

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลบริเวณสถานประกอบการฝังกลบขยะ จังหวัดราชบุรี

Simulation of Groundwater Flow around Landfill Site, Ratchaburi Province

เกษราภรณ์ สุนทรพฤกษ์ (Ketsaraporn Sunthornpruek)* ดร.ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์ (Dr.Srilert Chotpantararat)**
ดร.ทัศนีย์ เนตรทัศน์ (Dr.Tussanee Nettasana)***

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินทิศทางการไหลของน้ำบาดาลรอบสถานประกอบการฝังกลบขยะอำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW ในการจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ใน 3 มิติ แบบจำลองครอบคลุมพื้นที่ 3.6 ตร.กม. ประกอบด้วย 100 แถว 90 คอลัมน์ 14 ชั้น และทำการปรับเทียบแก้ค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม PEST ในสภาวะคงที่ โดยใช้ค่าระดับน้ำบาดาลปี พ.ศ. 2556-2559 จากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 16 บ่อ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลสอดคล้องกับข้อมูลในภาคสนาม โดยมีค่าเฉลี่ยรากที่สองของการคลาดเคลื่อน (RMS) 0.546 เมตร ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนของระบบน้ำบาดาลในพื้นที่ และประยุกต์ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของมลสารเพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาลในอนาคตได้

ABSTRACT

This study aims to assess the flow direction of groundwater. The groundwater model was developed with Visual MODFLOW for solving three-dimensional groundwater flow. The model domain covers the area of 3.6 km², consisting of 100 rows, 90 columns and 14 layers. This model was calibrated using Parameter ESTimation (PEST) module with the observed groundwater levels during 2012-2016 under the steady-state condition. The results showed that the model can simulate the groundwater flow direction corresponding to the field observed data. The root mean square error (RMS) is approx. 0.546 m, which can well represent the groundwater system of the area. This model is further used to simulate the mass transport to predict the adverse impact on groundwater.

คำสำคัญ: แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล น้ำบาดาล จังหวัดราชบุรี

Keywords: Groundwater flow model, Groundwater, Ratchaburi Province

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** นักธรณีวิทยาชำนาญการพิเศษ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากผลกระทบการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเติบโตทางสังคมเมืองและเศรษฐกิจ ทำให้แหล่งน้ำบาดาลมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมลพิษสูงมากขึ้น ซึ่งพื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่บริเวณใกล้เคียงแหล่งฝังกลบขยะใน อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี เพื่ออธิบายทิศทางการไหลของน้ำบาดาลรอบพื้นที่ดังกล่าวและเป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ในการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล ตลอดจนคาดการณ์แนวโน้มของการปนเปื้อนเพื่อวางแผนทางในการติดตามและฟื้นฟูพื้นที่ต่อไป จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยการศึกษาได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณและจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเพื่อเป็นตัวแทนระบบอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ เพื่ออธิบายทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่

วัตถุประสงค์การศึกษา

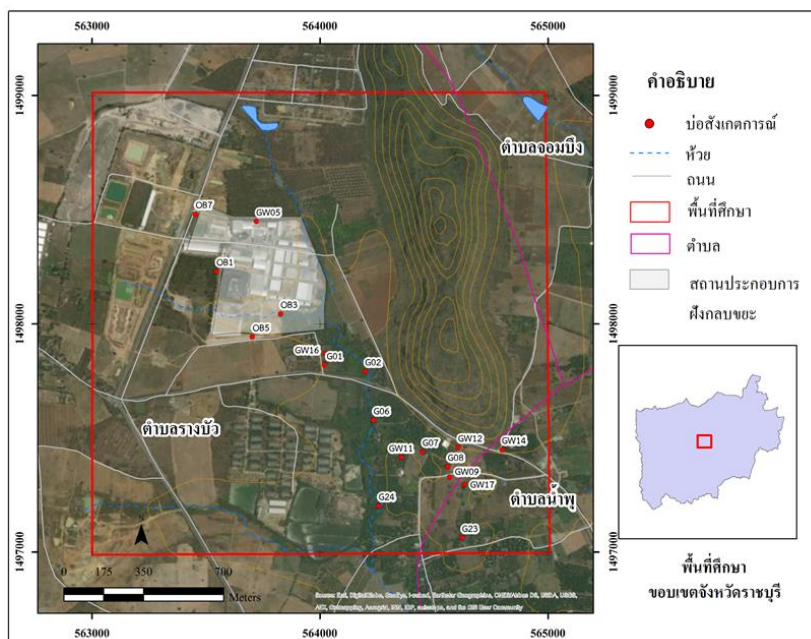
เพื่อประเมินทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW ในการจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ใน 3 มิติ

วิธีการศึกษา

1. รวบรวมข้อมูลและข้อมูลในภาคสนาม

1.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาดังอยู่เขตตำบลรางบัว อำเภोजอมบึง และ ตำบลน้ำพุ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 พิกัดตะวันออก 563000 ถึง 565000 และ พิกัดเหนือตั้งแต่ 1497000 ถึง 1499000 ครอบคลุม 3.6 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งที่ราบตะกอนเชิงเขา ทิศตะวันออกติดกับเขาทะลุ ภูมิประเทศมีระดับความสูงช่วง 80-100 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง แหล่งน้ำธรรมชาติไหลผ่านกลางพื้นที่จากทิศเหนือลงทิศใต้ โดยแหล่งฝังกลบขยะอยู่ตรงกลางของพื้นที่ ดังรูปที่ 1



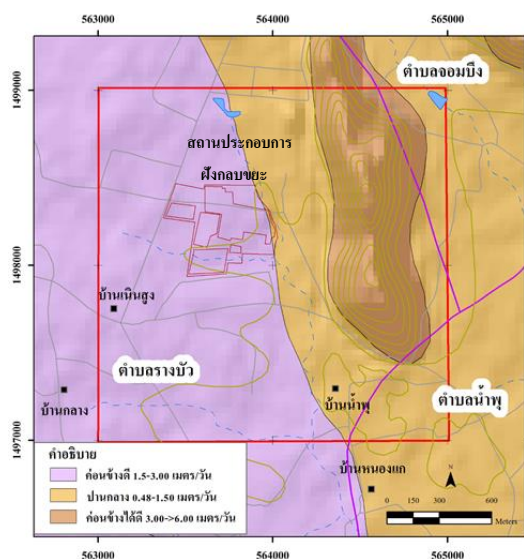
รูปที่ 1 แผนที่ขอบเขตพื้นที่ศึกษา อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี

1.2 ข้อมูลชุดดิน

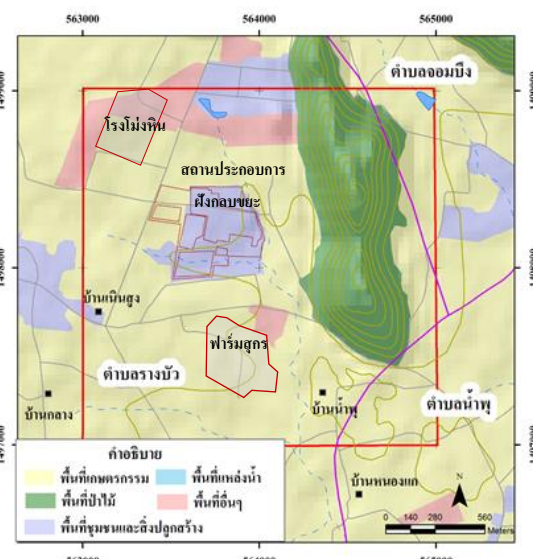
จากแผนที่ข้อมูลชุดดินรายจังหวัดราชบุรีของกรมพัฒนาที่ดิน (2550) ได้แบ่งลักษณะดินตามคุณสมบัติทางชลศาสตร์ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ดินที่น้ำซึมผ่านได้ช้าปานกลาง มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ระหว่าง 0.48-1.5 เมตรต่อวัน พบบริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ส่วนดินที่น้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างดี มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ระหว่าง 1.5-3.0 เมตรต่อวัน พบบริเวณทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา แสดงใน รูปที่ 2

1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2550) แสดงให้เห็นพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ ลำไย อ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ด้านทิศตะวันออกเป็นเขาสูง จัดให้เป็นพื้นที่ป่าไม้ และเขตชุมชนที่อยู่ในพื้นที่ ได้แก่ บ้านเนินสูง ตำบลรางบัว อยู่ทางทิศตะวันตก และทางทิศใต้ของพื้นที่เป็นบ้านหนองแก ตำบลน้ำพุ อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี เขตพื้นที่ประกอบการ มี 3 แห่ง ได้แก่ บริษัทโรงโม่หิน ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของพื้นที่ สถานประกอบการสีกลบขะเป็นบริษัทที่รับวัสดุเหลือใช้และเคมีภัณฑ์ที่ไม่ใช้แล้วรีไซเคิล และสีกลบสิ่งปฏิกูลตามกฎหมายกำหนด เปิดดำเนินการตั้งแต่ พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน ตั้งอยู่บริเวณตรงกลางของพื้นที่ ส่วนทางทิศใต้ เป็นฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ แสดงแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แผนที่แสดงการซึมผ่านของดิน
(ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)



รูปที่ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน
(ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

1.4 แหล่งน้ำผิวดิน

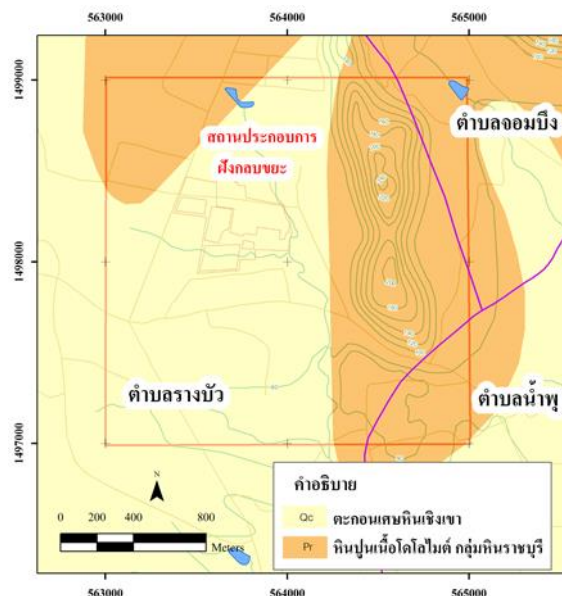
พื้นที่ศึกษามีลำห้วยธรรมชาติ คือ ห้วยน้ำพุ มีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกของสถานประกอบการสีกลบขะพบน้ำซับเป็นต้นกำเนิดของห้วยน้ำพุ ไหลจากบริเวณหมู่ที่ 8 บ้านเนินสูง ตำบลรางบัว ผ่านตำบลน้ำพุ และไหลลงห้วยนกระจิบและออกสู่แม่น้ำแม่กลอง

1.5 ปริมาณน้ำฝน

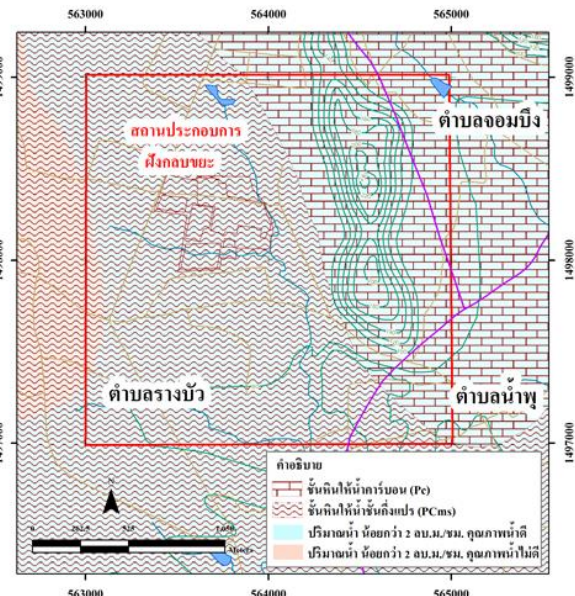
จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของกรมชลประทาน ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานี K.61 (47042) บ้านด่านทับตะโก อำเภोजอมบึง ตั้งแต่ปี 2546 ถึงปี 2559 ปริมาณน้ำฝนต่อปีเฉลี่ย 1,039 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 778 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,300 มิลลิเมตร

1.6 สภาพธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

จากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี (2542) พบว่า สภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นตะกอนเศษหินเชิงเขา กรวด หินทราย อายุควอเตอร์นรี กระจายตัวทางทิศตะวันตกของพื้นที่และหินปูนเนื้อโคลนไม่ดีในกลุ่มหินราชบุรี (Pr) อายุเพอร์เมียน กระจายตัวทางทิศตะวันออกของพื้นที่ (รูปที่ 4) ส่วนสภาพอุทกธรณีวิทยาพิจารณาจากแผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัดของกรมทรัพยากรธรณี (2543) พบว่า ชั้นหินให้น้ำในพื้นที่รองรับด้วยหินชั้นกึ่งแปรรูปอายุเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส (PCms) และหินคาร์บอนेट (Pc) ประเภทหินปูน ความลึกชั้นน้ำบาดาลระดับลึก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24-97 ม. สามารถพัฒนาน้ำได้ในเกณฑ์ 2 – 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 1,000,000
(ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2542)



รูปที่ 5 แผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน
(ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2543)

1.7 ข้อมูลบ่อน้ำบาดาล

จากข้อมูลการสำรวจระดับน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ทำการติดตามตรวจวัดระดับน้ำปกติในพื้นที่ศึกษา เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง 2559 จำนวนบ่อน้ำบาดาล 38 บ่อ รวมทั้งสิ้นจำนวน 9 ครั้ง ประกอบด้วย บ่อน้ำดินของชาวบ้าน บ่อสังเกตการณ์ของสถานประกอบการฟังกอบขะและบ่อน้ำบาดาลระดับลึก โดยมีระดับน้ำปกติอยู่ในช่วงระหว่าง 1- 12 เมตร เมื่อเทียบกับจากระดับพื้นผิวดิน ซึ่งเป็นข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในการศึกษาครั้งนี้

2. การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW

โปรแกรม Visual MODFLOW Version 2010.1 เป็นโปรแกรมทำแบบจำลองน้ำบาดาลในการศึกษาครั้งนี้ ภายในมีแพ็คเกจ MODFLOW (Modular finite-difference groundwater FLOW model) พัฒนาโดย U.S. Geological Survey ที่ใช้คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาล ด้วยแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) และนิยมใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำบาดาลในระบบ 3 มิติ สมการหลัก (Governing equation) ที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำบาดาล (McDonald and Harbaugh, 2000) ตามสมการ (1)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad , \quad (1)$$

โดยที่ K_x, K_y, K_z เป็นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ในแนวแกน x, y และ z [L/T], h เป็นระดับแรงดันน้ำบาดาล [L], S_s เป็นการกักเก็บจำเพาะ (specific storage) [1/L], t เป็นเวลา [T], W เป็นอัตราการเพิ่มหรือสูญเสีย [L³/T]

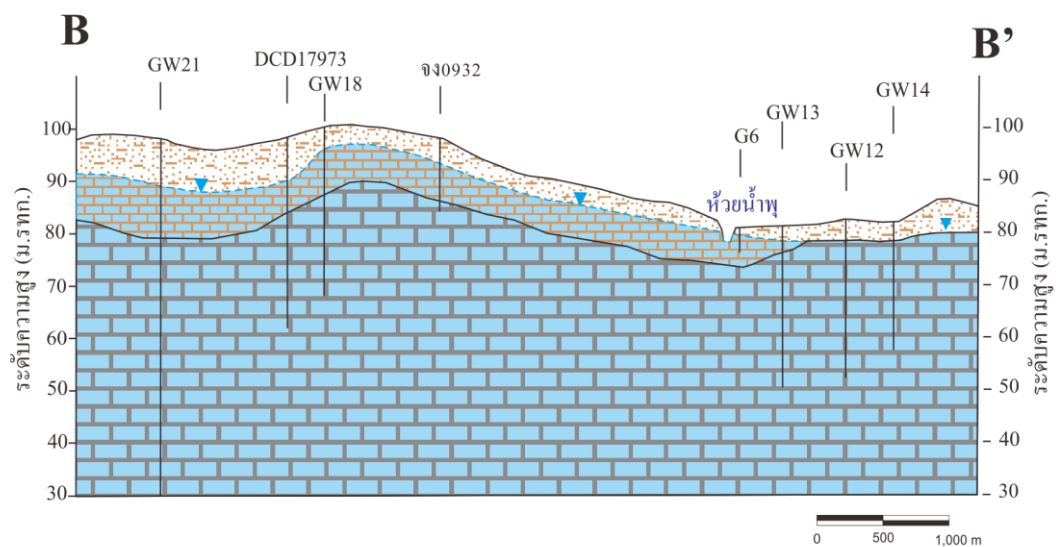
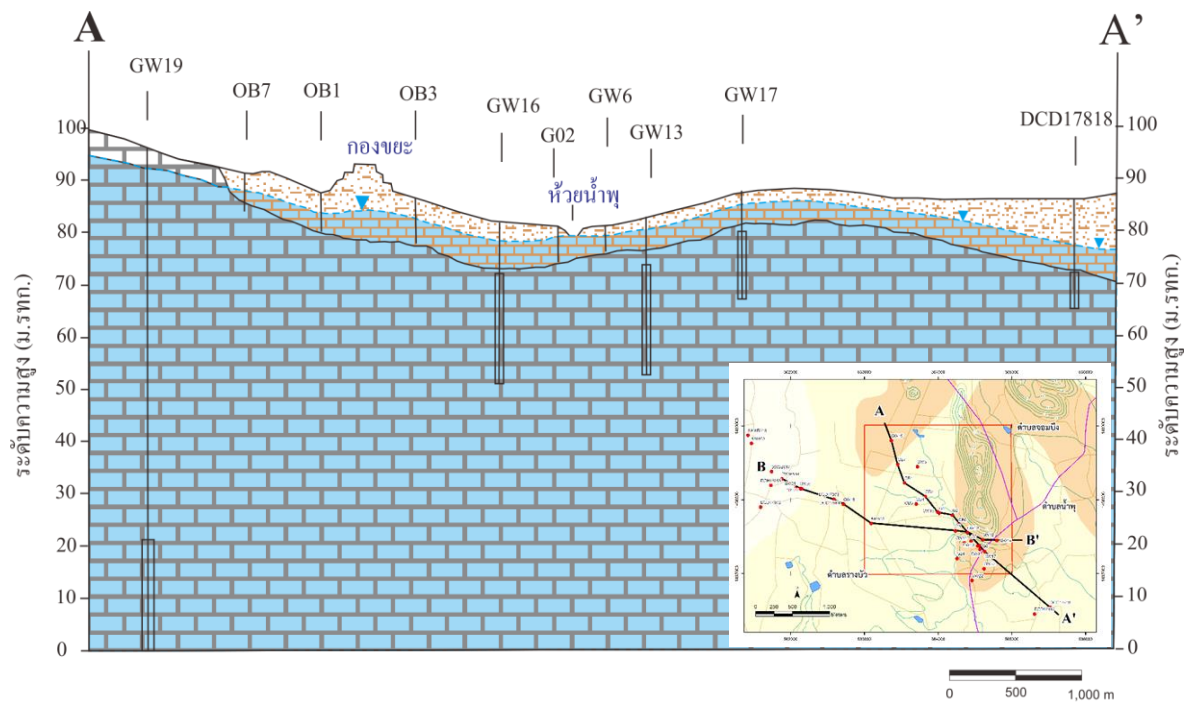
2.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model)

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ได้จากการประเมินข้อมูลระบบอุทกธรณีวิทยา เป็นตัวแทนของระบบอุทกธรณีวิทยาในสภาพจริง องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์คือลักษณะโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic framework) ได้จากการสำรวจธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ และการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ โดยทั่วไปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในรูปของ block diagram แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใช้กำหนดขนาดและขอบเขตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และใช้ในการออกแบบขนาดของกริด ซึ่งการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จะช่วยให้เข้าใจระบบทางอุทกธรณีวิทยาได้ง่ายขึ้น และจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปที่พร้อมจะนำไปจำลองได้ต่อไป

สำหรับระบบอุทกธรณีวิทยาประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำ 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำระดับตื้น มีความลึกไม่เกิน 15 เมตร เป็นตะกอนทรายปนดินเหนียว รวมถึงหินผุของหินปูน และชั้นหินให้น้ำหินปูนเนื้อแน่น เป็นชั้นหินให้น้ำระดับลึก แสดงในภาคตัดขวางอุทกธรณีวิทยาแสดงในรูปที่ 6 มีความสัมพันธ์กัน จัดให้เป็นชั้นน้ำมีแรงดัน (confined aquifer) และชั้นน้ำกึ่งมีแรงดัน (semi-confined aquifer) มีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือสู่ทิศใต้เช่นเดียวกับ ห้วยน้ำพุ แสดงในรูปที่ 7 โดยค่าระยะเหินในพื้นที่มีค่าต่ำมาก จึงไม่นำมาคำนวณในครั้งนี้

2.2 การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริด (Finite-Difference grid) วัดอุปกรณ์เพื่อจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ในรูป 3 มิติ โดยมีความละเอียดในระดับท้องถิ่น (Local Scale) ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3.6 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีความกว้าง 1.8 กิโลเมตร และยาว 2 กิโลเมตร ข้อมูลที่ใช้ในทุกขั้นตอนเป็นค่าเฉลี่ยตลอดรายปี ซึ่งเป็นการจำลองในสภาวะคงที่ โดยกำหนดสมมุติฐานให้ (1) ชั้นหินให้น้ำได้จากรอยแตก รอยแยกของชั้นหิน ซึ่งมีการกระจายตัวของรอยแตกไม่แน่นอน แต่ให้ถือว่าชั้นหินให้น้ำเป็นเสมือนตัวกลางที่มีรูพรุน (2) ชั้นหินให้น้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) และมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ทั้ง 3 ทิศทางแตกต่างกัน (anisotropy) (3) สภาพระดับน้ำ (hydraulic head) เป็นระดับแรงดันน้ำบาดาล ใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเฉลี่ยระหว่าง กันยายน 2556 ถึง มิถุนายน 2559 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2559)



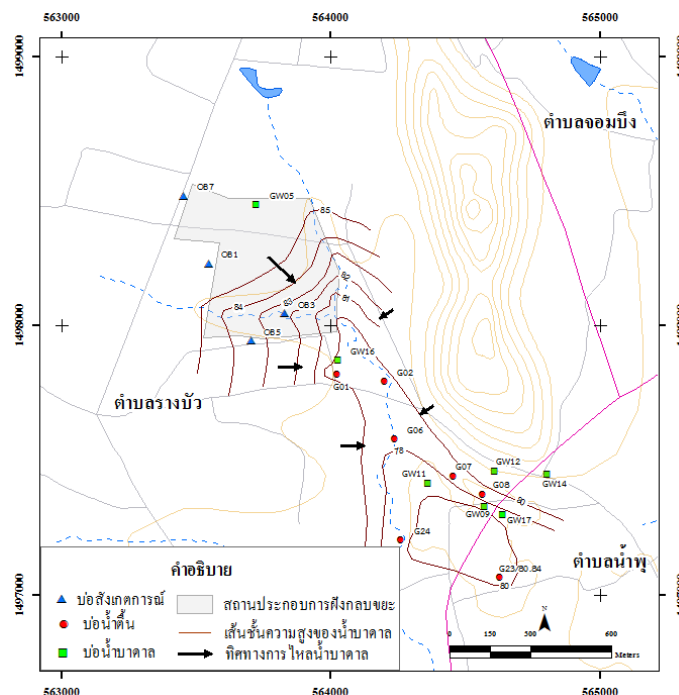
หน่วยหิน

- ตะกอนดินเหนียว ทราย ทรายแป้ง
- หินปูนผุ
- หินปูน

คำอธิบาย

- ระดับน้ำบาดาล
- ห้วยน้ำพุ
- ท่อเจาะร่อง

รูปที่ 6 ภาคตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา

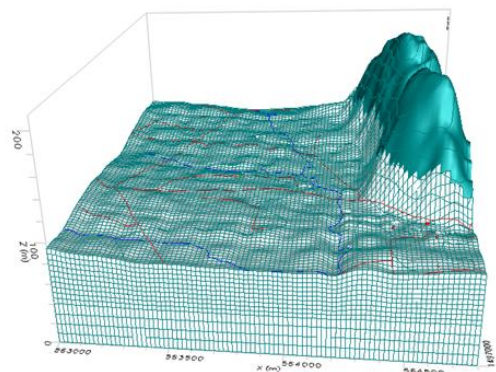


รูปที่ 7 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่

2.3 การออกแบบและสร้างแบบจำลอง

2.3.1 การออกแบบกริด

การจัดแบ่งกริดพื้นที่หรือแบ่งพื้นที่ในการคำนวณออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ โดยมีขนาดของกริดเซลล์ เท่ากับ 20 x 20 เมตร ในแนวนอนและแนวตั้ง จำนวน 100 แถว 90 คอลัมน์ และแบ่งชั้น (layer) ออกเป็น 14 ชั้น โดยความหนาของแต่ละชั้นจะมีค่าไม่คงที่ (Variable thickness) รวมกริดเซลล์ทั้งสิ้น 126,000 กริดเซลล์ (รูปที่ 8) โดยกำหนดแบ่งชั้นตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ได้จากแบบจำลองเชิงโมโนโทนและภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ได้แก่ ชั้นที่ 1 เป็นตะกอนดินเหนียว ทราย และทรายแป้ง ชั้นที่ 2-3 เป็นหินปูน และชั้นที่ 4-14 เป็นหินปูนเนื้อแน่น



รูปที่ 8 การออกแบบกริดในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3.2 ความสูงของระดับพื้นผิวดิน

ค่าความสูงของระดับพื้นผิวดินในชั้นที่ 1 ของพื้นที่ ได้มาจากระดับความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ (กรมแผนที่ทหาร, 2556) ระบุว่า 4936 II อำเภอจอมบึง มีความละเอียดระดับ 20 เมตร ร่วมกับข้อมูลรังวัดระดับในภาคสนาม (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2557) โดยจัดเตรียมข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และประมวลพื้นที่ผิวด้วยวิธี Kriging แบบจำลองมีระดับความสูงสูงสุดเท่ากับ 215 เมตร รทก. และระดับต่ำสุดเท่ากับ 0 เมตร รทก.

2.3.3 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง

การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองพิจารณาจากทั้งขอบเขตลักษณะทางกายภาพ และขอบเขตทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeological boundaries) ได้แก่ แม่น้ำ และแนวสันปันน้ำ (groundwater divides) ตลอดจนทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยกำหนดให้ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของแบบจำลองกำหนดให้เป็นขอบเขตที่มีน้ำไหลผ่าน (General Head Boundary) ทิศตะวันออกเป็นแนวสันเขาของเขาค้อ กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No flow boundary) และด้านบนเป็นขอบเขตที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ จากตัวแปรต่างๆ เช่น การเพิ่มเติมน้ำบาดาล (Recharge) การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ และการซึมของน้ำบาดาลกับห้วยน้ำพุ และขอบเขตด้านล่างเป็นหินปูนเนื้อแน่น กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No flow boundary)

2.3.4 ขอบเขตแม่น้ำ

ขอบเขตแม่น้ำกำหนดตามลักษณะเส้นทางของลำห้วยน้ำพุที่ปรากฏในแผนที่ภูมิประเทศ โดยแต่ละกริดจะมีค่าความนำ (Conductance, C) ตามสูตรคำนวณดังสมการที่ 2 (Eq. 2)

$$C = KLW/M \quad (\text{Eq. 2})$$

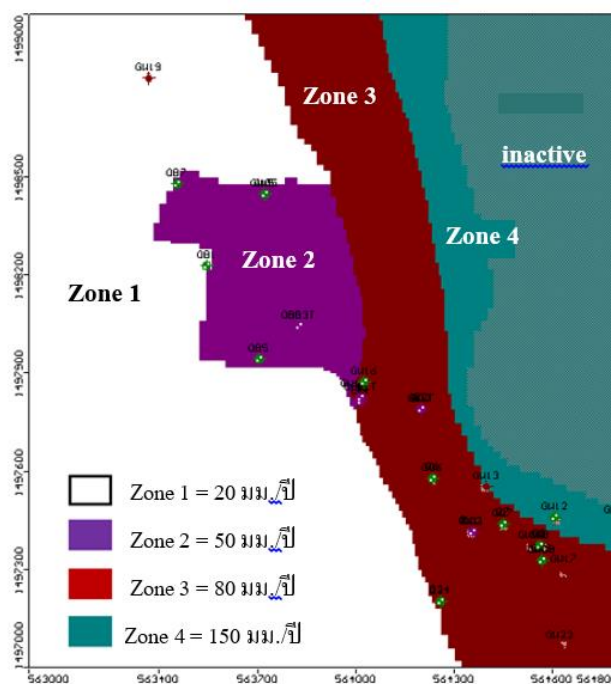
กำหนดให้ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ (เมตร/วินาที), L เป็นความยาวของแม่น้ำ (เมตร), W เป็นความกว้างของแม่น้ำ (เมตร) และ M เป็นความหนาของตะกอนท้องน้ำ (เมตร)

2.3.5 การเพิ่มเติมน้ำ

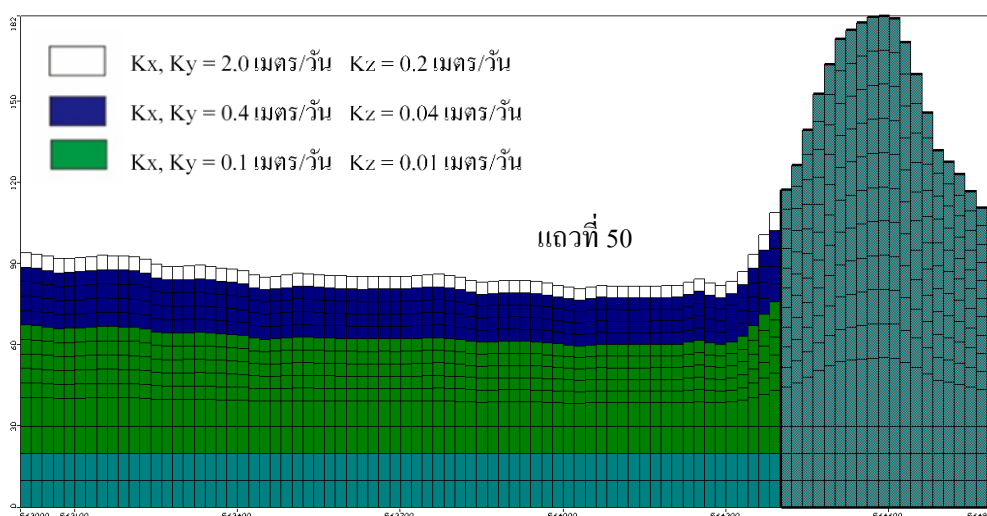
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำที่เติมเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมชลประทาน ในช่วงปีพ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2559 ข้อมูลน้ำฝนได้จากสถานี K.61 (47042) บ้านด่านทับตะโก อำเภोजอมบึง พิจารณาร่วมกับสภาพทางอุทกธรณีวิทยาและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งพื้นที่การกระจายตัวออกเป็น 4 โซนหลักและกำหนดเบื้องต้น คิดเป็น 2, 5, 8, และ 15 % ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ซึ่งได้แก่ 20, 50, 80 และ 150 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ (รูปที่ 9)

2.3.6 สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน แบ่งเป็น 3 หน่วยหิน ได้แก่ 1) ชั้นตะกอนทรายและดินเหนียว 2) ชั้นหินผุของหินปูนเนื้อโดโลไมท์ และ 3) หินปูนเนื้อแน่น กำหนดค่าเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากในพื้นที่ศึกษาไม่มีผลการสุบทดสอบ และกำหนดให้ชั้นหินมีคุณสมบัติเป็น anisotropy โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งต่อสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบมีค่าคงที่ คือ มีอัตราส่วน 1: 10 ซึ่งลักษณะการวางตัวของชั้นหินและการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (รูปที่ 10)



รูปที่ 9 พื้นที่การเพิ่มเติมน้ำในระบบ



รูปที่ 10 สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้

พารามิเตอร์	หน่วยหิน	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (K, เมตร/วัน)		
		Kx	Ky	Kz
K1	Qfd & Qt	2.0	2.0	0.2
K2	Lw	0.4	0.4	0.04
K3	Lm	0.1	0.1	0.01

2.4 การปรับเทียบแก้ค่าในแบบจำลอง (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองคือการปรับค่าตัวแปรที่นำเข้าแบบจำลอง จนค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนาม มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ที่ค่า Root Mean Squared Error (RMS) ไม่เกิน 2 เมตร ถ้าระดับน้ำที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่า RMS ไม่เกิน 2 เมตร และมีค่า Normalized Root Mean Squared (NRMS) มีค่าไม่เกิน 10 % ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

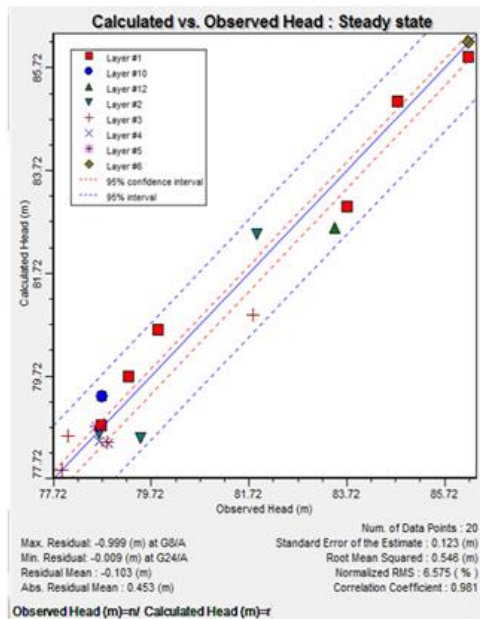
การปรับเทียบโดยใช้โปรแกรม PEST (Parameter ESTimation) สามารถคำนวณปรับเทียบแบบจำลองได้แบบอัตโนมัติ ซึ่งพื้นที่ศึกษาใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2556-2559 จากบ่อสังเกตการณ์ 16 บ่อ ซึ่งกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ทางตอนกลางและทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและอัตราการเพิ่มเติมน้ำ ให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์นั้นๆ

ผลการศึกษา

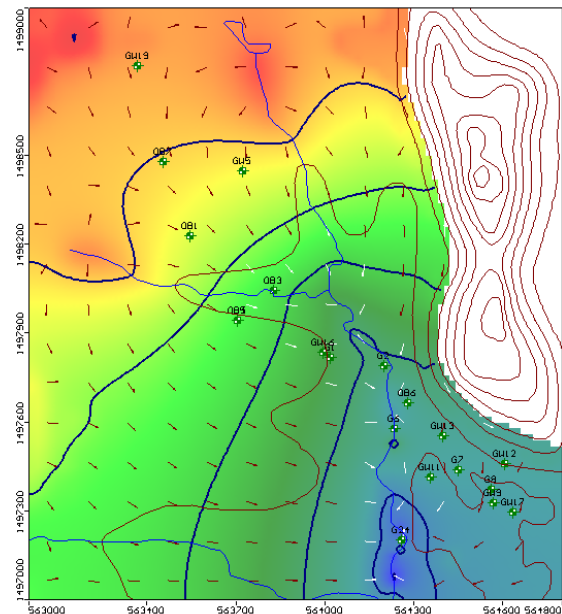
ผลจากการปรับเทียบแก้ค่าตัวแปรในแบบจำลอง ได้แก่ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน แสดงดังตารางที่ 2 และผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่วัดในบ่อสังเกตการณ์และจากการคำนวณ ได้ค่า Absolute Residual Mean (ARM) 0.453 เมตร ค่า Root mean square error (RMS) 0.546 เมตร และค่า Normalized root mean square error (NRMS) 6.575 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 11 และเส้นแสดงระดับแรงดันน้ำที่เท่ากัน (Equipotential line) ในรูปที่ 12

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรที่ทำการปรับแก้ค่าแล้วจาก PEST (Parameter ESTimation)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าตั้งต้นที่ใช้	ค่าที่ปรับแก้แล้ว
ตะกอนร่วน (K1)	เมตร/วัน	2.0	4.69
หินปูนผุ (K2)		0.4	7.53
หินปูนเนื้อแน่น (K3)		0.1	0.26
อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (R1)	มิลลิเมตร/ปี	20	99.20
อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (R2)		50	112.55
อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (R3)		80	99.20
อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (R4)		150	150



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำบาดาลที่วัดในบ่อสังเกตการณ์และจากการคำนวณ



รูปที่ 12 ผลเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำบาดาลชั้นที่ 2 ของแบบจำลองการไหลน้ำบาดาล

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ผลแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW และปรับเทียบแก้ค่าตัวแปร ด้วยการโปรแกรม PEST แสดงได้ว่า น้ำบาดาลในพื้นที่มีการไหลหลักจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือลงสู่ทางทิศใต้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลสำรวจในภาคสนาม ส่วนผลการปรับเทียบแบบจำลองมีค่า RMS เท่ากับ 0.546 เมตร และค่า NRMS เท่ากับ 6.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในการศึกษานี้สามารถเป็นตัวแทนของระบบน้ำบาดาลในพื้นที่ และนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองการเคลื่อนตัวของมลสารเพื่อทำนายผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาลต่อไป ซึ่งข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ คือ แบบจำลองสามารถจำลองได้เพียงในสภาวะคงที่เท่านั้น ไม่สามารถแสดงจำลองไหลของน้ำบาดาลในสภาวะไม่คงที่หรือแยกแต่ละฤดูกาลได้ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้นั้นในทุกขั้นตอนเป็นค่าเฉลี่ยรายปี จึงควรทำการปรับปรุงแบบจำลองเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมชลประทาน กรมทรัพยากรธรณี กรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการทำงานศึกษาวิจัย และขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวว.) สำหรับสนับสนุนทุนวิจัย ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและปรึกษาที่ดีในการทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือน และรายปีของสถานี K.61 (47042) บ้านด่านทับตะโก อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี. กรมชลประทาน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2559.
- กรมทรัพยากรธรณี. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:1,000,000. กองธรณีวิทยา. กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ; 2542.
- กรมทรัพยากรธรณี. แผนที่น้ำบาดาล จังหวัดราชบุรี มาตราส่วน 1:100,000. กองน้ำบาดาล. กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ; 2543.
- กรมพัฒนาที่ดิน. แผนที่กลุ่มดินรายจังหวัด จังหวัดราชบุรี. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2550.
- กรมพัฒนาที่ดิน. แผนที่การใช้ที่ดินรายจังหวัด จังหวัดราชบุรี. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2550.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. รายงานผลการตรวจสอบข้อเท็จจริงในพื้นที่บริษัทแวกซ์ กาเบิ้ลรี่ไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ; 2557.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. รายงานการตรวจสอบทิศทางการไหลและคุณภาพน้ำบาดาลภายในโรงงานและบริเวณโดยรอบของบริษัทแวกซ์กาเบิ้ลรี่ไซเคิลเซ็นเตอร์ จำกัด. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ; 2559.
- Harbaugh AW, Banta ER, Hill MC, and McDonald MG. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – user guide to modularization concepts and the ground-water flow process. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92; 2000.