บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยออกเป็นสองส่วน คือ ขอบเขตทางด้านพื้นที่ และขอบเขตทางด้านเวลา ดังนี้

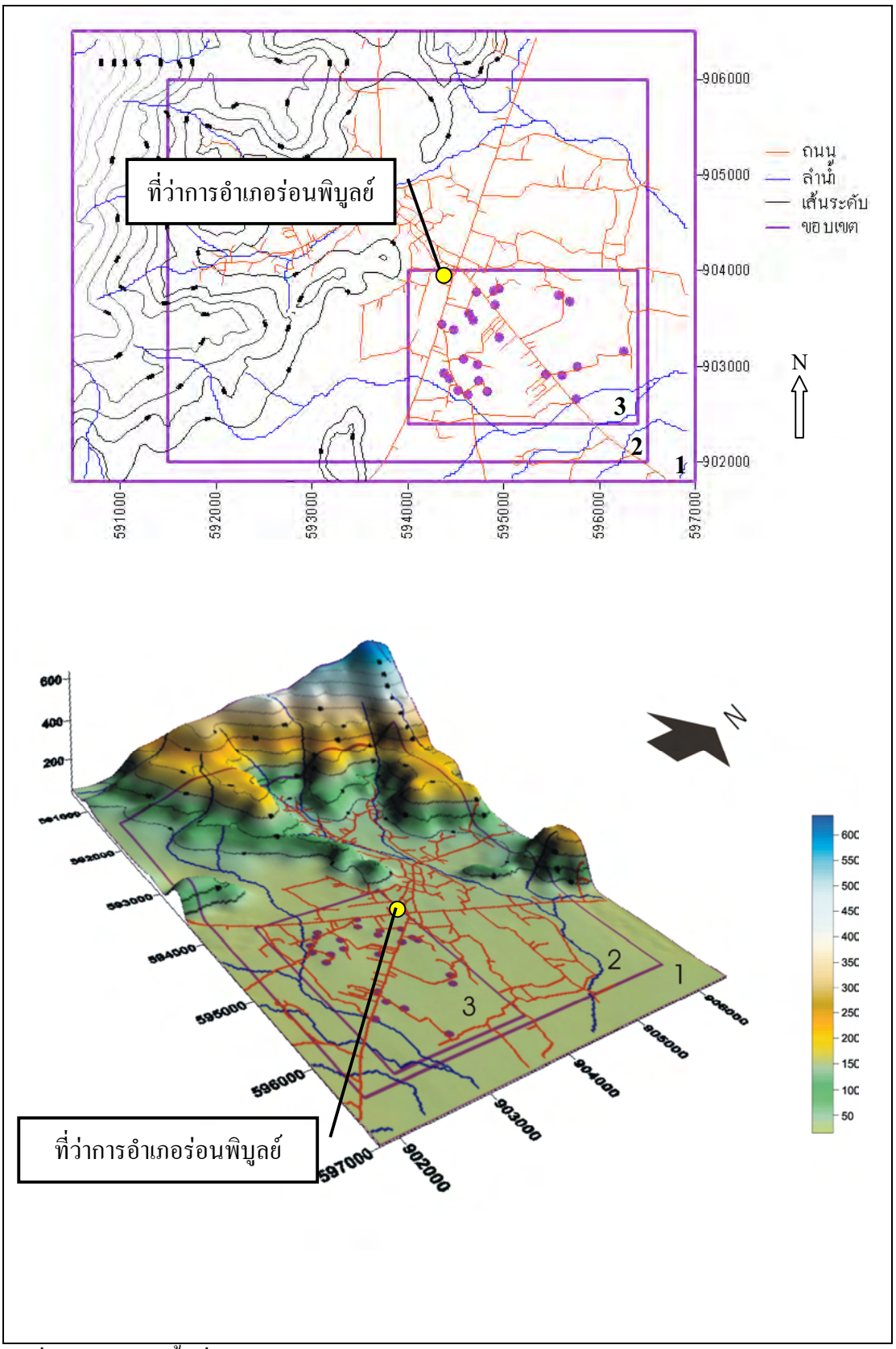
2.1.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารหนูในน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ทำการศึกษาการไหลของน้ำใต้ดินก่อน โดยทำการศึกษาครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างกว่าการศึกษาการเคลื่อนที่ของสารหนู พื้นที่ศึกษาการไหลของน้ำใต้ดินครอบคลุมพื้นที่ หมู่ที่ 12 และ 13 ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ส่วนพื้นที่ศึกษาการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน ทำการศึกษาเฉพาะในพื้นที่หมู่ที่ 13 ตารางที่ 2-1 แสดงพิกัดของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พื้นที่สำหรับวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และพื้นที่ศึกษาการแพร่กระจายของสารหนู โดยพื้นที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	ตำแหน่ง	พิกัด X	พิกัด Y	รวมพื้นที่ (km^2)
1).พื้นที่ศึกษาทั้งหมด	มุมล่างซ้าย	590500	901800	30.55
	มุมบนขวา	597000	906500	
2).สำหรับวิเคราะห์การไหลของน้ำใต้ดิน	มุมล่างซ้าย	591500	902000	20
	มุมบนขวา	596500	906000	
3).สำหรับศึกษาการแพร่กระจายของสารหนู	มุมล่างซ้าย	594000	902400	3.84
	มุมบนขวา	596400	904000	

X และ Y คือพิกัดภูมิศาสตร์ ด้าน Easting และ Northing ในระบบ Indian โซน 47N-UTM



รูปที่ 2-1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ในแบบระนาบ และ 3 มิติ

2.1.2 ขอบเขตด้านเวลา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการ ครอบคลุมเวลาตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ.2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2545 โดยทำการเก็บข้อมูล 2 ประเภท คือ

(1) เก็บข้อมูลระดับน้ำบ่อตื้น 8 ครั้ง ในระยะเวลา 1 ปีเพื่อนำมาคำนวณการไหลของน้ำใต้ดิน

(2) เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารหนู 8 ครั้ง ในระยะเวลา 1 ปี

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 อุปกรณ์สำหรับทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(1) เครื่องคอมพิวเตอร์ : CPU Pentium 4 ความเร็ว 1.7 GHz, Hard Disk 60 GB, RAM 1 GB

(2) ซอฟท์แวร์ (software)

- ArcView 3.1 (Environmental Systems Research Institute, Inc. USA)
- SURFER 6.0 (Golden Software, Inc. Colorado, USA)
- Visual MODFLOW v2.8.1 (Waterloo Hydrogeologic, Inc. Canada)

2.2.2 อุปกรณ์สำหรับภาคสนาม

- สายหยั่งระดับน้ำ
- ขวดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารหนู
- เครื่องจับพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS)
- กล้องระดับ และไม้ระดับ
- อุปกรณ์ hand auger

2.3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 6 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จัดเตรียมข้อมูลภาคสนามและข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ จัดทำแบบจำลองน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์และอภิปรายผลการศึกษา และสรุปผลการศึกษา

2.3.1 จัดเตรียมข้อมูลทางอุทกศาสตร์สำหรับใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาตร์

2.3.1.1 ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำในระบบน้ำใต้ดินเพื่อใช้จำลองการไหลของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์และประเมินจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนของสถานีตรวจวัดอำเภอร่อนพิบูลย์ ของกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2528 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545

2.3.1.2 การคายระเหย

ข้อมูลการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศ (evaporation) ของพื้นที่ศึกษา จะนำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาที่สถานีจังหวัดนครศรีธรรมราช เนื่องจากเป็นเพียงสถานีเดียว ที่มีการตรวจวัดการระเหยของน้ำจากถาด (pan evaporation, E_p) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2526 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546 ถาดที่ใช้เป็นถาดชั้น A มีหญ้าเป็นพืชอ้างอิง

2.3.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ศึกษา ไม่มีการบันทึกข้อมูล จึงได้ใช้ข้อมูลจากสถานีอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช ที่ทำการตรวจวัดเพียงสถานีเดียว ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2536 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546

2.3.1.4 ปริมาณน้ำท่า

บริเวณพื้นที่ศึกษาไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าตั้งอยู่ จึงได้อาศัยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยจากสถานีใกล้เคียง คือ สถานี X167 คลองเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 268 ตร.กม. ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2533 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2542

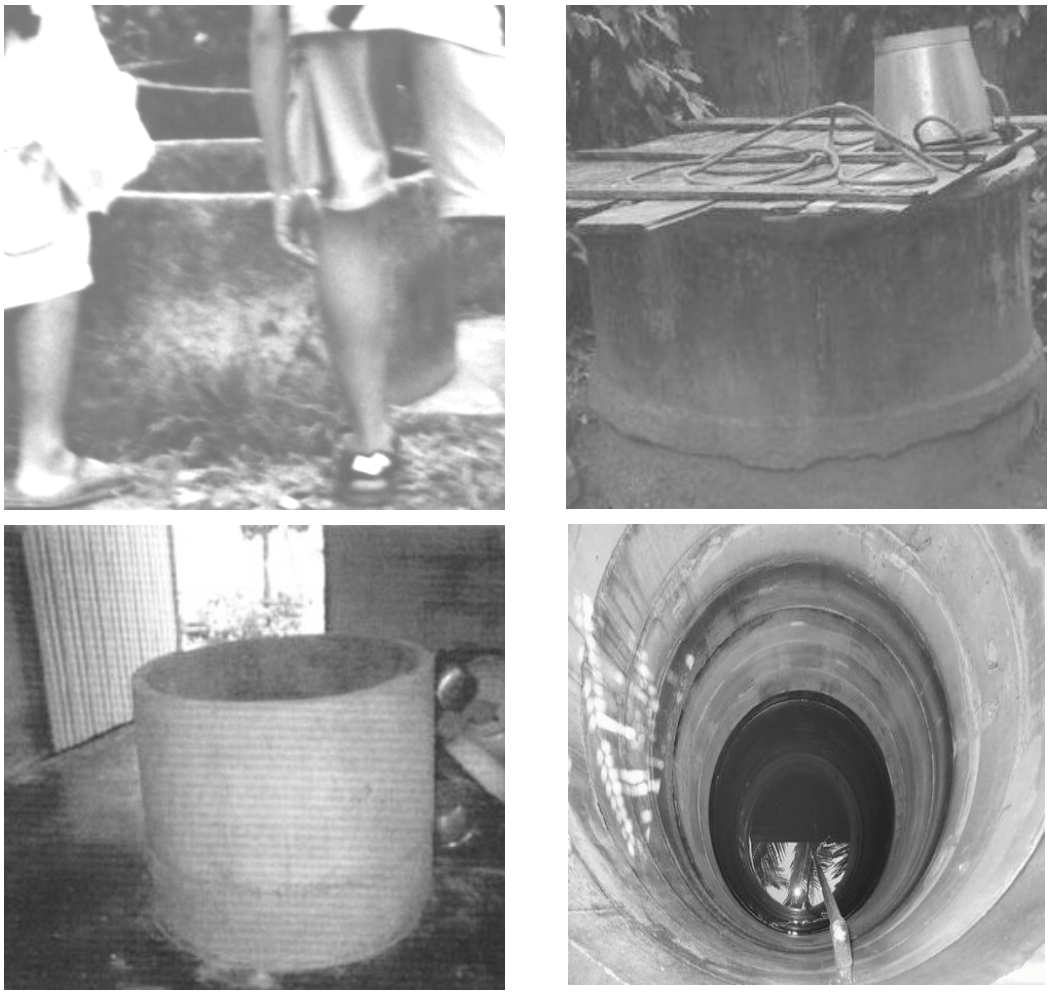
2.3.1.5 การคำนวนปริมาณการเติมน้ำ (recharge)

ปริมาณการเติมน้ำ (recharge) สู่พื้นที่ศึกษา คำนวณได้จากการใช้กฎการอนุรักษ์มวลสารตามที่ได้กล่าวไว้ ในหัวข้อ 1.4.2 โดยน้ำที่ไหลเข้าระบบได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (P) ส่วนน้ำที่ไหลออกจากระบบได้แก่ ศักย์การคายน้ำ (ET_p) และปริมาณน้ำท่า (stream) เมื่อนำปริมาณน้ำไหลเข้ามาลบปริมาณน้ำไหลออก จะได้การเปลี่ยนแปลงในปริมาตรการกักเก็บ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2528 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545

2.3.2 จัดเตรียมข้อมูลภาคสนามและข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ

2.3.2.1 เก็บตัวอย่างและวัดระดับน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน จากหมู่ที่ 13 พร้อมทั้งวัดระดับน้ำเพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินทั้งหมด 9 ครั้ง ครั้งแรกในเดือนกันยายน พ.ศ. 2544 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำตื้น 156 หลังคาเรือน และสัมภาษณ์ทุกครัวเรือน เพื่อสำรวจภาพรวมของการปนเปื้อนและลักษณะของบ่อน้ำ รวมถึงการใช้น้ำทั้งพื้นที่ (รูปที่ 2-2)



รูปที่ 2-2 ลักษณะของบ่อน้ำในพื้นที่ศึกษา

ในการเก็บตัวอย่างครั้งต่อๆ มา ได้เลือกบ้านที่เจ้าของบ้านให้ความร่วมมือรวม 23 หลังคาเรือน โดยยังครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา เก็บตัวอย่างน้ำทุกเดือนต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม

ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 รวม 8 เดือน และทำการวัดระดับน้ำขณะเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ก่อนเก็บตัวอย่างได้มีการแจ้งเจ้าของบ่อน้ำที่จะทำการเก็บตัวอย่างล่วงหน้า เพื่อขอความร่วมมือในการหยุดการใช้น้ำในวันที่ทำการวัดระดับน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อให้ข้อมูลระดับน้ำและคุณภาพน้ำที่ได้ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากที่สุด

2.3.2.2 วัดระดับพื้นที่

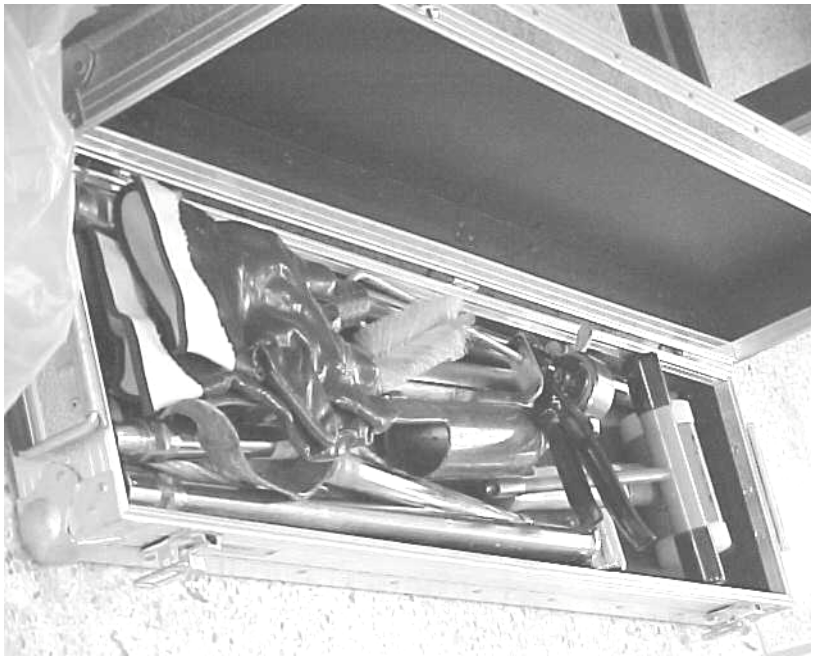
เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีลักษณะค่อนข้างราบ ความสูงของพื้นดินแตกต่างกันไม่มากนัก การใช้ค่าความสูงของพื้นที่ที่ได้จากแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารทำให้เกิดความผิดพลาดของระดับน้ำได้มาก ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการสำรวจระดับความสูงต่ำของพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติมจากการสำรวจของ JICA (1999) เพื่อให้ได้ระดับพื้นที่และระดับของขอบบ่อน้ำที่จุดเก็บตัวอย่าง ที่ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น การสำรวจระดับพื้นที่โดยใช้กล้องระดับ ทำการถ่ายระดับพื้นที่โดยอ้างอิงจากฐานบ่อ MV492 พิกัด 594675E 902770N ในระบบ Indian ซึ่ง JICA (1999) ได้ทำระดับไว้แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2-3

รูปที่ 2-3 การสำรวจระดับพื้นที่ศึกษา

2.3.2.3 เก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ hand auger (รูปที่ 2-4) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ วิเคราะห์องค์ประกอบขนาดของดิน และการทดสอบการดูดซับ

สารหนูของดิน โดยขุดเจาะดินและใช้กระบอกสแตนเลสยาว 20 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 50 ถึง 70 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-4 อุปกรณ์ Hand Auger

รูปที่ 2-5 การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา

2.3.2.4 วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในตัวอย่างน้ำ

ส่งตัวอย่างให้ ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในน้ำตัวอย่าง ด้วยวิธีโคลเวเพอร์อะตอมมิคแอบซอฟชันสเปคโตรสโคปี (cold vapor atomic absorption spectroscopy) ณ สถาบันวิจัยทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน จังหวัดภูเก็ต ดูรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก

2.3.2.5 วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

ปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดินวิเคราะห์โดยวิธี วอลกี-แบล็ค (Walkey-Black Method) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงโดย Loring and Rantala (1995) ดูรายละเอียดวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ข

2.3.2.6 วิเคราะห์หาองค์ประกอบขนาดของดิน

องค์ประกอบขนาด ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ของตัวอย่างดินในพื้นที่ วิเคราะห์โดยใช้วิธีร่อนเปียก (wet sieve) ผ่านตะแกรงร่อน ขนาดรูเปิด 63 ไมครอน หลังจากกำจัดสารอินทรีย์ในดินด้วย 10%H_2O_2 ส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบขนาด ทราย ทรายแป้งและดินเหนียว โดยวิธีการตกตะกอนอย่างอิสระในตัวกลางที่เป็นน้ำ ดูรายละเอียดวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ค

2.3.2.7 ทดสอบการดูดซับสารหนูของดิน

ทำการทดสอบการดูดซับสารหนู (batch adsorption test) ของดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ สำหรับใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รายละเอียดการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

2.3.3 สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

ในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ใช้ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ขอบเขตการกระจายตัว ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อประเมินคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ เช่น สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (transmissivity, T) สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity, K) และสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (storage coefficient, S) จากข้อมูลการสูบทดสอบของ JICA (1999) รวมถึงวิเคราะห์ทิศทางการไหลและระบบการไหลของน้ำใต้ดิน จากข้อมูลบ่อน้ำตื้น

ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ คุณภาพน้ำ ความลึก ข้อมูลการสำรวจอุทกธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ อุทกวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ เพื่อแปลงข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

2.3.4 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จัดทำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดินในพื้นที่หมู่ที่ 13 ตำบลร่อนพิบูลย์ ประกอบด้วย แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 20 ตารางกิโลเมตร โดยออกแบบกริด (grid) คัดเลือกขั้นเวลา (time step), กำหนดสภาพขอบเขต (boundary conditions) และสภาพเริ่มต้น (initial conditions) ด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW version 2.8.1 (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 1999) ซึ่งเป็นโปรแกรมการคำนวณใน 3 มิติ และใช้การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference) จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน และปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ภายใต้สภาวะคงที่ (steady state) และสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient state) พร้อมทั้งการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (sensitivity analysis) เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือหรือถูกต้องมากที่สุด โดยรายละเอียดในการทำแบบจำลองได้กล่าวถึงในบทที่ 4 เรื่องแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 ขอบเขตของการวิจัย.....43
2.1.1 ขอบเขตด้านพื้นที่.....43
2.1.2 ขอบเขตด้านเวลา.....45
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....45
2.2.1 อุปกรณ์สำหรับทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....45
2.2.2 อุปกรณ์สำหรับภาคสนาม.....45
2.3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....45
2.3.1 จัดเตรียมข้อมูลทางอุทกศาสตร์สำหรับใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาตร์.....46
2.3.2 จัดเตรียมข้อมูลภาคสนามและข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ.....47
2.3.3 สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์.....50
2.3.4 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....51