



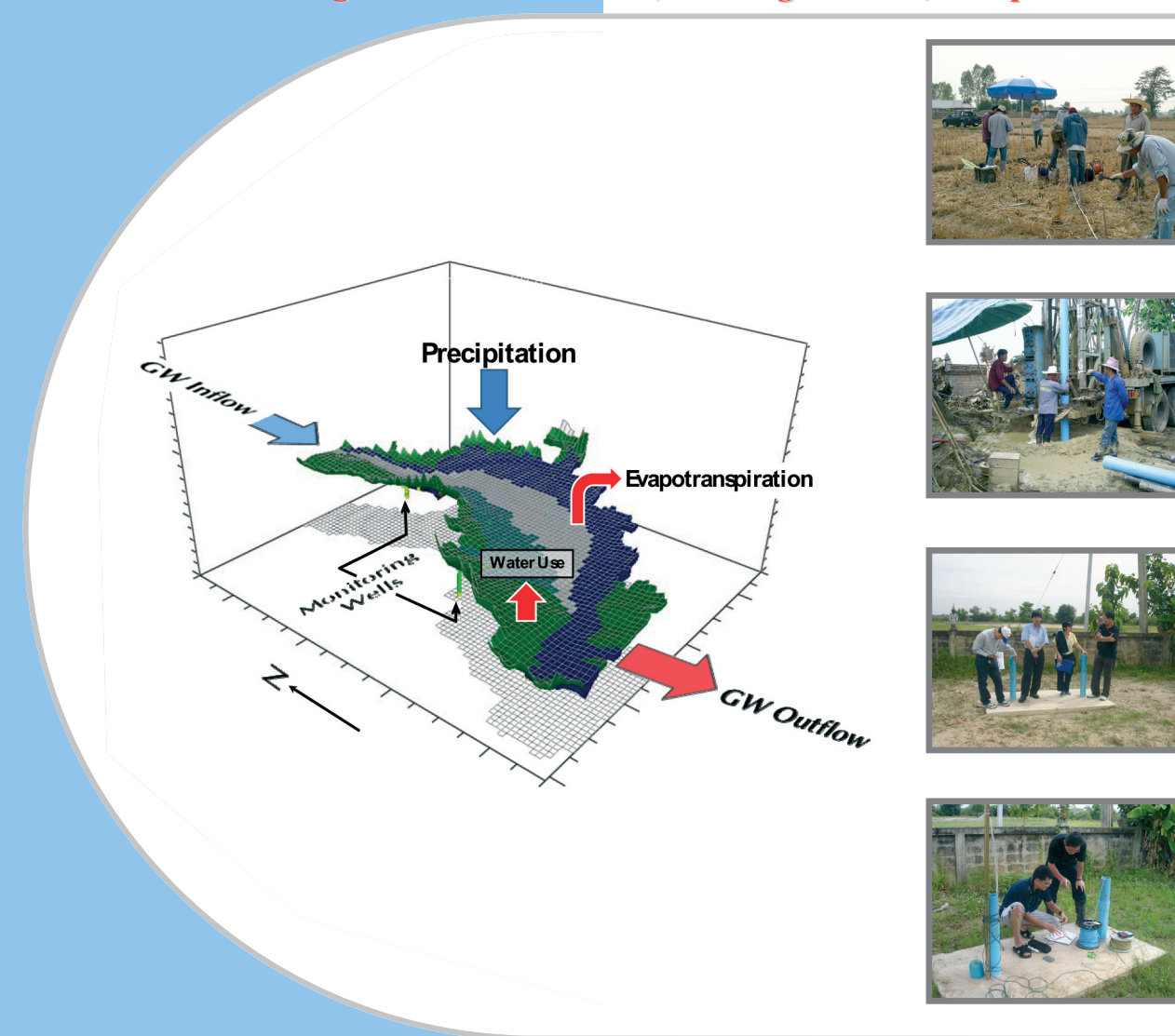
ศูนย์บริการเทคโนโลยีน้ำบาดาล
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์/โทรสาร 053-943480
URL: www.gtsc.science.cmu.ac.th
E mail : gtsc@science.cmu.ac.th

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive summary Report

โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาลจากสารอินทรีย์ไอระเหย
บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

Monitoring of Groundwater Contamination from Volatile Organic Compounds in
Northern Region Industrial Estate, Mueang District, Lamphun Province



เสนอ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล



โดย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มีนาคม 2551

โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาลจากสารอินทรีย์ไอระเหย
บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

ผู้จัดทำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล อาคารกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ชั้น 8, 9 เลขที่ 49 ซอย 30 เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ 0-2299-3900 โทรสาร 0-2299-3927 http://www.dgr.go.th
ผู้ศึกษา	ศูนย์บริการเทคโนโลยีน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โทรศัพท์/โทรสาร 0-5394-3480 http://www.gtsc.science.cmu.ac.th
การอ้างอิง	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2551. โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาลจากสารอินทรีย์ไอระเหย บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน 72 หน้า
ISBN	978-974-672-284-1
คำสืบค้น	รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร สารอินทรีย์ไอระเหย VOC
พิมพ์เมื่อ	มีนาคม 2551
จำนวนที่พิมพ์	50 เล่ม
จำนวนหน้า	72 หน้า
ผู้พิมพ์	ปิยนุช โทรศัพท์ 0-5394-3480

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทย ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาล จากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

เสนอต่อ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

มีนาคม 2551

โดย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาล
จากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ
อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

คณะกรรมการ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

คณะกรรมการพิจารณาเลือกที่ปรึกษา

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. นาง โสภณัฐ ภิรมย์เลิศ | นักธรณีวิทยา 8ว. |
| 2. นาง อรณัฐ หล่อเพ็ญศรี | นักธรณีวิทยา 8ว. |
| 3. นาย สุทธิใจ วงษ์ศรี | นักวิทยาศาสตร์ 8ว. |
| 4. นาย วีระพล เบ็ญจมาลา | วิศวกรเครื่องกล 7วช. |
| 5. นาง อมรรัตน์ ภู่อิ่ม | เจ้าพนักงานธุรการ 5 |

คณะกรรมการตรวจรับจ้าง

- | | |
|--------------------------------|--------------------|
| 1. นาย ชัยยง คงคาอุดม | นักธรณีวิทยา 7ว. |
| 2. นาย บรรจง พรหมจันทร์ | นักธรณีวิทยา 7ว. |
| 3. นาย วัฒนพงศ์ มนต์รี | วิศวกร 7ว. |
| 4. นางสาว หทัยรัตน์ ชัยปรีชาพล | นักวิทยาศาสตร์ 7ว. |
| 5. นางสาว อุไร บางยี่ขัน | เจ้าพนักงานพัสดุ 5 |

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาล
จากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ
อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

คณะทำงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. ผศ. ดร. ฟองสวาท สุวคนธ์ สิงห์ราชวรพันธุ์*	หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
2. ผศ. ดร. วุฒิ อุตตโม*	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา
3. ผศ. ดร. จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศิลป์**	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
4. ดร. สุนันทา ว่างกานต์*	ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีวิเคราะห์
5. ดร. ศตวรรษ แสนทนต์*	ผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลองคณิตศาสตร์
6. ดร. สราวุธ จันทร์ประเสริฐ*	นักธรณีวิทยาโครงสร้าง
7. นาย เอกจำเริญ จันทร์ดี*	นักธรณีฟิสิกส์
8. นาย บุญญสิทธิ์ คิ้วดวงตา*	นักอุทกธรณีวิทยา
9. นาย ภาณุพงศ์ จังสิตยพร**	วิศวกรสิ่งแวดล้อม
10. อ. ไพสิฐ พานิชย์กุล***	นักกฎหมายสิ่งแวดล้อม
11. นางสาว ปิยนุช โพธิ์เกิด*	ผู้ประสานงาน
12. นางสาว ศุภรัตน์ ศรีลา*	เลขานุการ

หมายเหตุ : * คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*** คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

1. หลักการและเหตุผล

นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ เป็นนิคมอุตสาหกรรมแห่งแรกในส่วนภูมิภาค ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2528 ตั้งอยู่ที่ตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน มีจำนวนคนงานที่ทำงานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมภายในพื้นที่มากกว่า 37,000 คน (ข้อมูลปี พ.ศ. 2549) อุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการอยู่ ได้แก่ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องมือเครื่องจักร อุตสาหกรรมผลผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องหนัง อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องมือ อุตสาหกรรมเครื่องประดับ และอื่น ๆ

เมื่อปี พ.ศ. 2541 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (ERTC) กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ทำการสำรวจบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ และพบว่ามีสารปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินในระดับต้นจากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ไตรคลอโรเอธิลีน โทลูอิน เอทิลเมทิลคีโตน และอื่น ๆ (ทั้งนี้สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ไตรคลอโรเอธิลีน มีรายงานว่าเป็นสารก่อมะเร็ง) ซึ่งการแก้ไขหรือบำบัดการปนเปื้อนของสารดังกล่าวนี้ทำได้ยากมาก และใช้งบประมาณสูง ปัจจุบันยังไม่มีมาตรการดำเนินงานใดๆในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นการติดตามตรวจสอบเพื่อประเมินการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนในน้ำใต้ดินระดับต้น และน้ำบาดาล บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะได้วางแผนการติดตามตรวจสอบในระยะยาว รวมทั้งการหามาตรการแนวทางในการป้องกันและบำบัดฟื้นฟู

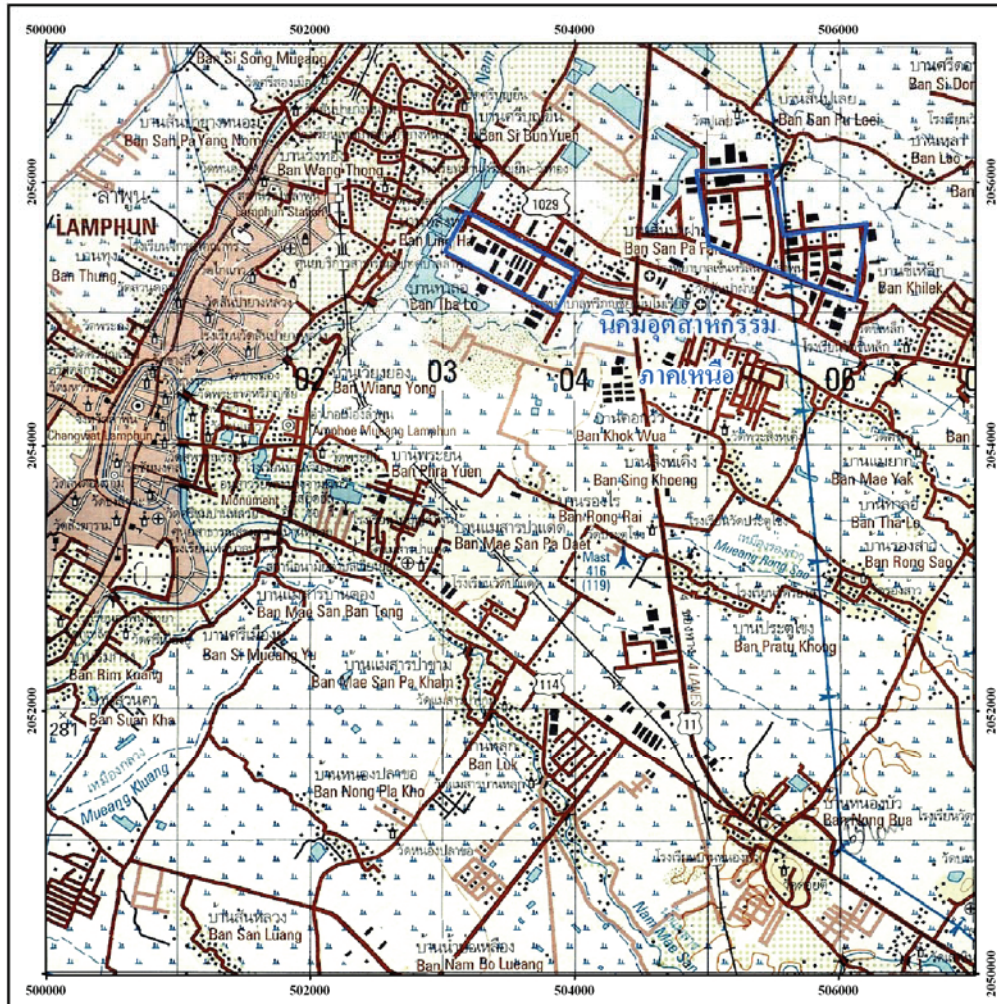
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อตรวจสอบระดับและขอบเขตการปนเปื้อนของน้ำบาดาล จากสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน และพื้นที่ใกล้เคียง
- 2) เพื่อประเมินสถานการณ์การปนเปื้อน รวมทั้งแนวโน้มการกระจายตัว และคาดการณ์ผลกระทบหรืออันตราย ที่มีต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่มีโอกาสสัมผัสทั้งทางตรงและทางอ้อม
- 3) เพื่อศึกษาหาแนวทางของการฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลหากพบการปนเปื้อน

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูนและบริเวณใกล้เคียง (รูปที่ 1)





สัญลักษณ์



นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ



โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาล จากสารอินทรีย์โอระเหย บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน	
พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูนและบริเวณใกล้เคียง	ศูนย์บริการเทคโนโลยีน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (GTSC)



รูปที่ 1 พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูนและบริเวณใกล้เคียง





4. ขอบเขตการศึกษา

- 1) ทบทวนการศึกษาและข้อมูลการปนเปื้อนที่เคยศึกษามาก่อน ตลอดจนกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม
- 2) ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นชั้นน้ำที่ไม่มีแรงดัน

3) สำรวจสภาพการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่บริเวณที่ศึกษาและใกล้เคียง และสำรวจภาคสนามเพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำในทุกชั้นน้ำบาดาล โดยมีการวัดระดับปากบ่อน้ำบาดาลด้วยเครื่องและวิธีการที่เป็นมาตรฐานทางด้านวิศวกรรมสำรวจ

4) สำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้า ที่ความลึก (AB/2) ไม่น้อยกว่า 100 เมตร จำนวนอย่างน้อย 40 จุด

5) สร้างระบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบระดับและคุณภาพของน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา โดยเจาะบ่อน้ำบาดาลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ลงท่อพีวีซี ดังนี้

ความลึก 10 เมตร	จำนวน	10	บ่อ
ความลึก 30 เมตร	จำนวน	10	บ่อ
ความลึก 50 เมตร	จำนวน	10	บ่อ

และทำการหยั่งธรณีหลุมเจาะ โดยวิธี Resistivity, SP และ Gamma เพื่อศึกษาลักษณะชั้นดิน/หิน ภายใตผิวดิน

6) ศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเพื่อแบ่งชั้นน้ำ แล้วทำการหาสมบัติทางกลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลโดยการสุบทดสอบ ไม่น้อยกว่า 10 บ่อ ระยะเวลาสุบไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง โดยต้องวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ ในชั้นน้ำเดียวกันไม่น้อยกว่าชั้นละ 2 บ่อ รวมทั้งทำการทดสอบด้วยสารติดตาม (Tracer test) เพื่อยืนยันทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของมวลสารในน้ำใต้ดิน

7) การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำ (บ่อวงและบ่อความลึก 10 เมตร 30 เมตร และ 50 เมตร) จำนวนไม่น้อยกว่า 60 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บ 2 ครั้ง ตามฤดูกาล รวมแล้วไม่น้อยกว่า 120 ตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน (1,1-dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; chloroform ; 1,2-dichloroethane ; benzene ; trichloroethylene ; toluene ; 1,1,2-trichloroethane ; tetrachloroethylene ; ethylbenzene ; p-xylene และ o-xylene) และวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่ม วิเคราะห์โลหะหนัก พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อมูลผลการวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานในน้ำเพื่อสรุปและประเมินสถานการณ์การปนเปื้อน

8) จัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) ของพื้นที่ศึกษา แล้วพัฒนาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater flow model) และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร (Solute transport model) เพื่อใช้ทำนายการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์





ไฮโดรคาร์บอน โดยให้ที่ปรึกษาเสนอซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการศึกษาโมเดลที่ออกมาล่าสุด ไม่น้อยกว่า 3 โปรแกรม พร้อมมอบลิขสิทธิ์และอุปกรณ์การทำงานให้กับกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

9) วิเคราะห์และประเมินสถานการณ์การปนเปื้อน

10) ศึกษาและประเมินมูลค่าความเสียหายต่อน้ำบาดาล ในกรณีที่ไม่มีการบำบัดฟื้นฟู

11) ในกรณีที่พบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลและจำเป็นต้องมีการฟื้นฟู ให้เสนอแนวทางการฟื้นฟูและบำบัดแหล่งน้ำบาดาลนั้น รวมถึงประเมินงบประมาณ และข้อดีข้อเสียของแต่ละแนวทางด้วย หากไม่พบการปนเปื้อน ให้เสนอแนวทางและระบบการเฝ้าระวัง เพื่อติดตามสถานการณ์น้ำบาดาลอย่างใกล้ชิดต่อไป รวมทั้งศึกษาความเกี่ยวข้องในข้อกฎหมายทั้งเรื่องความรับผิดชอบและอาญา

5. วิธีการศึกษา

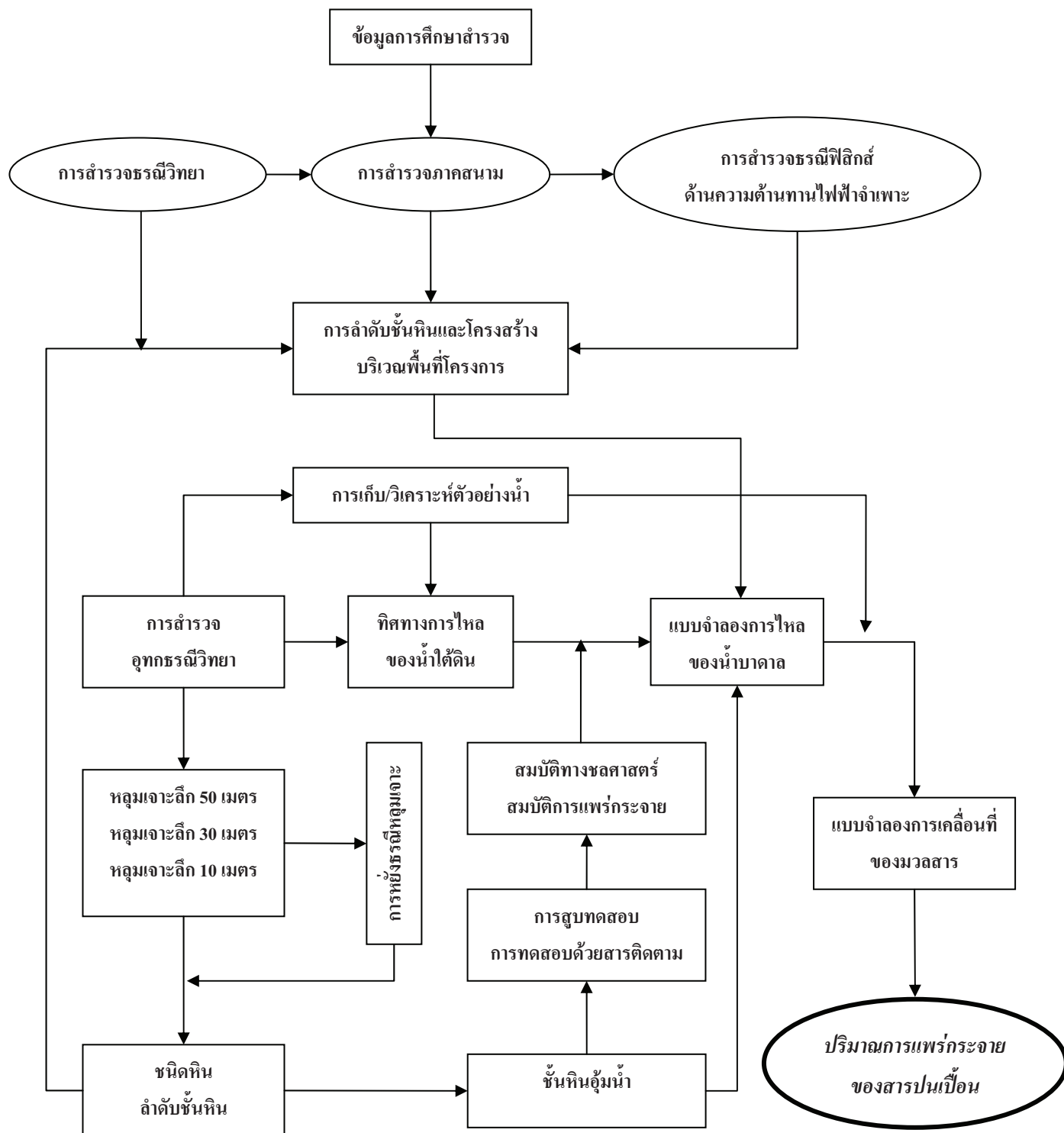
เริ่มจากขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลเดิม การศึกษาสำรวจด้านธรณีวิทยา การศึกษาสำรวจด้านธรณีฟิสิกส์ และการศึกษาสำรวจด้านอุทกธรณีวิทยา แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลผลและสรุปผล จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาจัดทำเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การประเมินผลในเรื่อง มูลค่าความเสียหายต่อน้ำบาดาล รวมทั้งเสนอแนวทางการบำบัดฟื้นฟู และ/หรือ แนวทางการเฝ้าระวัง ดังแสดงในรูปที่ 2

6. สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน

สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารประกอบที่จัดอยู่ในกลุ่ม Non Aqueous Phase Liquids (NAPLs) หรือของเหลวที่ไม่ใช่น้ำ ซึ่งโดยทั่วไป NAPLs จะหมายถึง ของไหลที่มีลักษณะเป็นสารอินทรีย์ ที่มีความสามารถในการละลายในน้ำได้ต่ำ NAPLs จะเคลื่อนที่ในลักษณะที่แยกออกมาต่างหาก และมักจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งตรงข้ามกับสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่ละลายในน้ำได้ และเคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำใต้ดิน NAPLs ถูกใช้อย่างมากในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงถูกพบมากในบริเวณที่ทิ้งขยะหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจาก NAPLs เป็นสารที่มีแนวโน้มของความเป็นพิษ จึงอาจเป็นปัญหาต่อสถานะแวดล้อมได้

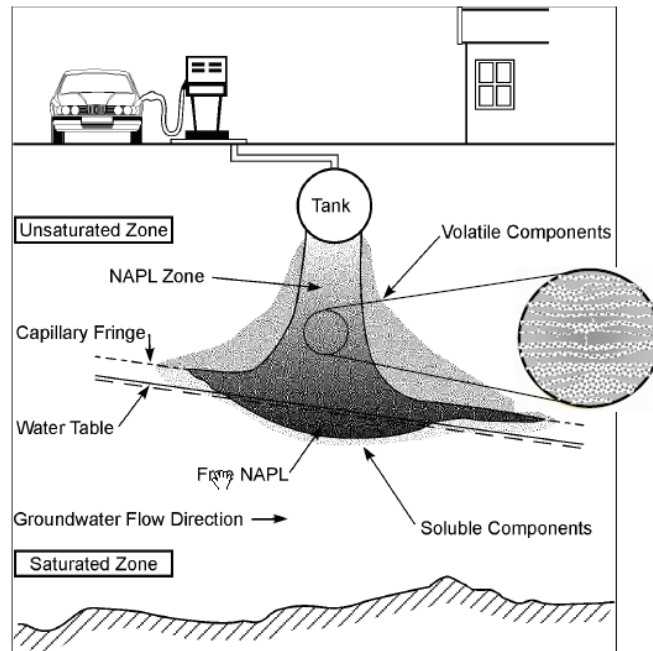
NAPLs แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ Light Non Aqueous Phase Liquid (LNAPL) ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นจึงมักจะลอยอยู่และเคลื่อนที่ไปบนชั้นน้ำบาดาลที่อิ่มตัว ตัวอย่างของ LNAPL ได้แก่ gasoline benzene และ xylene อีกกลุ่มหนึ่งคือ Dense Non Aqueous Phase Liquid (DNAPL) ที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงมักจะซึมผ่านระดับน้ำบาดาลลงไปและเคลื่อนตัวเข้าไปอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ ตัวอย่างของ DNAPL ได้แก่ TCE TCA และ PCE ทั้งนี้ลักษณะการปนเปื้อนของ NAPLs ในดินและในน้ำใต้ดินจะแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3



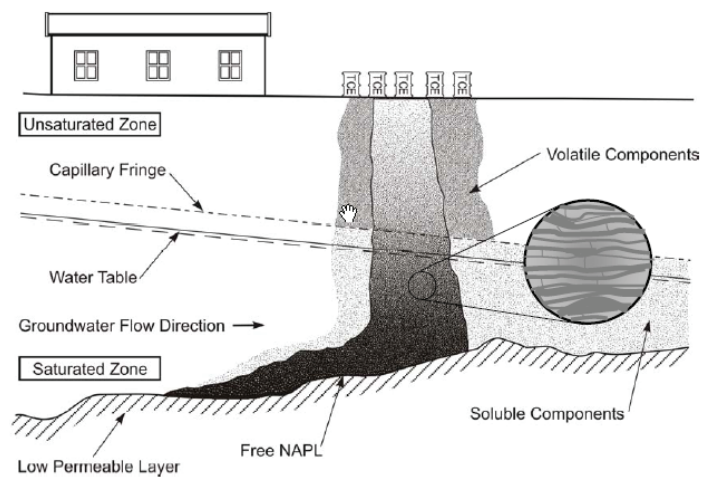


รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน





(ก)



(ข)

รูปที่ 3 การเคลื่อนที่ของ (ก) LNAPL และ (ข) DNAPL (Mayer and Hassanizadeh, 2005)



ประเทศไทย มีมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ซึ่งกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของสารต่างๆ ที่อาจจะมีได้ในน้ำบาดาล โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ได้ระบุเกี่ยวกับปริมาณของสารอินทรีย์โอระเหยไว้ด้วย ทั้งนี้ trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารตัวทำลายในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบน้ำมัน หรือคราบไขมัน และเรซินต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบปนเปื้อนได้บ่อยและได้รับการศึกษาค้นคว้าวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในต่างประเทศ ในด้านผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์ทดลองและมนุษย์ TCE เป็นสารก่อมะเร็งร้ายแรงชนิดหนึ่ง (Group 2A carcinogen – probably carcinogenic to humans) ตามนิยามและการยอมรับของ International Agency for Research on Cancer (IARC) และ World Health Organization (WHO)

7. การศึกษารวบรวมข้อมูลเดิม

Subtavewung and Singharajwarapan (2007) ได้ศึกษาเพื่อประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน ในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา และใช้วิธีการประเมินแบบคราสติก ทั้งนี้เมื่อนำแผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินแอ่งเชียงใหม่ มาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่แล้ว ชั้นน้ำใต้ดิน มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนในระดับต่ำถึงปานกลาง ยกเว้น พื้นที่บริเวณด้านตะวันตก ที่ชั้นน้ำใต้ดิน มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนในระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าว มีสภาพธรณีวิทยาเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง นอกจากนั้น หากมีการนำทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในภาพรวม ซึ่งมีทิศทางโดยประมาณ จากทิศตะวันออกไปตะวันตก หรือตะวันตกเฉียงใต้ เข้ามาพิจารณาด้วย จะทำให้พื้นที่บริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา เป็นบริเวณที่ควรมีการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าว เป็นไปอย่างยั่งยืน

กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมด้านน้ำ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมีศักดิ์ มลิทธิพิสมัย และคณะ (2544) รายงานถึงการพบการปนเปื้อนของคลอรีเนตเอทิลีน (Chlorinated Ethylene) ในน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ โดยผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่ามีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์โอระเหยในดินและน้ำใต้ดิน ในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างน้อย 3 โรงงาน ซึ่งเป็นการปนเปื้อนของสาร trichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene และ vinyl chloride ความเข้มข้น 7.22, 0.57, 0.35 และ 0.32 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวสูงกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพ น้ำใต้ดิน พ.ศ. 2543

สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม (2549) รายงานผลการศึกษาของโครงการวิจัยเรื่อง “ธรรมาภิบาลและการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม” พบปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาของการปนเปื้อนที่เกิดจากการผลิตของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บริเวณพื้นที่





นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน และปัญหาการเจ็บป่วยของแรงงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ฟองสาวท สุวพันธ์ สิงห์ราชวรพันธ์ และคณะ (2549) ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับตื้น ในโครงการ “ข้อเสนอแนวทางการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนสารเคมีในดินและน้ำใต้ดิน กรณีตัวอย่างการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนในน้ำใต้ดิน บริเวณชุมชนรอบพื้นที่อุตสาหกรรม จังหวัดลำพูน” และได้แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับตื้น ที่เก็บจากชุมชนรอบนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 16 ตำแหน่ง จากการเก็บ 3 ครั้ง พบว่า มีน้ำใต้ดินถึง 12 ตำแหน่งที่ถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน โดยการปนเปื้อนในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันออกไป ทั้งชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนที่พบ

บริษัท เมทริกซ์ แอสโซซิเอตส์ จำกัด ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน และจัดทำแผนป้องกันและฟื้นฟูการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนในดินและน้ำใต้ดิน โดยจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม จังหวัดลำพูน (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547) ซึ่งผลการจำลองในสภาพธรรมชาติ พบว่าการไหลของน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษามีทิศทางการไหลจากพื้นที่ทางทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตกผ่านนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ออกสู่น้ำแม่กวง และบางส่วนไหลลงสู่น้ำแม่กวงไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำในเขตตัวเมืองลำพูน

ศตวรรษ แสนทน และคณะ (2550) ได้จัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน รวมทั้งจัดทำแบบจำลองสาธิตแสดงการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายตัวของสารอินทรีย์ในดินและน้ำใต้ดิน เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยจำลองสมมุติให้มีการปนเปื้อนของสาร Trichloroethylene (TCE) แล้วแสดงผลการจำลอง ณ เวลาต่างๆ กัน ได้แก่ 5, 10, 15 และ 30 ปี อย่างไรก็ตามผลการจำลองที่แสดงไว้ในรายงาน คณะผู้ศึกษาได้ระบุว่า ไม่ใช่การเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของ TCE ในสภาพความเป็นจริง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง เป็นเพียงค่าที่สมมุติขึ้น ดังนั้น ผลการจำลองดังกล่าวจึงเป็นเพียงแนวโน้มของขอบเขตและทิศทางการปนเปื้อนเท่านั้น

8. สภาพธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ทางด้านใต้ของแอ่งเชิงใหม่และอยู่ในหน่วยหินตะกอนยุคควอเทอร์นารี หรืออยู่ในพื้นที่ราบของแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic basin) ชั้นตะกอนยุคควอเทอร์นารีสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนตามลักษณะการเกิดคือ (1) ตะกอนที่สะสมในที่ราบลุ่มตะกอนพัดและตะกอนที่สะสมในที่ราบน้ำท่วมถึง (2) ชั้นตะกอนที่ตกทับถมในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำปิงและน้ำแม่กวง ชั้นตะกอนประกอบด้วย ดินเหนียว ตะกอนทรายแป้ง ตะกอนทราย (รูปที่ 4)

สภาพธรณีวิทยาใต้พื้นผิว ศึกษาจากการลำดับชั้นตะกอนของข้อมูลหลุมเจาะ สามารถแบ่งชั้นตะกอนใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ออกเป็น 3 Sequence คือ Sequence I ช่วงความลึก 0-20 เมตร Sequence II ช่วงความลึก 20-45 เมตร Sequence III ช่วงความลึก 45-65 เมตร ในแต่ละ Sequence พบว่า





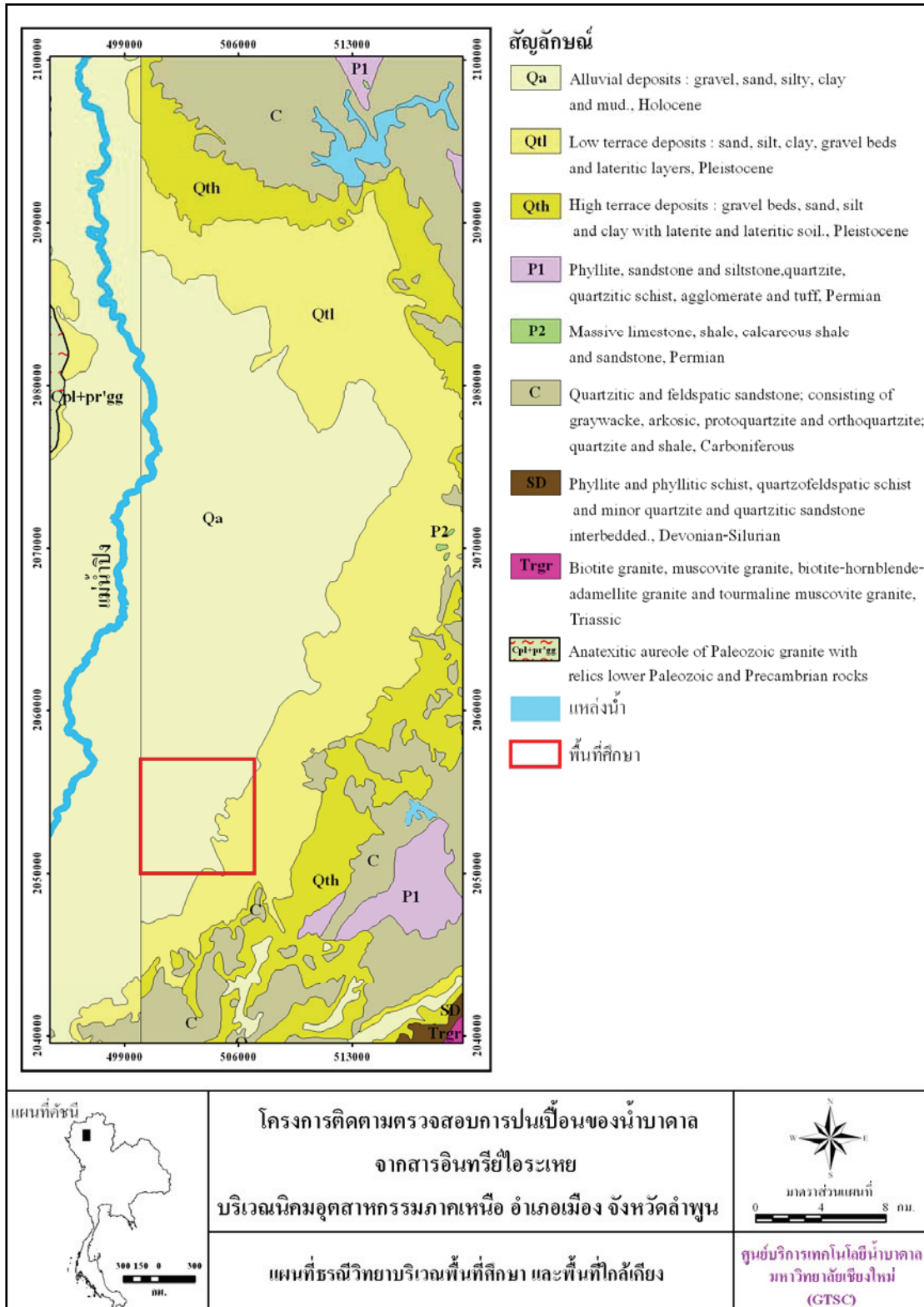
ประกอบด้วยชั้นตะกอน 3 แบบ คือ ชั้นตะกอนดินเหนียว (clay) ชั้นตะกอนทราย (sand) และชั้นตะกอนกรวด (gravel) ที่เหมือนๆ กัน แต่มีรายละเอียดทางคุณสมบัติย่อยแตกต่างกันไปได้อีกหลายชนิด เมื่อนำมาจัดทำเป็นแผนที่แสดงลักษณะปรากฏชั้นหิน (Lithofacies map) ที่ระดับความลึกจาก 5 เมตร ลงไปจนถึงความลึก 100 เมตร อาจสรุปลักษณะการแผ่กระจายของชั้นตะกอนในพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

ที่ระดับความลึกจากผิวดิน ลงไปถึงความลึกประมาณ 20 เมตร พบว่าชั้นตะกอนส่วนใหญ่เป็นตะกอนดินเหนียว เกือบทั้งหมด มีชั้นตะกอนทรายและกรวดแผ่เป็นแนวยาวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ ไปยังทิศใต้

ที่ระดับความลึก 20-45 เมตร ชั้นตะกอนทรายและกรวดพบมากขึ้นทางด้านใต้ โดยกระจายตัวจากทางด้านตะวันออกไปทางด้านตะวันตก วางตัวเป็นแนวยาวคล้ายกับแนวของแม่น้ำปายในอดีตรวม มีความกว้างประมาณ 1 กิโลเมตร โดยมีรูปแบบคดโค้งเหมือน Meandering river ในขณะที่ชั้นตะกอนดินเหนียวมีมากทางด้านเหนือ

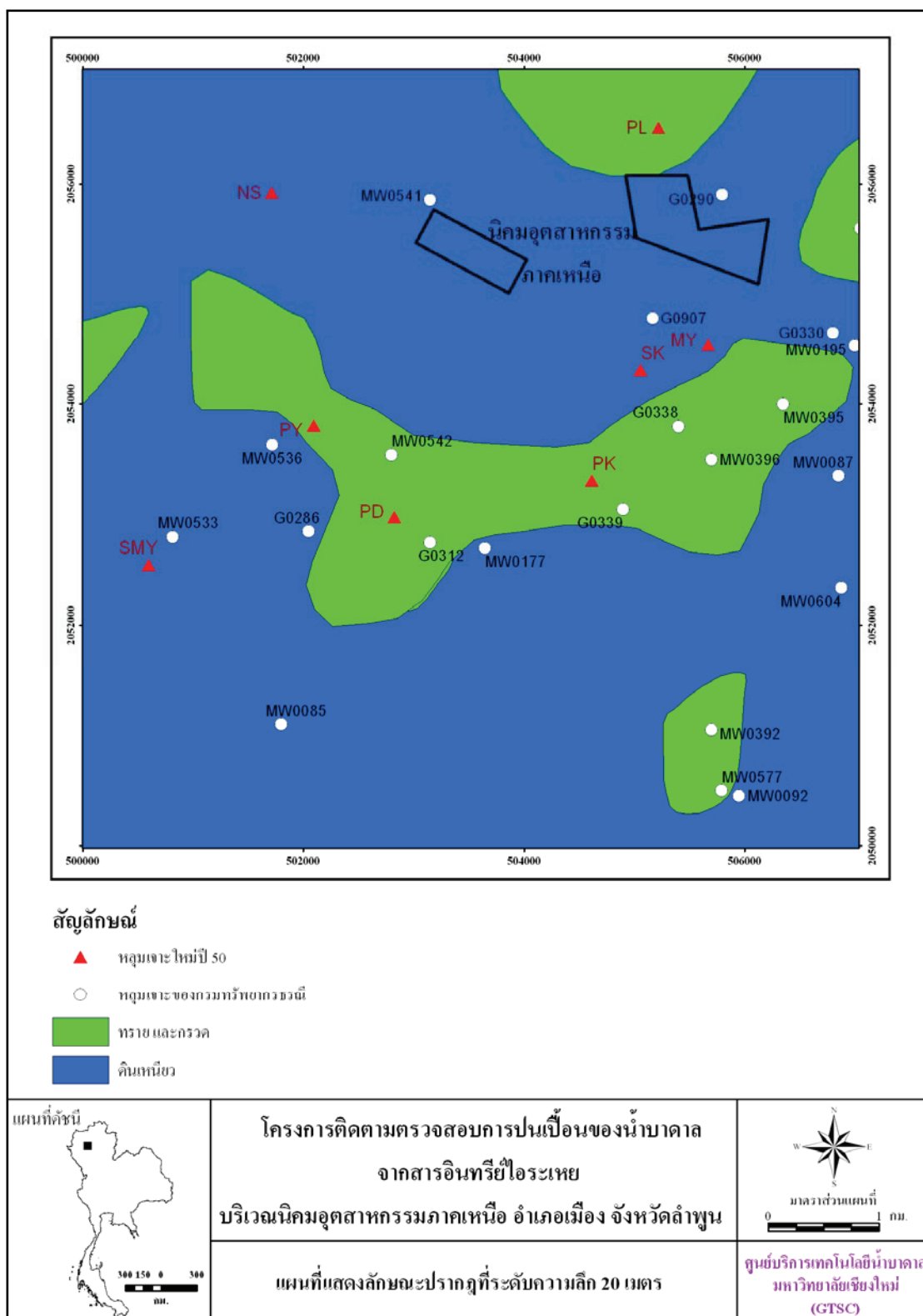
ที่ระดับความลึก 45 เมตรลงไปถึงความลึกประมาณ 100 เมตร ชั้นตะกอนทรายและกรวดมีการกระจายตัวลดลง แต่ยังคงพบในแนวยาวที่แผ่กระจายจากด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ลงมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ชั้นตะกอนส่วนใหญ่ภายใต้พื้นที่ศึกษา พบเป็นตะกอนดินเหนียว

รูปที่ 5, 6 และ 7 เป็นแผนที่แสดงลักษณะปรากฏชั้นหิน ที่ระดับความลึก 20 เมตร 40 เมตร และ 80 เมตร ตามลำดับ



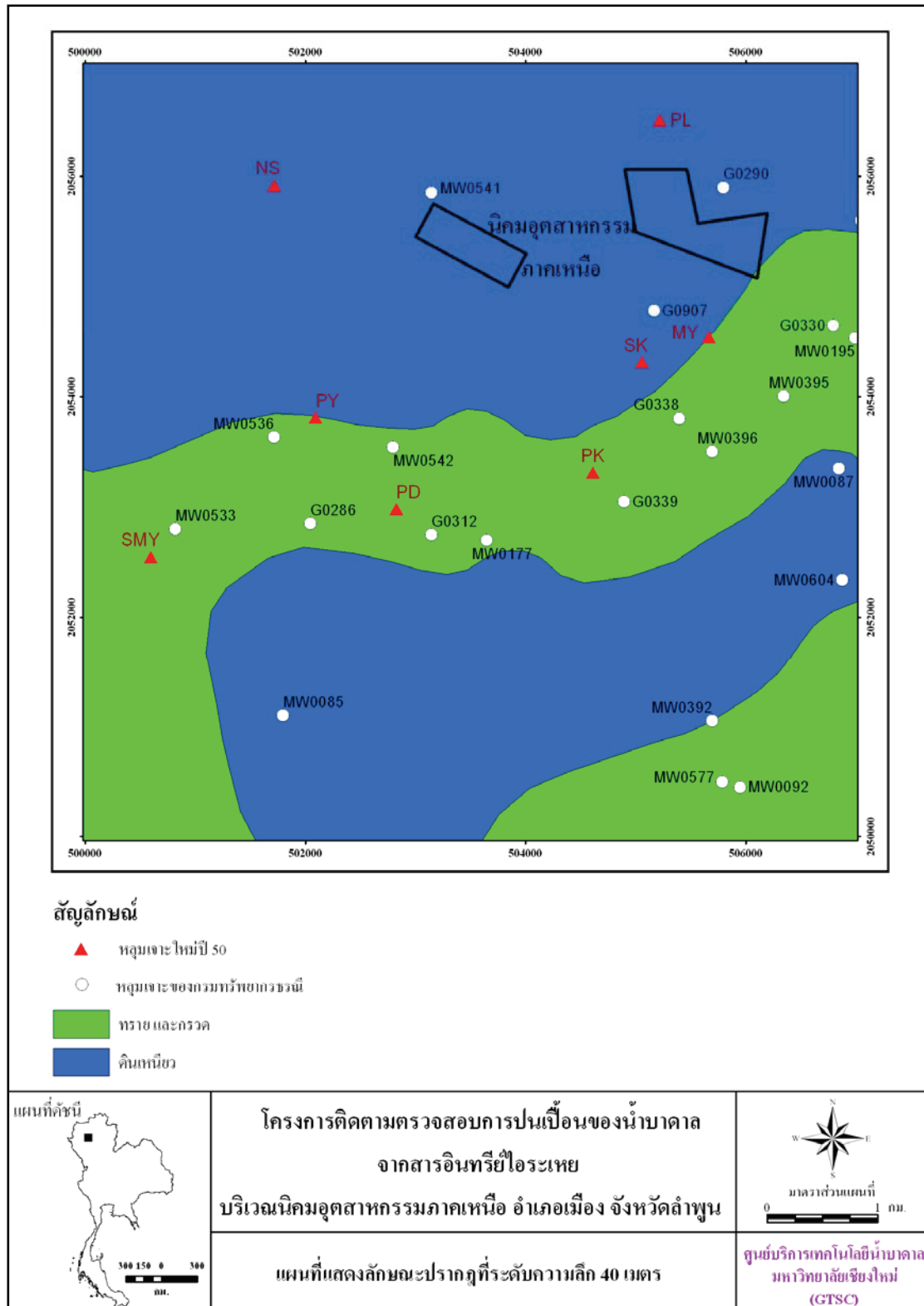
รูปที่ 4 แผนที่ธรณีวิทยบริเวณพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2543)





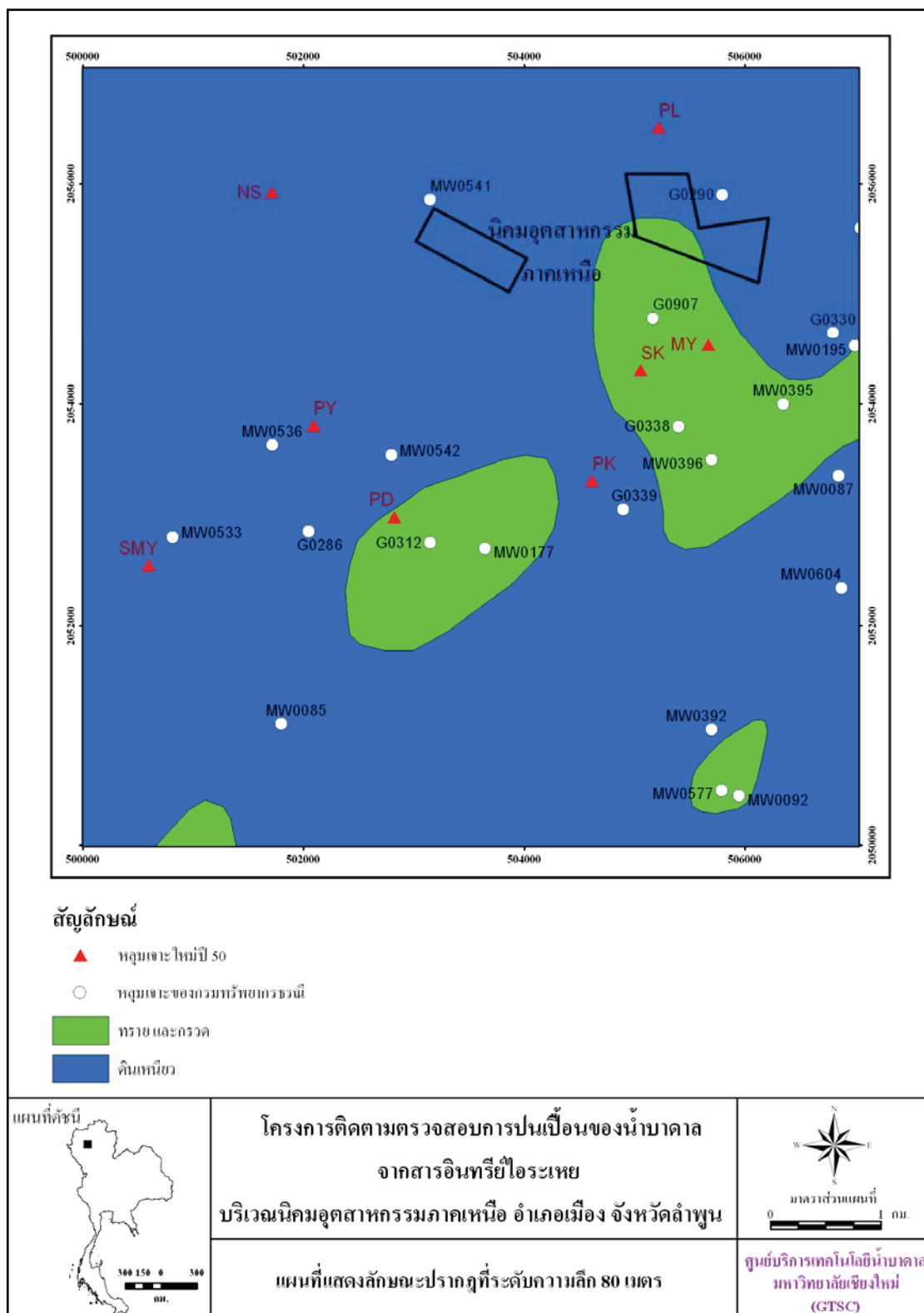
รูปที่ 5 แผนที่แสดงลักษณะปรากฏของชั้นตะกอนที่ระดับความลึก 20 เมตร





รูปที่ 6 แผนที่แสดงลักษณะปรากฏของชั้นตะกอนที่ระดับความลึก 40 เมตร





รูปที่ 7 แผนที่แสดงลักษณะปรากฏของชั้นตะกอนที่ระดับความลึก 80 เมตร





9. สภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

9.1 ชั้นน้ำใต้ดิน

ได้ทำการแบ่งชั้นน้ำในรายละเอียดตามลำดับชั้นตะกอนและลักษณะปรากฏของชั้นตะกอน รวมทั้งความลึกที่ให้น้ำในขณะทำการเจาะ พบว่าสามารถแบ่งชั้นน้ำออกได้เป็น 3 ชั้น ตามการแบ่ง Sequence ลักษณะของชั้นน้ำทั้งสาม มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) ชั้นน้ำที่ 1 เป็นชั้นน้ำซึ่งอยู่ที่ความลึกประมาณ 0-20 เมตร โดยส่วนบนสุดและส่วนล่างเป็นชั้นดินเหนียวค่อนข้างหนา มีชั้นตะกอนทรายปนกรวดที่เป็นชั้นน้ำแทรกอยู่ตรงกลาง มีความหนาไม่สม่ำเสมอ และวางตัวไม่ต่อเนื่อง ในชั้นน้ำที่ 1 นี้ ตะกอนทรายมีขนาดปานกลางจนถึงหยาบ และในบางพื้นที่พบกรวดปนดินเหนียวอยู่ด้วย
- 2) ชั้นน้ำที่ 2 เป็นชั้นน้ำซึ่งอยู่ที่ความลึกประมาณ 20-45 เมตร มีลักษณะเป็นตะกอนทรายขนาดละเอียดจนถึงขนาดปานกลาง พบได้หลายชั้นแทรกสลับกับชั้นดินเหนียว ความหนาของชั้นทรายไม่สม่ำเสมอและวางตัวไม่ต่อเนื่อง และในบางพื้นที่พบกรวดปนอยู่ด้วย
- 3) ชั้นน้ำที่ 3 เป็นชั้นน้ำซึ่งอยู่ที่ความลึกประมาณ 45-65 เมตร มีลักษณะเป็นตะกอนทรายขนาดหยาบ หรือตะกอนทรายขนาดหยาบปนกรวด มีความหนาไม่สม่ำเสมอและวางตัวไม่ต่อเนื่อง

9.2 สมบัติทางพลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน

ได้ทำการสุบทดสอบในบ่อบาดาล จำนวน 17 ชุด โดยแบ่งออกเป็น การสุบทดสอบแบบ Pumping test จำนวน 11 ชุด และการสุบทดสอบแบบ Slug test จำนวน 6 ชุด สมบัติทางพลศาสตร์ของชั้นน้ำ ได้แก่ ค่า Transmissivity (T) , Hydraulic conductivity (K), Storage coefficient (S) และค่า aquifer anisotropy ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า K ในแนวตั้งต่อค่า K ในแนวนอน แสดงเป็นค่าของทั้ง 3 ชั้นน้ำ ไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนั้น ได้ทำการทดสอบด้วยสารติดตามหรือ Tracer test ด้วย เพื่อหาสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายตัวของสารเคมีที่อยู่ในน้ำใต้ดิน (dispersivity, α_L) สำหรับใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองแสดงการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยได้ทำการทดสอบจำนวน 5 ชุด ผลการวิเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งค่า dispersivity ของชั้นหินอุ้มน้ำความลึกไม่เกิน 50 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวตั้งแต่ 8.7 ถึง 22.5 เมตร





ตารางที่ 1 ผลการสูบทดสอบ

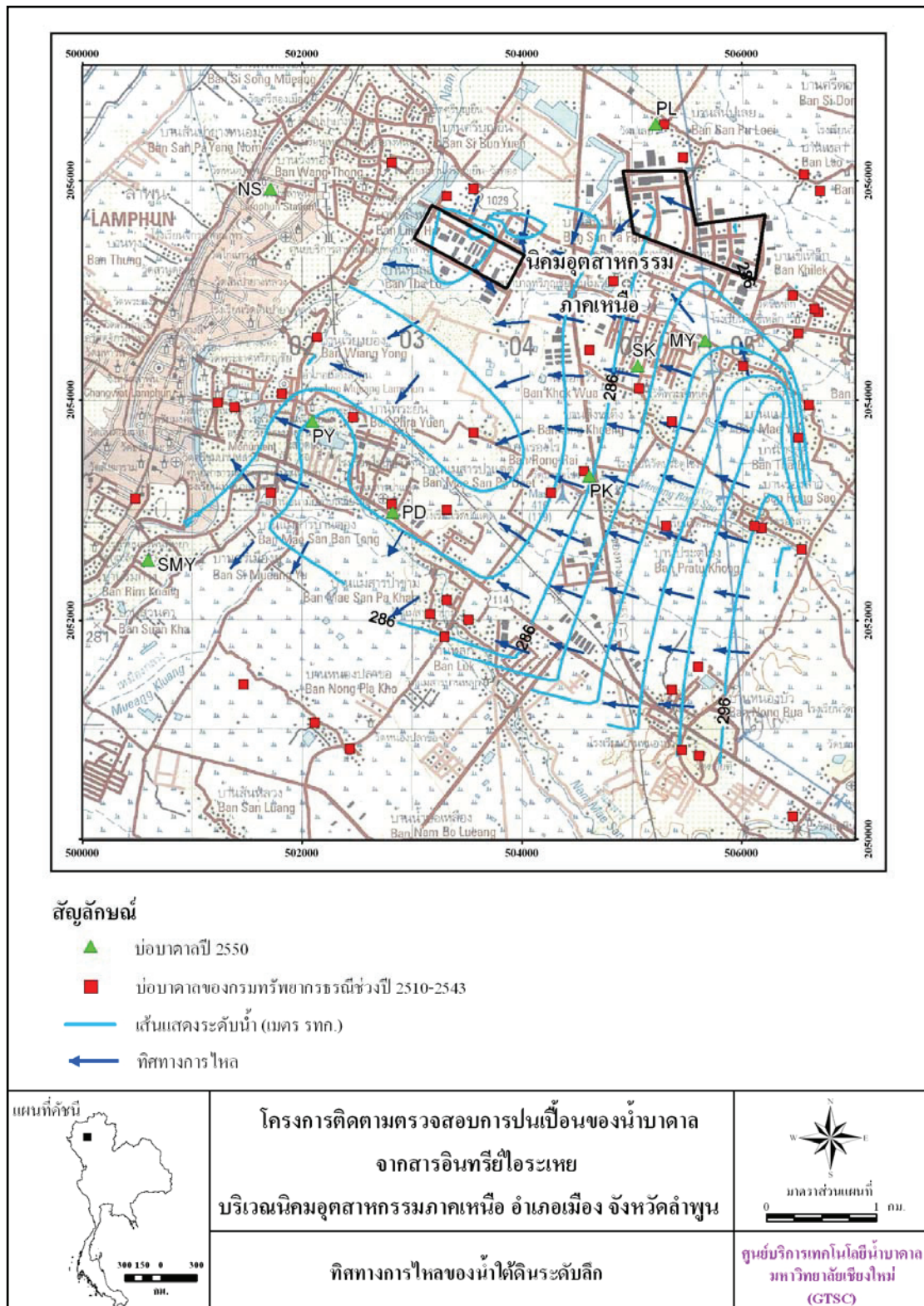
ชั้นน้ำ	ความลึก	T (m ² /day)	K (m/day)	S (-)	Anisotropy (K _v /K _h)
ชั้นน้ำที่ 1	0-20	31.2-138.0	2.6-11.5	2.45×10^{-3} - 5.75×10^{-7}	0.81-1.0
ชั้นน้ำที่ 2	20-45	0.39-55.2	0.049-6.9	1.63×10^{-3} - 8.76×10^{-4}	0.77 – 1.0
ชั้นน้ำที่ 3	45-65	8.88-77.6	1.11-9.7	1.72×10^{-3} - 6.79×10^{-3}	0.68-1.0

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบด้วยสารติดตาม

ชั้นน้ำ	ความลึก	Dispersivity, α_L (เมตร)
ชั้นน้ำที่ 1	0-20	16.3-22.5
ชั้นน้ำที่ 2	20-45	9.2-12.1
ชั้นน้ำที่ 3	45-65	8.7

9.3 ระดับน้ำใต้ดินและทิศทางการไหล

ในภาพรวม พบว่าระดับน้ำใต้ดินในบ่อดินหรือบ่อวาง อยู่ที่ความลึกจากผิวดินประมาณ 1-10 เมตร ในขณะที่ระดับน้ำในบ่อบาดาลหรือบ่อเจาะ มีความลึกจากผิวดินตั้งแต่ 5-25 เมตร ทิศทางการไหลของน้ำทั้งระดับตื้นและระดับลึก อยู่ในแนวประมาณตะวันออก-ตะวันตก โดยมีบางส่วนไหลไปในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 8 และรูปที่ 9) ทั้งนี้ พบว่า การไหลของน้ำในระดับตื้น มีทิศทางแปรเปลี่ยนมากกว่าระดับลึก อันอาจจะมีสาเหตุมาจากความไม่ต่อเนื่องกันของชั้นหินอุ้มน้ำ (ชั้นกรวด-ทราย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ และวางตัวไม่ต่อเนื่อง) หรืออาจเป็นผลมาจากชั้นน้ำระดับตื้นได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่



รูปที่ 9 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินระดับลึก





9.4 คุณภาพน้ำใต้ดิน

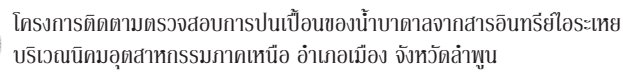
ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อวง (บ่อน้ำใต้ดินระดับตื้น) จำนวนทั้งสิ้น 30 จุด ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา และเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินของบ่อเจาะ (บ่อเจาะ ปี 2550) จำนวนทั้งสิ้น 30 หลุม (ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ แสดงในรูปที่ 10) โดยทำการเก็บทั้งหมด 2 ครั้งเพื่อวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และ โลหะหนัก ข้อมูลผลการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค พบว่า น้ำใต้ดินจากบ่อวง หรือน้ำใต้ดินระดับตื้น ส่วนใหญ่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้บริโภค เนื่องจากมีค่าความขุ่น ความกระด้าง ปริมาณสารละลายทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส คลอไรด์ ฟลูออไรด์ ไนเตรต และ ซัลเฟต ค่อนข้างสูง หรือสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนน้ำใต้ดินของบ่อเจาะ พบว่า มีบางตัวอย่าง ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้บริโภค เนื่องจากมีค่าความขุ่น ความกระด้าง ปริมาณสารละลายทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส คลอไรด์ ฟลูออไรด์ ไนเตรต และ ซัลเฟต ค่อนข้างสูง หรือสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ในแง่ของปริมาณโลหะหนัก ไม่พบแนวโน้มการปนเปื้อนของโลหะหนัก ยกเว้นพบปริมาณสังกะสีที่ค่อนข้างสูงแต่ยังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ในบางตัวอย่างน้ำเท่านั้น

9.5 คุณภาพน้ำใต้ดินกับการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน

ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อวงและบ่อเจาะ จำนวนทั้งสิ้น 60 บ่อ ณ ตำแหน่งเดียวกันกับที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี โดยทำการเก็บทั้งหมด 2 ครั้ง และได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด ได้แก่ 1,1- dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; Chloroform ; 1,2-dichloroethane ; Benzene ; Trichloroethylene ; 1,1,2-trichloroethane ; Toluene ; Tetrachloroethylene ; Ethylbenzene ; p-xylene และ o-xylene โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อประเมินการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

ผลการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับตื้นและระดับลึก สรุปได้ว่า พบสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือพบหลายชนิด จากทั้งหมด 13 ชนิด ในตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับตื้น (จากบ่อวง) จำนวน 12 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 30 ตัวอย่าง (รูปที่ 11) และระดับลึก (จากบ่อเจาะ) จำนวน 18 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 30 ตัวอย่าง (รูปที่ 12) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลผลการวิเคราะห์กับค่ามาตรฐานในน้ำใต้ดินแล้ว พบว่าในภาพรวม มีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่มีปริมาณค่อนข้างสูงในบางชนิด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า น้ำใต้ดิน (ความลึก ไม่เกิน 50 เมตร) ถูกปนเปื้อนด้วยการกระทำของมนุษย์ เนื่องจากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนไม่ใช่สารที่เกิดตามธรรมชาติ และสามารถคาดการณ์ได้ว่า เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชากรในพื้นที่อย่างแน่นอน รวมทั้งก่อให้เกิดความเสียหายกับทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างมาก

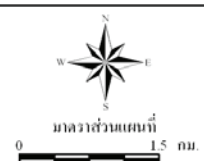




บ่อต้น ครั้งที่ 1 เดือนกันยายน 2550 พื้นที่ศึกษา
 ครั้งที่ 2 เดือนธันวาคม 2550
 บ่อลึก ครั้งที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2550
 ครั้งที่ 2 เดือนธันวาคม 2550

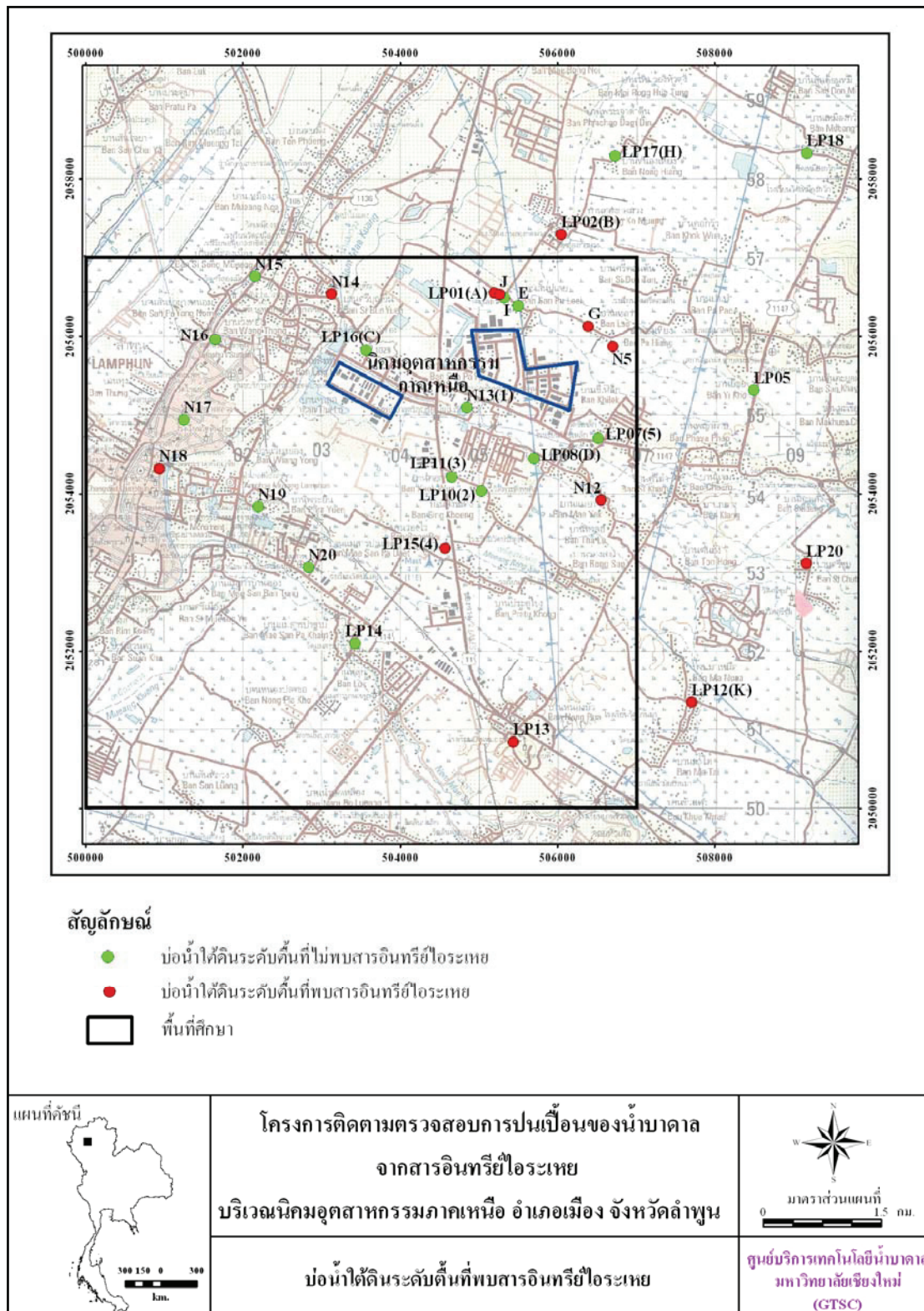


โครงการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำบาดาล จากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน
ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับต้นและระดับลึก



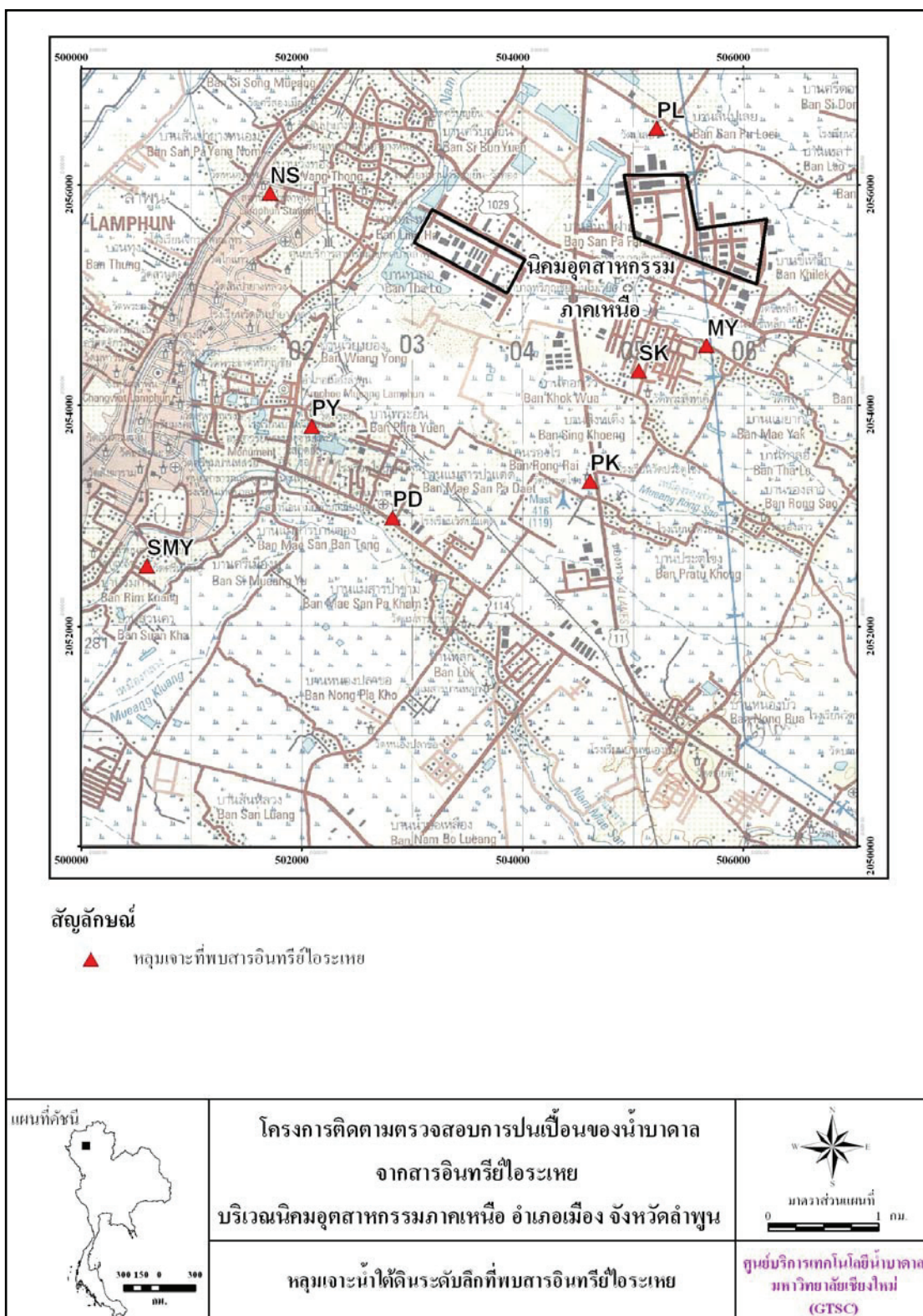
ศูนย์บริการเทคโนโลยีน้ำบาดาล
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
(GTSC)

จัดทำโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 11 บ่อน้ำใต้ดินระดับพื้นที่พบสารอินทรีย์โอโรเซเหย





รูปที่ 12 หลุมเจาะน้ำใต้ดินระดับลึกที่พบสารอินทรีย์โอระเหย





10. แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Model)

ได้จัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ทั้งในระดับสเกลใหญ่และเล็ก ซึ่งแบบจำลองสเกลใหญ่ หรือ regional model ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,800 ตารางกิโลเมตร ในแอ่งเชียงใหม่ที่เป็นชั้นตะกอนร่วนและตะกอนกึ่งแข็งตัว (รูปที่ 13) จากนั้นจึงย่อส่วนลงมาเป็นแบบจำลองสเกลเล็ก หรือ local model ของพื้นที่ศึกษาตามที่กำหนดไว้ คือ 7×7 ตารางกิโลเมตร (UTM-E: 500,000-507,000, UTM-N: 2,050,000-2,057,000) (รูปที่ 14) เพื่อจำลองสภาวะการไหล ในพื้นที่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ให้ได้ละเอียดยิ่งขึ้น

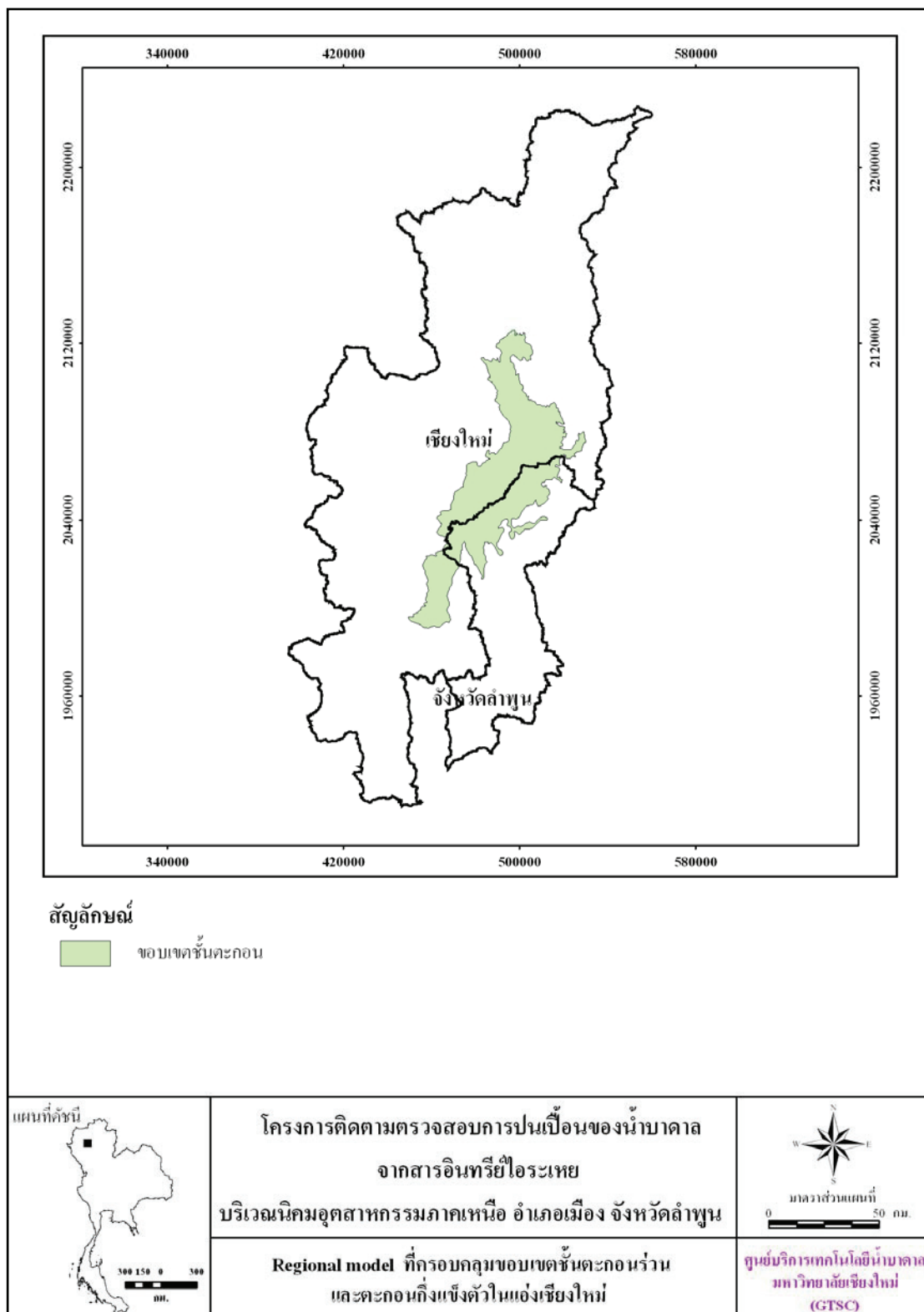
การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 15 ซึ่งในขั้นตอนแรก ต้องสร้างแบบจำลองมโนทัศน์ (Conceptual model) แล้วจึงเปลี่ยนแบบจำลองมโนทัศน์ ให้เป็นแบบจำลองการไหลเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical flow model) เพื่อจำลองการไหลทั้งที่เป็นการไหลในสภาวะคงที่ (steady-state) และการไหลในสภาวะไม่คงที่ (transient) ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference technique) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Visual MODFLOW® เวอร์ชัน 4.2 (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 2006) จากนั้นจึงปรับแบบจำลอง (model calibration) เพื่อให้มีสภาพการไหลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด และในขั้นตอนสุดท้าย จึงใช้แบบจำลองที่ได้รับการปรับแล้ว มาศึกษาแนวโน้มการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายตัวของสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนในน้ำใต้ดินต่อไป ในลักษณะของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร (Solute transport model)

ระยะเวลาของการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของแอ่งเชียงใหม่ (regional model) ใช้ข้อมูลระดับน้ำของปี พ.ศ. 2546 เป็นจุดเริ่มต้นของการจำลอง ซึ่งเป็นการจำลองการไหลในสภาวะคงที่ (steady state) และใช้ข้อมูลระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ จำลองการไหลในสภาวะไม่คงที่ (transient) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2550 จากนั้นจึงใช้แบบจำลองดังกล่าว ทำนายสภาวะการไหลต่อไปอีก 20 ปี จนถึง พ.ศ. 2570

สำหรับแบบจำลองการไหลของพื้นที่ศึกษา (local model) ได้ทำการจำลองการไหลในสภาวะไม่คงที่ตั้งแต่ปี 2547-2550 โดยใช้ผลการจำลองจาก regional model มากำหนดเงื่อนไขขอบ (boundary conditions) ทั้งสี่ด้านคือ ทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก จากนั้นจึงใช้แบบจำลองดังกล่าว ทำนายสภาวะการไหลต่อไปอีก 20 ปี จนถึง พ.ศ. 2570

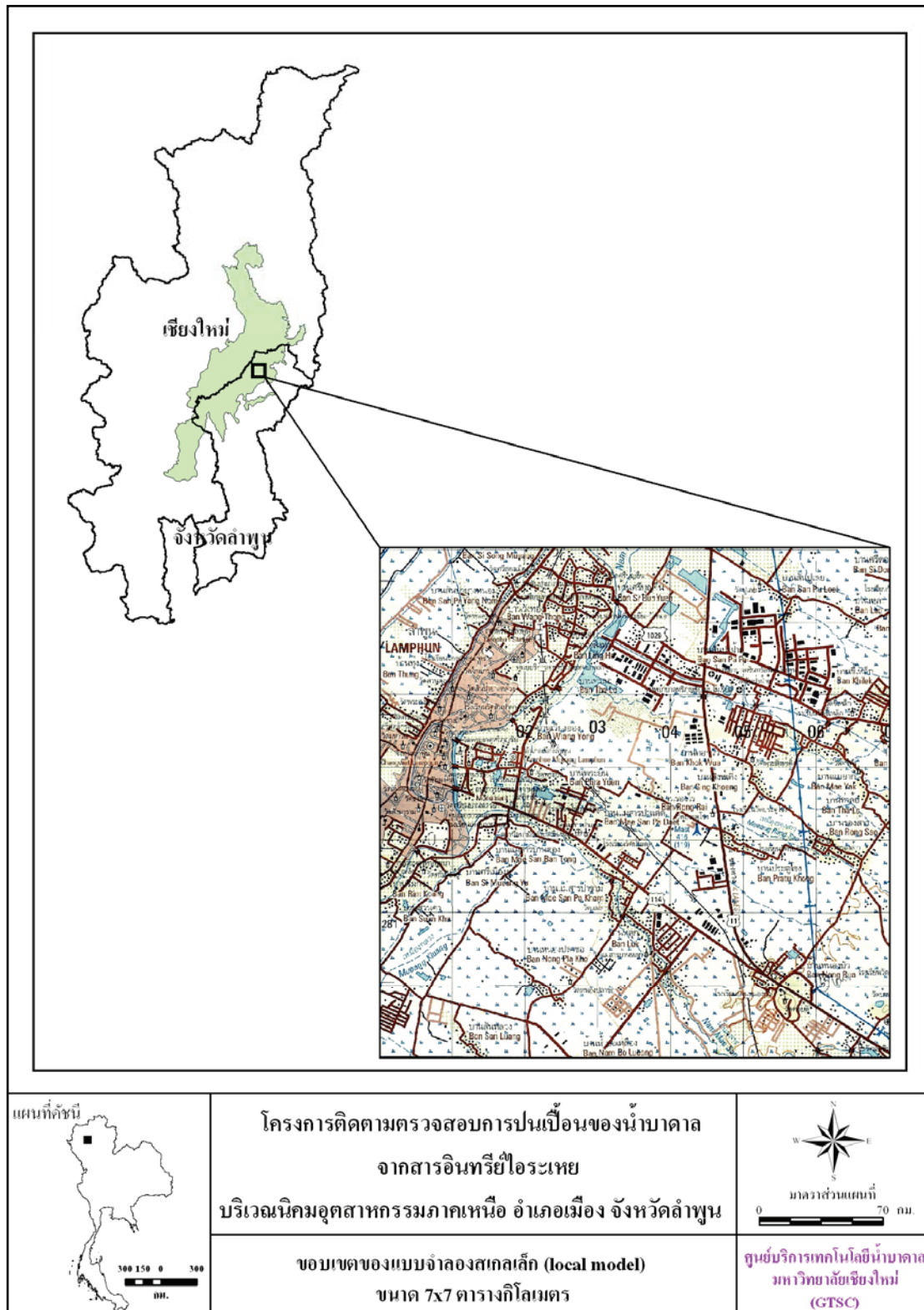
แบบจำลองมโนทัศน์ และการแบ่งกริดของ regional และ local models แสดงไว้ในรูปที่ 16 ถึงรูปที่ 19 ตามลำดับ ส่วนผลการจำลองการไหลในแอ่งเชียงใหม่ (regional model) ในสภาวะคงที่ และผลการจำลองการไหลในพื้นที่ศึกษา (water table contour map) แสดงไว้ในรูปที่ 20 และรูปที่ 21 รวมทั้งได้แสดงผลการปรับแบบจำลองการไหลในสภาวะไม่คงที่ของแอ่งเชียงใหม่ (regional model) และผลการปรับแบบจำลองการไหลในสภาวะไม่คงที่ของพื้นที่ศึกษา (local model) ไว้ในรูปที่ 22 และรูปที่ 23 ตามลำดับ





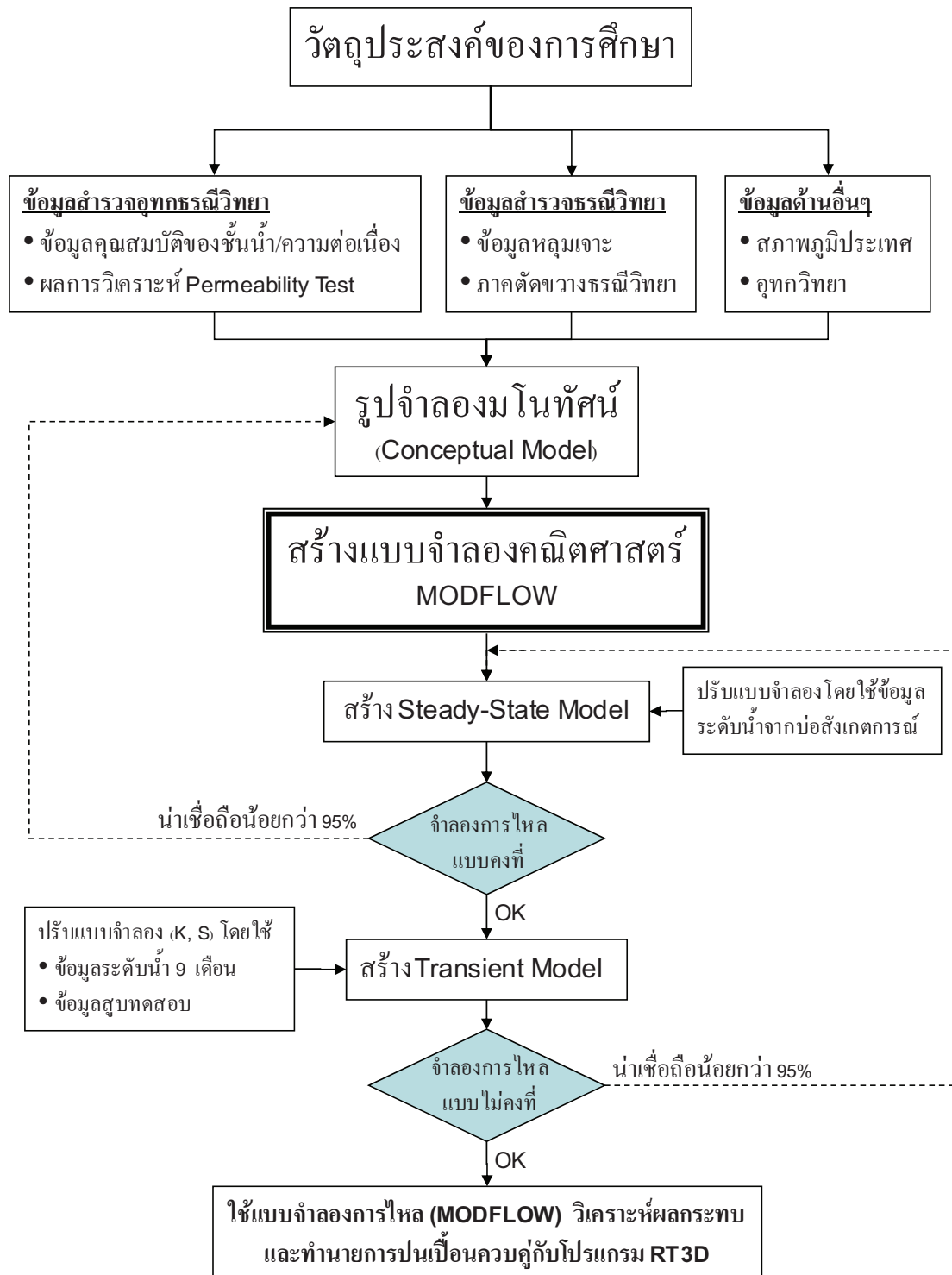
รูปที่ 13 Regional model ที่ครอบคลุมขอบเขตชั้นตะกอนร่วนและตะกอนกึ่งแข็งตัวในแอ่งเชียงใหม่



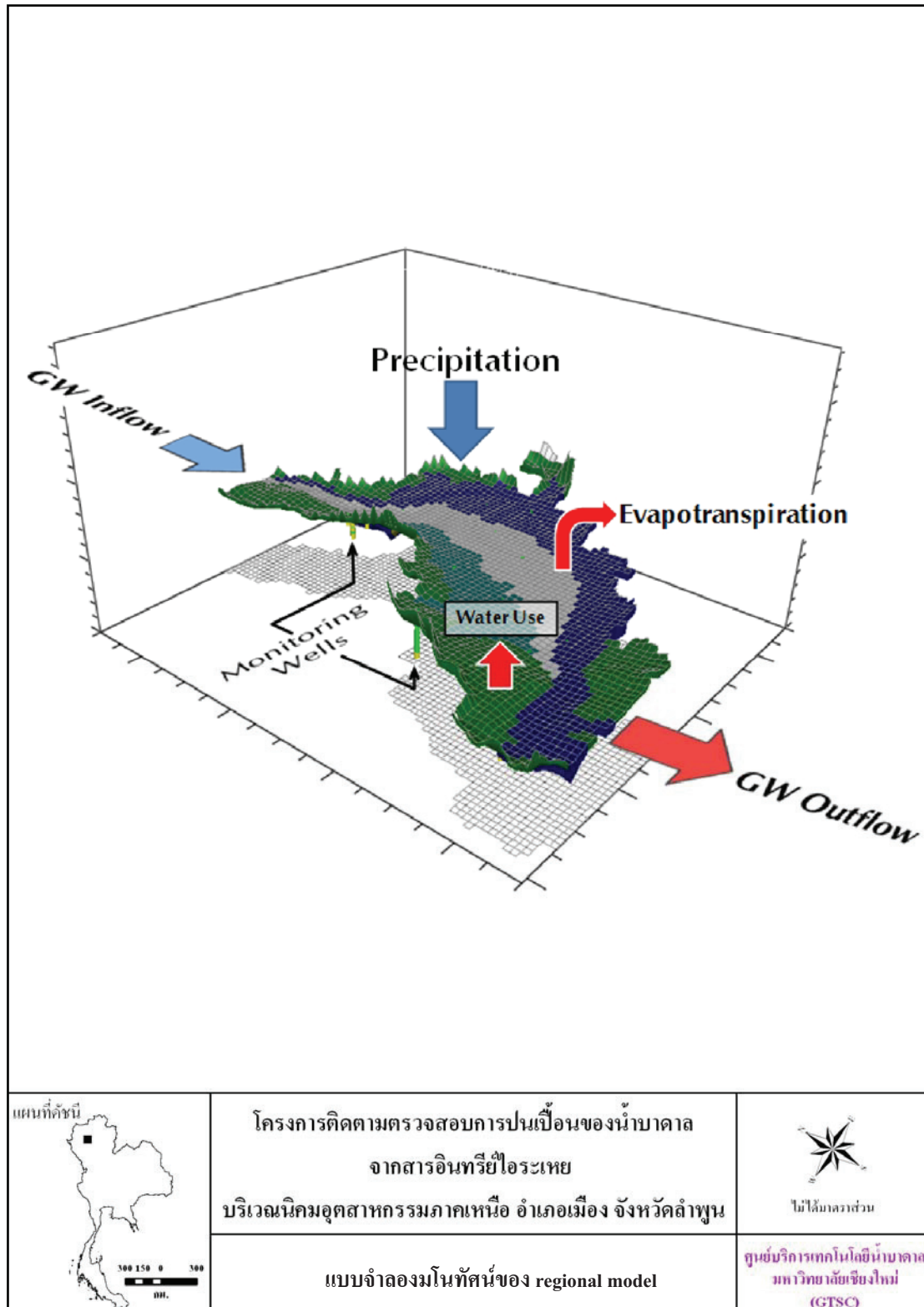


รูปที่ 14 ขอบเขตของแบบจำลองสเกลเล็ก (local model) ขนาด 7x7 ตารางกิโลเมตร



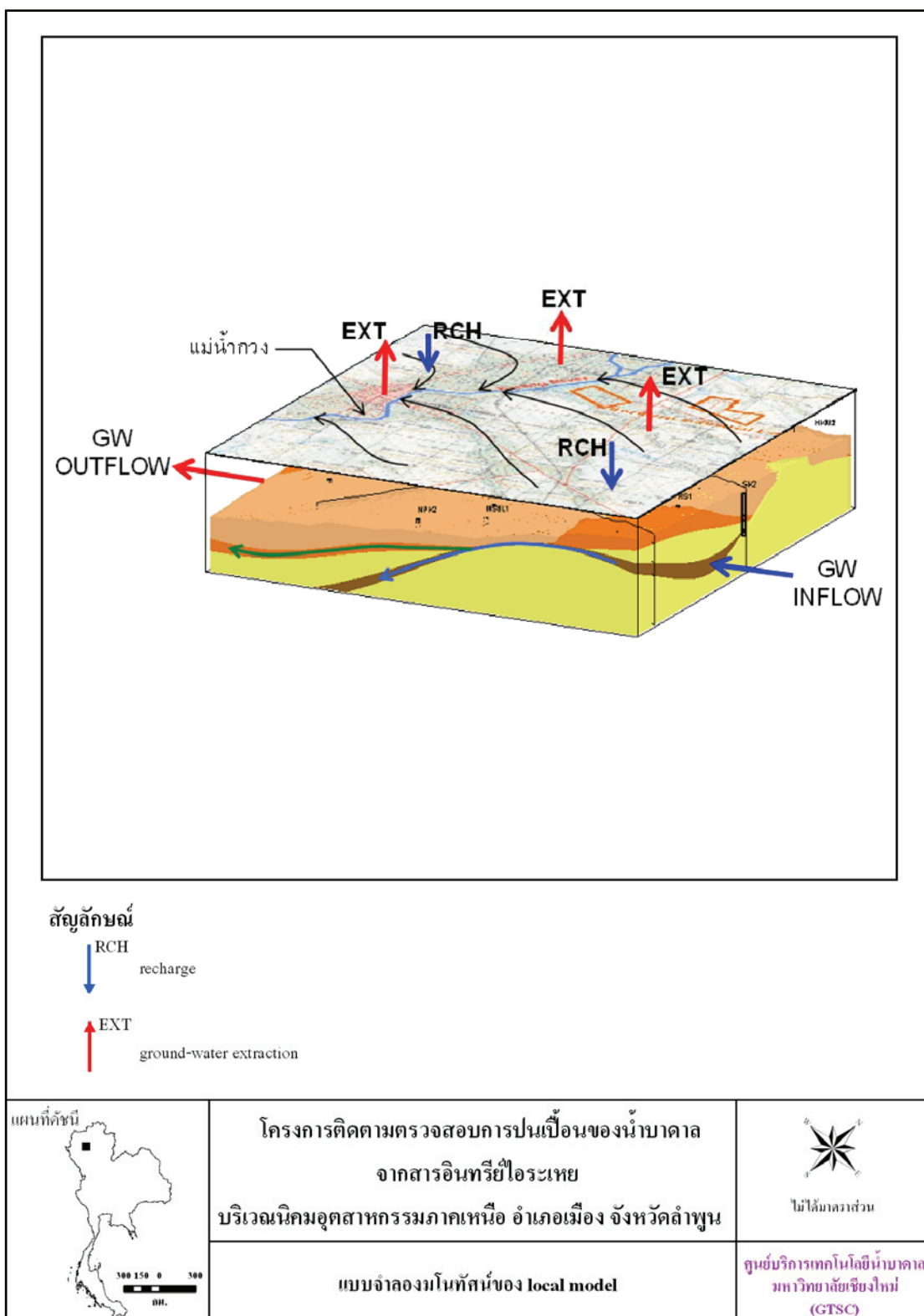


รูปที่ 15 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

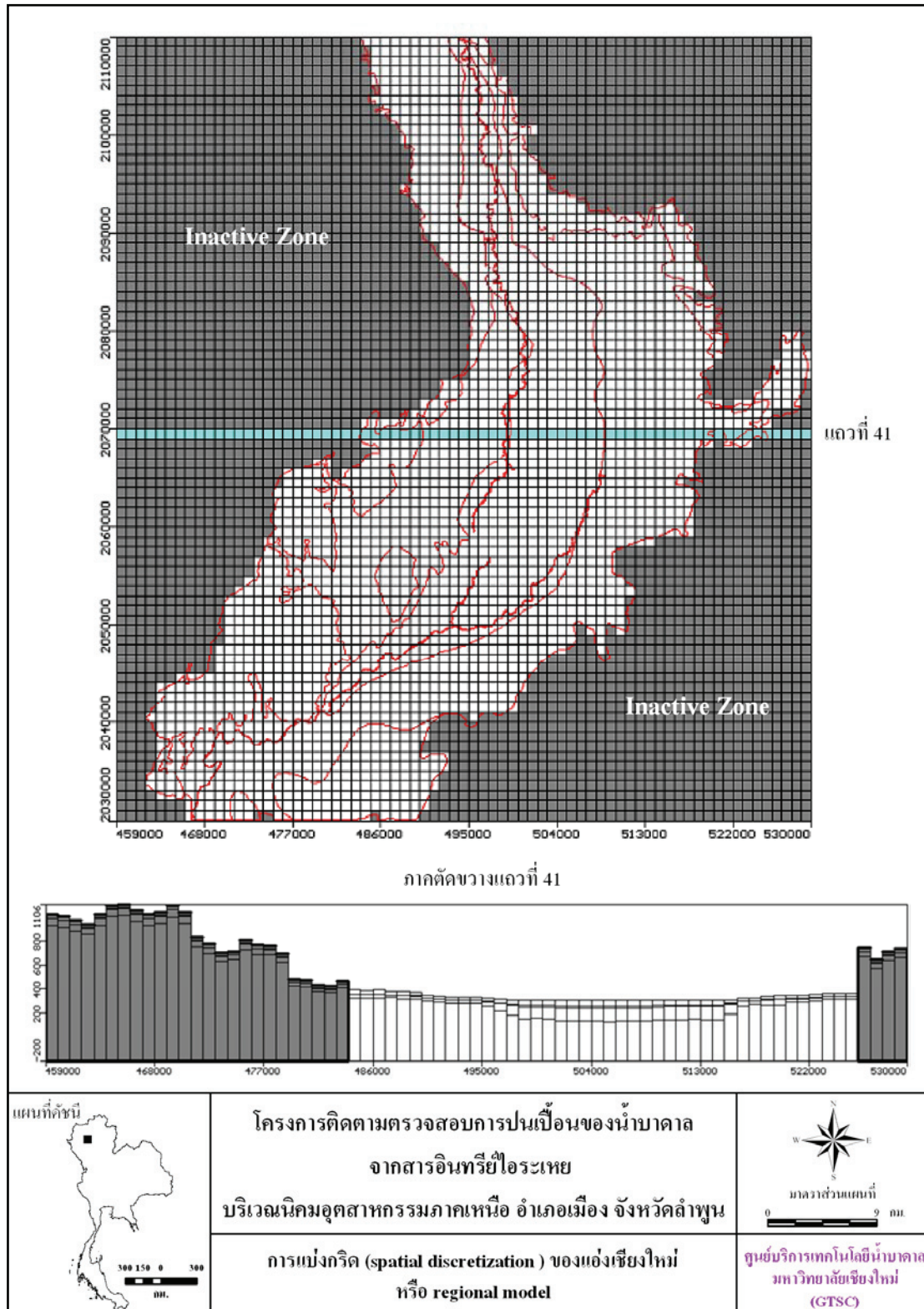


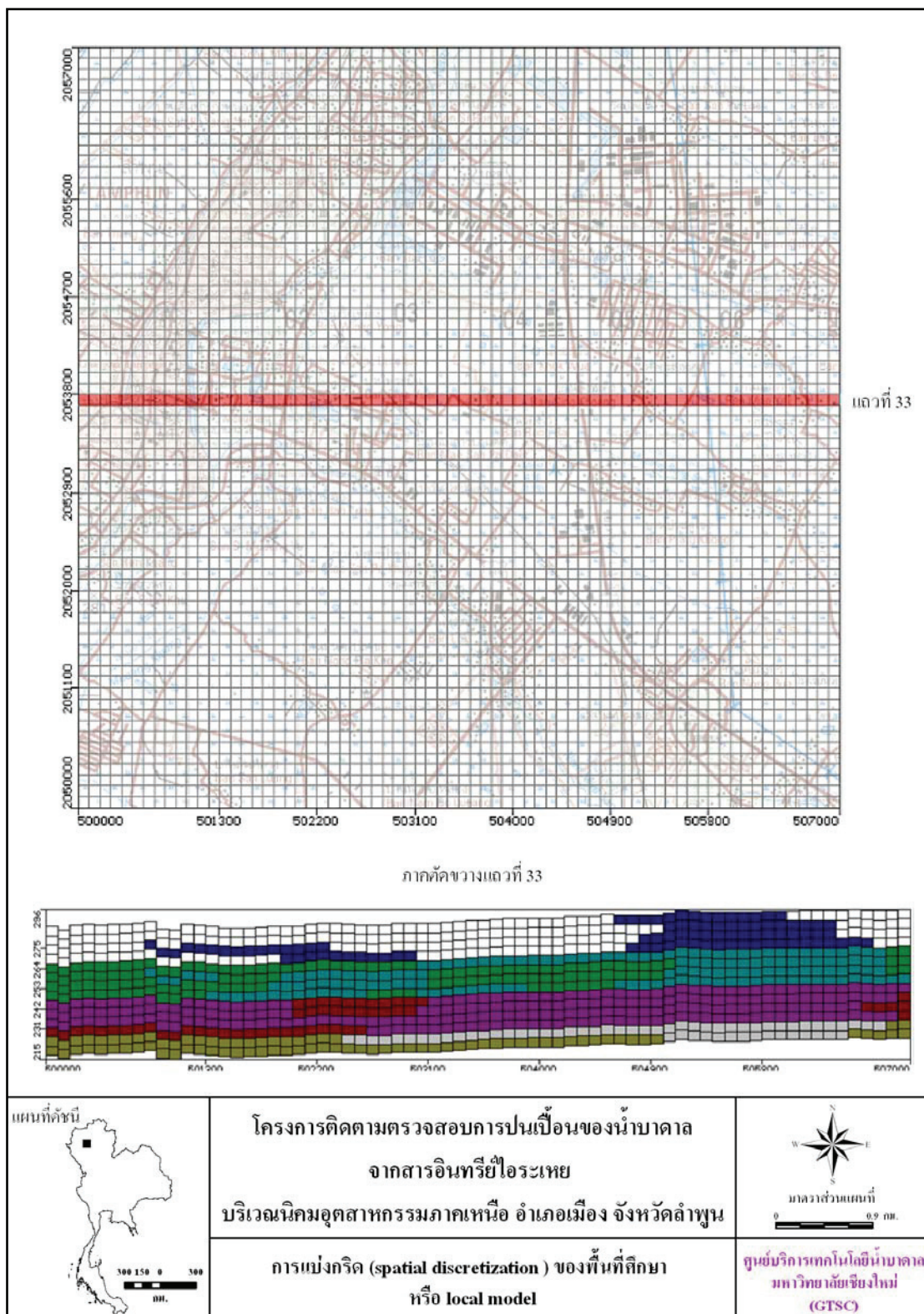
รูปที่ 16 แบบจำลองมโนทัศน์ของ regional model



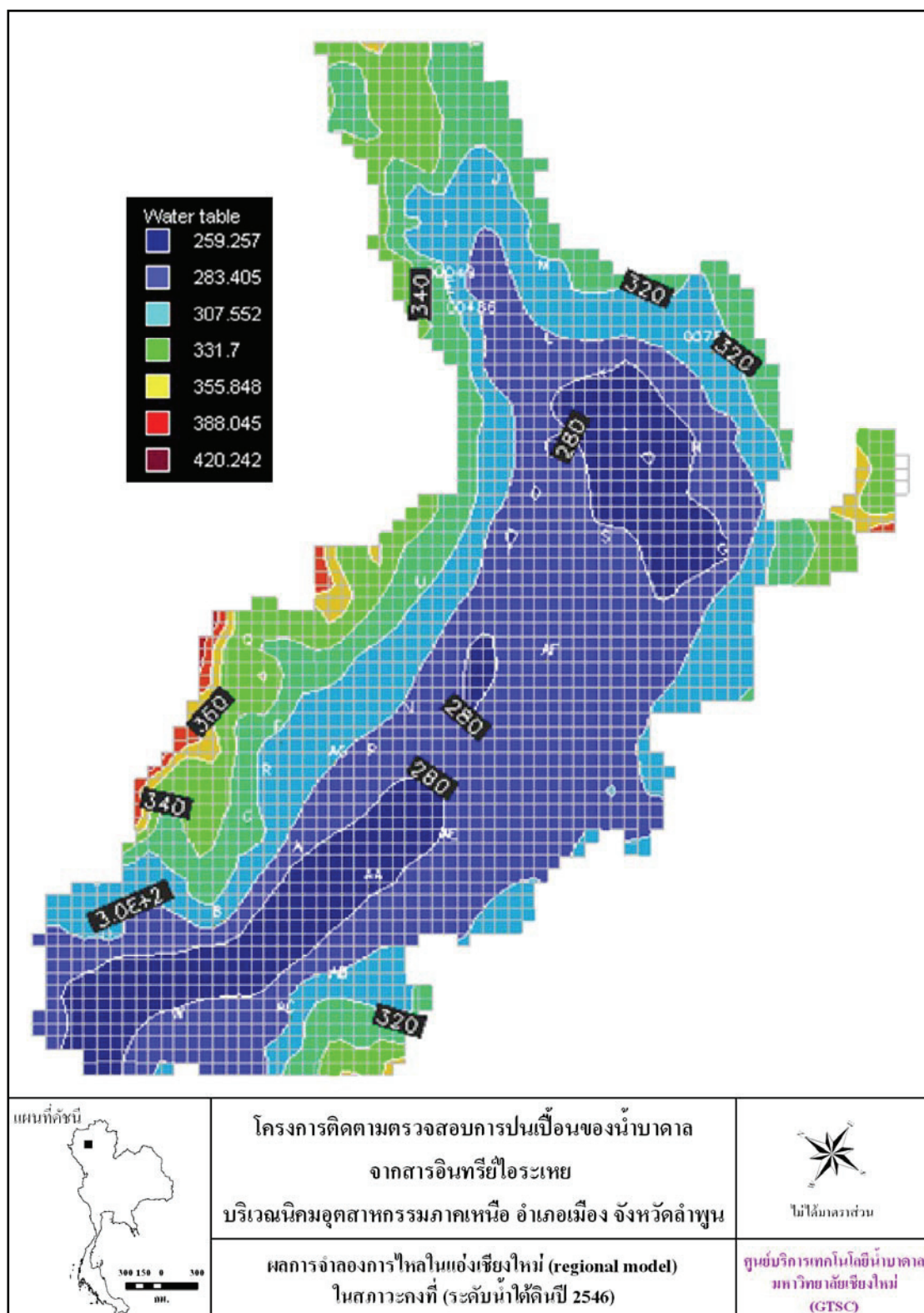


รูปที่ 17 แบบจำลองมอนิเตอร์ของ local model



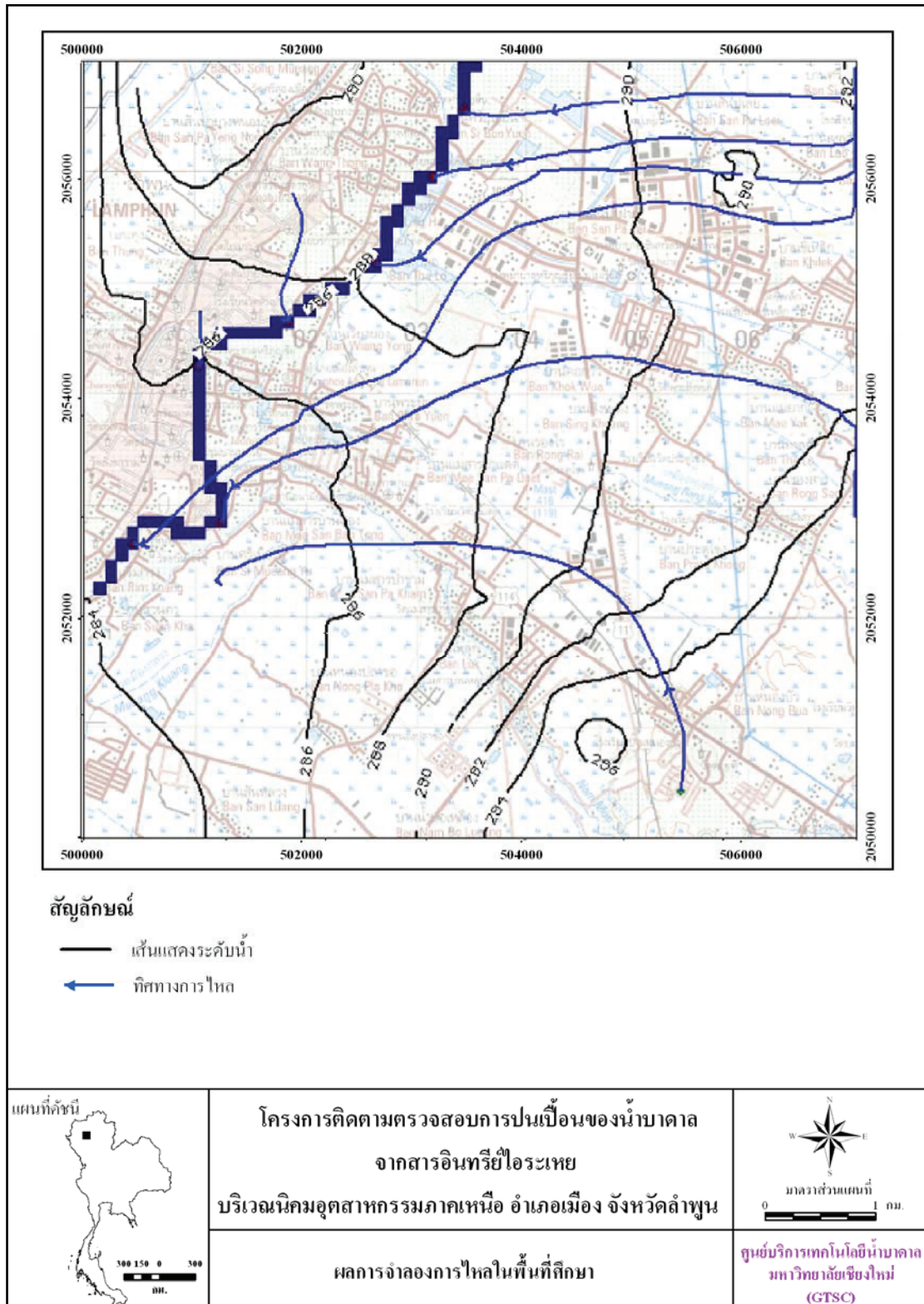


รูปที่ 19 การแบ่งกริด (spatial discretization) ของพื้นที่ศึกษาหรือ local model



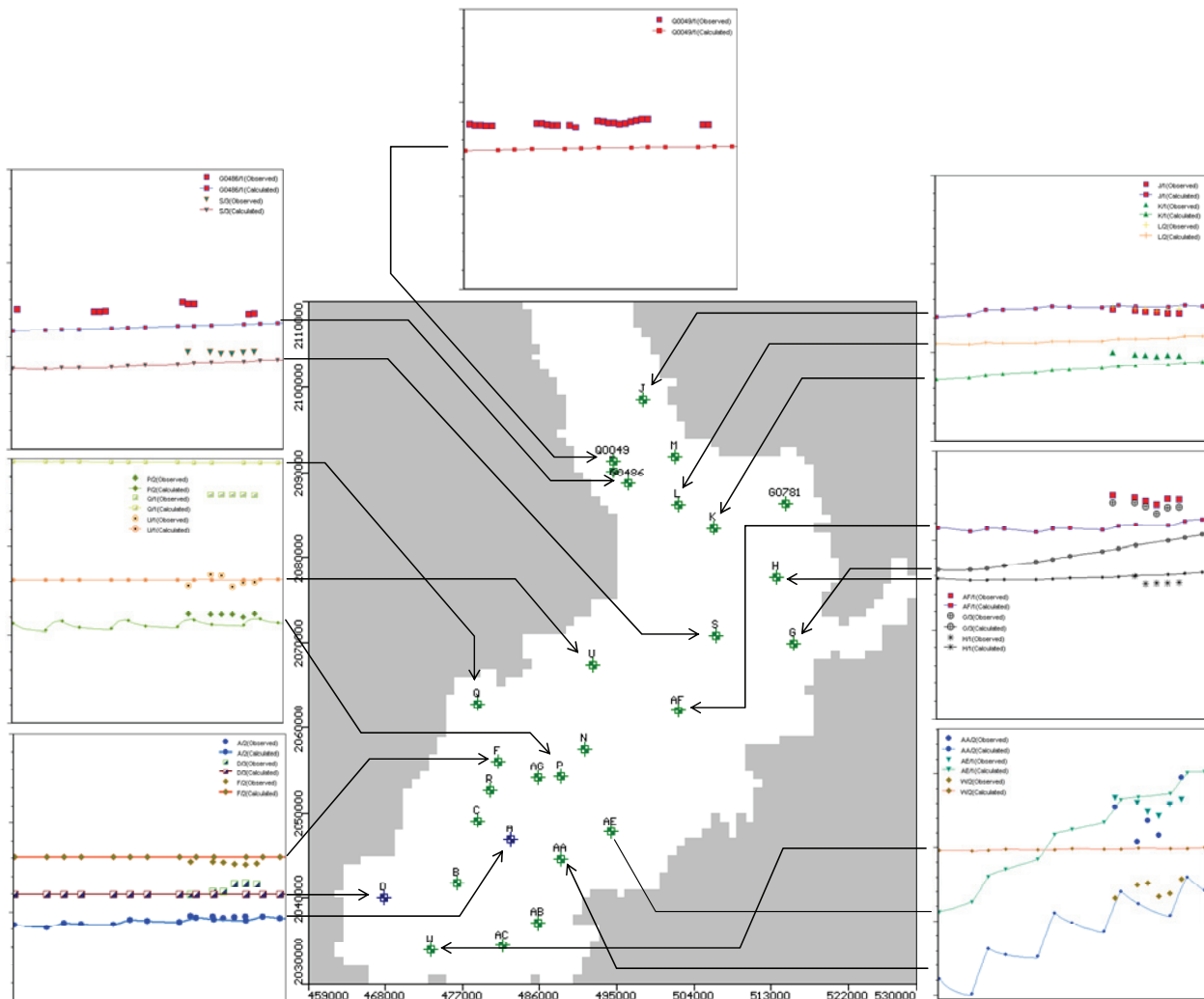
รูปที่ 20 ผลการจำลองการไหลในแอ่งเชียงใหม่ (regional model) ในสภาวะคงที่ (ระดับน้ำใต้ดินปี 2546)



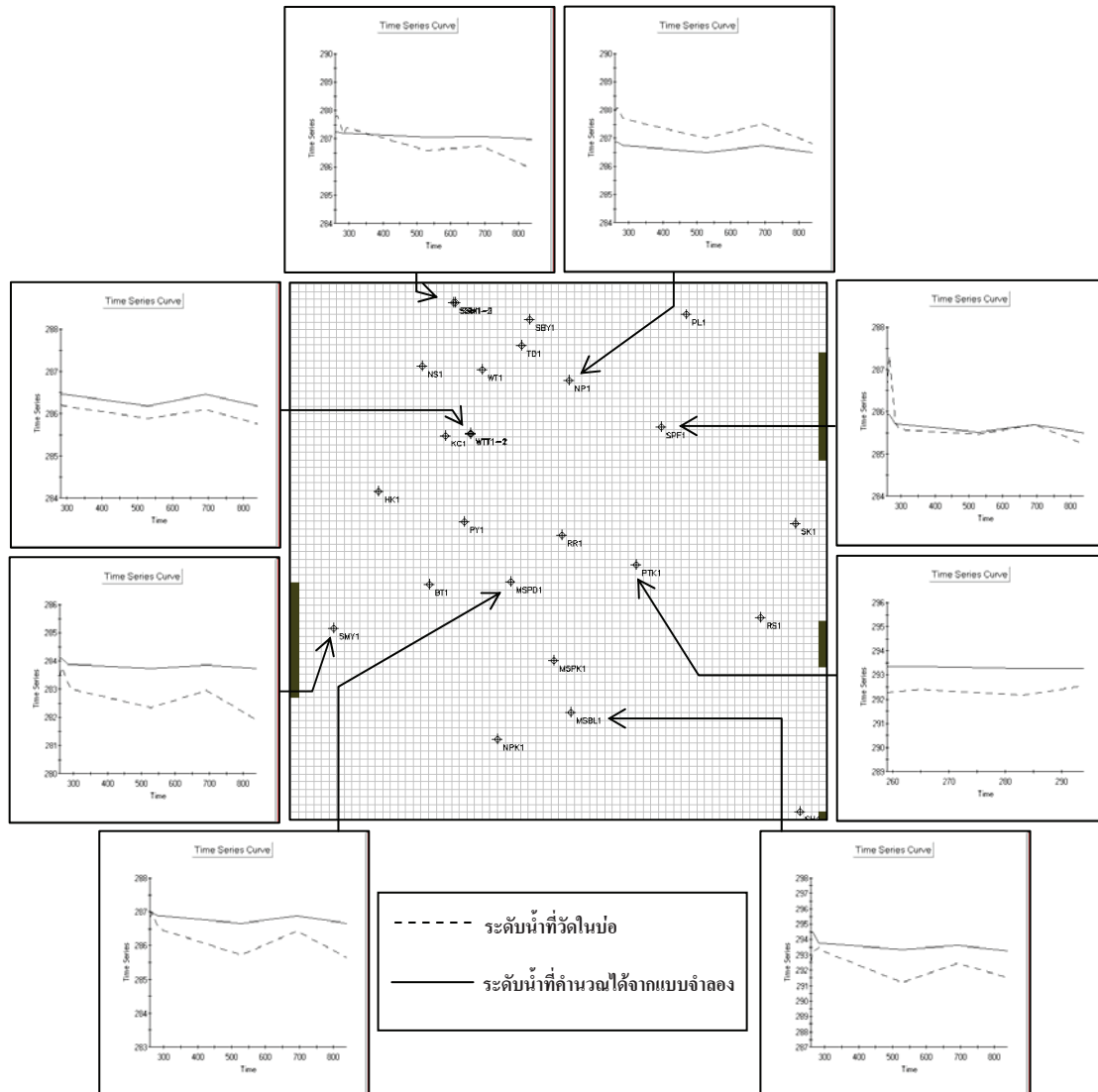


รูปที่ 21 ผลการจำลองการไหลในพื้นที่ศึกษา (water table contour map)





รูปที่ 22 ผลการปรับแบบจำลองการไหลในสถานะไม่คงที่ของแอ่งเชิงใหม่ (regional model) (ใช้ข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ. 2547-2550)



รูปที่ 23 ผลการปรับแบบจำลองการไหลในสถานะไม่คงที่ของพื้นที่ศึกษา (local model) (ใช้ข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ. 2547-2550)



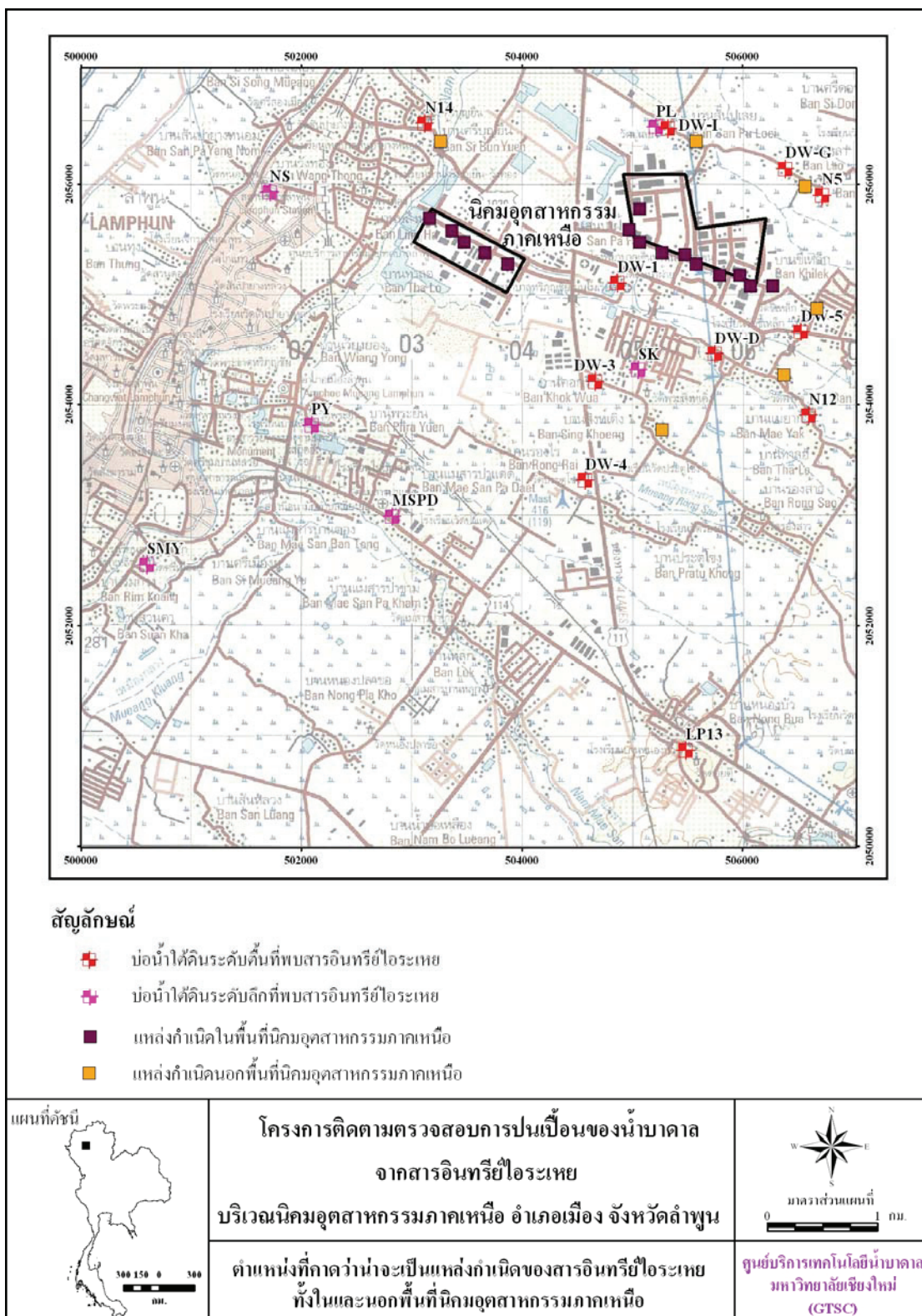
11. แบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร

แบบจำลองการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายตัวของสารอินทรีย์ไอระเหยในน้ำใต้ดิน ได้จัดทำขึ้นด้วยโปรแกรม MODPATH[®] (Pollock, 1998) และ RT3D[®] (Clement, 1997) ใน Visual MODFLOW[®] เวอร์ชัน 4.2 โดยทั้งสองโปรแกรม ใช้วิธีการ finite-difference เช่นเดียวกันกับแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

การจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน ต้องอาศัยอัตราการไหลของน้ำใต้ดิน ที่ได้จากแบบจำลองการไหล (MODFLOW) เพื่อจำลองการแพร่กระจายตัวของสารอินทรีย์ไอระเหยในพื้นที่ศึกษา หรือ local model โดยในขั้นแรก ได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวค้นหาแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ไอระเหย ด้วยวิธีการคำนวณแบบย้อนกลับ (back-tracking simulation) โดยใช้บ่อสังเกตการณ์ที่ตรวจพบที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เป็นจุดตั้งต้น แล้วใช้แบบจำลองคำนวณย้อนกลับไปหาว่า แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ไอระเหยอยู่ตำแหน่งใด จากนั้นจึงใช้จุดกำเนิดดังกล่าวเป็นจุดตั้งต้น ในการจำลองไปข้างหน้า (forward simulation) เพื่อหาขอบเขตการปนเปื้อนและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ไอระเหย ณ เวลาต่างๆ เพื่อประเมินมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

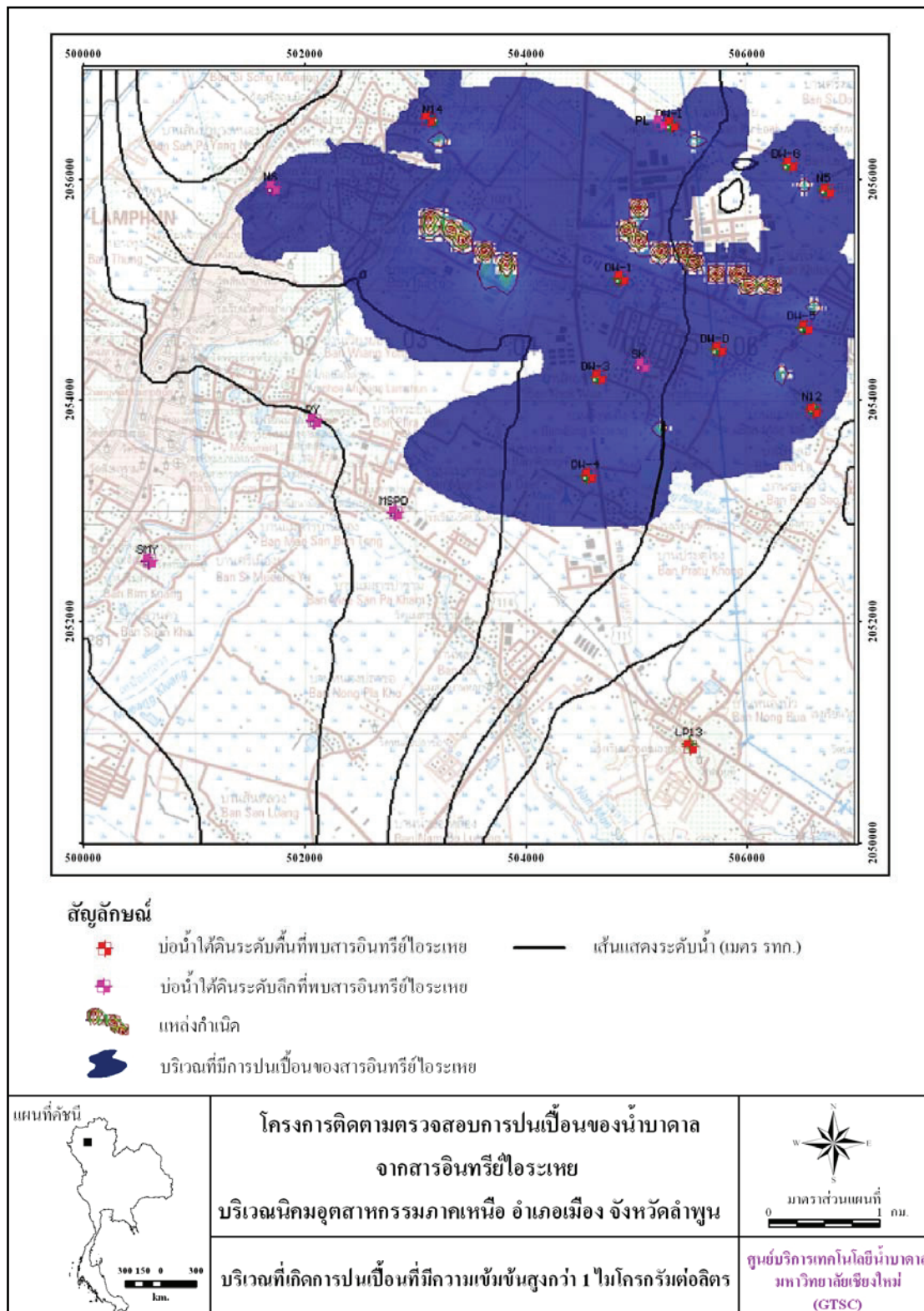
ผลการจำลอง แสดงตำแหน่งที่คาดว่าจะเปื้อนแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ไอระเหย ทั้งในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือและชุมชนโดยรอบ (6 ตำแหน่ง) ดังรูปที่ 24 และแสดงให้เห็นว่า ขอบเขตการปนเปื้อนครอบคลุมตำแหน่งบ่อบาดาล/บ่อน้ำที่ตรวจพบที่มีการปนเปื้อน ดังรูปที่ 25 นอกจากนี้ ผลการจำลองดังกล่าว สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ไอระเหย พบว่า ณ สถานการณ์ปัจจุบัน ปริมาณน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ไอระเหย ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร มีประมาณ 44.0 ล้านลูกบาศก์เมตร





รูปที่ 24 ตำแหน่งที่คาดว่าจะจะเป็นแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์โอโรเอะทั้งในและนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ





รูปที่ 25 บริเวณที่เกิดการปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร





12. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาด้วยแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร แสดงขอบเขตการปนเปื้อนดังรูปที่ 25 โดยพบว่า ณ สถานการณ์ปัจจุบัน ปริมาณน้ำใต้ดินที่ได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ไอระเหย ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร มีประมาณ 44.0 ล้านลูกบาศก์เมตร

สำหรับระดับของการปนเปื้อน พบว่า ถึงแม้ปริมาณสารอินทรีย์ไอระเหยที่ตรวจพบ ยังอยู่ในมาตรฐานน้ำบริโภค (ยกเว้น ตรวจพบปริมาณเบนซีน สูงเกินมาตรฐาน ในตัวอย่างน้ำใต้ดินระดับลึก 1 ตัวอย่าง) แต่จัดได้ว่าอยู่ในระดับที่สูง โดยเฉพาะสารอินทรีย์ไอระเหยชนิด 1,1- dichloroethylene ; 1,2-dichloroethane ; Benzene ; Trichloroethylene ; 1,1,2-trichloroethane ; Tetrachloroethylene และ o-xylene นอกจากนั้นอาจกล่าวได้ว่า ระดับการปนเปื้อนในบ่อน้ำใต้ดินระดับลึก (บ่อเจาะ/บ่อบาดาล) มีมากกว่าบ่อน้ำใต้ดินระดับตื้น (บ่อวาง)

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า น้ำใต้ดิน (ความลึกไม่เกิน 50 เมตร) ถูกปนเปื้อนด้วยการกระทำของมนุษย์ เนื่องจากสารอินทรีย์ไอระเหยไม่ใช่สารที่เกิดตามธรรมชาติ และสามารถคาดการณ์ได้ว่า เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชากรในพื้นที่อย่างแน่นอน รวมทั้งก่อให้เกิดความเสียหายกับทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างมาก ทั้งนี้ได้เสนอแนวทางการบำบัดฟื้นฟู ทั้งในลักษณะของแผนระยะสั้นและระยะยาว

สำหรับข้อเสนอแนะ จากผลการศึกษาของโครงการนี้ คือ ต้องใช้มาตรการทางด้านกฎหมายเข้ามาช่วย ในเรื่องของการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหา รวมทั้งต้องทำการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินระดับตื้น ตามโครงการนี้ต่อไป และมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในระดับที่ลึกกว่า 50 เมตร

Executive Summary Report

Monitoring of Groundwater Contamination from

Volatile Organic Compounds in Northern Region Industrial Estate,

Mueang District, Lamphun Province

Submitted to

Department of Groundwater Resources

March 2008

Prepared by

Chiang Mai University



Executive Summary Report

1. Rationale and Project Background

The Northern Region Industrial Estate (NRIE) is the first provincial industrial estate in Thailand. It was established in according with the Fourth and Fifth National Economic and Social Development Plans that aimed to extend the industrial development to the regions outside Bangkok. Construction of NRIE was completed in March 1985, located in Tambon Ban Klang, Mueang District, Lamphun Province, with more than 37,000 employees (data of 2006). The types of industries operated in NRIE include electronic, heavy equipment's spare parts manufacturing, agricultural, leather, food, wood-furniture, gems, and so on.

The Environmental Research and Training Center of the Department of Environmental Quality Promotion conducted a survey in the NRIE area and found the contamination of soils and shallow groundwater system from VOCs, especially Trichloroethylene (TCE), Toluene and Ethyl-methyl ketone. TCE is considered to be Group 2A carcinogen (probably carcinogenic to humans) according to International Agency for Research on Cancer (IARC) and World Health Organization (WHO). Remediation technologies are complex and expensive. Therefore, monitoring of groundwater contamination from VOCs in Northern Region Industrial Estate, Mueang District, Lamphun Province, is necessary. Then appropriate remediation techniques can be designed accordingly.

2. Objectives of the Study

- 1) To monitor the level and extent of groundwater contamination from volatile organic compounds in Northern Region Industrial Estate, Mueang district, Lamphun province and its immediate vicinity.
- 2) To evaluate the degree of contamination and contaminant dispersion pattern; and foresee the impact or threat to public health, and
- 3) To find appropriate remediation techniques for the contaminated groundwater system.

3. Study Area

The study area is located in the Northern Region Industrial Estate, Mueang District, Lamphun Province and its immediate vicinity, as shown in Figure 1.





4. Scope of Study

- 1) Compile and review existing data and information.
- 2) Study geologic and hydrogeologic conditions of the NRIE area to delineate subsurface geologic formations.
- 3) Survey uses of groundwater by local people and measure the groundwater level to determine the groundwater flow direction.
- 4) Conduct geophysical (resistivity) survey at $AB/2 = 100$ meters for 40 stations.
- 5) Build a network of groundwater monitoring wells to monitor the groundwater level and groundwater quality.
- 6) Study hydrogeologic conditions of the NRIE area to delineate the type and distribution of aquifers and evaluate the aquifers' hydraulic properties using pumping tests. Conduct a tracer test to determine the groundwater flow direction and contaminant dispersivity.
- 7) Conduct groundwater sampling and analyze for volatile organic compounds (1,1-dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; chloroform; 1,2-dichloroethane ; benzene ; trichloroethylene ; toluene; 1,1,2-trichloroethane ; tetrachloroethylene ; ethylbenzene ; p-xylene and o-xylene) and heavy metals.
- 8) Construct a conceptual model and develop into a groundwater flow model, and eventually a solute transport model to predict the contamination trend and dispersion of volatile organic compounds.
- 9) Analyse and assess the degree of contamination.
- 10) Evaluate the degree of groundwater deterioration if restoration is not feasible.
- 11) Propose remedial measures, including budget estimation, if contamination does occur and needs remediation. Assess the positive and negative impacts of each remedial measure. If no contamination is detected, guidelines for the setup of a monitoring system will be proposed.



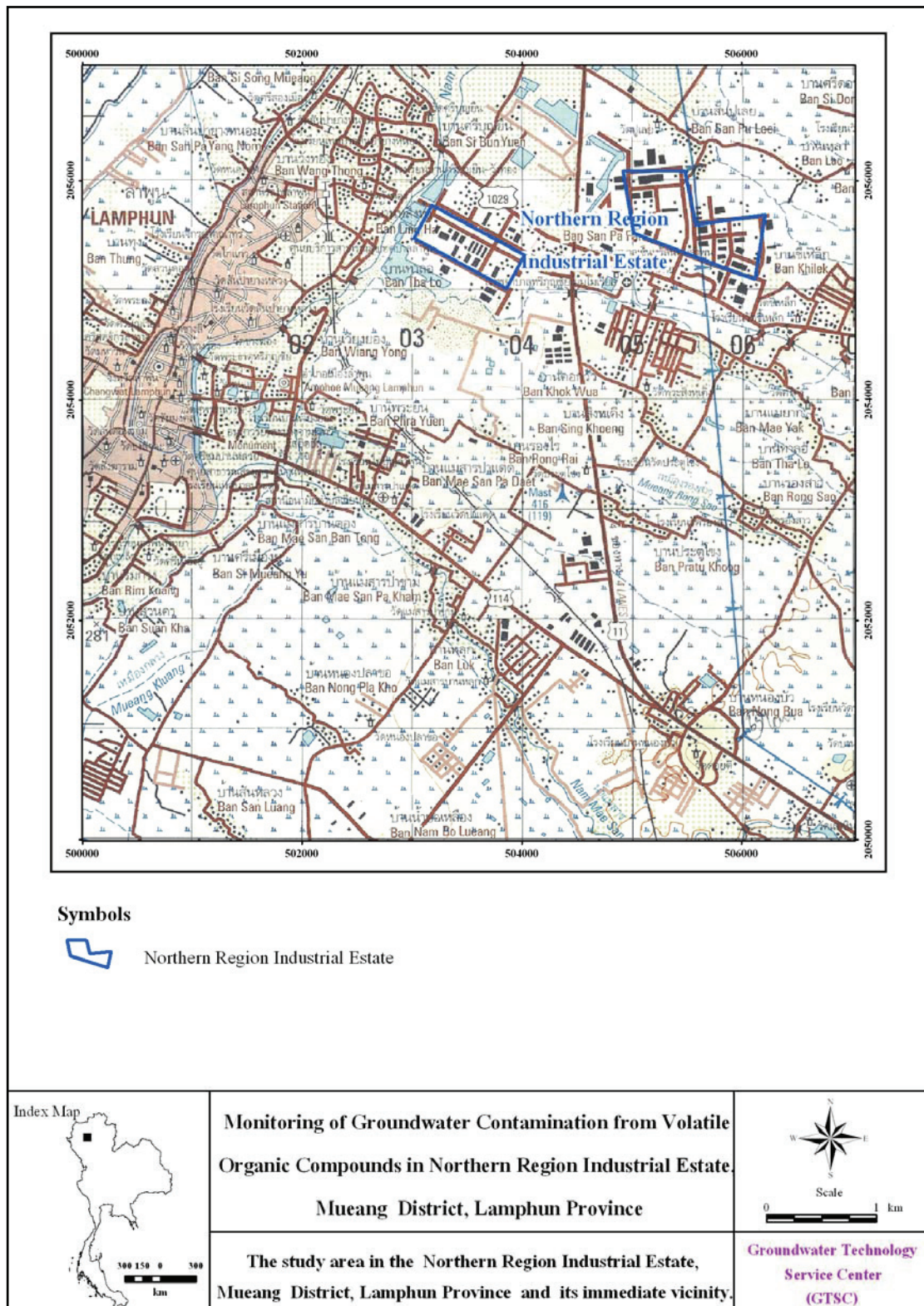


Figure 1 The study area in the Northern Region Industrial Estate, Mueang District, Lamphun Province and its immediate vicinity.



5. Method of Study

A workflow of this study is shown in Figure 2. These include review of previous work; geological, geophysical and hydrogeological field surveys. All these data are compiled and integrated, then prepared as the GIS data to be used for mathematical groundwater modeling. Groundwater deterioration is evaluated from the solute transport modeling. Remedial measures and guidelines for the setup of a monitoring system is proposed accordingly.

6. Volatile Organic Compounds (VOCs)

Volatile Organic Compounds (VOCs) are classified as Non Aqueous Phase Liquids (NAPLs) which generally referred as organic fluids with low solubilities. NAPLs move as a separate phase and are often visible to the naked eye, as opposed to soluble contaminants that travel in groundwater. NAPLs have been widely used in various industries and are known to be present at numerous industrial and waste disposal sites. Due to their potential toxicity and widespread occurrence, they constitute a serious environmental problem.

NAPLs can be divided into two sub-groups, a light non-aqueous phase liquid (LNAPL) and a dense non-aqueous phase liquid (DNAPL). LNAPL are light liquids with a density less than water, implying that they tend to float and move along the top of the saturated groundwater zone. Examples of LNAPL are gasoline, benzene and xylene. DNAPL are dense liquids with a density higher than water, implying that they have a tendency to penetrate the water table and move deeper into the aquifer system. Examples of DNAPL are chlorinated solvents like TCE, TCA and PCE. The nature of contamination by NAPL in soils and groundwater are different from each other, as shown in Figure 3.

Thailand's groundwater standards set the safety criteria for the amount of dissolved substances in groundwater, including VOCs. Trichloroethylene (TCE), an industrial solvent used in dry cleaning, degreaser, fat extraction, and resin removers, is frequently found to be contaminant in many places. The effect of TCE on lab-animal and human health has continually been a subject of research, especially overseas. TCE is considered to be Group 2A carcinogen (probably carcinogenic to humans) according to International Agency for Research on Cancer (IARC) and World Health Organization (WHO).



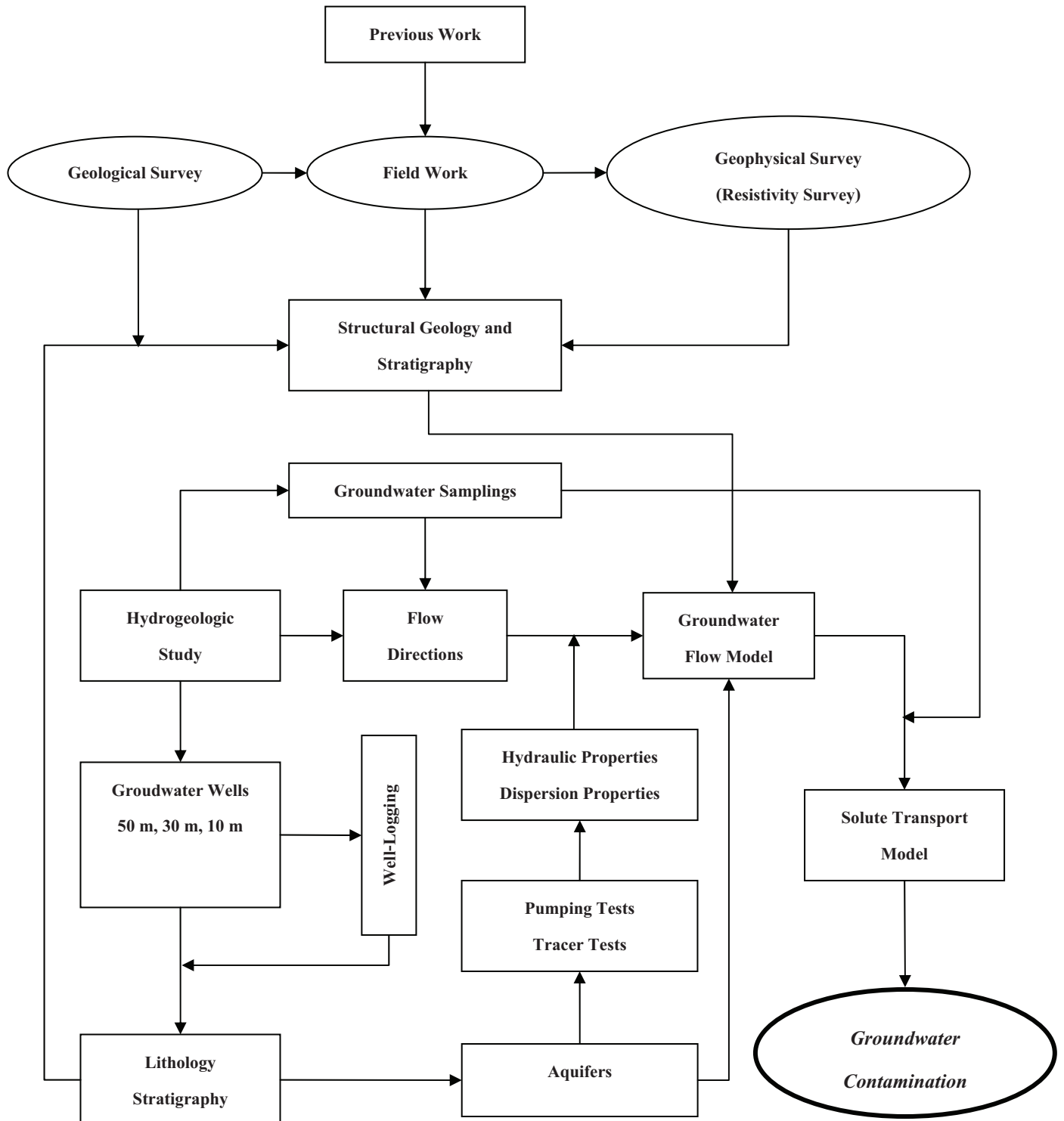


Figure 2 Project workflow.



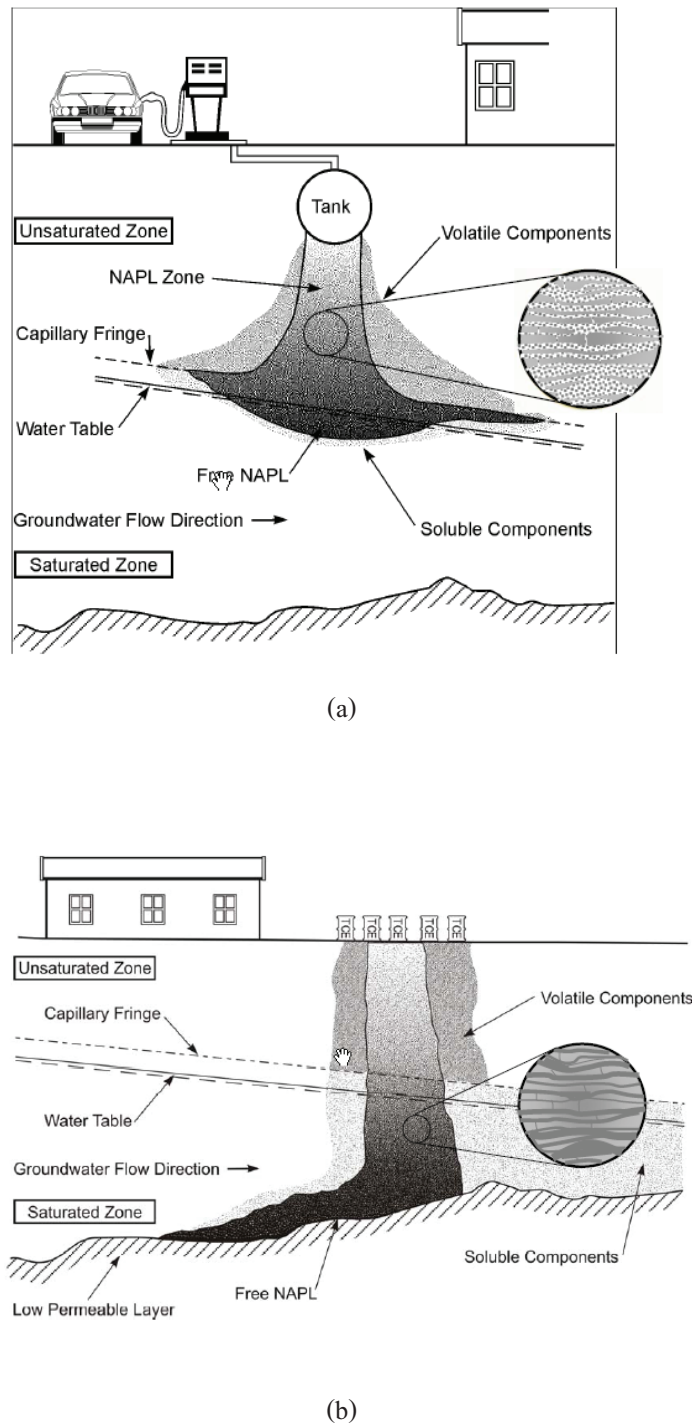


Figure 3 Idealized migration of (a) an LNAPL plume and (b) DNAPL plume (after Mayer and Hassanizadeh, 2005).





7. Existing data and information

Subtavewang and Singharajwarapan (2007) assessed groundwater contamination vulnerability of the Chiang Mai basin by means of a GIS-based map which was created by the DRASTIC method using hydrogeologic elements. According to the vulnerability map, aquifer of the study area is ranked as low to moderate vulnerability except for the western part where the vulnerability was relatively high. This was resulted from its generally flat topography which was a flood-prone area. In addition to a high flood-risk potential, a general groundwater flow direction trending west and southwest resulted in a crucial need for rigorous groundwater monitoring of the area.

The Environmental Research and Training Center of the Department of Environmental Quality Promotion found chlorinated ethylene contamination in soils and groundwater of at least 3 factories in the NRIE (Milintapismai and others, 2001). These compounds included trichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene and vinyl chloride whose concentrations were 7.22, 0.57, 0.35, and 0.32 mg/L, respectively. All of these compounds were far significantly beyond maximum contaminant levels (MCL).

The Good Governance for Social Development and the Environment Institute had funded an innovative research project on the Good Governance, Public Participation and the Decision making Process for Environmental Protection in 2006. The study uncovered significant destruction of the natural resources and environment due to rapid industrial expansion. The critical problem was shallow groundwater contamination from volatile organic chemicals used in the electronics industries in the NRIE which was in turn directly related to worker's health problems.

Singharajwarapan and others (2006) conducted a preliminary study on the assessment of shallow groundwater contamination from volatile organic compounds in the vicinity of the NRIE. The groundwater samples were taken from sixteen dug wells and it was found that twelve dug wells were already contaminated with one or more types of VOCs.

The Department of Environmental Promotion Quality (2004) conducted a preliminary investigation of the contaminated site nearby NRIE. The study included detailed geologic, sedimentological, hydrogeologic investigations, and groundwater modeling of the area. It was found that shallow groundwater generally flowed from east to west passing the NRIE and eventually reached the Kuang river.

Saenton and others (2007) used detailed information of the NRIE site to construct a steady-state groundwater flow model and a solute transport model to assess the size of the contaminant plume and damage to groundwater resource. They used trichloroethylene (TCE) as a contaminant of concern





and simulated contaminant transport for 30 years. However such model was only for demonstrative purpose because several model parameters, especially the solute transport model, were not determined or evaluated from field tests. The results could only be used to approximate the extent of the contaminant plume.

8. Geologic Setting

The study area is located in Quaternary deposits in the southern part of Chiang Mai basin. The Quaternary deposits can be divided into 2 groups namely, low terrace and alluvial deposits, and the alluvial deposits of Ping and Kuang rivers which consist of clay, silt and sand.

Well log data have been used in delineating the subsurface geology. Three sequences are proposed as Sequence I of depth 0-20 meter, Sequence II of depth 20-45 meter, and Sequence III of depth 45-65 meter. Each sequence generally consists of clay, sand and gravel with difference detailed properties. Lithofacies maps are constructed every 5 meter of depth, start from 5 meter down to 100 meter. Distribution of sediments are revealed as follows

From ground surface down to 20 meter, sediments are mainly clay. Sand and gravel are found as elongated shape in northeast-south direction.

At depth between 20-45 meter, sand and gravel are more distributed in the southern part as a strip from east to west. This strip has a width of about 1 kilometer, and winding with a pattern like meandering river. Clay is mostly found in the northern part.

At depth between 45-100 meter, sand and gravel are less distributed than the shallow part. However, a strip of sand and gravel is still presented in northeast – southwest direction. Major sediments are clay.

Lithofacies map at depth of 20, 40, and 80 meter are illustrated in Figure 5, 6, and 7 respectively.



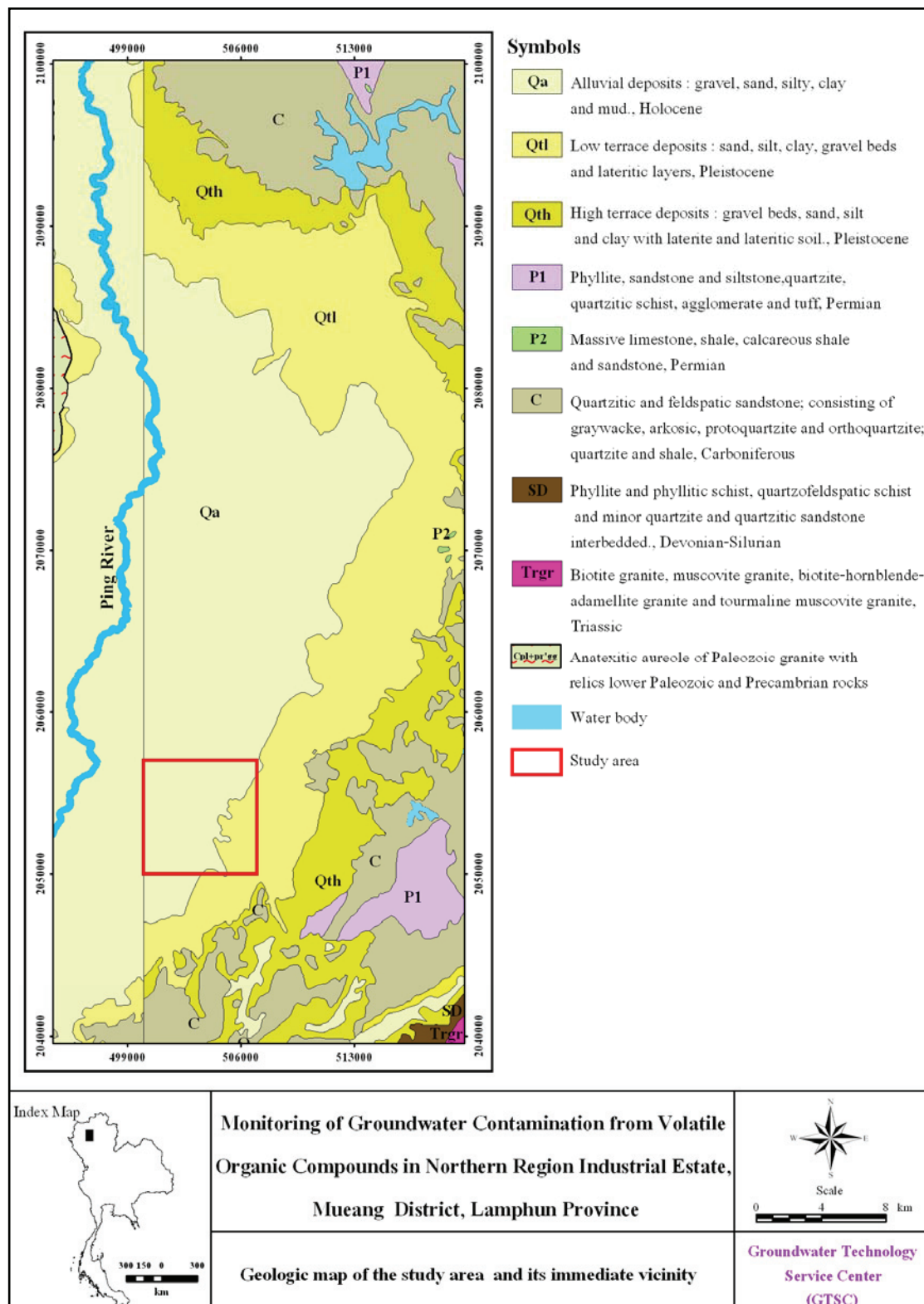


Figure 4 Geologic map of the study area and its immediate vicinity (modified from Department of Mineral Resources, 2000).



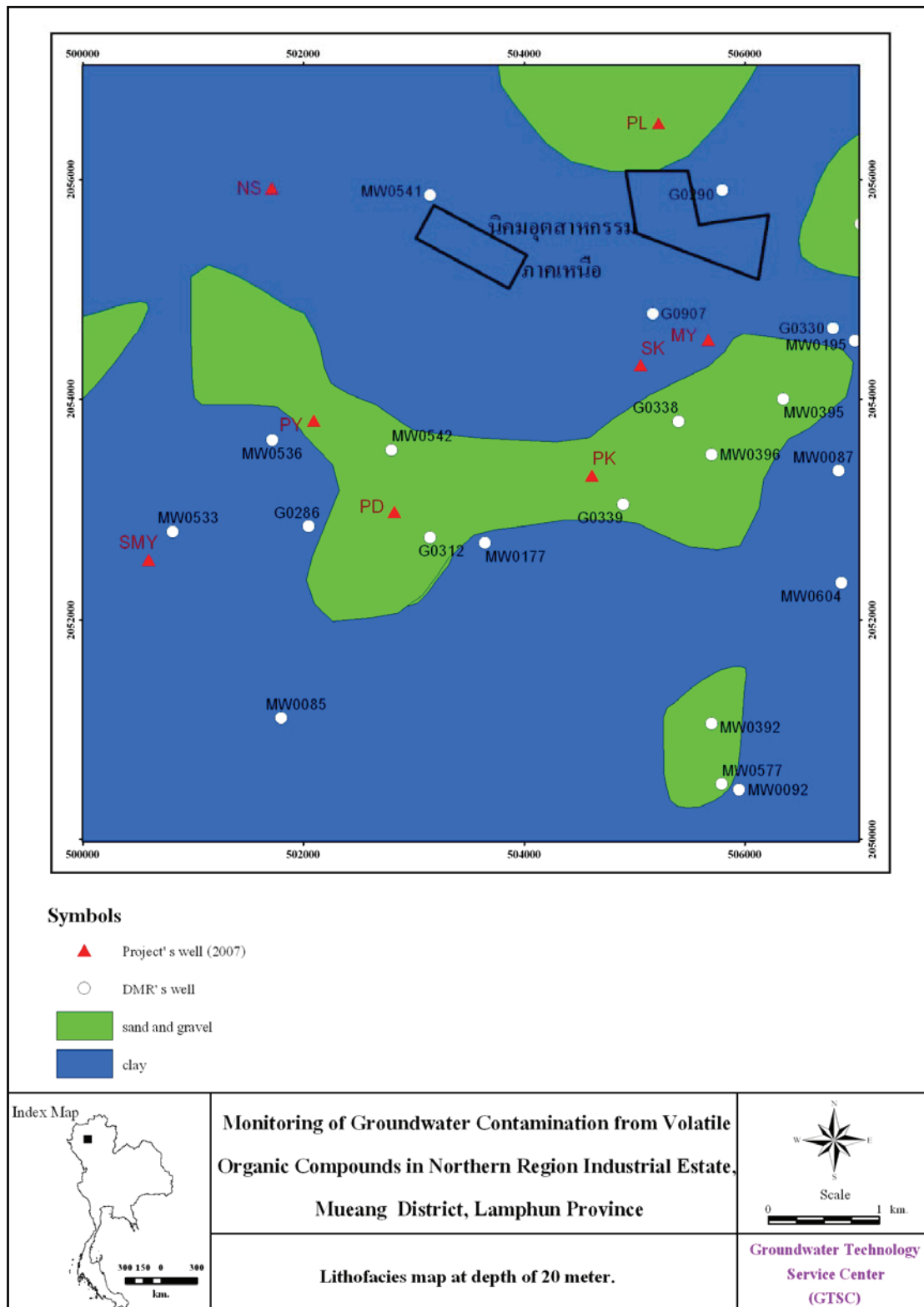


Figure 5 Lithofacies map at depth of 20 meter.



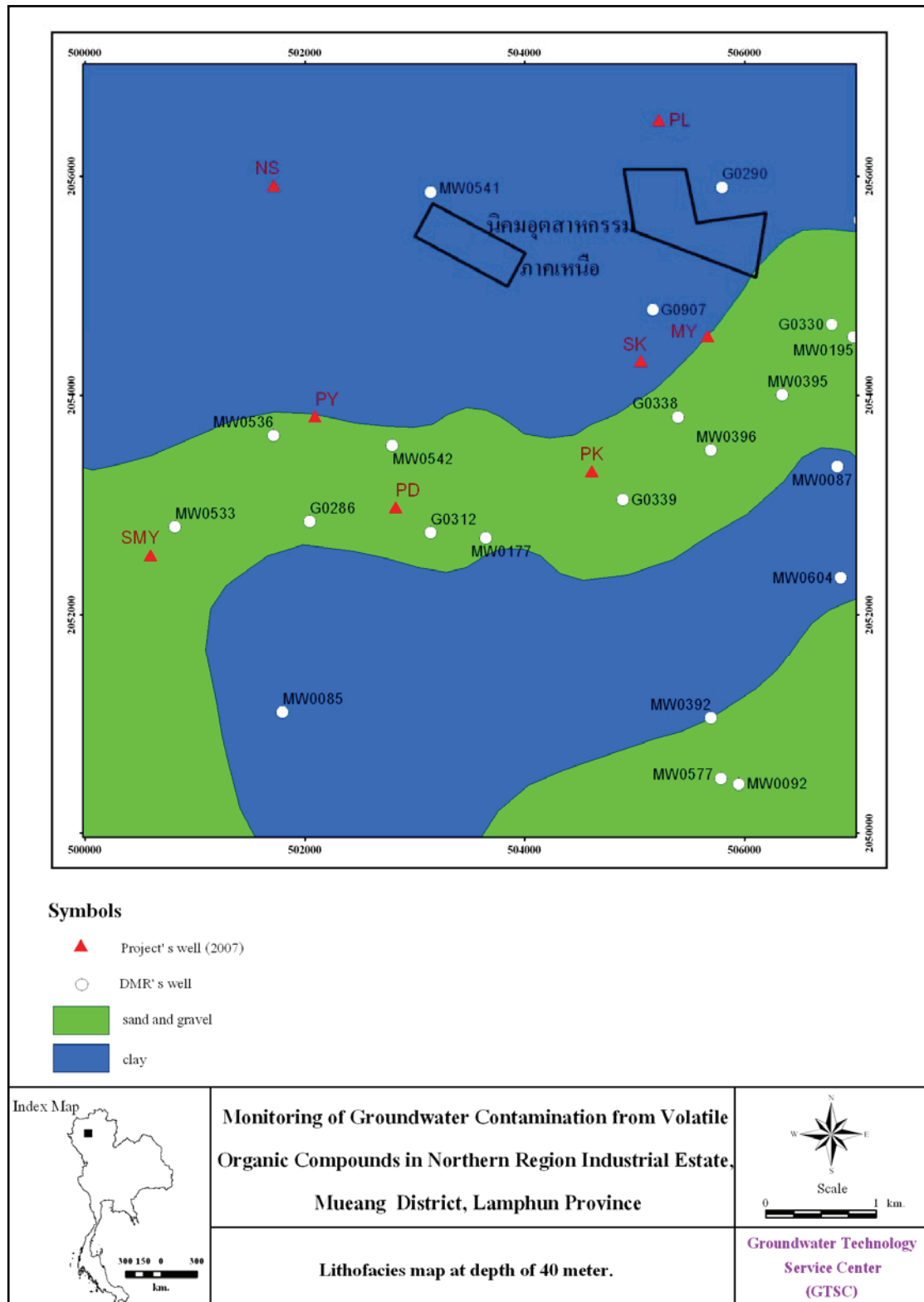


Figure 6 Lithofacies map at depth of 40 meter.







9. Hydrogeologic Setting

9.1 Groundwater Aquifers

Using detailed information on lithologic- and geophysical-logs of the shallow groundwater aquifers, this study subdivided aquifers into three main aquifers which included:

- 1) Aquifer I: This aquifer is located at the depth of 0-20 m. The uppermost and lowermost hydrogeologic units consist of thick layer of clays. The middle portion is the main aquifer consisting of non-continuous gravelly sand lenses with varying thickness. Sands are typically medium to coarse. In some areas clayey gravel are also common.
- 2) Aquifer II: This aquifer is located at the depth from 20 to 45 m. The aquifers are multiple medium- to fine-sand lenses inter-fingering with clays. The thicknesses of these aquifers are not uniform and they lack of continuity. In some areas, gravelly aquifers are also found.
- 3) Aquifer III: This aquifer is located at the depth of 45-65 m. They consist of mostly coarse sands with some existence of gravels. Similar to the first two aquifer, thickness and lateral continuity are spatially variable.

9.2 Hydraulic Properties of Aquifers

In this study, several hydraulic tests were conducted to obtain parameters needed for subsequent setup of groundwater flow and solute transport models. Eleven pumping tests and six slug tests were carried out for aquifers in all sequences. The values of transmissivity (T), hydraulic conductivity (K), storage coefficient (S), and aquifer anisotropy (K_v/K_h) were determined based on these results and shown in Table 1.

In addition, conservative tracers test were also performed for all aquifers to determine longitudinal dispersivities (α_L) which will subsequently be used in solute transport model. Five tracer tests were executed and the resulting dispersivities were shown in Table 2 which ranged from 8.7 to 22.5 m.





Table 1 Pumping test results.

Sequence	Depth	T (m ² /day)	K (m/day)	S(-)	Anisotropy (K _v /K _h)
1	0-20	31.2-138.0	2.6-11.5	2.45×10^{-3} - 5.75×10^{-7}	0.81-1.0
2	20-45	0.39-55.2	0.049-6.9	1.63×10^{-3} - 8.76×10^{-4}	0.77 – 1.0
3	45-65	8.88-77.6	1.11-9.7	1.72×10^{-3} - 6.79×10^{-3}	0.68-1.0

Table 2 Conservative tracer test results.

Sequence	Depth	Dispersivity, α_L (m)
1	0-20	16.3-22.5
2	20-45	9.2-12.1
3	45-65	8.7

9.3 Groundwater Levels and Flow Directions

Generally, the shallow groundwater level of the dug wells were in the range of 1-10 m, while groundwater level of drilled wells were in the range of 5-25 m. The groundwater flow directions in both shallow and deep aquifers were toward the western and southwestern parts of the study area with some of the flow lines directing toward the northwest (Figures 8 and 9). It should be noted that shallow groundwater flow directions were more variable than deep aquifer. This could be due to the lateral discontinuity and variable thickness of the aquifers. Another possibility could arise from differential water use in some areas compared to the others.



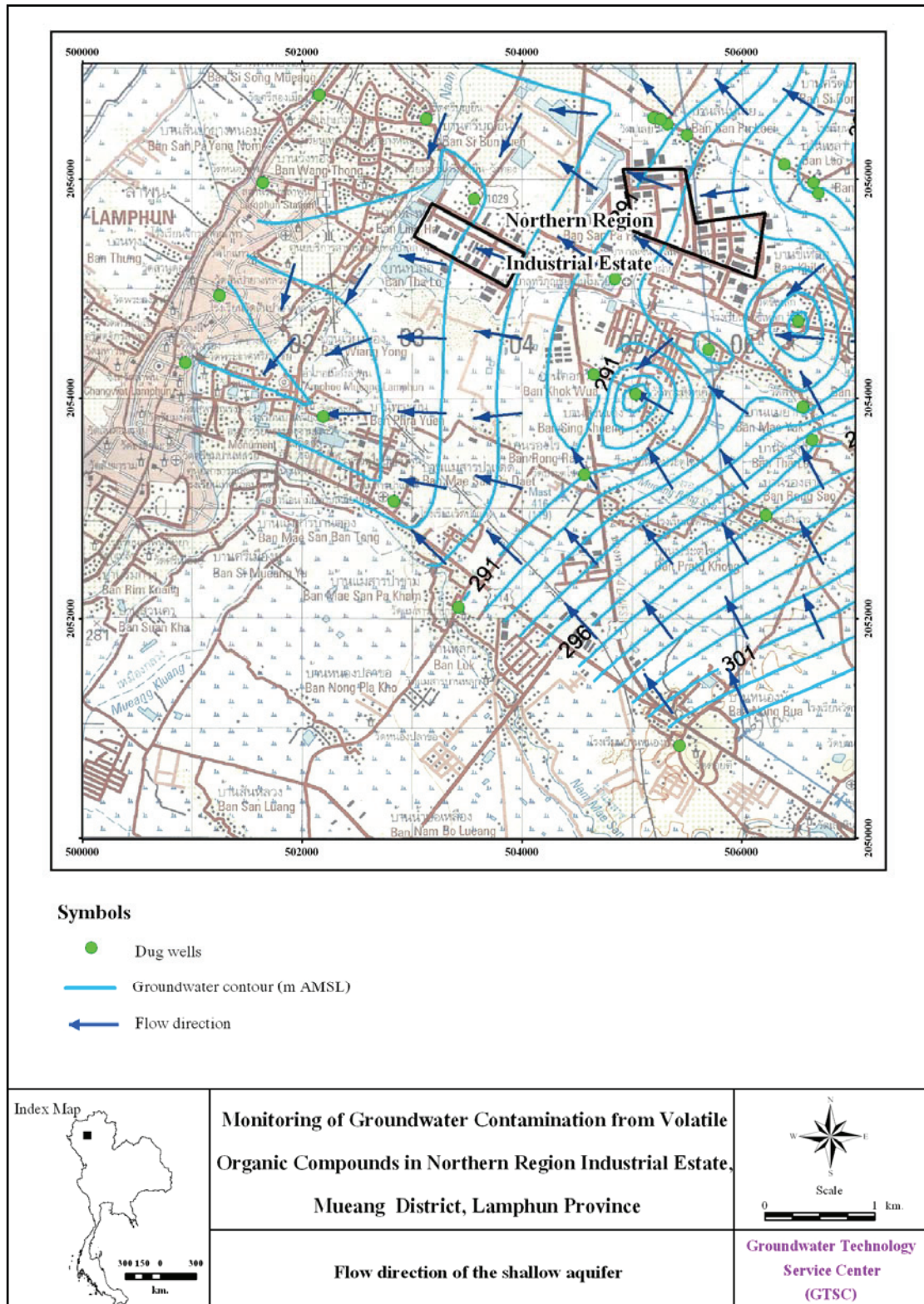


Figure 8 Flow direction of the shallow aquifer.

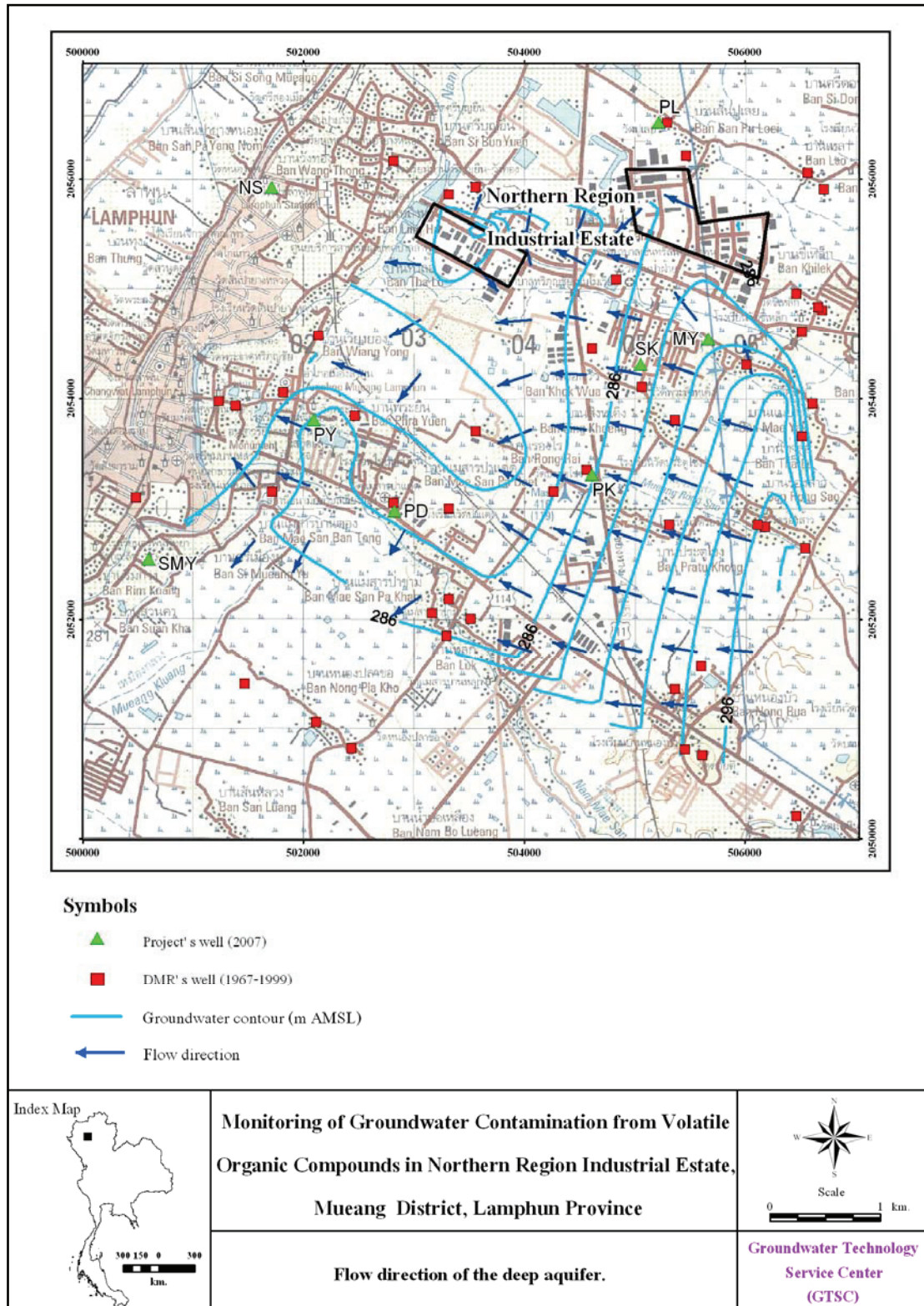


Figure 9 Flow direction of the deep aquifer.





9.4 Groundwater Quality

In this study, thirty shallow groundwater samples from dug wells and thirty deep groundwater samples from boreholes (Figure 10) were collected and analyzed for physical and chemical properties including heavy metal contents. It was found that most of the shallow groundwaters were not suitable for use as a drinking water supply according to the regulated standards in the following categories: turbidity, hardness, total dissolved solids, anions contents (chloride, fluoride, nitrate, and sulfate) and iron and manganese contents. For deeper aquifers, it was found that groundwater at some locations were not potable due to the same reason mentioned above. Nevertheless, the contamination of heavy metals was not detected except for some samples where zinc content was high but still lower than standards.

9.5 Groundwater Quality with Respect to Volatile Organic Compounds

Sixty groundwater samples were collected from dug wells and groundwater wells twice during wet and dry seasons. The samples were analyzed for thirteen commonly found volatile organic compounds including 1,1- dichloroethylene ; trans-1,2-dichloroethylene ; cis-1,2-dichloroethylene ; chloroform ; 1,2-dichloroethane ; benzene ; trichloroethylene ; 1,1,2-trichloroethane ; toluene ; tetrachloroethylene ; ethylbenzene ; *p*-xylene and *o*-xylene, in order to assess the groundwater contamination. The results of analyses indicated that at least one or more volatile organic compounds in the aforementioned list were detected in 12 out of 30 dug wells (Figure 11) and 18 out of 30 groundwater wells (Figure 12). Although VOC concentrations in groundwater were not exceed maximum contaminant levels of the groundwater standard, but some VOC concentration is obviously high. This result implied that groundwater contamination in the study area was of anthropogenic origin. It was speculated that there would be significant impacts on public health and groundwater resource in the area.



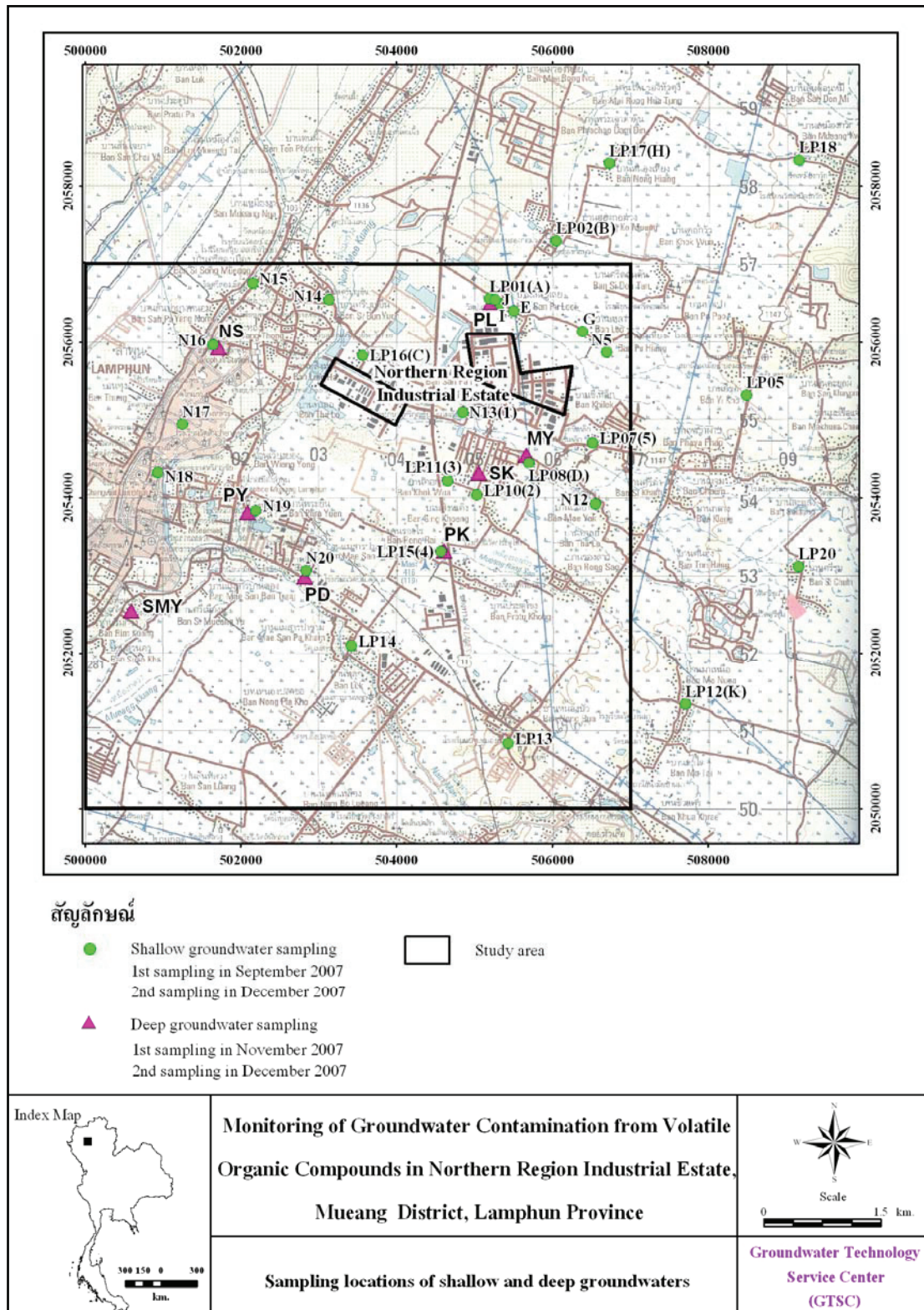


Figure 10 Sampling locations of shallow and deep groundwaters.



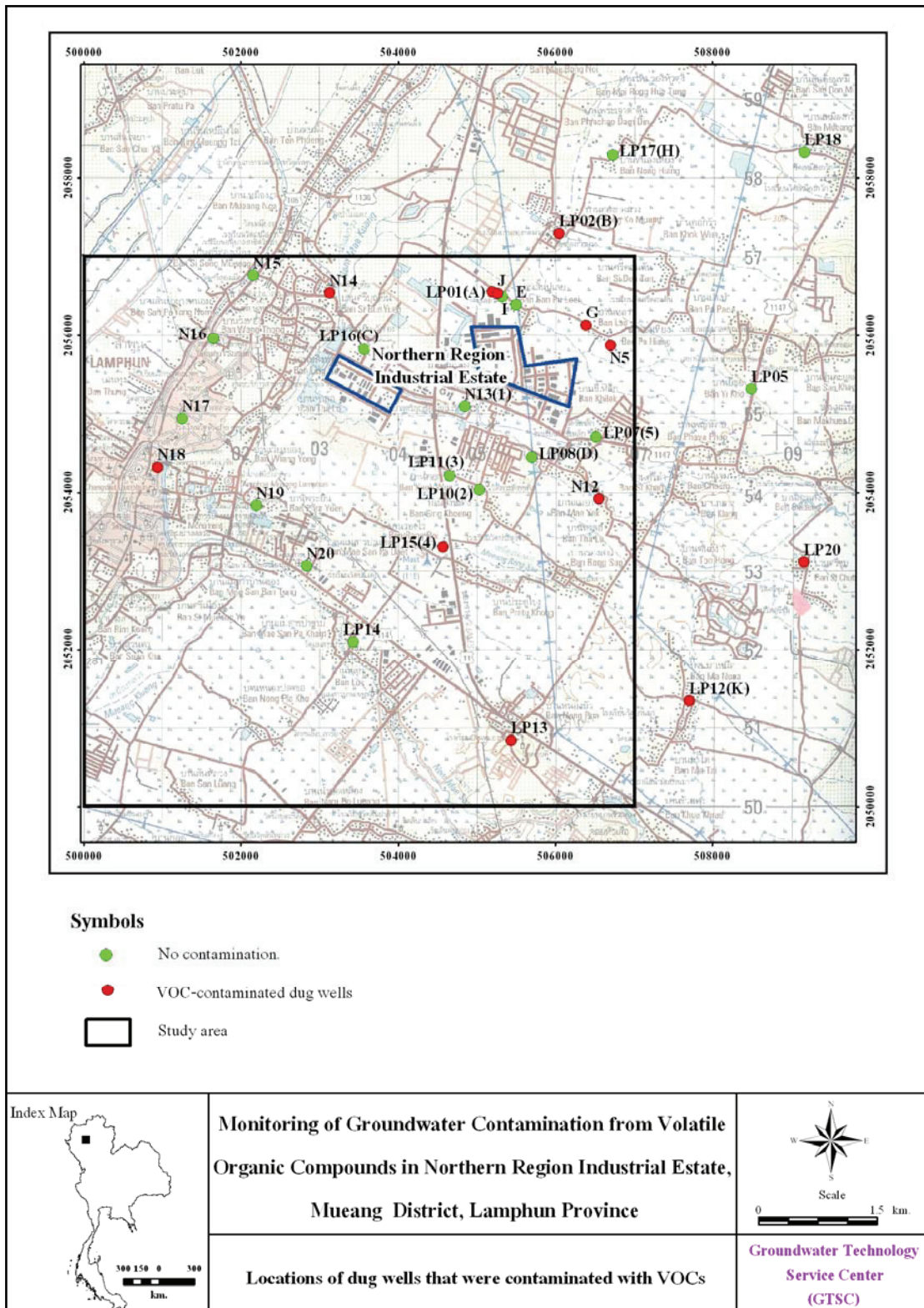


Figure 11 Locations of dug wells that were contaminated with VOCs.



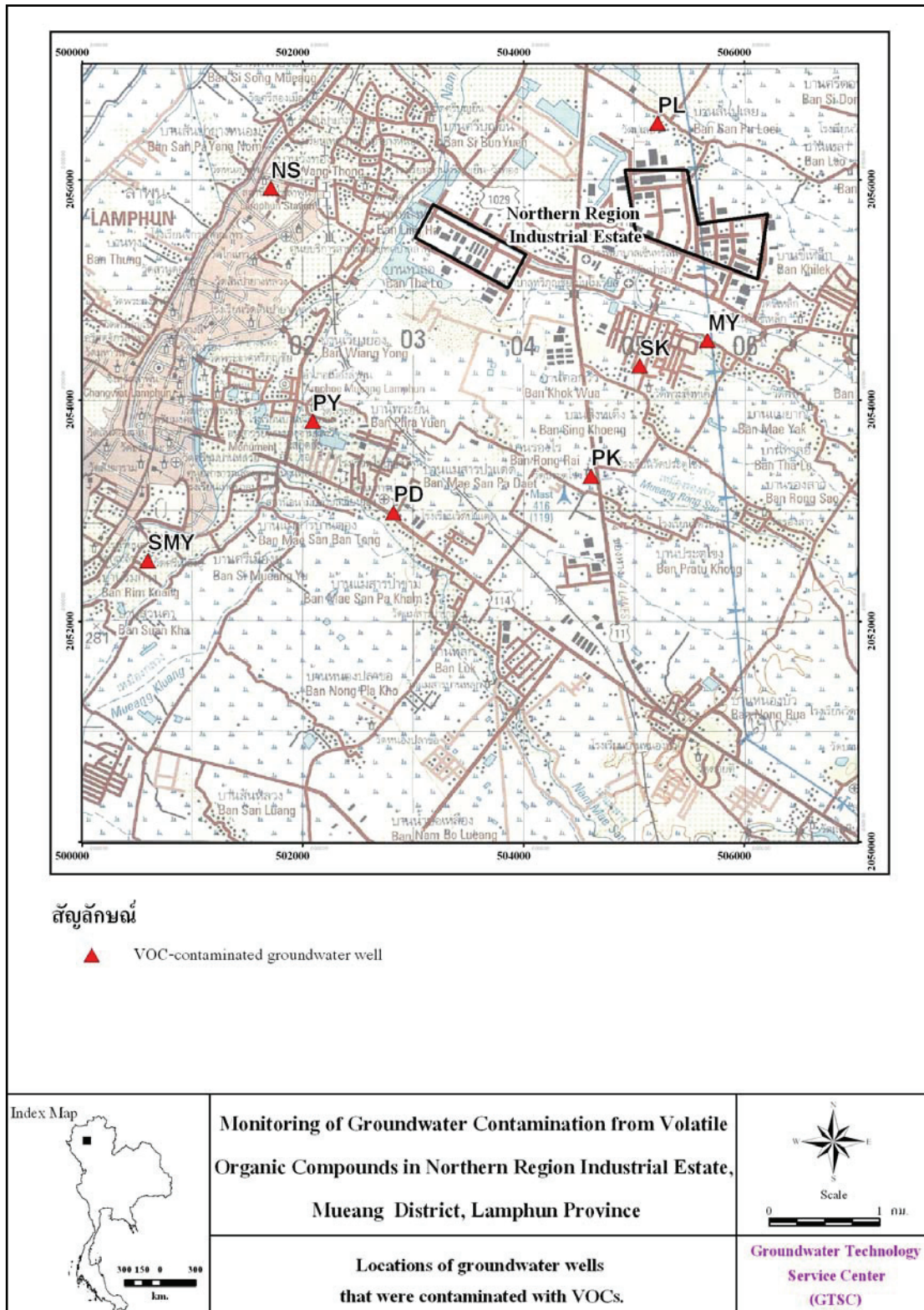


Figure 12 Locations of groundwater wells that were contaminated with VOCs.





10. Groundwater Flow Model

Groundwater flow models of the study area were set up using telescoping mesh refinement technique which resulted in two flow models namely regional- and local-scale flow models. The larger-area regional model represented the entire unconsolidated and semi-consolidated aquifers of the 2,800-km² Chiang Mai-Lamphun basin (Figure 13). The latter, a more-refined, local-scale model covered an area of 7×7 km² (UTM-E:500,000-507,000, UTM-N: 2,050,000-2,057,000) which included the study area of the Northern Region Industrial Estate (NRIE), Lamphun province (Figure 14).

Groundwater flow model setup for both scales followed generic steps described in Figure 15. First, a conceptual model of the area was developed. Then, such conceptual model was converted to a mathematical flow model to simulate groundwater flow regime under both steady-state and transient conditions. The mathematical model is a finite-difference based program called MODFLOW which is a package in Visual MODFLOW[®] version 4.2 (Waterloo Hydrogeologic, Inc, 2006). Next, a model calibration was carried out in order to reproduce actual flow conditions by automatically adjusting model parameters. Lastly, the calibrated flow model was used to construct a solute transport model for simulating fate and transport of volatile organic compounds in the study area.

In simulating groundwater flow and solute transport of both regional and local flow models, groundwater levels averaged over the year 2003 were used in a steady-state simulation which was then used as a starting point for subsequent transient runs. The transient flow model simulation used groundwater levels monitored during 2004-2007 for calibration, and predicted the flow regime for the next 20 years. The values of hydraulic heads in the regional model were used as head-dependent boundary conditions for local-scale model. The simulation time periods in a local model corresponded exactly to the regional model.

Figures 16-19 illustrated conceptual models and spatial discretization of both the regional and local models. The steady-state simulations, presented as water table contour maps, for both models were illustrated in Figures 20 and 21, respectively.. The transient model calibrations for both models were also shown in Figures 22 and 23, respectively.



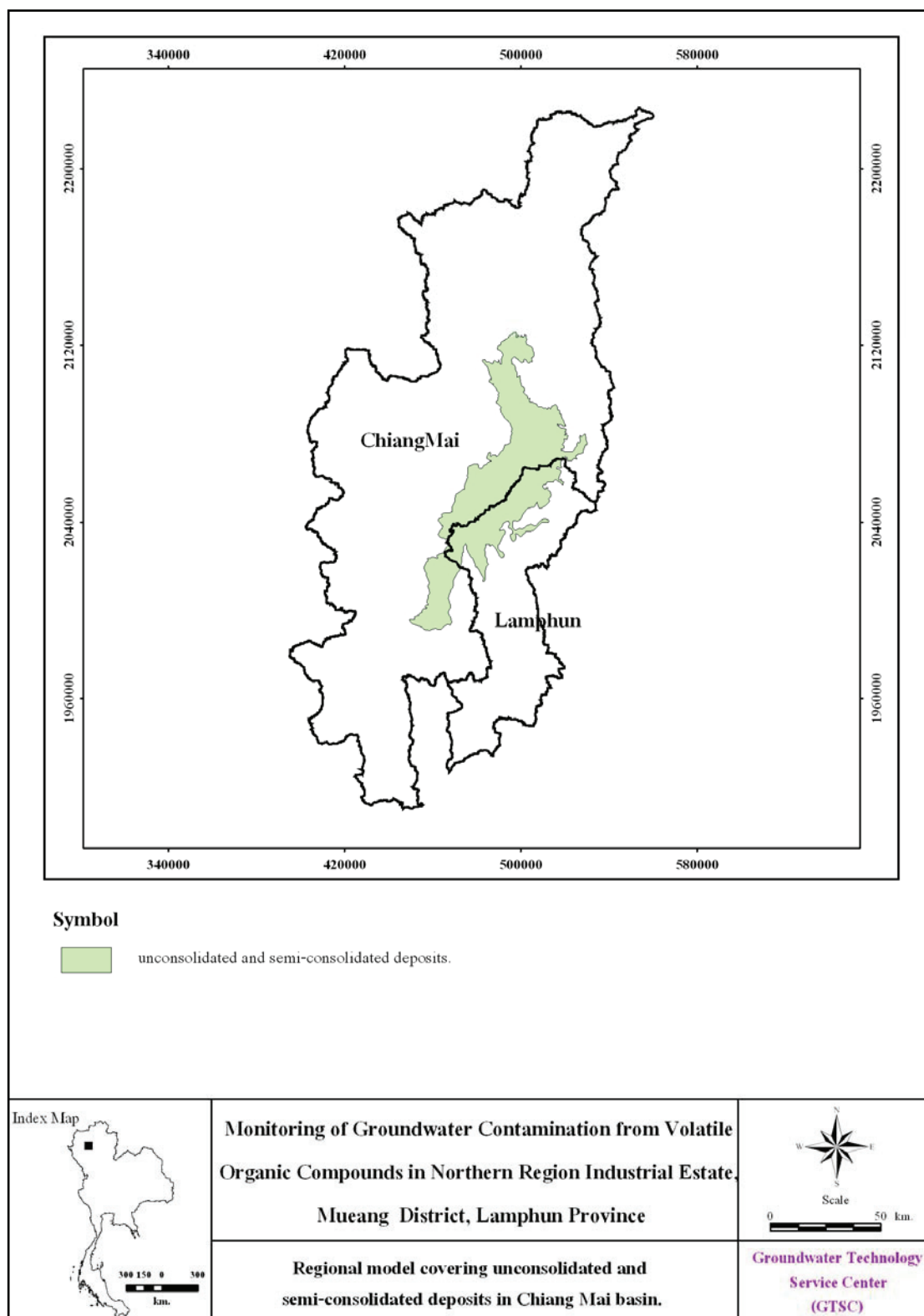


Figure 13 Regional model covering unconsolidated and semi-consolidated deposits in Chiang Mai basin.



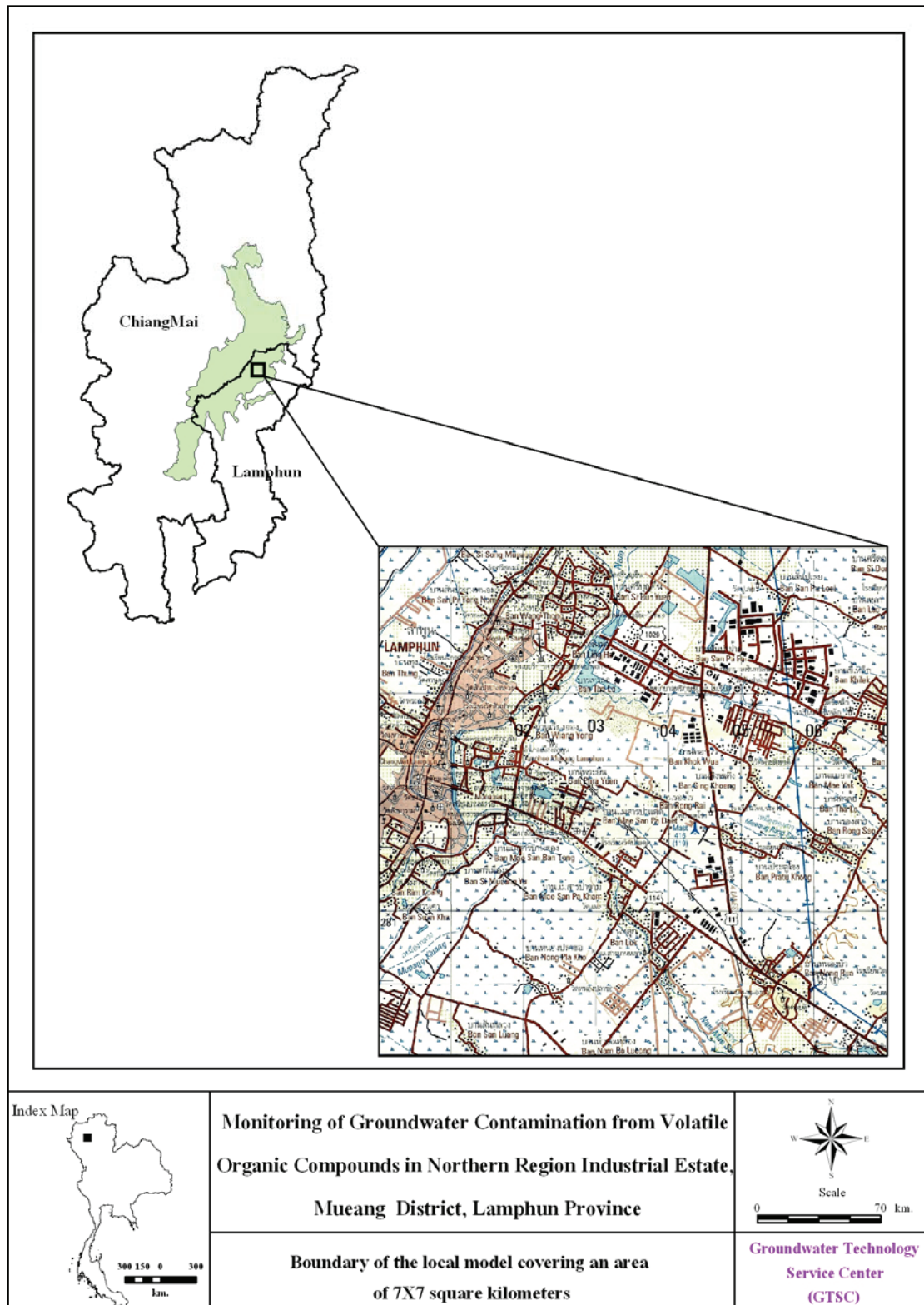


Figure 14 Boundary of the local model covering an area of 7×7 km².

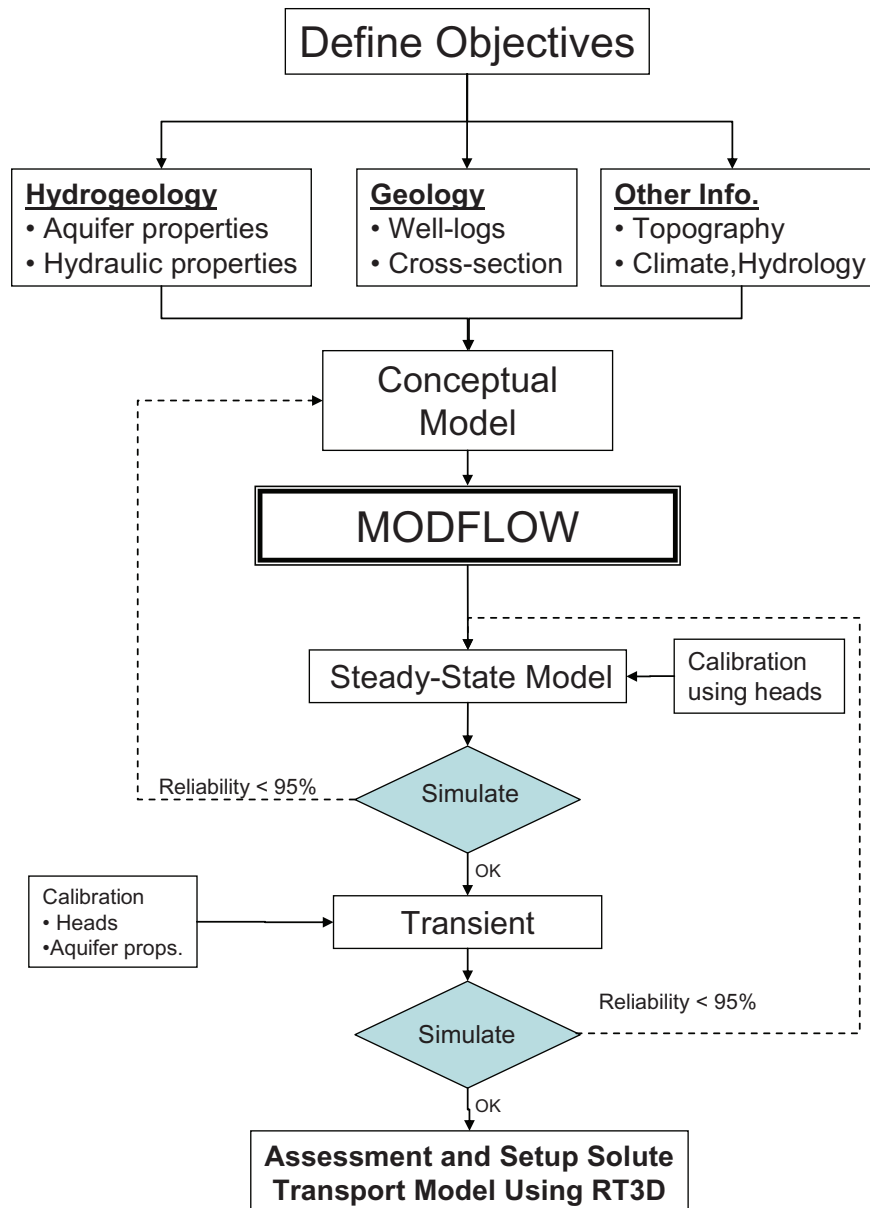


Figure 15 Model setup algorithms.



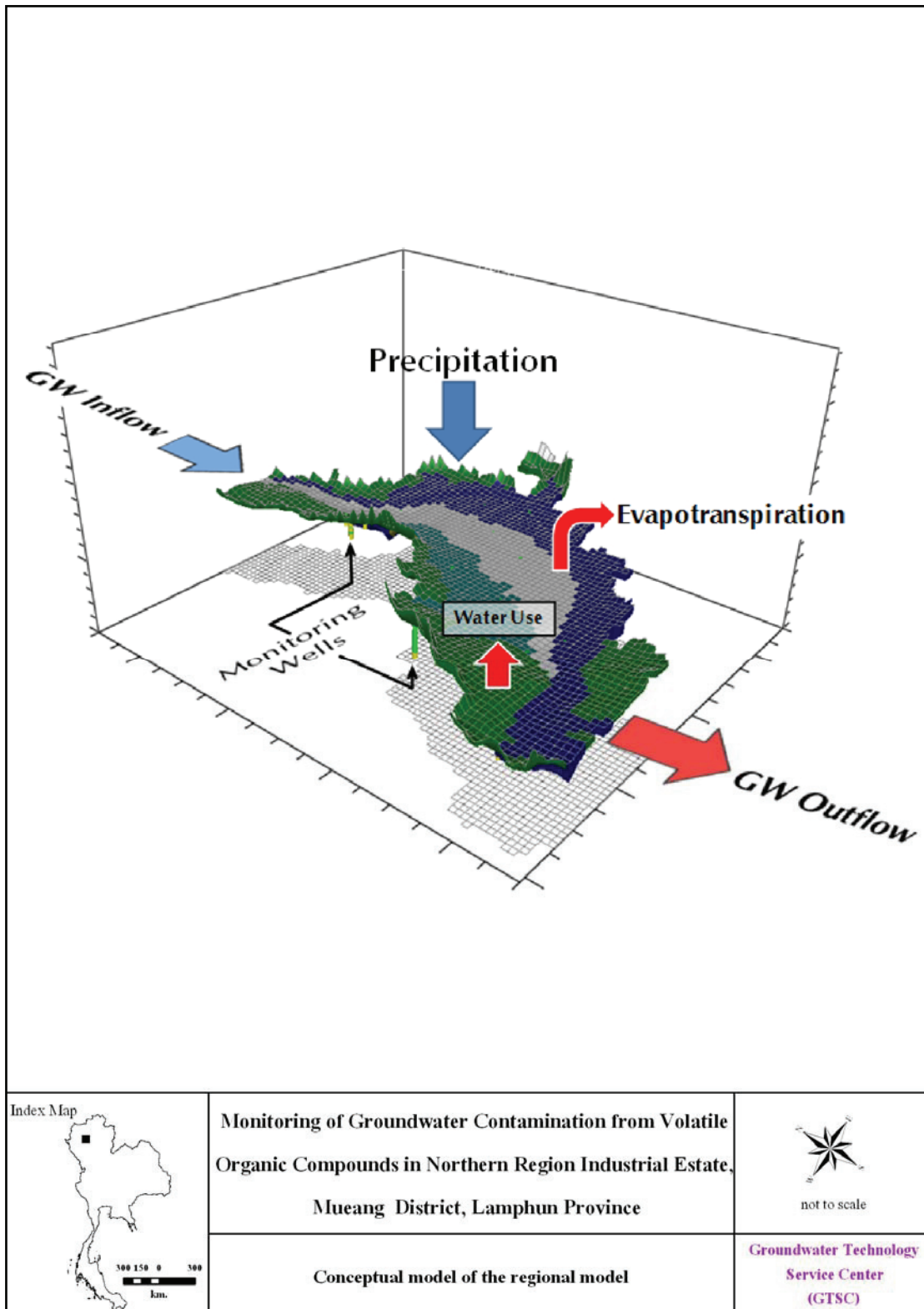


Figure 16 Conceptual model of the regional model.

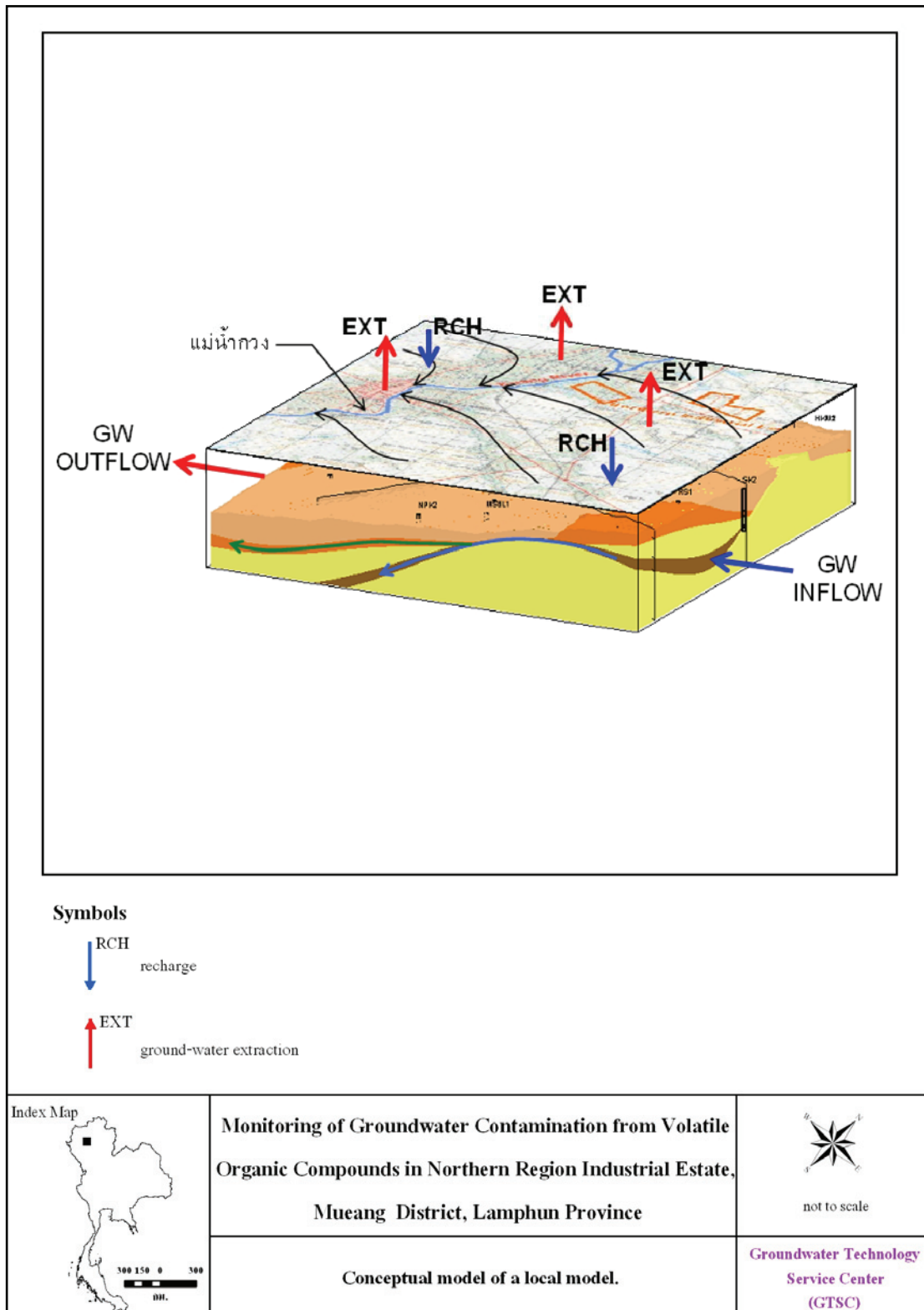


Figure 17 Conceptual model of a local model.



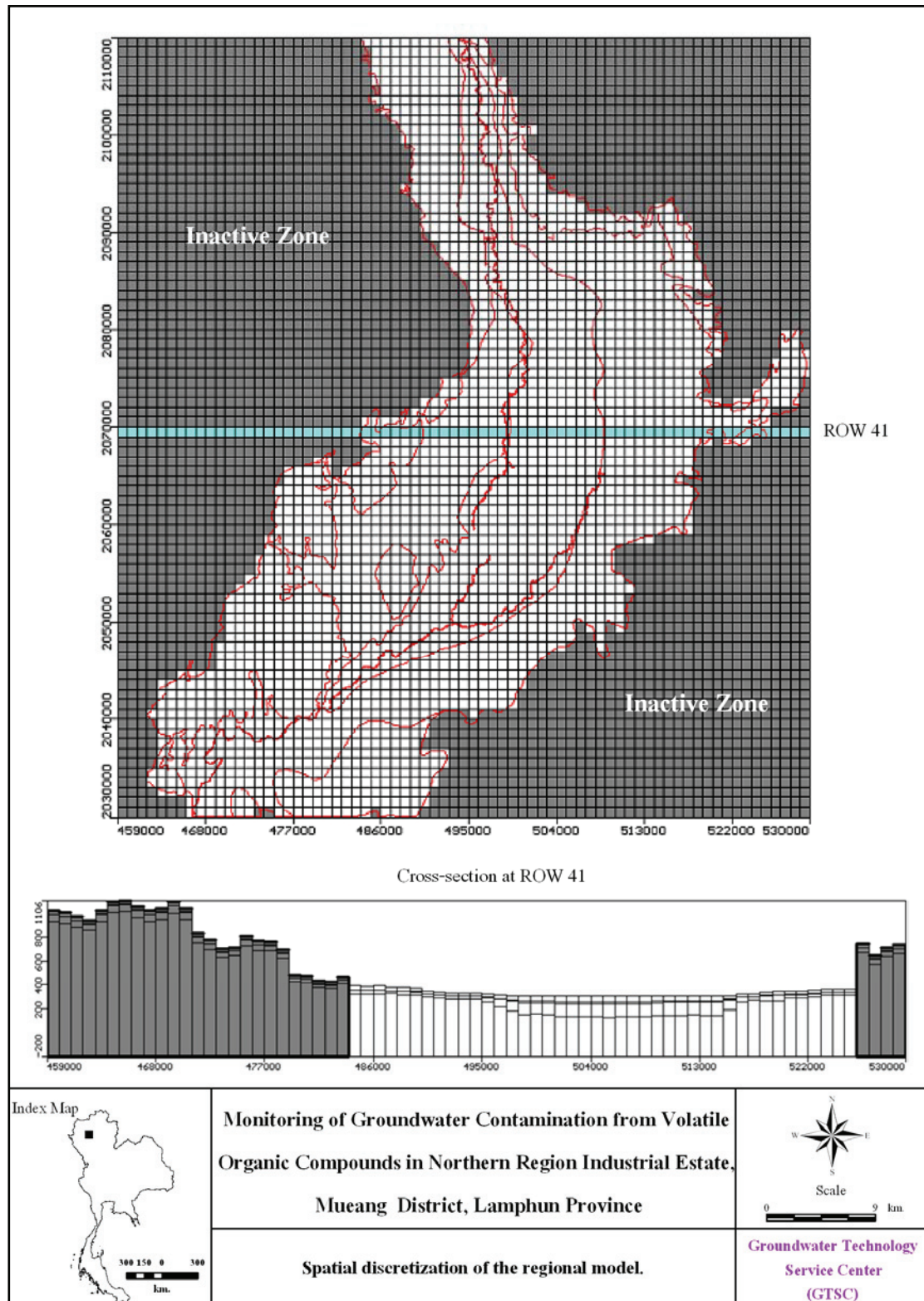


Figure 18 Spatial discretization of the regional model.

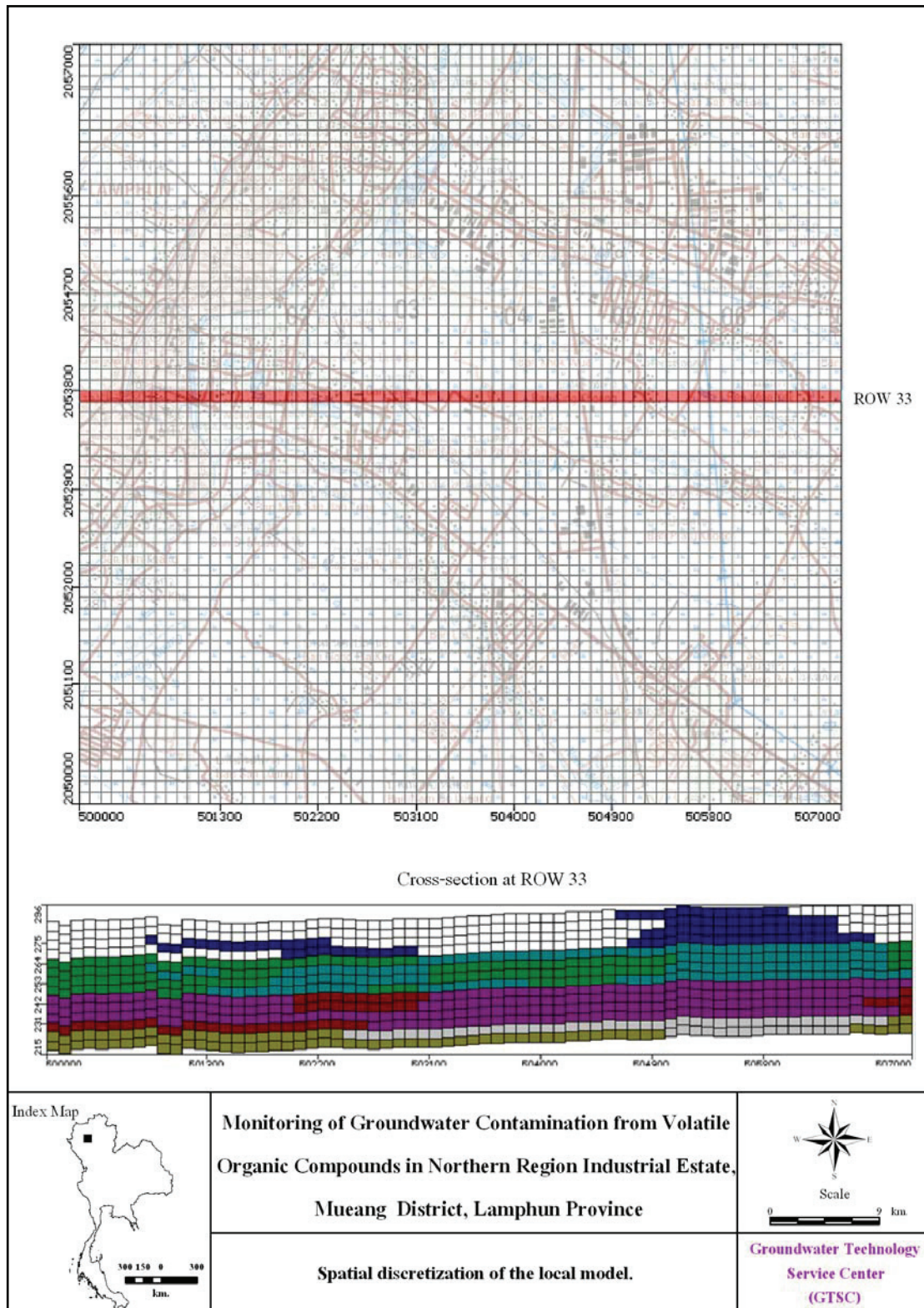


Figure 19 Spatial discretization of the local model.



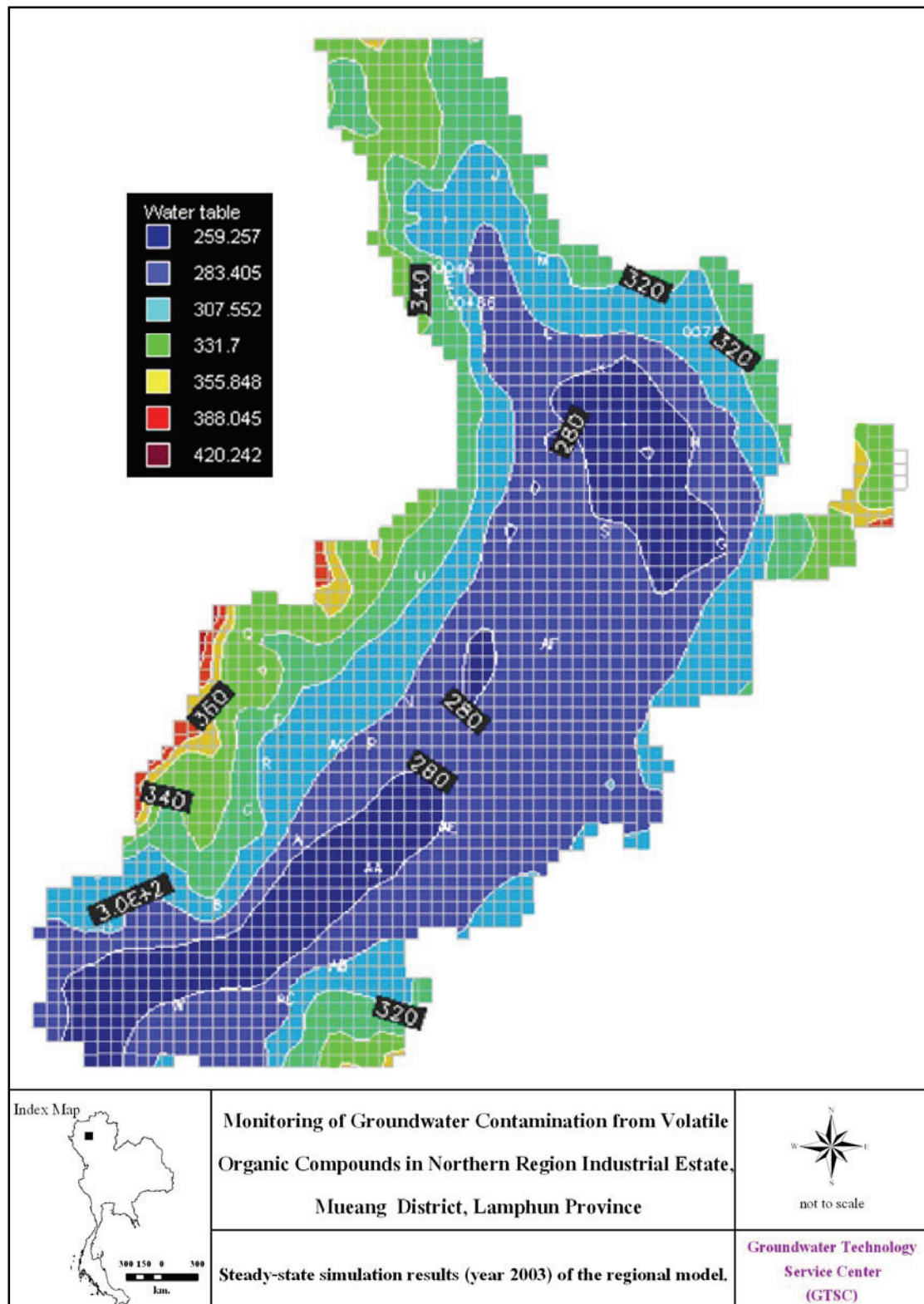


Figure 20 Steady-state simulation results (year 2003) of the regional model.

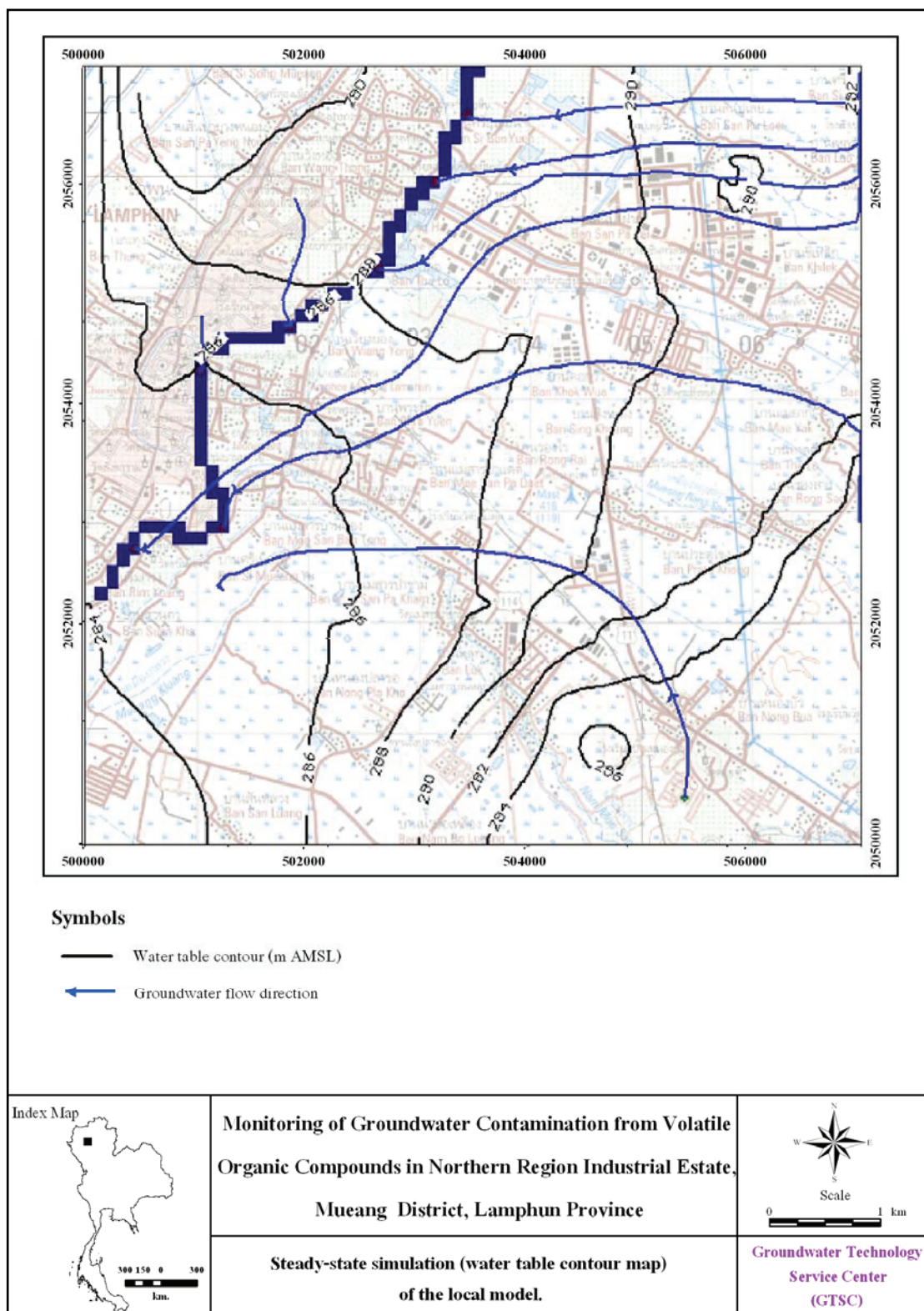


Figure 21 Steady-state simulation (water table contour map) of the local model.





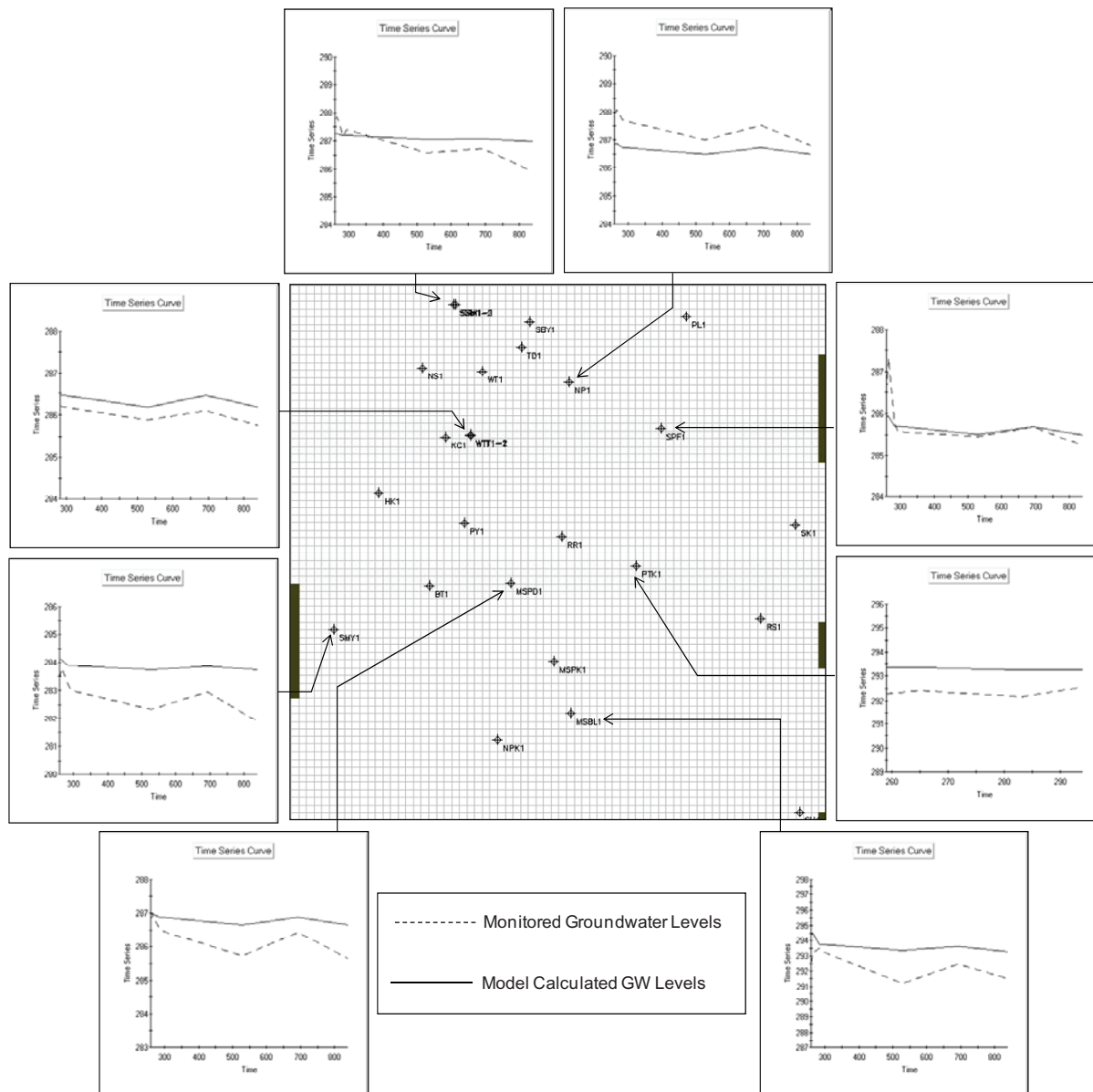


Figure 23 Transient flow model calibration of the local model.





11. Solute transport model

The solute transport model for simulating fate and transport of the volatile organic compounds (VOCs) was set up using programs MODPATH[®] (Pollock, 1998) and RT3D[®] (Clement, 1997) which were already included in Visual MODFLOW[®] version 4.2. Both programs were finite-difference based numerical model. The simulation of solute transport model required the solutions from groundwater flow model (MODFLOW) which were groundwater velocities. The solute transport simulation was carried out in the local model only. First, a back-tracking simulation was conducted to trace the travel paths of contaminants and determined where they originated. Then, a forward simulation was performed to determine plume concentration and to assess the extent and damage of groundwater contamination.

Figure 24 showed possible sources of VOCs both inside and outside the NRIE. These locations were used as a source zone in the simulation of solute transport model. The resulting contaminant plume was shown in Figure 25. The volume of contaminated groundwater was then calculated from the model and it was found that 44.0 million cubic meters of groundwater was contaminated at concentration higher than 1.0 µg/L.

12. Conclusions and Recommendations

The VOCs contaminant plume was shown in Figure 25, as a result from the simulation of solute transport model. At present, the volume of contaminated groundwater with VOCs concentration higher than 1.0 µg/L, was 44.0 million cubic meters.

Although the VOCs concentration found in both shallow and deep groundwaters in the study area were not exceed the groundwater standard, some VOCs concentration is obviously high. These include 1,1-dichloroethylene ; 1,2-dichloroethane ; benzene ; trichloroethylene ; toluene; 1,1,2-trichloroethane ; tetrachloroethylene and o-xylene.

This result implied that groundwater contamination (at depth between 0-50 meters) in the study area was of anthropogenic origin. It was speculated that there would be significant impacts on public health and groundwater resource in the area. Remedial measures both short and long term action plans were proposed.

Monitoring of groundwater contamination both in shallow and deep wells were recommended. Legislative measure should also take into consideration.



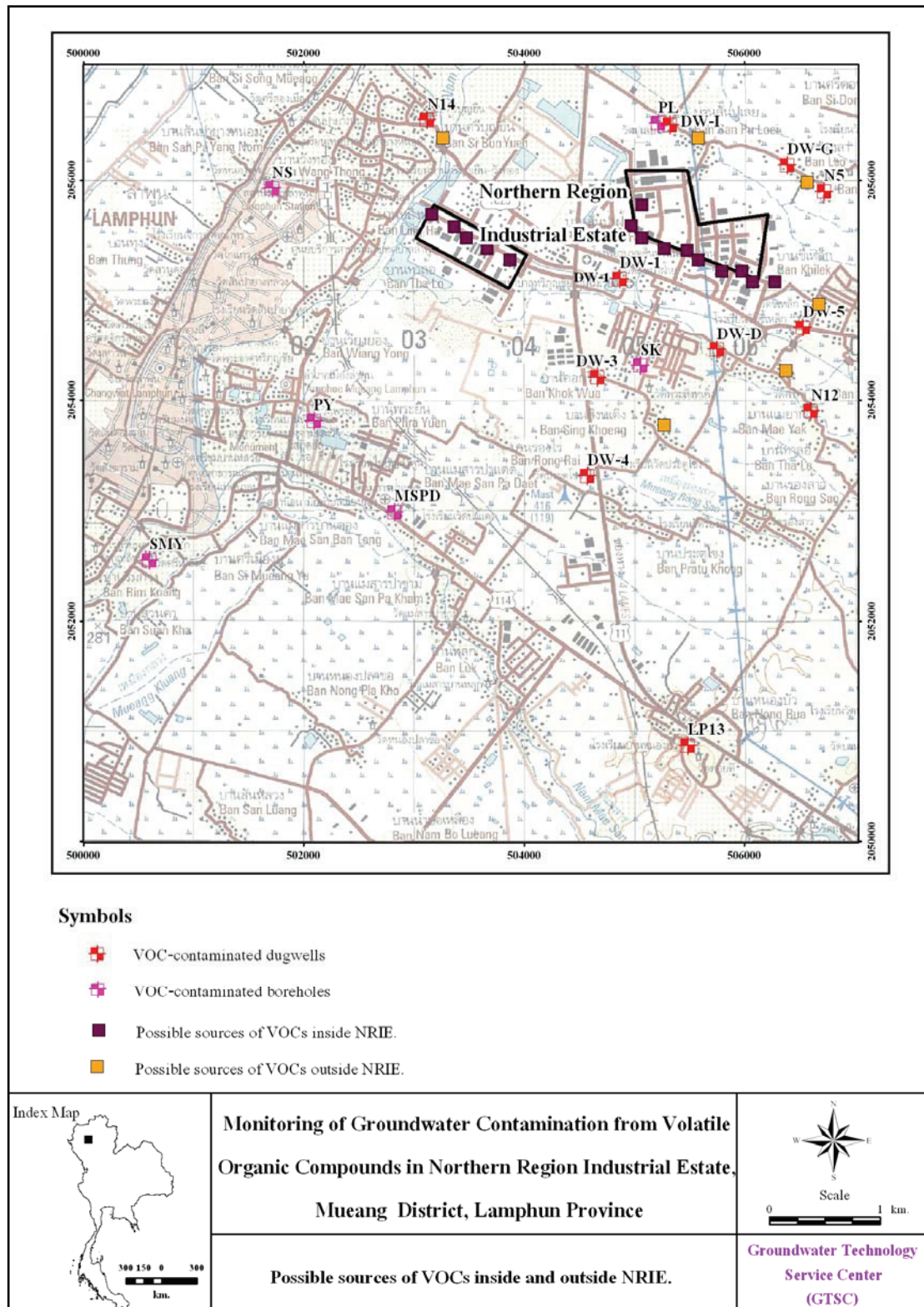


Figure 24 Possible sources of VOCs inside and outside NRIE.



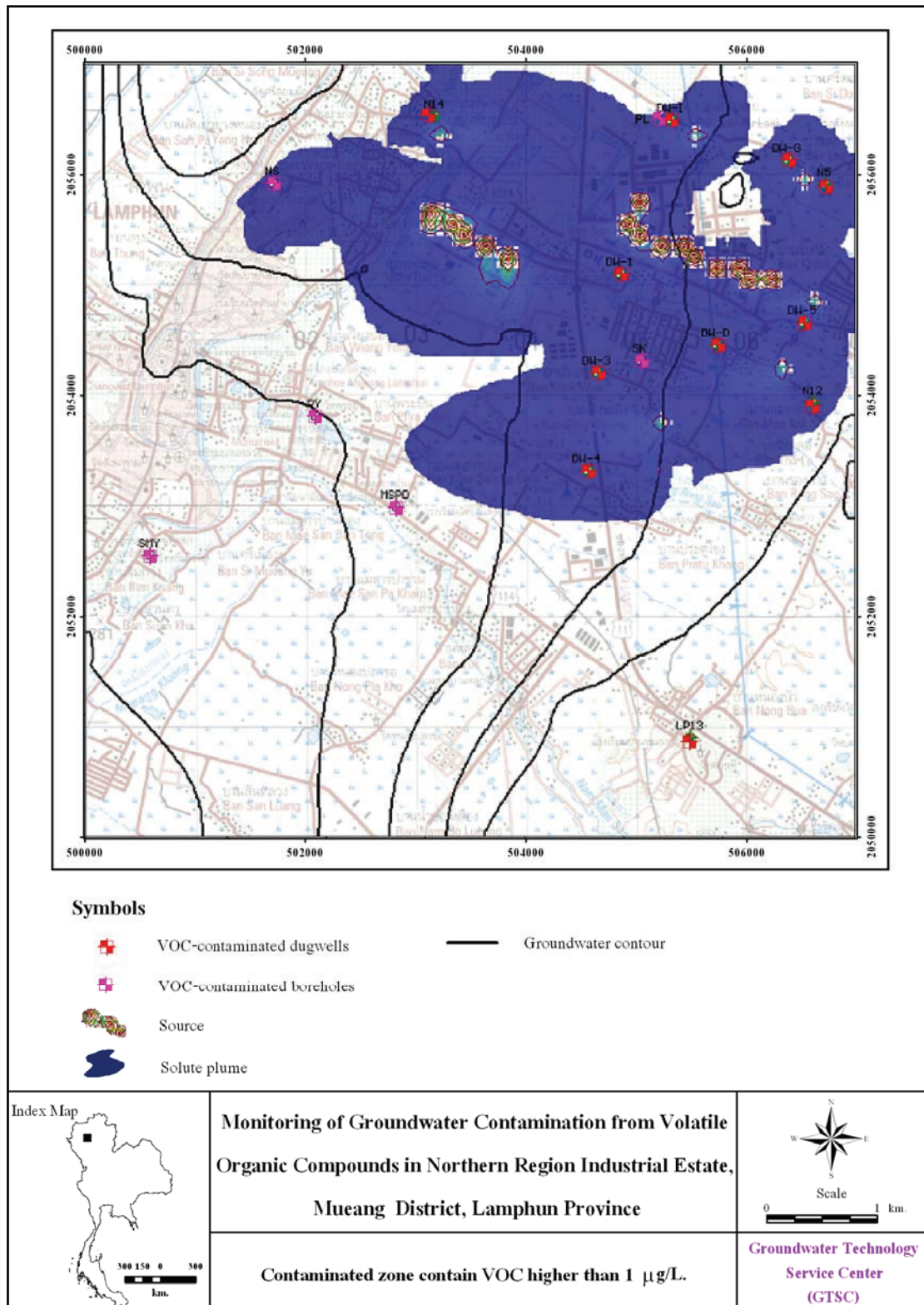


Figure 25 Contaminated zone contain VOC higher than 1 µg/L.

