อิทธิพลของการเติมน้ำและการสูบน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทางต่อการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

Influence of Recharge and Pumping of Heterogenous and Anisotropic Aquifer in 2D Groundwater Flow

พิณิช ธนชัยโชคศิริกุล[1,*] และ สรวิชญ์ สังข์เทศ[2]
[1] นักวิชาการอิสระ
[2] วิศวกรระดับปฏิบัติการ, สำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 10 อุดรธานี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
Pinit Tanachaichoksirikun[1,*] and Sorawit Sungted[2]
[1] Independent Scholar
[2] Engineer, Bureau of Groundwater Resource Regional 10, Department of Groundwater Resources
***Corresponding Author E-mail:** pinit.mp3@gmail.com
Received: November 3, 2020 **Revised:** December 8, 2020 **Accepted:** December 14, 2020

บทคัดย่อ

อิทธิพลจากการเติมน้ำและการสูบน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความไม่เท่ากันทุกทิศทาง บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงถึงแบบจำลองที่พิจารณาถึงอิทธิพลเหล่านี้ว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ไม่อาจละเลยได้ วิธีการวิจัยจะพิจารณาถึงเหตุการณ์ใน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง 2) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เท่ากันทุกทิศทาง 3) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง และ 4) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยทุกเหตุการณ์มีกรณีที่จะได้รับการเติมน้ำและการสูบน้ำออกจากแบบจำลองในปริมาณที่เท่ากันและกรณีที่ไม่มีได้การเติมน้ำหรือการสูบน้ำจากแบบจำลอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทางจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น

คำสำคัญ: การไหลของน้ำบาดาล ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เท่ากันทุกทิศทาง การเติมน้ำบาดาล การสูบน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Influence of recharge and pumping in the aquifers directly impacted to the quantity and flow direction of groundwater, especially, in heterogeneity and anisotropy aquifer. this article aims to describe these parameters which cannot be ignored. The groundwater model was separated into 4 scenarios i.e. 1) homogeneity and isotropy, 2) homogeneity and anisotropy, 3) heterogeneity and isotropy and 4) heterogeneity and anisotropy materials. In each scenario was recharge and pumping and without recharge and pumping. The finding reveals that the heterogeneity and anisotropy model was significantly change in groundwater flow rate and pattern because the hydraulic conductivity were more complex than the others.

Keywords: Groundwater flow, Heterogeneity, Anisotropy, Rechange, Pumping

1 บทนำ

น้ำบาดาลมีส่วนสำคัญต่อการมีชีวิต การไหลของน้ำบาดาลเป็นการไหลอย่างช้า ๆ ทั้งนี้ลักษณะชั้นดินที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ยังส่งผลให้การไหลของน้ำบาดาลเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งในด้านความเร็วและทิศทาง [1] การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลที่สมมติให้ชั้นดินมีความเป็นเนื้อเดียวกัน จะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวดิ่งมีค่าสูงกว่าปกติ และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าปกติ จึงทำให้เส้นทางและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลผิดพลาดได้ นอกจากนี้ สัมประสิทธิ์การซึมได้ยังเป็นตัวกำหนดลักษณะการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งหากค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่ามากจะเป็นการไหลในระดับเล็ก และหากค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าน้อยจะเป็นการไหลในระดับภูมิภาค หรือกล่าวได้ว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำบาดาลมีความเร็วและทิศทางเปลี่ยนแปลง [2] นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ทั้งแนวดิ่งและแนวนอนที่มีค่าใกล้เคียงกันยังส่งผลให้ค่าความลาดชลศาสตร์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ [3] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า การพิจารณาการเลือกใช้ชั้นดินที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลต่อการไหลของน้ำบาดาลให้ผิดพลาดไปมาก ทั้งด้านทิศทาง ความเร็วและลักษณะการไหลของน้ำบาดาล

การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณน้ำบาดาล เช่นการสูบใช้น้ำบาดาล หรือการเติมจากน้ำฝน ส่งผลให้ระดับศักย์ของน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งหากพิจารณาว่าการซึมของน้ำบาดาลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นอัตราการไหลอย่างหนึ่ง จะพบว่า อัตราการไหลของน้ำบาดาลมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชลศาสตร์ ดังนั้นหากอัตราการเติมน้ำจากปริมาณน้ำฝนมีค่าเพิ่มขึ้นและอัตราการสูบน้ำก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม จะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชลศาสตร์ค่าคงที่ แต่ถ้าหากว่าชั้นดินมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีความไม่เท่ากันในด้านทิศทาง ค่าความลาดชลศาสตร์ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไปในทิศทางอย่างไร การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งหวังให้เกิดความตระหนักถึง คุณสมบัติของชั้นดินที่มีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความไม่เท่าในในทุกทิศทาง และอิทธิพลจากการเติมน้ำหรือสูบใช้น้ำบาดาล และเพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำบาดาล

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการไหลของน้ำบาดาล

สมการการไหลของน้ำบาดาลเกิดจากกฎของดาร์ซี่และสมการความต่อเนื่อง ในการศึกษาในครั้งนี้พิจารณาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลของน้ำบาดาลในลักษณะ 2 มิติ และเป็นการไหลในสภาวะคงที่ มีการเติมหรือสูบใช้น้ำบาดาล ซึ่งจากสมการ (1) จะเห็นได้ว่า ศักย์ของน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นดิน และการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำที่เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(-K_x\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(-K_y\frac{\partial h}{\partial y}\right)+R=0 \qquad (1)$$

โดย h คือ ศักย์ของน้ำบาดาล x และ y คือ ตำแหน่งในแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ K_x และK_y คือ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และ R คือการเติมน้ำหรือการสูบน้ำบาดาล

ในการศึกษาในครั้งนี้ได้วิเคราะห์ความเร็วและทิศทางในการไหลของน้ำบาดาล โดยกำหนดให้ลักษณะชั้นดินมีทั้งเป็นแบบความเป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน การเท่ากันทุกทิศทาง และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และกำหนดให้แบบจำลองมีการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนและการสูบน้ำบาดาลโดยบ่อสูบน้ำบาดาล

2.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยใช้ค่าความลาดชลศาสตร์ เป็นตัวควบคุมในแบบจำลอง ซึ่งการทดลองนี้มีที่มาจาก กฎของดาร์ซี่ ซึ่งกล่าวว่า ความเร็วของน้ำบาดาลแปรผันตามค่าความลาดชลศาสตร์ หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$v_x = K_x\frac{dh}{dx} \qquad (2a)$$

$$v_y = K_y\frac{dh}{dy} \qquad (2b)$$

โดย v_x, v_y คือความเร็วในการไหลของน้ำบาดาล dh คือค่าความต่างศักย์ของน้ำบาดาล dx , dy คือ ระยะทางในการไหลของน้ำบาดาลในแนวนอนและแนวดิ่ง

หากพิจารณาถึงอัตราการไหลของน้ำบาดาล และกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีค่าเท่ากันในทุกกรณี จะได้ว่า

$$\Delta Q\ \alpha\ \frac{dh}{dL} \qquad (3)$$

โดยอัตราการไหลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำและการเปลี่ยนแปลงของการสูบใช้น้ำบาดาล จะได้ว่า

$$\Delta Q\ \alpha\ \Delta Recharge - \Delta Pumping \qquad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) จะได้ว่า

$$\frac{dh}{dL}\alpha\ \Delta Recharge - \Delta Pumping \qquad (5)$$

จะได้ว่า ค่าความลาดชลศาสตร์ $\frac{dh}{dL}$ จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการเติมน้ำบาดาล Recharge และการสูบใช้น้ำบาดาล Pumping ดังนั้นถ้าหากแบบจำลองถูกลดหรือเพิ่มค่าทั้งการเติมน้ำบาดาลและค่าการสูบน้ำบาดาล โดยจะทำให้ค่า $\frac{dh}{dL}$ ยังค่ามีคงที่เท่าเดิม

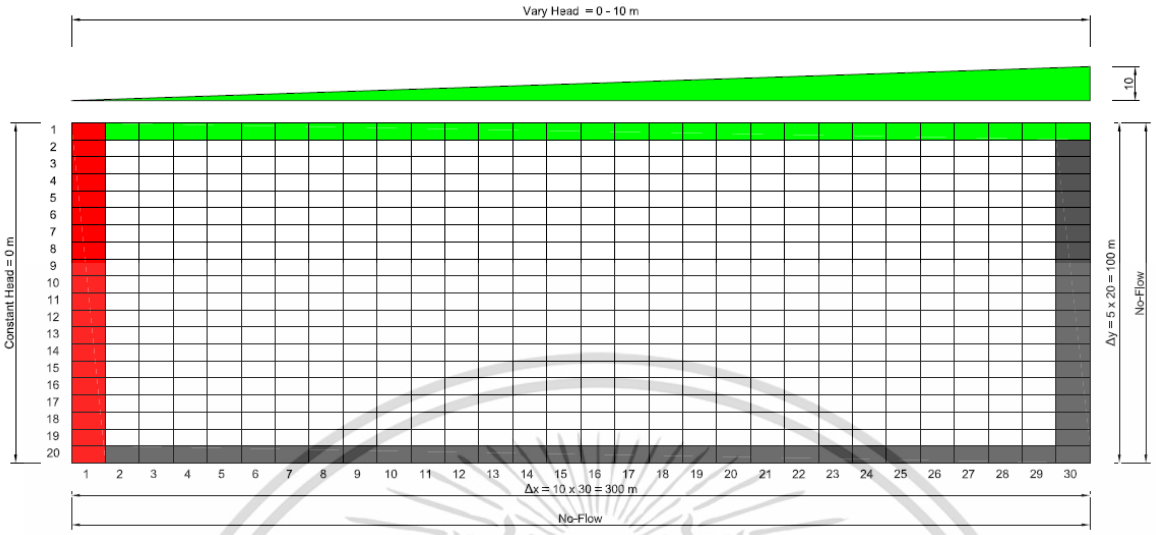
3 วิธีการดำเนินการ

3.1 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติกำหนดให้มีค่าคุณสมบัติความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และมีการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนและการสูบน้ำบาดาล แบบจำลองกำหนดในมี 20 แถว × 30 คอลัมน์ โดยแต่ละคอลัมน์มีระยะห่างทุก ๆ 10 เมตร และแต่ละแถวมีระยะห่าง ๆ 5 เมตร ดังนั้นแบบจำลองคลอบคลุมพื้นที่ 300 × 100 ตารางเมตร ขอบเขตเงื่อนไขกำหนดให้ด้านขวาและด้านล่างเป็นขอบเขตไม่มีการไหล ด้านซ้ายเป็นขอบเขตศักย์ของน้ำบาดาลคงที่ ด้านบนกำหนดให้ขอบเขตศักย์ของน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นจากซ้ายที่ 0 เมตร ไปด้านขวาที่ 10 เมตร เพื่อต้องการให้น้ำบาดาลไหลไปในทิศทางเดียวคือ จากด้านบนไปด้านซ้าย แสดงถึงการเติมน้ำบาดาลและไหลออกสู่พื้นที่สูญเสียน้ำ ดังรูปที่ 5

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เปลี่ยนแปลงจาก 1×10^{-4} ถึง 1×10^{-6} เพื่อให้สามารถสังเกตให้การเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้อย่างชัดเจน จากอิทธิพลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและค่าสัมประสิทธิ์ในแนวแนวจะแตกต่างจากสัมประสิทธิ์ในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 100 เท่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเกิดจากการสุ่มค่าให้มีความไม่เท่ากันในทุก ๆ ตำแหน่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรณีของแบบจำลองซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในรูปบบ 2 มิติ และขอบเขตเงื่อนไข

3.2 การเติมน้ำและการสูบน้ำบาดาล (Recharge and Pumping)

การเติมน้ำและการสูบใช้น้ำบาดาล เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำบาดาลและมีส่วนทำให้ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้อัตราการเติมน้ำบาดาลและอัตราการสูบน้ำบาดาลมีค่าเท่ากันที่ 1 ลบ.ม.ต่อวัน เพื่อแสดงถึงอิทธิพลที่มีต่อการไหลของแบบจำลอง และกำหนดช่องเปิดสำหรับน้ำบาดาลตลอดทั้งหน้าตัดเพื่อให้การไหลของน้ำบาดาลอยู่ในแนวระนาบ และเพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

3.3 รูปแบบการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ตารางที่ 4 แสดงถึงรูปแบบการจำลองโดยกำหนดให้เป็น 4 รูปแบบ คือ แบบจำลองที่ 1 กำหนดให้แบบจำลองเป็นชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง แบบจำลองที่ 2 กำหนดให้แบบจำลองเป็นชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เท่ากันทุกทิศทาง แบบจำลองที่ 3 กำหนดให้ ชั้นหินอุ้มน้ำมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง และแบบจำลองที่ 4 กำหนดให้ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยทุกเหตุการณ์มีกรณีที่จะได้รับการเติมน้ำและการสูบน้ำออกจากแบบจำลองในปริมาณที่เท่ากันและกรณีที่ไม่มีได้การเติมน้ำหรือการสูบน้ำบาดาลเพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความลาดชลศาสตร์ แบบจำลองเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือ 1 เปรียบเทียบในด้านความเร็วการไหลของน้ำบาดาล 2 เปรียบเทียบในด้านทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

4 ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านความเร็วการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงถึงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากแบบจำลองในทิศทางด้านซ้าย ในกรณีที่ไม่มีการเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงถึงกรณีและการตั้งค่าแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

Scenario	*Kx* (m/s)	*Ky* (m/s)	Anisotropy (*Kx/Ky*)	Recharge and Pumping
Case 1.1	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	No
Case 1.2	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	Yes
Case 2.1	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	No
Case 2.2	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	Yes
Case 3.1	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1	No
Case 3.2	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1	Yes
Case 4.1	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-8}	1-100	No
Case 4.2	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-8}	1-100	Yes

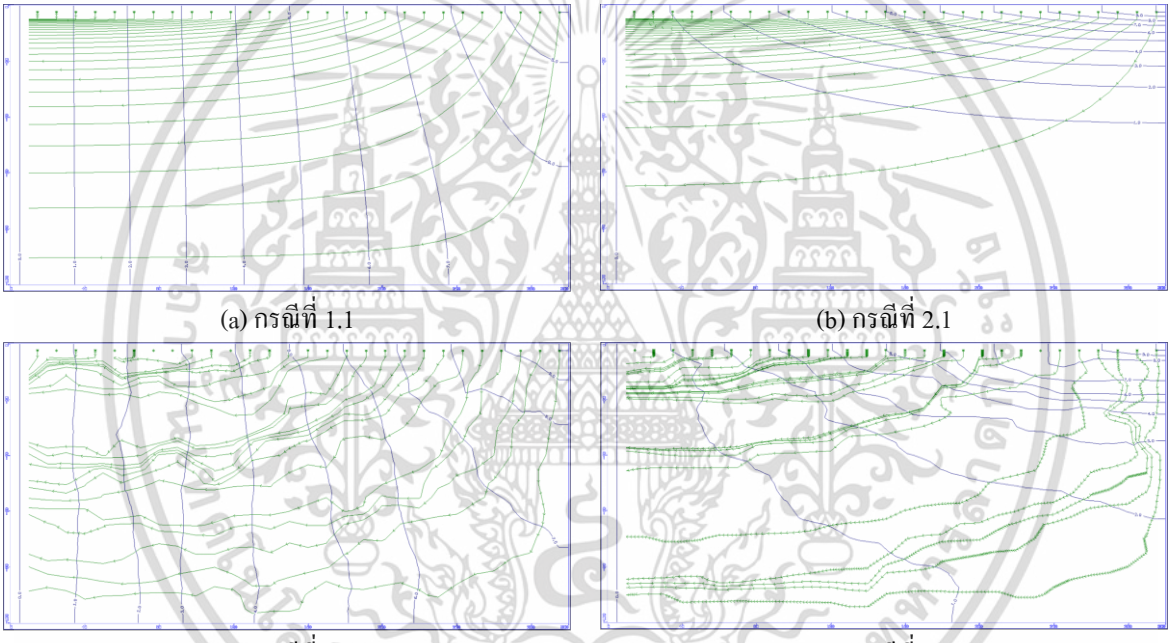
น้ำและสูบใช้น้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความไม่เป็นน้ำเดียวกัน จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1.1 คือกรณีที่กำหนดแบบจำลองมีความเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและออกจากแบบจำลองมีปริมาณมากที่สุดเนื่องจากน้ำบาดาลสามารถไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำเข้าสู่ด้านล่างของแบบจำลองได้อย่างรวดเร็ว น้ำบาดาลในแบบจำลองจึงมีปริมาณมาก ในขณะที่แบบจำลองที่ 4.4 คือกรณีที่กำหนดให้แบบจำลองมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองและไหลออกมีปริมาณลดลง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่มีค่าไม่เท่ากัน ทำให้น้ำบาดาลไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำได้ไม่สะดวก จึงพยายามที่จะไหลผ่านชั้นดินเหล่านั้น เกิดการยกตัวเพื่อให้ค่าศักย์ของน้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้นจนสามารถไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเหล่านั้นไป

รูปที่ 2 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำบาดาลและระยะเวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำและสูบใช้น้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความไม่เท่ากันทุกทิศทาง จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ที่ 1.1 และ 2.1 คือแบบจำลองที่มีทิศทางการไหลราบเรียบ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ แบบจำลองที่ 2.1 จะมีลักษณะการไหลที่ตื้นกว่า เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในแนวดิ่งที่มีค่าน้อย ทำให้น้ำบาดาลเลือกเส้นทางการไหลที่สะดวกมากกว่า ซึ่งคือการไหลในแนวนอน เพราะน้ำบาดาลจะใช้เวลาในการไหลที่น้อยกว่าการไหลลงในแนวดิ่ง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 3.1 และ 4.1 มีเส้นทางการไหลที่คดเคี้ยวไปมา ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นหินอุ้มน้ำ เมื่อน้ำบาดาลไหลมาพบกับชั้นหินอุ้มน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ที่ต่ำ น้ำบาดาลจะเปลี่ยนเส้นทางการไหลเพื่อให้สามารถไหลผ่านไปในชั้นหินอุ้มน้ำนั้นได้สะดวก ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่ 3.1 และ 4.1 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ แบบจำลองที่ 4.1 จะใช้ระยะเวลาในการไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำที่มากกว่า เนื่องจากค่าความไม่เท่ากันทุกทิศทางของแบบจำลองก็มีผลต่อทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากแบบจำลอง

Scenario	*Kx* (m/s)	*Ky* (m/s)	Anisotropy (*Kx*/*Ky*)	Groundwater Budget (m^3/day)
Case 1.1	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	27.893
Case 2.1	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	5.809
Case 3.1	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1	2.534
Case 4.1	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-8}	1-100	0.727



(a) กรณีที่ 1.1 (b) กรณีที่ 2.1

(c) กรณีที่ 3.1 (d) กรณีที่ 4.1

รูปที่ 2 แสดงผลการศึกษาด้านทิศทางการไหลของน้ำบาดาล เส้นสีเขียวคือเส้นทางการไหล และเส้นสีน้ำเงินคือระดับศักย์ของน้ำบาดาล

4.2 การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลในกรณีมีการเติมน้ำบาดาล และการสูบใช้น้ำบาดาล

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของน้ำบาดาลในกรณีที่มีการเติมและการสูบใช้น้ำบาดาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนทั้งปริมาณการไหลเข้าและไหลออกของน้ำบาดาล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการไหลของน้ำบาดาล

ตารางที่ 3 แสดงถึงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเติมและไหลออกจากแบบจำลองจากการสูบใช้น้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการเติมน้ำบาดาลและการสูบใช้น้ำบาดาลภายใต้ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่ 1.2 คือกรณีที่กำหนดแบบจำลองมีความเป็นเนื้อเดียวกันและ

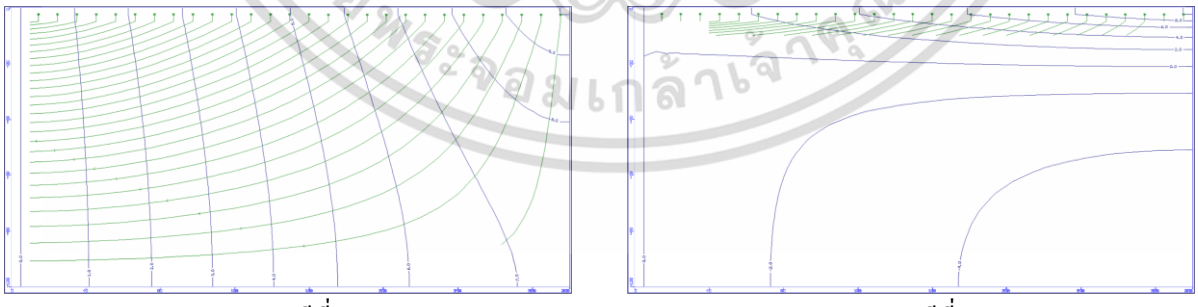
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันทุกทิศทาง ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและออกจากแบบจำลองมีความสมบูรณ์ โดยที่มีปริมาณการเติมน้ำบาดาลเข้าสู่แบบจำลองมากที่สุดเนื่องจากความเป็นเนื้อเดียวกันของชั้นหินอุ้มน้ำทำให้การไหลในแนวดิ่งทำได้สะดวก น้ำบาดาลจึงสามารถไหลมาเติมให้กับชั้นหินอุ้มน้ำได้ตลอดเวลา ในทางตรงกันข้ามหากชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณการไหลของน้ำบาดาลจะลดลงจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่ไม่มีการเติมและสูบใช้น้ำบาดาล เนื่องจาก น้ำบาดาลไม่สามารถมาเติมได้ทัน ทำให้แบบจำลองมีความแห้งขึ้น จนปริมาณน้ำบาดาลไหลออกมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ 1.1

จากรูปที่ 3 แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่มีการเติมและการสูบใช้น้ำบาดาล จะสังเกตเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1.2 จะมีความคล้ายคลึงกันแบบจำลอง 1.1 เนื่องจากน้ำบาดาลสามารถไหลมาเติมได้ทัน ทำให้การไหลของน้ำบาดาลยังคงราบรื่น แต่ในทางตรงกันข้ามกับแบบจำลองที่เหลือ น้ำบาดาลไม่สามารถไหลมาเติมได้ทัน จึงเป็นเหตุให้ระดับศักย์ของน้ำบาดาลลดลง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้น้ำบาดาลเปลี่ยนเส้นทางการไหลโดยสิ้นเชิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง

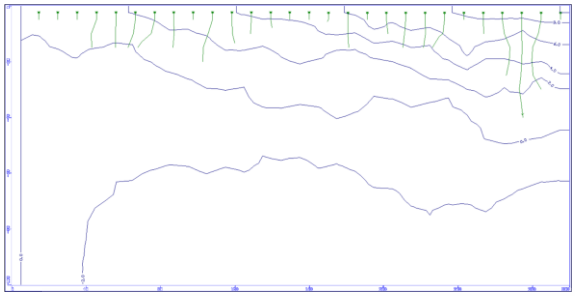
ตารางที่ 3 แสดงปริมาณน้ำบาดาลที่ถูกเติมเข้าและปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจากแบบจำลอง

Scenario	*Kx* (m/s)	*Ky* (m/s)	Anisotropy (*Kx/Ky*)	Recharge and Pumping
Case 1.2	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	50.741
Case 2.2	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	28.628
Case 3.2	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1	27.187
Case 4.2	1×10^{-4}-1×10^{-6}	1×10^{-4}-1×10^{-8}	1-100	27.182

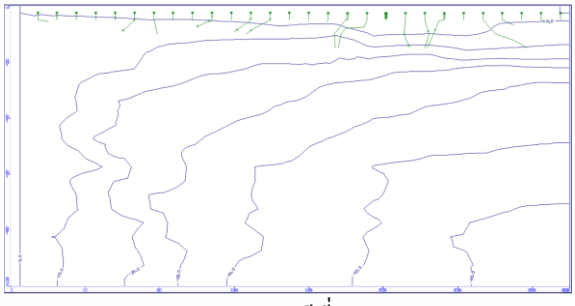


(a) กรณีที่ 1.2 (b) กรณีที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) กรณีที่ 3.2



(d) กรณีที่ 4.2

5 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการจะอธิบายว่าตัวแปร ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เท่ากันทุกทิศทาง และการเติมน้ำและการสูบใช้น้ำบาดาล เป็นตัวแปรที่ไม่ควรละเลย เพราะเป็นตัวแปรที่ส่งผลถึงปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่ถูกต้อง หากผู้ทำแบบจำลองละเลยตัวแปรเหล่านี้ จะส่งผลให้แบบจำลองมีความผิดพลาด และทิศทางการไหลของน้ำบาดาลไม่ถูกต้อง

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มอบโอกาสสำหรับการทำวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำหรับการมอบทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับศาสตราจารย์ Graham E. Fogg จากมหาวิทยาลัยแคลิฟอเนียร์ เดวิส ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการให้คำแนะนำ แนวคิด และการสนับสนุนในบทความวิจัยนี้

7 เอกสารอ้างอิง

[1] C.W. Beckwith, A.J. Baird and A.L. Heathwaite, "Anisotropy and Depth-Related Heterogeneity of Hydraulic Conductivity in a Bog Peat. II: Modelling the Effects on Groundwater Flow," Hydrology Process, Vol.17, pp.103-113, 2003.

[2] V.A. Zlotnik, M.B. Cardenas and D. Toundykov, "Effects of Multiscale Anisotropy on Basin and Hyporheic Groundwater Flow," Ground Water, Vol.49, pp.576-583, 2011.

[3] G.E. Fogg, "Groundwater Flow and Sand Body Interconnectedness in a Thick, Multiple-Aquifer System," Water Resource Research, Vol.22, pp.679-694, 1986.

[4] Department of Groundwater Resources, Thailand, "Groundwater Situation, Thailand: 2015 Quarter 1," Department of Groundwater Resources, Thailand, Bangkok, 2015.

[5] Ministry of Natural Resources and Environment, "Criteria and Measure Definition of the Public Health and Poison Protection," In the Government Gazette, Vol.125, No.85, 2009.

[6] H. Mohammadzadeh, M.A. Dadgar and H. Nassery, "Prediction of the Effect of Water Supplying from Shirindare Dam on the Bojnourd Aquifer using MODFLOW-2000," Water Resources, Vol.44, No. 2, pp.216–225, 2017. doi.org/10.1134/s009780781702004x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[7] P. Saraphirom, W. Wirojanagud and K. Srisuk, "Potential Impact of Climate Change on Area Affected by Waterlogging and Saline Groundwater and Ecohydrology Management in Northeast Thailand," Environment Asia, Vol.7, No.1, pp.104–111, 2014. doi.org/10.14456/ea.201 0.32

[8] K.S. Voudouris, "Groundwater Balance and Safe Yield of the Coastal Aquifer System in NEastern Korinthia, Greece," Applied Geography, Vol.26, No.3–4, pp.291–311, 2006. doi.org/10.1016/j.apg eog.2006.04.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้