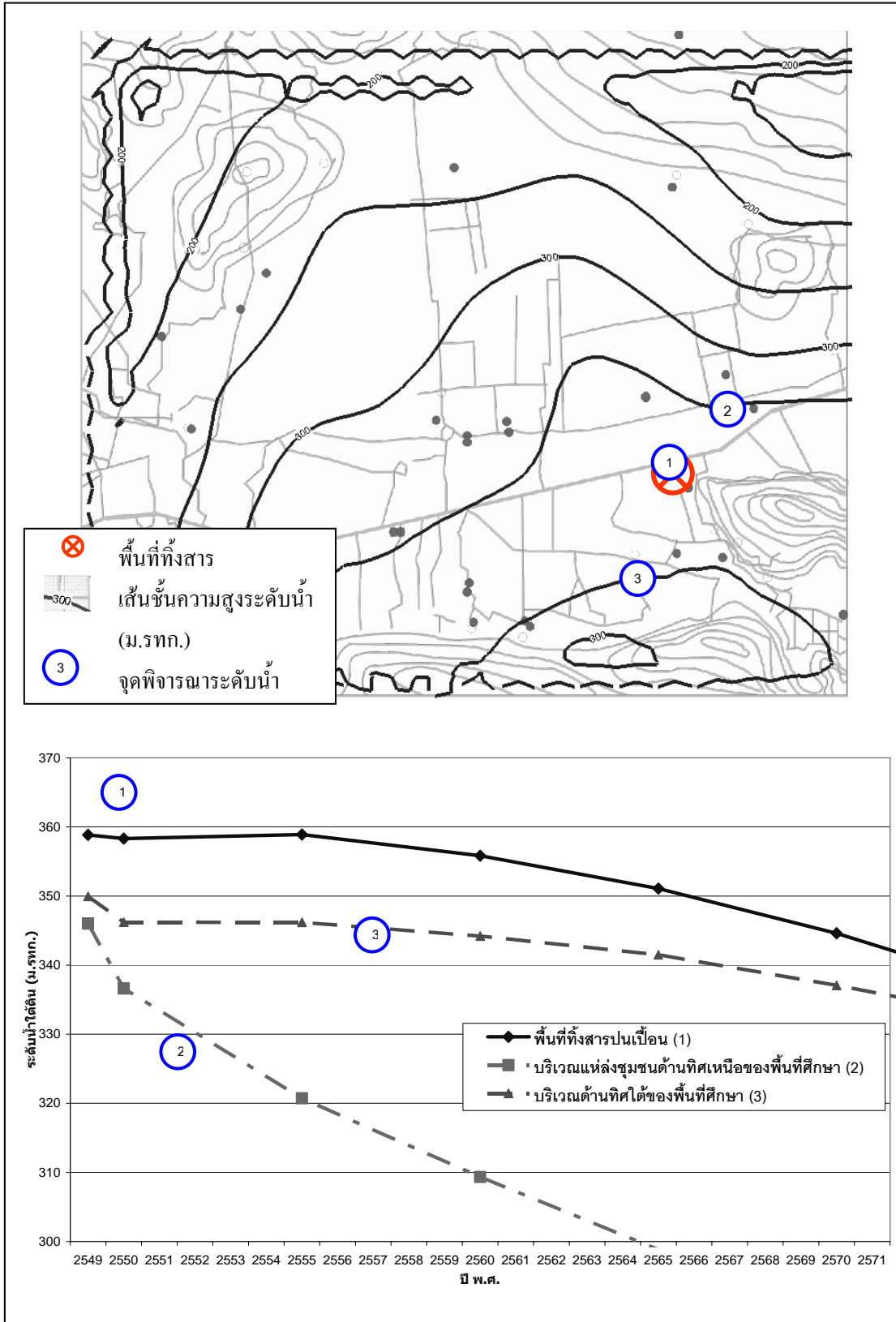
ปี	การสูบน้ำใต้ดิน (ลบ.ม./ปี)
2550	891,330
2551-2555	948,087
2556-2560	1,072,673
2561-2565	1,213,632
2566-2570	1,373,113
2571-2575	1,553,551
2576-2580	1,757,700
2581-2585	1,988,677
2586-2590	2,250,005

5.2.5 ผลการจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลคงตัว

แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาในขั้นตอนนี้ ได้จำลองระดับน้ำใต้ดินของเดือน ต.ค. 2549 ในสภาวะการไหลคงตัวเปรียบเทียบกับข้อมูลของระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 27 บ่อ เห็นได้ว่า น้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลไปในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยระดับน้ำบริเวณพื้นที่ลัดลอบที่สังสารปนเปื้อนอยู่ในช่วง 350-400 เมตร รทก. หรือประมาณ 25 เมตรจากผิวดิน และเห็นได้ว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์มีการไหลไปในทิศทางเดียวกัน และมีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดินที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างบริเวณบ้านปางอโศกที่มีการสูบน้ำในอัตราที่มาก

5.2.6 ผลการจำลองน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลไม่คงตัว

การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในสภาวะไม่คงตัวใช้พื้นฐานของแบบจำลองการไหลในสภาวะคงตัวมาปรับเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจากข้อมูลระดับน้ำที่เก็บได้จำนวน 27 บ่อภายในพื้นที่ศึกษา ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการคำนวณหาสภาพน้ำใต้ดินในอนาคต พบว่าบริเวณชุมชนบ้านปางอโศกเกิดการลดลงของระดับน้ำ (cone of depression) ขนาดใหญ่ในอนาคต ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจส่งผลให้มีการชักน้ำให้สารพิษไหลเข้าสู่พื้นที่ชุมชนได้มากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ 3 บริเวณ ได้แก่ (1) พื้นที่สังสาร (2) บริเวณชุมชนบ้านปางอโศกที่มีการใช้น้ำใต้ดิน และ (3) บริเวณทิศใต้ของพื้นที่สังสารปนเปื้อน พบว่าในอนาคตบริเวณที่สังสารปนเปื้อนกับบริเวณทิศใต้มีการลดลงของระดับน้ำใต้ดินไปในทิศทางเดียวกัน เว้นแต่บริเวณบ้านปางอโศกที่มีการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการระจุกตัวกันของการสูบน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 การลดลงของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมื่อมีการใช้น้ำมากขึ้นในอนาคต

5.3 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน

5.3.1 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

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) การออกแบบการจำลองและช่วงระยะเวลาการคำนวณ

การจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน แบ่งขนาดพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ในบริเวณพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนจนถึงแนวถนนมิตรภาพ เพื่อศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในระยะเวลาที่เริ่มมีสารปนเปื้อนตกลงสู่ชั้นน้ำจนถึงเวลาปัจจุบัน ช่วงระยะเวลาการคำนวณประมาณ 2 ปี และ 2) พื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา มีขนาดใหญ่ครอบคลุมชุมชนที่อยู่อาศัย เพื่อศึกษาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชาชนในพื้นที่รอบบริเวณพื้นที่ศึกษา จะจำลองเป็นระยะเวลาประมาณ 50 ปี

2) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

เนื่องจากทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินมีทิศทางไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือเป็นหลัก และแนวแตกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การจำลองการไหลจึงได้มีการกำหนดลักษณะให้แนวกริดที่ทิศทางเดียวกันกับทิศทางของแนวแตกซึ่งเป็นทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล

3) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน ได้แก่ ค่า Permeability (Hydraulic conductivity), Porosity, Viscosity, Density, Dispersivity, Solubility, ระดับน้ำใต้ดิน, ค่าประมาณมวลสารปนเปื้อนและตำแหน่งบ่อน้ำบาดาล ซึ่งค่าเหล่านี้ส่งผลต่อความเร็วในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในการศึกษานี้

4) ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน

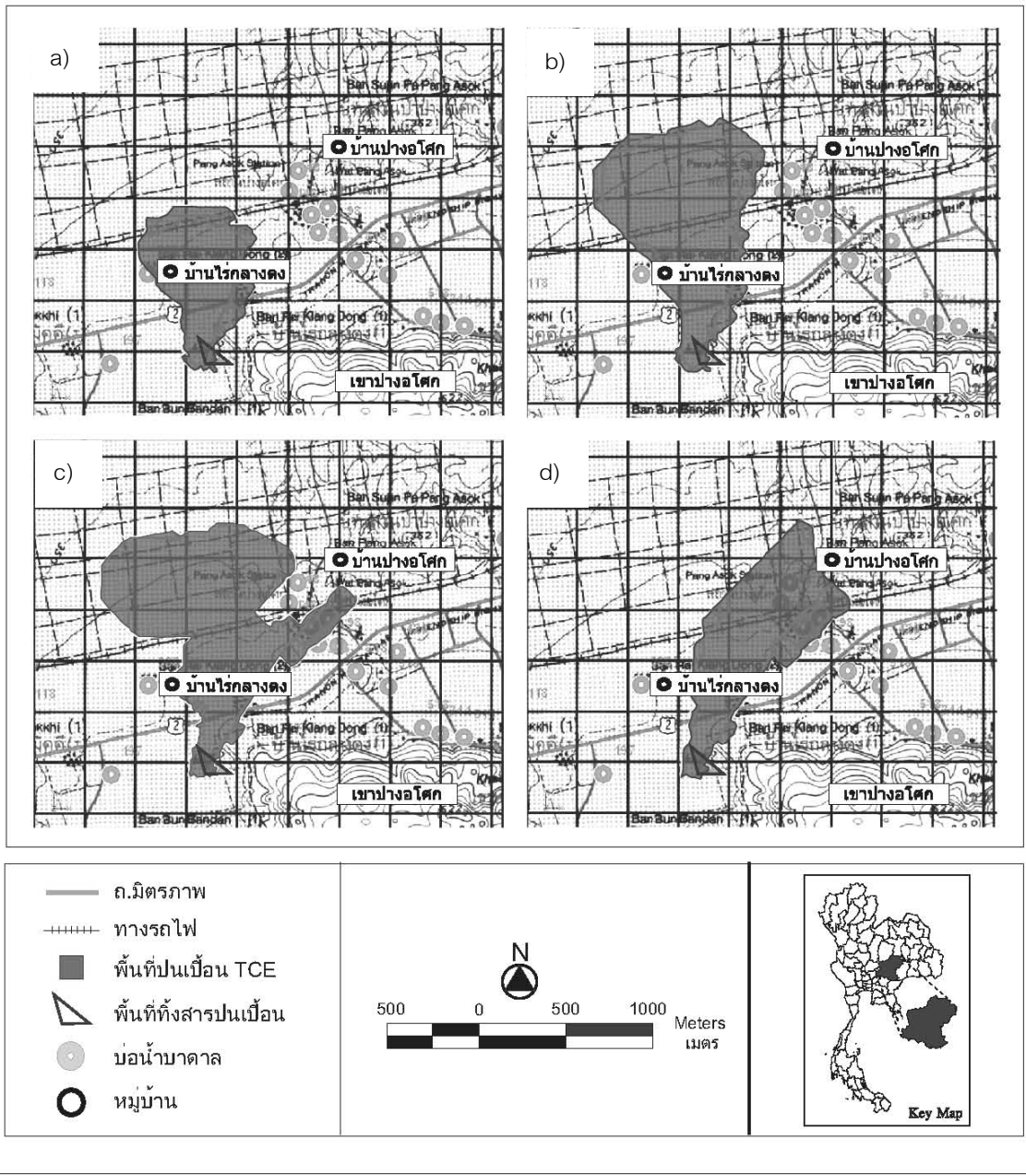
- ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ TCE

ผลการจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 2 ปี พบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร TCE ที่ระดับ 5 µg/L (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม. เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 25 ปี ดังแสดงในรูปที่ 5-4

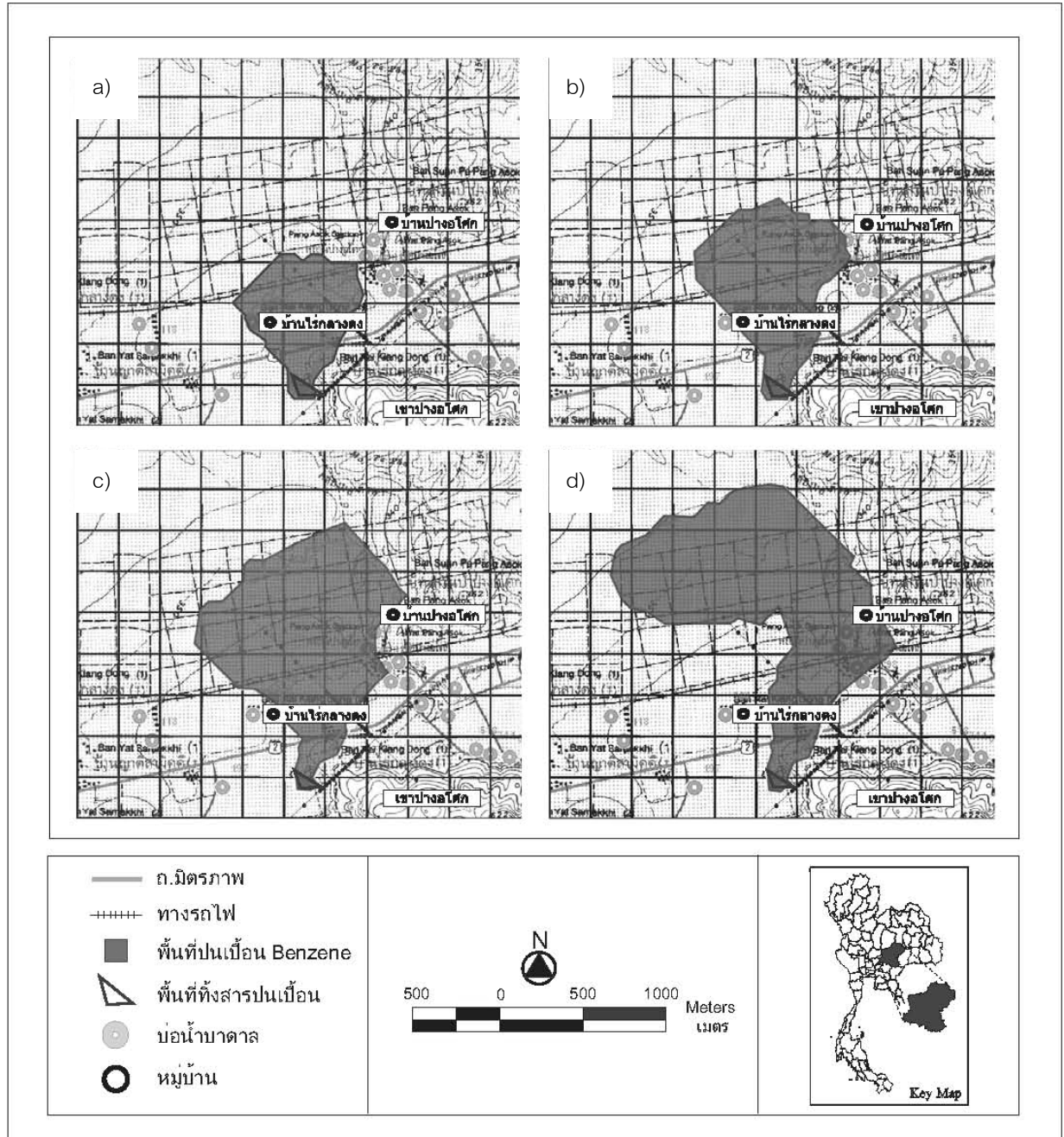
- ผลการจำลองการเคลื่อนตัวของ Benzene

ผลการจำลองสภาพพื้นที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 2 ปี พบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร Benzene ที่ระดับ 5 µg/L (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับ 30 เมตรจากผิวดิน เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ จากนั้นได้ทำการจำลองต่อเนื่องไปเป็นระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น Benzene ที่ระดับ 5 µg/L เคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามแนวรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นของ Benzene จะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดงและเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 14 ปี ดังรูปที่ 5-5

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างในภาคสนามครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่ามีการตรวจพบความสาร Benzene ในการเก็บน้ำครั้งที่ 1 แต่กลับไม่ตรวจพบในการเก็บน้ำครั้งที่ 2 ประกอบกับการพิจารณาจากแบบจำลองเชิงโมเดลของสารประเภท LNAPL และนำผลการติดตามคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษมาพิจารณาเพิ่มเติมพบว่า ความเข้มข้น Benzene มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าสารปนเปื้อน Benzene ส่วนใหญ่กำลังเคลื่อนที่ออกจากบริเวณพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ไม่ตรวจพบ Benzene ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ข้อมูลที่ตรวจพบในครั้งที่ 1 น่าจะเป็นส่วนที่ยังไม่เคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นส่วนที่เหลือเพียงเล็กน้อยของ Benzene



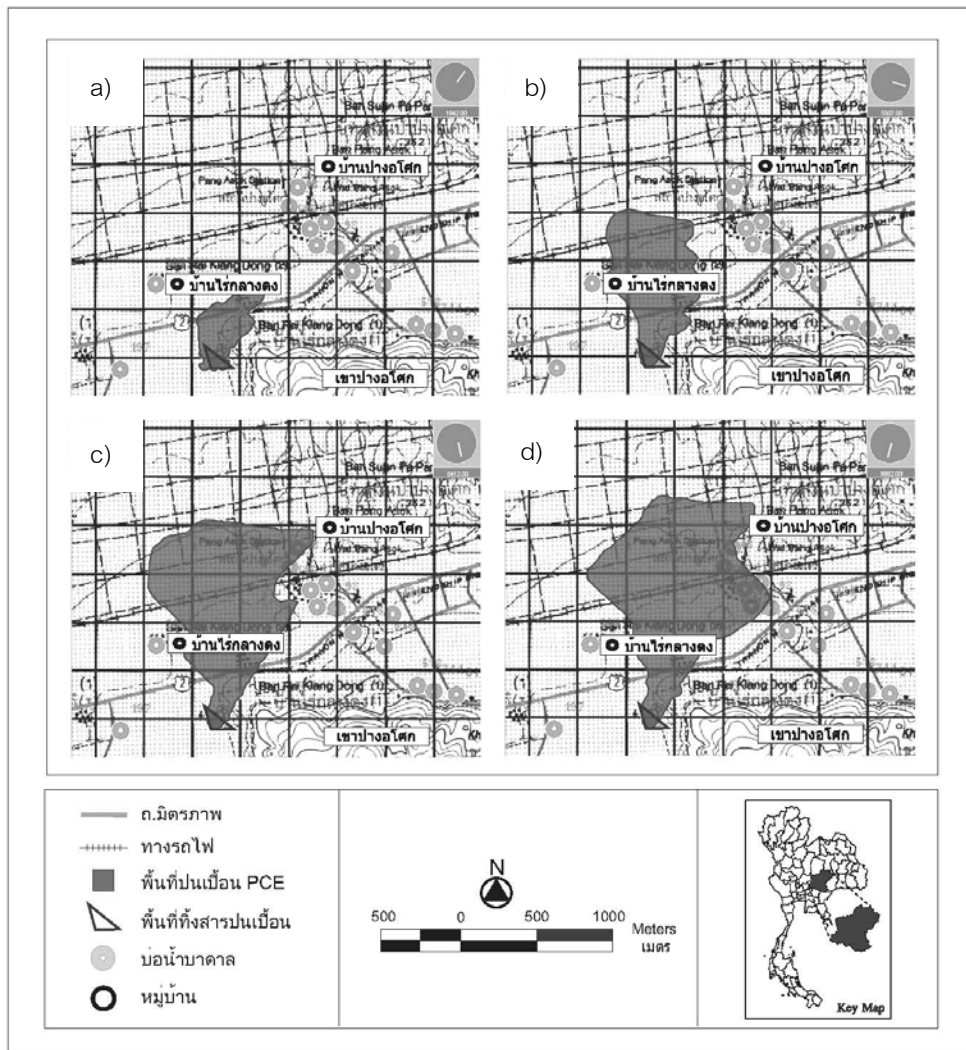
รูปที่ 5-4 เส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา
a)10 ปี b)20 ปี c)25 ปี และ d)50 ปี



รูปที่ 5-5 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 พบว่าที่เส้นชั้นความเข้มข้นของสาร PCE ที่ระดับ 5 µg/L (มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 40 ม. เคลื่อนตัวออกไปถึงถนนมิตรภาพ โดยภายในระยะเวลา 50 ปี พบว่าเส้นชั้นความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะเคลื่อนตัวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตามทิศทางรอยแตกหลักและเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากรอยแตกย่อยในชั้นหินและการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่บ้านปางอโศก เส้นชั้นความเข้มข้นจะเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดง(2) และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลของบ้านปางอโศกในระยะเวลา 23 ปี ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 เส้นชั้นความเข้มข้น PCE ที่ระดับ 5 µg/L ที่เวลา

a) 5 ปี b) 15 ปี c) 23 ปี และ d) 50 ปี

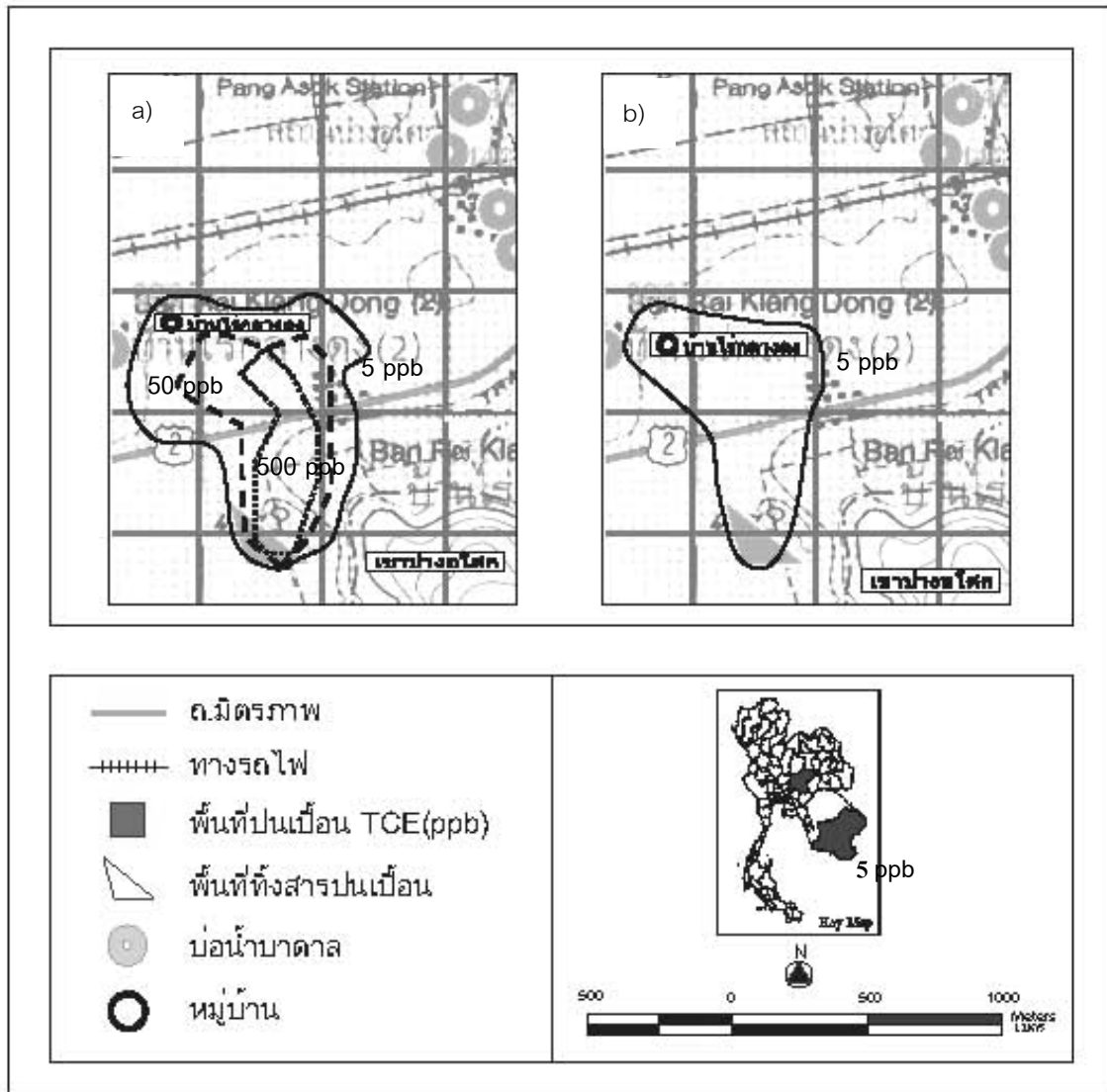
จากการจำลองการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนทั้ง LNAPL และ DNAPL ในพื้นที่ศึกษา พบว่าการเคลื่อนตัวของสาร Benzene จะเคลื่อนตัวได้อย่างรวดเร็วกว่า TCE และ PCE เนื่องจาก Benzene มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ในขณะที่ TCE และ PCE มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ

- การจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำเบื้องต้น

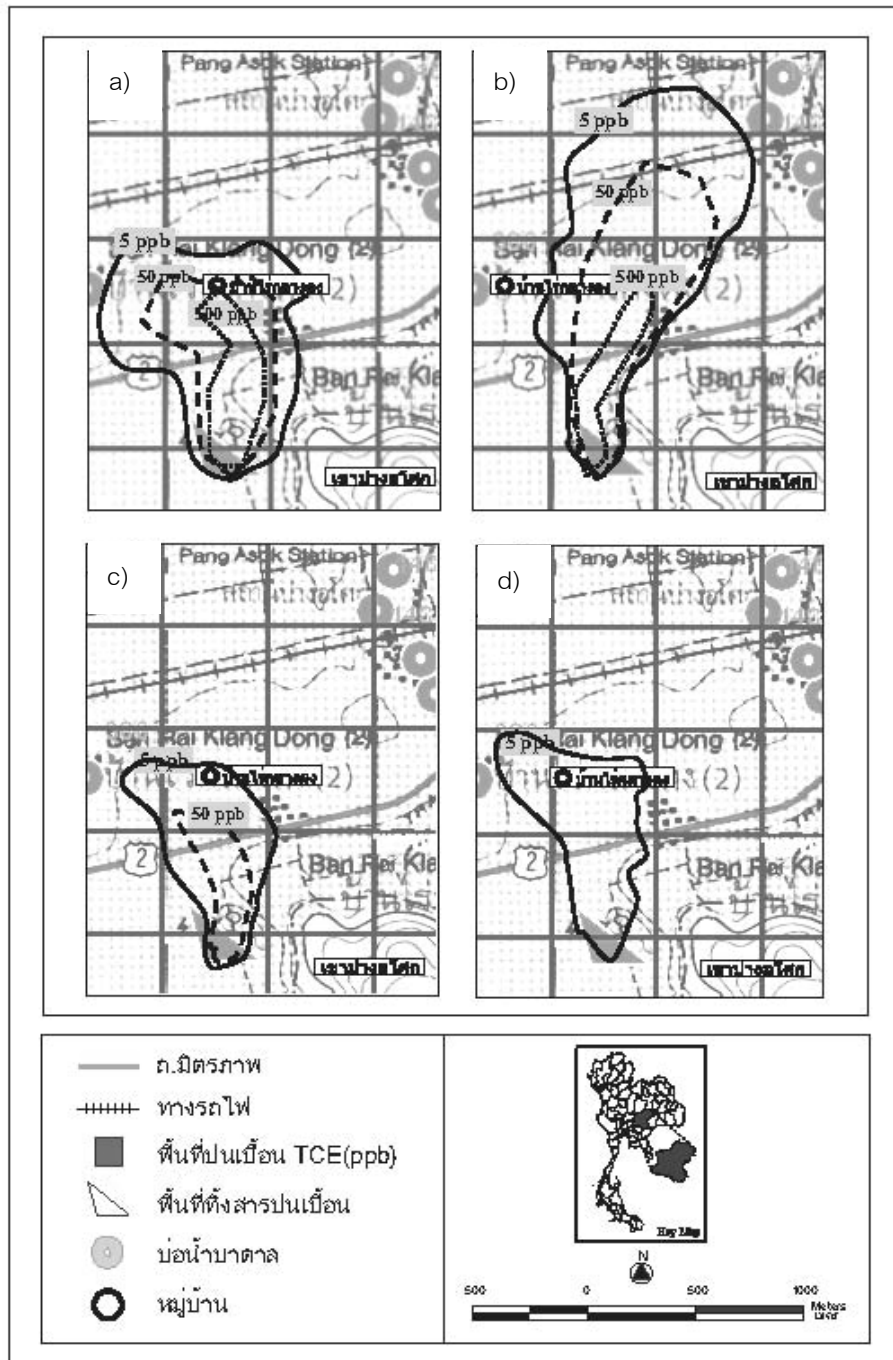
การจำลองการฟื้นฟูสภาพชั้นน้ำจากการปนเปื้อนของ TCE ประกอบด้วย 2 ทางเลือก คือ 1) ฟื้นฟูชั้นน้ำด้วยวิธี Fast track และ 2) ฟื้นฟูชั้นน้ำด้วยวิธี Regular track เพื่อผลลัพธ์จากการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้กับแพร่กระจายของสารปนเปื้อนเมื่อไม่มีการฟื้นฟูชั้นน้ำเลย

จากการจำลองพบว่า การฟื้นฟูชั้นน้ำในทางเลือกที่ 2 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะคงยังเคลื่อนตัวผ่านบ้านไร่กลางดงเมื่อถึงปีที่ 8 จากนั้นจะเคลื่อนตัวต่อไปเพียงเล็กน้อยและไม่เคลื่อนตัวต่อไป สำหรับทางเลือกที่ 3 ความเข้มข้น TCE ที่ระดับ 5 µg/L จะไม่เคลื่อนตัวเข้าสู่บ้านไร่กลางดง โดยจะเคลื่อนตัวผ่านถนนมิตรภาพไปเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการเคลื่อนที่ของ TCE เมื่อทำการบำบัดในปี 2551 ด้วยแนวทาง Fast track เมื่อสิ้นสุดโครงการในปีที่ 5 (พ.ศ.2555) พบว่าสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ 90% และสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนลงได้ 27 % ดังแสดงในรูปที่ 5-7 ส่วนแนวทาง Regular track และไม่มีการบำบัดเมื่อในปีที่ 10 (พ.ศ.2560) พบว่าการบำบัดด้วยวิธี Pump and Treat อย่างเดียวสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ 30% และสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนลงได้ 64 % เมื่อสิ้นสุดโครงการ ดังแสดงในรูปที่ 5-8 อย่างไรก็ตามการบำบัดด้วยแนวทาง Regular Track ยังมีเทคนิค Bioremediation ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาในแบบจำลอง มาช่วยในการบำบัดอีกด้วย ฉะนั้นในการบำบัดด้วย Regular Track สามารถให้ความสามารถในการฟื้นฟูมากกว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง



รูปที่ 5-7 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 5-8 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

การรั่วไหลของสารเคมีอันเป็นพิษมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่มีการปนเปื้อน ไม่ว่าจะเป็นต่ออากาศ ดิน และน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินอาจนำไปสู่ความเสียหายในหลายๆ ด้าน เนื่องจากสารเคมีดังกล่าวสามารถแพร่กระจายต่อไปได้เป็นบริเวณกว้างอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นความเสียหายอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนดังกล่าวจึงอาจพิจารณาในรูปของ “ความเสี่ยง (risk)”

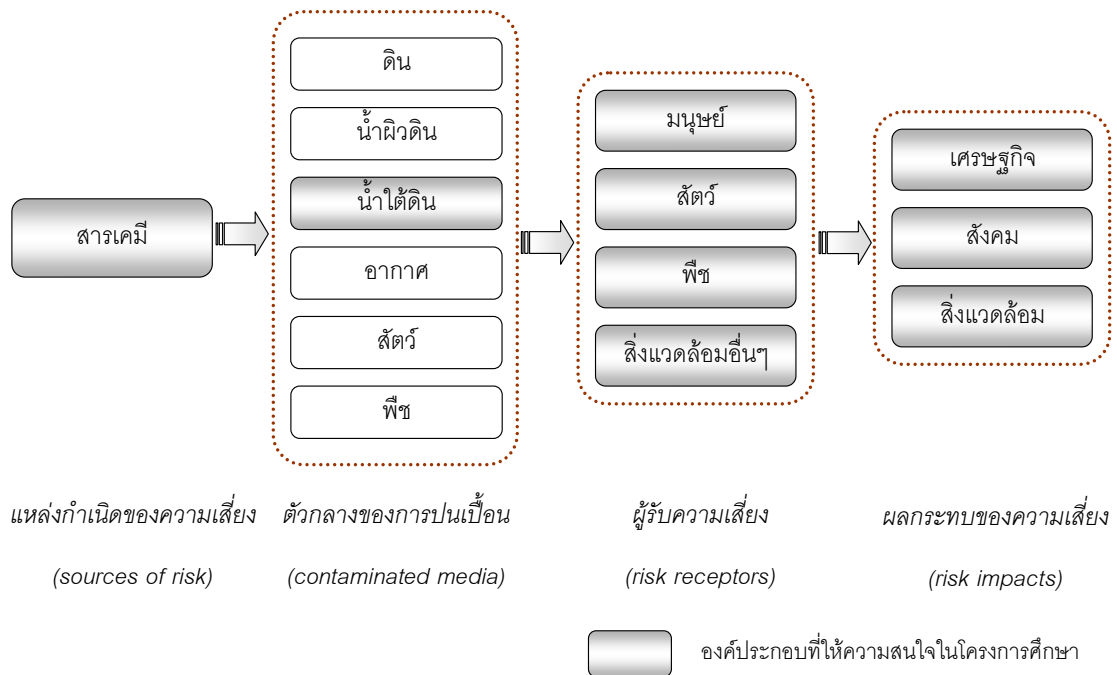
6.1 การจัดการความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่ ประกอบด้วย

- 1) การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน
- 2) การประเมินผลกระทบของความเสี่ยง
- 3) การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษา
- 4) การเลือกวิธีการตอบสนองความเสี่ยง

6.1.1 การระบุความเสี่ยงเบื้องต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

จากองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการของความเสี่ยง คือ แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง (sources of risk) ปัจจัยเสี่ยง (risk factors) เหตุการณ์เสี่ยง (risk events) และผลกระทบของความเสี่ยง (risk impacts) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบ่งชี้ความเสี่ยงจากสารเคมีปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (รูปที่ 6-1)



รูปที่ 6-1 องค์ประกอบของความเสี่ยงจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

1) แหล่งกำเนิดของความเสี่ยง (sources of risk)

สารเคมีอันตรายที่พบในบริเวณแหล่งกำเนิดความเสี่ยงมี 7 ชนิด ได้แก่

- trichloroethylene (TCE)
- benzene
- tetrachloroethene (PCE)
- 1,1- dichloroethylene
- 1,2-dichloroethane
- cis-1,2-dichloroethylene และ
- 1,1,2-trichloroethane

2) ตัวกลางของการปนเปื้อน (contaminated media)

ตัวกลางของการปนเปื้อน ได้แก่ (U.S. EPA, 1989)

- ดิน

- น้ำผิวดิน
- น้ำใต้ดิน
- อากาศ
- สัตว์
- พืช เป็นต้น

จากการตรวจวัดปริมาณของสารเคมีทั้ง 7 ชนิดในข้างต้นทั้งในบริเวณพื้นที่แหล่งกำเนิดของความเสี่ยงและพื้นที่โดยรอบ พบว่าการปนเปื้อนของสารเคมีเหล่านี้ในดิน น้ำผิวดิน และอากาศ มีระดับการปนเปื้อนต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นตัวกลางของการปนเปื้อนที่สำคัญที่จะทำการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางการจัดการความเสี่ยงในโครงการวิจัยนี้จะจำกัดเฉพาะการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเท่านั้น

3) ผู้รับความเสี่ยง (risk receptors)

สำหรับในกรณีที่น้ำใต้ดินเป็นตัวกลางของการปนเปื้อนนี้ จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ มนุษย์ สัตว์ และพืช เป็นหลัก

4) ผลกระทบของความเสี่ยง (risk impacts)

ผลกระทบในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อผู้รับความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะนำเสนอแนวทางการประเมินผลกระทบเบื้องต้น (preliminary impact assessment) ในรูปของมูลค่าทางการเงิน (monetary value) ของผลกระทบ 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม

6.1.2 การประเมินผลกระทบของความเสี่ยง

การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมจะประเมินใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม

1) ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ (economic impacts)

การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางเศรษฐกิจที่สำคัญต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของการจ้างงานในพื้นที่ รายได้ของประชาชน และแหล่งที่ดินทำกิน เป็นต้น

2) ผลกระทบทางด้านสังคม (social impacts)

การวิเคราะห์ผลกระทบด้านสังคม ได้แก่ การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากผลกระทบที่มีต่อประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยง อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดโครงสร้างประชากร ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและจิตใจของประชาชน ประสิทธิภาพในการทำงาน ลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตและจารีตประเพณี เป็นต้น

3) ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (environmental impacts)

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้และการมีอยู่ของทรัพยากรทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งมีอิทธิพลต่อประชาชนในพื้นที่ โดยในโครงการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินเป็นหลัก เช่น การสูญเสียแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น

6.1.3 การประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษา

ในโครงการศึกษาวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลกระทบที่สำคัญต่างๆในรูปมูลค่าทางการเงินทั้งสิ้น 4 ด้าน ได้แก่

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

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงในกรณีศึกษาทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อน

ผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ที่ได้รับการผลกระทบจากการปนเปื้อน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านปางอโศก โดยจำนวนของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 แสดงไว้ในตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 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

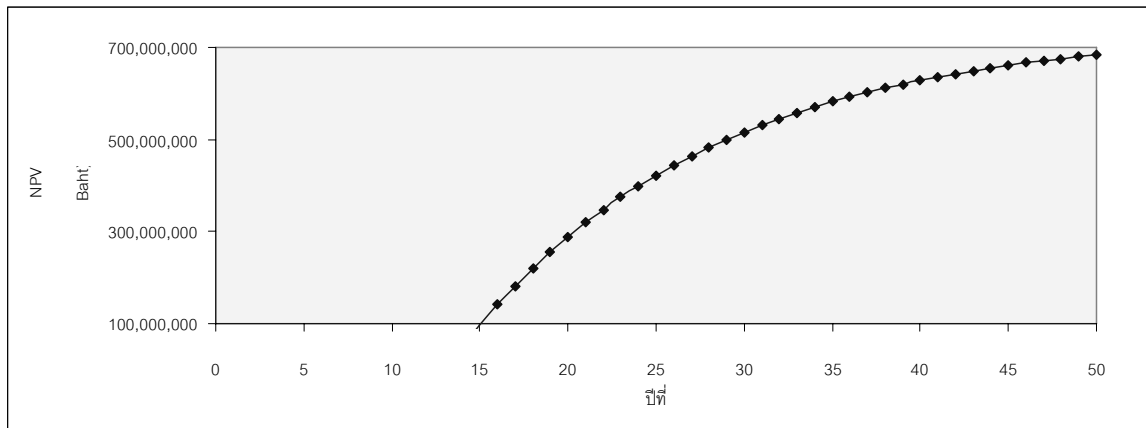
ขั้นตอนที่ 2 การประเมินเพื่อหาผลกระทบทางการเงินที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่

ผลการประเมินเพื่อหาผลกระทบทางการเงินของผลกระทบทั้ง 3 ด้าน มีดังต่อไปนี้

- 1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้

การประเมินผลกระทบจากการสูญเสียรายได้ของประชาชนในกรณีที่ได้รับสารปนเปื้อนเข้าไปในร่างกายในการศึกษานี้ กำหนดให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณสารปนเปื้อนเกินกว่ามาตรฐานจะได้รับสารปนเปื้อนจนไม่สามารถประกอบอาชีพได้ โดยประชากรในวัยทำงานของหมู่บ้านปางอโศกมีจำนวนประมาณ 941 คน และเมื่อนำข้อมูลการประกอบอาชีพ รายได้เฉลี่ยต่อปี พบว่า ผลกระทบอันเนื่องมาจากการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่

สามารถประกอบอาชีพได้ตั้งแต่ปีที่ 14 จนถึงปีที่ 50 มีมูลค่าทั้งสิ้น 5,249,638,372 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 683,548,017 บาท (รูปที่ 6-2)



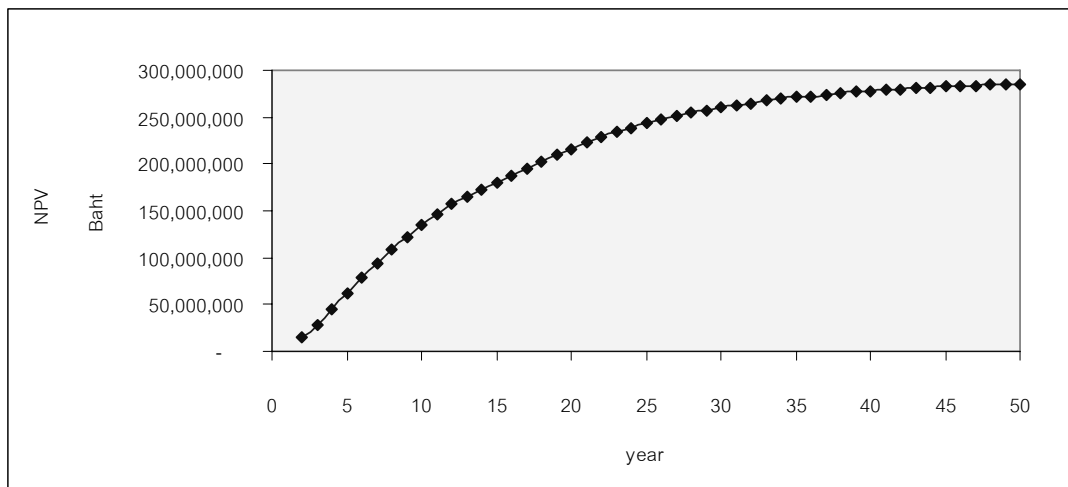
รูปที่ 6-2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วย

2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน

ความเสียหายเหล่านี้ประมาณจากรายได้เฉลี่ยจากการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ซึ่งได้มาจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่ ดังมีรายละเอียดดังนี้

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

ผลจากการประเมินผลกระทบอันเนื่องมาจากที่ดินทำกินลดลงตั้งแต่ปีที่ 2 จนถึงปีที่ 50 มูลค่าความเสียหายหรือการสูญเสียรายได้ของประชาชนมีทั้งสิ้น 1,102,109,660 บาท เมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่าทั้งสิ้น 285,311,440 บาท (รูปที่ 6-3)



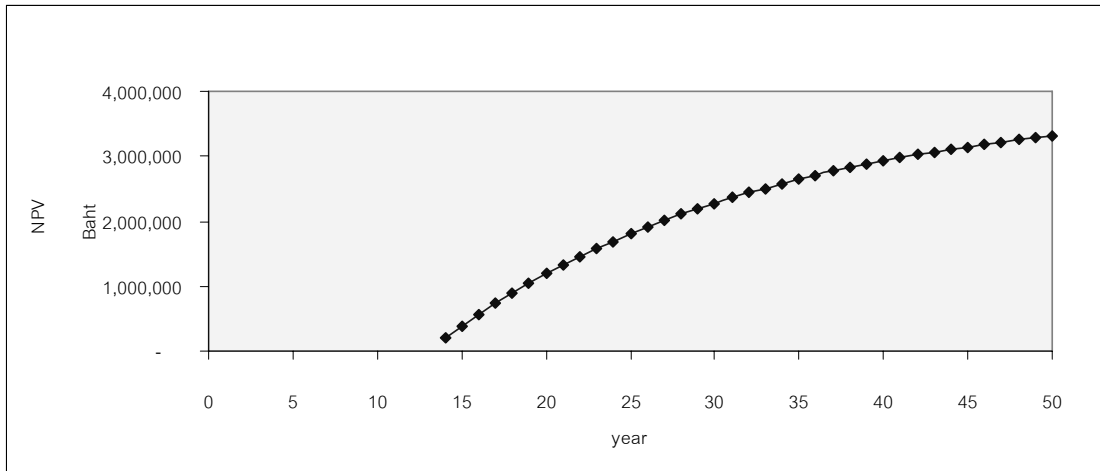
รูปที่ 6-3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน

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

จากการประเมินผลกระทบจากการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาลอันเนื่องจากการปนเปื้อนเมื่อคิดในระยะเวลา 50 ปี มูลค่าผลกระทบ คือ 29,643,807 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 3,310,311 บาท (รูปที่ 6-4)



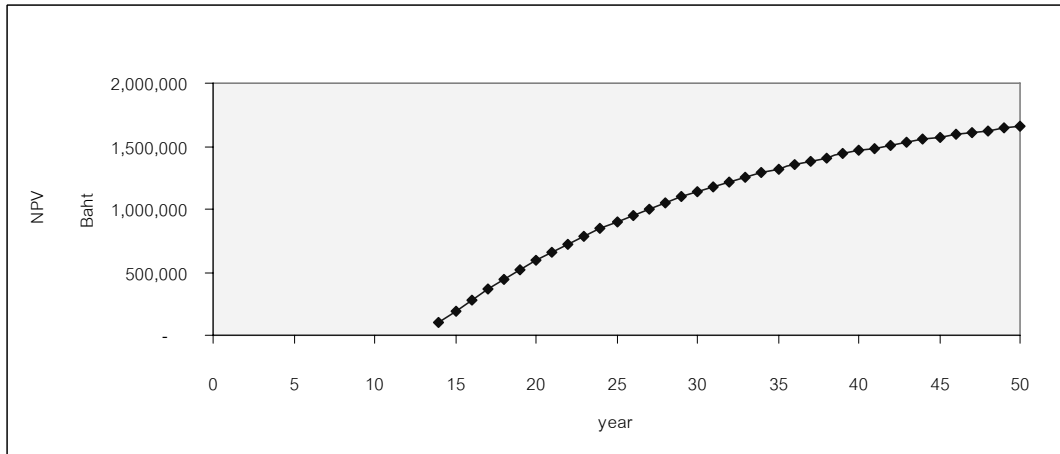
รูปที่ 6-4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของการสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล

4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่มีสารปนเปื้อน น้ำประปาบาดาลที่ประชาชนในหมู่บ้านปางอโศกใช้อุปโภคและบริโภคอยู่ในปัจจุบันจะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนและไม่สามารถใช้ประโยชน์ใดๆ ได้ในราวปีที่ 14 ซึ่งเป็นผลให้ประชาชนจะต้องประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งน้ำทดแทน แนวทางที่พิจารณาในโครงการศึกษาวิจัยนี้ คือ การบำบัดแหล่งน้ำบาดาลใหม่เพื่อดำเนินระบบประปาบาดาลหมู่บ้านได้ต่อไป

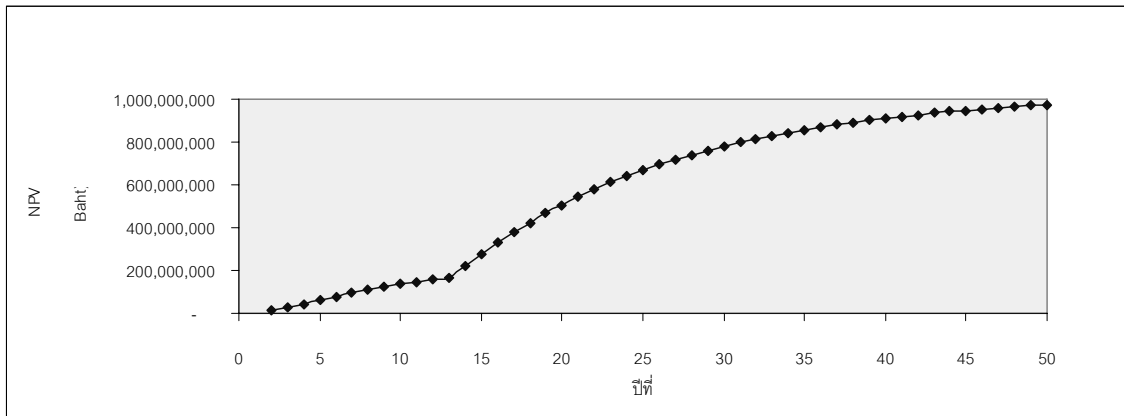
ต้นทุนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำ ได้พิจารณาระบบบำบัดน้ำสำหรับประปาหมู่บ้านที่เหมาะสมกับหมู่บ้านปางอโศก คือ ระบบบำบัดสำหรับประปาหมู่บ้านขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้น้ำได้ 301-700 คน โดยประมาณการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทั้งสิ้น 3,500,000 บาท นอกจากนี้ยังมีค่าดูแลบำรุงรักษาระบบประมาณ 300,000 บาทต่อปี ดังนั้นเมื่อคิดรวมค่าใช้จ่ายของโครงการทั้งหมดจนถึงปีที่ 50 โดยก่อสร้างระบบประปาในปีที่ 14 จะมีค่าก่อสร้างและบำรุงรักษา 14,300,000 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีมูลค่า 2,785,815 บาท ซึ่งต้องจำหน่ายน้ำในราคา 7.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตรจึงจะครอบคลุมต้นทุนค่าใช้จ่าย

การประเมินผลกระทบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน เมื่อคิดในระยะเวลา 50 ปี มูลค่าค่าใช้จ่ายที่ประชาชนจะต้องจ่ายค่าน้ำประปาเพิ่มมากขึ้น คือ 14,821,903 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 1,655,156 บาท (รูปที่ 6-5)



รูปที่ 6-5 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อน

เมื่อนำผลกระทบทั้ง 4 ด้านมารวมกัน มูลค่าทางการเงินของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน คือ 6,396,213,741 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 973,824,925 บาท (รูปที่ 6-6)









รูปที่ 6-6 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลกระทบรวมทั้ง 4 ด้าน

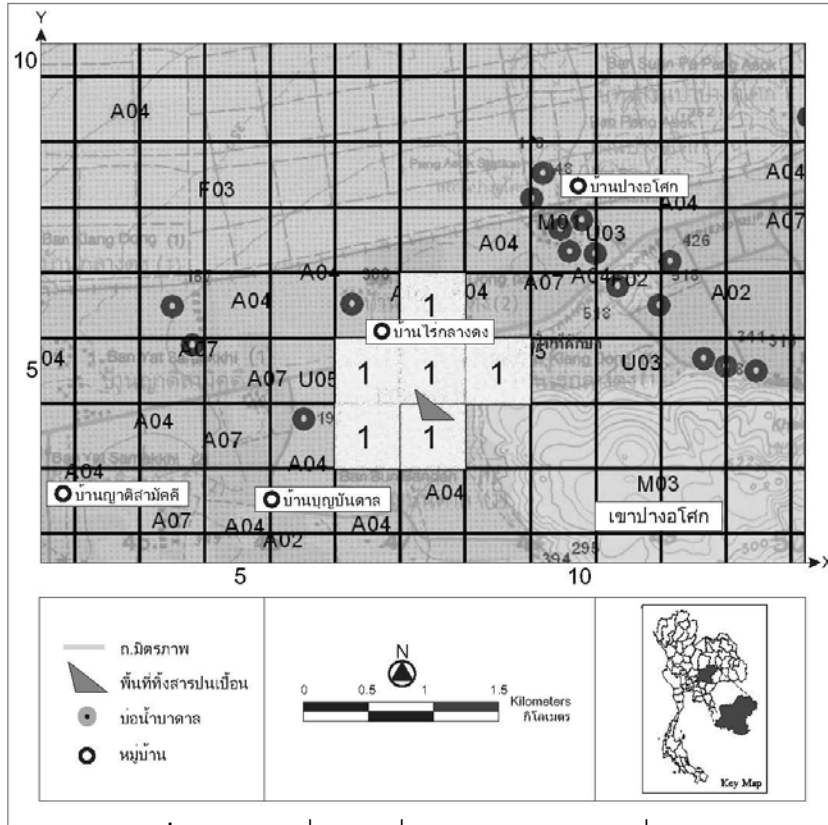
ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแผนที่ความเสี่ยง

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

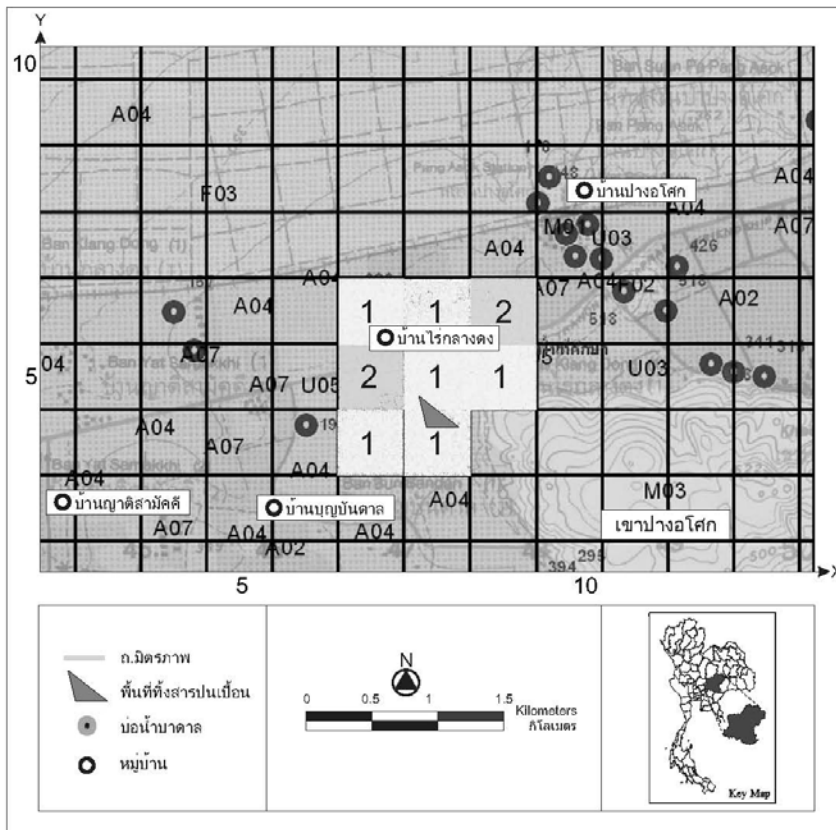
ความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่แบ่งออกได้เป็น 6 ระดับ ดังนี้

	ระดับที่ 1	มูลค่าความเสียหาย NPV <5,000,001 บาท
	ระดับที่ 2	มูลค่าความเสียหาย NPV 5,000,001-15,000,000 บาท
	ระดับที่ 3	มูลค่าความเสียหาย NPV 15,000,0001-25,000,000 บาท
	ระดับที่ 4	มูลค่าความเสียหาย NPV 25,000,0001-35,000,000 บาท
	ระดับที่ 5	มูลค่าความเสียหาย NPV 35,000,0001-45,000,000 บาท
	ระดับที่ 6	มูลค่าความเสียหาย NPV >45,000,000 บาท

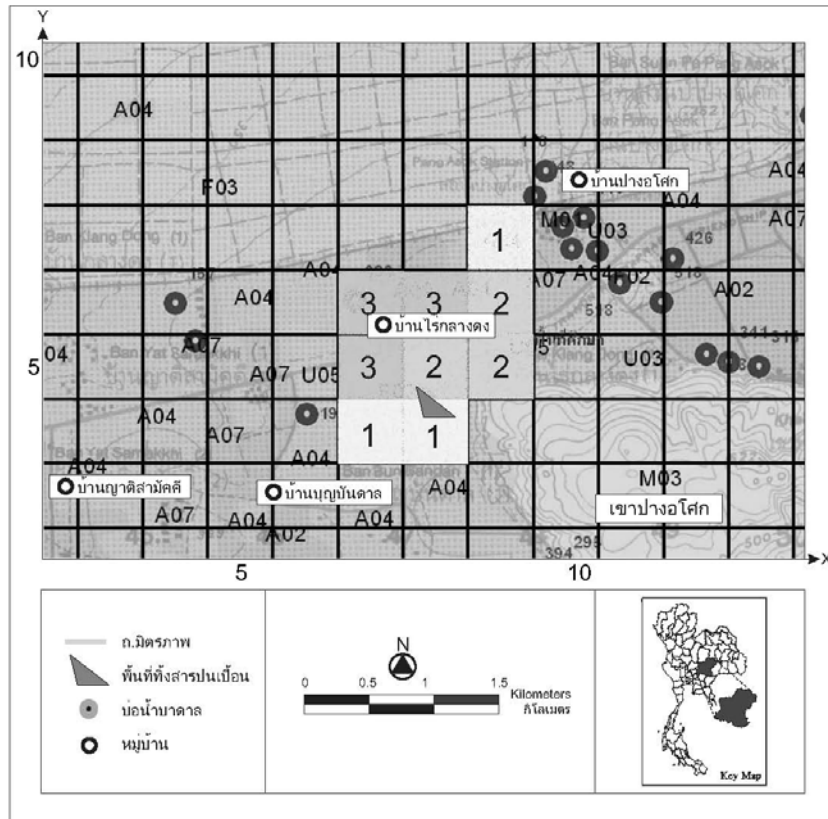
จากมูลค่าทางการเงินของผลกระทบทั้ง 4 ด้านที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี และ ช่วงแสดงระดับผลกระทบของความเสี่ยง เมื่อนำมาสร้างเป็นแผนที่ของความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 ได้ดังรูปที่ 6-7 ถึง รูปที่ 6-13



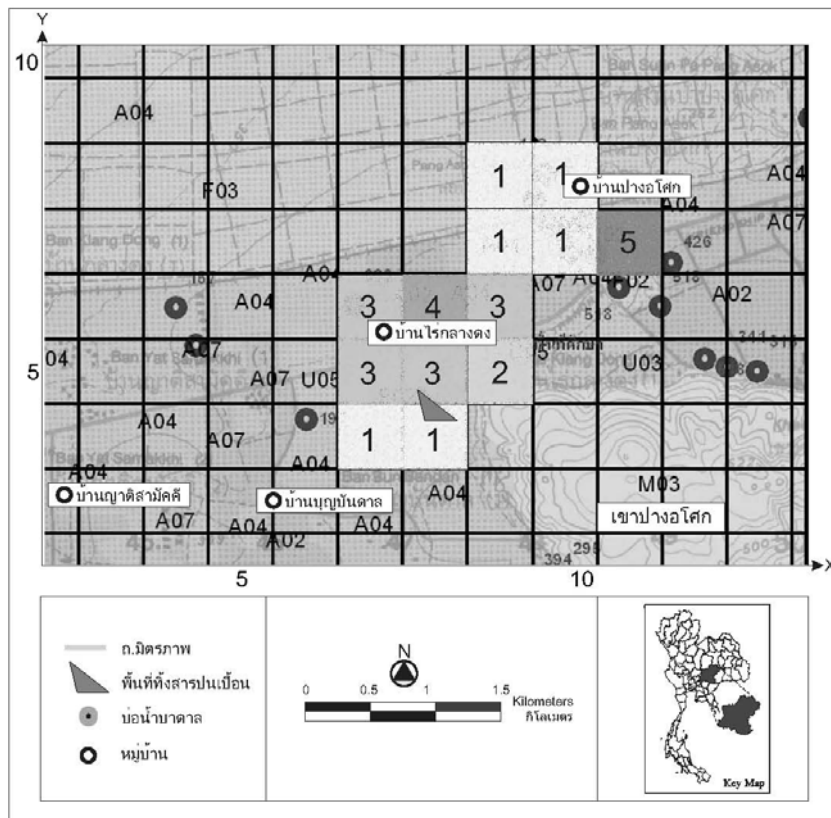
รูปที่ 6-7 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 2



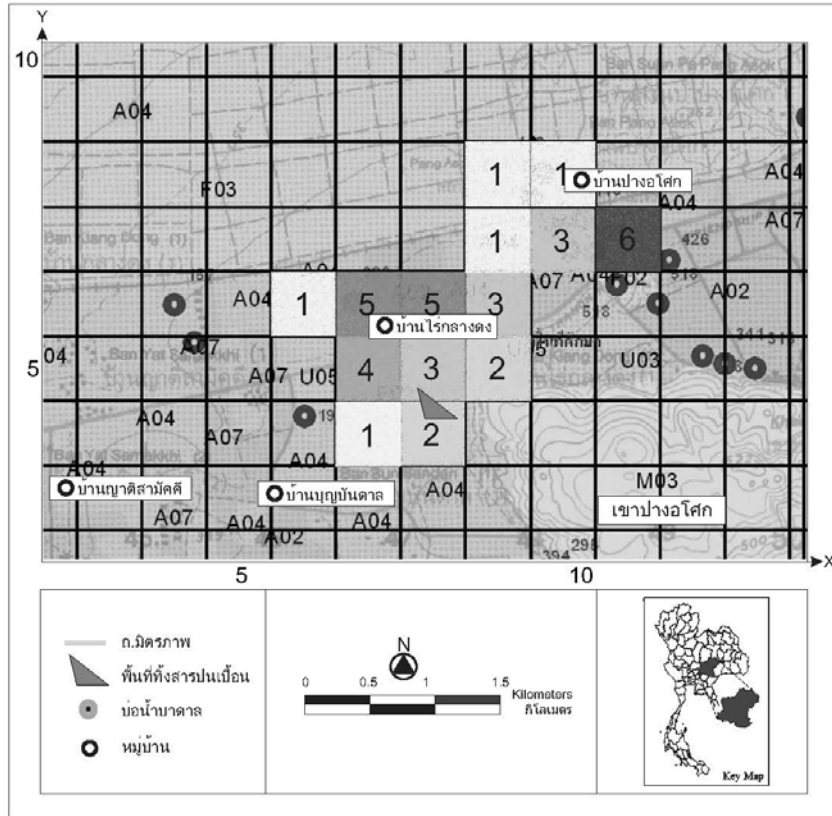
รูปที่ 6-8 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 5



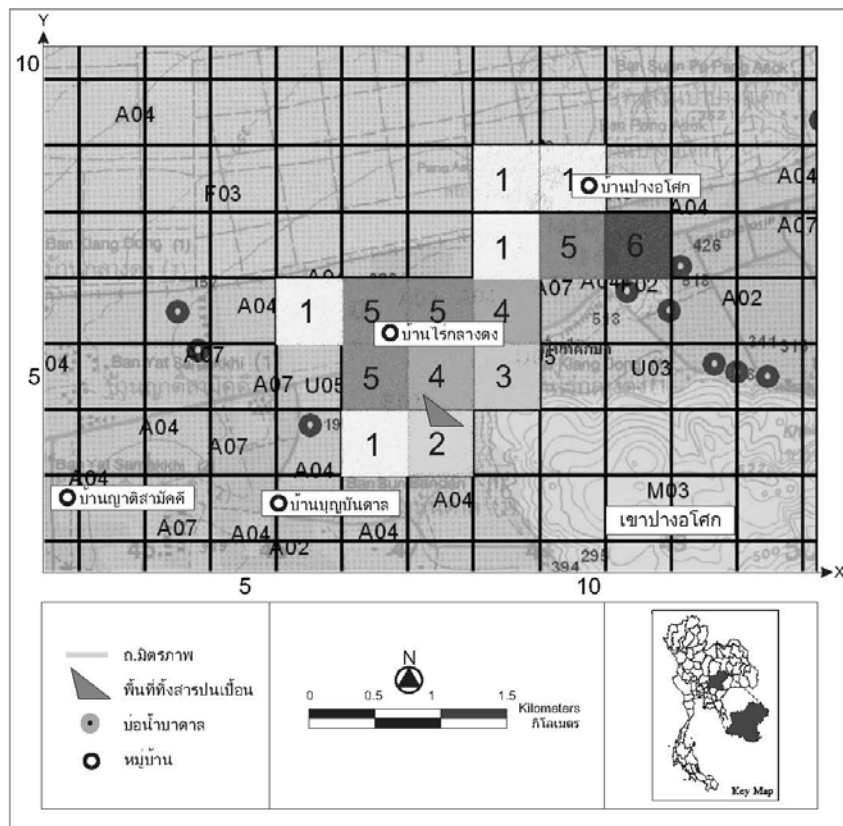
รูปที่ 6-9 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 10



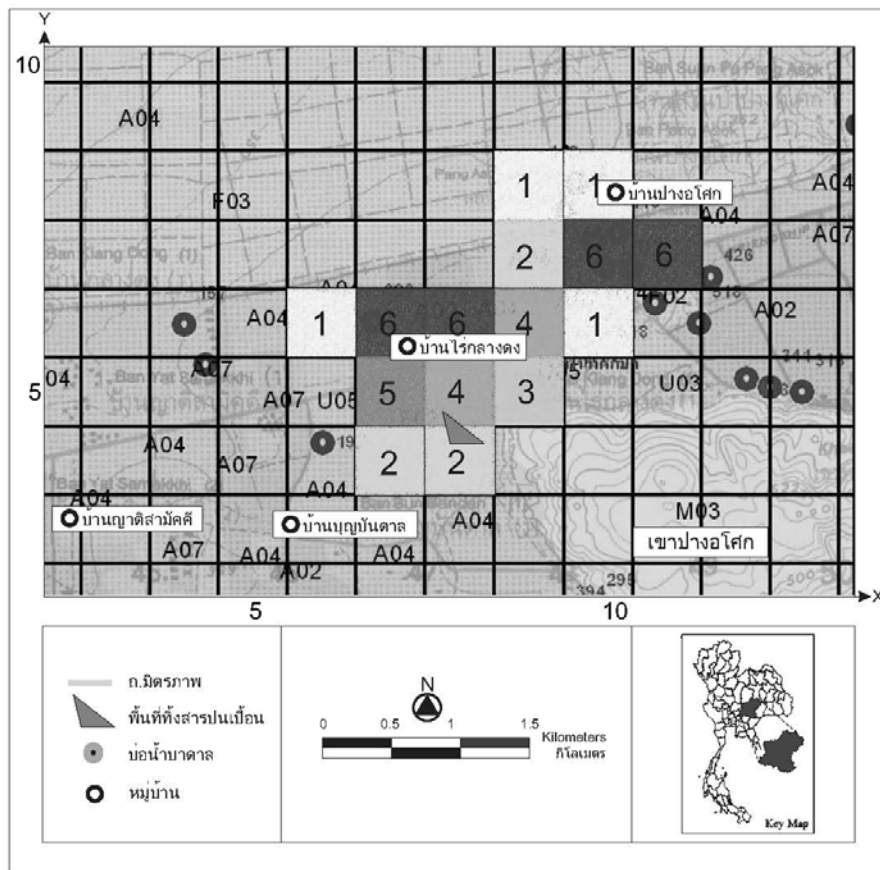
รูปที่ 6-10 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 14



รูปที่ 6-11 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 20



รูปที่ 6-12 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 25



รูปที่ 6-13 แผนที่ความเสี่ยง (risk map) ณ ปีที่ 50

จากแผนที่ของความเสี่ยง ณ ปีที่ 2, 5, 10, 14, 20, 25 และ 50 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของความเสียหายมีขนาดเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปีตามการเคลื่อนตัวของสารและมีระดับความรุนแรงที่เพิ่มมากขึ้น ดังนี้

ปีที่ 2 พื้นที่ของความเสียหายที่ได้รับการปนเปื้อนทั้งหมดอยู่ในระดับที่ 1 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายต่ำกว่า 5,000,001 บาท

ปีที่ 5 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1 และ 2 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิของความเสียหายมากที่สุดคือ 15,380,176 บาท

ปีที่ 10 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-3 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 29,008,017 บาท

ปีที่ 14 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-5 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 45,577,704 บาท

ปีที่ 20 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-6 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 260,501,055 บาท

ปีที่ 25 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-6 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 506,564,387 บาท

ปีที่ 50 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่ 1-6 รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 622,351,366 บาท

6.1.4 การตอบสนองต่อความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน

แนวทางการตอบสนองต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ศึกษานี้พัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อสารปนเปื้อนจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการและการสำรวจภาคสนาม โดยพิจารณาร่วมกับแนวทางการตอบสนองต่อการปนเปื้อน หรือ “general response actions” ที่เสนอโดย US EPA (1988)

การตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง กล่าวคือ (1) ไม่ดำเนินการใดๆ (2) ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี และ (3) ดำเนินการจัดการสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี

จากทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองต่อความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินที่ได้นำเสนอข้างต้น คณะที่ปรึกษาได้นำมาคัดเลือกโดยอาศัยเกณฑ์ในการพิจารณา 2 เกณฑ์ ได้แก่ (1) ต้นทุน และ (2) ประสิทธิภาพและความถาวรในระยะยาว

ซึ่งได้ผลการประเมินดังต่อไปนี้

แนวทางที่ 1 ไม่มีการดำเนินการใด ๆ

หากไม่มีการดำเนินการใดๆ ภายใน 14 ปี และจะก่อให้เกิดความเสียหายในพื้นที่ใกล้เคียงประเมินเป็นมูลค่าทางการเงินของผลกระทบเท่ากับ 6,396,213,714 บาท คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 973,824,924 บาท ซึ่งไม่สามารถลดผลกระทบลงได้ ดังตารางที่ 6-2

แนวทางที่ 2 การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี

การดำเนินการบำบัดสารปนเปื้อนทั้งหมดให้ลดลงเหลือเฉพาะบริเวณจุดทิ้งสารปนเปื้อน โดยบริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำบาดาลของประชาชนไม่ได้รับการปนเปื้อนจนถึงปีที่ 50 ซึ่งมีต้นทุนในการบำบัดเท่ากับ 674,184,838 บาท คิดเป็นมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดเท่ากับ 137,374,770 บาท หรือสามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 86 (ตารางที่ 6-2) โดยสามารถกำจัดสาร TCE ออกจากระบบได้ประมาณ 90% และลดพื้นที่การปนเปื้อนได้ 27% ในระยะเวลา 5 ปี

แนวทางที่ 3 การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี

การดำเนินการบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี สามารถลดขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนลงเหลือเฉพาะบริเวณจุดทิ้งสารปนเปื้อน โดยบริเวณที่อยู่อาศัยและบ่อน้ำประปาบาดาลของประชาชนจะไม่ได้มีการปนเปื้อนจนถึงปีที่ 50 เช่นเดียวกับแนวทางที่ 2 ซึ่งมีต้นทุนในการบำบัดเท่ากับ 307,723,047 บาท คิดเป็นมูลค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดเท่ากับ 67,289,068 บาท หรือสามารถลดผลกระทบลงได้ร้อยละ 93 (ตารางที่ 6-2) โดยสามารถกำจัดสาร TCE ออกจากระบบได้อย่างน้อย 30% และลดพื้นที่การปนเปื้อนได้ 64% ในระยะเวลา 10 ปี

ตารางที่ 6-2 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

การตัดสินใจเลือกแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงในโครงการศึกษาวิจัยนี้พิจารณา 2 ประเด็นสำคัญ คือ ต้นทุนในการบำบัดและฟื้นฟู และ ผลของการป้องกันไม่ให้อาปนเปื้อนเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ชุมชน (การลดลงของผลกระทบภายหลังการบำบัด) ซึ่งทางเลือกที่ 3 ซึ่งใช้เวลาในการบำบัด 10 ปี สามารถตอบสนองความต้องการในการป้องกันสารปนเปื้อนไม่ให้ไปสู่ชุมชนที่อยู่อาศัยได้ในต้นทุนที่ต่ำกว่าทางเลือกที่ 2 ถึง 54% โดยคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 366 ล้านบาท (=674,184,838-307,723,047) ประกอบกับอัตราส่วนระหว่างประโยชน์สุทธิต่อต้นทุนของทางเลือกที่ 3 ที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่าอัตราส่วนดังกล่าวของทางเลือกที่ 2 (1.95 เทียบกับ 0.24) แสดงให้เห็นว่า ทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนของการศึกษาวิจัยนี้

บทที่ 7

แผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

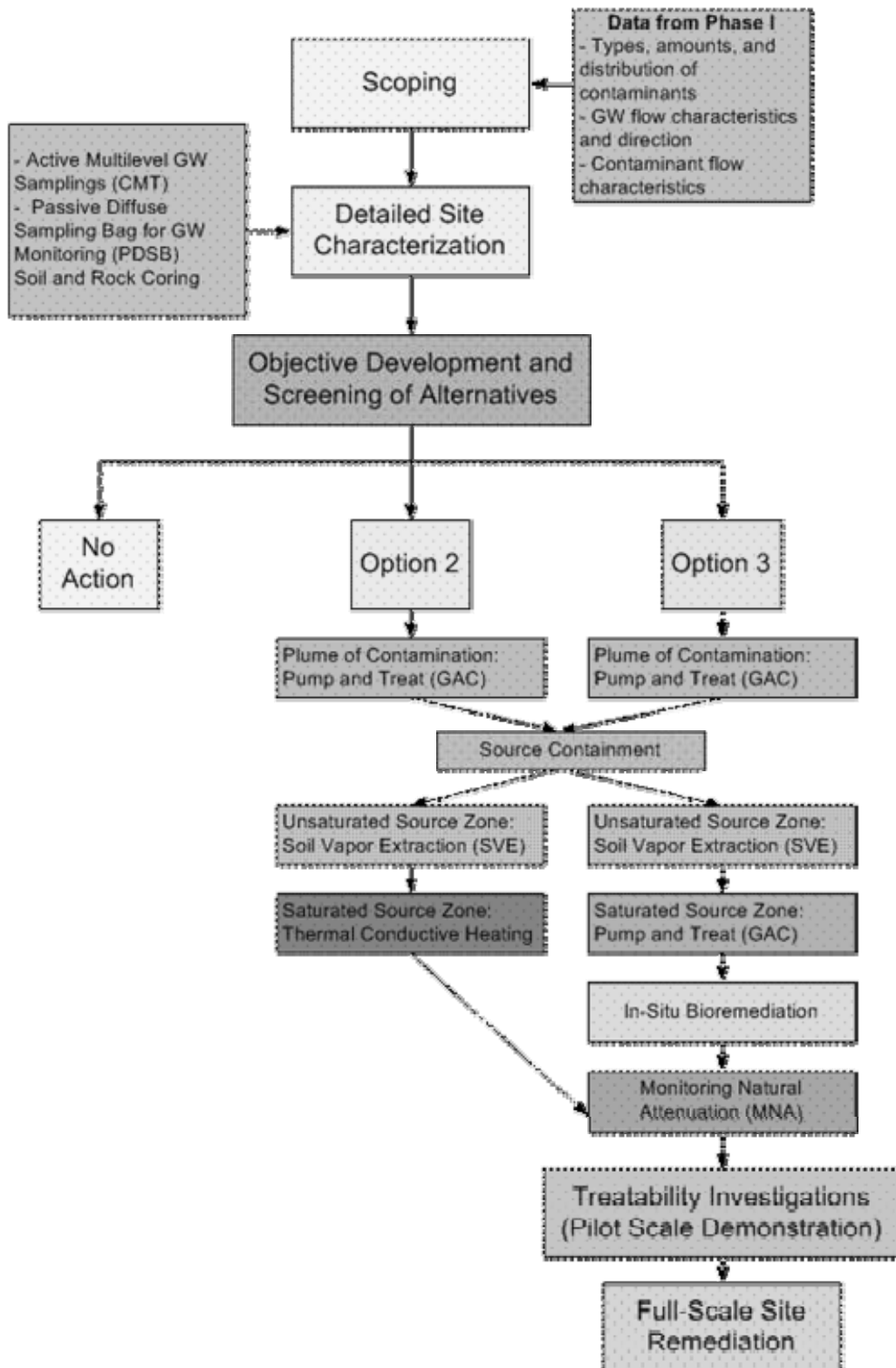
สำหรับแผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในบทนี้ คณะที่ปรึกษาได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการประมาณค่า Retardation Factor ของสารปนเปื้อนและ Dispersion Coefficient ของตัวกลางรูพรุนในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) เพื่อใช้ในการประมาณมวลสารปนเปื้อนตกค้างในชั้นดินและชั้นน้ำ และทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน รายละเอียดดังกล่าวจะปรากฏในรายงานฉบับสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังได้จัดทำแผนการจัดการสารปนเปื้อนที่พบในพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการจัดการสารปนเปื้อนในพื้นที่อนาคตต่อไป ดังนี้

7.1 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 นอกจากนี้แล้วผลการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินแสดงให้เห็นว่ามวลน้ำใต้ดินปนเปื้อนมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายตามแนวรอยแตกของชั้นน้ำในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนั้นเป้าหมายของการดำเนินการในการศึกษา ระยะต่อไป (Phase 2) เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินสู่แหล่งชุมชน และลดระดับการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้คณะที่ปรึกษาจึงนำเสนอแผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนโดยสังเขปตามหลักการ RI/FS ที่ได้วิเคราะห์ไปแล้วข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 แผนการระยะยาวในการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ให้กลับสู่สภาพเดิม

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 เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างเคียง จากนั้นจึงดำเนินการจัดการกับผลที่เกิดจากการปนเปื้อนนั่นๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดที่สำคัญในการเลือกเทคโนโลยีเพื่อใช้จัดการสารปนเปื้อน คือ เทคโนโลยีนั้นต้องมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อมนุษย์และสัตว์ในพื้นที่มากกว่าที่ได้เกิดขึ้นแล้วจากสารปนเปื้อน และควรเป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานสามารถจัดการกับสารปนเปื้อนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

จากการรวบรวมงานวิจัยและกรณีศึกษาต่างๆที่ผ่านมาในอดีตจนถึงปัจจุบัน 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 รวมทั้งดำเนินการศึกษา ลักษณะการกระจายตัวของสารปนเปื้อนในแนว Horizontal และ Vertical

ปีที่ 3

- ดำเนินการติดตั้งระบบ Containment เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนออกจาก พื้นที่ปนเปื้อน
- ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์เพื่อติดตามตรวจสอบระดับการปนเปื้อน หลังติดตั้งระบบ Containment และ ระบบ Pump and Treat
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Circulating Pump-and-Treat เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำอิมตัวบริเวณ Source Zone
- ดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำไม่อิมตัวบริเวณ Source Zone

ปีที่ 3 ขั้นไป

- ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์เพื่อติดตามตรวจสอบระดับการปนเปื้อน หลังติดตั้งระบบ Containment และ ระบบ Pump and Treat
- ดำเนินการทดสอบระบบในระดับ Pilot-Scale ของระบบ Soil Vapor Extraction (SVE) เพื่อจัดการสารปนเปื้อนที่ในชั้นน้ำไม่อิมตัวบริเวณ Source Zone
- ดำเนินการทดสอบระบบ Bioremediation ในห้องปฏิบัติการ เพื่อจัดการสารปนเปื้อน และนำประยุกต์ใช้ในการบำบัดด้วยระบบ In-situ bioremediation

คณะที่ปรึกษาได้ประเมินประสิทธิภาพของการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนทางคณิตศาสตร์ พบว่าจะสามารถลดพื้นที่ปนเปื้อนของสาร TCE ได้ประมาณ 64% นอกจากนี้คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการประมาณค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินบางส่วนตามแผนที่นำเสนอโดยสังเขปข้างต้น เท่ากับ 374 ล้านบาท โดยมีรายละเอียดการประมาณค่าใช้จ่ายอย่างคร่าวๆ แสดงในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 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

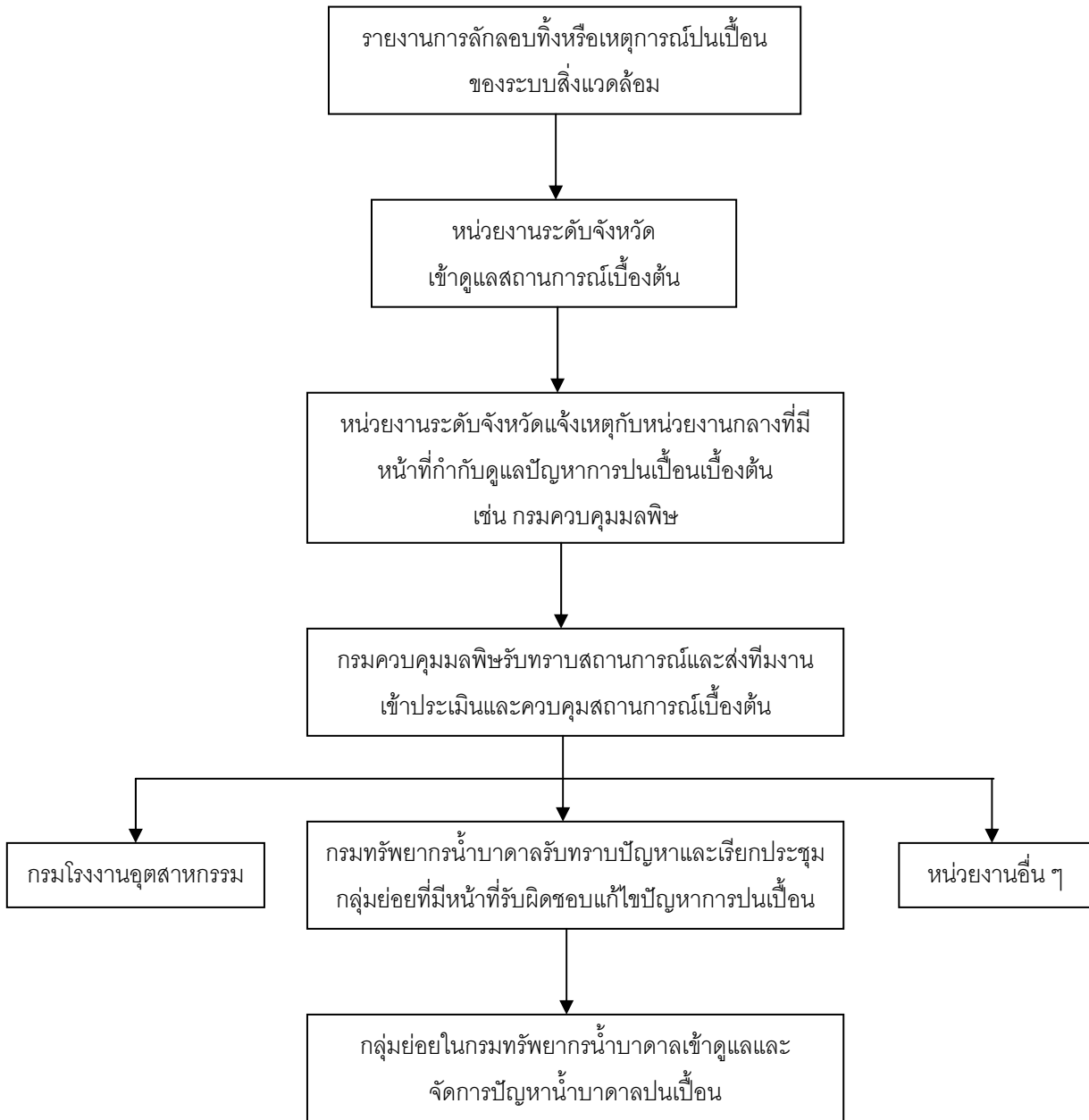
บทที่ 8

แผนปฏิบัติงานฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

คณะที่ปรึกษาได้จัดทำแผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนขึ้นเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและมีหน้าที่ความรับผิดชอบโดยตรงต่อปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดเตรียมความพร้อมในการจัดการ ป้องกัน และบรรเทาความเสียหายจากปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์

ในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนของน้ำใต้ดินขึ้น จึงต้องมีแนวทางการดำเนินการอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถบรรเทา หรือแก้ไขสถานการณ์ได้อย่างทันที่ อันจะทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติและ ความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตประชากรต่ำที่สุด แนวทางดังกล่าวคือ เมื่อมีการรายงานเหตุการณ์การปนเปื้อนขึ้นไม่ว่าจะเกิดจากการ Breakout ตามธรรมชาติ (ซึ่งมีโอกาสเกิดได้น้อยมาก) หรือเกิดจากการตั้งใจลักลอบทิ้งสารปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินก็ตาม จากชาวบ้านหรือหน่วยงานท้องถิ่นในบริเวณที่เกิดเหตุการณ์ จะต้องมีการรายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสู่ระดับจังหวัด ได้แก่ องค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.) ผู้ว่าราชการจังหวัด เป็นต้น จากนั้นหน่วยงานระดับจังหวัดได้แก่ทรัพยากรจังหวัดนั้นๆ ควรจะเข้าดูแลสถานการณ์เบื้องต้นหลังได้รับการร้องเรียนเพื่อตรวจสอบสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้นว่ามีความเสียหายรุนแรงเพียงใด หลังจากการตรวจสอบสภาพเบื้องต้นของการปนเปื้อนในพื้นที่ปนเปื้อนแล้ว หน่วยงานระดับจังหวัดจึงควรดำเนินการแจ้งเหตุกับหน่วยงานกลางที่มีหน้าที่กำกับดูแลปัญหาการปนเปื้อนของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในระดับแรก ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อหน่วยงานกลางที่มีหน้าที่ในการกำกับดูแลปัญหาการปนเปื้อนรับทราบสถานการณ์และรายงานการตรวจสอบสถานการณ์เบื้องต้นจากทรัพยากรจังหวัดแล้ว ควรมีการเรียกประชุมหารือหน่วยงานย่อยที่เกี่ยวข้องและมีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อประเมินสถานการณ์เบื้องต้น จากนั้นจึงดำเนินการส่งทีมงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเข้าประเมินสถานการณ์ในพื้นที่ปนเปื้อนจริงอย่างรวดเร็วที่สุด การควบคุมสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้น (หากมีความจำเป็น) จะต้องดำเนินการทันทีอย่างรวดเร็วที่สุดที่จะทำได้ เพื่อลดความเสียหายที่เพิ่งเกิดขึ้นได้ จากนั้นทีมงานที่เกี่ยวข้องดูแลสถานการณ์การปนเปื้อนเบื้องต้นนี้ควรจัดทำรายงานสรุปชนิดและปริมาณการปนเปื้อน รวมทั้งประเมินความเสียหายและวิถีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนไปสู่ Receptor ในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์การปนเปื้อนนี้ เพื่อใช้ประกอบการประชุมร่วมที่ทางหน่วยงานกลางควรจะต้องเรียกประชุมระหว่างหน่วยงานอื่นที่

เกี่ยวข้องและอาจมีขอบเขตอำนาจรับผิดชอบโดยตรงในการจัดการปัญหาการปนเปื้อน เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมโรงงานอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรม เป็นต้น เมื่อมีการประชุมรับทราบสถานการณ์การปนเปื้อนร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อรับทราบปัญหาแล้ว หน่วยงานที่มีขอบเขตอำนาจโดยตรงในการดูแลระบบสิ่งแวดล้อมหรือทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดปัญหาการปนเปื้อนขึ้น ควรจะเรียกประชุมเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความเข้าใจในปัญหาการปนเปื้อนโดยตรง เพื่อประชุมหารือแนวทางการจัดการและแก้ปัญหาการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน หากมีหลักฐานการปนเปื้อนที่ชัดเจนและปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาการปนเปื้อนที่รุนแรง หน่วยงานที่มีส่วนรับผิดชอบโดยตรงมีความจำเป็นต้องให้ความช่วยเหลือเพื่อบรรเทาความเดือดร้อนจากปัญหาการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วน โดยการใช้งบประมาณฉุกเฉิน เช่น การจัดหาแหล่งน้ำทดแทนเพื่อบรรเทาปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลักเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชากรในพื้นที่ปนเปื้อนที่เกิดการปนเปื้อน ก่อนที่จะดำเนินการแก้ปัญหาการปนเปื้อนจากการปนเปื้อนอย่างจริงจังโดยกลุ่มทำงานย่อยที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในปัญหาการปนเปื้อนนั้นๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 8-1



รูปที่ 8-1 แนวทางการดำเนินงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

8.1 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนฉุกเฉิน-ระยะสั้น (Short Term Emergency Response Plan)

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

8.2 แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินในระยะยาว (Long Term Response Plan)

แผนการจัดการปัญหาน้ำใต้ดินในระยะยาว อาศัยตัวอย่างแนวทางการจัดการสารปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำในประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้เป็น

แนวทางในการป้องกันและฟื้นฟูความเสียหายจากการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำของประเทศ
ไทย

8.2.1 กฎหมาย กฎ และข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา

รัฐบัญญัติของสหรัฐหลายฉบับได้กำหนดพื้นฐานของข้อบังคับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม
โดยกฎหมายสำคัญ 3 ฉบับที่กำหนดขอบเขตของข้อบังคับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่

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

8.2.2 นโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Management Policy)

การพัฒนานโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมโดยองค์กรที่รับผิดชอบในการ
ควบคุมความเสี่ยง (controlling organization) ประกอบด้วย แผนการตอบสนองความเสี่ยงที่มี
การวางแผนล่วงหน้า และแผนการตอบสนองในกรณีฉุกเฉินซึ่งมิได้มีการวางแผนในการตอบสนอง
ไว้ล่วงหน้า

8.2.3 หน่วยงานกลางที่กำกับดูแลและระบบสิ่งแวดล้อมของประเทศ

สำหรับในประเทศไทยนั้นหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการกำกับดูแลและระบบสิ่งแวดล้อม
ระดับประเทศมีหลายหน่วยงาน ได้แก่ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมควบคุมมลพิษ กรมโรงงาน
อุตสาหกรรม คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม การนิคมอุตสาหกรรม สำนักงานกรุงเทพมหานคร
 เป็นต้น จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่าระบบจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยยังคง
ขาดความมีเอกภาพเนื่องจากในบางหน่วยงานมีขอบเขตอำนาจทับซ้อนกันอยู่

หน่วยงาน United States Environmental Protection Agency (US. EPA) เป็นองค์กร
ของรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดในด้านการจัดการดูแลระบบ
สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ เป็นหน่วยงานของรัฐบาลกลางที่เกิดจากการ

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

8.2.4 การพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อม

ในประเทศไทยภาวะการพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Forensics) ตกอยู่ที่ผู้เสียหายเกือบทั้งหมดจึงเป็นการยากที่จะดำเนินคดีกับผู้ถูกกล่าวหาว่าก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม คณะที่ปรึกษามีความเห็นที่แนวคิดการเปลี่ยนภาวะการพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อมไปยังผู้ถูกกล่าวหาว่าก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในมาตรการจัดการการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

8.2.5 การมีส่วนร่วมของภาคประชาชน

การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน เนื่องจากประชาชนคือผู้ได้รับผลกระทบหรือเป็นผู้เสียหายที่แท้จริงนั่นเอง การที่ภาคประชาชนจะเข้มแข็งและมีบทบาทได้อย่างเต็มที่มีนั้น จำต้องมีความรู้และมีข้อมูลเพียงพอในการตรวจสอบ เฝ้าระวัง และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำใต้ดิน

8.2.6 การจัดทำ National Priority List (NPL)

ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการจัดทำ National Priority List (NPL) โดยหน่วยงานต่างๆ ที่มีหน้าที่รับผิดชอบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ US.EPA, Department of Energy (DOE), Department of Defense (DOD) เป็นต้น เพื่อเป็นมาตรฐานให้แก่หน่วยงานเหล่านี้ในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศ

8.2.7 การจัดทำฐานข้อมูลสารอันตรายของประเทศ

การจัดทำฐานข้อมูลสารเคมีอันตรายและการขนส่งสารเคมีต่างๆ ทั่วประเทศจัดเป็นมาตรการที่สำคัญในการเข้าถึงข้อมูลความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนในชั้นดินและชั้นน้ำของประเทศไทยเช่นเดียวกัน ตัวอย่างข้อมูลที่ต้องได้รับรายงาน ได้แก่ ที่ตั้งโรงงาน ประเภทของโรงงาน ชนิด ปริมาณ และ สถานะของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ชนิด ปริมาณ และสถานะของสารเคมีที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบของของเสีย กลุ่มที่ควรรายงานข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม เหมืองแร่ การเกษตร (ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช) เป็นต้น

8.2.8 การประชาสัมพันธ์

การประชาสัมพันธ์ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการสื่อสารด้านความเสี่ยงที่มีประสิทธิผล (effective risk communications) กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างความน่าเชื่อถือของผู้รับผิดชอบปัญหา รวมถึงการสร้างความเข้าใจต่อปัญหาของสาธารณชนอีกด้วย

8.2.9 การกำหนดวัตถุประสงค์ของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน

นโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีควรเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์พื้นฐานของแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Management Program) ที่ชัดเจน เช่น ความจำเป็นในการลดความเสี่ยง สมรรถนะทางเทคโนโลยีของวิธีการลดความเสี่ยงที่มีอยู่ สภาพของท้องถิ่น และความสามารถขององค์กรในการหาเงินสนับสนุน การหาจุดสมดุลดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดนโยบายการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมโดยองค์กรที่รับผิดชอบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแผนงานและนำแผนงานดังกล่าวไปปฏิบัติ

8.2.10 การจัดทำมาตรการการจัดการน้ำใต้ดินปนเปื้อนเพื่อเป็นมาตรฐานในการดำเนินงาน

มาตรฐานการจัดการสารปนเปื้อนสามารถพัฒนาจากมาตรการตอบสนองความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 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

8.3 บทสรุปกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

เมื่อเกิดปัญหาการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินก็ดี หรือในระบบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ก็ดี โดยเฉพาะเมื่อต้นเหตุการเกิดการปนเปื้อนนั้นไม่สามารถถูกระบุได้อย่างชัดเจนว่าเป็นการกระทำโดยกลุ่มบุคคลใด และทำที่สุดผู้เสียหายหรือได้รับผลกระทบควรจะดำเนินคดีเพื่อเรียกร้องค่าเสียหายที่เกิดขึ้นกับใครนั้น ยังคงเป็นประเด็นปัญหาหลักสำหรับประเทศไทย ดังนั้นคณะที่ปรึกษาจึงได้ดำเนินการสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการยุติธรรมกับปัญหาสิ่งแวดล้อมไว้ดังนี้

1) คดีสิ่งแวดล้อมและกฎหมายสิ่งแวดล้อม

กฎหมายสิ่งแวดล้อมของไทยมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจัดกระจายไม่เป็นระบบ และกฎหมายสิ่งแวดล้อมยังอาจรวมถึง ประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์และประมวลกฎหมายอาญา อันเป็นกฎหมายพื้นฐานซึ่งมีบทบัญญัติคุ้มครองในเรื่องสิ่งแวดล้อมเช่นกัน กล่าวคือ ผู้ที่

ได้รับความเสียหายจากการกระทำซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาจฟ้องเรียกค่าเสียหายในมูลค่าเม็ดเงิน (คดีแพ่ง) หรืออาจฟ้องให้ผู้กระทำต้องรับโทษในความผิดต่อชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สิน (คดีอาญา) ซึ่งการฟ้องร้องดังกล่าวถือเป็นการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในตัวเอง แม้การบังคับใช้กฎหมายนี้จะจำกัดเฉพาะผู้ที่ได้รับความเดือดร้อนเสียหายโดยตรงเท่านั้น แต่อาจพิจารณาได้ว่าสามารถเสริมให้การใช้กฎหมายเป็นเครื่องมือเพื่อคุ้มครองสิ่งแวดล้อมให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ดังนั้นขอบเขตของคดีสิ่งแวดล้อมจึงควรเกี่ยวข้องกับประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ และประมวลกฎหมายอาญาในส่วนที่ให้ความคุ้มครองต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2) ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อม

ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการดำเนินคดีสิ่งแวดล้อมของไทยอาจสรุปได้ดังนี้

● เขตอำนาจศาล

คดีสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยกระจัดกระจายอยู่หลายศาล ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องเขตอำนาจศาลซึ่งอาจทำให้ผู้เสียหายเกิดความสับสนว่าควรนำคดีขึ้นสู่ศาลใด นอกจากนี้ระบบการพิจารณาคดีในแต่ละศาลก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นภาระในการนำเสนอพยานหลักฐานของคู่ความในศาลต่าง ๆ ย่อมแตกต่างกันไปด้วย

● อำนาจฟ้อง

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายวิธีพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ ดังนั้นการฟ้องจึงอาศัยประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งมาตรา 55 และมาตรา 172

การตีความ มาตรา 55 และ 172 แห่งประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งอย่างเคร่งครัดเกินไปของศาล อาจไม่เหมาะสมกับคดีสิ่งแวดล้อมซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ ความเสียหายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ อาศัยเวลานานและต่อเนื่อง (ในบางกรณีต่อเนื่องภายหลังการพิจารณาคดีสิ้นสุดลง)

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เหตุแห่งการฟ้องคดี ซึ่งตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งได้กำหนดให้ผู้ที่จะฟ้องคดีต่อศาลได้จะต้องเป็นผู้เสียหายโดยตรง อย่างไรก็ตามในคดีสิ่งแวดล้อมหลายกรณี ผู้ที่ต้องการฟ้องร้องอาจไม่ใช่ผู้เสียหายโดยตรงแต่เป็นผู้ซึ่งต้องการ

รักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่กำลังถูกทำลาย บุคคลดังกล่าวจึงไม่มีสิทธิฟ้อง เนื่องจากกฎหมายดังกล่าวมิได้ถือว่าเป็นผู้เสียหายนั่นเอง

- **ภาระการพิสูจน์**

ภาระการพิสูจน์ในคดีสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับการตั้งเรื่องฟ้องคดี อย่างไรก็ตามการพิสูจน์ในลักษณะ causation ในคดีสิ่งแวดล้อมก็ยังคงเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น การแพร่กระจายของมลพิษอันก่อให้เกิดความเสียหายมักจะใช้เวลานานพอสมควรทำให้ยากต่อการเก็บรวบรวมพยานหลักฐาน แหล่งกำเนิดมลพิษมักอยู่ในสถานที่ของเอกชนซึ่งยากต่อการเข้าไปตรวจสอบ หรือการพิสูจน์คดีสิ่งแวดล้อมต้องอาศัยพยานผู้เชี่ยวชาญและหลักทางวิทยาศาสตร์เข้ามาประกอบ ทำให้ผู้พิพากษาซึ่งตัดสินคดีสิ่งแวดล้อมพิจารณาคดีด้วยความยากลำบาก เป็นต้น

- **ระยะเวลาในการดำเนินคดี**

เนื่องจากกระบวนการพิจารณาของกฎหมายมีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้อาจเกิดความล่าช้าในการพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อมได้ ระยะเวลาในการดำเนินคดีที่เนิ่นนานดังกล่าวส่งผลให้แม้ผู้เสียหายจะชนะคดีและได้รับค่าสินไหมทดแทนในที่สุด แต่ความเสียหายหรือผลกระทบของปัญหา มิได้ถูกแก้ไขอย่างทันท่วงที ทำให้ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมอาจทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

- **ค่าเสียหาย**

การกำหนดค่าเสียหายในคดีสิ่งแวดล้อมมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมากไม่อาจคิดคำนวณเป็นจำนวนเงินที่แน่นอนได้ หรืออาจจำเป็นต้องใช้ความรู้ความสามารถพิเศษของพยานผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นการพิจารณาค่าเสียหายของผู้พิพากษา อาจจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

- **อายุความ**

ความเสียหายหลายประเภทในคดีสิ่งแวดล้อมอาจเกิดขึ้นในอนาคต อันอาจล่วงเลยระยะเวลาที่ศาลจะสามารถแก้ไขค่าพิพากษาในส่วนค่าสินไหมทดแทนได้ อายุความจึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งในกระบวนการพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อม

จากตัวอย่างของปัญหาและอุปสรรคของกระบวนการยุติธรรมสำหรับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นำเสนอในข้างต้น ทำให้เกิดแนวความคิดต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาคดีสิ่งแวดล้อมดังกล่าวหลายแนวทาง อาทิเช่น การพัฒนากฎหมายวิธีพิจารณาคดีสิ่งแวดล้อม การจัดตั้งศาลสิ่งแวดล้อมใน

ประเทศไทย เป็นต้น แนวความคิดดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

8.4 ภาพรวมอุปสรรคในการดำเนินการจัดการปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินของประเทศไทย

คณะที่ปรึกษามีความเห็นว่า การจัดการปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนในประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน กระบวนการจัดการกับปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนของประเทศไทยนั้นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ ในศาสตร์หลายสาขาประกอบกัน รวมทั้งต้องได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ หลายหน่วยงานที่มีขอบเขตอำนาจหน้าที่ในการดูแลรักษาอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม อุปสรรคในการดำเนินการจัดการการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนั้นมีมากมาย ได้แก่

- การขาดความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมของการปนเปื้อนอย่างแท้จริง
- ขาดความรู้ความเข้าใจในลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษา
- ขาดความทันสมัยในเชิงเทคโนโลยีการทำ Site Characterization และการจัดการสารปนเปื้อนที่มีความสลับซับซ้อน 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

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย การศึกษาสภาพธรณีวิทยา สภาพอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา การสำรวจพฤติกรรมและปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ เพื่อนำมาประมาณหาพื้นที่สารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน รวมทั้งการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์ของโครงการอันได้แก่การประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในพื้นที่ และการวางแผนการจัดการสารปนเปื้อนดังกล่าว โดยสรุปพบว่า การตรวจสอบลักษณะการวางตัวของชั้นหิน และศึกษารอยแตกของหินในพื้นที่ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ โดยการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ การหึงธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะด้วยวิธี television log จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการเจาะจำนวน 12 บ่อ พบรอยแตกในแนวนอนมากกว่ารอยแตกในแนวตั้ง ปริมาตรรอยแตกหรือช่องว่าง (porosity) ของหินสามารถประเมินจากภาพ television log ได้ประมาณร้อยละ 10-45 โดยรอยแตกของหินปูนในแนวนอนมีหลายขนาด หลายระดับความลึก รอยแตกของหินมีทิศทางการวางตัวหลัก 2 แนว คือ แนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในแนว 26 องศา

จากการตรวจหาสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2550 พบหลักฐานการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินในพื้นที่ทั้งสารปนเปื้อนและพื้นที่ข้างเคียงเกินระดับมาตรฐานจำนวน 7 ชนิด ได้แก่ TCE, PCE, Benzene, และ cis-DCE เป็นต้น จากข้อมูลการปนเปื้อนนี้สามารถสร้าง Iso-Concentration ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำพบว่า ขอบเขตการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินด้วยสาร TCE มีการขยายขอบเขตออกไปกว้างขึ้นจากเดิมที่เคยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 255,000 ตร.ม. ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2550 และขยายพื้นที่ปนเปื้อนเป็น 300,000 ตร.ม. ในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2550

จากการประเมินความเสี่ยงอันเกิดจากสารปนเปื้อนในพื้นที่โดยการประเมินผลกระทบของความเสียหายในเชิงเศรษฐศาสตร์ (economic impacts) จากสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน 3 ประการได้แก่ (1) การสูญเสียรายได้ของประชาชนเนื่องจากเจ็บป่วยทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ (2) การลดลงของที่ดินทำกินเนื่องจากการปนเปื้อน (3) การสูญเสียรายได้จากการจำหน่ายน้ำบาดาล และ (4) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการบำบัดฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการ

ปนเปื้อน ภายในระยะเวลา 50 ปี พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลกระทบจากสารปนเปื้อนทั้ง 4 ประการ คือ 683,548,018 บาท 285,311,440 บาท 3,310,311 บาท และ 1,655,156 บาท ตามลำดับ รวมเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าเสียหายทั้งสิ้น 973,824,925 บาท

ขั้นตอนต่อมา คือ การตอบสนองต่อความเสี่ยง คณะที่ปรึกษาได้พัฒนาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการตอบสนองความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดิน ซึ่งในที่นี่มีทั้งสิ้น 3 แนวทาง ได้แก่ (1) การไม่ลงมือใดๆ (no action) (2) การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 5 ปี และ (3) การบำบัดสารปนเปื้อนภายใน 10 ปี 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 within 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°. The results of two 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 total net present value due to the four impact factors of year 50 was 973,824,925 baht for net present value of total impacts. 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.

Contents

	Page
Abstract	a
Contents	b
Figure Contents	e
Table Contents	g
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Research Objectives	1
1.3 Scope of Work	2
Chapter 2 General Site Descriptions	3
2.1 Site Topography and Physiography	3
2.2 Site Climate Conditions	3
2.3 Site Hydrological Conditions	3
2.4 Geological Conditions	5
2.5 Hydrogeological Conditions	9
2.6 Land Use	10
2.7 Population and Socio-Economic	10
Chapter 3 Site Characterization	12
3.1 Data Collection	12
3.2 Geophysical Methods for Fracture and Rock Formation Analysis	15
3.3 Soil Contamination	18
3.4 Subsurface Characterization	20
3.5 Pumping Test	21
3.6 Water Level and General Groundwater Quality Monitoring	24

Contents (cont.)

	Page
Chapter 4 Extent of Groundwater Contamination	29
4.1 Groundwater Flow and Contaminant Migration Directions Estimation from Topographic Map	29
4.2 Contaminant Iso-Concentration Contour Map	32
4.3 Hot Spot Identification	32
4.4 The Extent of Groundwater Contamination by TCE	37
Chapter 5 Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling	39
5.1 Conceptual Groundwater Flow Model	39
5.2 Groundwater Flow Model	41
5.3 Contaminant Transport Conceptual Model	46
Chapter 6 Risk Assessment of Contamination in the Study Area	52
6.1 Groundwater Contamination Risk Assessment	52
Chapter 7 Contaminated Groundwater Remediation Plan	69
7.1 Long-Term Contaminated Groundwater Remediation and Restoration Plan	69
7.2 Detailed Soil and Groundwater Remediation and Restoration Scheme	70
Chapter 8 Emergency and Long-Term Responses to Groundwater Contamination	74
8.1 Short Term Emergency Response Plan	74
8.2 Long Term Response Plan	75
8.3 Summary of the Environmental Justice in Thailand	77
8.4 Difficulties and Obstacles for Environment Justice and Groundwater	

Contents (cont.)	
	Page
Contamination Problems in Thailand	78
Chapter 9 Conclusions	79

Figure Contents

	Page	
2-1	Location of Amphor Pakchong, Nakhonratchasima Province	4
2-2	Geological Map of the Sap Takhian Subwatershed	6
2-3	Geological Cross Section Lines A-A' and B-B' of the Sap Takhian Subwatershed	7
2-4	Groundwater Map of the Sap Takhian Subwatershed	11
3-1	Map of Soil Thickness of the Contaminated Site and Surrounding Area	16
3-2	Monitoring Wells Position	22
3-3	Transmissivity and Hydraulic Conductivity Contour Map in Sub-Ta-Kien Sub-Basin	23
4-1	Geological Map of the Sap Takhian Subwatershed	30
4-2	Geological Cross Section Lines A-A' and B-B' of the Sap Takhian Subwatershed	31
4-3	Iso-Concentration Contour Map of Benzene in Feb 2007	33
4-4	Iso-Concentration Contour Maps of TCE	34
4-5	LNAPL Hot Spot	35
4-6	DNAPL Hot Spot	36
4-7	The Extent of Groundwater Contamination by TCE	38
5-1	Conceptual Model	40
5-2	Groundwater Flow Domain Constructed in MODFLOW	41
5-3	Decline in Groundwater Elevations within the Studying Area due to an Increase in Future Groundwater Consumption	45
5-4	5 ug/L TCE Contour	48
5-5	5 ug/L Benzene Contour	49
5-6	5 ug/L PCE Contour	50
5-7	Comparing the Final Mass Remained after Applying the Fast Track Scheme to the TCE-Contaminated Aquifer with that of the Same	

Fig Contents (cont.)

	Page
Aquifer without any Actions after 5 Years	57
5-8 Comparing the Final Mass Remained after Applying the Regular Track Scheme to the TCE-Contaminated Aquifer with that of the Same Aquifer without any Actions after 5 and 10 Years	58
6-1 Components of Groundwater Contamination Risk	53
6-2 Cumulative Net Present Value of Income Loss due to Health Problems	57
6-3 Cumulative Net Present Value of Loss due to Uncultivable Lands	58
6-4 Cumulative Net Present Value of Income Loss of Water Supply Business	58
6-5 Cumulative Net Present Value of Loss due to Water Supply System Replacement	60
6-6 Cumulative Net Present Value of All Four Risk Impacts	60
6-7 Risk map of Year 2	61
6-8 Risk map of Year 5	62
6-9 Risk map of Year 10	62
6-10 Risk map of Year 14	63
6-11 Risk map of Year 20	63
6-12 Risk map of Year 25	64
6-13 Risk map of Year 50	64
7-1 Long-Term Contaminated Groundwater Remediation and Restoration Plan	71

Table Contents

	Page
3-1 Thailand Groundwater Standard of Volatile Organic Compounds	13
3-2 Thailand Groundwater Standard for Heavy Metals	14
3-3 Thailand Groundwater Standard for Pesticides	14
3-4 Detailed Investigation of the Subsurface Geophysical Survey	17
3-5 Analytical Parameters	19
3-6 Monitoring Wells Installation Log	20
3-7 The Result of Groundwater Analysis	26
5-1 Projected Groundwater Use Prediction	43
6-1 Contaminated Areas in Different Years	56
6-2 Analysis of Net Benefit to Cost Ratio for Each Alternative	66
7-1 Estimated Costs for Regular-Track Soil and Groundwater Remediation Scheme	73

Chapter 1

Introduction

1.1 Background

An illegal disposal of industrial wastes at *Baan Paang Asoke* located at *Tambon Klangdong Amphor Pakchong Nakhonratchasima* Province of Thailand led to a severe release of hazardous chemicals into the environment. The Pollution Control Department (PCD), Thailand conducted a preliminary investigation and discovered that surface and shallow subsurface soil was significantly contaminated with several types of volatile organic compounds (VOCs) such as Trichloroethylene (TCE) and Benzene. The Department of Groundwater Resources (DGR), Thailand, installed 3 monitoring wells at the disposal site and vicinity. The preliminary groundwater assessment also conducted by the PCD revealed that groundwater resource underneath the disposal area has been contaminated with VOCs. Several questions then arise whether the subsurface contaminants can affect the quality of groundwater resource underneath; whether the plume of contamination further can migrate downstream; and what are the impacts of contaminated groundwater to local people in the area nearby.

1.2 Research Objectives

- 1.2.1 Characterize the physical and hydrogeological conditions of the groundwater aquifer in the study area
- 1.2.2 Estimate types and amount of the contaminants discovered in the study area
- 1.2.3 Conduct a risk assessment from groundwater contaminated with hazardous chemicals
- 1.2.4 Numerically simulate contaminant transport behavior in groundwater aquifer and predict the extension of groundwater contamination
- 1.2.5 Estimate damages due to groundwater contamination in the study area

- 1.2.6 Propose a remedial investigation and screening guidance leading to a remedial plan to protect and remediate the groundwater contamination problem in the study area
- 1.2.7 Establish a sustainable development of groundwater contamination knowledge and tools for the government personnel directly involved in groundwater resource protection and restoration

1.3 Scope of Work

Huy Subthakian watershed was selected as the geological and hydrogeological study area as it sufficiently covered the hazardous waste disposal site. The study area was 165 km² located at *Thambon Klangdong Amphor Pakchong*, and partially at *Thambon Dongphyayen Amphor Muaklek, Nakhonratchasima* Province, Thailand.

The scopes of work are as follow:

- 1.3.1 Determine the physical conditions of the disposal site and vicinity.
- 1.3.2 Determine the hydrological conditions of the disposal site and vicinity.
- 1.3.3 Establish a sensible groundwater quality monitoring network in the study area.
- 1.3.4 Estimate groundwater flow and contaminant transport parameters at the laboratory and field scales.
- 1.3.5 Investigate the contaminant transport characteristics in subsurface, and simulate groundwater flow and contaminant transport using mathematical models.
- 1.3.6 Conduct a risk assessment from contaminated groundwater.
- 1.3.7 Review contaminated groundwater remediation schemes for aquifer restoration.
- 1.3.8 Propose a remedial investigation and screening guidance leading to a remedial plan to protect and remediate the groundwater contamination problem in the study area.
- 1.3.9 Estimate damages due to groundwater contamination in the study area.

Chapter 2

General Site Descriptions

2.1 Site Topography and Physiography

Amphor Pakchong is in *Nakhonratchasima* located in the Northeastern part of Thailand as shown in **Figure 2-1** with the total area of 1,883.98 km² or 1,177,487.50 rais. The main rivers flowing across the area on the western side are *Klong Muak Lek* and *Klong Lam Ta-Kong*.

2.2 Site Climate Conditions

Site climatology was mainly under the influence of the Southwestern monsoon and Northeastern monsoon. The rainy season usually started in the middle of May until the middle of October. On the other hand, winter extended from the middle of October to middle of February. The weather conditions at the site were in a transition mode between the middle of February and May, resulting in uncertain wind directions and speeds, hot and dry weather with occasional thunderstorms.

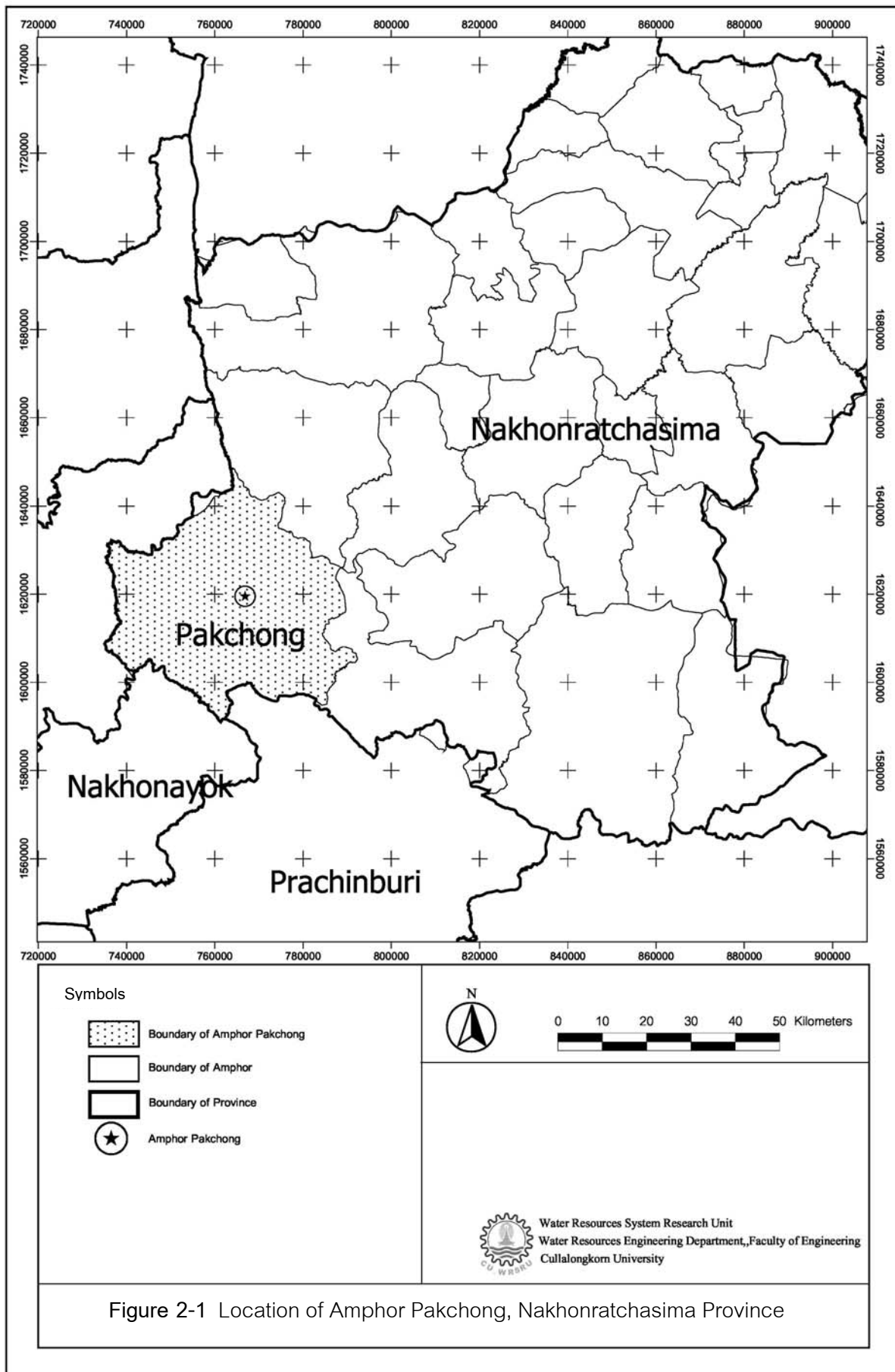
2.3 Site Hydrological Conditions

1) Watershed

Amphor Pakchong was comprised of 4 watersheds: *Moon*, *Pasak*, *Baang-Pa-Kong*, and *Prachin*. Sub-basins in the studying area composed of *Ang-Klong-Muang* and *Ang-Sub-Ta-Kian*.

2) Precipitation/Rainfall

Annual rainfall of *Nakhonratchasima* province during the Year 1971-2000 is reported at 1,035 mm/year with the heaviest rainfall in September.



3) Surface Water Flow Direction

The majority of surface runoff due to precipitation in the watershed was flowing across a local municipal waste disposal area into *Klong-Sub-Ta-Kian* sub-basin in the Northwestern direction, and discharging into *Klong-Muak-Lek* and *Pasak River* eventually.

4) Surface Runoff

Surface runoff in *Klong-Sub-Ta-Kian* sub-basin could vary significantly with the amount of rainfall in the area, and was reported to be 0.01-0.87 millions m³/month.

2.4 Geological Conditions

1) Geological Conditions at Sub-Ta-Kian Subbasin

Geological Rock Formation

The detailed analysis of 1:250,000 Thailand geological map sheet ND47-8 (Department of Mineral Resources, 1985), the additional field investigations at 21 stations during 11-14 October 2006, and the analysis of fractures from detailed aerial photographs, can be concluded in **Figures 2-2** and **2-3** as follow.

Geological rocks in the Sub-Ta-Kian Subbasin area could be classified as sedimentary rocks and metamorphic rocks within Ratchburi formation. These rocks, aged back to the middle or late Permian period (approximately 245 to 266 million years), were composed of (in the order from the youngest to the oldest) Subborn formation (Ps), Kao-Khad formation (Pkd), Paang Asoke formation (Ppa), and Nong-Pong formation (Pn).

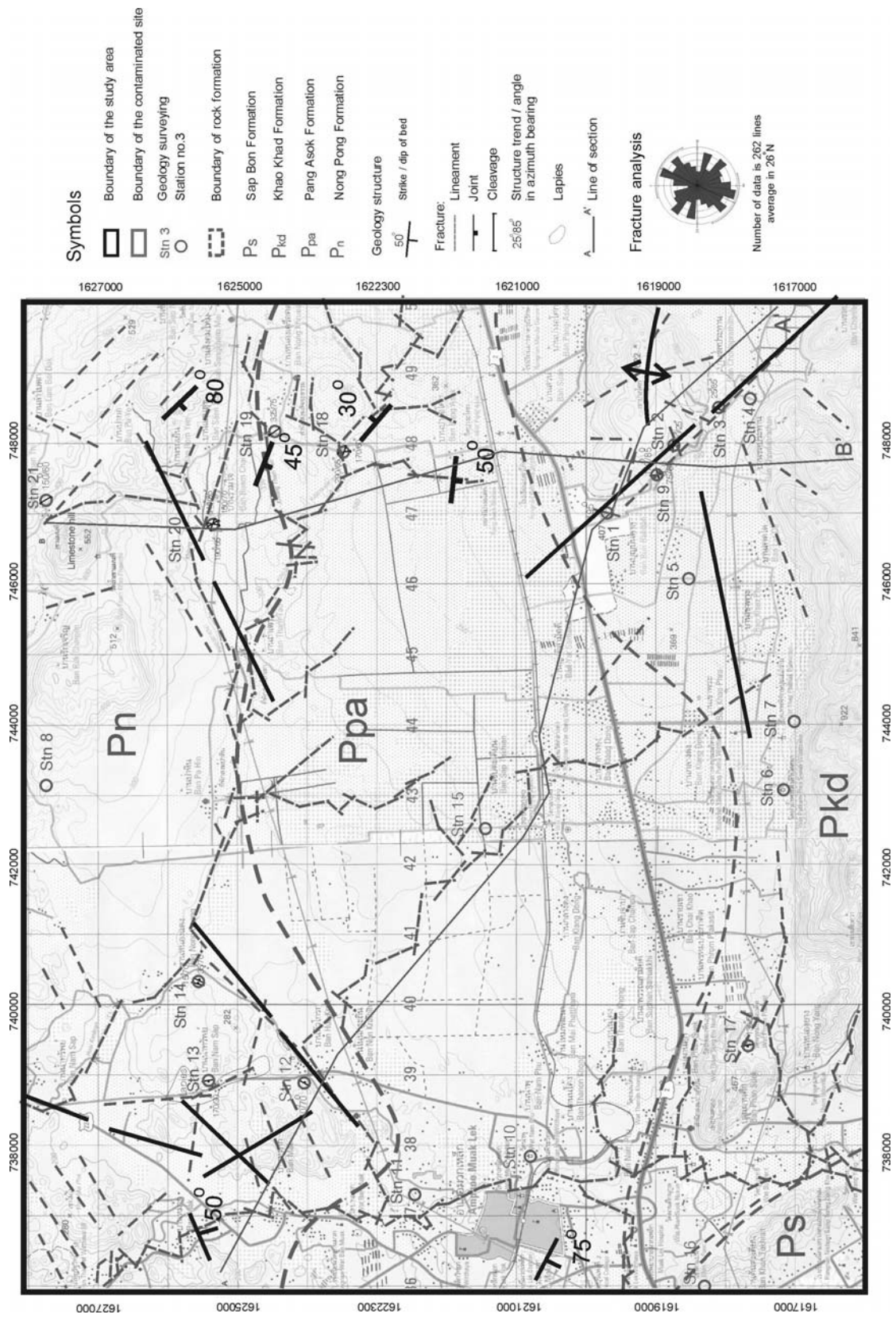


Figure 2-2 Geological Map of the Sap Takhian Subwatershed

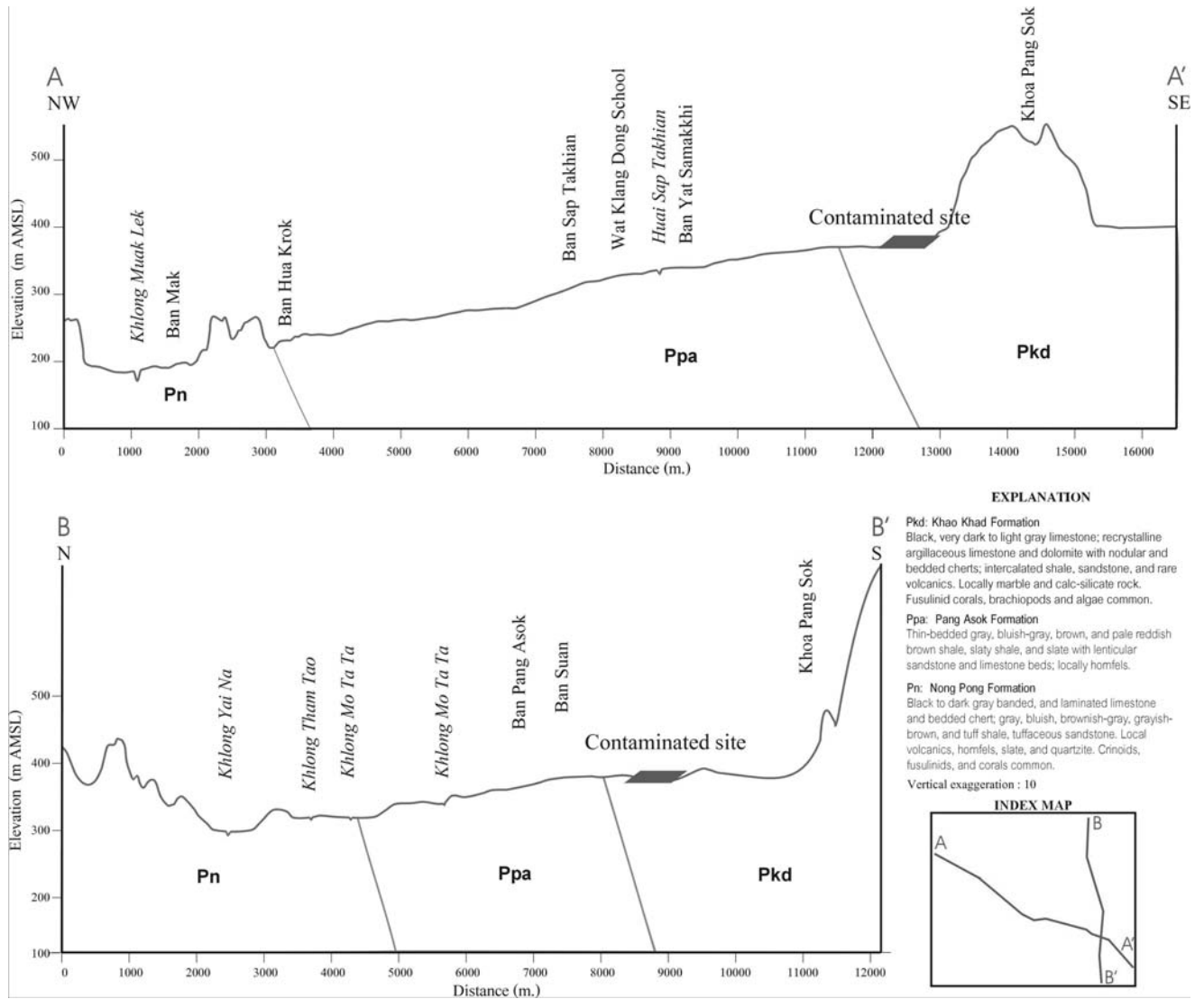


Figure 2-3 Geological Cross Section Lines A-A' and B-B' of the Sap Takhian Subwatershed

Subborn formation (Ps) composed of sandstone, schist, shale, cherty shale, grey-to-light brown-chert, grayish limestone, and phyllite. Most schist was discovered in the Southwest of the area, near Baan-Sub-Ta-Kian and Muak-Lek.

Kao-Khad formation (Pkd) was basically limestone ranging in color from black, dark grey, to light grey. Some were found as newly-crystallized limestone, argillaceous limestone, and dolomite. Chert was always found layering among shale, sandstone, and some volcanic rocks. Marble and Calc-Silicate could be spotted in the lower part of the area embedded with coral, Brachiopod, and algae, with Terra Rosa on the top. Also, abundant of fractures were located in some part of the limestone cliff, while lapies were obviously spotted in the plateau.

Paang Asoke formation (Ppa) was composed of slate shale, and thin shale ranged in color from grey, green, brown, and reddish brown, layered with sandstone and limestone. In the middle of the studying area, Hornfels were discovered topped with black top soil.

Nong-Pong formation (Pn) was composed of limestone ranged in colors from black to grayish black layered with chert, shale, green tuff shale, brown-grey tuff shale, and grey-brown tuff shale. Moreover, andesite, hornfels, slate, quartzite could be found in the Northern part of the studying area, embedded with corals.

Geologic Structure

Important geological structures throughout the studying area, including anticline, syncline, fracture, joint, and strike of bed were distributed all over the studying area. Anticline and syncline were found mostly in the Southeastern part of the studying area within Kao-Khad formation. Dip of bed in the area ranges from 30 to 80°. There were 2 major rock fracture directions in the studying area, Southeastern-Northwestern and Northeastern-Southwestern, with an averaged direction at 26° as shown in **Figure 2-1**.

2) Geological Conditions at the Waste Disposal Site and Vicinity

The geological conditions of the waste disposal site and vicinity were composed of 1-12 m thick Terra Rosa top soil and limestone underneath in, ranging in colors from dark to light grey which could be classified in Kao-Khad formation. Vertical and horizontal fractures could be observed in the outcrops.

2.5 Hydrogeological Conditions

The detailed analysis of 1:100,000 Thailand Nakornratchasima hydrogeological map (Department of Mineral Resources, 1988) as shown in **Figure 2-4**, and the additional geological and Hydrogeological investigations of the studying area, revealed that the Hydrogeological rock formation within Sub-Ta-Kian subbasin could be divided into 3 rock formations shown in Figure 2-2 (from youngest to oldest) as follows.

Kao-Khad formation (Pkd) mostly composed of limestone ranged in colors from black, dark grey, and light grey. Also, dolomite was discovered among chert, shale, limestone, and some volcanic rock. The waste disposal site, underlying with Kao-Khad formation, was located in the Southeastern of Sub-Ta-Kian subbasin where most groundwater was stored in limestone fractures and caves. Generally, the groundwater potential in the area was estimated to be 10-20 m³/hr. However, the groundwater potential in the vicinity of Baan-Chai-Kao, Baan-Kao-Phra, Baan-Boon-Ban-Darn, and the North side of Baan-Paang-Asoke were higher than 20 m³/hr. Additionally, most groundwater quality was quite good as the total dissolved solids (TDS) was observed to be less than 750 mg/L.

Paang Asoke formation (Ppa) was composed of slate shale, and thin shale ranged in color from grey, green, brown, and reddish brown, layered with sandstone and limestone in the middle of the studying area across from the east to the west. This area was covered mainly with black top soil as well as in the rock fractures due to weathering process, especially in Baan-Pang-Asoke area. The groundwater potential in the area was estimated to be 10-20 m³/hr. However, the groundwater potential in the vicinity of the North side of Baan-Paang-Asoke were expected to be more than 20 m³/hr. Groundwater quality was quite good.

Nong-Pong formation (Pn) was composed of limestone ranged in colors from black to grayish black. In the Northern part of the studying area was a mountainous area, the limestone was layered with chert, shale, green tuff shale, brown-grey tuff shale, and grey-brown tuff shale. The groundwater quality was quite good with groundwater potential in the estimated at 10-20 m³/hr. .

2.6 Land Use

Land use pattern of Amphor Parkchong could be classified mainly into 5 types, including agricultural, residential, forestry, reservoirs, and others. The majority of the land was dedicated to forestry and agricultural purposes. The most important agricultural products were fruit orchards and produce.

2.7 Population and Socio-Economic

1) Population

In 2005, the total population in Amphor Parkchong were approximately 139,643 people or 49,271 families, composed of 70,285 males and 69,358 females.

2) Socio-Economic

The major occupation was agriculture and farming. The commercial cattle included chickens and cows (for meat and milk). Industries could be found in Amphor Parkchong as well, such as food industry, marble and concrete production plants, and automobiles.

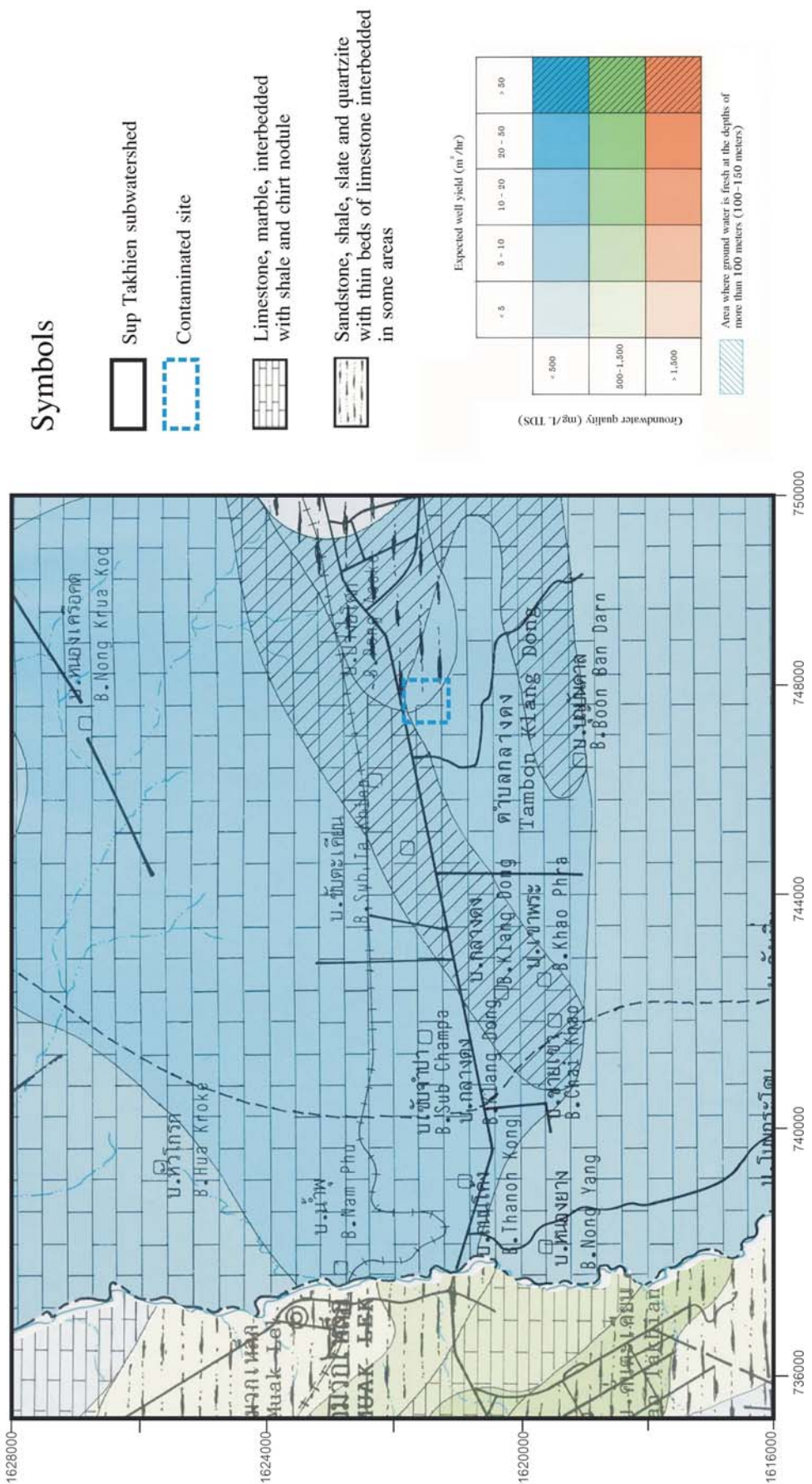


Figure 2-4 Groundwater Map of the Sap Takhien Subwatershed (modified from DMR, 1988)

Chapter 3

Site Characterization

For the purpose of site characterization, the studying areas were divided into 2 parts. The first studying area (i.e., Sub-Ta-Kien sub-basin), selected for the purpose of risk assessment, covered the majority of Tambon Klangdong, and partially covered Tambon Dong-Phya-Yen in Amphor Parkchong, Nakhornratchasrima province. The second studying area consisted of the hazardous waste disposal site and vicinity (i.e., Baan Paang Asoke).

3.1 Data Collection

3.1.1 Fracture and Rock Formation Analysis

Basic information required to fulfill this task included: (1) 1:50,000 topographic map; (2) 1:250,000 geologic map; (3) 1:100,000 groundwater map of Nakhornratchasrima province; (4) groundwater well location in Sub-Ta-Kien sub-basin provided by the Department of Mineral Resources (DMR); (5) 1:50,000 aerial photographs; and (6) satellite images from IKONOS. All the data were analyzed and interpreted onto 1:50,000 base map.

3.1.2 Contamination Identification in Soil and Groundwater

1) Volatile Organic Compounds (VOCs)

The most ubiquitous contaminant discovered at contaminated groundwater sites around the world can be divided based on their density as follows:

- Light nonaqueous phase liquid (LNAPL) is an organic compound that is lighter than water. When releasing into subsurface environment, LNAPL usually is floating near groundwater table. LNAPL includes benzene, toluene, ethylbenzene and xylene.

- Dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) is a chlorinated compound that is denser than water. DNAPL includes Trichloroethylene (TCE) 1,1,1-trichloroethane (TCA), and Tetrachloroethylene (PCE).

Thailand groundwater standard developed for various volatile organic compounds according to Notifications of Thailand Environmental Board number 20 (2000) is presenting in **Table 3-1** below:

Table 3-1 Thailand Groundwater Standard for Volatile Organic Compounds

VOCs	Concentration (not to exceed 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

Source: National Environmental Board, Issue Number 20, 2000

2) Heavy Metals

Heavy metals are usually persistent in the natural environment and therefore can accumulate in soil and sediment. Thailand groundwater standard developed for heavy metal according to Notifications of Thailand Environmental Board number 20 (2000) is presenting in **Table 3-2** below

Table 3-2 Thailand Groundwater Standard for Heavy Metals

Metal	Concentration (not to exceed mg/l)
Mercury	0.001
Lead	0.01
Cadmium	0.003
Copper	1.0
Nickel	0.02
Zinc	5.0
Arsenic	0.01
Selenium	0.01
Manganese	0.5

Source: National Environmental Board, Issue Number 20, 2000

3) Pesticides

Pesticides can be classified according to their chemical structures.

Thailand groundwater standard developed for pesticides according to Notifications of Thailand Environmental Board number 20 (2000) is presenting in **Table 3-3** below

Table 3-3 Thailand Groundwater Standard for Pesticides

Chemical	Concentration (not to exceed $\mu\text{g/l}$)
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

Source: National Environmental Board, Issue Number 20, 2000

3.2 Geophysical Methods for Fracture and Rock Formation Analysis

Alignment of fracture and subsurface formation was analyzed by employing aerial photographs in combination with topographic maps, surveying outcrops and rock formation alignment measurement (11-14 October 2006), conducting surface geophysical resistivity measurement (29 November - 1 December 2006), and borehole geophysics (6-24 February 2007) via caliper logging and television logging.

3.2.1 Surface Geophysics

Surface geophysics were conducted between 29 November and 1 December 2006 aiming to investigate the subsurface geological conditions, limestone bedrock vertical distribution, and fracture direction in the studying area. The detailed investigation were as follows.

- 1) 2 lines of dipole-dipole specific resistivity investigation with the total length of 750 m for the 1st line (L1) and 150 m total length for the 2nd line (L2).
- 2) 2 lines of Wenner array detailed specific resistivity investigation with the total length of 400 m for the 1st line (L1) and 150 m total length for the 2nd line (L2).
- 3) Geophysical results interpretation using RES2DINV software.

The results from resistivity (surface geophysical method) analysis revealed that the formation at the studying area comprised of alluvial soils (at 1-12 m from ground surface) and weathering limestone (below 12 m) in **Figure 3-1**.

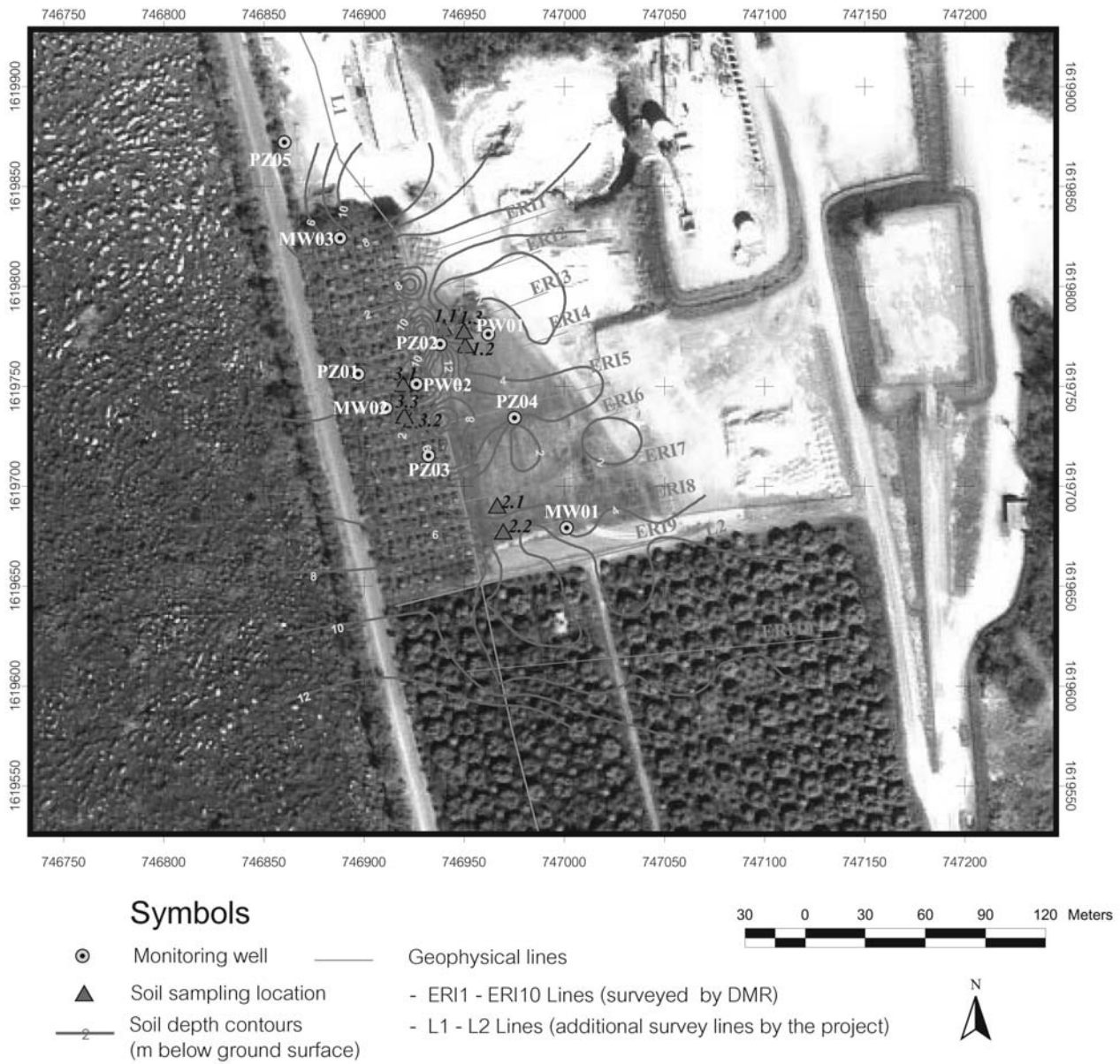


Figure 3-1 Map of Soil Thickness of the Contaminated Site and Surrounding Area

3.2.2 Subsurface Geophysics

In order to locate the fractures and directions, subsurface geophysical survey using television logging was conducted within the 10 newly-installed monitoring wells (PW01-PW02, PZ01-PZ06, PZ08, and PZ10) within the waste disposal site and vicinity, and caliper logging in 12 monitoring wells (PW01-PW02, and PZ01-PZ10) with detailed information presented in **Table 3-4**.

Table 3-4 Detailed Investigation of the Subsurface Geophysical Survey

No.	Well Number	X Coordinate	Y Coordinate	Elevation (m MSL)	Depth (m)	Depth Drilling with 6" Rig	Date caliper log (D/M/Y)	Date television log (D/M/Y)
1	PW01	746962	1619776	377.47	50	6 - 50	21/2/50	22-24/2/50
2	PW02	746926	1619751	377.56	60	3 - 60	21/2/50	22-24/2/50
3	PZ01	746897	1619756	377.77	60	3-60	6/2/50	6/2/50
4	PZ02	746938	1619771	376.25	50	9-50	6/2/50	22-24/2/50
5	PZ03	746932	1619715	378.14	48	4-48	21/2/50	22-24/2/50
6	PZ04	746975	1619734	377.81	48	1-48	21/2/50	22-24/2/50
7	PZ05	746860	1619872	376.37	60	2-60	21/2/50	22-24/2/50
8	PZ06	746675	1620089	372.35	70	5-70	22/2/50	22-24/2/50
9	PZ07	746532	1620048	372.20	25	6-25	21/2/50	-
10	PZ08	746351	1620056	371.26	60	4-60	23/2/50	22-24/2/50
11	PZ09	746950	1620005	376.58	30	6-30	22/2/50	-
12	PZ10	746954	1620147	374.99	50	6-50	23/2/50	22-24/2/50

3.2.3 Aquifer Characteristics, Alignment, and Fractures

The results from television log (subsurface geophysical method) analysis showed that the limestone right underneath the hazardous waste disposal site and vicinity belonged to Kao-Khad formation possessed plenty of horizontal fractures, varying in size and depth. Relatively less vertical fractures (1-3 m in size with uncertain

directions) were discovered compared to the horizontal ones. An attempt to connect inter-well fractures was made, unfortunately it was unsuccessful as shown in **Figure 4-4**. Two major transmissive zones due to main fractures were located at 20-30 m and 45-50 m from ground surface and rock porosity was also estimated from the television log to be 10-45%.

3.3 Soil Contamination

3.3.1 Soil Sampling

Soil samples were collected for further analysis for any signs of contamination using the Rotary Drilling technique.

3.3.2 Analytical Methods

Soil samples collected from the studying area were analyzed for volatile organic compounds (VOCs) using Gas Chromatography, heavy metals using Atomic Absorption Spectrometer, and pesticides using Gas Chromatography. A complete list of analytical parameters is tabulated in **Table 3-5**.

Table 3-5 Analytical Parameters

VOCs	Heavy Metals	Pesticides
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

The results from all the soil samples collected from the hazardous waste disposal site and vicinity strongly suggested no sign of VOCs or pesticides contamination in soil. However, 8 heavy metals (Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead, Manganese, Nickel, Copper, and Zinc) were discovered in soil samples collected randomly from the studying site and vicinity. For this, the arsenic concentrations exceeded the maximum concentration level allowed in soil.

3.4 Subsurface Characterization

Subsurface characterization included the following tasks:

- Hydrogeological survey of rock formation
- Groundwater level and general quality (e.g., EC, TDS, pH) monitoring
- Groundwater monitoring network installation
- Groundwater monitoring well leveling
- Pumping test and groundwater parameter estimation
- Conceptual groundwater flow modeling

3.4.1 Groundwater Monitoring Wells Installation

Groundwater monitoring wells were installed using down the hole hammer method at the hazardous waste disposal area and vicinity to investigate aquifer characteristics as well as to monitor fate and transport of the contaminants. Also, hydraulic properties of groundwater aquifer as well as groundwater flow direction were estimated from piezometric head gradient constructed from groundwater level in each monitoring well. The total depth yielded 611 m with details shown in Table 3-6 and Figure 3-2.

Table 3-6 Monitoring Wells Installation Log

Code	X	Y	Level (m ๖๓๓)	Proposed Depth (m)	Date Installed	Actual Depth (m)	Penetrated Depth with 6" Drilling Rig (m)	Casing Size (in)/depth (m)	Date Measured	SWL (m)	Head (m ๖๓๓)
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

3.5 Pumping Test

In February 2550, single-well pumping tests (at monitoring wells MW01, MW03, PW01, PZ01, PZ03, and PZ04) and slug test (at monitoring well MW01) were conducted in the studying area at approximately 35-40 m below ground surface. Results from pumping tests and slug test were employed to further estimate the transmissivity (T, m²/s) and hydraulic conductivity (K, m/s), respectively, as follows:

1) Kao-Khad Formation (Pkd): $T \approx 1.26 \times 10^{-3} - 8.99 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ and $K \approx 2.52 \times 10^{-5} - 1.80 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

2) Paang Asoke Formation (Ppa): $T \approx 7.85 \times 10^{-5} - 1.16 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ and $K \approx 1.57 \times 10^{-6} - 2.32 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

3) Nong Pong Formation (Pn): There was no pumping test information available for this specific rock formation, therefore the transmissivity and hydraulic conductivity values were estimated from rock type and fracture information to be $2.10 \times 10^{-5} - 9.20 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Spitz and Moreno, 1996) and $4.20 \times 10^{-7} - 1.84 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, respectively.

The transmissivity and hydraulic conductivity contour map was later generated with the overall trend in Northeastern-Southwestern direction as illustrated in Figure 3-3.

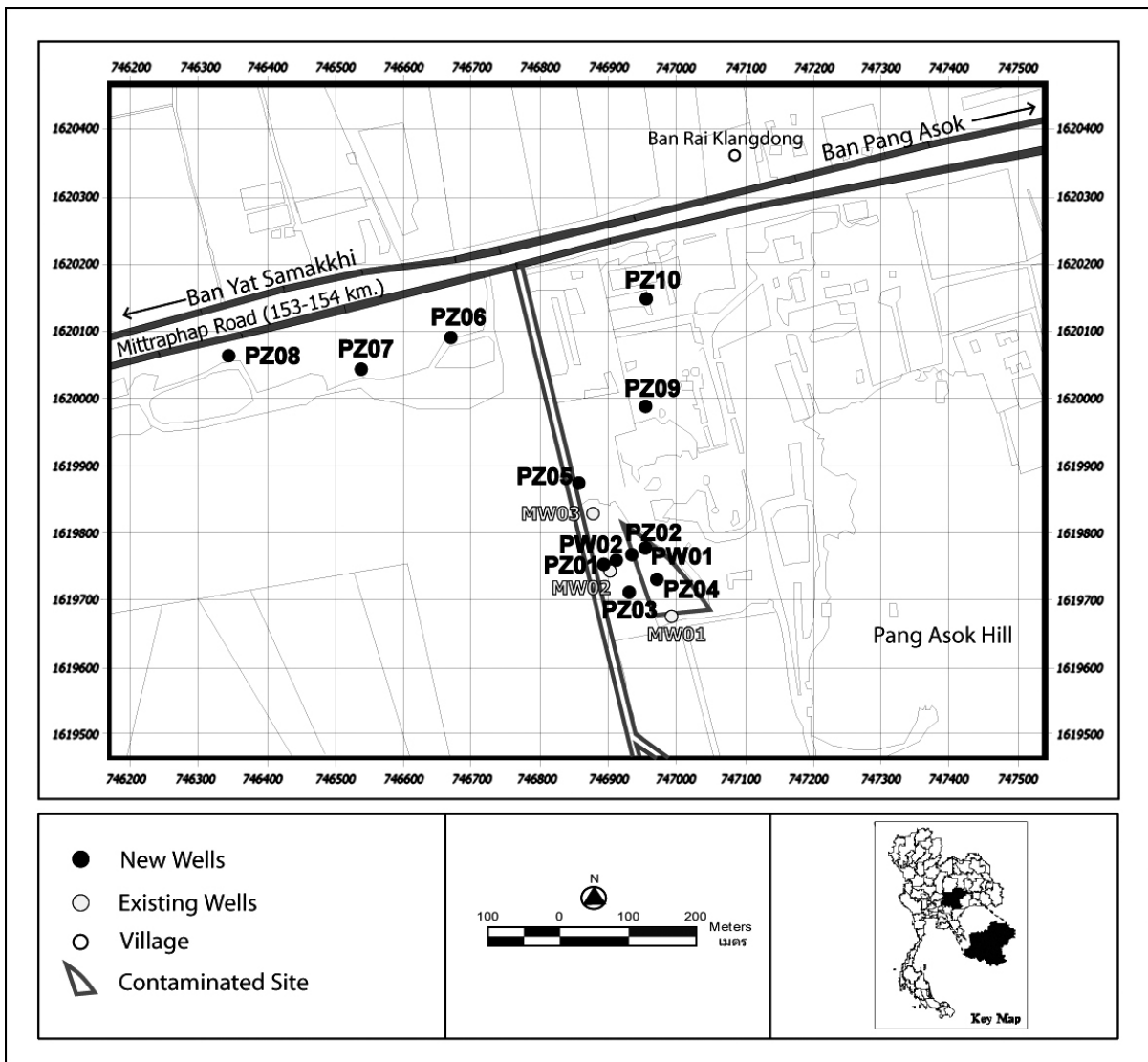


Figure 3-2 Monitoring Wells Position

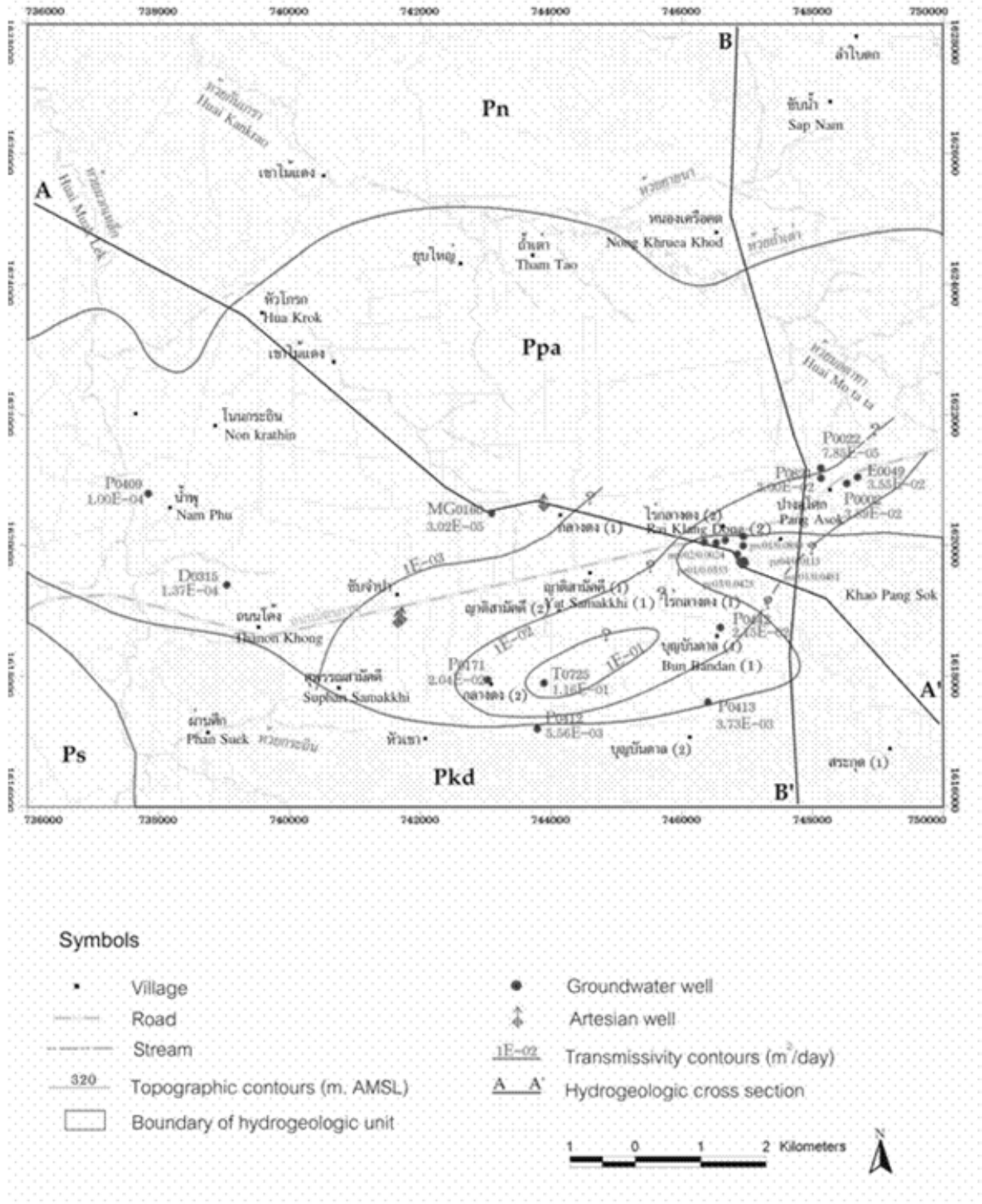


Figure 3-3 Transmissivity and Hydraulic Conductivity Contour Map in Sub-Ta-Kien Sub-Basin

3.6 Water Level and General Groundwater Quality Monitoring

1) Preliminary Groundwater Level and General Groundwater Quality Monitoring

Change in general groundwater quality as well as water level was monitored periodically by measuring the following parameters: electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), pH, and temperature (T). These parameters were monitored 3 times as follows:

1st Measurement: October 2006, total of 26 monitoring wells

2nd Measurement: February 2007, total of 32 monitoring wells

3rd Measurement: May 2007, total of 33 monitoring wells

An averaged water level during February (drought season) and October (rainy season) decreased approximately 0.5 m for the entire basin. The groundwater elevation at the middle of the studying area and Baan Pang Asoke recorded in February declined from the level previously recorded in October last year by 2-9 m and 3-9 m, respectively, mainly due to significantly higher groundwater abstraction in the drought period (i.e., February) compared to the rainy season in October. Preliminary groundwater quality assessment revealed the TDS level of less than 700 mg/L and pH in the range of 6.5-7.8.

An averaged water level during May (early rainy season) and February (drought season) increased approximately 0.5-2.00 m, especially for the groundwater wells located in the South side and the West side of the studying area. There also existed some area with lower groundwater elevation such as the middle of the studying area and Baan Pang Asoke where the groundwater elevation decreased by approximately 0.5-6.00 m, mainly due to substantial groundwater abstraction. Preliminary groundwater quality assessment revealed the TDS level of less than 700 mg/L and pH in the range of 6.9-7.5.

2) Detailed Groundwater Quality Analysis

Groundwater samples from the studying area were collected twice (4 months apart) and further analyzed for parameters specified in Thailand groundwater standard according to Notifications of Thailand Environmental Board number 20 (2000). Those parameters are Volatile Organic Compounds (VOCs), heavy metals, and pesticides. The results from the 1st analyses (February 2007; dry season) indicated that groundwater samples collected from 6 monitoring wells newly installed were significantly contaminated with VOCs (Benzene, Trichloroethylene (TCE), cis-dichloroethylene (cis-DCE), 1,1,2 dichloroethane, 1,2-dichloroethane and 1,1-dichloroethylene) as presented in **Table 3-4**, while water samples from 2 monitoring wells located further downstream in the main groundwater flow direction were contaminant-free. The contaminants perhaps have not traveled further downstream to those two monitoring wells.

The 2nd groundwater quality assessment was done in June 2007 during the rainy season, focusing on collection groundwater samples at the deeper spots down the monitoring wells and at an open pit on the West of the studying area (i.e., adjacent Limestone Mine). The results revealed significantly high VOCs concentration (exceed Thailand groundwater standard) found in groundwater samples underneath the hazardous waste disposal site, and yet there was no sign of contamination in the water sample collected from the open pit on the West of the studying area. Those VOCs included Tetrachloroethylene (PCE), Trichloroethylene (TCE), cis-dichloroethylene (cis-DCE), 1,1,2 dichloroethane, 1,2-dichloroethane, and 1,1-dichloroethylene, as presented in **Table 3-7**. Moreover, TCE and PCE concentrations detected in the 2nd assessment were much higher than those from the 1st assessment. This was particularly true for PCE where none was found in February 2007. These observations were perhaps due to the secondary contaminant source in the unsaturated zone which composed mainly of PCE and partially TCE.

Summary of Groundwater Quality Assessment

By comparing the results from 2 groundwater quality analyses revealed that Benzene and Toluene concentrations decreased, while 1,2-dichloroethane, cis-1,2-dichloroethylene, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, and 1,1,2-trichloroethane concentrations were enhanced and significantly migrated out from the waste disposal site, based on the detection of contaminants in monitoring wells PZ06 and PZ10 from the 2nd groundwater sample collection in June 2007.

Toluene concentrations in groundwater generally decreased as the depth from groundwater increased, which was consistent with LNAPL behavior in subsurface as toluene is lighter than water and tends to float near water table. On the other hand, TCE, a DNAPL, was discovered at a higher concentration with increasing depth from ground surface. The definite vertical distribution of the contaminants was still inconclusive, however, due to the monitoring wells were open-hole with long screen length.

The contaminant concentrations in groundwater samples collected from monitoring wells located within the waste disposal area were higher in the rainy season (June 2007) compared to the groundwater samples collected from the same monitoring wells in dry season (February 2007), suggesting that there might be a secondary source of contaminants in the unsaturated zone directly above the groundwater aquifer within the waste disposal area. When surface water was recharging groundwater aquifer during rainfall, it infiltrated and passed through the secondary source of contaminants from the unsaturated zone, solubilizing some contaminants and heavily polluting groundwater underneath.

The groundwater contamination artifacts discovered from this study strongly suggested that the removal of contaminated surface soil at the depth of 0-2 m from ground surface at the beginning of the illegal waste disposal incident was ineffective to prevent further migration of the contaminants from surface into the deeper environments. Therefore, proper and immediate remediating actions are essential to take care of the existing contamination in the groundwater plume (i.e., aqueous phase contaminants)

and to prevent further damages causing by the remaining contaminants in the source zone (i.e., free-phase contaminants).

Chapter 4

Extent of Groundwater Contamination

In order to estimate an extent of groundwater contamination, one must need soil and groundwater quality data at various locations throughout the studying area. After that, the collected data were interpreted and iso-concentration map for each contaminant of interest could be constructed. Additionally, contaminants detected in soil and groundwater samples could be used to identify the contaminant hot spots (i.e., maximum concentration area).

4.1 Groundwater Flow and Contaminant Migration Directions Estimation from Topographic Map

Several field trips were conducted in October, February, and May 2007 and the results indicated that the averaged hydraulic head in the Southeastern side of the studying area (i.e., the waste disposal site) was 350 m above mean sea level, while the averaged hydraulic head in the Western side (i.e., Huay-Muak-Lek) was approximately at 220 m above mean sea level. Several artesian wells with hydraulic head between 0-1 m above ground surface were observed during the rainy season, including production wells near Mit-Tra-Paab-Wa-Na-Raam temple, Wat- Mit-Tra-Paab-Wa-Na-Raam school, Klangdong Companay, Naam-Pu temple, and private well near Yaat-Sa-Mak-Kee company. Also, the averaged hydraulic head in Pang-Asoke village was approximately at 330 to 340 m above mean sea level. Cone of depression was observed in this area and it was expanded in February (i.e., dry season) compared to the one observed in October (i.e., rainy season). Figure 4-1 suggested that the fractured limestone, slate shale, and sandstone aquifers in the Sub-Ta-Kian sub-basin was continuous with flow in the direction from Southeast (i.e., recharge area) to Northwest (i.e., Huay-Sub-Ta-Kian or discharge area). Moreover, Pang-Asoke village exhibited a substantial more groundwater abstraction than other parts of the studying area as shown in Figures 4-1 and 4-2.

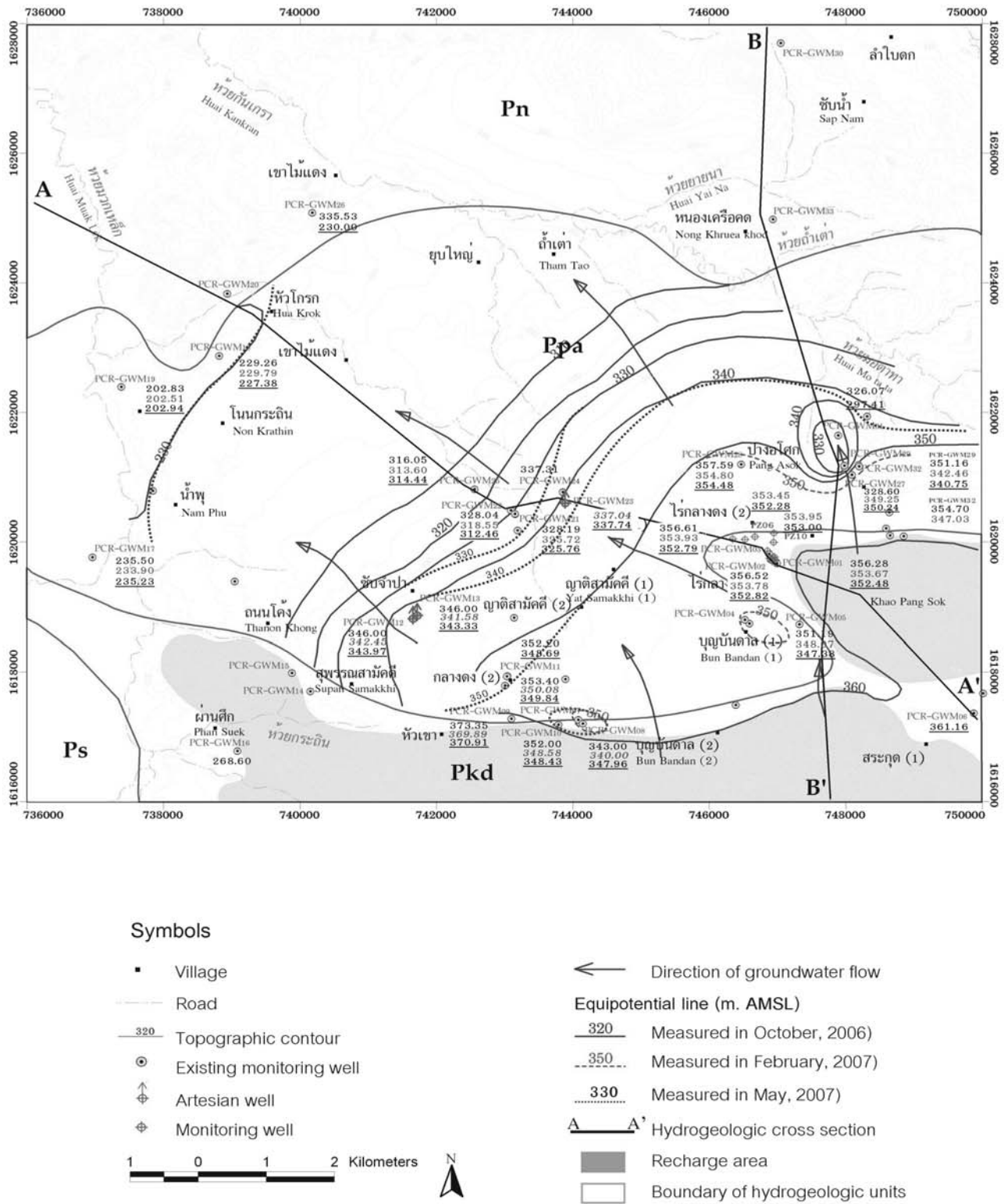


Figure 4-1 Geological Map of the Sap Takhian Subwatershed

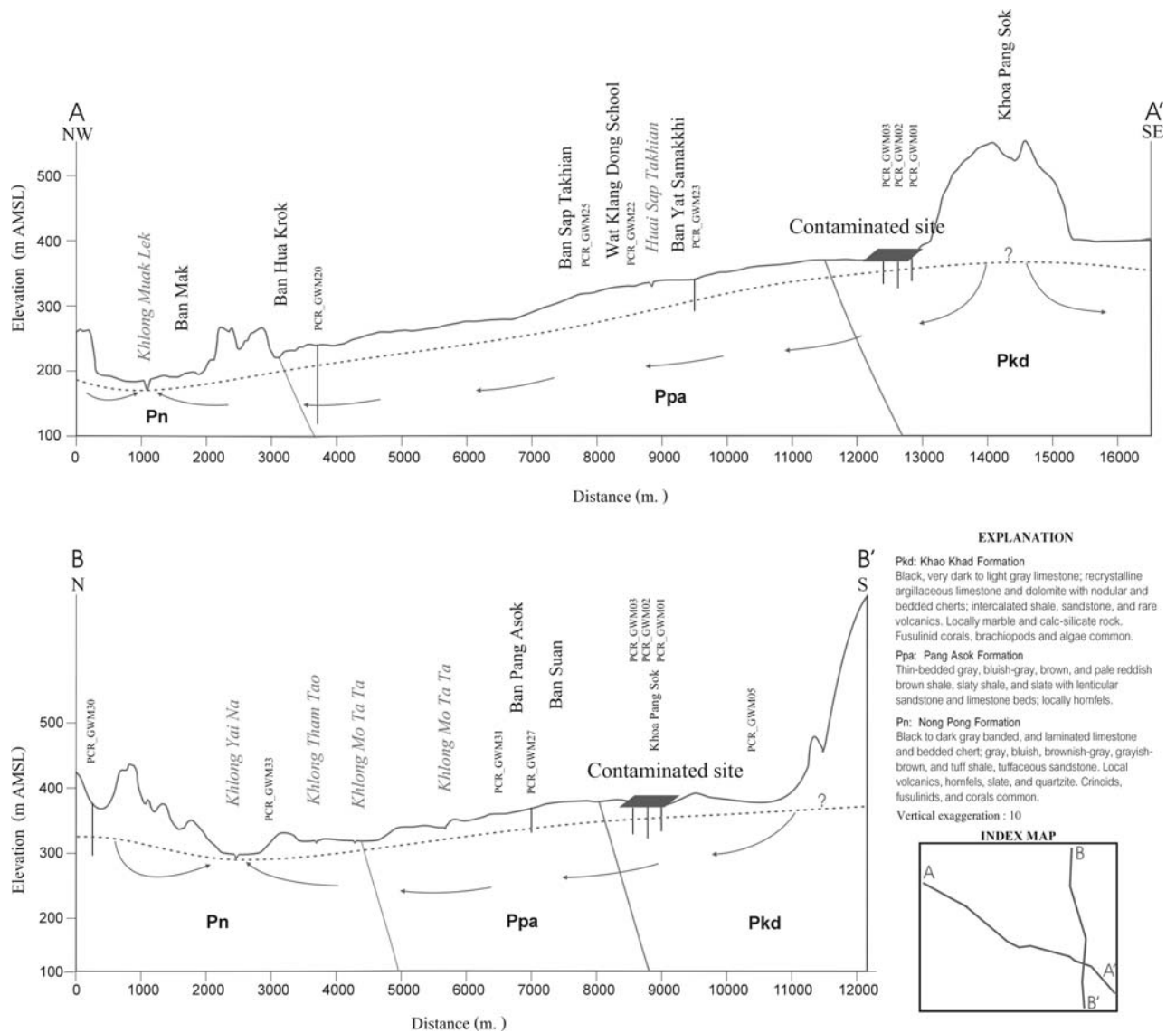


Figure 4-2 Geological Cross Section Lines A-A' and B-B' of the Sap Takhian Subwatershed

4.2 Contaminant Iso-Concentration Contour Map

Groundwater quality assessments conducted in February and June 2007 from 10 monitoring wells located in the hazardous waste disposal site and vicinity revealed significantly high VOCs concentration (exceed Thailand groundwater standard according to Notifications of Thailand Environmental Board number 20 (2000)), including Benzene, Tetrachloroethylene (PCE), Trichloroethylene (TCE), cis-dichloroethylene (cis-DCE), 1,1,2 dichloroethane, 1,2-dichloroethane, and 1,1-dichloroethylene. These data were further employed to create contaminant iso-concentration contour maps illustrating the extent of groundwater contamination in the studying area.

The generated iso-concentration contour maps of the seven VOCs discovered at the site suggested that the contaminants were migrating in 2 major directions, i.e., northwest and northeast directions. TCE plume covered the highest extent of groundwater contamination due to its concentration discovered at the site and unique physical properties as illustrated in **Figures 4-3** and **4-4**. The extent of groundwater contamination was employed further for risk assessment and contaminant transport modeling.

4.3 Hot Spot Identification

Contaminants detected in soil and groundwater samples were employed to identify the contaminant hot spots (i.e., maximum concentration area). The major contaminants in the studying area were classified into 2 groups, according to their physical properties, i.e., LNAPL and DNAPL. The results suggested that LNAPL hot spot was located near the monitoring wells PZ01, PZ02, and PW02 as shown in **Figure 4-5**. On the other hand, DNAPL hot spot was located near the monitoring wells PZ01, PZ02, PZ03, PZ04, and PW02 as illustrated in **Figure 4-6**.

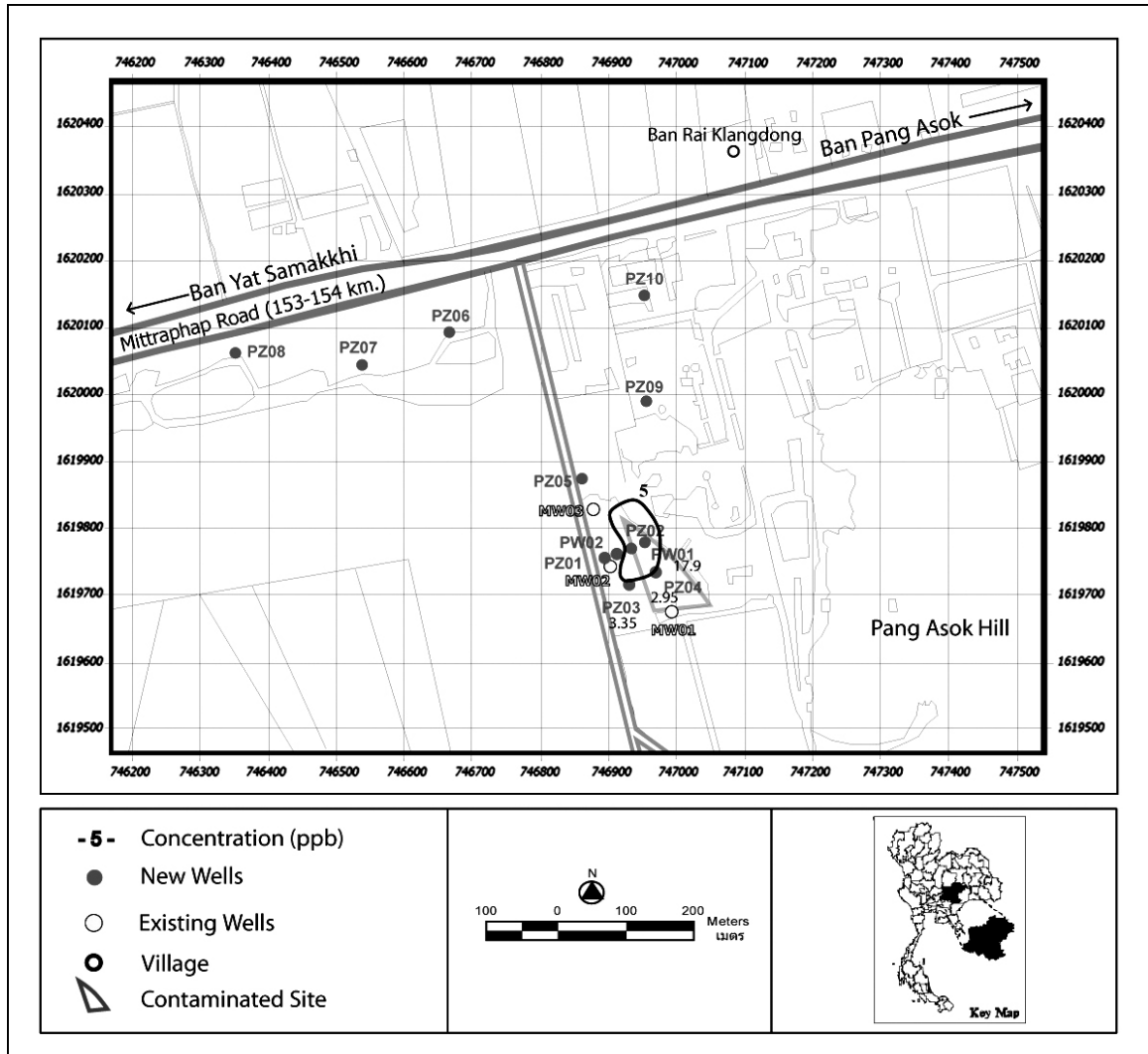


Figure 4-3 Iso-Concentration Contour Map of Benzene in Feb 2007

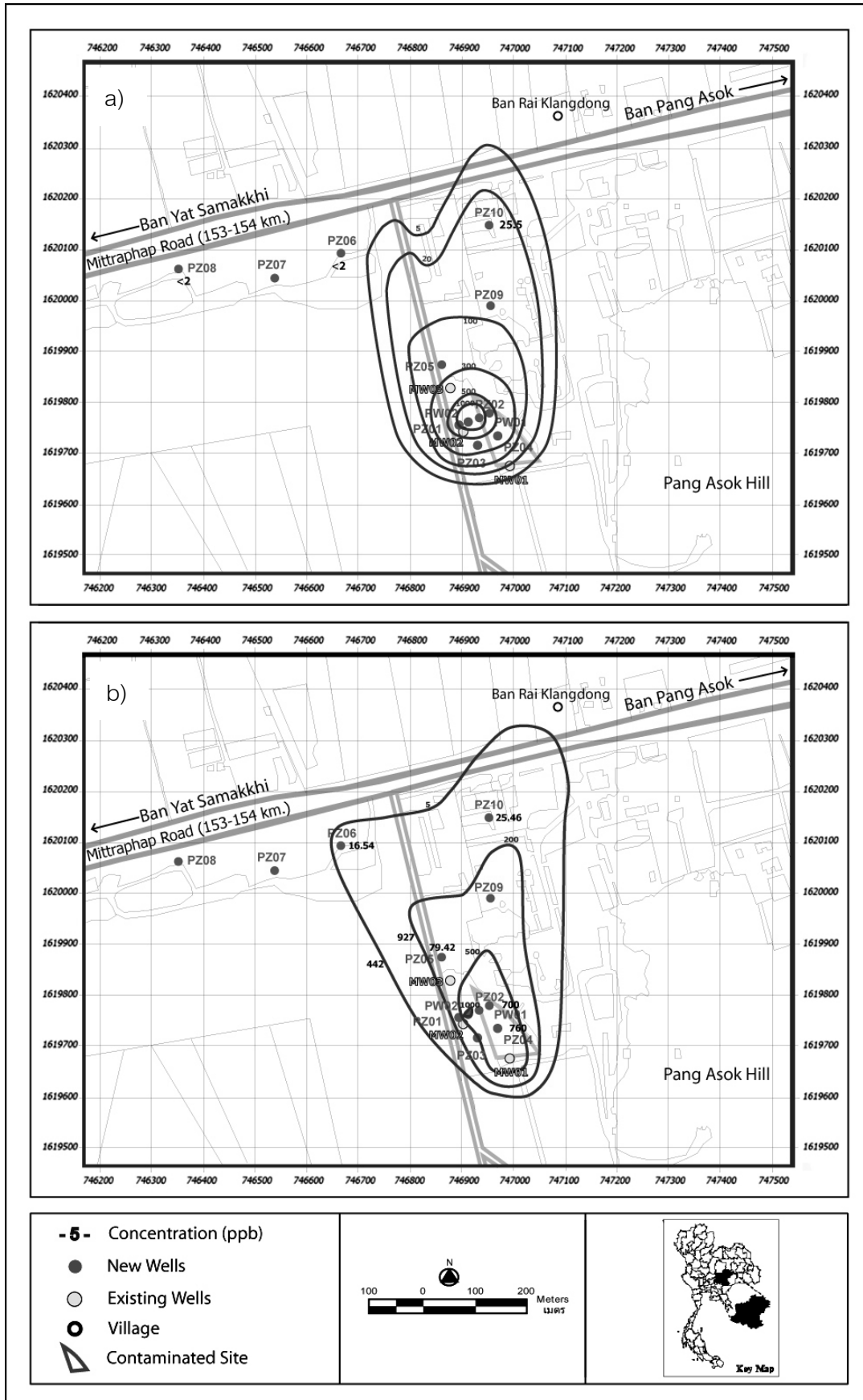


Figure 4-4 Iso-Concentration Contour Maps of TCE

a) Feb 2007 b) Jun 2007

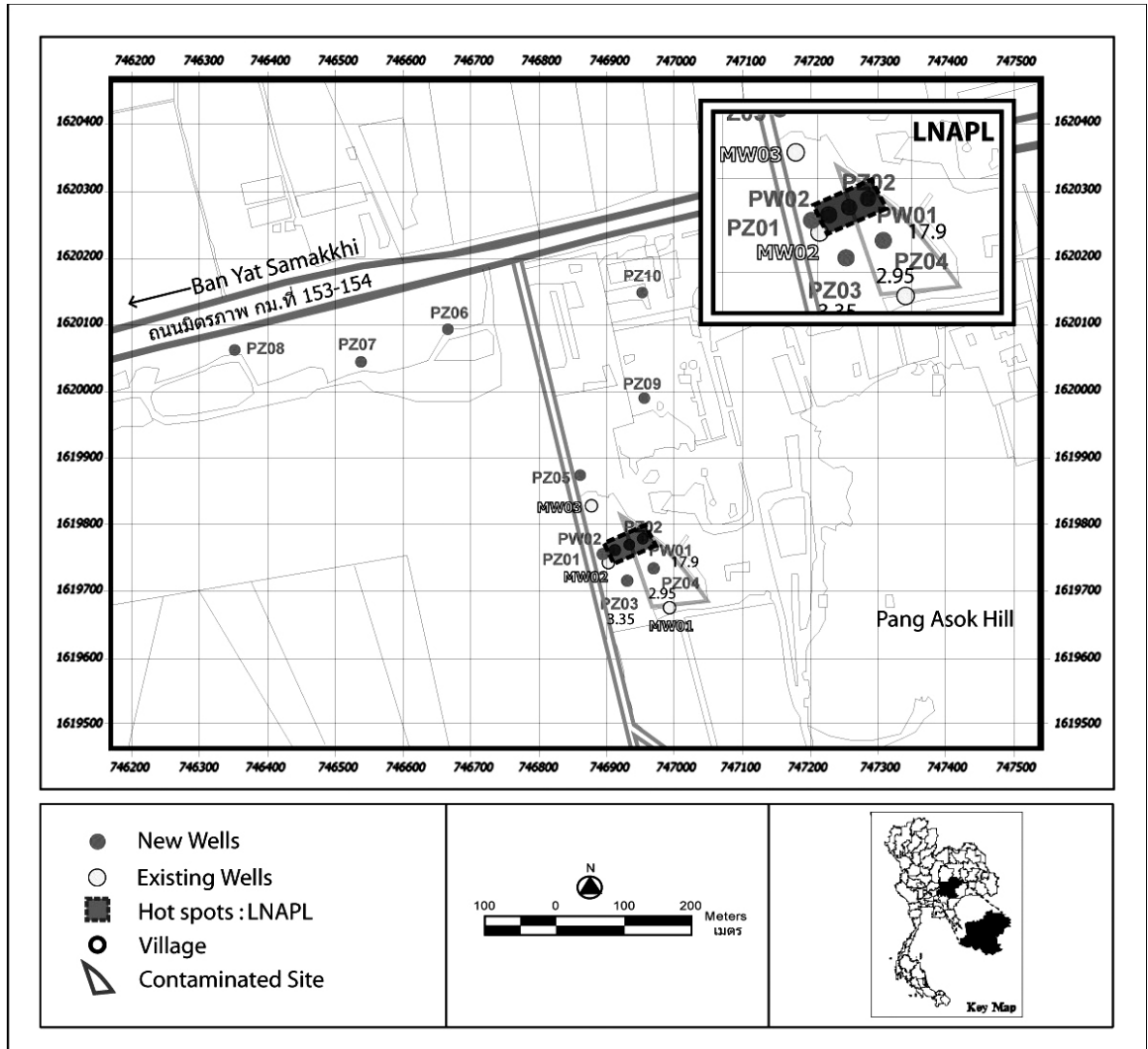


Figure 4-5 LNAPL Hot Spot

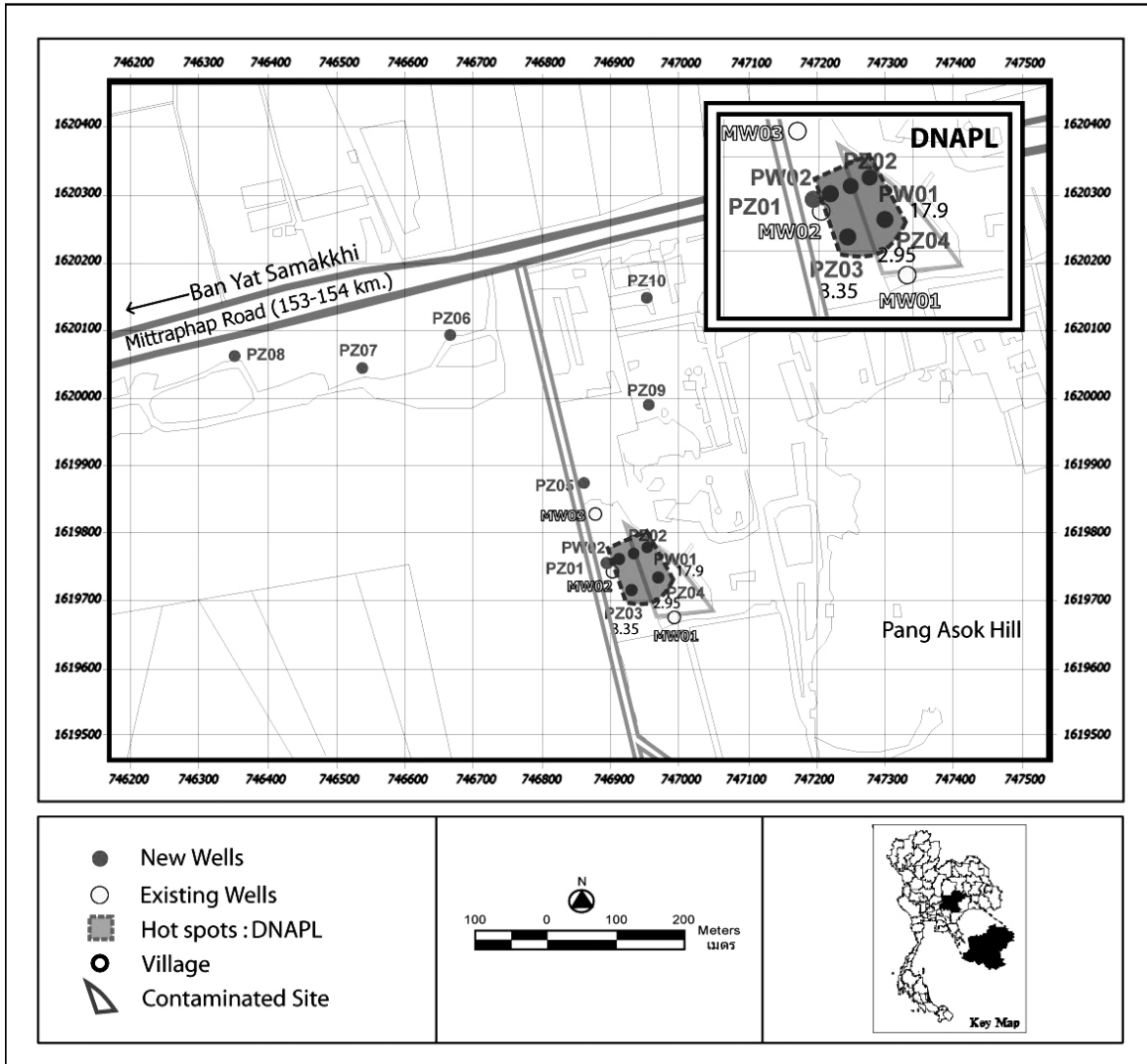


Figure 4-6 DNAPL Hot Spot

4.4 The Extent of Groundwater Contamination by TCE

TCE plume covered the highest extent of groundwater contaminant. Five ppb plume of TCE was estimated based on the analyses of groundwater samples collected in June 2007 to be 600 m wide (East-West direction) and 700 m long (North-South direction) which covered the total area of 300,000 m² as shown in **Figure 4-7**. By comparing TCE plume generated from groundwater quality data collected in February 2007 and June 2007, TCE plume was expanded by 45,000 m² within three months period as illustrated in **Figure 4-7**.

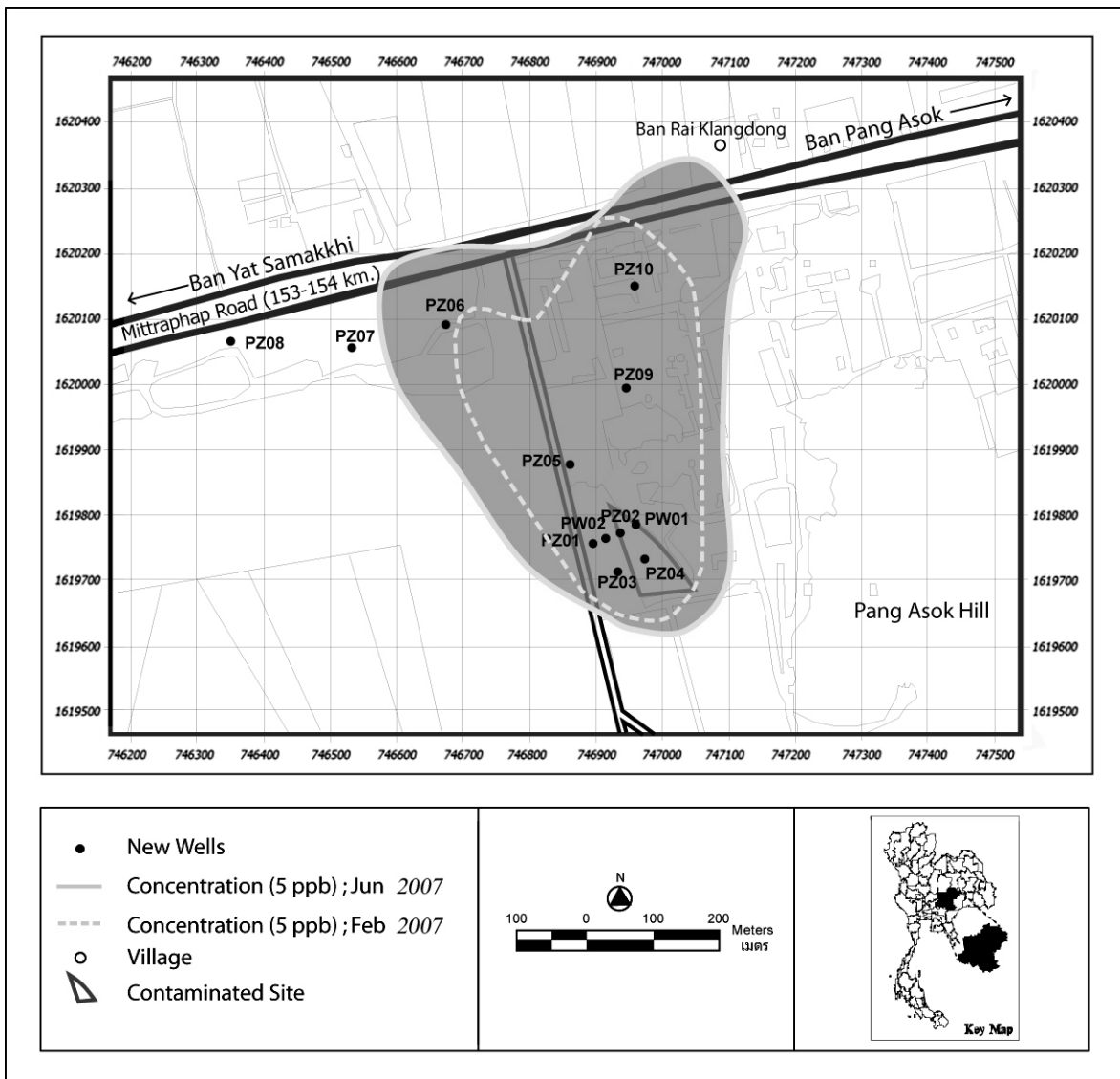


Figure 4-7 The Extent of Groundwater Contamination by TCE

Chapter 5

Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling

Field and laboratory data required for groundwater flow and contaminant transport modeling could be classified as follows:

- 1) General topographic data
- 2) Meteorological and surface hydrological data
- 3) Geological and hydrogeological data
- 4) Physical and Chemical properties of contaminants

5.1 Conceptual Groundwater Flow Model

Sub-Ta-Kien sub-basin is 13 km long and 10 km wide, surrounded by limestone mountains on the east, northeast, and southwest of the basin. On the west side of the area close to Amphor Klaangdong, there exists Huay Muak-Lek flowing from the South towards the North, and Huay Sub-Ta-Kien flowing through the middle of the basin from the East towards to West into Huay Muak-Lek as shown in **Figure 5-1**.

No Flow boundary was set on the Northeast, Southeast, East, and South of the domain as groundwater divide was found along the borders. The domain was approximately 400 m deep with 12 m thick top soil layer. The 2 main highly transmissive zones were located at 20-30 m and 45-50 m, respectively, with the alignment in the Northeast-Southwest direction.

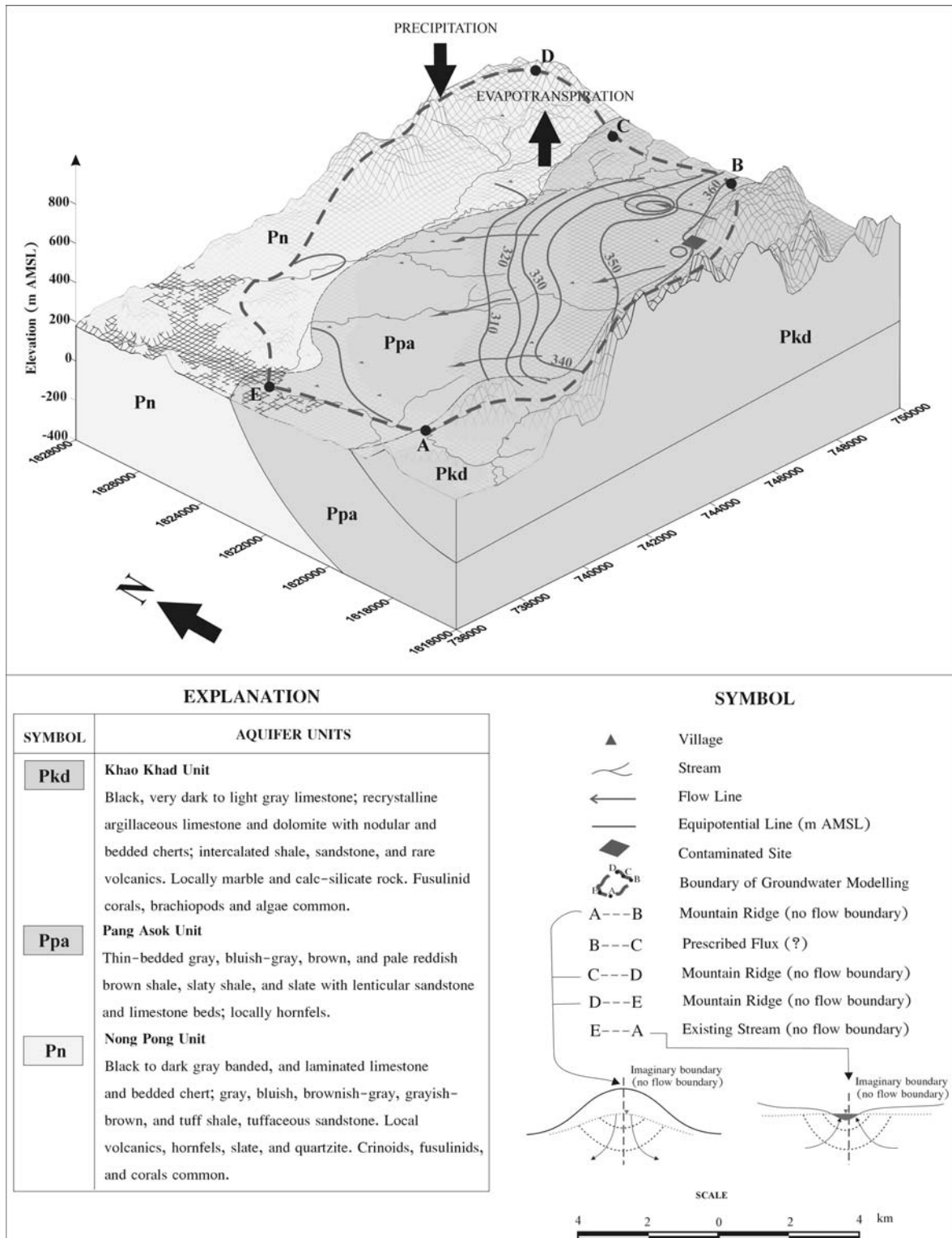


Figure 5-1 Conceptual Model

5.2 Groundwater Flow Model

5.2.1 Model Fabrication

MODFLOW-2000 (USGS), a finite difference simulator, was employed in groundwater flow modeling. The flow domain was divided into 731 grids (500x500 m each) as illustrated in Figure 5-2.

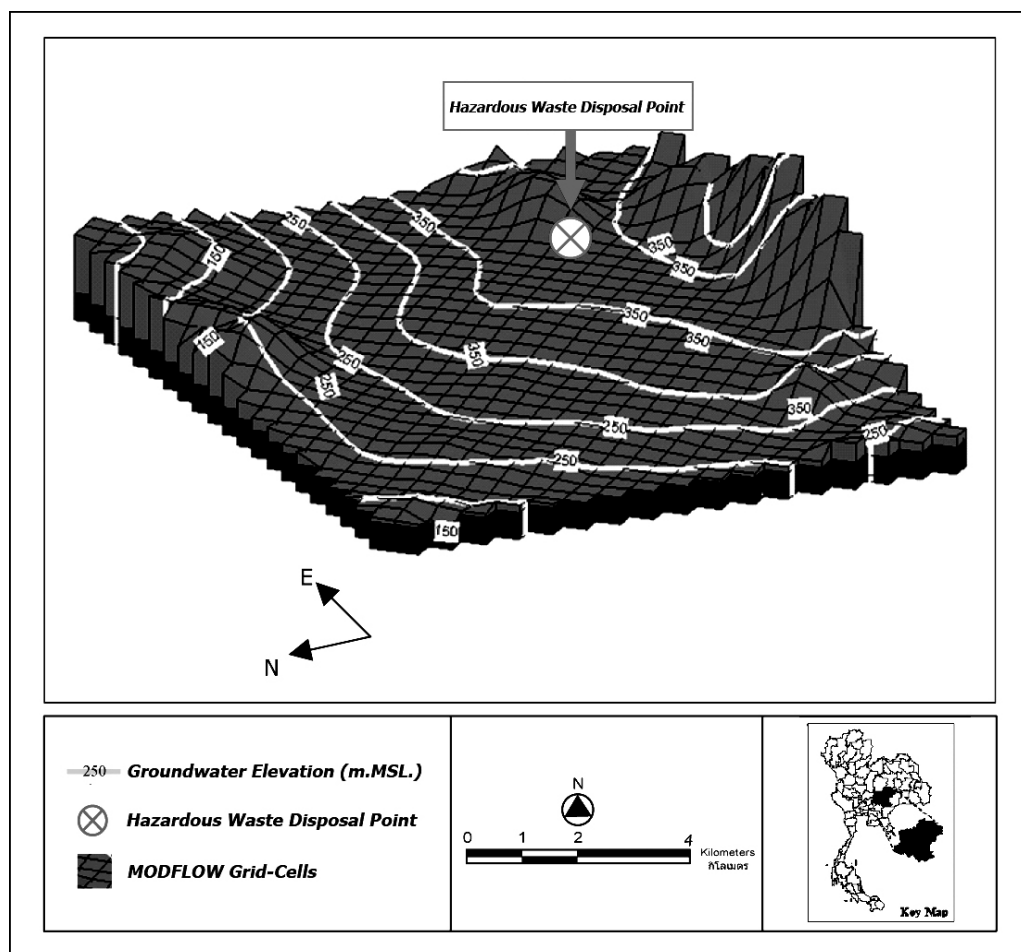


Figure 5-2 Groundwater Flow Domain Constructed in MODFLOW

5.2.2 Input Parameters

Input parameters for groundwater flow modeling included transmissivity (T), Storage Coefficient (S), and Vertical Leakage.

5.2.3 Recharge

Averaged monthly rainfall, topographic conditions, hydrogeological conditions of the studying area, and the aquifer conceptual model established earlier were employed for groundwater recharge rate and location estimation. Steady state groundwater recharge rate was initially estimated and calibrated with the final value of 3.30×10^{-5} m/day or approximately 1% of the total precipitation. This recharge rate could be classified into recharge in the rainy season of 2.56×10^{-5} m/day and recharge in the drought period of 0.34×10^{-5} m/day.

5.2.4 Groundwater Use Pattern

There existed 56 groundwater production wells in the studying area, from which could be classified into 2 groups, i.e., (1) for daily consumption; and (2) for agricultural activities.

1) Groundwater Use for Daily Consumption

The results from water use pattern survey based on 103 families residing in the studying area concluded that the local residence were pumping groundwater for daily consumption at the rate of $133,000 \text{ m}^3/\text{year}$ with an averaged pumping period of 1.78 hr/day. Moreover, local residence in Pang Asoke were more dependent on groundwater resource as could be seen from a higher averaged groundwater pumping rate of $750,000 \text{ m}^3/\text{year}$.

2) Groundwater Use for Agricultural Activities

Local residences were also extracting groundwater to serve their agricultural activities at an averaged pumping rate of 780 m³/day during drought period with an averaged pumping period of 7 hr/day. However, this amount of groundwater abstraction for agricultural purpose was very minor compared to the total groundwater abstraction in the area because groundwater was employed in agricultural activities only in the dry season when surface water was insufficient.

Transient groundwater flow model was generated to simulate and predict groundwater flow conditions in the future by accounting for an increase in groundwater abstraction rate for daily consumption of 2.5% per year due to increasing groundwater demand (based on population growth rate in the area). Projected groundwater use was predicted and tabulated in **Table 5-1**.

Table 5-1 Projected Groundwater Use Prediction

Year	Groundwater Use (m ³ /year)
2007	891,330
2008-2012	948,087
2013-2017	1,072,673
2018-2022	1,213,632
2023-2027	1,373,113
2028-2032	1,553,551
2033-2037	1,757,700
2038-2042	1,988,677
2043-2047	2,250,005

5.2.5 Steady State Groundwater Flow Model

A steady state groundwater flow model was developed and calibrated with the groundwater piezometric head data collected from the total of 27 monitoring wells in October 2006. The results indicated that groundwater in the area was mainly flowing towards Northwest direction with an averaged piezometric head of 350-400 m above mean sea level or around 25 m below ground surface.

5.2.6 Transient Groundwater Flow Model

A transient groundwater flow model was further developed from the steady state groundwater flow model previously developed in the last step and the aquifer storage coefficient was estimated from the piezometric head data collected from 27 monitoring wells within the studying domain. The modeled groundwater flow conditions revealed that there would be a large cone of depression near Baan Paang Asoke which could favorably induce contaminant migration towards the community. Moreover, the simulation suggested that change in groundwater piezometric head at the hazardous waste disposal site and at the South border area was coincide, whereas groundwater elevations near Baan Paang Asoke were abruptly decreased due to a serious groundwater abstraction rate as shown in **Figure 5-3**.

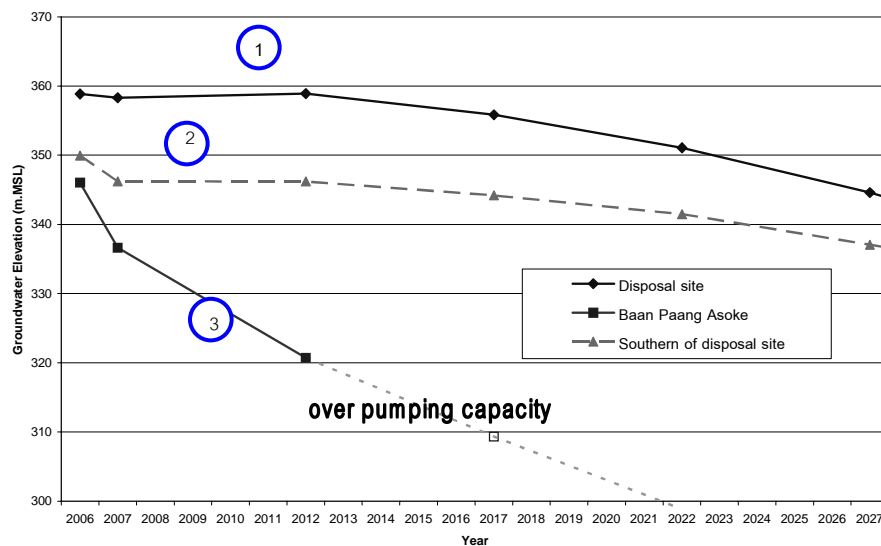
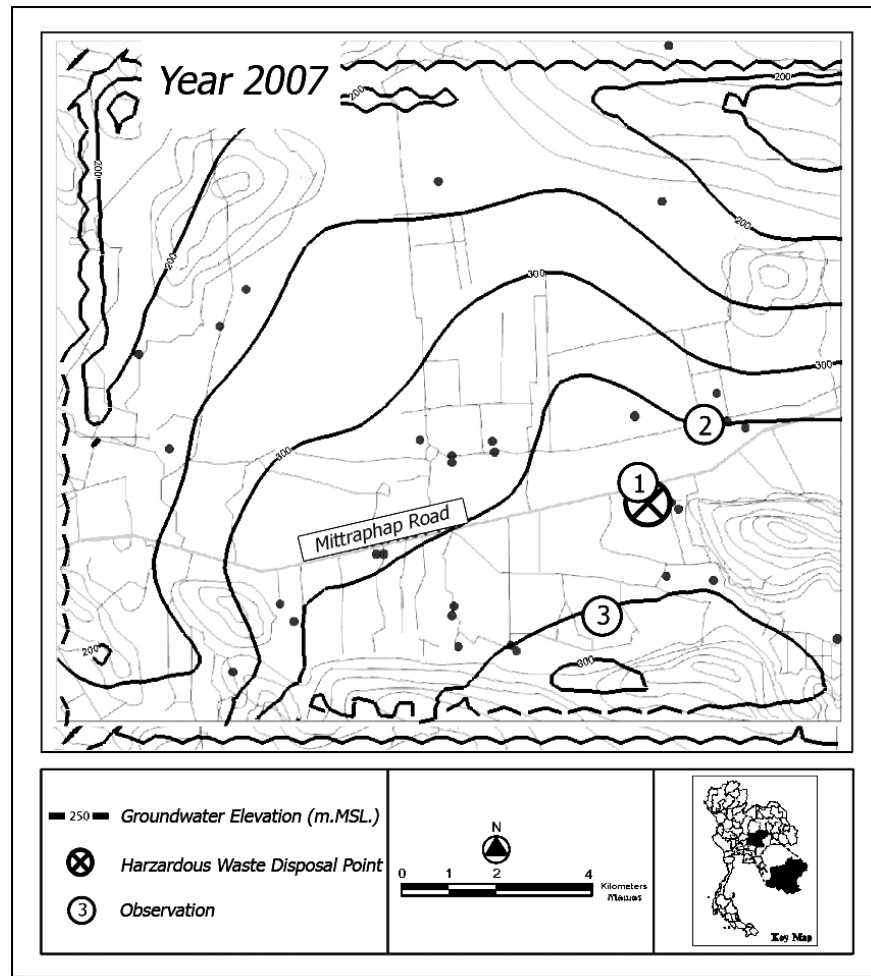


Figure 5-3 Decline in Groundwater Elevations within the Studying Area due to An Increase in Future Groundwater Consumption

5.3 Contaminant Transport Conceptual Model

5.3.1 Model Fabrication

The contaminants of interest could be divided into 2 groups: (1) Light Nonaqueous Phase Liquid (LNAPL) such as Benzene; and (2) Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNAPL) such as Trichloroethene (TCE) และ Tetrachloroethene (PCE).

1) Scenarios and Time Scale

For the purpose of contaminant transport simulation, the model domain was consisted of 2 parts: (1) from the hazardous waste disposal area to Mittrapaab Road (600X600 m) to study the contaminant transport characteristics since time zero to the present time (approximately 2 years from the time reported of the incident); and (2) the hazardous waste disposal area and vicinity for risk assessment purpose (projected approximately 50 years into the future).

2) Boundary Conditions

Grid cells were generated according to the main groundwater flow direction (towards the Northwest direction).

3) Input Parameters

Input parameters for contaminant transport modeling included permeability (hydraulic conductivity), porosity, viscosity, density, dispersivity, solubility, groundwater piezometric head, contaminant mass in the source zone, and location of production and monitoring wells. All these parameters could affect the contaminant transport and migration within groundwater aquifer in the studying area.

4) Contaminant Transport Outputs

- TCE Migration

The simulation results indicated that 5 ppb aqueous phase TCE (Thailand groundwater standard) at 40 m deep in the aquifer could migrate further up to Mittraparb road within 2 years after the incident was reported. In addition, without any attempt to control the contaminant plume in groundwater, aqueous phase TCE would further migrate in the Northwest direction not only because of the main fracture but also due to a significant hydraulic gradient from substantial groundwater abstraction at Baan Paang Asoke. From our prediction, TCE-contaminated groundwater would flow across Baan Rai-Klang-Dong (2) and approach Baan Paang Asoke within 25 years as illustrated in Figure 5-4.

- Benzene Migration

The simulation results also indicated that 5 ppb aqueous phase benzene (Thailand groundwater standard) at 30 m deep in the aquifer could migrate further up to Mittraparb road within 2 years after the incident was reported. In addition, without any attempt to control the contaminant plume in groundwater, aqueous phase benzene would further migrate in the Northwest direction not only because of the main fracture but also due to a significant hydraulic gradient from substantial groundwater abstraction at Baan Paang Asoke. From our prediction, benzene-contaminated groundwater would flow across Baan Rai-Klang-Dong and approach Baan Paang Asoke within 14 years as illustrated in Figure 5-5.

Results from the 1st and 2nd Groundwater samples analyses in February and June 2007, respectively, indicated that benzene was detected at a concentration level higher than the Thai groundwater standard during the 1st groundwater sample collection, however, the concentration of benzene declined below the maximum concentration level

during the 2nd collection. Moreover, LNAPL conceptual model as well as the groundwater monitoring results conducted by the Department of Pollution Control, Thailand, demonstrated that benzene concentrations in the aquifer within the studying area were continuously decreased, supporting that benzene found in the 1st groundwater sample collection was actually the dispersed tail of benzene plume mainly due to advection and dispersion mechanisms.

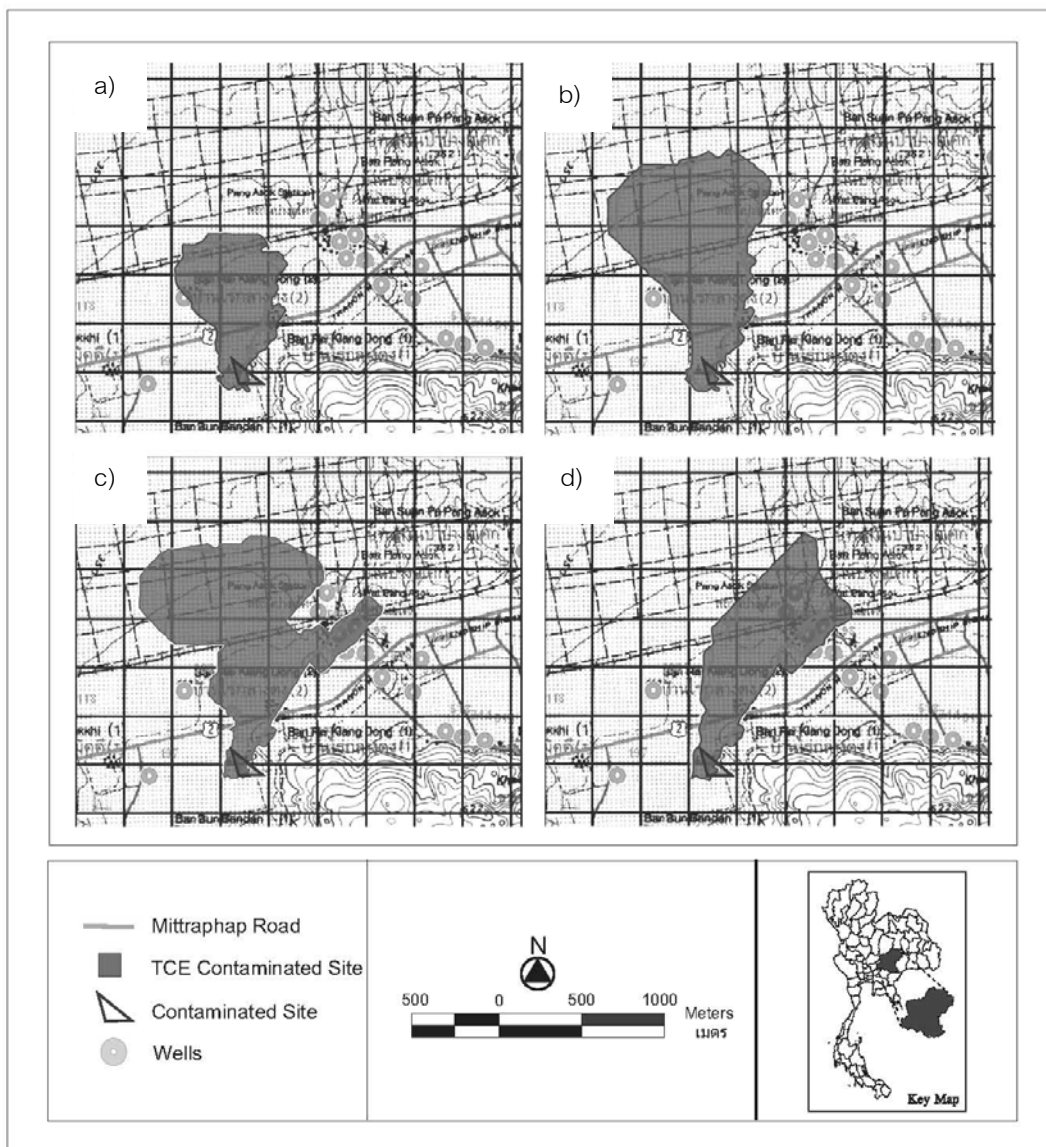


Figure 5-4 5 µg/L TCE Contour at a) 10 years; b) 20 years; c) 25 years; and d) 50 years

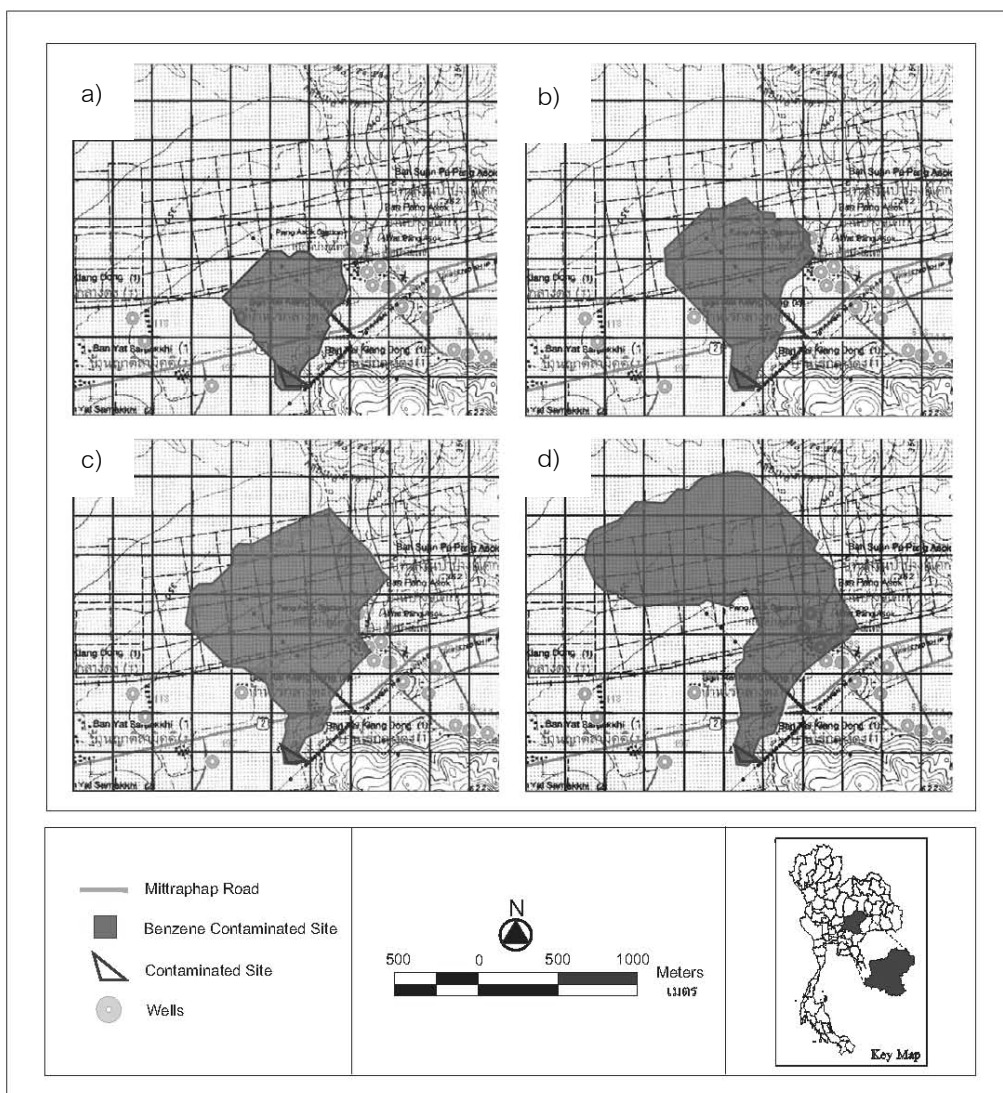


Figure 5-5 5 µg/L Benzene Contour at
a) 10 years; b) 14 years; c) 25 years; and d) 50 years

- PCE Migration

The simulation results indicated that 5 ppb aqueous phase PCE (Thailand groundwater standard) at 40 m deep in the aquifer could migrate further up to Mittraphap road within 2 years after the incident was reported. In addition, without any attempt to control the contaminant plume in groundwater, aqueous phase PCE would further migrate in the Northwest direction not only because of the main fracture but also

due to a significant hydraulic gradient from substantial groundwater abstraction at Baan Paang Asoke. From our prediction, PCE-contaminated groundwater would flow across Baan Rai-Klang-Dong (2) and approach Baan Paang Asoke within 23 years as illustrated in Figure 5-6.

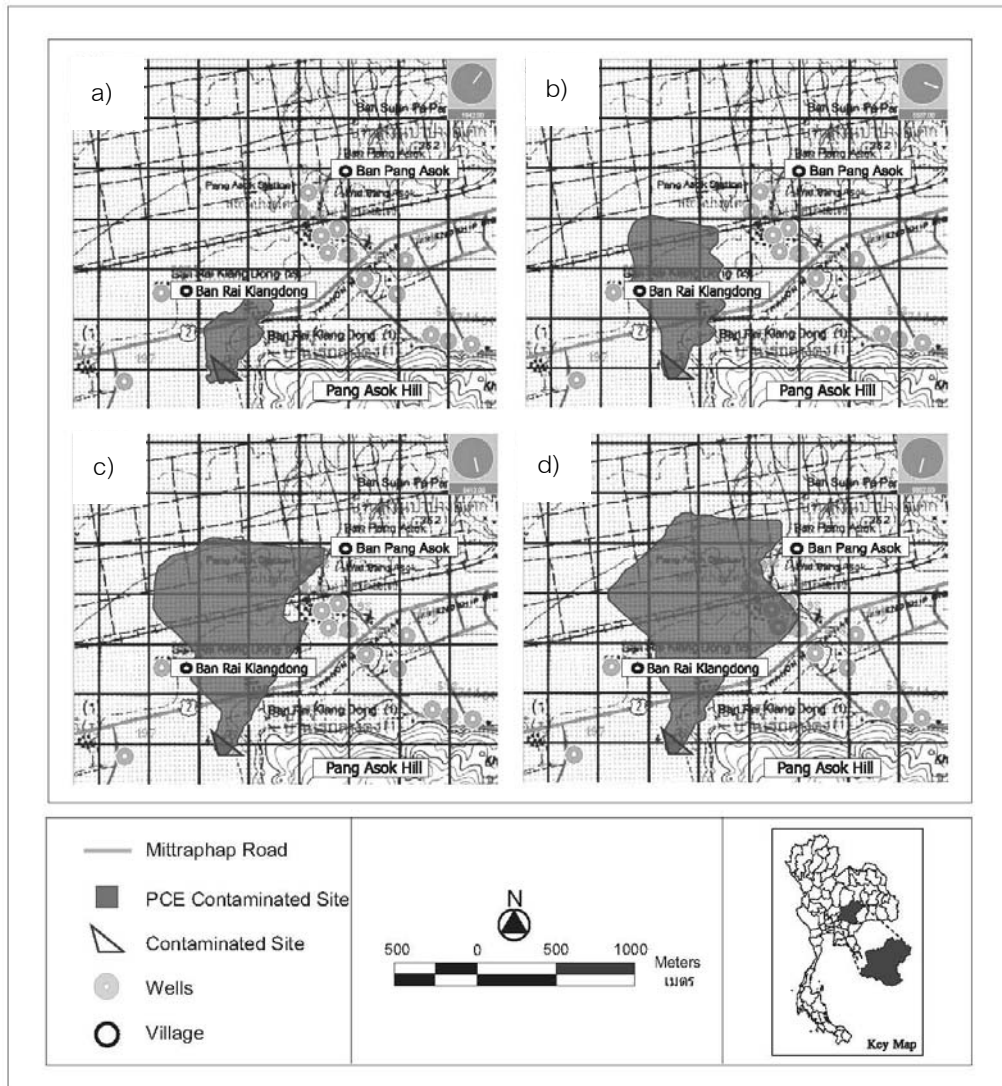


Figure 5-6 5 µg/L PCE Contour at a) 5 years; b) 15 years; c) 23 years; and d) 50 years

LNAPL and DNAPL transport simulation in the studying area suggested that benzene (i.e., LNAPL) could travel the fastest among all three contaminants tested because it was lighter while TCE and PCE were denser than water.

● Preliminary Aquifer Restoration Simulation

In order to explore the performance and consequences of aquifer restoration schemes to the TCE-contaminated aquifer, 2 representative aquifer restoration schemes were simulated and compared to the results of no action plan: (1) Fast track scheme (90% TCE mass removal); and (2) Regular track (30% TCE mass removal). The results from these simulations could be utilized as a guidance for screening remedial technologies.

The simulation results indicated that although the regular track (30% TCE mass was removed from the system), aqueous phase TCE at the concentration higher than 5 ppb could still travel across Baan Rai-Klang-Dong within 8 years. After that, the contaminant plume would migrate further a little bit and finally stop. On the other hand, the fast track scheme (removing 90% TCE mass), 5 ppb TCE plume would expand a little beyond Mittrapaab road and it would not migrate into Baan Rai-Klang-Dong due to significant advection and dispersion effects.

When comparing the final mass remained after applying the fast track scheme to the TCE-contaminated aquifer with that of the same aquifer without any actions after 5 years (Year 2012), more than 90% of TCE mass could be removed from the system and the contaminated area was reduced by 27%, as illustrated in **Figure 5-7**. Similarly, the performance of regular track scheme was compared with no action plan after operating for 10 years. The results indicated that pump-and-treat alone could remove TCE mass by 30% and the TCE-contaminated area could be shrunken by 64% at the end of the operation, as shown in **Figure 5-8**. Moreover, regular track scheme proposed herein also included bioremediation and natural attenuation which were not incorporated into the simulation, which could further enhance the contaminant removal rate in the studying area.

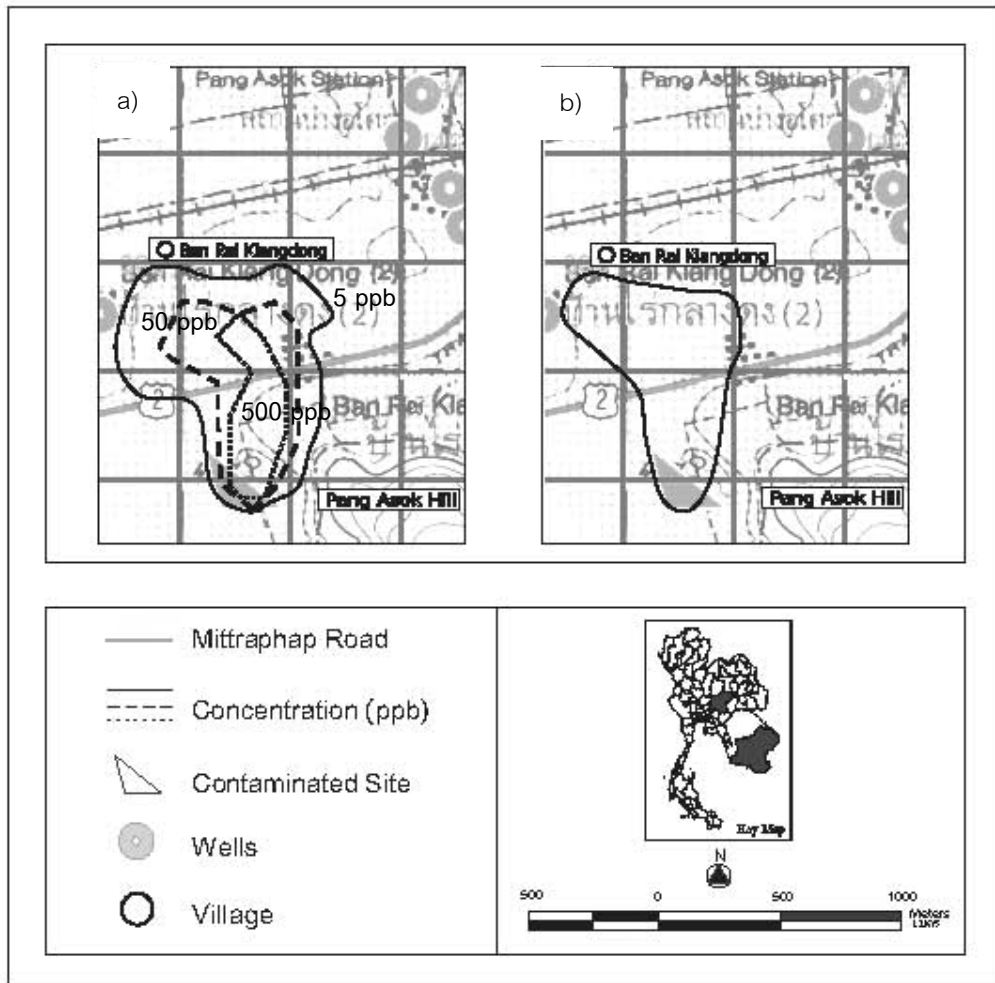


Figure 5-7 Comparing the Final Mass Remained after Applying the Fast Track Scheme to the TCE-Contaminated Aquifer with that of the Same Aquifer without any Actions after 5 Years

- a) without any action after 5 years; 240,000 kg mass remained, 730,000 km² contaminated area
- b) apply the fast track scheme after 5 years; 240,000 kg mass remained, 730,000 km² contaminated area

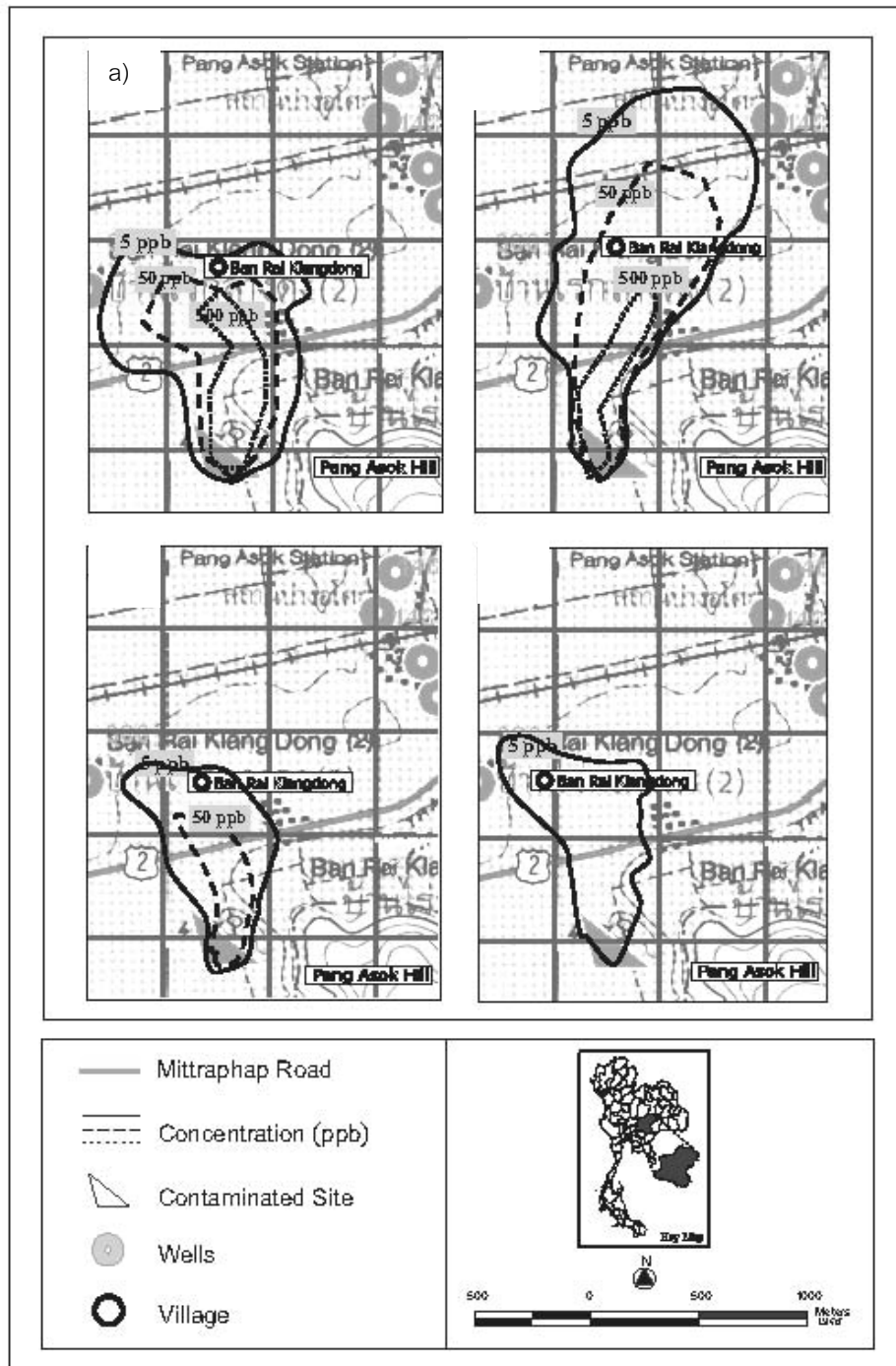


Figure 5-8 Comparing the Final Mass Remained after Applying the Regular Track

Scheme to the TCE-Contaminated Aquifer with that of the Same

Aquifer without any Actions after 5 and 10 Years

- a) without any action after 5 years; 240,000 kg mass remained, 730,000 km² contaminated area
- b) without any action after 10 years; 240,000 kg mass remained, 1,000,000 km² contaminated area
- c) apply the regular track scheme after 5 years; 180,000 kg mass remained, 340,000 km² contaminated area
- d) apply the fast track scheme after 10 years; 240,000 kg mass remained, 360,000 km² contaminated area

Chapter 6

Risk Assessment of Contamination in the Study Area

The contamination of toxic chemicals has a direct impact on the environment such as air, soil, and water, especially groundwater contamination, where the toxic chemicals can spread over extensive areas. Thus, damages resulting from groundwater contamination can be considered risk.

6.1 Groundwater Contamination Risk Assessment

In this project, the procedure of groundwater contamination risk assessment consists of four steps:

- 1) Preliminary Risk identification
- 2) Risk analysis
- 3) Risk impact assessment
- 4) Risk response

6.1.1 Preliminary Risk Identification

The first step is to identify four main components of risk, namely, sources of risk, risk factors, risk events, and risk impacts. As applied to the groundwater contamination risk assessment, these four components can be described as sources of risk, contaminated media, risk receptors, and risk impacts, respectively, as illustrated in Figure 6-1.

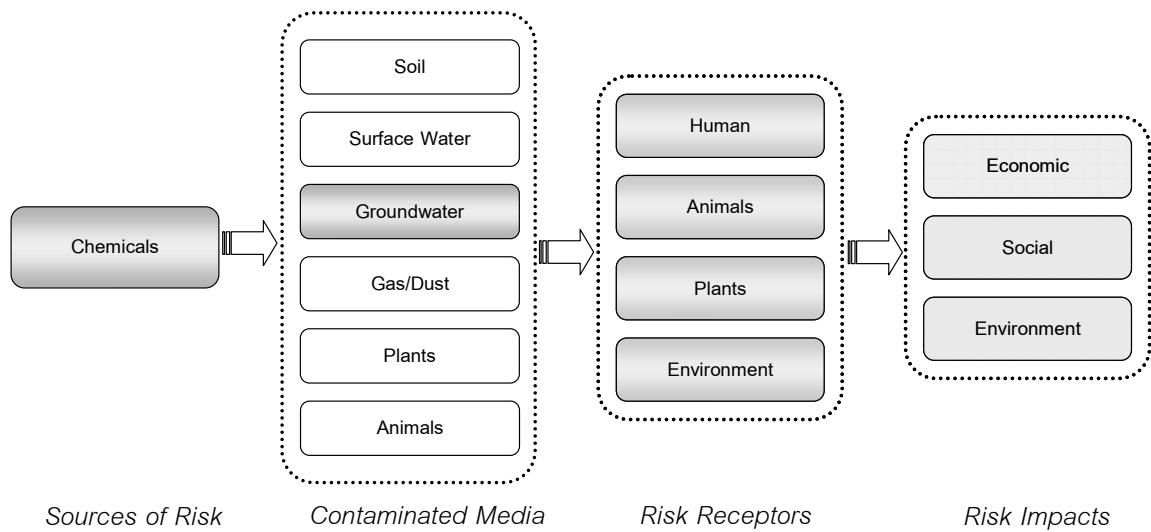


Figure 6-1 Components of Groundwater Contamination Risk

1) Sources of risk

Toxic chemicals considered sources of risk include

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

2) Contaminated media

According to US EPA (1989), contaminated media can be

- soil
- surface water
- groundwater
- air

- animal
- plants

Field explorations in the study area showed that the contamination of the aforementioned chemicals in soil, surface water, and air is lower than the specified standard. Thus, this study focuses merely on groundwater contamination.

3) Risk receptors

The main risk receptors for groundwater contamination are humans, animals, and plants.

4) Risk impacts

This study performs the preliminary risk assessment to evaluate impacts on the risk receptors. The results are in the monetary value of economic, social, and environmental impacts.

6.1.2 Risk Analysis

The details of risk analysis on economic, social, and environmental impacts are as follows.

1) Economic impacts

Risk analysis on economic impacts considers important economic impacts such as changing of work employment, incomes of residents, and land use in the area.

2) Social impacts

Risk analysis of social impacts considers impacts on change of population structure, physical and mental health of people, work efficiency, and change of local customs.

3) Environmental impacts

Environmental impacts are contributed to changing of environmental resources utilization by people in the area. In this study, we mainly focus on the environmental impacts on groundwater.

6.1.3 Risk Impact Assessment

In this study, we assess the monetary value of damages resulting from four main risk impacts:

- 1) Income loss of people due to health problems
- 2) Loss due to uncultivable lands
- 3) Income loss of water supply business
- 4) Increased expense due to treatment of contaminated groundwater

The procedure of groundwater contamination risk assessment comprises three steps.

Step 1 Estimate the contaminated area in each considered year

Table 6-1 contains the contaminated areas of Moo 1 Baan Paang Asoke in year 2, 5, 10, 14, 20, 25, and 50, estimated from the models of contaminated groundwater flows developed earlier.

Table 6-1 Contaminated Areas in Different Years

Year	Contaminated Areas (Rai)					Total
	Field Crops	Orchards	Villages	Farmhouse	Industrial	
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

Note: 1 rai = 1,600 sq.m.

Step 2 Assess financial impacts for each contaminated area

The results of financial impact assessment from the main four factors are summarized as follows.

1) Income loss of people due to health problems

This loss results from deteriorated health of the residents in the area consuming contaminated groundwater. This study assumes that the people living in the area affected by contaminated groundwater would not be able to work efficiently, leading to their income loss. The residents' incomes are estimated from the relevant statistical data collected.

The financial loss due to this factor from year 14 to year 50 is 5,249,638,372 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 683,548,017 baht (discount rate of 8 percent), as shown in Figure 6-2.

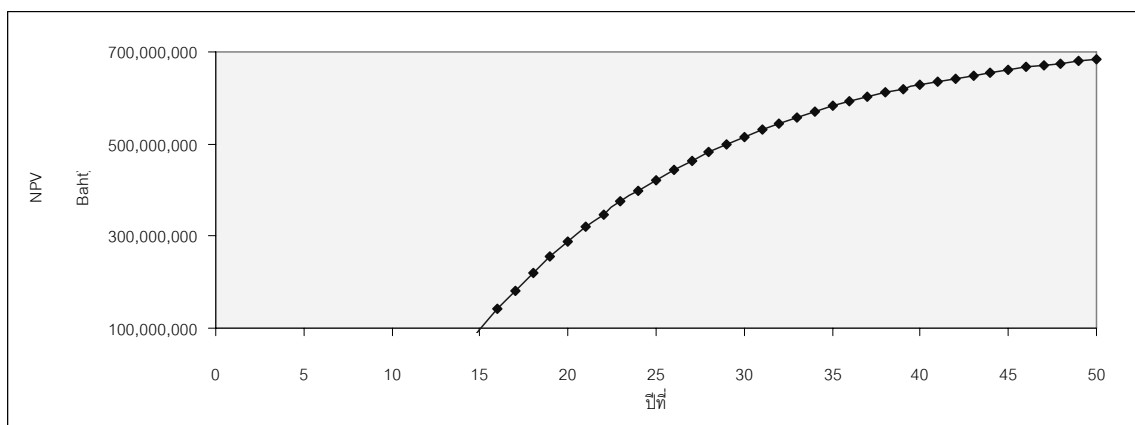


Figure 6-2 Cumulative Net Present Vale of Income Loss Due to Health Problems

2) Loss due to uncultivable lands

This loss is estimated from the average incomes of different types of agriculture in the area, obtained from the interviews. Details are as follows.

Income from growing corn	6,000	baht/rai/year
Income from growing grape	60,000	baht/rai/year
Income from raising chicken	16,000	baht/rai/year

The risk impact is assessed from the financial loss due to uncultivation of contaminated land from year 20 to year 50. From the calculation, the total loss is 1,102,109,660 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 285,311,440 baht, as shown in Figure 6-3.

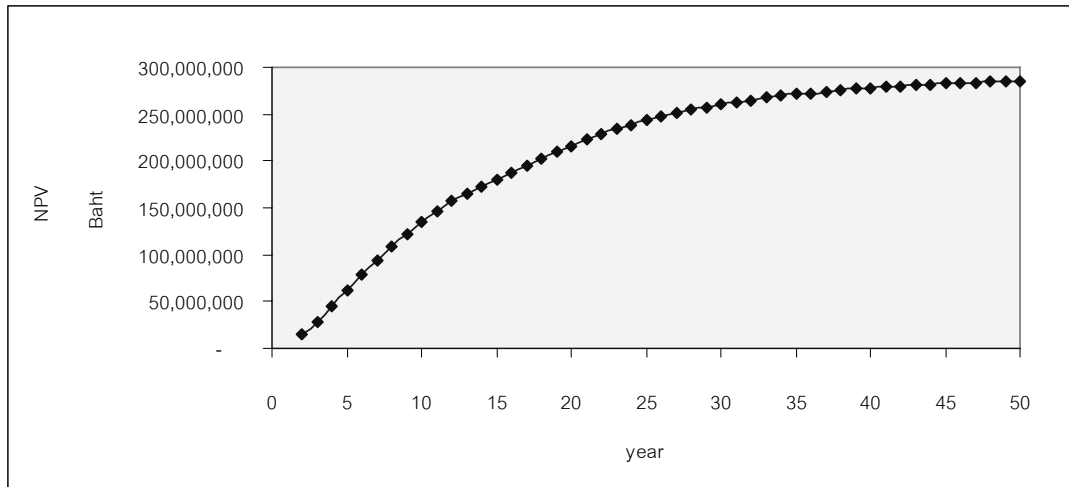


Figure 6-3 Cumulative Net Present Vale of Loss Due to Uncultivable Lands

3) Income loss of water supply business

In present, the main source of consumption water for the residents of Baan Paang Asoke (approximately 500 families) is water supply produced from groundwater under the operation of the local administration called Or-Bor-Tor. The general information is as follows.

Groundwater for water supply	6	wells
Sale price per cubic meter	5	baht
Consumption volume	6,000	cubic meters per month
Income from water supply business	30,000	baht per month

The risk impact is assessed from the income loss of water supply businesses in the area due to contaminated groundwater. The total financial loss over the 50-year span is 29,643,807 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 3,310,311 baht, as shown in Figure 6-4.

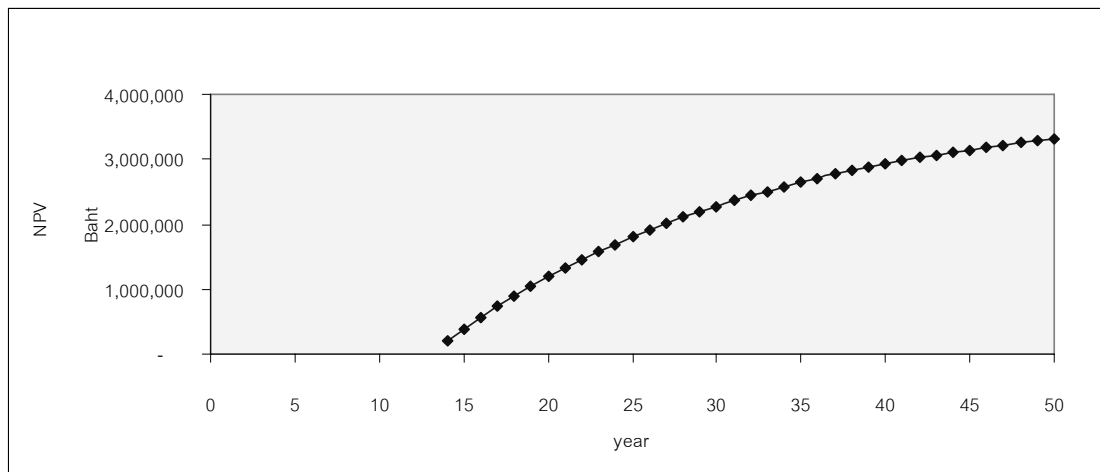


Figure 6-4 Cumulative Net Present Value of Income Loss of Water Supply Business

4) Increased expense due to treatment of contaminated groundwater

From the analysis of contaminated groundwater flows, groundwater used by the residents of Ban Paang Asoke will be contaminated and cannot be used for consumption around year 14. Consequently, it is necessary to a new source of groundwater to replace the contaminated one. The option considered in this study is the treatment of groundwater to continue the local water supply system.

The treatment costs are estimated for the treatment of a large water supply system, which can service the consumption of 301-700 families. The construction cost is estimated to be 3,500,000 baht, and the maintenance cost for this system is 300,000 baht per year. By constructing this system at year 14 and using until year 50, the total cost (i.e., construction cost and annual maintenance cost) is estimated to be 14,300,000 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 2,785,815 baht.

Building this new system contributes to the increased cost of water (7.50 baht per cubic meter), which is assumed that the residents need to pay (2.50 baht per cubic meter). The total financial loss (for the residents) is estimated to be 14,821,903 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 1,655,156 baht, as shown in **Figure 6-5**.

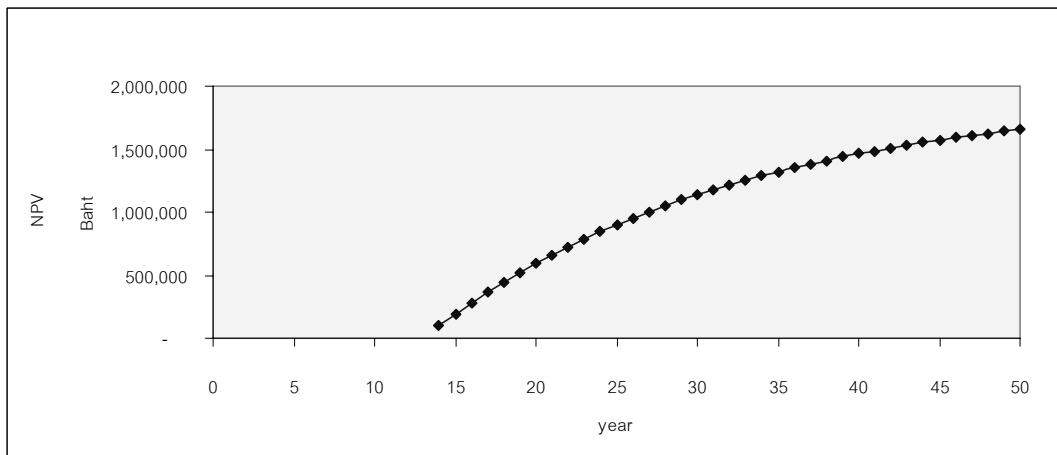


Figure 6-5 Cumulative Net Present Vale of Loss Due to Water Supply System Replacement

By combining the risk impacts of the aforementioned four factors, the total financial impact is 6,396,213,741 baht, which is equivalent to the net present value (NPV) of 973,824,925 baht, as shown in Figure 6-6.

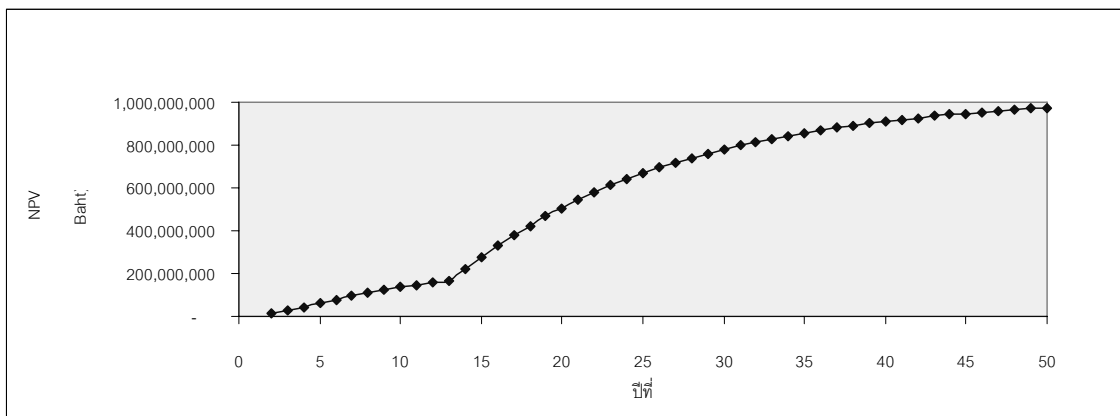








Figure 6-6 Cumulative Net Present Vale of All Four Risk Impacts

Step 3 Develop risk maps of different years

The financial impacts assessed in the previous step are used to develop the risk maps of year 2, 5, 10, 14, 20, 25, and 50. Each risk map illustrates the level of financial loss in each grid for such year, which is then used to select an appropriate measure of risk response.

The risk levels in the maps are categorized into six levels.

	Level 1	NPV of financial loss < 10,000,001 baht
	Level 2	NPV of financial loss: 10,000,001-20,000,000 baht
	Level 3	NPV of financial loss: 20,000,0001-30,000,000 baht
	Level 4	NPV of financial loss: 30,000,0001-40,000,000 baht
	Level 5	NPV of financial loss: 40,000,0001-50,000,000 baht
	Level 6	NPV of financial loss > 50,000,000 baht

Figures 6-7 to 6-13 illustrate the total financial impacts in the form of risk maps of year 2, 5, 10, 14, 20, 25, and 50, respectively.

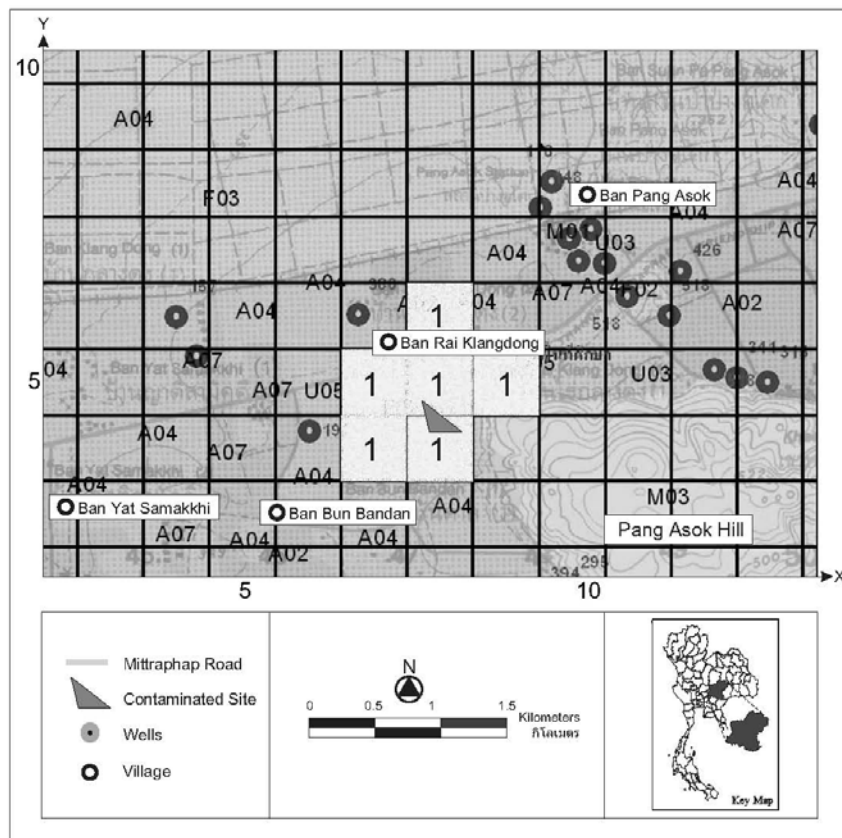


Figure 6-7 Risk map of Year 2

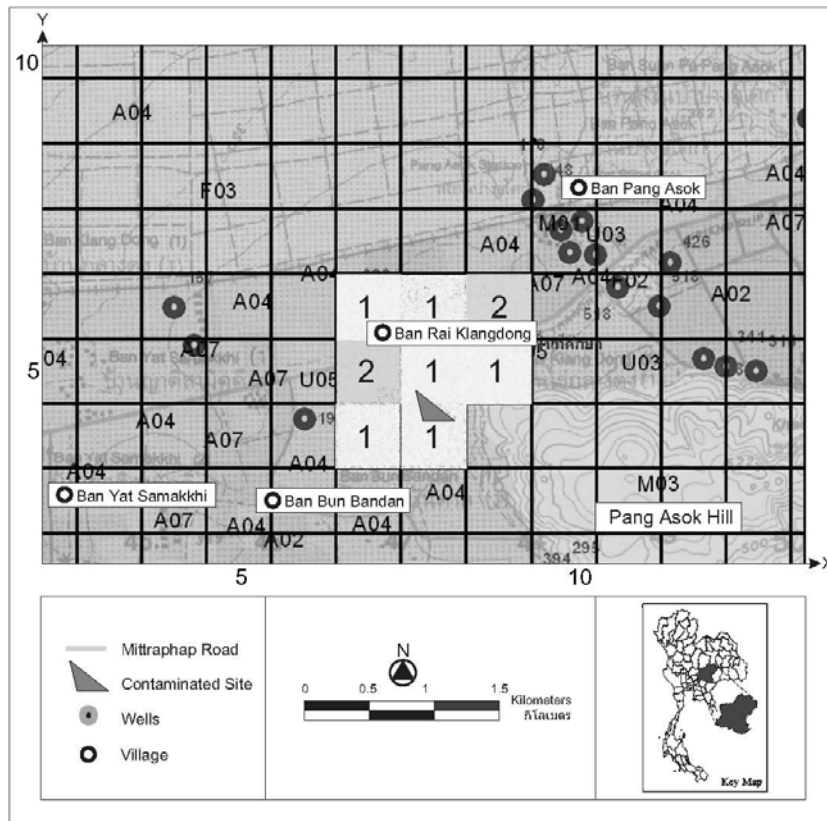


Figure 6-8 Risk map of Year 5

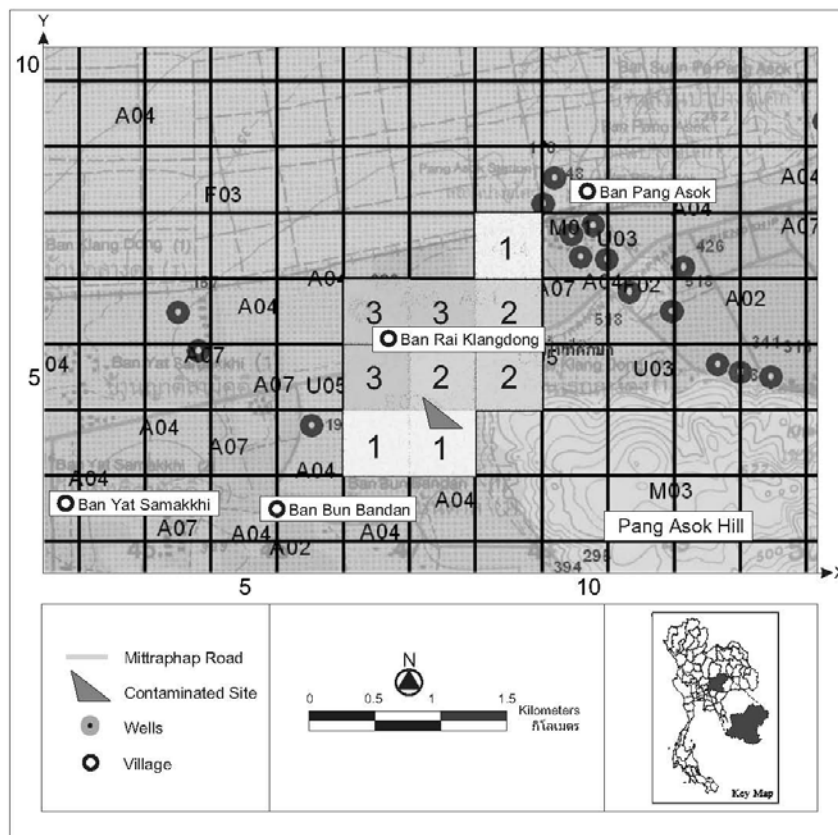


Figure 6-9 Risk map of Year 10

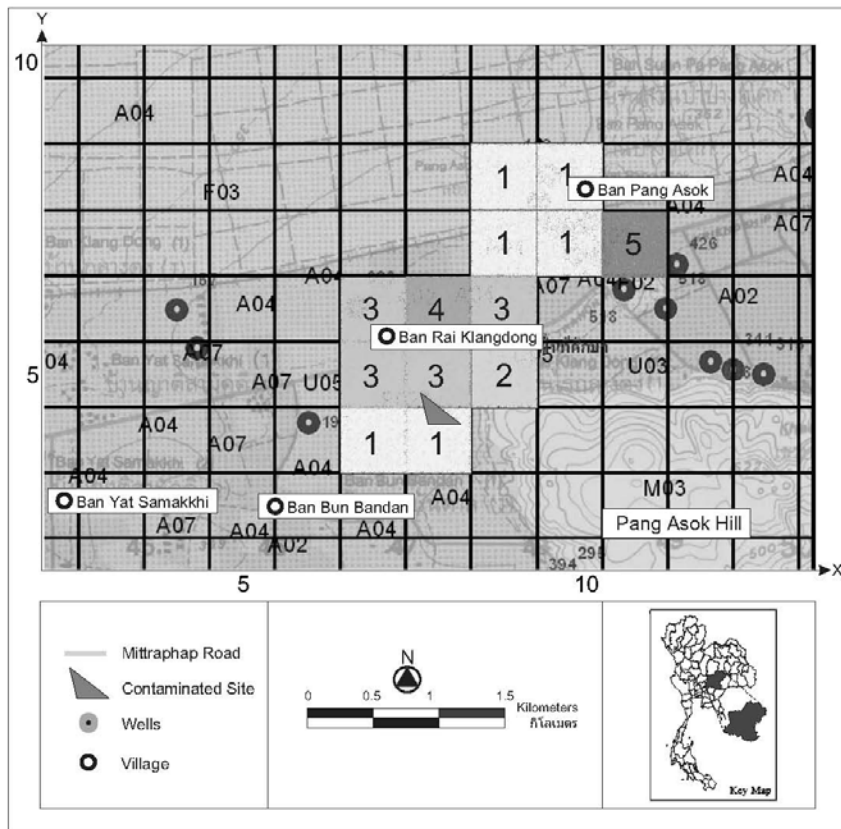


Figure 6-10 Risk map of Year 14



Figure 6-11 Risk map of Year 20

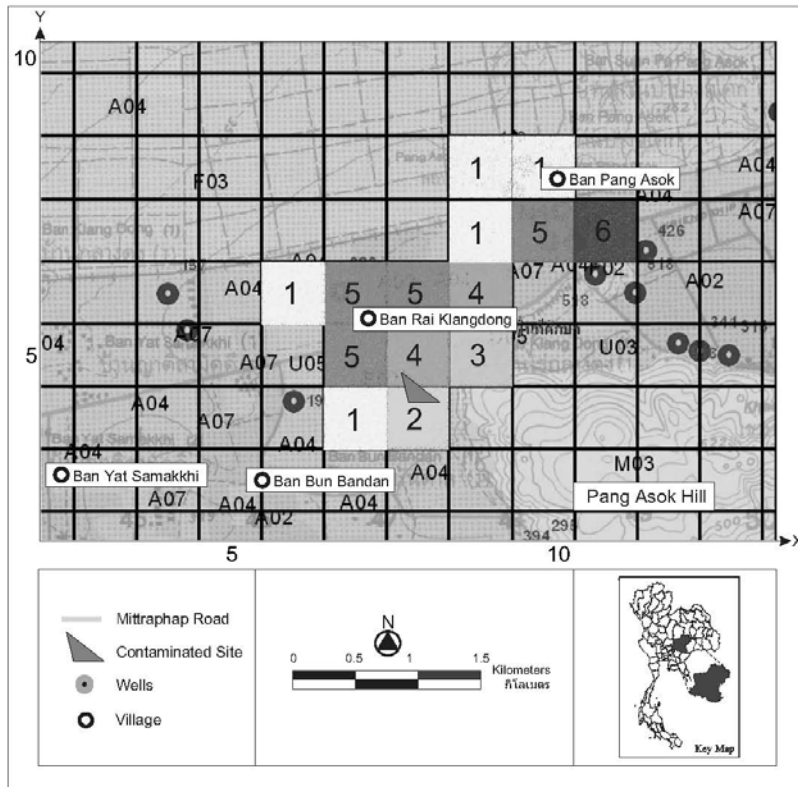


Figure 6-12 Risk map of Year 25

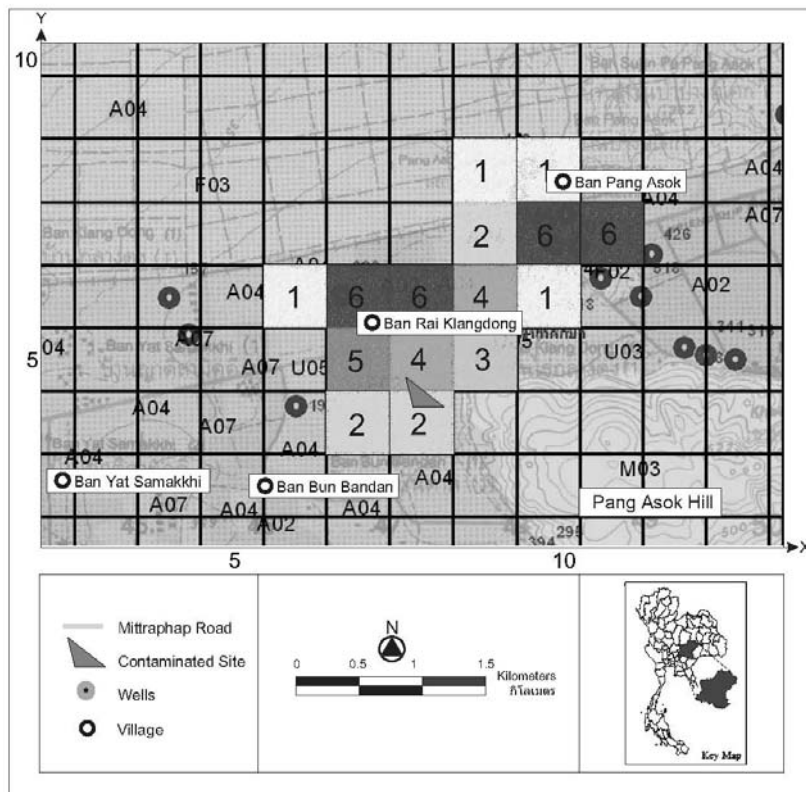


Figure 6-13 Risk map of Year 50

The above risk maps clearly show that the area impacted by groundwater contamination increases every year, and so does the damages.

6.1.4 Risk Response Alternatives for Groundwater Contamination

The risk response alternatives for groundwater contamination in this study are based on appropriate remediation technologies for groundwater contamination developed from several studies in the laboratories and in the field as well as from “general response actions” proposed by EPA (1988).

Three possible risk responsive alternatives for the groundwater contamination in this study are (1) no action, (2) five-year remediation plan, and (3) ten-year remediation plan.

In this study, screening the most appropriate remediation plan is based on two main considerations: (1) remediation efficiency and (2) life-cycle cost of the plan, which can be summarized as follows.

Alternative 1 No action

This risk response alternative means that there is no policy or action plan to solve the problem. This alternative is appropriate for low-risk contamination. Since there is no action taken, there is no risk reduced and no cost associated with this alternative.

Alternative 2 five-year remediation plan

By implementing the five-year remediation plan, the overall risk can be reduced by 836,450,155 baht (86 percent), which can be considered benefit; whereas, the total cost of this remediation plan is 674,1846,838 baht, yielding the net benefit to cost ratio of 0.24, as shown in **Table 6-2**.

Alternative 3 ten-year remediation plan

By implementing the ten-year remediation plan, the overall risk can be reduced by 906,535,857 baht (93 percent); whereas, the total cost of this remediation plan is 307,723,047 baht, yielding the net benefit to cost ratio of 1.95, as shown in **Table 6-2**.

Table 6-2 Analysis of Net Benefit to Cost Ratio for Each Alternative

Alternative	Net Present Value, NPV (baht)				(B-C)/C
	Cost (C)	Risk after Remediation	Reduced Risk (B)	Net Benefit (B-C)	
1. No Action	-	973,824,925	-	-	-
2. Five-Year Plan	674,184,838	137,374,770	836,450,155	162,265,317	0.24
3. Ten-Year Plan	307,723,047	67,289,068	906,535,857	598,812,810	1.95

From the above results, both alternative 2 and alternative 3 can reduce the risk of groundwater contamination, but with different efficiencies. That is, alternative 3 is more efficient than alternative 2. In terms of cost, the total cost of alternative 3 is also lower than that of alternative 2 (i.e., 307,723,047 baht as compared to 674,184,838 baht). Considering the net benefit to cost ratios, both alternatives are economically favorable. However, alternative 3 is more favorable than alternative 2 because of the higher value.

The final decision on the risk response alternative however should not be based solely on economic factor. The decision maker should also take into account other factors such as degree of emergency, the country's environmental policy, the agency's policy, and budget.

Chapter 7

Contaminated Groundwater Remediation Plan

A series of laboratory experiments were conducted to estimate the retardation factors and dispersion coefficients of the porous media and representative contaminants found at the studying site. Later on the parameters estimated from laboratory scale experiments were adopted as initial parameters in the numerical flow and transport models. Moreover, partitioning interwell tracer test (PITT) experiments were conducted to assess the efficiency of this technique to estimate the residual saturation of the contaminants in the porous media system. Furthermore, the natural biodegradation potential of the contaminants discovered at the disposal site were explored using alcohol-contaminant mixtures at various cosolvent fraction conditions. The findings from this study were absolutely beneficial for future applications in of these techniques at the field scale.

7.1 Long-Term Contaminated Groundwater Remediation and Restoration Plan

The results from preliminary investigations and risk assessment revealed that the groundwater resource in the studying area has been contaminated with several volatile organic compounds (VOCs). The contaminated groundwater which has been served as primary and secondary water supply for the local residents contained a relatively high risk to the receptors downstream both at the waste disposal site and vicinity. Therefore, sound and logical remediation and restoration of the groundwater resource in the area are necessary.

The major volatile organic compounds discovered in the studying area were tetrachloroethylene (PCE) and trichloroethylene (TCE) at the concentration level significantly exceeded the Thailand groundwater standard. Contaminant sources were believed to be both in the saturated and unsaturated zones. The results from groundwater flow and contaminant transport modeling suggested that the contaminant could migrate through the fractures in fractured rock aquifer in both Northeastern and

Northwestern directions. Therefore, the main objective of contaminated groundwater remediation and restoration in the next phase should aim to focus on preventing the contaminant migration to the receptors downstream and also to lower the contaminant concentration in groundwater as much as possible. The proposed groundwater remediation and aquifer restoration plan may be presented in **Figure 7-1**.

7.2 Detailed Soil and Groundwater Remediation and Restoration Scheme

The appropriate soil and groundwater remediation and restoration scheme depends mainly on types and concentration levels in the system of concern, as well as the unique site characteristics. There is, generally, no best technology for groundwater remediation due to the uniqueness of each site. Similarly, there might be more than one technology to treat the contaminations at a site. For this studying site, three remediation trains have been proposed herein, including i) no action; ii) fast-track remediation scheme (within 5 years); and finally iii) regular-track remediation scheme (within 10 years). Cost-benefit analysis was conducted and the results suggested that the regular track remediation scheme was economically preferred and should be pursued.

Detailed tasks according to the regular track soil and groundwater remediation scheme can be described as follows:

- Detailed site characterization and horizontal and vertical contaminant source zone characterization, including
 - i. Vertical and horizontal contaminant distribution in unsaturated zone using soil and rock coring
 - ii. Groundwater sampling to estimate amount and distribution of the contaminants in saturated zone using passive diffusion sample bags (PDSB)

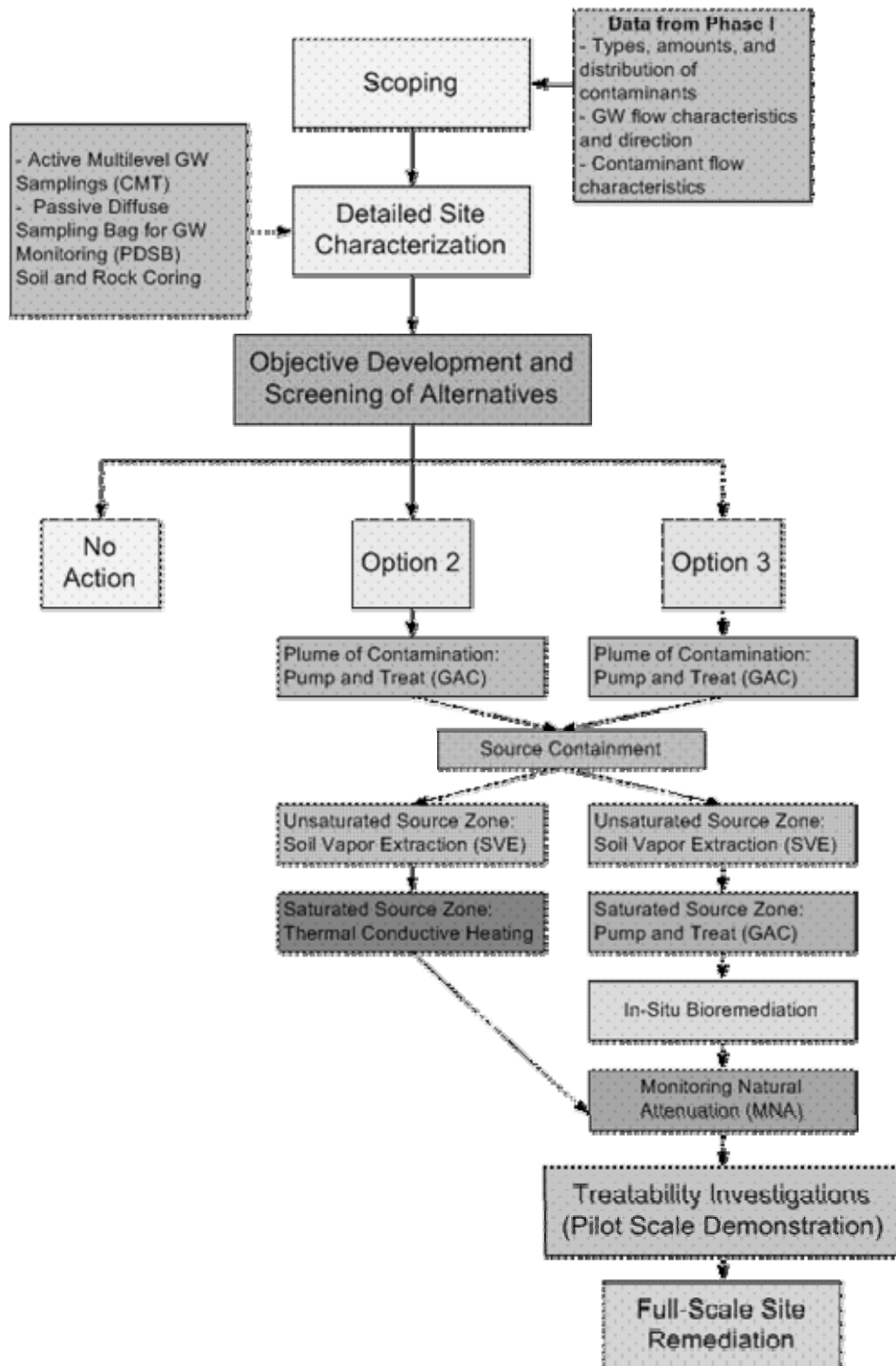


Figure 7-1 Long-Term Contaminated Groundwater Remediation and Restoration Plan

- iii. Groundwater sampling to estimate amount and distribution of the contaminants in saturated zone using active multilevel sampling device such as continuous multichannel tubing (CMT)
- Closing down active groundwater municipal wells in the influence zone downstream from the source zone, mainly in the Northeastern, Northern, and Northwestern of the waste disposal site.
 - Replace a new alternative water supply source for local residents or install sufficient water treatment units to treat contaminated groundwater before consumption.
 - Divert groundwater flow direction away from the community downstream by installing pumping wells and monitoring wells in the North and Northeast of the studying area (i.e., parallel to Mittrapaab Road), and also installing surface treatment units such as granular activated carbon (GAC) within the plume of contamination in order to treat extracted contaminated groundwater before discharging the treated water back into the system.
 - Installing containment units to constrain the further contaminant migration after hot spots are located.
 - Analyze groundwater samples collected from the monitoring well network to assess the performance of the pump-and-treat and containment systems.
 - Installing and testing a pilot-scale soil vapor extraction (SVE) system to remove contaminants from the unsaturated source zone.
 - Installing and testing a pilot-scale in-situ bioremediation system to remove contaminants from the plume of contaminant.
 - Monitoring natural attenuation through the change in contaminant concentration as well as other environmental conditions within the studying area using multilevel monitoring wells installed

According to the proposed groundwater and soil remediation scheme above, TCE may be removed from the system by 30% (Ramsburg et al., 2005). The total cost for the proposed remediation scheme are estimated to be approximately at 374 millions baht, which can be broken down in more detail as shown in Table 7-1.

Table 7-1 Estimated Costs for Regular-Track Soil and Groundwater Remediation Scheme

No.	Task	Cost
		Million Baht
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

Chapter 8

Emergency and Long-Term Responses to Groundwater Contamination

Emergency and long-term responses to groundwater contamination problems were established as a guideline for any government agencies directly involved in the national groundwater contamination problems to successfully manage, efficiently protect, and sustainably restore our groundwater resource.

Once groundwater contamination incident occurred, there must be systematic means to deal with such an emergency situation properly. The local residence in the area where groundwater contamination took place may be involved by reporting the situation to the provincial authority, including the provincial organization offices and offices of the governor, etc. Then the preliminary site assessment should be conducted in order to estimate the possible loss and damage of the water resources and the environment due to the contamination problem. The preliminary assessment results should be further reported to the Thai federal authority with the direct responsibility to protect human health and the environment such as Department of Pollution Control. The special experts should be summoned to preliminarily examine the contamination evidence and artifacts that currently threatening the human health, environmental conditions, and ecosystem. The further detailed site characterization, feasibility study, and remediation plans should be established using the national environmental emergency fund. In the mean time, all means are required to evacuate people out from the high-risk area. The secondary source of water supply must be relocated if evacuation is not possible.

8.1 Short Term Emergency Response Plan

Short term emergency response plan includes:

- Identification and analysis of available information to estimate the extent, nature, direction, and rate of movement of the contaminant

- Development of a preliminary field investigation program for aquifer characterization
- Identify the extent of the contaminated zone
- Identify the pollution pathways from source(s) to receptor(s)
- Quantify the rate and direction of contaminant movement
- Selection of method(s) for containing the spread of contaminants
- Response to the appropriate government agencies such as DGR or PCD
- Government agencies took over the site, and pollution control zone must be declared if necessary
- Rapidly provide alternative water resources to the residence in the area
- If alternative water resources are impossible to find, government agencies must install portable water treatment systems to treat polluted groundwater before any human consumptions.
- If the contamination has been confirmed, government agencies must prohibit all groundwater abstraction in the impact area until the groundwater quality has been restored to the original conditions

8.2 Long Term Response Plan

The long term response plan was developed based on RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) and CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act).

8.2.1 Environmental Risk Management Policy

The environmental risk management policy developed by the controlling organization consists of planned risk response plans and emergency risk response plans.

8.2.2 National Environmental Protection Agency

In Thailand, there are many environmental regulation agencies such as Department of Groundwater Resource (DGR), Department of Pollution Control (PCD), Department of Industrial Works, National Environmental Board, Office of National Environmental Planning, Department of Environmental Quality Promotion, Industrial Estate Authority of Thailand, etc. However, environmental management system in Thailand is still lacking the unity of command as too many government agencies are currently involved and their jurisdictions are sometimes overlapped.

United States Environmental Protection Agency (US.EPA) is the one and only federal environmental organization in the United States of America. With 10 regional offices across the country and high-quality laboratory, EPA leads the nation's environmental science, research, education and assessment efforts. EPA works to develop and enforce regulations that implement environmental laws enacted by Congress. EPA is responsible for researching and setting national standards for a variety of environmental programs, and delegates to states and tribes the responsibility for issuing permits and monitoring and enforcing compliance. Where national standards are not met, EPA can issue sanction and take other essential steps to assist the states and tribes in reaching the desired levels of environmental quality.

8.2.3 Environmental Forensics

In Thailand, most environmental forensics efforts are considered a serious burden to the victims, therefore environmental cases usually ended up mistrial in court. It is more reasonable to apply "polluters pay" principle to environmental cases in Thailand for a better comprehensive environmental response, compensation, and liability.

8.2.4 National Priority List (NPL)

Environmental agencies in Thailand should establish its own national priority list (NPL) as a standard for prioritizing the contaminated sites of interest nation wide. In the US, environmental agencies may come up with their own NPL since each agency

usually focus on different contaminants. EPA, for example, usually gives the first priority to chlorinated compounds while Department of Energy focus mainly on radioactive waste contamination.

8.2.5 National Hazardous Waste Inventory List

Establishing a national hazardous waste inventory list is an important step to increase public awareness of how hazardous wastes are transporting in and out of the country. Examples of information needed to be reported include industrial plants location and class, type and amount of chemicals stored at site, form of wastes discharged into environment.

8.2.6 Establishing clear objectives of environmental risk management programs

The development of good environmental management policies begins with establishing clear fundamental objectives of the programs, including necessity of risk reduction, performance of risk reduction technology, and budgets. Balancing these objectives will determine an appropriate environmental management policy, which will in turn be used to develop the implementation programs.

8.3 Summary of the Environmental Justice in Thailand

Nowadays, abundant man-made environmental problems in Thailand frequently are abandoned and the responsible parties could not certainly be identified due to several difficulties directly and indirectly related to the environmental justice which can be summarized below.

- 1) Environmental Cases and Regulations

Thai environmental laws and regulations currently ex

- 2) fsdfds

8.4 Difficulties and Obstacles for Environmental Justice and Groundwater Contamination Problems in Thailand

Nowadays, groundwater contamination problem is considered a very serious environmental problem, perhaps due to the environmental health damage it could create once the contamination occurs. Therefore, groundwater contamination problem needs to be addressed very seriously with well understanding in the behavior of these contaminants in subsurface environments as well as a well cooperation from several authorities in Thailand. The difficulties and obstacles for a successful groundwater remediation and restoration may be summarized below.

- Lack of knowledge and understanding of the contaminants' behaviors in the subsurface
- Lack of knowledge and understanding of the subsurface geological, hydrogeological, and geochemical of the subsurface environments
- Lack of cutting-edge technologies to perform site characterization at the contaminated sites, especially for nonaqueous phase liquids
- Lack of well-trained personnel who are familiar with high-resolution restoration and remediation technologies at the contaminated sites
- No direct environmental fund to take care of the national contamination problems such as superfund in the US.
- No emergency fund to react immediately to the emergency or accidental spill that could lead to a severe environmental problem
- No "National Priority List" for groundwater contamination sites and/or other types of environmental problems in Thailand
- Lack of experts in environmental forensics to proof or disproof the origin of contamination in the environment

Chapter 9

Conclusions

Risk assessment from groundwater contamination was conducted, including investigating geological, hydrological, and hydrogeological conditions; field surveying for water demand and water use pattern in the studying area; estimating the extent of groundwater contamination; numerically simulating groundwater flow and contaminant transport in the studying area. The results from surface and subsurface geophysical survey using television logging conducted within the 10 newly-installed monitoring wells within the waste disposal site and vicinity and caliper logging in 12 monitoring wells indicated that the limestone right underneath the hazardous waste disposal site and vicinity possessed plenty of horizontal fractures varying in size and depth with relatively less vertical fractures. There were 2 major rock fracture directions in the studying area, Southeastern-Northwestern and Northeastern-Southwestern, with an averaged direction at 26° . Two major transmissive zones due to main fractures were located at 20-30 m and 45-50 m from ground surface and rock porosity was also estimated from the television log to be 10-45%.

Groundwater quality analyses were conducted twice in February and June 2007 and the results revealed that groundwater aquifer in the studying area was contaminated with volatile organic compounds including TCE, PCE, benzene, 1,2-dichloroethane, cis-1,2-dichloroethylene, and 1,1,2-trichloroethane. TCE plume covered the highest extent of groundwater contaminant. Five ppb plume of TCE was estimated based on the analyses of groundwater samples collected in June 2007 to be 600 m wide (East-West direction) and 700 m long (North-South direction) which covered the total area of $300,000 \text{ m}^2$. By comparing TCE plume generated from groundwater quality data collected in February 2007 and June 2007, TCE plume was expanded by $45,000 \text{ m}^2$ within three months period.

The results from these tasks were incorporated into a risk assessment model to evaluate any risks pertaining to contaminated groundwater consumption and to properly propose remedial investigations suitable for the groundwater contamination problem in the studying area. The results from this study indicated that groundwater resource underneath the hazardous waste disposal area and vicinity are contaminated with volatile organic compounds (VOCs) such as PCE, TCE, cis-DCE, and Benzene. These contaminants are known to be carcinogenic and therefore they possess a high risk the receptors downstream as they can travel further at a considerably high speed in groundwater aquifer.

The risk impact assessment revealed that the contaminated groundwater in the studying area and vicinity can cause the following damages: (1) income loss of people due to health problems, (2) loss due to uncultivable lands, (3) income loss of water supply business, and (4) groundwater restoration expense. Over 50 years, the net present value of total risk (discount rate of 8 percent) is estimated to be 973,824,925 baht.

In the next step, risk response, we proposed three possible alternatives for groundwater remediation, namely, (1) no action, (2) five-year remediation plan, and (3) ten-year remediation plan. It was found that both alternative 2 and alternative 3 can reduce the risk of groundwater contamination, but with different efficiencies. That is, alternative 3 is more efficient than alternative 2 (approximately 7 percent). In terms of cost, the total cost of alternative 3 is also lower than that of alternative 2 (i.e., 384,237,361 baht as compared to 692,976,924 baht). Considering the benefit to cost ratios, both alternatives are economically favorable because their ratios are greater than one. However, alternative 3 is more favorable than alternative 2 because of the higher value.

The final decision on the risk response alternative however should not be based solely on economic factor. The decision maker should also take into account other factors such as degree of emergency, the country's environmental policy, the agency's policy, and budget.