

บทที่ 4

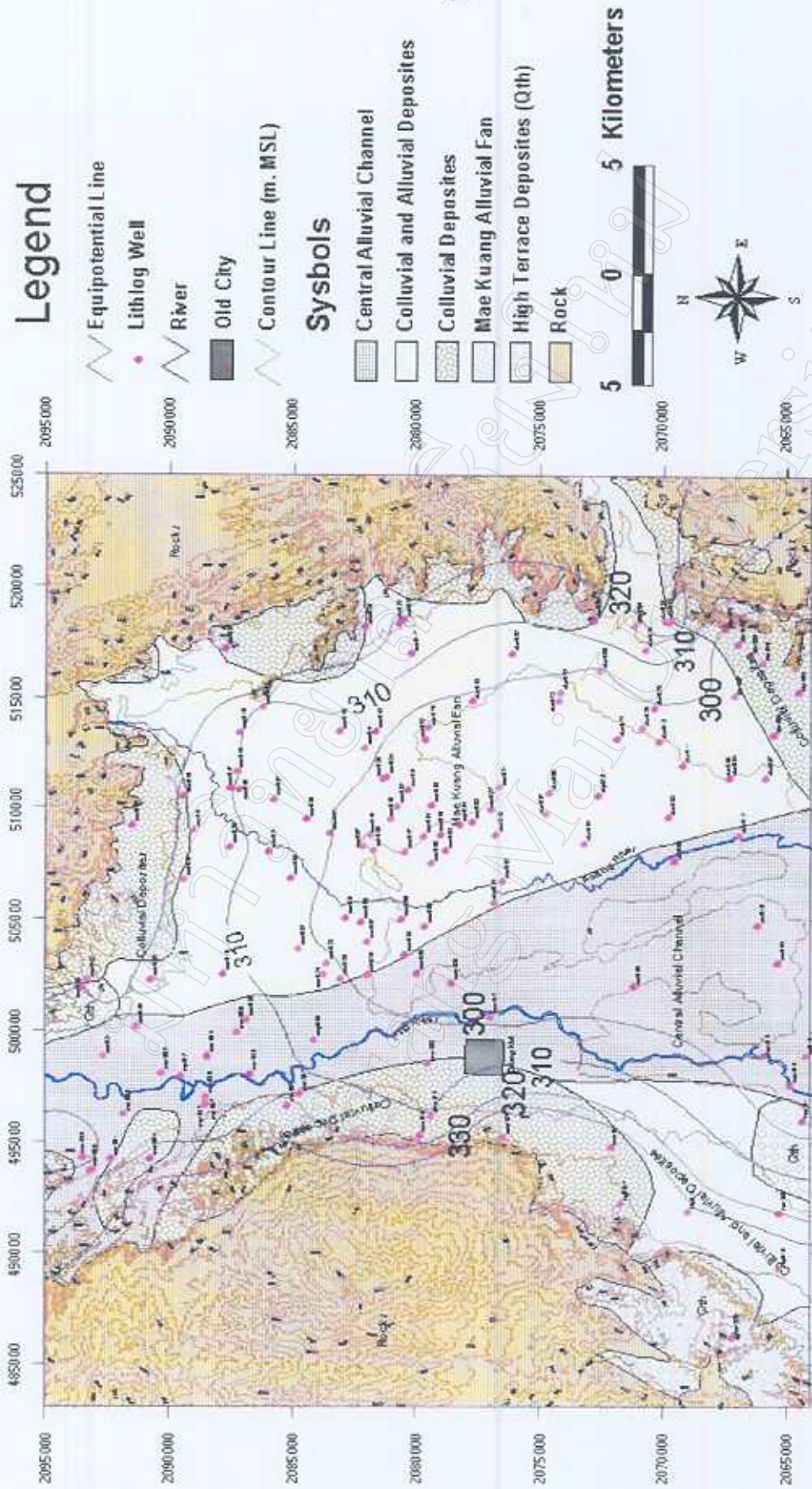
การจำลองและผลการจำลอง

แบบจำลองสภาพน้ำใต้ดินในเขตเมืองเชียงใหม่ สร้างจากข้อมูลที่มีการบันทึกไว้แล้ว จากผู้ที่เคยศึกษามาก่อน และหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง เป็นแบบจำลอง 3 มิติ สร้างโดยใช้ โปรแกรม Visual MODFLOW (Version 2.8.1) ป้อนข้อมูล คำนวณผล และแสดงผลการจำลอง

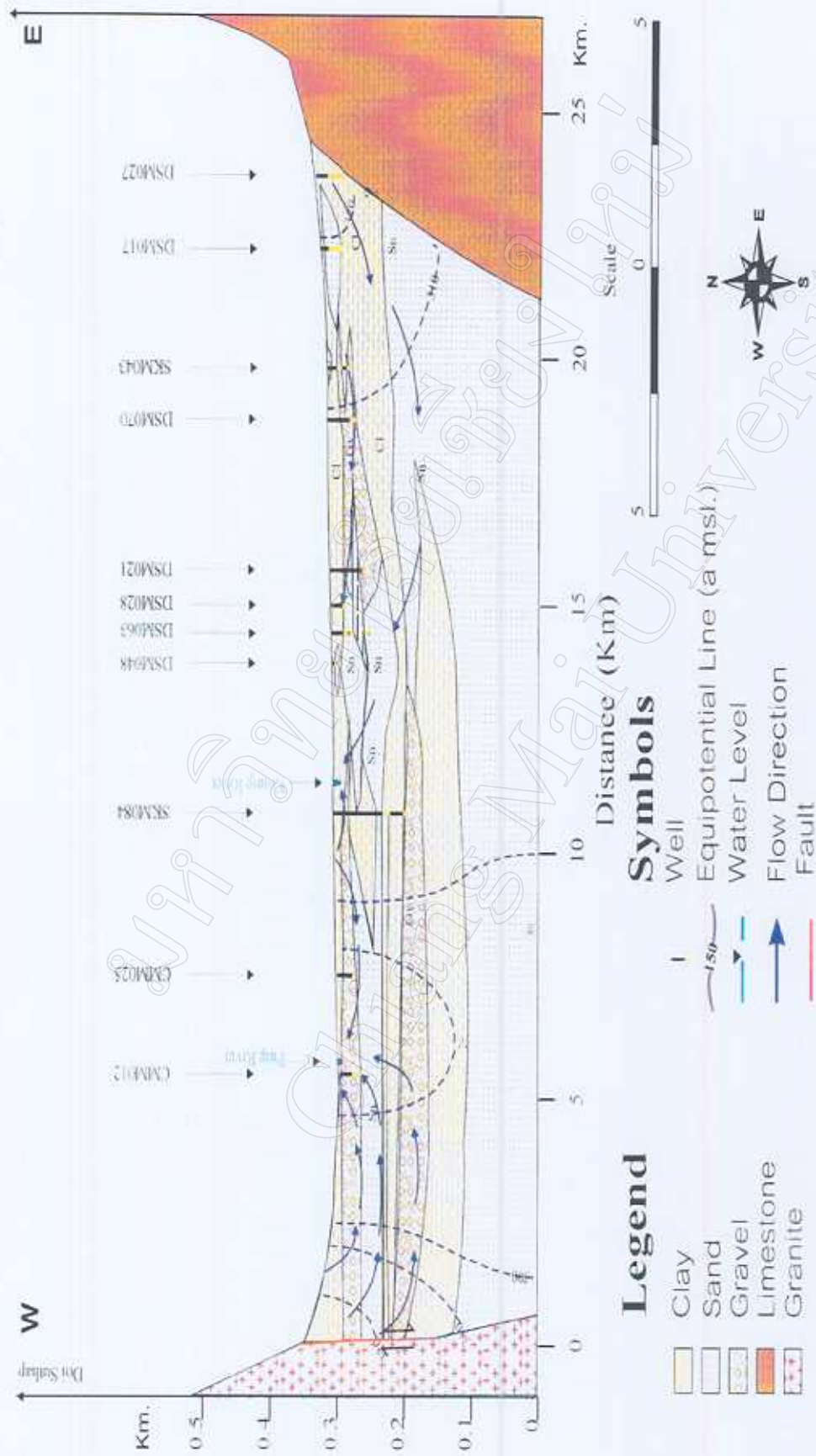
4.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ คือ บทสรุปความเข้าใจของลักษณะทางกายภาพและระบบ การไหลของน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษา จากการวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยข้อมูล ธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ การใช้น้ำใต้ดิน และสภาพที่ดิน ผลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข แผนที่ และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งจะนำไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและ ตรวจสอบผลการจำลองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เขตเมืองเชียงใหม่เป็นที่ราบที่วางตัวอยู่ตอนกลางแอ่งเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแอ่งระหว่างภูเขา (Intramountainous Basin) ที่มีรูปร่างคล้ายไต โดยมีแนวสันเขาวางตัวอยู่ในทิศตะวันออก และตะวันตก ที่ราบมีระดับประมาณ 280 ถึง 360 ม. รทก. มีแม่น้ำปิงไหลผ่านตอนกลางของพื้นที่ โดยไหลเข้าทางด้านทิศเหนือที่ระดับประมาณ 320 ม. รทก. และไหลออกทางด้านทิศใต้ที่ระดับประมาณ 290 ม. รทก. และมีแม่น้ำสายหลักทางทิศตะวันออก คือ แม่น้ำกว๊นาไหลเข้าทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ โดยมีเขื่อนแม่งวงกักเก็บน้ำเพื่อใช้ในบริเวณนี้ ตัวเขื่อนตั้งอยู่ที่บ้านผาแตก ตำบลหลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จากการศึกษาสภาพธรณีวิทยาในอดีต พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มหิน ออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ชั้นหินแข็งมหายุคพาเลโอโซอิกและชั้นหินร่วนและกึ่งร่วนยุคควอเตอร์นารีและเทอร์เชียรี ซึ่งตกตะกอนทับถมและวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องอยู่บนหินแข็งมหายุคพาเลโอโซอิก ซึ่งเป็นหินฐานของแอ่งจนมีลักษณะเป็นที่ราบชั้นหินอุ้มน้ำที่ให้น้ำมากและมีการใช้งานมากในปัจจุบัน คือ ชั้นหินร่วนยุคควอเตอร์นารีและชั้นหินกึ่งร่วนยุคเทอร์เชียรี โดยที่ระดับน้ำใต้ดินมีค่าประมาณ 290 ถึง 340 ม. รทก. โดยมีพื้นที่ขอบแอ่งที่ระดับผิวดินประมาณ 310 ถึง 360 ม. รทก. เป็นพื้นที่รับน้ำ และพื้นที่ตอนกลางของแอ่งเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ บริเวณแม่น้ำสายหลัก คือ แม่น้ำปิง และแม่น้ำกว๊นา แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษาแสดงดังในรูป 4.1 และรูป 4.2



รูป 4.1 ขอบเขตของแบบจำลองและแบบจำลองเชิงโมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา



รูป 4.2 ขอบเขตของแบบจำลองและแบบจำลองเชิงโมโนทัศน์แนวตัดขวางของพื้นที่เขตเมืองเชียงใหม่

4.2 การออกแบบกริด และขอบเขตของแบบจำลอง

การจำลองไม่สามารถเลือกใช้พื้นที่เมืองที่เป็นจุดสนใจมาใช้จำลองโดยลำพังได้ เพราะเป็นการยากในการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต ซึ่งทำให้เป็นการยากที่จะปรับเทียบแบบจำลอง และอาจเกิดความผิดพลาดได้สูง จึงออกแบบกริดโดยเลือกพื้นที่เมืองให้เป็นจุดสนใจ (มีบ่อสูบน้ำใต้ดินมาก) โดยใช้กริดที่มีขนาดเล็กในพื้นที่เมือง และขนาดใหญ่ขึ้นในพื้นที่ชนบท (นอกเขตเมือง) โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจากลักษณะทางกายภาพ และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.1 การออกแบบกริด

กำหนดให้เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 31,000 ม. (แนวเหนือ-ใต้) จากพิกัด 2,064,000 ถึง 2,095,000 ม. เหนือ ยาว 42,000 ม. (แนวตะวันออก-ตะวันตก) จากพิกัด 483,000 ถึง 525,000 ม. ตะวันออก และความสูงของภูมิประเทศตั้งแต่ 60 ถึง 1,600 ม. รทก. แบ่งพื้นที่ที่ศึกษาออกเป็นกริดรูปทรงลูกบาศก์ ตามแนวตะวันตก-ตะวันออก แนวเหนือ-ใต้ (ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินอยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออกเป็นส่วนใหญ่) และแนวดิ่ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แนวตะวันตก-ตะวันออก แบ่งเป็น 129 สดมภ์ กว้างช่วงละ 200 ม. 300 ม. 400 ม.

และ 500 ม.

โดยที่

ช่วงกว้าง 200 ม. อยู่ที่สดมภ์ 30-79

ช่วงกว้าง 300 ม. อยู่ที่สดมภ์ 20-29 และ 80-99

ช่วงกว้าง 400 ม. อยู่ที่สดมภ์ 15-19 และ 100-109

ช่วงกว้าง 500 ม. อยู่ที่สดมภ์ 1-14 และ 110-129

2) แนวเหนือ-ใต้ แบ่งเป็น 102 แถว กว้างช่วงละ 200 ม. 300 ม. 400 ม. และ 500 ม.

โดยที่

ช่วงกว้าง 200 ม. อยู่ที่แถว 30-79

ช่วงกว้าง 300 ม. อยู่ที่แถว 20-29 และ 80-99

ช่วงกว้าง 400 ม. อยู่ที่แถว 15-19 และ 90-94

ช่วงกว้าง 500 ม. อยู่ที่แถว 1-14 และ 95-102

3) แนวดิ่ง แบ่งเป็น 12 ชั้น แต่ละชั้นหนา 10 ม. 20 ม. 30 ม. และ 40 ม.

โดยที่

ชั้นที่ 1-6 ความหนาเปลี่ยนไปตามภูมิประเทศ ที่ระดับ ผิวดิน ถึง 240 ม. รทก.

ชั้นที่ 7-8 ความหนา 20 ม. ที่ระดับ 240 ถึง 200 ม. รทก.

ชั้นที่ 9-10 ความหนา 30 ม. ที่ระดับ 200 ถึง 140 ม. รทก.

ชั้นที่ 11-12 ความหนา 40 ม. ที่ระดับ 140 ถึง 60 ม. รทก.

แบบจำลองมีจำนวนกริดบล็อกทั้งหมด 157,896 กริด แสดงในรูป 4.3

4.2.2 ขอบเขตของแบบจำลอง

ขอบเขตของแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ แสดงอยู่ในรูป 4.3 แบ่งโดยใช้ลักษณะขอบเขตทางกายภาพ (Physical Boundaries) ซึ่งพิจารณาจากการปรากฏของหินเนื้อแน่น แม่น้ำขนาดใหญ่ และขอบเขตทางอุทกวิทยา (Hydrological Boundaries) ซึ่งได้แก่ แนวสันปันน้ำใต้ดิน (Groundwater Divides) และเส้นแสดงทิศทางการไหล (Stream Lines) แต่ละด้านกำหนดให้มีสมบัติดังนี้

ด้านบน เป็นแบบเปิดมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาล

ด้านทิศเหนือและใต้ เป็นขอบเขตที่มีการไหลเข้าและออกของน้ำใต้ดิน

ด้านทิศตะวันออกและตะวันตก เป็นแนวภูเขาหินแข็ง กำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลเข้า/ออก จากชั้นหินอุ้มน้ำ

ด้านล่าง เป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหล โดยพิจารณาจากข้อมูลการสำรวจความโน้มถ่วง และสร้างแบบจำลองสมมติฐานความหนาแน่นของแอ่งเชิงใหม่โดย Beshir (1993) พบว่าตะกอนร่วนอายุควอเตอร์นารีชั้นบนสุดที่ระดับสูงกว่า 100 ม. รทก. ขึ้นไปโดยประมาณ มีความหนาแน่น 2.0 กรัม/ลบ.ซม. ต่างจากตะกอนในระดับที่ต่ำลงไป ซึ่งมีความหนาแน่น 2.15 กรัม/ลบ.ซม. (ดูรูป 3.4) และจากรายงานของ Margane *et al.* (1998) ที่สรุปว่า สภาพทางอุทกธรณีวิทยาของแอ่งมีความแบ่งแยกสูงและมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันสูง ตะกอนอายุควอเตอร์นารี เริ่มตกตะกอนที่ความลึกประมาณ 200 ม. รูปแบบการตกตะกอนถูกควบคุมโดยการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของเปลือกโลกจากช่วงเวลาการกำเนิดแอ่ง และผลการศึกษาชั้นหินที่ความลึกมากกว่า 60 ม. จากผิวดินเป็นชั้นดินเหนียวที่หนามาก (ประมาณ 150 ม.) จึงพิจารณาว่าคุณสมบัติทางศาสตร์ต่างกัน และกำหนดให้เป็นขอบเขตการไหลชนิดที่ไม่มีการไหล

4.2.3 ชนิดของชั้นอุ้มน้ำในการคำนวณ

เนื่องจากพื้นที่ศึกษากว้างมาก ดังนั้นการแบ่งชนิดของชั้นอุ้มน้ำเพื่อใช้ในการคำนวณพิจารณาจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยาพบว่าไม่สามารถแยกชนิดชั้นหินอุ้มน้ำได้ชัดเจนเพราะไม่มีข้อมูลที่บอกถึงชั้นที่บ่งชี้ได้ชัดเจนในแต่ละบริเวณ จึงกำหนดให้เป็น

1) แบบไร้แรงดัน (Unconfined aquifer) ในชั้นที่ 1

2) แบบกึ่งมีแรงดัน (Semi-confined aquifer) ในชั้นที่ 2-12

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

4.3.1 ข้อมูลแม่น้ำ

ข้อมูลของแม่น้ำสายสำคัญในพื้นที่ศึกษา คือ แม่น้ำปิง (สถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน P1 P67 P68) และ แม่น้ำกว๊ม (สถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน P69) ข้อมูลได้จาก กรมชลประทาน เป็นข้อมูลระดับความลึกของน้ำในแต่ละเดือน รูปตัดลำน้ำ รายชื่อสถานีวัดน้ำ และรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก ความกว้างลำน้ำทั้งสายดูจากแผนที่ภูมิประเทศ

ข้อมูลที่เป็นอีกอย่าง คือ ค่าความนำของตะกอนท้องน้ำ (Conductance, C) แสดงถึงความสามารถของตะกอนท้องน้ำที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ในแต่ละกริดบล็อกของแม่น้ำ ปัจจุบันที่มีอิทธิพล คือ ค่าความนำทางชลศาสตร์ของตะกอนท้องน้ำ ความหนาของตะกอนท้องน้ำ และพื้นที่หน้าตัดที่น้ำซึมผ่าน ค่าความนำของตะกอนท้องน้ำนี้คำนวณได้จากสมการ(18) คือ

$$C = KLW/M \quad (18)$$

เมื่อ K เป็น ค่าความนำทางชลศาสตร์ของตะกอนลำน้ำ [L/T]
 L เป็น ความยาวของลำน้ำในกริดบล็อกนั้น [L]
 W เป็น ความกว้างของลำน้ำในกริดบล็อกนั้น [L]
 M เป็น ความหนาของตะกอนท้องน้ำ [L]

4.3.2 อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

การคำนวณอัตราการเพิ่มเติมน้ำ (recharge rate) สู่แหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยเริ่มจากการนำข้อมูลน้ำฝนในแต่ละเดือนของสถานีต่าง ๆ ของกรมชลประทาน คูภาคผนวก ก มาลากเส้นชั้นน้ำฝนแล้วพิจารณาลักษณะพื้นที่ และลักษณะการใช้ที่ดิน เพื่อใช้ในการประเมินการเพิ่มเติมน้ำใต้ดินดังนี้

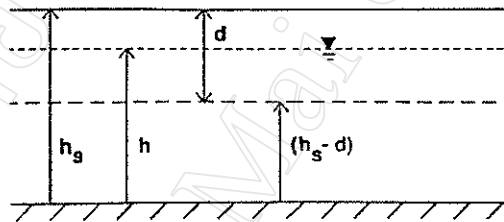
พื้นที่สูญเสียเป็นพื้นที่ที่มีระดับภูมิประเทศต่ำกว่า 300 ม. รทก. ซึ่งเป็นเขตที่อยู่อาศัยเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบ ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน โดยมีผิวดินเป็นดินเหนียวปนทรายและทรายแป้ง และผิวดินส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยวัสดุทึบน้ำ และน้ำซึมผ่านได้น้อย และมีระบบการระบายน้ำทำให้อัตราการเพิ่มเติมน้ำต่ำ แต่พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยก็มีการเพิ่มเติมน้ำใต้ดินโดยขบวนการอื่น ซึ่งปริมาณที่มีนัยสำคัญได้แก่ การรั่วซึมของระบบประปา ตามข้อมูลของสำนักงานการประปาเขต 9 พบว่า พื้นที่ที่มีการบริการประปาจะมีการสูญเสียของน้ำที่ส่งตามเส้นท่อประมาณ

ร้อยละ 30 ของปริมาณการจ่ายน้ำทั้งหมด กำหนดช่วงศักยภาพของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ประมาณร้อยละ 1 ถึง 5 ของปริมาณน้ำฝนรวมกับปริมาณการรั่วซึมของน้ำประปาในพื้นที่

พื้นที่รับน้ำเป็นพื้นที่ที่มีระดับภูมิประเทศสูงกว่า 300 ม. รทก. นอกเขตที่อยู่อาศัยหนาแน่น ซึ่งเป็นเขตที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะพื้นที่เป็นที่ลาดชันเล็กน้อย ถึงลาดชันมาก ระดับน้ำใต้ดินต่ำจากผิวดินมาก ผิวดินมีค่าการซึมผ่านได้ปานกลางถึงสูง กำหนดให้ช่วงศักยภาพของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ของปริมาณน้ำฝน แปรผันตามความความสูงของพื้นที่ ชนิดดิน และความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

4.3.3 อัตราการคายระเหย

การคายระเหยของน้ำจากระบบน้ำใต้ดิน เป็นผลจากการระเหยของน้ำที่อยู่ใกล้ผิวดิน และการคายน้ำของพืช สามารถคำนวณได้โดยใช้ Evapotranspiration Package ซึ่งจะมีการคำนวณโดยใช้สมการ(19) ถึงสมการ(23) โดยพิจารณารูป 4.4 ประกอบ



รูป 4.4 รูปแบบของการคายระเหยที่ใช้คำนวณใน MODFLOW
(ที่มา Anderson and Woessner, 1992)

$$Q_{ET} = Q_{ETM} \quad \text{กรณีที่ } h > h_s \quad (19)$$

โดยที่

$$Q_{ETM} = R_{ETM} \Delta x \Delta y \quad (20)$$

$$Q_{ET} = 0 \quad \text{สำหรับกรณีที่ } h < (h_s - d) \quad (21)$$

และ
$$Q_{ET} = Q_{ETM} [h - (h_s - d)] / d \quad \text{กรณีที่ } h_s \geq h \geq (h_s - d) \quad (22)$$

เมื่อ

$$Q_{ETM} \quad \text{คือ ปริมาณการคายระเหยสูงสุดที่เป็นไปได้ [L³/T]}$$

Q_{ET}	คือ ปริมาณการคายระเหย [L^3/T]
R_{ETM}	คือ อัตราการคายระเหยสูงสุดที่เป็นไปได้ [L/T]
$\Delta x, \Delta y$	คือ ความยาวของกริดบล็อกในแต่ละแนว [L]
d	คือ ความลึกสูงสุดที่เกิดการคายระเหย (Extinction depth) [L]
h	คือ ระดับน้ำใต้ดิน [L]
h_s	คือ ระดับความสูงของผิวดิน [L]

โดยที่ค่า d โดยทั่วไปจะเท่ากับ 2 ถึง 2.5 ม. (Anderson and Woessner, 1992) แต่ในพื้นที่ที่มีพืชที่มีรากลึกปกคลุม ค่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความลึกของรากพืชบริเวณนั้น ดังนั้นในการจำลองต้องการข้อมูลเหล่านี้ และเมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะต้องนำมาปรับแก้เมื่อมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับระดับน้ำในสนาม

ในเขตเมืองเชียงใหม่ สามารถแบ่งรูปแบบพื้นที่ได้เป็น 2 แบบ คือ พื้นที่ชุมชนเมือง และพื้นที่เกษตรกรรม โดยใช้ข้อมูลอัตราการระเหยจากการวัดจากสถานีวัดการระเหยของสำนักงานชลประทานที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่

การคำนวณหาอัตราการคายระเหยในพื้นที่ศึกษา (R_{ETM}) ใช้สมการ (23) คือ

$$R_{ETM} = K_p * E_p \quad (23)$$

เมื่อ K_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์การวัดการคายระเหย

E_p คือ อัตราการระเหยจากสถานีวัดการระเหย [L/T]

4.3.4 อัตราการไหลเข้า และออกของน้ำใต้ดินในแบบจำลอง

ขอบเขตด้านทิศเหนือ และทิศใต้มีการไหลเข้า และไหลออกของน้ำใต้ดิน ดังนั้นจะได้มีการหาอัตราการไหลเข้าและออกจากสมการของ ดาร์ซี คือ

$$Q = V * A \quad (24)$$

และ $V = K * (\Delta h / \Delta l) \quad (25)$

- เมื่อ Q คือ อัตราการไหลเข้าหรือออกจากหน้าตัดที่พิจารณา [L^3/T]
 V คือ ความเร็วที่ไหลผ่านหน้าตัดที่พิจารณา [L/T]
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่พิจารณา [L^2]
 K คือ ค่าความนำทางชลศาสตร์ [L/T]

และ $\Delta h/\Delta l$ คือ ความลาดชลศาสตร์ของน้ำใต้ดินที่จุดที่พิจารณา

โดยใช้ค่า Δh และ Δl จากแผนที่แสดงเส้นแรงดันเต่าของน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรธรณี ที่ทำการสำรวจระดับน้ำใต้ดินของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2539 แล้วนำค่าอัตราการไหลที่ได้ ใช้ในแบบจำลองในรูปแบบของบ่อน้ำ (Pumping well) และบ่อน้ำอัดน้ำ (Injecting well)

4.3.5 ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และความแตกต่างของทิศทางของค่าความนำทางชลศาสตร์

จากสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา พบว่าประกอบด้วยการตกตะกอนหลายชนิด ซึ่งมีช่วงค่าสมบัติทางชลศาสตร์แสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ช่วงค่าสมบัติทางชลศาสตร์ของวัสดุให้น้ำที่ใช้ในแบบจำลอง

(รวบรวมจาก ประกอบ วิโรจน์ ,2539 และ Spitz and Moreno,1996)

Materials	K_x, K_y	K_z/K_x	S_s	S_y
Clay near surface	$1.16 \times 10^{-7} - 2.31 \times 10^{-6}$	0.3-0.95	-	0.01-0.18
Deep clay beds	$1.16 \times 10^{-13} - 1.16 \times 10^{-7}$	0.3-0.95	$9.2 \times 10^{-4} - 2.6 \times 10^{-3}$	0.01-0.18
Sandstone	$1.16 \times 10^{-8} - 1.16 \times 10^{-5}$	0.5-1.0	-	0.02-0.40
Sand	$1.16 \times 10^{-5} - 1.16 \times 10^{-2}$	-	$(1.3-10) \times 10^{-4}$	0.01-0.46
Gravel	$1.16 \times 10^{-3} - 1.16 \times 10^{-2}$	-	-	0.13-0.44
Pebble	$(1.04-1.42) \times 10^{-2}$	-	-	0.18-0.43
Sandy clay	$1.16 \times 10^{-8} - 1.16 \times 10^{-6}$	0.1	-	-
Clay & gravel	-	-	-	-
Sand & gravel	$5.78 \times 10^{-5} - 1.16 \times 10^{-3}$	-	$(4.9-10) \times 10^{-5}$	-
Fill deposit	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6}$	-	-	-

หมายเหตุ K_x, K_y : ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวราบ (ม./วินาที)

K_z : ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง (ม./วินาที)

S_s : ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (ม.⁻¹)

S_y : ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน

4.3.6 อัตราการใช้น้ำใต้ดิน

ใช้ข้อมูลการสูบน้ำจาก ข้อมูลผู้ได้รับอนุญาตใช้น้ำบาดาล จากฝ่ายทรัพยากรธรณี อุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ แสดงข้อมูลในภาคผนวก ค เลือกใช้ปริมาณการสูบน้ำเฉพาะที่มากกว่า 10 ลบ.ม./วัน เพราะปริมาณการสูบที่น้อยกว่านี้จะมีผลต่อแบบจำลองน้อยมาก โดยที่ในความเป็นจริงมีการใช้น้ำอีกหลายกลุ่มที่ใช้น้ำในปริมาณน้อย และไม่ต้องขออนุญาต (ความลึกต่ำกว่า 30 ม. และ การใช้น้ำในการเกษตร) อีกมาก รวมทั้งการลักลอบใช้น้ำที่ไม่มีข้อมูล และไม่สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองครั้งนี้ได้

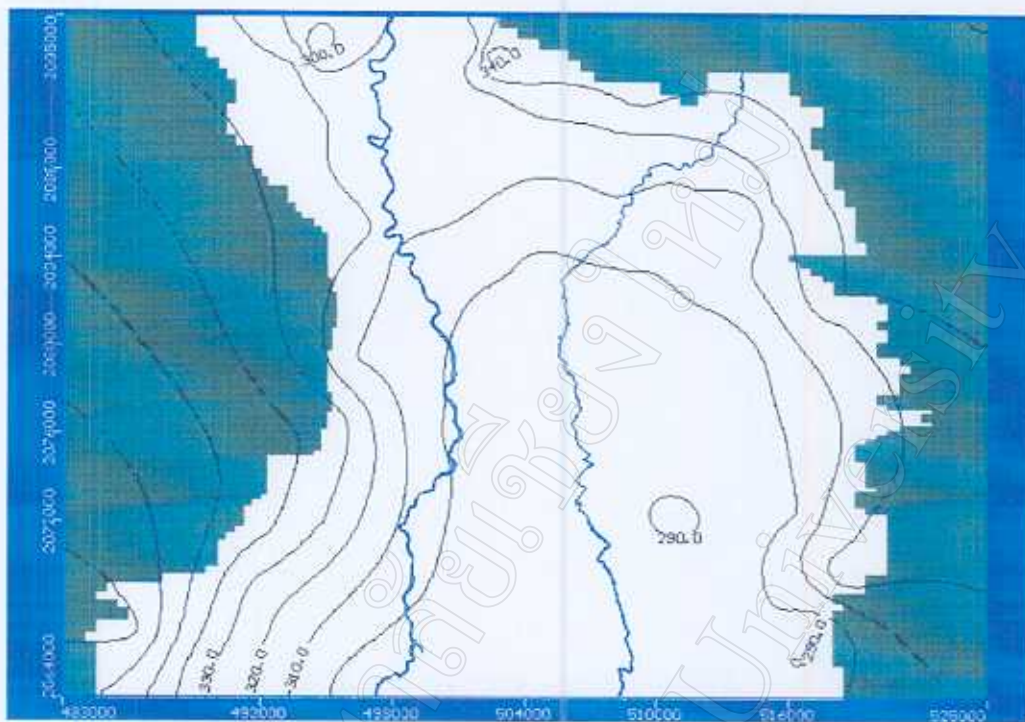
4.4 การจำลองในสถานะคงที่

4.4.1 วัตถุประสงค์ของการจำลองในสถานะคงที่

เพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง และหาสมดุลน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

4.4.2 เงื่อนไขของการจำลองในสถานะคงที่

- 1) การจำลองในสถานะคงที่ได้เลือกใช้ข้อมูลของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2539 ซึ่งกรมทรัพยากรธรณี ได้ทำการสำรวจระดับน้ำบาดาล และจัดทำแผนที่แสดงเส้นแรงดันต้นเท้าของพื้นที่แอ่งเชียงใหม่/ลำพูน (ใช้ในการตรวจสอบแบบจำลอง และใช้เป็นระดับน้ำเริ่มต้นในการคำนวณ รูป 4.5) และมีข้อมูลจากทุกหน่วยงานสมบูรณ์
- 2) กำหนดให้น้ำเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบ การสูบน้ำขึ้นมาใช้ และ การคายระเหยเป็นตัวแปรที่ควบคุมระดับน้ำและแรงดันของน้ำใต้ดิน
- 3) ขอบเขตของแบบจำลอง ทิศเหนือกำหนดให้มีการไหลเข้าจะใช้บ่อเติมน้ำในการกำหนดขอบเขตแทน ส่วนในทิศใต้กำหนดให้มีการไหลออกจะใช้บ่อสูบน้ำในการกำหนดขอบเขตแทน
- 4) การจำลองจะมีการปรับค่าตัวแปรดังนี้ อัตราการเติมน้ำ อัตราการคายระเหย และค่าความนำทางชลศาสตร์ ของชั้นหินอุ้มน้ำ และตะกอนท้องน้ำ เพื่อให้แรงดันของน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 12 บ่อ (ใช้บ่อสังเกตการณ์ของกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี 4 บ่อ และเลือกบ่อที่มีการเก็บข้อมูลที่ช่วงเวลานั้นอีก 8 บ่อ โดยใช้บ่อที่มีท่อกรองเพียง 1 ช่วง และมีตำแหน่งเหมาะสม ดังแสดงในรูป 4.6) มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดในภาคสนามในช่วงเวลาที่กำหนดในข้อ 1) มากที่สุด



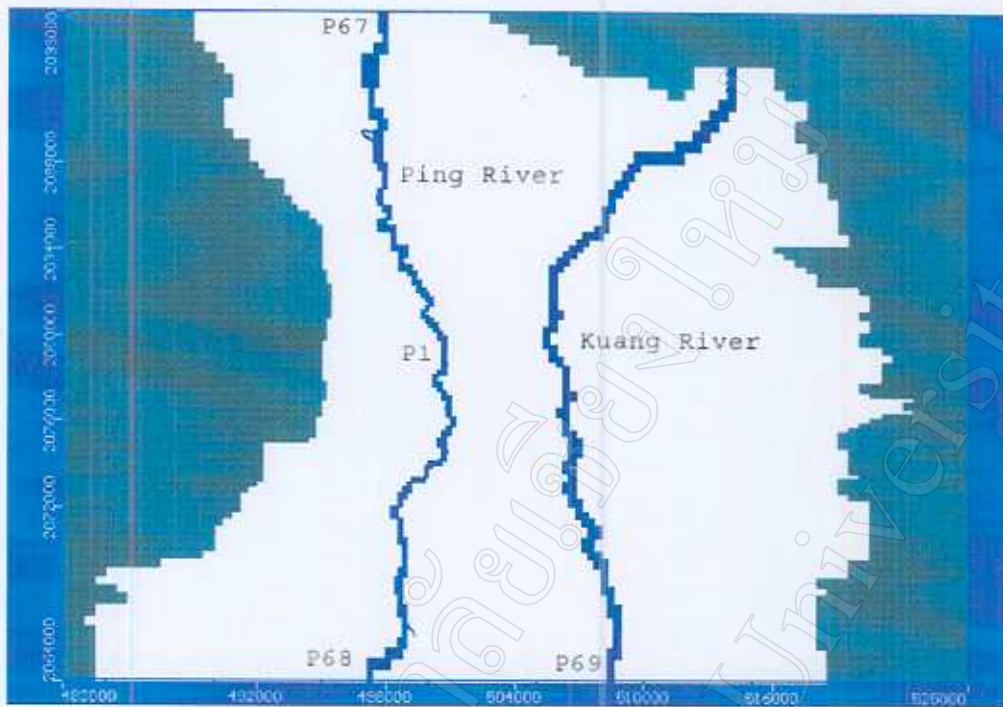
รูป 4.5 แสดงค่าแรงดันน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลอง



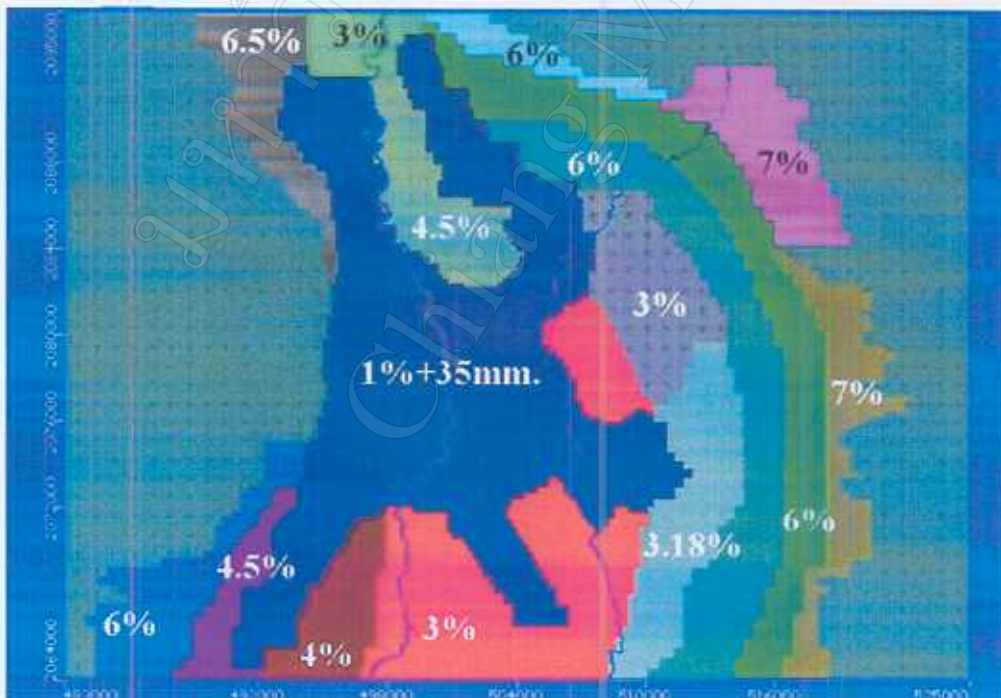
รูป 4.6 แสดงตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ในการจำลองในสภาวะคงที่และสภาวะไม่คงที่

4.4.3 ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะคงที่

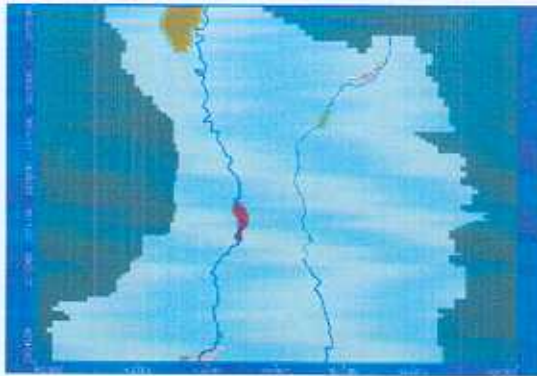
- 1) ข้อมูลของแม่น้ำสายหลักใช้การวิเคราะห์ตามหัวข้อ 4.3.3 ใช้ค่าความนำคลศาสตร์ของตะกอนที่ลอยอยู่ในช่วง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-7} ม./วินาที ระดับน้ำใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน โดยใช้ข้อมูลที่สถานี P1 เท่ากับ 301.86 ม. รทก. สถานี P67 เท่ากับ 318.71 ม. รทก. สถานี P68 เท่ากับ 294.84 ม. รทก. สถานี P69 เท่ากับ 295.31 ม. รทก. ดังแสดงในรูป 4.7 ข้อมูลตำแหน่ง และรูปตัดขวางลำน้ำ แสดงใน ภาคผนวก ก
- 2) อัตราการการเพิ่มเติมน้ำคำนวณตามหัวข้อที่ 4.3.1 พื้นที่เพิ่มเติมน้ำแบ่งได้เป็น 16 พื้นที่ ดังรูป 4.8 คือ พื้นที่เขตเมืองซึ่งมีเนื้อที่มากที่สุด มีอัตราการเพิ่มเติมน้ำร้อยละ 1 ของปริมาณฝนรวมกับการรั่วซึมของระบบประปา คือ ประปาเชียงใหม่ 5,355,097 ลบ.ม. พื้นที่ 123.61 ตร.กม. คิดเป็นความลึก 43.32 มม./ปี ประปาสันกำแพง 160,306 ลบ.ม. พื้นที่ 17.01 ตร.กม. คิดเป็นความลึก 9.42 มม./ปี และ ประปาแม่อิง 832,290 ลบ.ม. พื้นที่ 14.9 ตร.กม. คิดเป็นความลึก 55.78 มม./ปี เฉลี่ยตามขนาดพื้นที่ได้ 40.81 มม./ปี แต่ปริมาณการรั่วซึมนี้จะไม่เพิ่มเติมสู่ชั้นหินอุ้มน้ำทั้งหมดเพราะจะมีการสูญเสียบ้าง ดังนั้น จะมีการเพิ่มเติมสู่ชั้นหินอุ้มน้ำประมาณร้อยละ 85 เท่านั้น คือ 35 มม./ปี ส่วนพื้นที่เขตชนบท อัตราการเพิ่มเติมน้ำได้ดิน คือ ร้อยละ 3 -10 ของปริมาณฝน
- 3) การคายระเหยของน้ำได้ดินแบ่งตามลักษณะการใช้พื้นที่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่เมือง และพื้นที่ชนบท โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยในช่วงร้อยละ 10-50 ของค่าวัดการระเหย เขตเมืองมีค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยต่ำกว่าเขตชนบท และมีความลึกสูงสุดที่เกิดการคายระเหย (Extinction depth) ต่ำกว่า เพราะมีวัสดุกันน้ำปกคลุม และไม่มีรากพืชมากพอที่จะทำให้เกิดการคายน้ำจากระดับลึกได้ กำหนดให้เขตเมืองมีค่าความลึกสูงสุดที่เกิดการคายระเหย 1.0 ม. และ 2.0 ม. สำหรับเขตชนบท ดังแสดงในรูป 4.9
- 4) ปริมาณการสูบน้ำใช้ข้อมูล ตำแหน่งบ่อ ความลึกบ่อ และปริมาณการสูบจากฝ่ายทรัพยากรธรณี อุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลการสูบน้ำที่มากกว่า 10 ลบ.ม./วัน เพราะปริมาณการสูบที่น้อยกว่านี้จะมีผลต่อระดับน้ำในแบบจำลองน้อยมาก ตำแหน่งบ่อสูบน้ำที่ใช้ในการจำลองแสดงในรูป 4.10
- 5) การไหลเข้า/ออกที่ขอบเขตแบบจำลอง จำลองโดยใช้บ่อสูบ/เติมน้ำ โดยคำนวณอัตราการไหลจากความลาดคลศาสตร์ แล้วเปลี่ยนเป็นอัตราการสูบน้ำ/เติมน้ำ รูป 4.10
- 6) ค่าความนำทางคลศาสตร์ในแนวราบ และแนวตั้ง ใช้ข้อมูลชั้นหินที่รวบรวมโดย Margane *et al.*, (1998) จำนวน 130 บ่อ (ดูในภาคผนวก ค) โดยการป้อนเข้าตามชนิดของตะกอน ผลการป้อนเข้าของค่าความนำทางคลศาสตร์แสดงในรูป 4.11 ถึงรูป 4.16



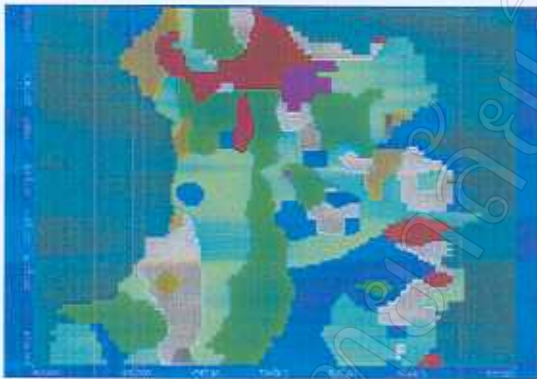
รูป 4.7 แสดงตำแหน่งที่มีข้อมูลแม่น้ำที่ในพื้นที่ศึกษา



รูป 4.8 แสดงอัตราการเพิ่มเติมน้ำที่ใช้ในการจำลอง



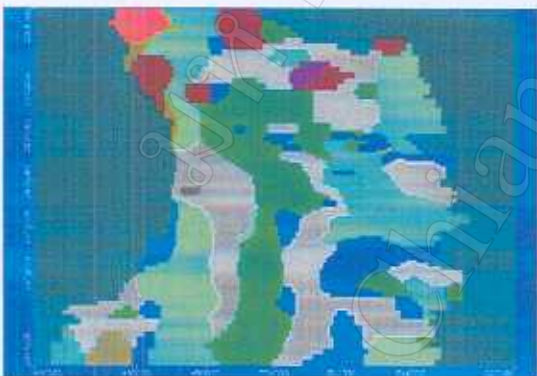
ชั้นที่ 1

+
ชั้นที่ 2

ชั้นที่ 3



ชั้นที่ 4

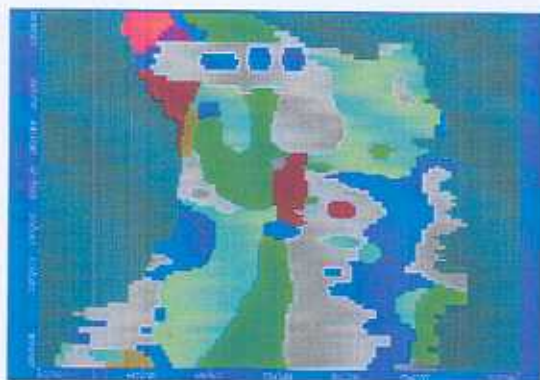


ชั้นที่ 5

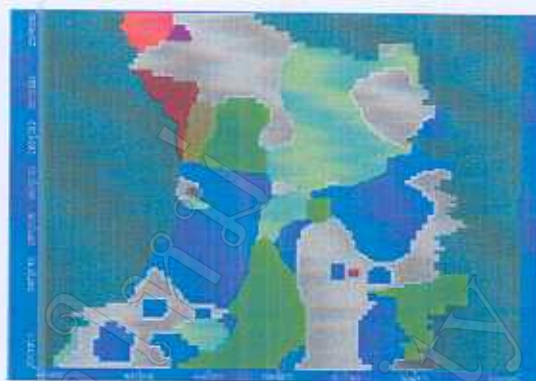


ชั้นที่ 6

รูป 4.11 การกระจายของสมบัติทางชลศาสตร์ตามชนิดหินอุ้มน้ำ ชั้นที่ 1-6



ชั้นที่ 7



ชั้นที่ 8



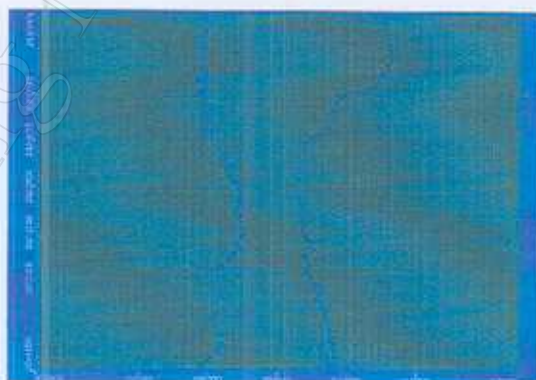
ชั้นที่ 9



ชั้นที่ 10

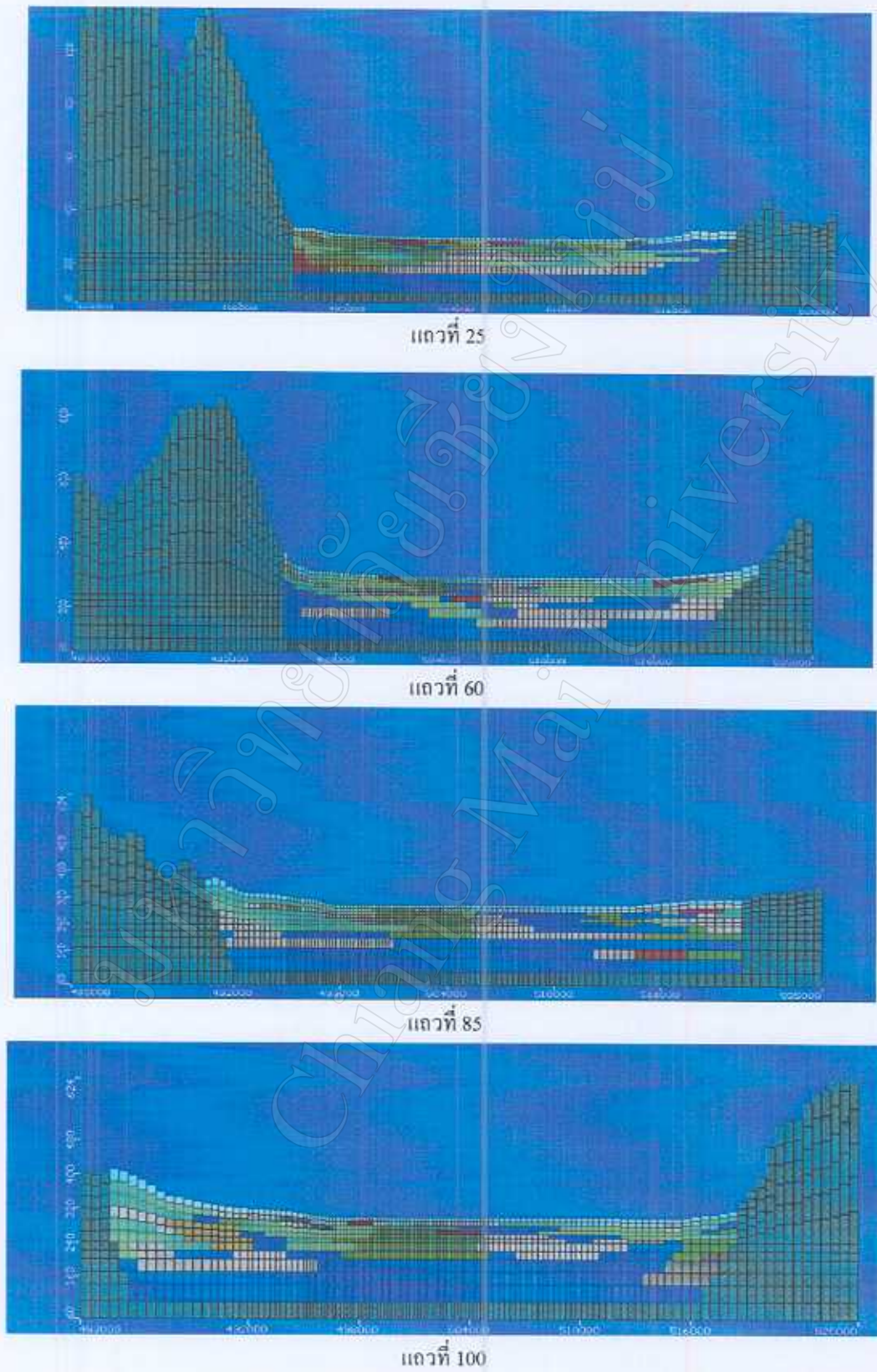


ชั้นที่ 11

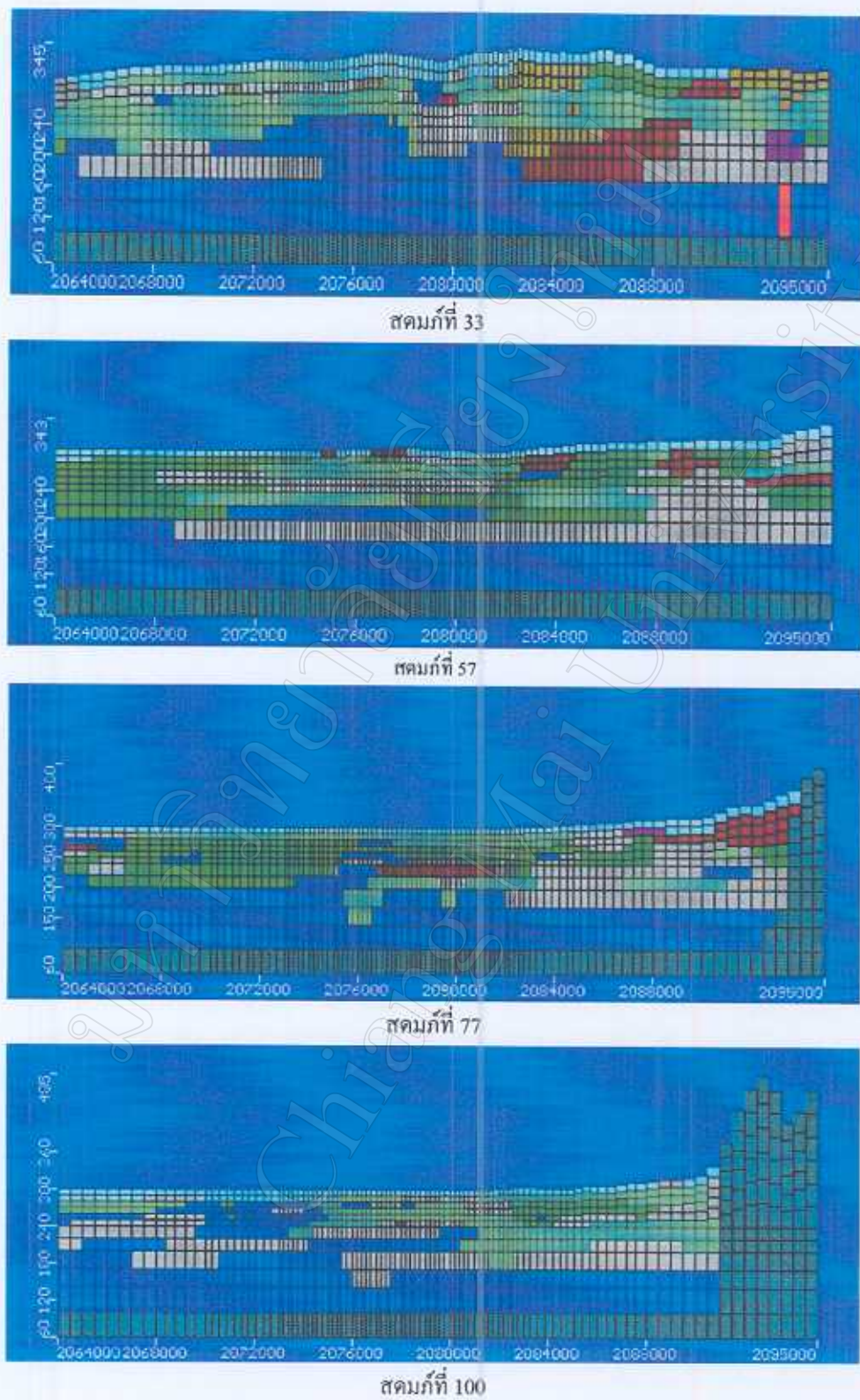


ชั้นที่ 12

รูป 4.12 การกระจายของสมบัติทางชลศาสตร์ตามชนิดหินอุ้มน้ำ ชั้นที่ 7-11



รูป 4.13 การกระจายตัวของสมบัติทางกลศาสตร์ตามชนิดหินอุ้มน้ำในแนวดิ่ง(แถว)



รูป 4.14 การกระจายตัวของสมบัติทางกลศาสตร์ตามชนิดหินอุ้มน้ำในแนวตั้ง(สดมภ์)

Property #	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]	Color	Materials
1	null	null	null		-
2	null	null	null		-
3	0.003	0.003	0.0015		Pebble
4	null	null	null		-
5	0.000614	0.000614	0.0003		Sand & Gravel
6	4.73E-5	4.73E-5	3.85E-5		Fill deposit
7	1.42E-5	1.42E-5	1.145E-5		Sand & Clay
8	0.000473	0.000473	0.00021		Sand
9	2.84E-6	2.84E-6	2.698E-6		Clay & Gravel
10	1.23E-7	1.23E-7	1.165E-7		Deep clay bed
11	0.00189	0.00189	0.000945		Gravel
12	1.89E-6	1.89E-6	1.815E-6		Clay near surface
13	2.36E-5	2.36E-5	2.36E-5		Sandstone

รูป 4.15 สัญลักษณ์ และค่าความนำทางชลศาสตร์ของตะกอนแต่ละชนิด

Property #	Sz [1/m]	Sy [-]	Eff.Por[-]	Tot.Por[-]	Color	Materials
1	null	null	null	null		-
2	null	null	null	null		-
3	9.504E-5	0.13248	0.23	0.28		Pebble
4	null	null	null	null		-
5	5.94E-5	0.13824	0.24	0.32		Sand & Gravel
6	0.001496	0.01728	0.03	0.4		Fill deposit
7	0.0015455	0.02304	0.04	0.6		Sand & Clay
8	0.000891	0.15552	0.27	0.39		Sand
9	0.001133	0.02016	0.035	0.6		Clay & Gravel
10	0.00352	0.01728	0.03	0.42		Deep clay bed
11	0.00010692	0.13824	0.24	0.32		Gravel
12	0.001716	0.04608	0.08	0.46		Clay near surface
13	0.0002145	0.0576	0.1	0.3		Sandstone

รูป 4.16 สัญลักษณ์ และค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักของตะกอนแต่ละชนิด

4.4.4 ผลการจำลองในสถานะคงที่

แบบจำลองที่ได้จากการเปรียบเทียบโดยใช้บ่อสังเกตการณ์ จำนวน 12 บ่อ กระจายในพื้นที่ศึกษา พบว่าค่าของแรงดันน้ำที่คำนวณได้มีค่า Mean Absolute Error เท่ากับ 1.6934 ม. และมีค่า Root Mean Squared Error เท่ากับ 2.1139 ม. การสรุปค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง และแนวราบที่เปรียบเทียบแล้วตามชนิดวัสดุตัวกลาง แสดงอยู่ในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 สรุปค่าตัวแปรค่าความนำทางชลศาสตร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบในสถานะคงที่

No.	Materials	Horizontal hydraulic conductivity (m./sec.)	Vertical hydraulic conductivity (m./sec.)
3	Pebble	3.00×10^{-3}	1.50×10^{-3}
5	Sand & Gravel	6.14×10^{-4}	3.00×10^{-4}
6	Fill deposit	4.73×10^{-5}	3.85×10^{-5}
7	Sand & Clay	1.42×10^{-5}	1.145×10^{-5}
8	Sand	4.73×10^{-4}	2.10×10^{-4}
9	Clay & Gravel	2.84×10^{-6}	2.698×10^{-6}
10	Deep clay bed	1.23×10^{-7}	1.165×10^{-7}
11	Gravel	1.89×10^{-3}	9.45×10^{-4}
12	Clay near surface	1.89×10^{-6}	1.815×10^{-6}
13	Sandstone	2.36×10^{-5}	2.36×10^{-5}

หมายเหตุ หมายเลขวัสดุตรงกับหมายเลขในรูป 4.15 และ รูป 4.16

แรงดันน้ำที่ได้จากแบบจำลองในสถานะคงที่ จะเห็นว่ามีคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าจริงที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ค่อนข้างมาก ตาราง 4.3 แสดง ชื่อบ่อสังเกตการณ์ ตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์ที่เลือกใช้ ชั้นที่เป็นตำแหน่งของท่อกรองของบ่อสังเกตการณ์แต่ละบ่อ และความแตกต่างของค่าจริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง พบว่าบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าแรงดันน้ำคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ บ่อสังเกตการณ์ Q49 และบ่อสังเกตการณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ บ่อสังเกตการณ์ BTM020

ตาราง 4.3 ข้อมูลแรงดันน้ำที่จุดสังเกตการณ์ 12 จุดหลังปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงที่

ชื่อบ่อ	ตำแหน่ง		ชั้น ที่	ระดับน้ำจากบ่อ สังเกตการณ์(ม.)	ระดับน้ำจากการ คำนวณ (ม.)	คลาดเคลื่อน (ม.)
	เหนือ-ใต้	ออก-ตก				
DSM006	514700	2086250	4	316.63	314.71	-1.92
CMM002	500850	2076250	2	296.41	297.72	+1.31
Q49	494640	2091250	6	318.38	318.45	+0.07
MRM037	496290	2088600	2	314.11	317.56	+3.45
SRP008	503100	2065300	6	297.10	296.51	-0.59
DSM021	510950	2076600	5	297.00	295.90	-1.10
SKM013	513100	2070100	9	293.78	295.14	+2.12
SSM026	502350	2083000	3	301.11	300.37	-0.74
SSM052	506800	2089350	3	315.15	317.27	+2.12
DSM017	517002	2080140	2	312.87	313.08	+0.21
HDP019	491850	2068920	2	326.17	329.88	+3.71
BTM020	516650	2065900	6	301.56	297.82	+3.74

เส้นแรงดันเท่า และทิศทางการไหลที่ได้ มีรูปแบบเหมือนกับแบบจำลองเชิงมนิทศน์
ดังแสดงในรูป 4.15 รูป 4.16 รูป 4.17 และรูป 4.18 โดยจะมีการไหลจากขอบพื้นที่เข้าสู่กลางแอ่ง
และไหลขึ้นในพื้นที่สูญเสีย น้ำ บริเวณแม่น้ำสายหลักทั้ง 2 สาย และไหลออกจากพื้นที่ศึกษาบริเวณ
อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่

สมดุลน้ำได้ดินจากการจำลองในสภาวะคงที่สามารถแจกแจงได้ ดังในตาราง 4.4 คือ

ตาราง 4.4 สมดุลของน้ำได้ดินจากการจำลองในสภาวะคงที่

แหล่ง และปริมาณการไหลเข้า(ลบ.ม./วัน)	แหล่ง และปริมาณการไหลออก(ลบ.ม./วัน)
Wells = 309.85	Wells = 21,905.00
Recharge = 116,980.00	Evapotranspiration = 26,181.00
River Leakage = 14,345.00	River Leakage = 83,548.00
Total In = 131,630.00	Total Out = 131,630.00
In-Out = 0.00 (ลบ.ม./วัน)	% Discrepancy = 0.00



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 3



ชั้นที่ 5



ชั้นที่ 7

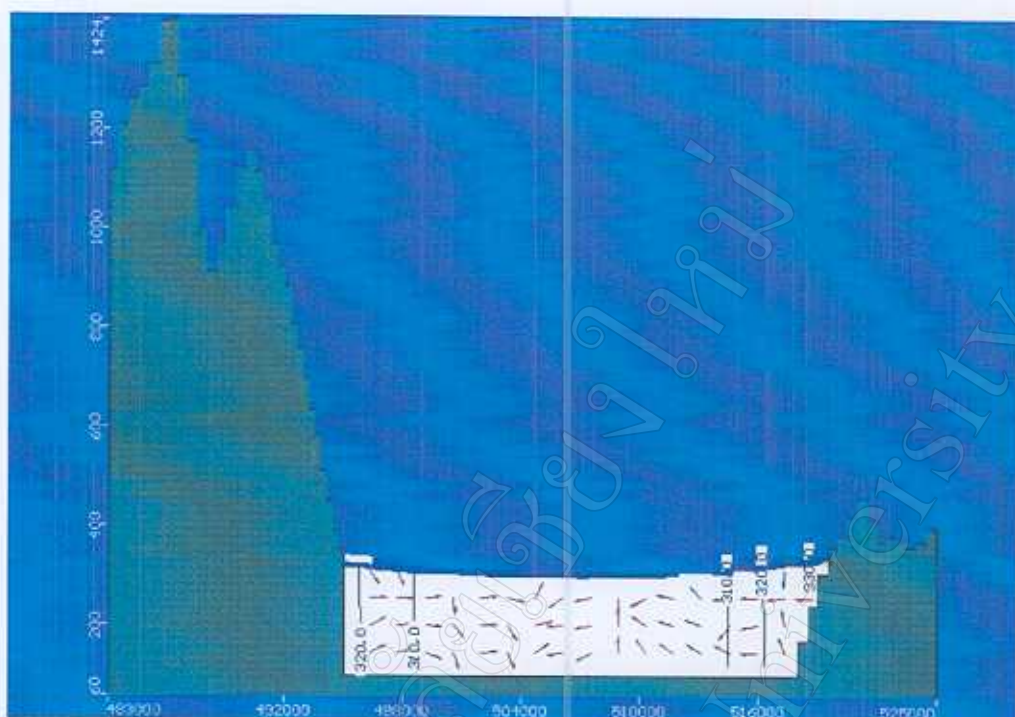


ชั้นที่ 9

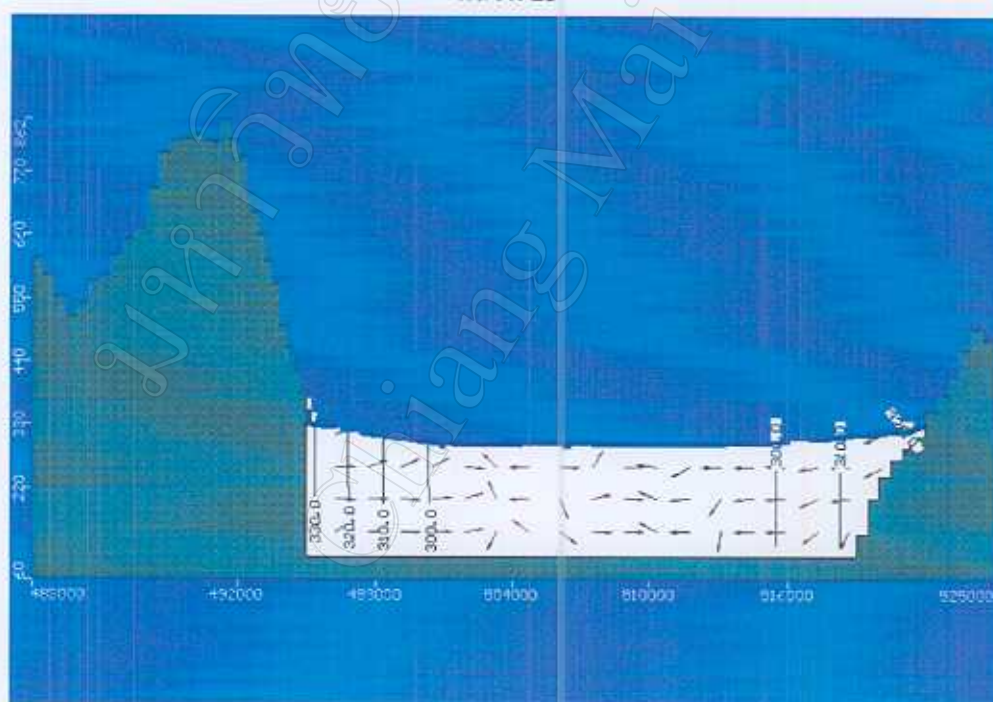


ชั้นที่ 11

รูป 4.17 ผลการจำลองแสดงเส้นแรงดันน้ำ และทิศทางน้ำไหลในสภาวะคงที่

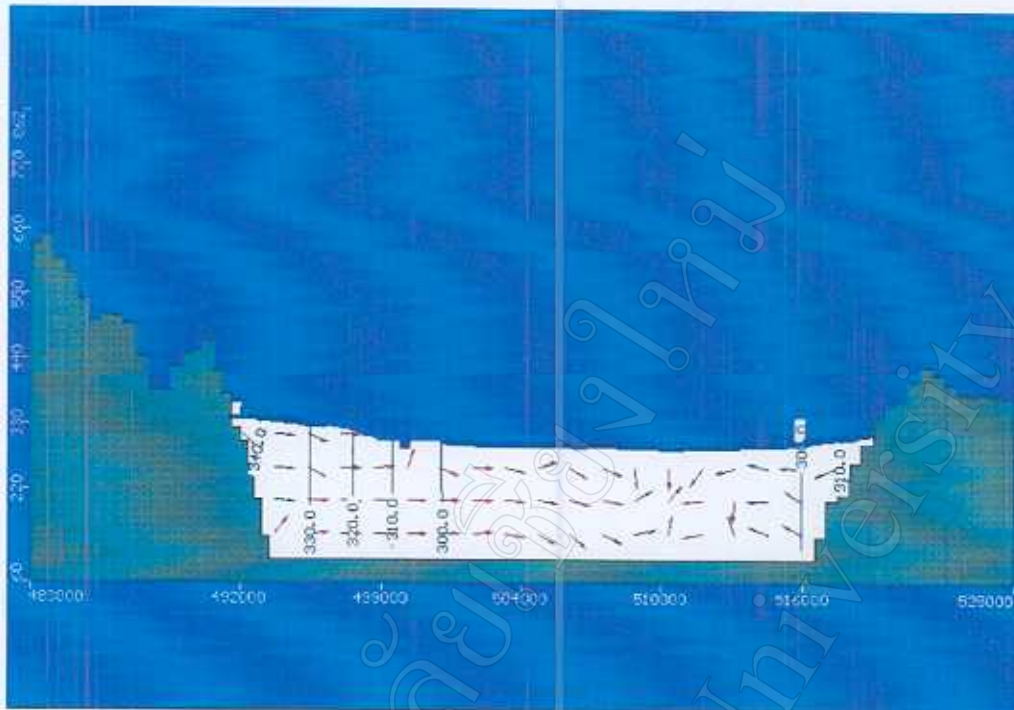


แถวที่ 25

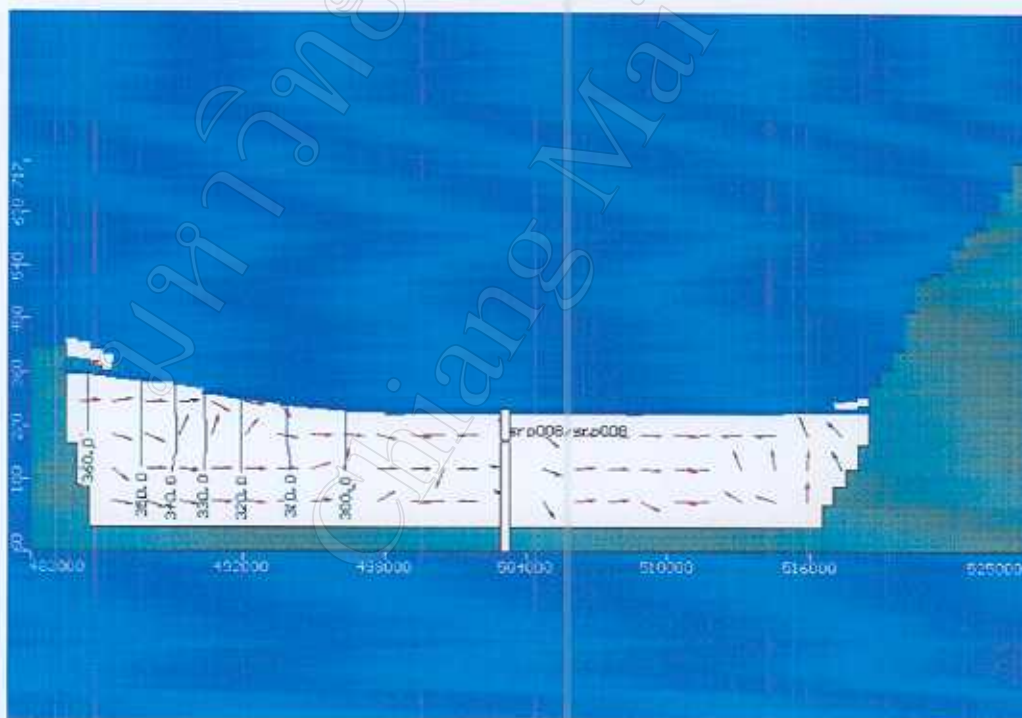


แถวที่ 60

รูป 4.18 ผลการจำลองแสดงเส้นแรงดันเท่า ระดับน้ำใต้ดิน และทิศทางการไหลในสภาวะคงที่



แถวที่ 80



แถวที่ 100

รูป 4.18(ต่อ) ผลการจำลองแสดงเส้นแรงดันเท่า ระดับน้ำใต้ดิน และทิศทางการไหลในสภาวะคงที่

4.5 การจำลองในสถานะไม่คงที่

นำข้อมูลจากการจำลองในสถานะคงที่ที่ปรับเทียบตัวแปร ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำใต้ดิน ค่าความนำทางชลศาสตร์ อัตราการสูบน้ำ และปริมาณการไหลเข้า/ออกจากแบบจำลอง มาใช้เพื่อหาค่าสมบัติในการกักเก็บน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ

4.5.1 วัตถุประสงค์ของการจำลองในสถานะไม่คงที่

เพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ คือค่าสมบัติการกักเก็บน้ำของหินอุ้มน้ำ และหาสมมูลน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษาในสถานะไม่สมดุล

4.5.2 เงื่อนไขของการจำลองในสถานะไม่คงที่

- 1) การจำลองในสถานะไม่คงที่ได้เลือกใช้ข้อมูลในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2539 ซึ่งได้ทำการจำลองในสถานะคงที่ไว้แล้ว เป็นจุดเริ่มต้นและนำมาป้อนข้อมูลเพิ่มโดยใช้ระยะเวลาการจำลอง 5 ปี สิ้นสุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2544 โดยทดลองจำลองในช่วงเวลา 1 ปี แรกก่อนคือ ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2539 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540 เพื่อพิจารณาความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในสถานะไม่คงที่ ก่อนการจำลองในช่วงเวลาดังกล่าว และใช้ในการทำนาย
- 2) ช่วงเวลาที่ใช้คำนวณเป็นรายเดือนตามช่วงเวลาการเก็บข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ของ กองนี้ . ภาควิชา ธรณีวิทยา
- 3) กำหนดให้น้ำเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบ การสูบน้ำขึ้นมาใช้ และการคายระเหยเป็นตัวแปรที่ควบคุมระดับน้ำ และแรงดันของน้ำใต้ดิน
- 4) เงื่อนไขที่ขอบเขต และแรงดันน้ำเริ่มต้นใช้ผลจากการจำลองในสถานะคงที่
- 5) เป็นการจำลองเพื่อปรับค่าตัวแปรสมบัติการกักเก็บน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อให้แรงดันของน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 4 บ่อคือ บ่อ Q49 บ่อ MRM037 บ่อ CMM002 และ บ่อ DSM006 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้ในช่วงเวลาที่กำหนดในข้อ 1 มากที่สุด (บ่อสังเกตการณ์น้อยกว่าการจำลองในสถานะคงที่ เนื่องจากบ่อที่กรมทรัพยากรธรณีเก็บข้อมูลรายเดือนในพื้นที่ศึกษามีเพียง 4 บ่อเท่านั้น)

4.5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองในสถานะไม่คงที่

- 1) ระดับน้ำแม่น้ำสายหลัก และระดับท้องน้ำใช้การวิเคราะห์ตามหัวข้อ 4.3.3 ใช้ค่าความนำทางชลศาสตร์ของตะกอนท้องน้ำจากการจำลองในสถานะคงที่ (1×10^{-7} m./วินาที)

ระดับน้ำรายเดือนใช้ข้อมูลสถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน คือ ใช้ข้อมูลสถานี P1 สถานี P67 สถานี P68 และสถานี P69 ข้อมูลตำแหน่ง ระดับน้ำ และรูปตัดขวางลำน้ำ แสดงใน ภาคผนวก ก

- 2) อัตราการการเพิ่มเติมน้ำใช้ค่าสัดส่วนของปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อยที่ได้จากการจำลองในสภาวะคงที่
- 3) การคายระเหยของน้ำได้คืนใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการระเหยจากภาควัดการระเหย และแบ่งพื้นที่อัตราการคายระเหยตามที่ได้จากการจำลองในสภาวะคงที่
- 4) ปริมาณการสูบน้ำได้คืนใช้ข้อมูล ตำแหน่งบ่อ ความลึกบ่อ และปริมาณการสูบจากฝ่ายทรัพยากรธรณี อุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ เหมือนกับการจำลองในสภาวะคงที่ โดยกำหนดให้อัตราการใช้น้ำคงที่ทุกวันตามที่ได้รับอนุญาต
- 5) การไหลเข้าและออกที่ขอบพื้นที่ของแบบจำลองใช้ค่าที่ได้จากการจำลองในสภาวะคงที่ และ มีอัตราการไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล
- 6) สมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำที่ต้องการปรับในชั้นตอนนี้ คือ สมบัติการกักเก็บน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตามชนิดของหินอุ้มน้ำเหมือนกับค่าความนำทางชลศาสตร์ จากรูป 4.11 ถึง รูป 4.14

4.5.4 ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการจำลองในสภาวะไม่คงที่

ผลการจำลองที่ได้จากการปรับเทียบโดยใช้บ่อสังเกตการณ์ จำนวน 4 บ่อ พบว่าค่าของแรงดันน้ำที่จำลองได้มีค่า Mean Absolute Error เท่ากับ 1.8870 ม. มีค่า Root Mean Squared Error เท่ากับ 2.4700 ม. สมดุลน้ำได้คืนจากการจำลองในสภาวะไม่คงที่แจกแจงดังในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 สมดุลของน้ำได้คืนจากการจำลองในสภาวะไม่คงที่ช่วงเวลา 1 ปี

แหล่ง และปริมาณการไหลเข้า(ลบ.ม.)	แหล่ง และปริมาณการไหลออก(ลบ.ม.)
Storage = 187,902,288.00	Storage = 137,293,776.00
Injection Wells = 72,664.42	Pumping Wells = 8,046,423.50
Recharge = 30,149,364.00	Evapotranspiration = 67,843,176.00
River Leakage = 4,488,674.50	River Leakage = 37,549,924.00
Total In = 222,612,992.00	Total Out = 250,733,280.00
IN – OUT = -28,120,288.00 ลบ.ม.	% Discrepancy = -11.88 %

ค่าตัวแปรที่ได้จากการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 4.6 ผลการจำลองในรูปของเส้นแรงดันเท่าและทิศทางการไหลในแต่ละช่วงเวลา รูป 4.19 และ รูป 4.20 แสดงเส้นแรงดันเท่าและทิศทางการไหลแนวตัดขวางตัดผ่านบ่อสังเกตการณ์ และรูป 4.21 เปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณและค่าจริงจากบ่อสังเกตการณ์ ซึ่งพบว่าค่าแรงดันน้ำจากการจำลองมีหลายรูปแบบที่น่าสนใจ โดยบ่อ DSM6 มีผลการจำลองที่สอดคล้องกับค่าจากการวัดมากที่สุด บ่อ Q49 มีค่าเฉลี่ยและแนวโน้มของผลการจำลองที่สอดคล้องกันกับค่าที่ได้จากการวัด และที่บ่อ MRM037 ค่าที่ได้จากการจำลองมีรูปแบบเหมือนกับค่าที่ได้จากการวัดมาก แต่ค่าที่จำลองได้มีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงประมาณ 4 ม. ซึ่งน่าจะเกิดจากความผิดพลาดในการกำหนดชนิดชั้นหินอุ้มน้ำ เนื่องจากบ่อ MRM037 และบ่อ Q49 อยู่ใกล้กันมากและมีระดับผิวดินใกล้เคียงกัน และมีผลการคำนวณค่าแรงดันน้ำใกล้เคียงกันมาก แต่ค่าสังเกตการณ์ของบ่อ MRM037 ต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์ของบ่อ Q49 มาก ทั้งนี้จะเกิดจากความแตกต่างของชนิดชั้นหินอุ้มน้ำตามธรรมชาติที่ตำแหน่งของท่อกรองซึ่งมีอยู่หลายระดับและอยู่ที่ต่างระดับกัน แต่การจำลองไม่สามารถกำหนดชนิดชั้นหินอุ้มน้ำให้เหมือนสภาพธรรมชาติได้จึงเกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวขึ้น และที่บ่อ CMM2 ค่าแรงดันน้ำที่ได้จากการจำลองต่างจากค่าที่ได้จากการวัดและรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำไม่สอดคล้องกับสภาพจริง คือ แรงดันน้ำที่จำลองได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่ในสภาพจริงแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงตามฤดูกาล

ตาราง 4.6 สรุปค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำที่เปรียบเทียบในสภาวะไม่คงที่

No.	Material	Specific Storage (Ss)(1/m)	Specific Yield (Sy)(-)
3	Pebble	9.504×10^{-5}	0.13248
5	Sand & Gravel	5.94×10^{-5}	0.13824
6	Fill deposit	1.496×10^{-3}	0.01728
7	Sand & Clay	1.5455×10^{-3}	0.02304
8	Sand	8.91×10^{-4}	0.15552
9	Clay & Gravel	1.133×10^{-3}	0.02016
10	Deep clay bed	3.52×10^{-3}	0.01728
11	Gravel	1.0692×10^{-4}	0.13824
12	Clay near surface	1.716×10^{-3}	0.04608
13	Sandstone	2.145×10^{-4}	0.0576



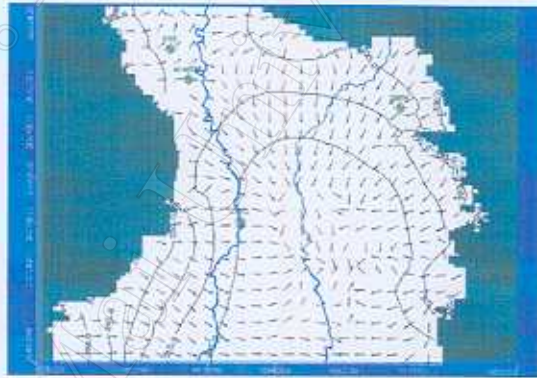
62 วัน



123 วัน



184 วัน



243 วัน



304 วัน



365 วัน

รูป 4.19 ผลการจำลองแสดงเส้นแรงดันเท่า และทิศทางการไหลในสภาวะ'ไม่คงที่'

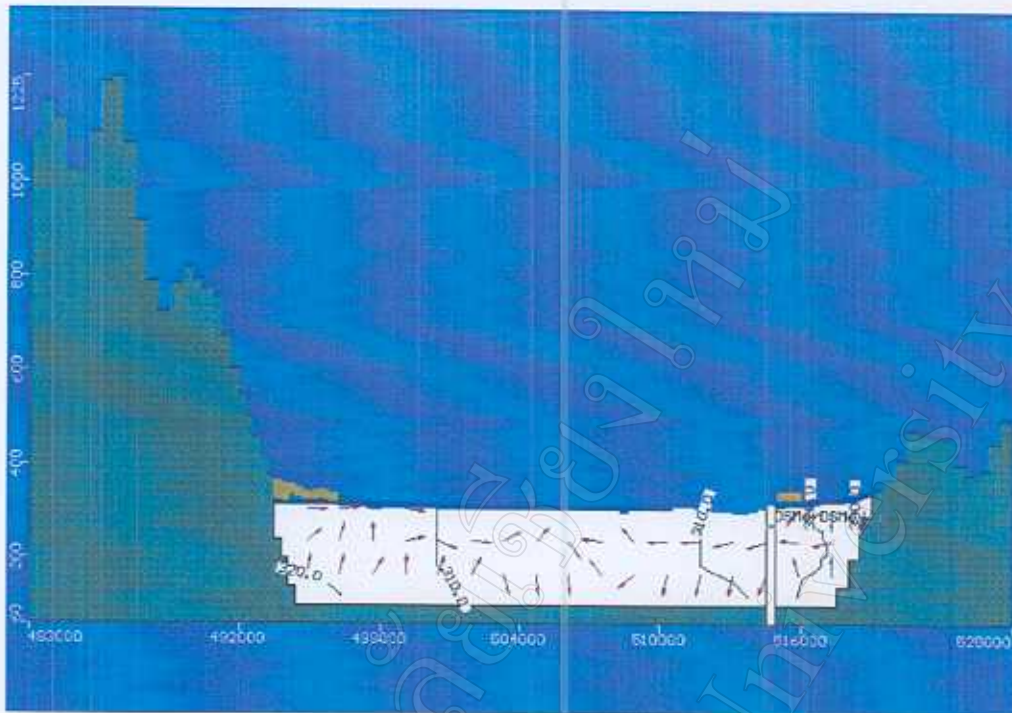


บ่อสังเกตการณ์ Q49

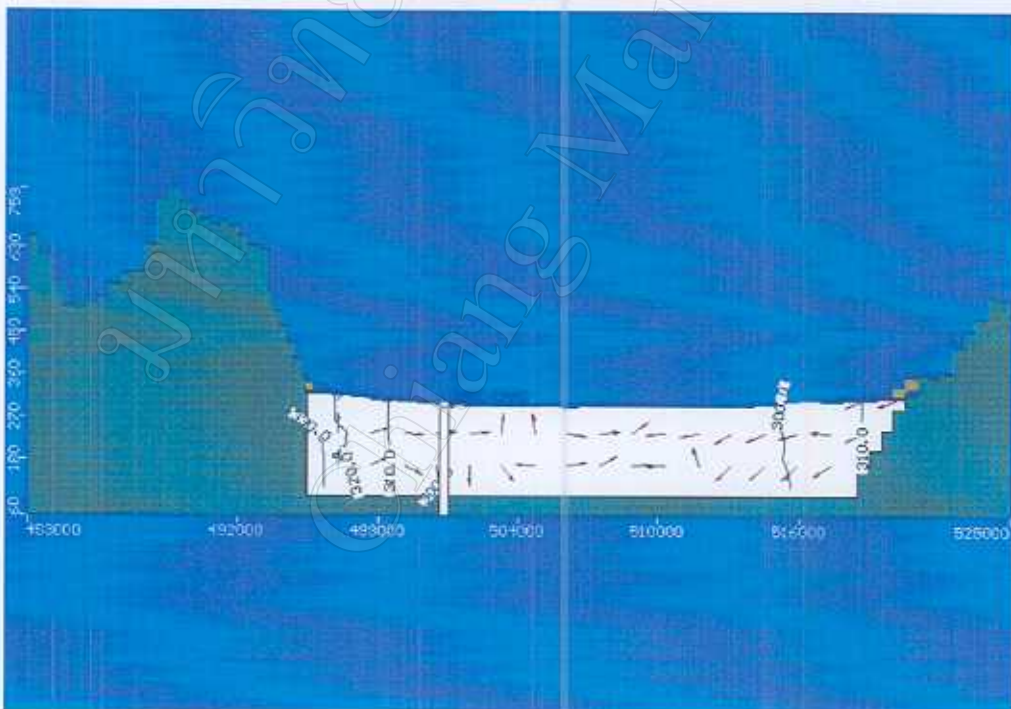


บ่อสังเกตการณ์ MRM037

รูป 4.20 แสดงเส้นแรงดันเท่า และทิศทางการไหลในสภาวะไม่คงที่ในแนวตัดขวาง

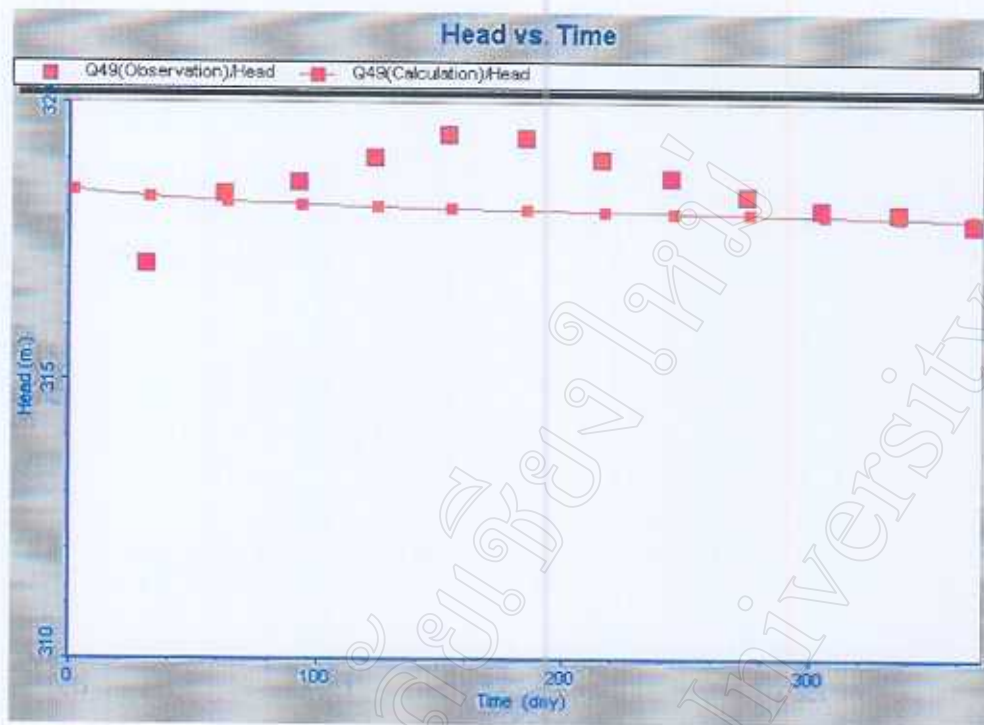


บ่อสังเกตรัง DSM006



บ่อสังเกตรัง CMM002

รูป 4.20(ต่อ) แสดงเส้นแรงดันเท่า และทิศทางการไหลในสภาวะไม่คงที่ในแนวตัดขวาง

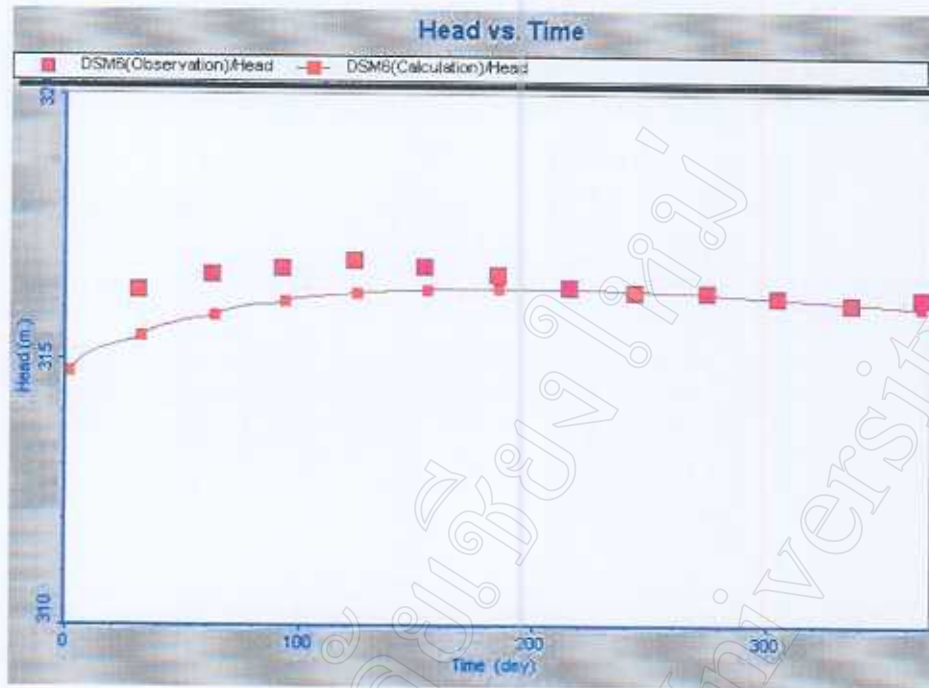


บ่อสังเกตการณ์ Q49

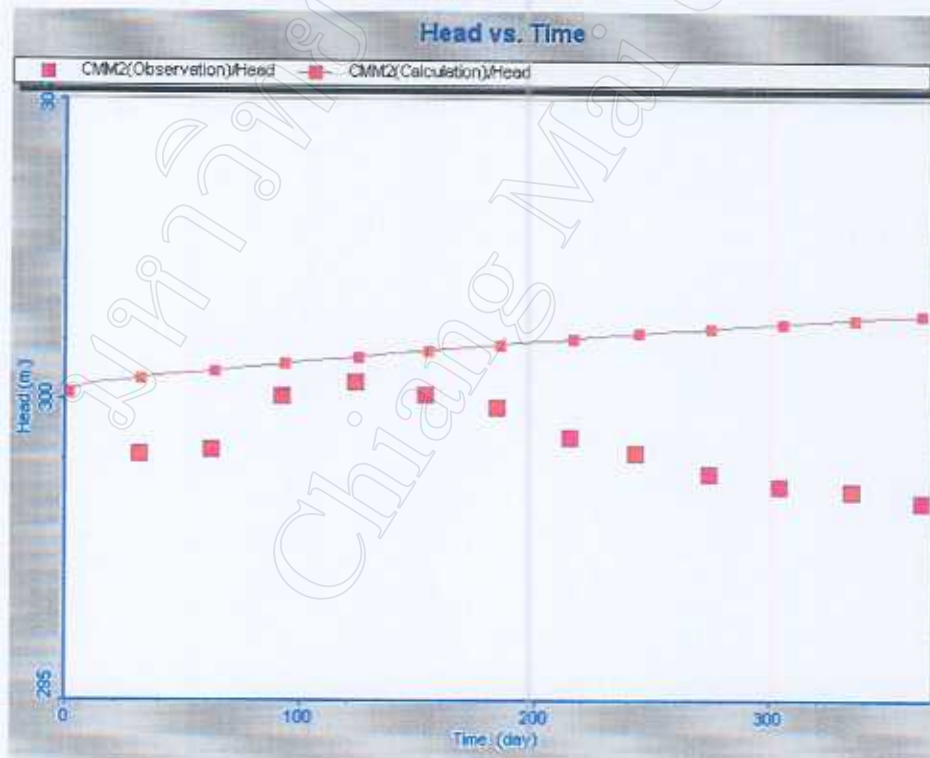


บ่อสังเกตการณ์ MRM037

รูป 4.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานะ ไม่คงที่กับค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์



บ่อสังเกตการณ์ DSM6



บ่อสังเกตการณ์ CMM2

รูป 4.21 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานะไม่คงที่กับค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์



บ่อสังเกตการณ์ CMM2 (หลังสมมติให้มีการไหลผ่านที่ขอบเขตด้านล่าง)

รูป 4.21 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสภาวะ ไม่คงที่กับค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์

การทดลองหาสาเหตุของความผิดพลาดที่บ่อสังเกตการณ์ CMM2 นี้รูป 4.22 แสดงถึงเส้นทางไหลของน้ำใต้ดิน พบว่าน้ำที่ไหลจากพื้นที่ให้น้ำทางทิศตะวันตกของพื้นที่ผ่านเมืองเชียงใหม่เข้าสู่ตอนกลางพื้นที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่บ่อ CMM2 แต่จากการจำลองระยะเวลา 1 ปี พบว่าเวลา 1 ปีน้ำเคลื่อนที่ได้ระยะทางน้อยมากดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ด้านข้างจึงไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันน้ำที่คำนวณได้ และพบว่าการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองด้านล่างที่ระดับ 100 ม. รทก. เป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลนั้นไม่ถูกต้องเนื่องจากในสภาพจริงความลึกของหินฐานมีค่าประมาณ 3,000 ม.ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ตามธรรมชาติ และเนื่องจากการขาดข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาที่ระดับลึกของแบบจำลองจึงไม่สามารถกำหนดค่าการไหลซึมผ่านลงด้านล่างที่ขอบเขตด้านล่างของแบบจำลองได้ และเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการซึมผ่านของน้ำใต้ดินผ่านขอบเขตด้านล่างของแบบจำลองจึงสมมติให้มีการซึมผ่านโดยใช้การสูบน้ำออกในอัตราคงที่ภายในพื้นที่ ซึ่งมีรัศมี 1 กม. โดยรอบบ่อสังเกตการณ์ CMM2 โดยอัตราการไหลซึมผ่านได้สมมติให้มีค่าเท่ากับ 50,000 ลบ.ม./วัน ซึ่งผลของค่าแรงดันน้ำที่ได้จากแบบจำลองในกรณีที่สมมติให้มีการไหลซึมผ่านลงด้านล่างได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในรูป 4.21



เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดิน



เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินในระยะเวลา 1 ปี

รูป 4.22 แสดงการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในเขตเมืองเชียงใหม่

4.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity analysis) คือ การจำลองซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลองครั้งละตัวแปรหลังจากทำการปรับเทียบแบบจำลองสมบูรณ์แล้ว (สอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด) เพื่อดูผลของความคลาดเคลื่อนของหาค่าความดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนั้น ๆ เทียบกับค่าตัวแปรที่ได้จากการปรับเทียบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอย่างไร หากตัวแปรใดมีการเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าตัวแปรนั้นมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงมากสำหรับแบบจำลองนั้น

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองใช้ตัวแปรที่บ่งถึงสมบัติของหินอุ้มน้ำ ประกอบด้วย ค่าความนำทางชลศาสตร์ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ อัตราการคายระเหย และสมบัติการกักเก็บน้ำของหินอุ้มน้ำ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรครั้งละหนึ่งตัวแปร เพื่อดูผลความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนั้น

ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

- 1) ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อแบบจำลอง เพื่อการกำหนดแนวทางในการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติม หรือเพื่อใช้ในการปรับเทียบเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกธรณีวิทยาในอนาคต
- 2) ปรับชุดตัวแปรในชั้นละเอียดที่ทำให้แบบจำลองที่ได้จากการปรับตัวแปรมีความคลาดเคลื่อนลดลง
- 3) ยืนยันความถูกต้องของชุดตัวแปรก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

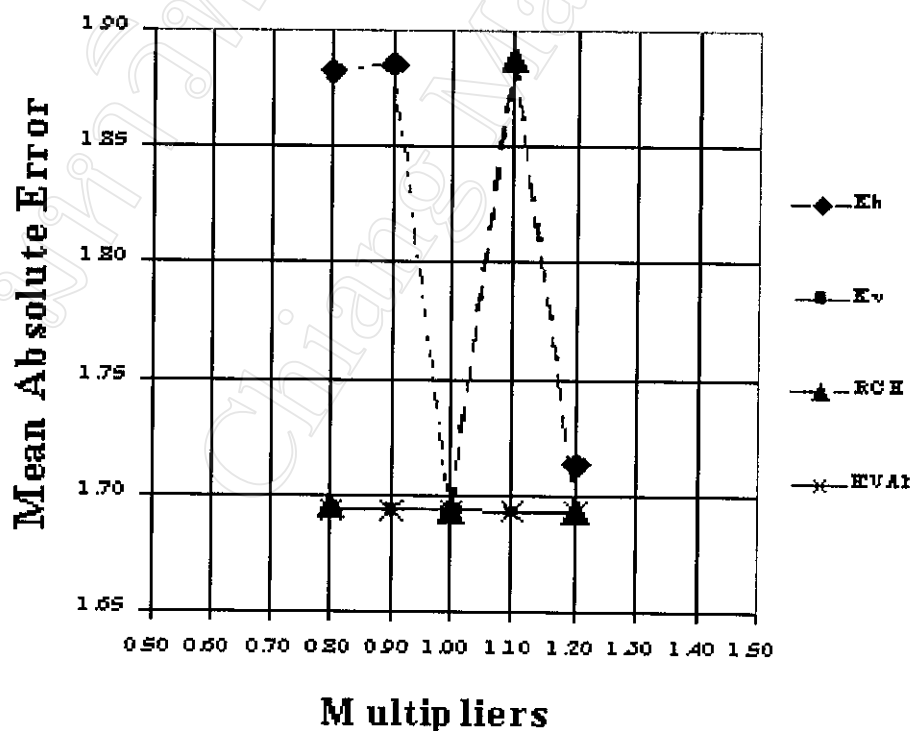
ขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

- 1) รวบรวมข้อมูลของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าแน่นอน หาช่วงค่าที่เป็นไปได้ของค่าตัวแปรเหล่านั้น เพื่อใช้ในการปรับตัวแปรในการจำลองโดยค่าของตัวแปรเหล่านี้จะต้องปรับให้เหมาะสมกับแบบจำลองมากที่สุดโดยคำนึงถึงสภาพความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลความไม่แน่นอนของการวัด และช่วงค่าที่ได้ศึกษามาก่อนในสถานะเดียวกัน ชุดข้อมูลที่ได้จากการปรับค่าตัวแปร คือ ชุดข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง
- 2) จำลองใหม่โดยการเปลี่ยนค่าของตัวแปรและวัดการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนของแรงดันของน้ำ โดยการลดและเพิ่มค่าจากชุดข้อมูลหลักครั้งละตัวแปร โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของค่าตัวแปรนั้น ๆ ด้วย
- 3) เปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ได้กับผลของชุดข้อมูลปรับเทียบสมบูรณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute

error) เป็นหลัก และพิจารณาผลการจำลองอื่น ๆ ประกอบด้วยซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error) และค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root mean squared error) ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรแต่ละครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกับค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของห้วความดันที่ได้

4.6.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรในสถานะคงที่

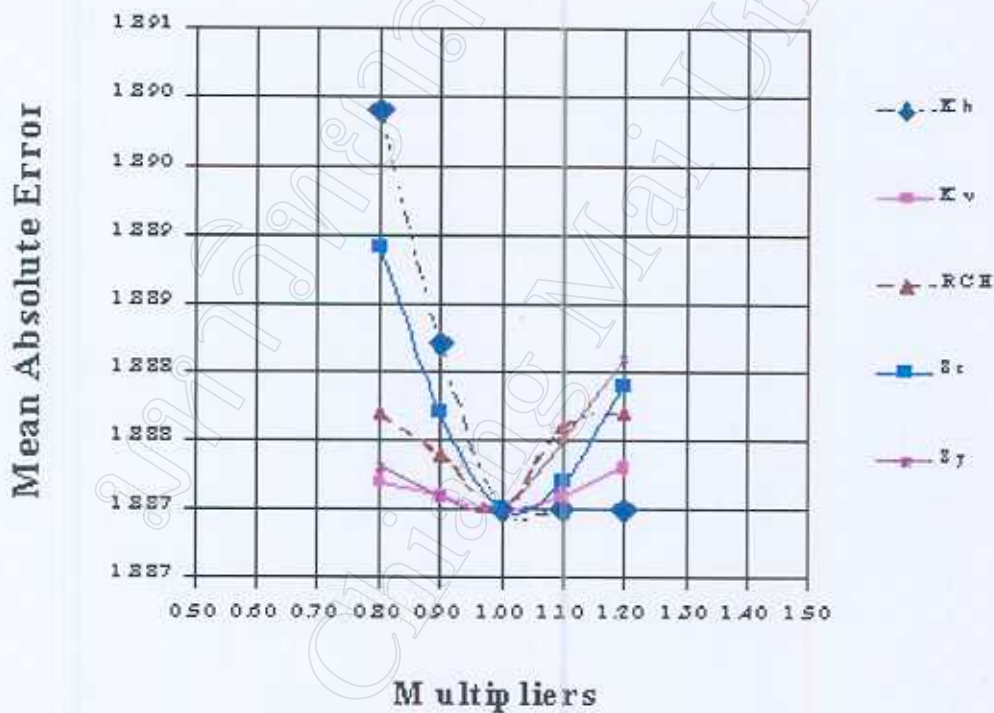
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในสถานะคงที่ใช้ตัวแปร ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง และแนวราบ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ และอัตราการคายระเหย โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรครั้งละ 10 % ครั้งละหนึ่งตัวแปร เพื่อดูความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่เป็นผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงในรูป 4.22 และในภาคผนวก ง-1 ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวราบ (K_p) รองลงมาเป็นอัตราการเพิ่มเติมน้ำ(RCH) ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง (K_v) และ อัตราการคายระเหย (EVAP) ตามลำดับ



รูป 4.23 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในสถานะคงที่

4.6.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรในสถานะไม่คงที่

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในสถานะไม่คงที่ที่ใช้ตัวแปร ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวราบ สัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ สัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำแบบเปิด และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรครั้งละ 10 % ครั้งละหนึ่งตัวแปร เพื่อดูความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่เป็นผลจากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงในรูป 4.23 และภาคผนวก ง-2 พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ ค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวราบ (K_v) รองลงมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (S_y) อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (RCH) สัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำแบบเปิด (S_r) และค่าความนำทางชลศาสตร์ในแนวดิ่ง (K_d) ตามลำดับ



รูป 4.24 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในสถานะไม่คงที่