

บทที่ 4

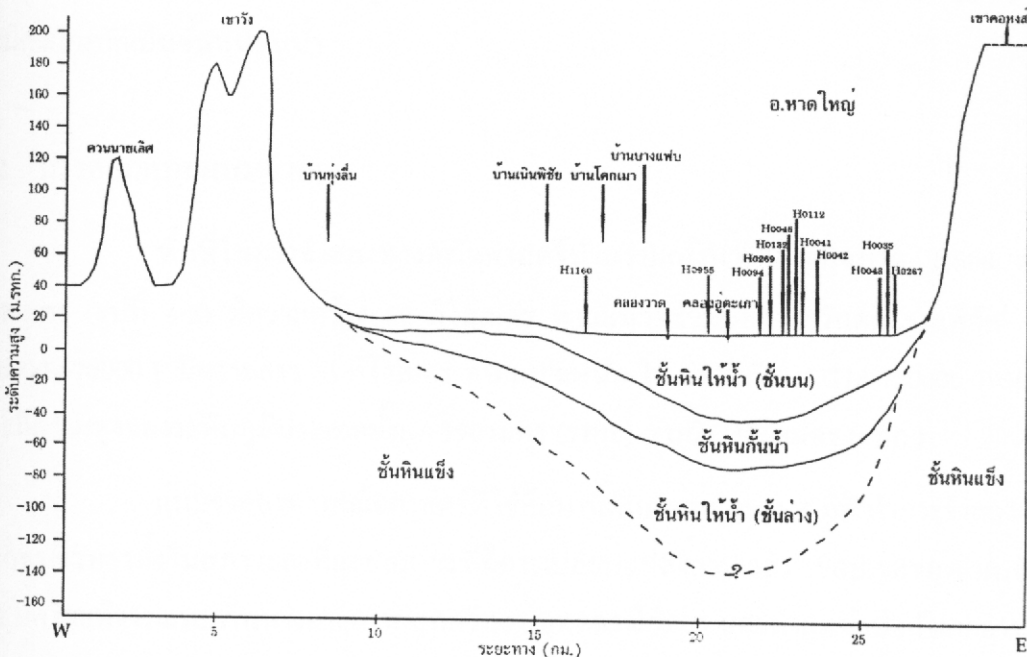
แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล

4.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model)

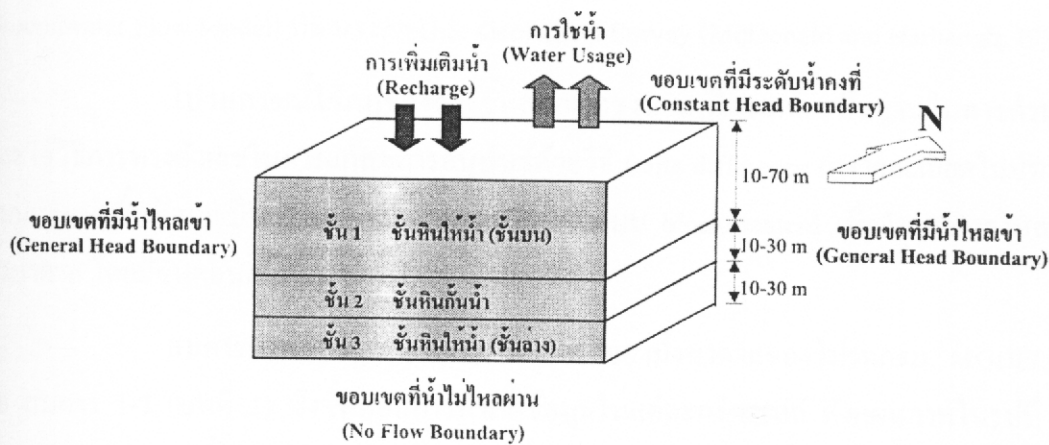
แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งหาคใหญ่ ประเมินจากระบบอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยเทือกเขาสูงทางทิศตะวันตกเป็นชั้นหินให้น้ำหินตะกอนกึ่งหินแปรตามแนวเชิงเขา ส่วนทางทิศตะวันออกเป็นชั้นหินให้น้ำหินตะกอนกึ่งหินแปรตามแนวเชิงเขาและชั้นหินให้น้ำหินตะกอน พื้นที่ตอนกลางเป็นชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาและตะกอนตะกั่วลำน้ำสูงที่ประกอบไปด้วยตะกอนดินเหนียวที่มีความหนา แทรกสลับด้วยตะกอนกรวดทราย ที่ระดับความลึกต่างๆ ด้านล่างจะรองรับด้วยชั้นหินแข็ง ชั้นหินให้น้ำระดับตื้นจะมีทั้งชั้นหินให้น้ำไร้แรงดันและชั้นหินให้น้ำกึ่งภายใต้แรงดัน ส่วนชั้นหินให้น้ำระดับลึกลงไปจะเป็นชั้นหินให้น้ำมีแรงดันที่มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน น้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่ส่วนใหญ่จะไหลในแนวนอนในบริเวณที่มีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี โดยมีทิศทางการไหลหลักๆ จากทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ เข้าสู่บริเวณที่ราบตรงกลางของพื้นที่ แล้วไหลไปทางทางทิศเหนือ ออกสู่ทะเลสาบสงขลา

จากข้อมูลหลุมเจาะ 528 หลุม ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางอุทกธรณีวิทยา และสร้างเป็นรูปภาพตัดขวางของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4-1) และแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (รูปที่ 4-2) โดยคุณสุนทร ปัญญาสุธารส (ติดคอส่วนตัว) เพื่อใช้ในการจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้

จากรูปที่ 4-2 ชั้นหินให้น้ำแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นหินให้น้ำชั้นบนและชั้นหินให้น้ำชั้นล่าง โดยชั้นหินให้น้ำชั้นบนเป็นชั้นหินให้น้ำไร้แรงดันถึงชั้นหินให้น้ำกึ่งภายใต้แรงดัน ประกอบไปด้วยชั้นทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบ มีกรวดของตะกอนทางน้ำปัจจุบันปนเล็กน้อย และส่วนบนประกอบไปด้วยชั้น กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของตะกอนทางน้ำเก่า ทราย และกรวดที่พบมีขนาดตั้งแต่ทรายละเอียดจนถึง 5 เซนติเมตร การคัดขนาดค่อนข้างดี ความหนาของชั้นน้ำบาดาลอยู่ระหว่าง 10-70 เมตร ชั้นตะกอนเหล่านี้พบอยู่ตามบริเวณที่ราบลุ่มทั่วไป และได้รับน้ำจากน้ำฝนโดยตรง ส่วนชั้นหินให้น้ำชั้นล่างเป็นชั้นหินให้น้ำภายใต้แรงดัน ความหนาของชั้นน้ำบาดาลอยู่ระหว่าง 10-30 เมตร ประกอบด้วยตะกอนกรวดทรายของทางน้ำเก่า และตะกอน



รูปที่ 4-1 แผนภาพแสดงภาพตัดขวางของการแบ่งชั้นหินให้น้ำ บริเวณอำเภอหาดใหญ่ (สร้างโดย สุนทร ปัญญาสุธารส กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)



รูปที่ 4-2 แผนภาพแสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แอ่งหาดใหญ่ (ความหนาของชั้นหินให้น้ำสร้างโดย สุนทร ปัญญาสุธารส กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำหรับลักษณะขอบเขตแต่ละประเภท กำหนดโดยผู้วิจัย)

ที่ราบเชิงเขา ชั้นหินให้น้ำทั้งสองถูกแยกออกจากกันด้วยชั้นดินเหนียวที่มีความหนา 10-30 เมตร ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นชั้นหินกั้นน้ำ

4.2 การออกแบบแบบจำลอง

พื้นที่ในการจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแอ่งหาคใหญ่มีขนาด 1,608 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 4-3) มีความกว้าง 30 กิโลเมตร ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก จากพิกัด¹ UTM 640000-670000 E มีความยาว 75 กิโลเมตร ตามแนวเหนือ-ใต้ จากพิกัด¹ UTM 720000-795000 N และมีความสูงของระดับภูมิประเทศตั้งแต่ 390 เมตร (รทก.) จนถึง -170 เมตร (รทก.)

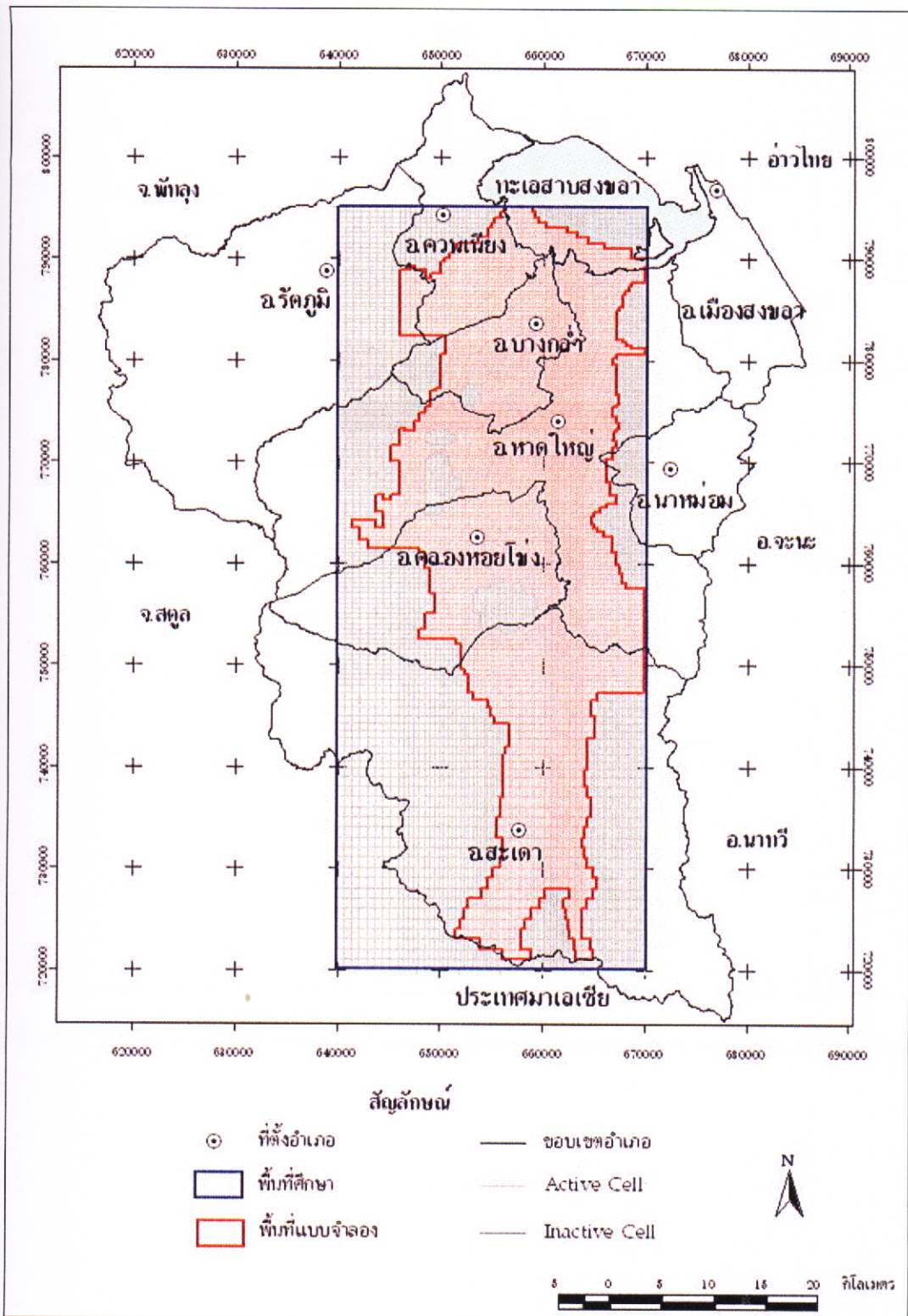
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษานี้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ทำการจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาทั้งในสถานะคงที่และสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ขอบเขตของแบบจำลองกำหนดโดยพิจารณาสภาพทางกายภาพ อุทกวิทยา อุทกธรณีวิทยา และตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่มีอยู่

โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ คือ Visual MODFLOW Version 2.8.1 (Waterloo Hydrogeologic, Inc., 1999) ประเทศแคนาดา (ลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล) โดยใช้ในการเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณและแสดงผลการคำนวณ ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำบาดาล คือโปรแกรม MODFLOW (Modular Three-Dimension Finite-Difference Groundwater Flow Model) พัฒนาโดย U.S. Geological Survey (McDonald and Harbaugh, 1988)

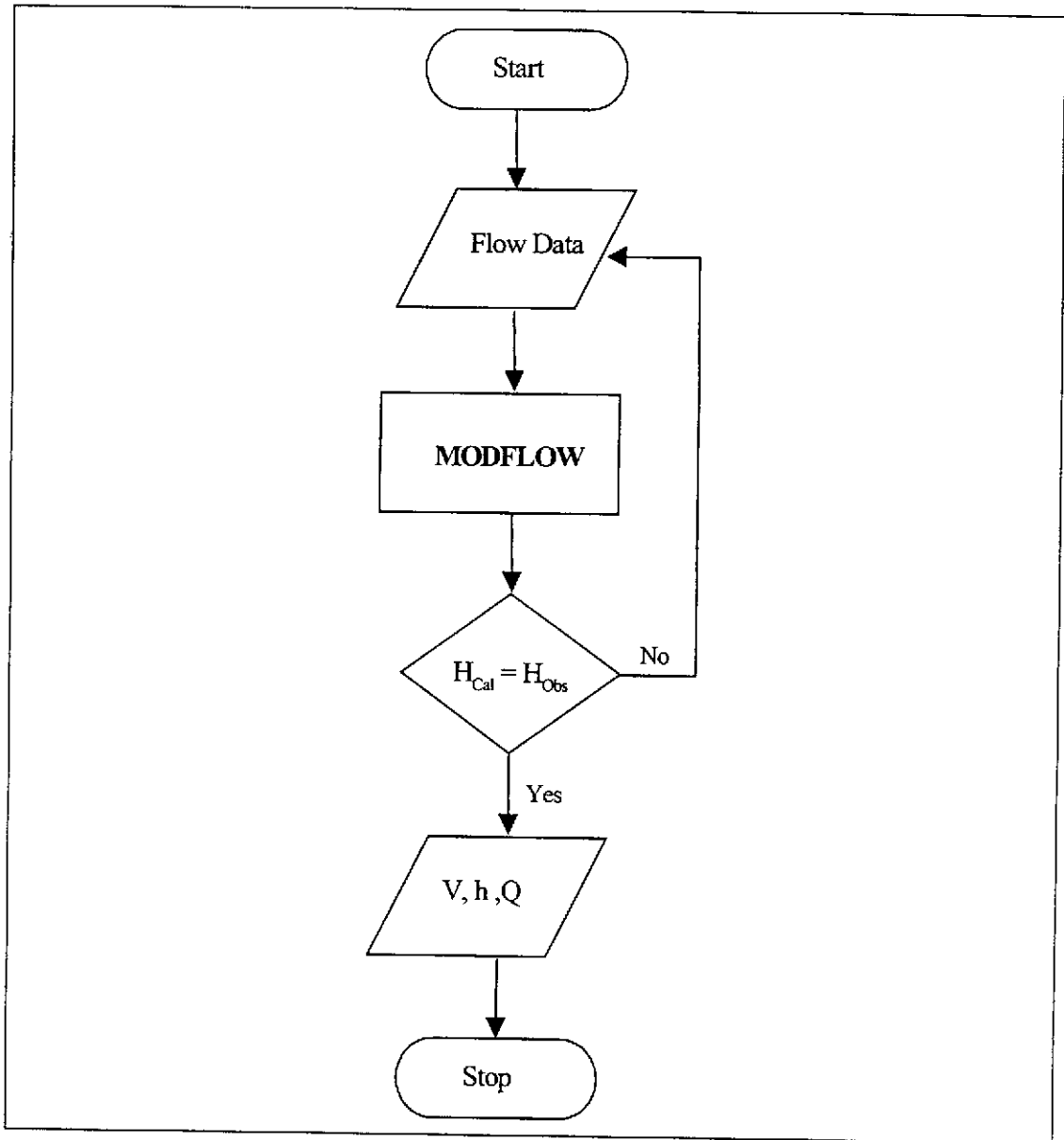
โปรแกรมนี้ใช้กฎของดาร์ซีและกฎทรงมวลเป็นสมการพื้นฐานในการคำนวณ และใช้วิธีการทางตัวเลขในการแก้สมการอนุพันธ์ด้วยวิธี finite difference (ดูรายละเอียดในบทที่ 1) จากการแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือกริด (grid) แบบ block-centered เพื่อจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยมีขั้นตอนการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-4

สมการหลักที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลของโปรแกรม MODFLOW คือ สมการ 1-7 (บทที่ 1) ซึ่งขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลในแต่ละกริดเซลล์ ดังแผนภาพในรูปที่ 4-5 แสดงรายละเอียดดังนี้

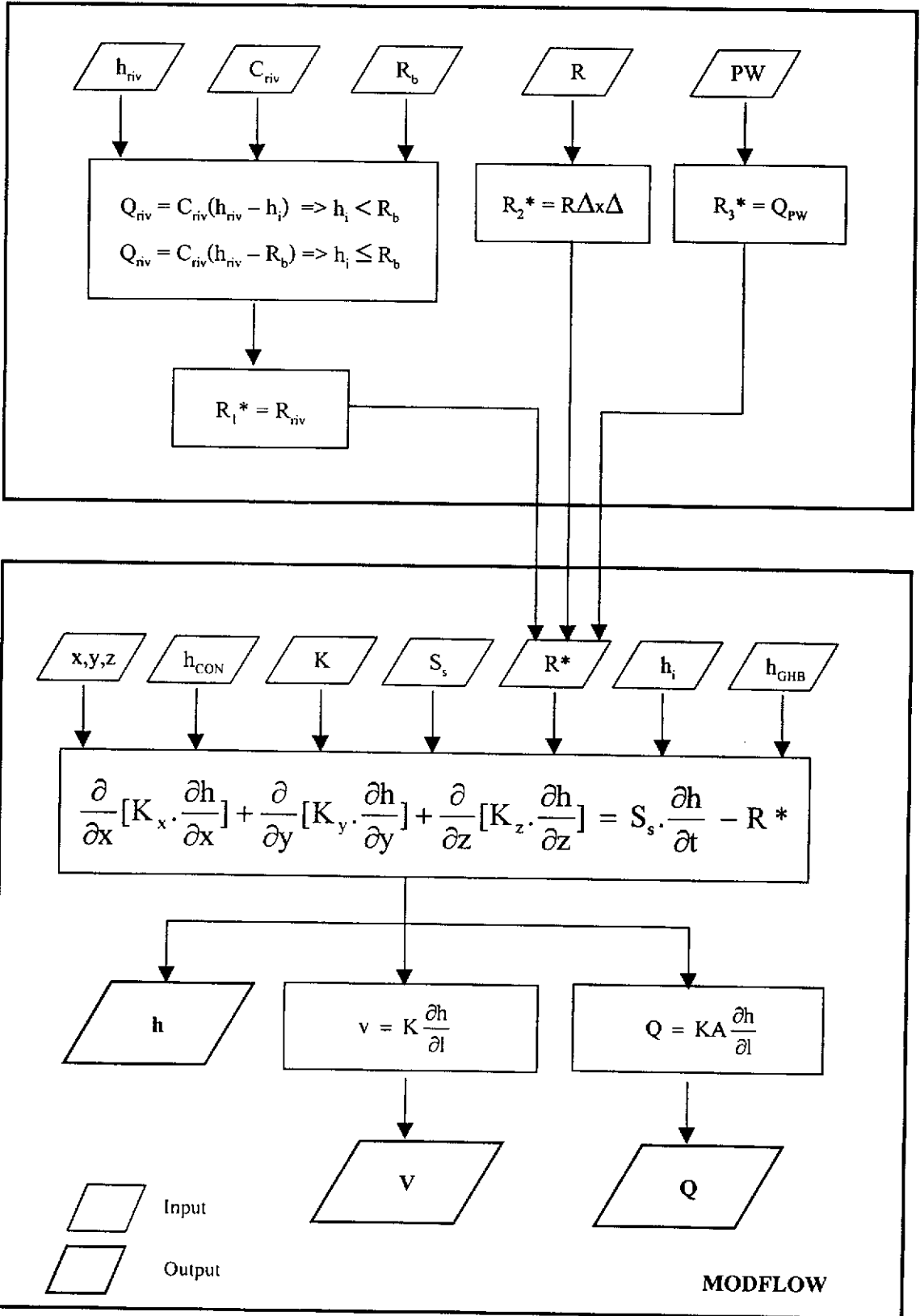
¹ พิกัดที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ใช้ระบบ INDIAN 1975 Zone 47



รูปที่ 4-3 แผนที่แสดงพื้นที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แอ่งหาดใหญ่



รูปที่ 4-4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยโปรแกรม MODFLOW



รูปที่ 4-5 แผนภาพแสดงการนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม MODFLOW และผลที่ได้จากการจำลอง

1. ข้อมูลหลักซึ่งเป็นค่าที่ต้องกำหนดในทุกกริดเซลล์ ประกอบด้วย
 - (1) x, y, z คือ ขนาดของกริดเซลล์
 - (2) h_i คือ ค่าระดับบาดาลในเซลล์ i เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - (3) K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน เป็นฟังก์ชันของพื้นที่
 - (4) S_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่
2. ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของขอบเขตทางน้ำใต้ดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะละกริดเซลล์นั้นๆ ประกอบด้วย
 - (1) h_{CON} คือ ค่าระดับน้ำของขอบเขตที่มีระดับน้ำคง เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - (2) h_{GHB} คือ ค่าระดับน้ำของขอบเขตที่มีน้ำไหลเข้า เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - (3) R คือ ค่าปริมาณการเพิ่มเติมน้ำสุทธิจากน้ำ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - (4) PW คือ ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการสูบน้ำ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - (5) ในกรณีของขอบเขตที่เป็นแม่น้ำ จะมีการนำเข้าข้อมูลเป็นชุดดังนี้
 - h_{riv} คือ ระดับน้ำของแม่น้ำ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่และเวลา
 - C_{riv} คือ ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่
 - R_b คือ ค่าระดับท้องน้ำ เป็นฟังก์ชันของพื้นที่

4.2.1 การออกแบบกริด

ในการจำลองได้แบ่งพื้นที่แบบจำลอง เป็นกริดบล็อกขนาดเล็ก โดยแบ่งแนวตะวันออก-ตะวันตกเป็น 86 สดมภ์ แนวเหนือ-ใต้เป็น 158 แถว และแบ่งความสูงของพื้นที่เป็น 13 ชั้น กริดบล็อกทั้งสิ้น 176,644 กริดบล็อก เขตอำเภอหาดใหญ่ซึ่งมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มาก จึงได้ทำการแบ่งกริดให้มีขนาดเล็กลง 200x200 ตารางเมตร เพื่อให้ได้ผลการจำลองละเอียดขึ้น โดยมีรายละเอียดการแบ่ง กริดของพื้นที่ศึกษาในแต่ละด้านเป็น (รูปที่ 4-6 (ก) และ รูปที่ 4-7) ดังต่อไปนี้

- 1) พื้นที่แบบจำลอง แนวตะวันออก-ตะวันตก แบ่งกริดออกเป็น 86 สดมภ์ มีความกว้างของสดมภ์ตั้งแต่ 200, 300, 400, 500 และ 750 เมตร

โดย	สดมภ์ที่	1-8	มีความกว้างของสดมภ์เท่ากับ	750	เมตร
	สดมภ์ที่	9-16	มีความกว้างของสดมภ์เท่ากับ	500	เมตร
	สดมภ์ที่	17-26	มีความกว้างของสดมภ์เท่ากับ	400	เมตร
	สดมภ์ที่	27-46 และ 67-86	มีความกว้างของสดมภ์เท่ากับ	300	เมตร
	สดมภ์ที่	47-66	มีความกว้างของสดมภ์เท่ากับ	200	เมตร

2) พื้นที่แบบจำลอง แนวเหนือ-ใต้ แบ่งกริดออกเป็น 158 แถว มีความกว้างของแถวตั้งแต่ 200, 300, 400, 500, 750 และ 1,000 เมตร

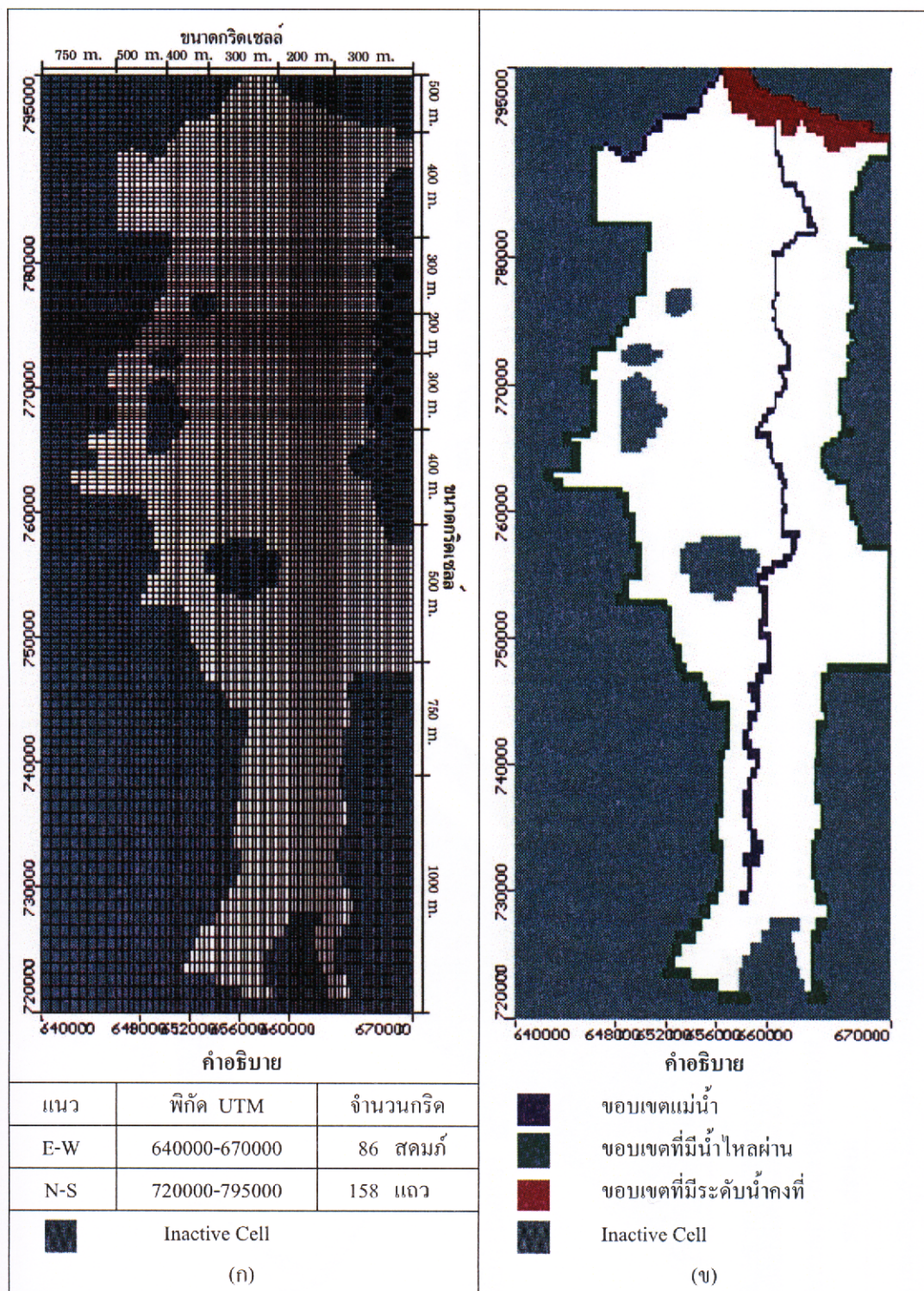
โดย	แถวที่	140-158	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	1,000	เมตร
	แถวที่	128-129	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	750	เมตร
	แถวที่	1-10 และ 106-127	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	500	เมตร
	แถวที่	11-30 และ 86-105	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	400	เมตร
	แถวที่	31-50 และ 66-85	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	350	เมตร
	แถวที่	51-65	มีความกว้างของแถวเท่ากับ	200	เมตร

	3) ความสูงของแบบจำลองแบ่งเป็น 13 ชั้น มีความสูง 390 ถึง -170 เมตร (รทก.)	
โดย	ชั้นที่ 1-6	ชั้นหินให้น้ำชั้นบน
	ชั้นที่ 7-9	ชั้นหินกั้นน้ำ
	ชั้นที่ 10-12	ชั้นหินให้น้ำชั้นล่าง
	ชั้นที่ 13	กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน

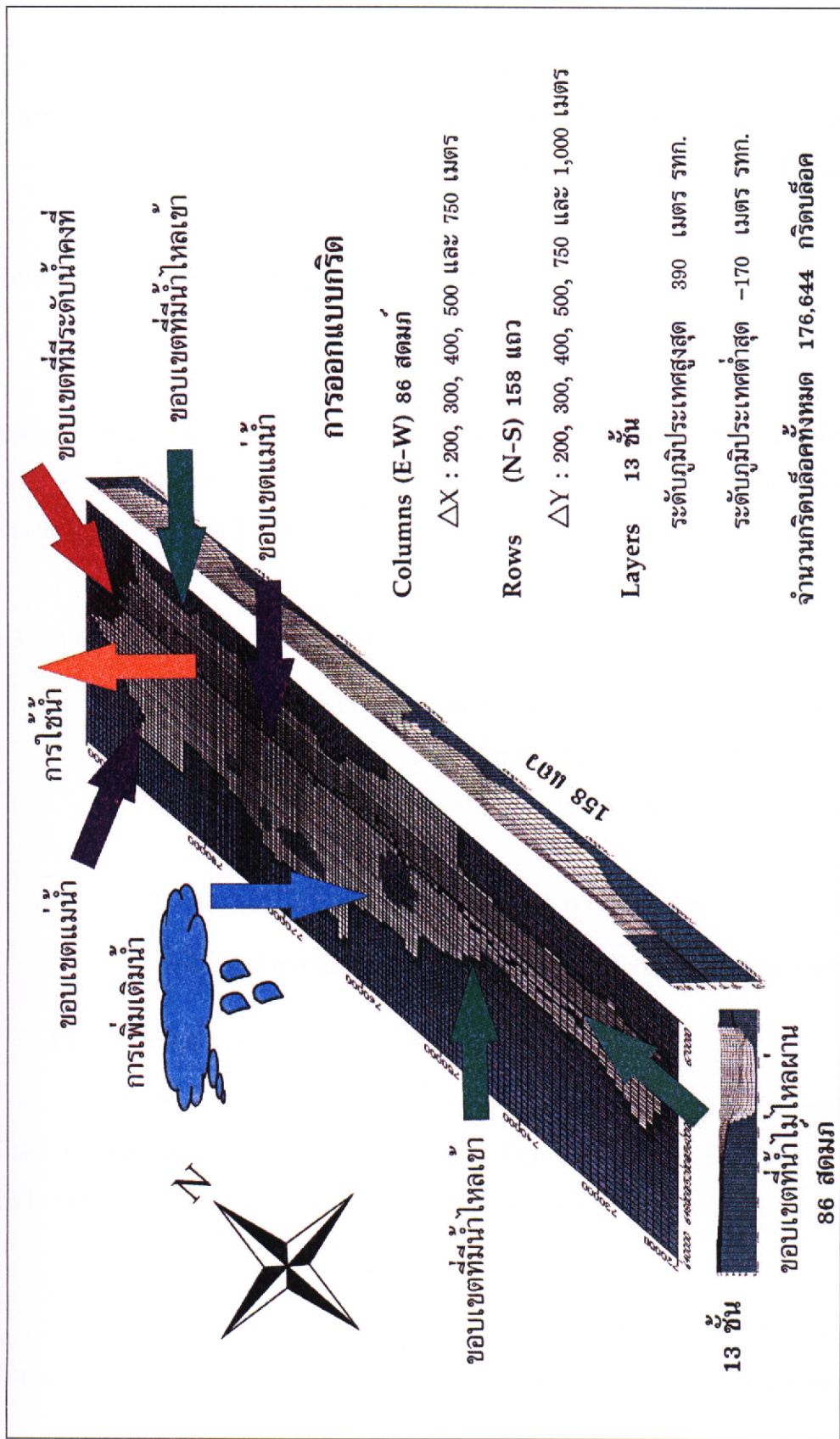
4.2.2 สภาพขอบเขตของแบบจำลอง (Boundary conditions)

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของแบบจำลองซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบการไหลของน้ำบาดาลในแบบจำลอง แบ่งโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ พิจารณาจากสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ภูเขา แม่น้ำ ทะเล และขอบเขตทางอุทกวิทยา ได้แก่ แนวสันปันน้ำ แต่ละด้านกำหนดสภาพขอบเขต ดังนี้ (รูปที่ 4-6 (ข) และ รูปที่ 4-7)

ทิศเหนือ	เป็นแนวทะเลสาบสงขลา กำหนดเป็นขอบเขตที่มีระดับน้ำคงที่ ที่ 0 ม. (รทก.)
ทิศใต้	เป็นแนวเทือกเขาสันกาลาศิริ กั้นระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน
ทิศตะวันออก	เป็นแนวหินแข็งที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำและเป็นภูเขาสูง กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไหลเข้า



รูปที่ 4-6 แผนภาพแสดง (ก) การออกแบบกริด และ (ข) สภาพขอบเขตของแบบจำลอง



รูปที่ 4-7 แผนภาพแสดงรูป 3 มิติ ของการออกแบบกริดและสภาพขอบเขตของแบบจำลอง

ทิศตะวันตก	เป็นแนวหินแข็งที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำและเป็นภูเขาสูง กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไหลเข้า	กำหนดเป็น
ด้านบน	เป็นขอบเขตที่มีการเพิ่มเติมน้ำ (รายละเอียดในหัวข้อ 3.10 บทที่ 3) และขอบเขตแม่น้ำแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญในพื้นที่เป็นขอบเขตแม่น้ำมี 2 สาย คือ คลองอุตะเกา และคลองรัตภูมิ	
ด้านล่าง	กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน	

สำหรับขอบเขตเวลาในการศึกษาครั้งนี้กำหนดเวลาของการจำลอง 5 ปี เริ่มจาก เมษายน พ.ศ. 2545 ถึง เมษายน พ.ศ. 2550 และกำหนดช่วงเวลากำหนดเป็นรายเดือน (60 ช่วงเวลา) ส่วนขั้นเวลาการคำนวณซึ่งเป็นเวลาช้อยจากช่วงเวลาของคำนวณการจำลองได้กำหนดให้ 1 ช่วงเวลาของการคำนวณ มี 10 ขั้นเวลาการคำนวณ (หรือ 1 ขั้นเวลาประมาณ 3 วัน)

4.3 กรณีจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองการไหลของน้ำบาดาล 3 กรณี (รูปที่ 4-8) คือ

- 1) จำลองการไหลของน้ำบาดาลที่สภาวะระดับน้ำบาดาลคงที่
- 2) จำลองการไหลที่สภาวะระดับน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของการจำลอง
- 3) จำลองการไหลเพื่อประเมินศักยภาพการใช้น้ำบาดาล

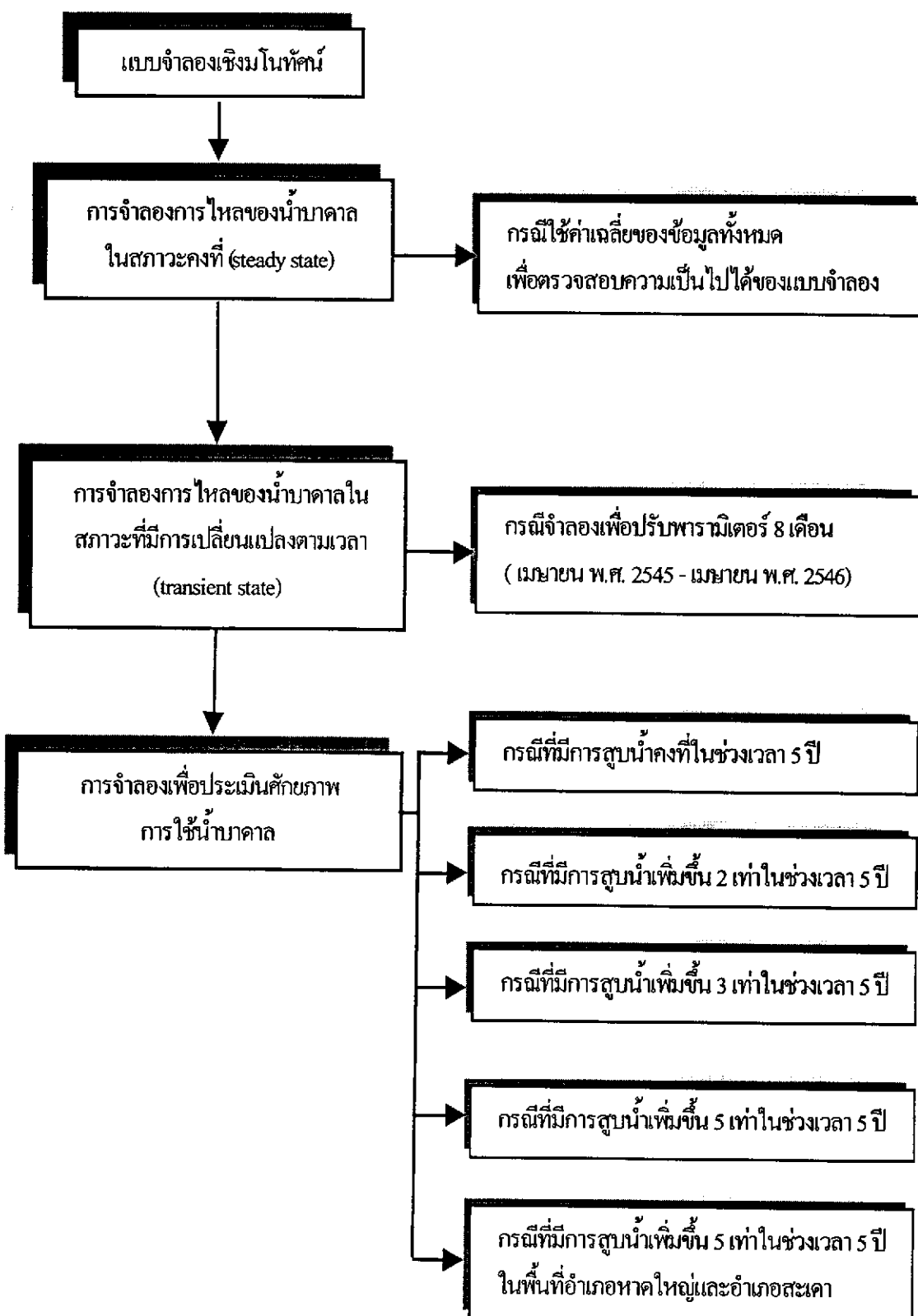
โดยมีวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของการจำลอง ดังแจ้งรายละเอียดในตาราง 4-1

4.3.1 การจำลองสภาวะคงที่

ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะคงที่โดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่างๆ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของสภาพขอบเขตแบบจำลอง ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสมมูลและการไหลของน้ำบาดาล แตกต่างกันในตามรูปแบบของขอบเขตแบบจำลอง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ขอบเขตที่มีการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล

การเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล พิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มเติมน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหย ปริมาณน้ำท่า ลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความสูงต่ำ



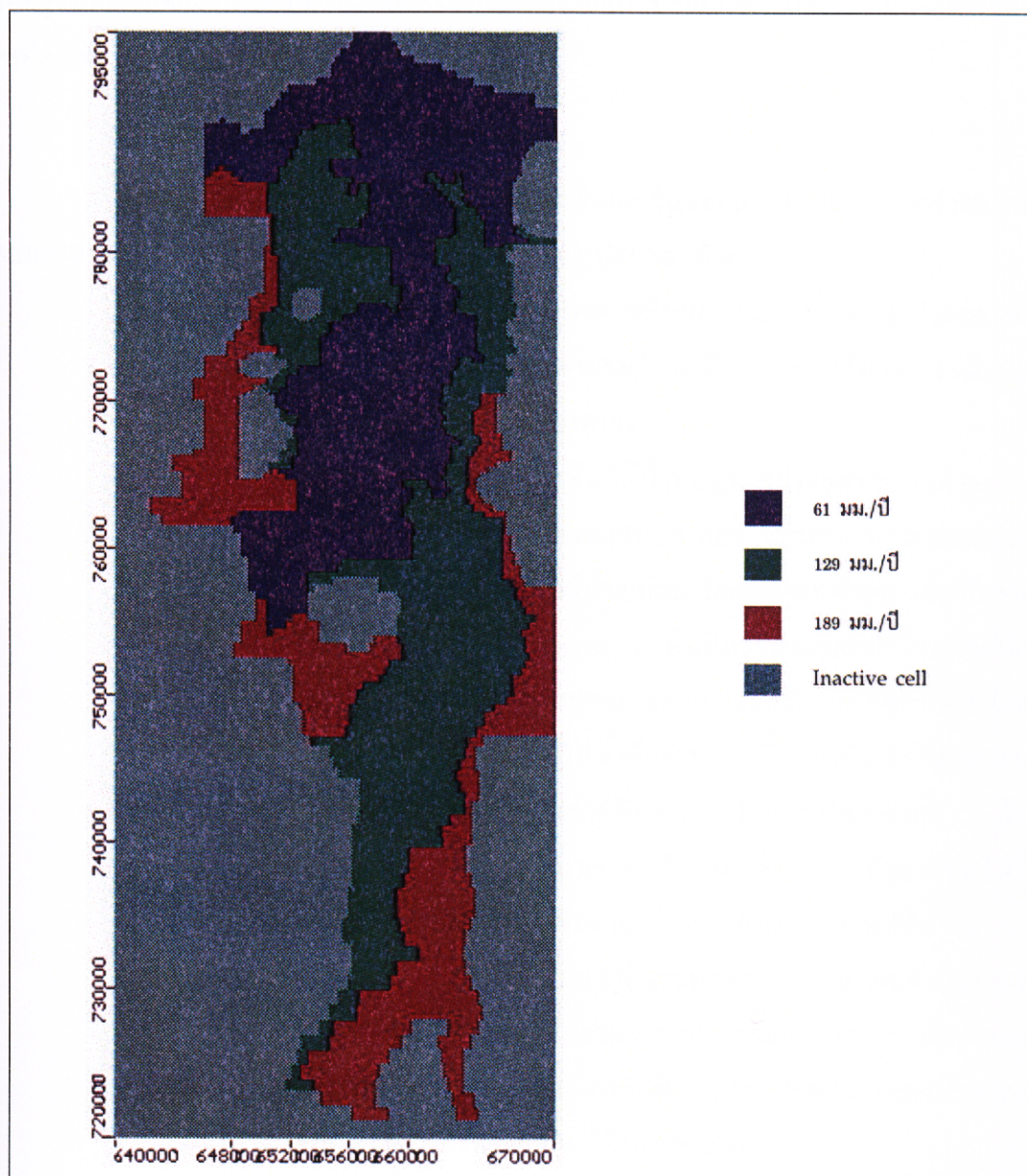
รูปที่ 4-8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำบาดาลแอ่งหาคใหญ่

ตาราง 4-1 วัตถุประสงค์และเงื่อนไขของกรณีการจำลองน้ำบาดาลทางคณิตศาสตร์

กรณีการจำลอง	วัตถุประสงค์	เงื่อนไขการจำลอง
1. กำหนดให้ระดับน้ำคงที่	- จำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของแบบจำลอง - เพื่อศึกษาลักษณะการไหลและรูปแบบการไหล	1. ข้อมูลระดับแรงดันน้ำบาดาล ใช้ข้อมูลเฉลี่ยตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงเมษายน พ.ศ. 2546, ระดับน้ำของแม่น้ำ ใช้ข้อมูลเฉลี่ยตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2539 ถึงเมษายน พ.ศ. 2544 และปริมาณการเติมน้ำใช้ข้อมูลเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2516 ถึง พ.ศ. 2545 2. ปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ค่าแรงดันของน้ำบาดาลของแบบจำลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจากการติดตามข้อมูลระดับน้ำที่ตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงเมษายน พ.ศ. 2546 จากบ่อสังเกตการณ์ 37 บ่อ มีการสูบน้ำบาดาลออกจากระบบเนื่องจากการใช้น้ำบาดาล (อัตราการสูบน้ำใช้ค่าเฉลี่ยการสูบน้ำในพื้นที่)
2. กำหนดให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา	- จำลองการไหลของน้ำบาดาลที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล - เพื่อปรับพารามิเตอร์ของการจำลองในช่วงที่มีข้อมูลการติดตามระดับน้ำในระยะยาว (13 เดือน)	1. เงื่อนไขการจำลองคล้ายกับกรณีที่ 1 แต่ใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน 2. ระยะเวลาการจำลองตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงเมษายน พ.ศ. 2546 3. ปรับพารามิเตอร์ของการจำลอง ซึ่งได้แก่ การเพิ่มเติมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ขอบเขตทางชลศาสตร์ของแบบจำลอง และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ
3. ประเมินศักยภาพการใช้น้ำบาดาล - กรณีที่มีการใช้น้ำคงที่ และเพิ่มขึ้น 2, 3 และ 5 เท่าในช่วงเวลา 5 ปี - กรณีที่มีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 5 เท่าในช่วง 5 ปี เฉพาะในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่และอำเภอสะเดา	- เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสมดุลน้ำบาดาล	1. เงื่อนไขการจำลองเหมือนกับกรณีการจำลองที่ 2 ยกเว้นอัตราการสูบน้ำ โดยเพิ่มอัตราการสูบน้ำเป็น 2, 3 และ 5 เท่า 2. ระยะเวลาการจำลองตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงเมษายน พ.ศ. 2546

ตาราง 4-2 ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำในการจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการจำลองสภาวะคงที่

ลักษณะพื้นที่	ปริมาณการเติมน้ำ (มม./ปี)	ร้อยละของน้ำฝน
ดินมีค่าการซึมผ่านต่ำ	61	4.0
ดินมีค่าการซึมผ่านปานกลาง	129	8.0
ดินมีค่าการซึมผ่านเร็ว	189	12.0



รูปที่ 4-9 แผนภาพแสดงอัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิสู่แหล่งน้ำบาดาล ในการจำลองสภาวะคงที่

ของภูมิประเทศ การประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมา พิจารณาร่วมกัน และทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในการจำลองจะได้พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ 3 โซน ดังสรุปในตาราง 4-2 และรูปที่ 4-9

2) ขอบเขตที่มีระดับน้ำคงที่

ในการศึกษานี้ คือ ขอบเขตด้านเหนือ ซึ่งเป็นแนวทะเลสาบสงขลา โดยจำลองให้อยู่ชั้นบนสุดของแบบจำลองในระยะ 3 กิโลเมตรจากแนวทะเลสาบ และกำหนดให้ค่าระดับน้ำคงที่ตลอดเวลา ที่ 0 ม. (รทก.)

3) ขอบเขตที่มีน้ำไหลผ่าน

ในการศึกษานี้ คือ แนวเทือกเขาด้านตะวันออกและตะวันตก โดยจำลองตลอดความหนาของแบบจำลอง ข้อมูลที่นำเข้าสู่แบบจำลอง ประกอบด้วย

- ระดับน้ำ เป็นค่าระดับน้ำบาดาลซึ่งอยู่ภายนอกพื้นที่แบบจำลอง ซึ่งได้จากข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากระดับผิวดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544 ปัจจุบัน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)
- ค่าความนำของน้ำผ่านชั้นหินให้น้ำที่อยู่ระหว่างจุดที่ทราบค่าระดับน้ำภายนอกแบบจำลองกับกริดของแบบจำลอง เป็นค่าความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้เร็วหรือช้าในแต่ละกริดเซลล์ของตัวกลางซึ่งเป็นชั้นหินให้น้ำที่น้ำไหลผ่าน กำหนดจาก (1) พื้นที่ผิวของกริดที่น้ำไหลผ่านได้จากขนาดความกว้างและความหนาของแต่ละกริดเซลล์ของแบบจำลอง (2) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำที่น้ำจากภายนอกแบบจำลองไหลผ่าน เนื่องจากชั้นหินให้น้ำของเทือกเขาทั้ง 2 ด้านมีลักษณะเป็นหินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน จึงกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านเท่ากับ 0.0864 เมตร/วัน (1×10^{-6} เมตร/วินาที) และ (3) ระยะห่างระหว่างระดับน้ำภายนอกแบบจำลองกับกริดของแบบจำลอง ได้จากแผนที่ดิจิทัลเส้นแสดงระดับน้ำบาดาลจากระดับผิวดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544 ปัจจุบัน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) วิธีการคำนวณแสดงไว้ในกรอบ 4-1

4) ขอบเขตแม่น้ำ

ข้อมูลที่นำเข้าสู่แบบจำลอง ประกอบด้วย ระดับน้ำในลำน้ำ ระดับท้องน้ำ ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ

- ระดับน้ำ เป็นค่าความสูงของน้ำในคลองรัตภูมิและคลองอุตะเภจาก ระดับทะเลปานกลาง ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากสถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน
- ระดับท้องน้ำ เป็นค่าระดับความสูงของท้องน้ำเปรียบเทียบจากระดับทะเลปานกลาง ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมของลำน้ำที่จัดทำโดยกรมชลประทาน
- ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ เป็นค่าความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้เร็วหรือช้าในแต่ละกริดเซลล์ของตัวกลางซึ่งเป็นตะกอนท้องน้ำ คำนวณจาก (1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ เนื่องจากตะกอนท้องน้ำของคลองอุตะเภาและคลองรัตภูมิ มีลักษณะเป็นตะกอนดินเหนียวปนทราย จึงกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านเท่ากับ 0.0864 เมตร/วัน (1×10^{-6} เมตร/วินาที) (2) ความกว้างของแม่น้ำ (3) ความยาวของแม่น้ำ และ (4) ความหนาของตะกอนท้องน้ำประเมินจากการพิจารณาลักษณะของลำน้ำ วิธีการคำนวณแสดงไว้ในกรอบ 4-2

สำหรับข้อมูลแม่น้ำต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา แสดงไว้ในตาราง 4-3

ตาราง 4-3 ข้อมูลแม่น้ำที่ใช้ในการจำลองทางคณิตศาสตร์

แม่น้ำ	ระดับน้ำ (ม. รทก.)	ระดับท้องน้ำ (ม. รทก.)	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ (ม./วัน)	ความหนาของตะกอนท้องน้ำ (ม.)	ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ (ตร.ม./วัน)
คลองอุตะเภา	0.01 ถึง 46.64	-3.90 ถึง 44.71	0.0864	0.50	943 ถึง 8,706
คลองรัตภูมิ	0.06 ถึง 13.85	-0.05 ถึง 13.49	0.0864	0.50	538 ถึง 3,384

กรอบ 4-1 การคำนวณค่าความนำของน้ำผ่านชั้นหินให้น้ำ

$$C = \frac{(L_{GHB} \times W_{GHB}) \times K}{D}$$

เมื่อ	C	=	ค่าความนำของน้ำผ่านชั้นหินให้น้ำที่อยู่ระหว่างจุดที่ทราบค่าระดับน้ำภายนอกแบบจำลองกับกริดของแบบจำลอง (ตารางเมตร/วัน)
	$(L_{GHB} \times W_{GHB})$	=	พื้นที่ผิวของกริดของแบบจำลองที่มีน้ำไหลผ่าน (ตารางเมตร) ได้จากความกว้าง (L_{GHB}) หน่วยเป็นเมตร คูณด้วย ความหนา (W_{GHB}) ของกริดเซลล์ หน่วยเป็นเมตร
	K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำที่น้ำจากภายนอกแบบจำลองไหลผ่าน (เมตร/วัน)
	D	=	ระยะห่างระหว่างระดับน้ำภายนอกแบบจำลองกับกริดของแบบจำลอง (เมตร)

กรอบ 4-2 การคำนวณค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ

$$C = \frac{K \times L_{RIV} \times W_{RIV}}{M}$$

เมื่อ	C	=	ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ (ตารางเมตร/วัน)
	K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ (เมตร/วัน)
	L_{RIV}	=	ความยาวของแม่น้ำ (เมตร) จากแผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 พ.ศ. 2533
	W_{RIV}	=	ความกว้างของแม่น้ำ (เมตร)
	M	=	ความหนาของตะกอนท้องน้ำ (เมตร)

5) คุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำ

ข้อมูลหลุมเจาะของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล สามารถนำมาแจกแจงชั้นดินและชั้นหิน และลักษณะการวางตัวของชั้นหินให้น้ำเป็น ดินเหนียว กรวด กรวดปนทราย ทรายปนดินเหนียว และทราย ในพื้นที่ต่างๆ ของชั้นต่างๆ ดังรูปที่ 4-10 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity, K_x) ที่น้ำเข้าแบบจำลองในตอนต้นมาจากการวิเคราะห์ค่า K ที่ได้จากการสูบทดสอบ ร่วมกับค่า K ทางทฤษฎี (Spitz and Moreno, 1996) จากนั้นทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยใช้ค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจากภาคสนาม (ตาราง ก-14 ใน

ภาคผนวก ค) จะได้ค่า K_x , K_y และ K_z กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งต่อสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ เท่ากับ 1:10 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแสดงในรูปที่ 4-10

6) บ่อสังเกตการณ์

เลือกบ่อสังเกตการณ์จำนวน 37 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 4-11 (ก)

7) อัตราการใช้น้ำบาดาล

การใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาได้ทำการประเมินดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.7 ในบทที่ 3 พื้นที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 1,608 ตารางกิโลเมตร มีอัตราการใช้น้ำประมาณ 45,350 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4-11 (ข)

8) ระดับแรงดันน้ำเริ่มต้น (initial head)

ระดับน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองใช้ค่าระดับแรงดันน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการวัดในภาคสนามตั้งแต่เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงเมษายน พ.ศ. 2546

4.3.2 การจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

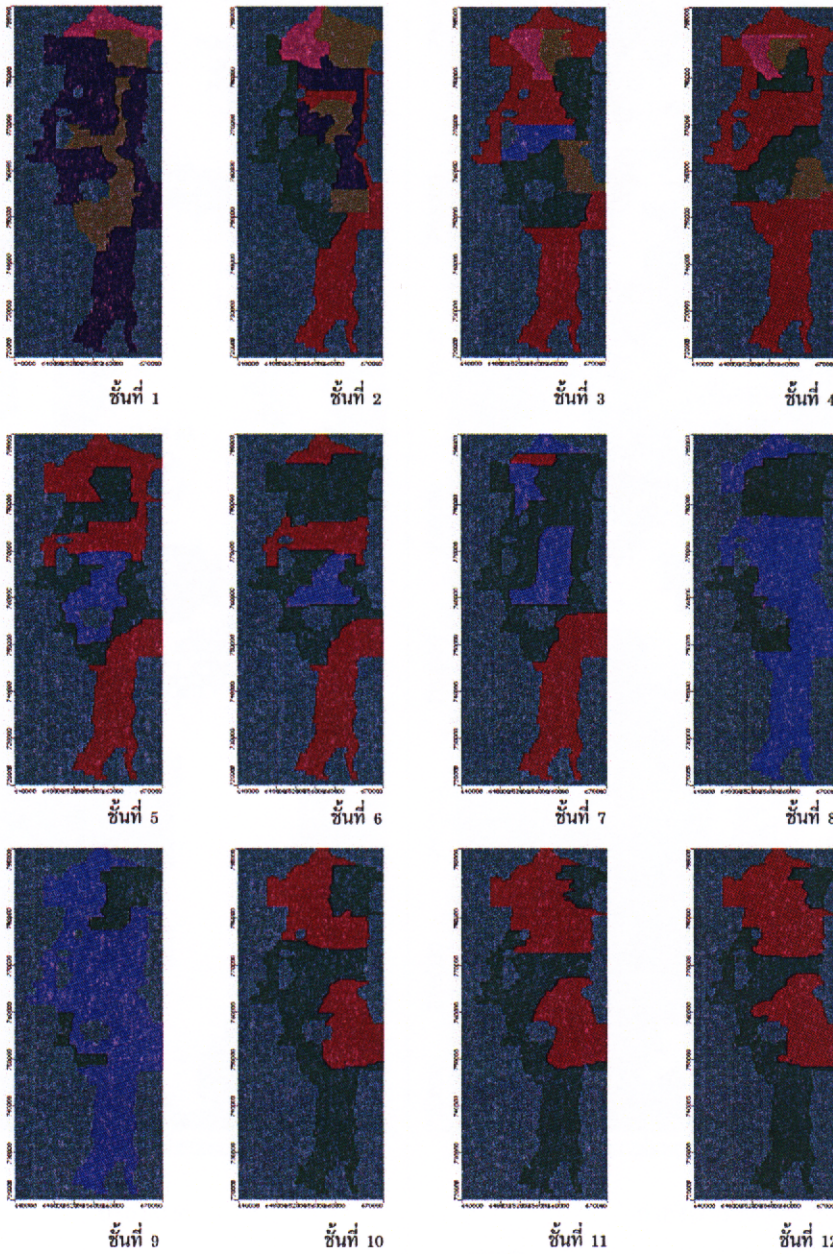
การจำลองการไหลแบบผันแปรตามเวลา สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากกว่าการจำลองการไหลแบบสภาวะคงที่ ทั้งนี้เพราะการจำลองตามต้นทุนน้ำที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาดการณ์หรือจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำขึ้นมาใช้ได้ ในการศึกษานี้ได้กำหนดสภาพขอบเขตและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ดังนี้






1) ช่วงเวลาการจำลอง

การจำลองเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2545 ถึง วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2550

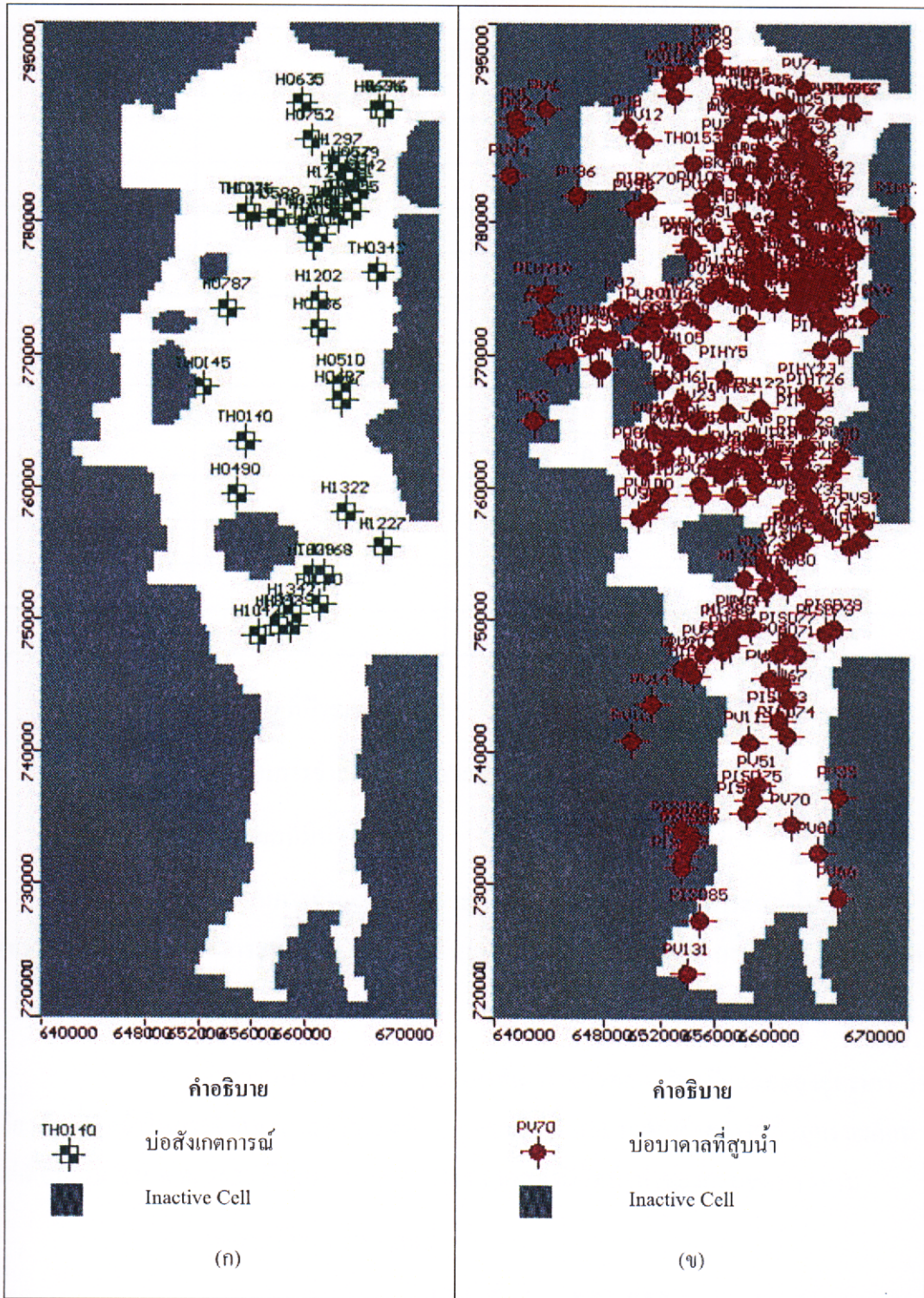
2) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล

ขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำจะแบ่งโซน 3 โซน เช่นเดียวกับในสภาวะคงที่ แต่ได้แจกแจงอัตราการเพิ่มเติมน้ำให้อยู่ในช่วงที่ฝนตกชุก คือ เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม โดยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน และอัตราการคายระเหยในช่วงเวลานั้น ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำที่แจกแจงสำหรับน้ำเข้านแบบจำลองแสดงในตาราง 4-4



สี	หมายเลข	ชั้นหินใต้น้ำ	สัมประสิทธิ์การยอมให้ที่ซึมผ่าน (m/s)		
			Kx	Ky	Kz
	2	ดินเหนียว	2.28e-6	2.28e-6	2.28e-7
	3	กรวด	1.32e-3	1.32e-3	1.32e-4
	5	กรวดปนทราย	7.68e-4	7.68e-4	7.68e-5
	6	ทรายปนดินเหนียว	1.49e-5	1.49e-5	1.49e-6
	7	ทราย	7.38e-4	7.38e-4	7.38e-5
	10	ดินเหนียว	1.59e-7	1.59e-7	1.59e-7

รูปที่ 4-10 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของชั้นหินใต้น้ำแอ่งขนาดใหญ่



รูปที่ 4-11 แผนภาพแสดงตำแหน่ง (ก) บ่อสังเกตการณ์ และ (ข) บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ ในพื้นที่แบบจำลอง

ตาราง 4-4 ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำในการจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

เดือน	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ (มม./ปี)		
	ดินมีค่าการซึมผ่านต่ำ	ดินมีค่าการซึมผ่านปานกลาง	ดินมีค่าการซึมผ่านเร็ว
ม.ค.	0	0	0
ก.พ.	0	0	0
มี.ค.	0	0	0
เม.ย.	0	0	0
พ.ค.	0	0	0
มิ.ย.	0	0	0
ก.ค.	0	0	0
ส.ค.	0	0	0
ก.ย.	0	0	0
ต.ค.	45	71	80
พ.ย.	115	178	201
ธ.ค.	85	131	148

2) ขอบเขตที่มีระดับน้ำคงที่

เหมือนการจำลองในสภาวะคงที่

3) ขอบเขตที่มีน้ำไหลผ่าน

เหมือนการจำลองในสภาวะคงที่ แต่ค่าระดับน้ำใช้ค่าระดับน้ำรายเดือน จากข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากระดับผิวดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544 ปัจจุบัน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

4) ข้อมูลแม่น้ำ

ค่าความนำของน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำของคลองรัตนภูมิและคลองอู่ตะเภา ใช้ค่าเดียวกับที่นำเข้าในการจำลองในสภาวะคงที่ แต่ระดับน้ำและระดับท้องน้ำใช้ข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2539 ถึงเมษายน พ.ศ. 2545 จากสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน

5) คุณสมบัติทางชลศาสตร์

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ใช้ค่าที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงที่ (ค่าเดียวกันกับที่ได้ในรูปที่ 4-10) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (S_y) ใช้ข้อมูลจากการสุบทดสอบ และช่วงค่าที่เป็นไปได้ของชั้นหินให้น้ำชนิดเดียวกันจากที่มีในรายงานการ

ศึกษา (Spitz and Moreno, 1996) ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะในการจำลองสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หลังจากการปรับเทียบแบบจำลองแสดงไว้ในตาราง 4-5

ตาราง 4-5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลหลังจากมีการปรับเทียบค่า

Lithology	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	Ss (1/m)	Sy	Eff. Por.	Tot. Por.
ดินเหนียว (ชั้นบน)	2.28e-6	2.28e-6	2.28e-7	2.00e-3	0.03	0.05	0.25
กรวด	1.32e-3	1.32e-3	1.32e-4	1.00e-4	0.10	0.24	0.32
กรวดปนทราย	7.68e-4	7.68e-4	7.68e-5	1.50e-3	0.25	0.21	0.25
ทรายปนดินเหนียว	1.49e-5	1.49e-5	1.49e-6	1.50e-3	0.03	0.10	0.25
ทราย	7.38e-4	7.38e-4	7.38e-5	2.50e-3	0.16	0.25	0.31
ดินเหนียว (ชั้นล่าง)	1.59e-7	1.59e-7	1.59e-7	2.00e-3	0.03	0.05	0.25

Kx , Ky และ Kz = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ ในแนวแกน x, y และ z (แนวดิ่ง)

Ss = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ

Sy = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินให้น้ำไร้แรงดัน

Eff. Por = Effective Porosity

Tot. Por = Total Porosity

6) บ่อสังเกตการณ์

เหมือนการจำลองในสถานะคงที่

7) อัตราการใช้น้ำบาดาล

บ่อที่มีการสูบน้ำเป็นบ่อเดียวกับแบบจำลองในสถานะคงที่ โดยมีปริมาณการใช้น้ำคงที่ในแต่ละช่วงเวลาเท่ากับ 45,350 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

8) ระดับน้ำเริ่มต้น

ระดับน้ำเริ่มต้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการจำลอง ระดับน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองใช้ค่าที่ได้จากผลจากการจำลองสถานะคงที่

4.4 ผลการจำลองและการอภิปรายผล

ในการจำลองทั้ง 2 กรณี ได้ทำการปรับเทียบพารามิเตอร์กับข้อมูลที่ทำการติดตามตรวจวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 37 บ่อ กระจายครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการจำลอง โดยปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ให้ผลการจำลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด

4.4.1 การจำลองสภาวะคงที่

ในการจำลองแบบสภาวะคงที่ได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลอง จนค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าระดับน้ำที่วัดจากสนามมีความสอดคล้องกัน และอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ในการปรับเทียบครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในเดือนเมษายน พ.ศ. 2545 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2546 ได้ทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเพิ่มเติมน้ำ ให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ที่ละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง จากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนระดับน้ำบาดาลที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ตั้งเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำ ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square, RMS) ไว้ที่ 3 เมตร ถ้าระดับน้ำที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 3 เมตร ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดในสนามและจากการคำนวณได้จัดแสดงในรูปที่ 4-12 และตาราง 4-6

แบบจำลองที่ปรับเทียบค่าแล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดในสนามและคำนวณจากแบบจำลอง ดังนี้

Mean error	=	1.55	m.
Mean absolute	=	1.88	m.
Standard error of the estimate	=	0.24	m.
Root mean squared	=	2.13	m.
Normalized RMS	=	9.80	%

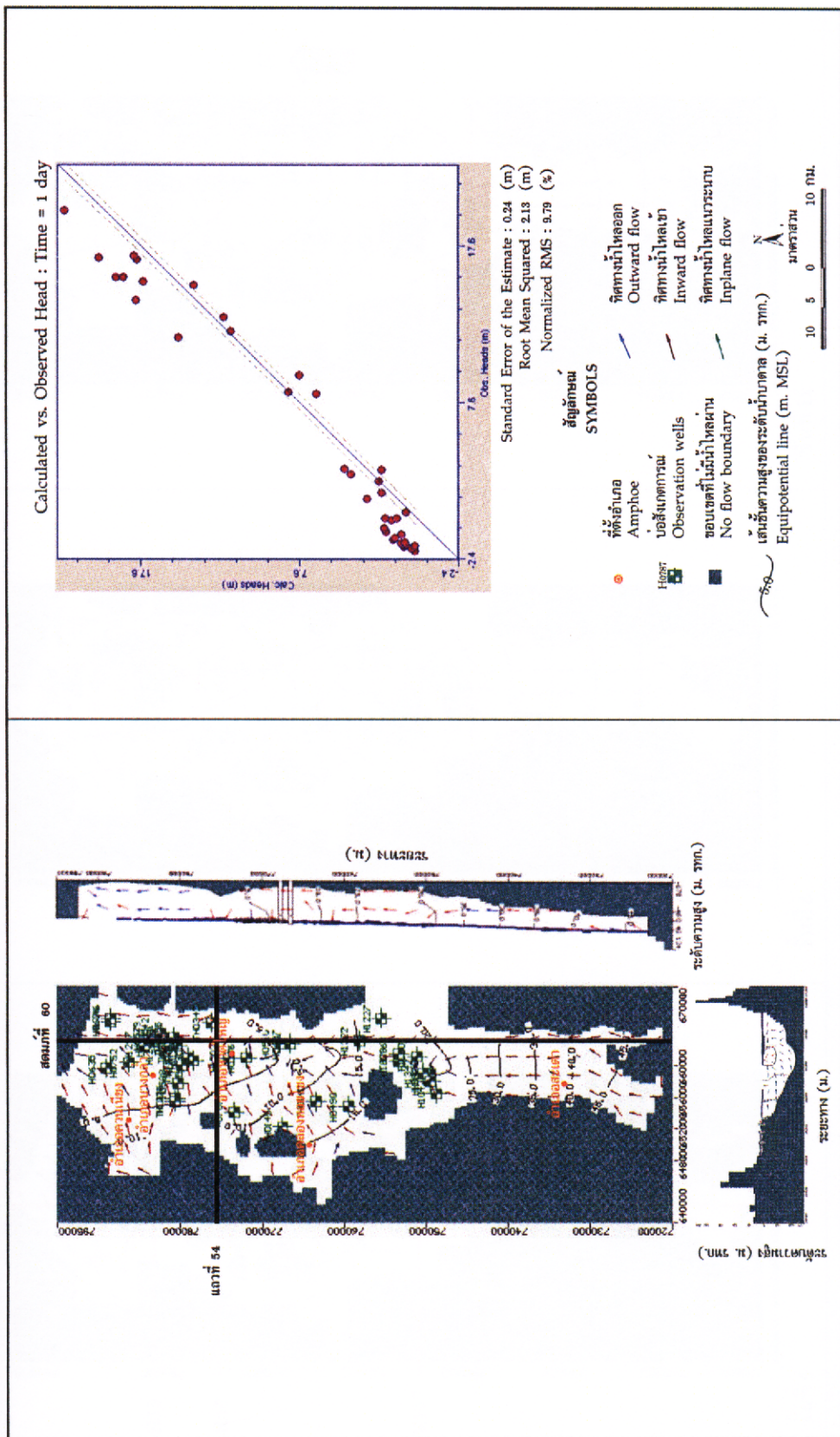
ผลการจำลองแบบสภาวะคงที่ พบว่าค่าเฉลี่ยรากที่สอง (RMS) จากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในสภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 2.13 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมีทิศทางทางไหลของน้ำบาดาลจากขอบพื้นที่ทางทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่เพิ่มเติม น้ำ มายังที่ราบลุ่มตอนกลางของพื้นที่แบบจำลอง และไหลขึ้นในพื้นที่สูญเสียน้ำบริเวณอำเภอ

หาดใหญ่ น้ำบาดาลบางส่วนไหลออกสู่คลองอู่ตะเภา ส่วนที่เหลือไหลต่อไปยังทิศเหนือ ออกสู่ทะเลสาบสงขลา รูปที่ 4-13, 4-14 และ 4-15 แสดงทิศทางการไหลในแนวระนาบ, ภาพการไหลตามแนวเหนือ-ใต้ และภาพการไหลตามแนวตะวันออก-ตะวันตก ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546)

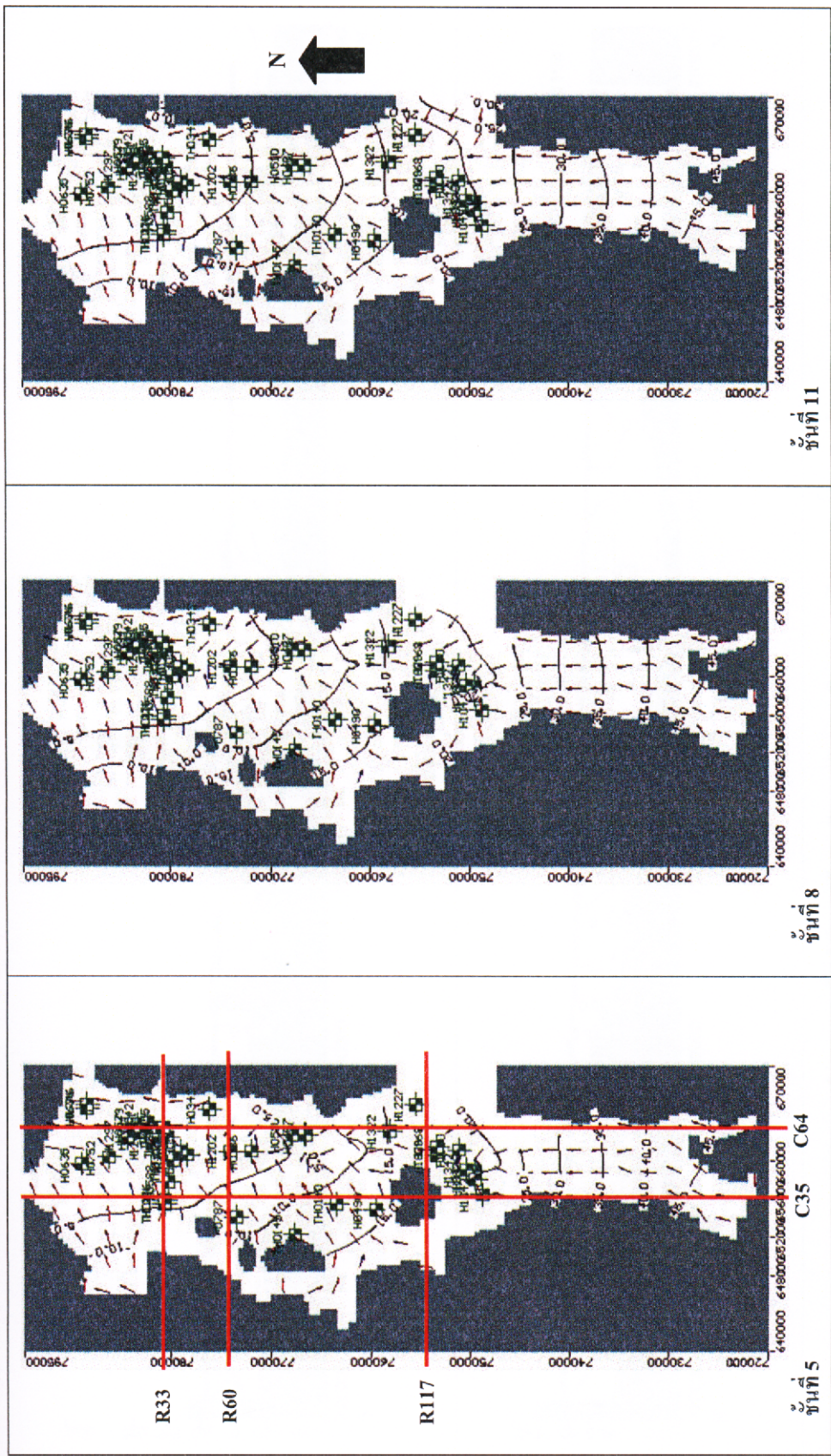
ตาราง 4-6 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากการคำนวณ และจากบ่อสังเกตการณ์เป็นรายบ่อ และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการวัดในภาคสนามกับการจำลอง จากตาราง 4-6 พบว่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริงจากบ่อสังเกตการณ์ส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เมตร โดยบ่อสังเกตการณ์ H0787 (ชั้นที่ 10) มีความสอดคล้องกับค่าจากการวัดจริงมากที่สุด ส่วนบ่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ บ่อ TH0168 (ชั้นที่ 5) คลาดเคลื่อน 3.79 เมตร

บ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 3 เมตร คือ กลุ่มบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่ทางด้านทิศใต้ของแบบจำลอง คือ บ่อ H0439, H1322, TH0168, H1387 และ H1342 ทั้ง 5 บ่อนี้อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน และระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากบ่อสังเกตการณ์ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลระดับความสูงของผิวดินเทียบระดับทะเลปานกลางที่จำกัด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการสำรวจระดับปากบ่อบาดาลใหม่ แต่ใช้การประเมินค่าในช่วง (interpolate) ข้อมูลเส้นชั้นความสูง ช่วงชั้นละ 20 เมตร ของกรมแผนที่ทหาร โดยวิธี krigging ด้วยโปรแกรม SURFER ค่าระดับปากบ่อบาดาลที่นำมาใช้ในการกำหนดชนิดชั้นหินให้น้ำในแต่ละกริดเซลล์จึงอาจมีความผิดพลาด ซึ่งส่งผลให้การกำหนดชนิดชั้นหินให้น้ำในแต่ละกริดเซลล์แตกต่างไปจากสภาพจริงในธรรมชาติได้ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชนิดชั้นหินให้น้ำที่ใส่ในแบบจำลองผิดพลาดไป ซึ่งในกรณีนี้มีค่าสูงกว่าค่าจริง จึงทำให้น้ำไหลได้เร็วกว่าความเป็นจริง ค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณจึงมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากสนาม นอกจากนี้พื้นที่ศึกษามีบ่อสังเกตการณ์น้อย ซึ่งเป็นข้อจำกัดอีกข้อหนึ่ง

สมมูลของน้ำบาดาลของแบบจำลองในสถานะคงที่ ได้แสดงไว้ในตาราง 4-7 จากข้อมูลสมมูลของน้ำพบว่า น้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจากการเพิ่มเติมน้ำสุทธิน้ำฝน น้ำจากชั้นหินให้น้ำของน้ำบาดาลในหินแข็ง (เทือกเขาด้านตะวันออก-ตะวันตก) และการไหลซึมของน้ำจากคลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภา ส่วนน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลองไหลออกไปสู่คลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภา บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำทะเลสาบสงขลา และชั้นหินให้น้ำของน้ำบาดาลในหินแข็ง ตามลำดับ



รูปที่ 4-12 แผนภาพแสดงผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสถานะคงที่

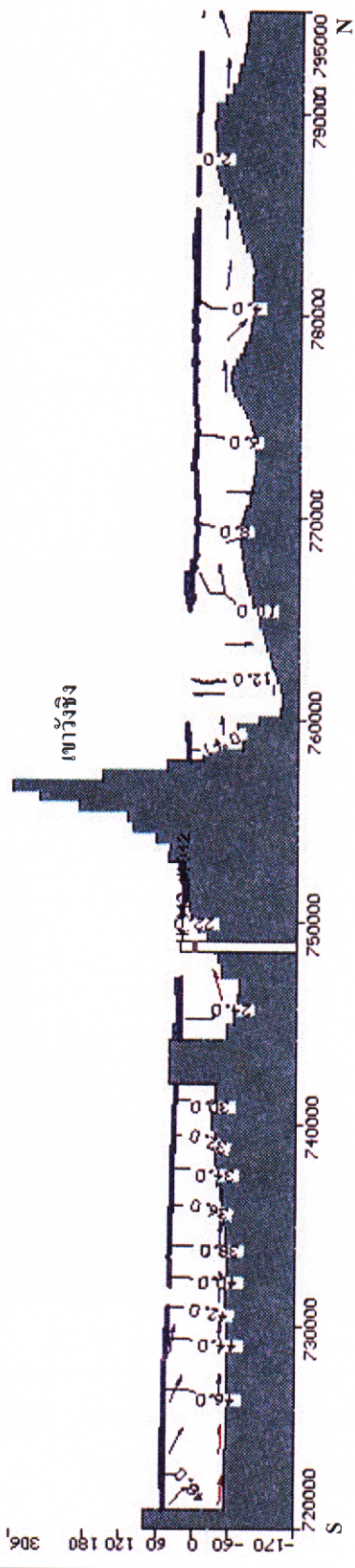


รูปที่ 4-13 แผนภาพแสดงผลการจำลองเส้นระดับแรงดันและทิศทางการไหลในแนวระนาบของน้ำบาดาลในสภาวะคงที่

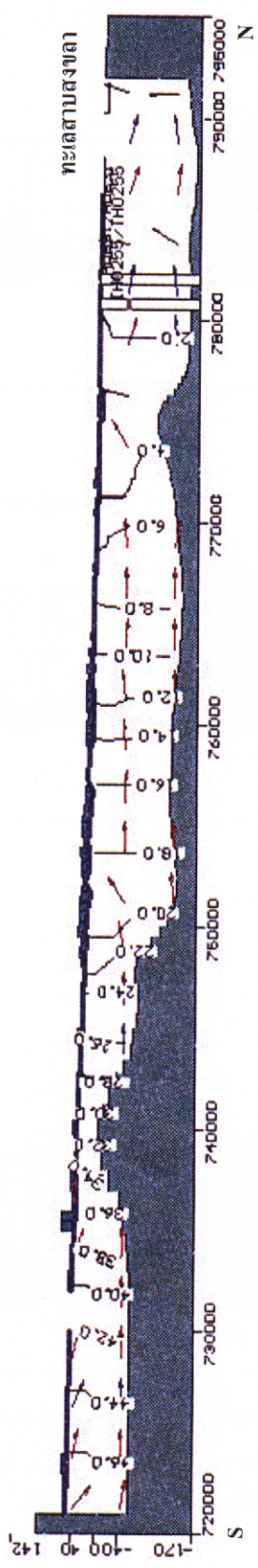
ชั้นที่ 11

ชั้นที่ 8

ชั้นที่ 5

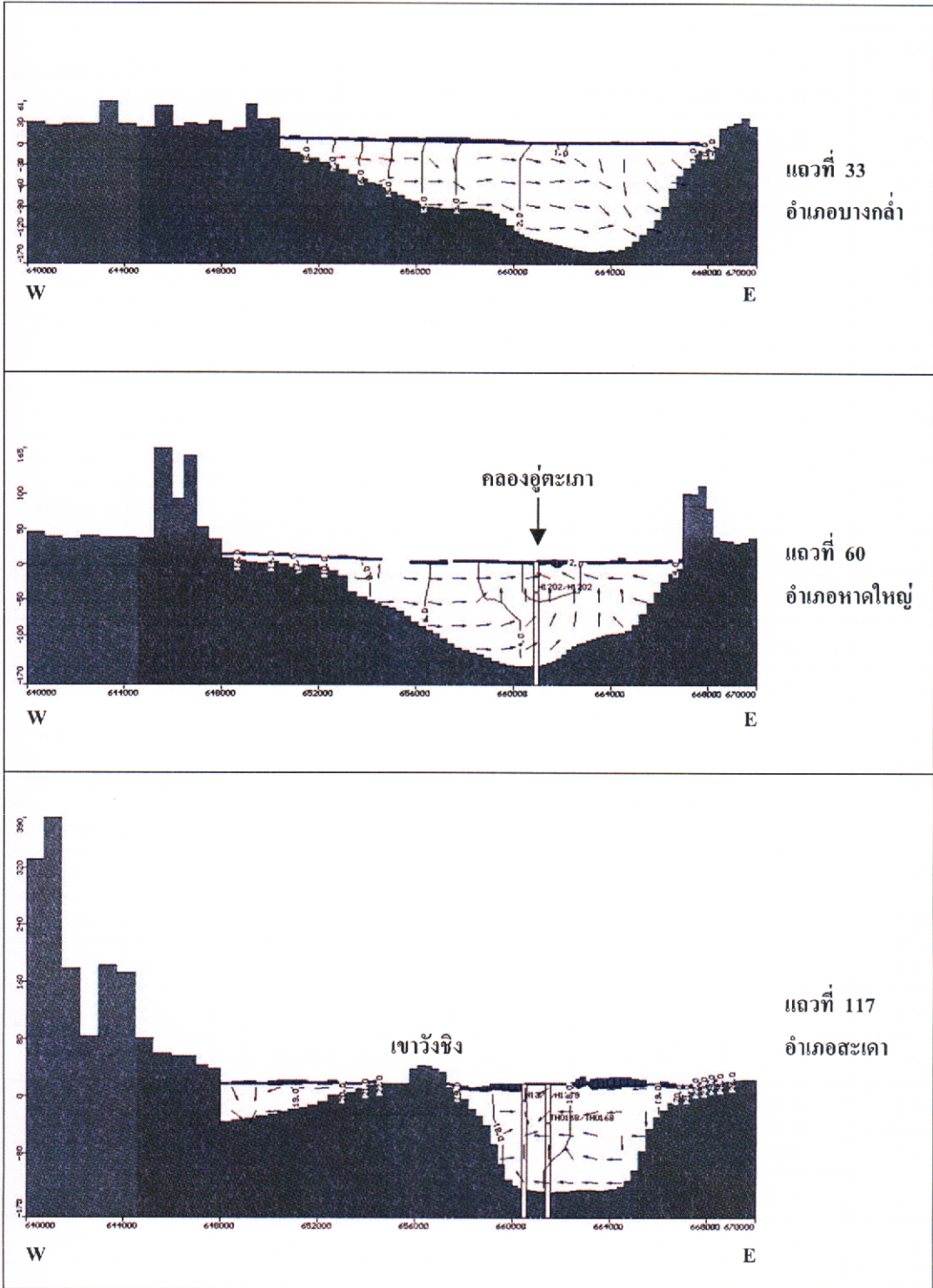


สดมภ์ที่ 35



สดมภ์ที่ 64

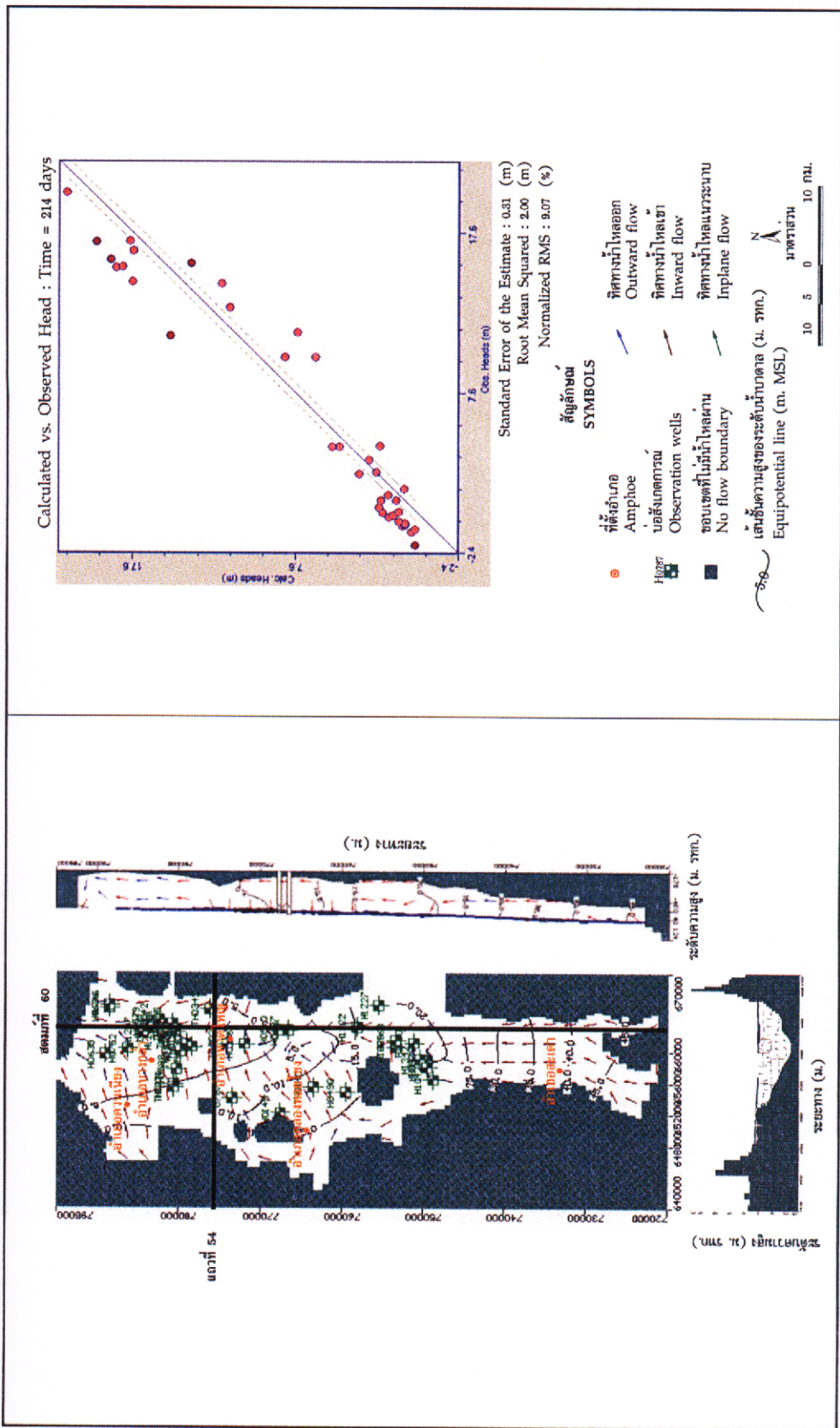
รูปที่ 4-14 แผนภาพแสดงสภาพตัดขวางในแนวเหนือ-ใต้ของเส้นระดับแรงดันและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะคงที่



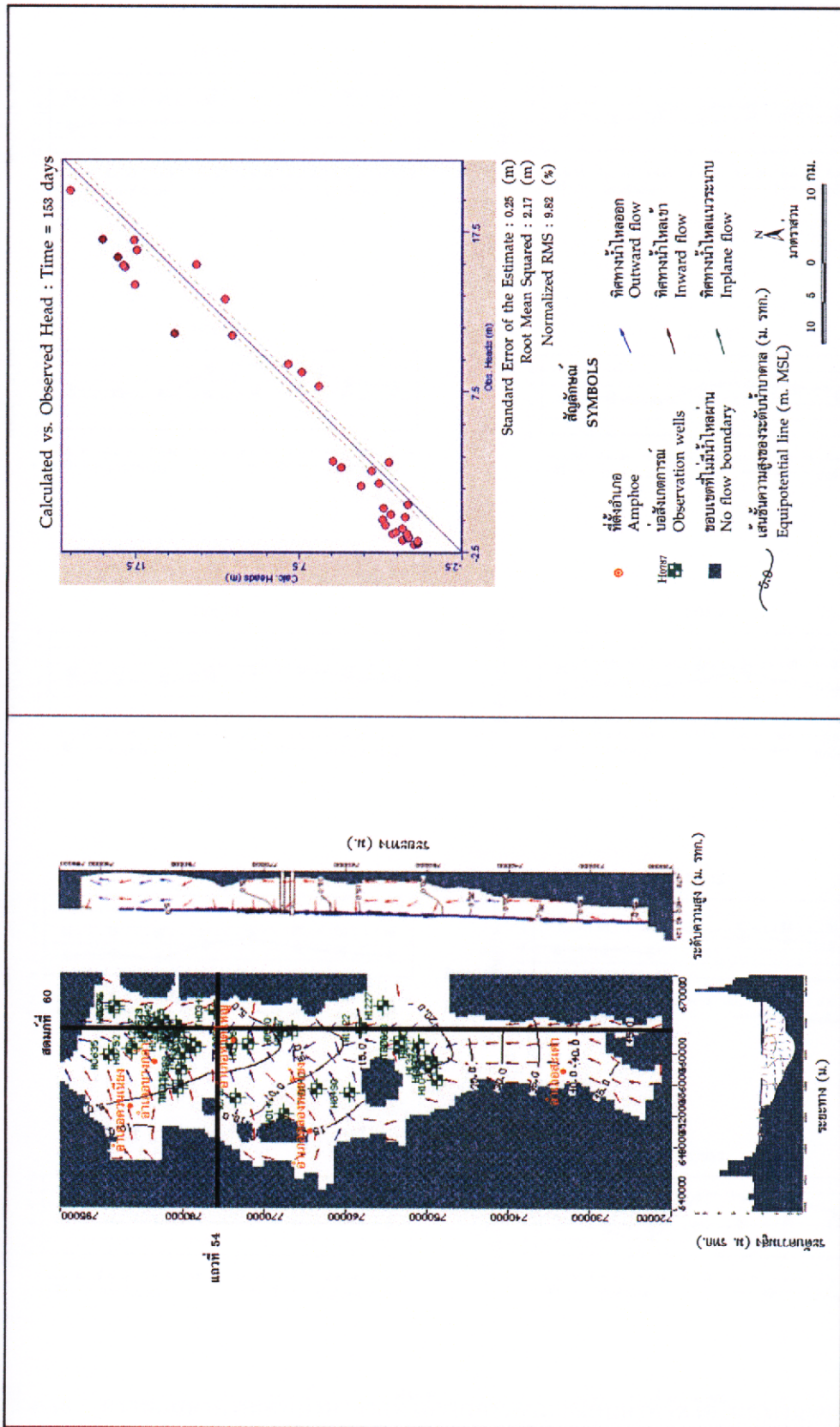
รูปที่ 4-15 แผนภาพแสดงภาพตัดขวางในแนวตะวันออก-ตะวันตกของเส้นระดับแรงดันและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะคงที่

ตาราง 4-6 ค่าระดับน้ำบ่อสังเกตการณ์ 37 บ่อ หลังปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงที่

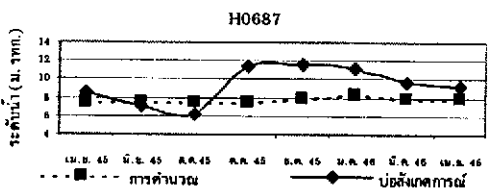
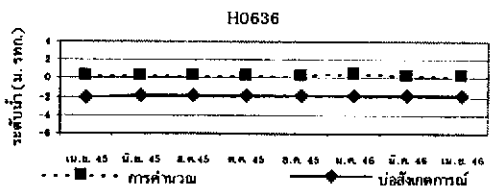
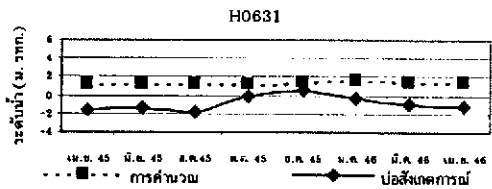
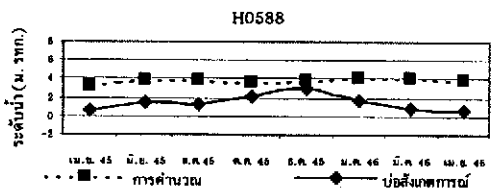
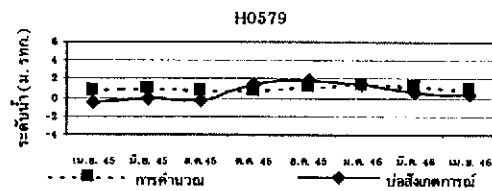
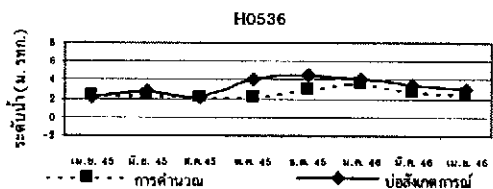
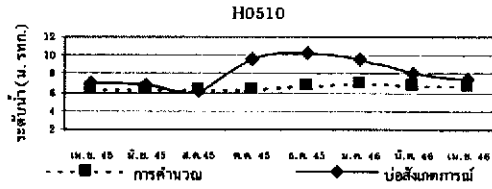
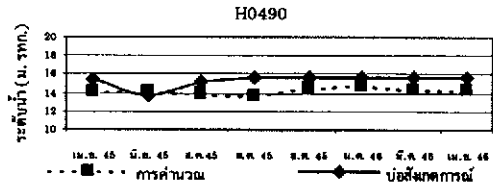
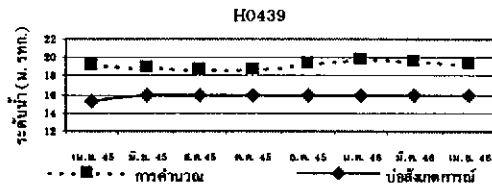
หมายเลขบ่อ	พิกัด		ค่าระดับปากบ่อ (ม.รทก.)	ชั้น ที่	ระดับน้ำ (ม. รทก.)		คลาดเคลื่อน (ม.)
	ออก - ตก	เหนือ - ใต้			บ่อสังเกตการณ์	การคำนวณ	
TH0140	655401	763437	14.97	2	13.00	12.35	-0.65
H0439	658895	749442	20.00	2	15.57	19.13	3.56
H1294	663005	783084	1.62	3	-1.65	0.97	2.62
H0631	663425	782079	2.71	3	-0.84	1.17	2.01
TH0039	662532	780438	4.75	3	0.09	1.80	1.71
H0536	661006	771933	6.08	3	3.29	2.38	-0.91
H1322	663101	758086	16.01	3	11.69	15.18	3.49
H1379	660474	753351	20.00	3	16.73	17.82	1.09
H1042	656498	748810	21.38	3	19.82	22.32	2.50
H0636	665579	788350	1.14	4	-1.95	0.27	2.22
H1246	665887	788370	0.92	4	-1.60	0.27	1.87
H0579	663779	783402	3.39	4	0.58	0.88	0.30
H1291	661914	781877	1.85	4	-1.06	1.52	2.58
H0588	657744	780222	6.20	4	1.45	3.29	1.84
H1176	660545	779525	3.64	4	0.20	2.19	1.99
H0490	654894	759502	18.16	4	15.05	14.21	-0.84
H1297	662510	784363	1.59	5	-1.53	0.86	2.39
TH0042	663997	782341	3.02	5	-1.42	1.16	2.58
TH0255	663456	780783	3.09	5	-1.16	1.68	2.84
TH0168	661481	753354	19.76	5	14.08	17.87	3.79
H1390	661107	751071	20.90	5	16.93	17.99	1.06
H1387	658047	749528	20.00	5	16.82	20.19	3.37
H0752	660349	786243	1.32	6	-1.33	0.91	2.24
H1226	655841	780632	7.33	6	3.04	4.32	1.28
TH0342	665391	776054	4.51	6	2.54	2.56	0.02
H1202	660968	774022	7.54	6	0.16	1.44	1.28
H0510	662710	767777	11.17	6	8.13	6.49	-1.64
TH0145	652194	767467	19.53	6	12.14	11.87	-0.27
H0687	662753	766517	14.42	6	9.35	7.57	-1.78
H0635	659697	788924	1.28	7	-1.78	0.55	2.33



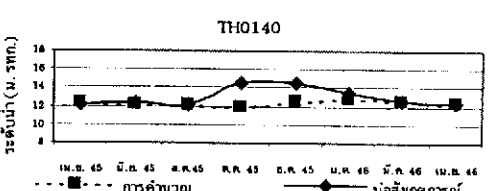
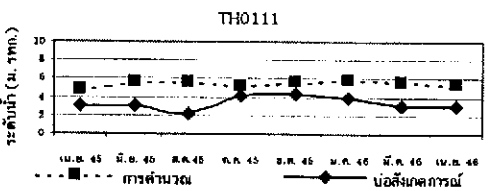
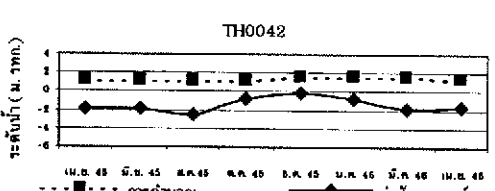
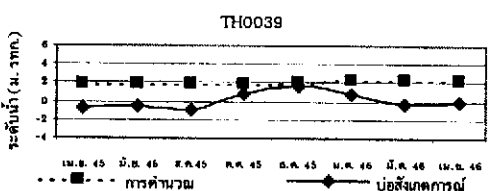
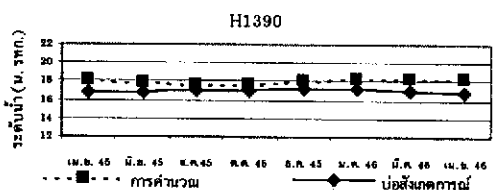
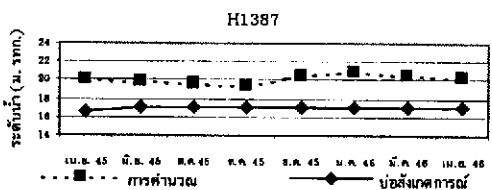
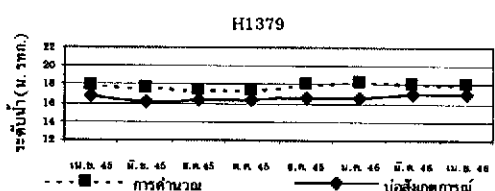
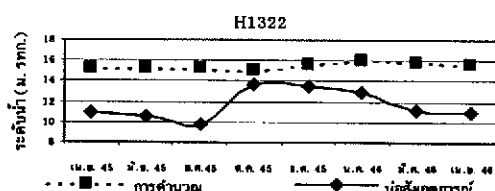
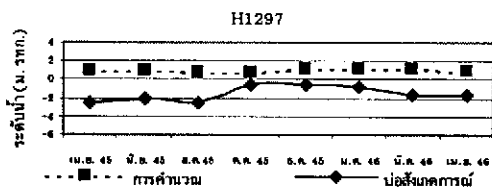
รูปที่ 4-16 แผนภาพแสดงผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา 8 เดือน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2545)

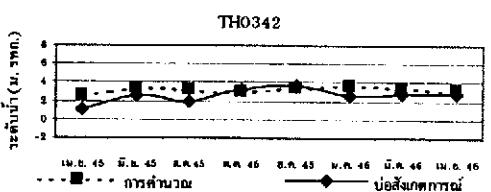
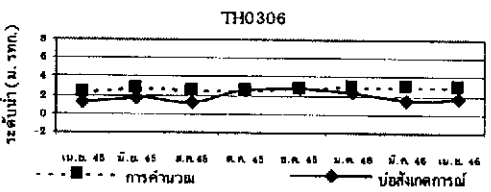
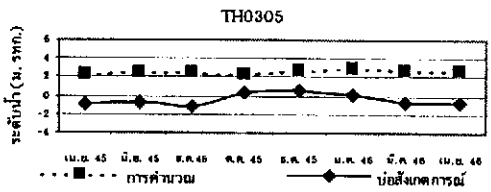
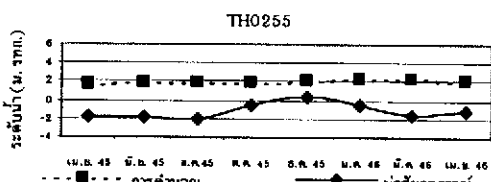
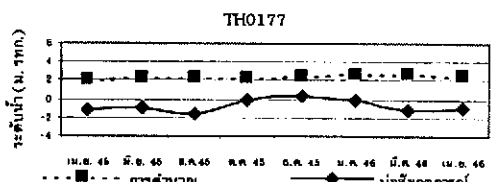
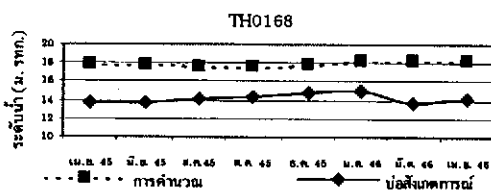
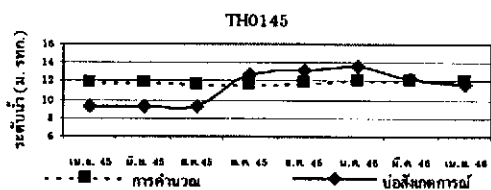


รูปที่ 4-17 แผนภาพแสดงผลการจัดการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา 5 เดือน (สิงหาคม พ.ศ. 2545)



รูปที่ 4-18 กราฟแสดงค่าระดับน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วัดได้ในสนามของบ่อสังเกตการณ์





รูปที่ 4-18 (ต่อ)

เนื่องจากบ่อบาดาลบ่อนี้มีการติดตั้งระบบประปาชนบทซึ่งมีการสูบน้ำโดยระบบอัตโนมัติ เวลาที่ทำการวัดอาจอยู่ในช่วงที่ระดับน้ำคืนตัวยังไม่ถึงระดับน้ำปกติ

บ่อสังเกตการณ์ H0439, H1322, TH0168, H1387 และ H1342 ซึ่งอยู่บริเวณด้านทิศใต้ของแบบจำลอง มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 3 เมตร จากการจำลองในสถานะคงที่ ในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็มีความคลาดเคลื่อนสูงเกิน 3 เมตร เช่นกัน แต่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแต่ละเดือนมีความสอดคล้องกับค่าได้จากการวัดจริง ดังแสดงในรูปที่ 4-18 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้แล้วในผลการจำลองในสถานะคงที่ (หน้าที่ 81)

กลุ่มบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ใกล้ทะเลสาบสงขลา (ทางทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา) ได้แก่ บ่อ H0631, H0635, H0636, H0752, H1246, H1291, H1294, H1297, TH0042, TH0177, TH0255 และ TH0305 ระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ในบริเวณนี้อยู่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง แต่จากการคำนวณพบว่าระดับน้ำที่ได้มีค่าสูงกว่าระดับทะเลปานกลาง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ทั้งนี้จะเกิดความผิดพลาดจากการกำหนดชนิดชั้นหินให้น้ำในแต่ละกริดเซลล์ของแบบจำลอง เช่นเดียวกับที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ประกอบกับเนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเป็นชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ซึ่งประกอบไปด้วย กรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ที่สะสมตัวโดยทางน้ำสมัยโบราณ และทางน้ำสายปัจจุบัน ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาจึงมีความซับซ้อน ในชั้นหินให้น้ำมีดินเหนียวแทรกตัวอยู่เป็นช่วงๆ แต่ในการจำลองไม่สามารถกำหนดชนิดชั้นหินให้น้ำของพื้นที่นี้ให้เหมือนสภาพจริงในธรรมชาติได้แน่นอน และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งของชนิดชั้นหินให้น้ำที่ใส่ในแบบจำลองมีค่าสูงเกินไป ทำให้ค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากสนาม

บ่อสังเกตการณ์อื่นๆ ซึ่งอยู่ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่แบบจำลอง พบว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 3 เมตร เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการศึกษาข้อมูลลักษณะชั้นน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ทำให้มีข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองละเอียดขึ้น ผลการจำลองที่ได้จึงมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงในธรรมชาติมากกว่ากลุ่มบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ใกล้ทะเลสาบสงขลา และบริเวณด้านทิศใต้ของแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้น

สมดุลของน้ำเฉลี่ยรายปีของแบบจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงในตาราง 4-8

ตาราง 4-8 สมดุลของน้ำบาดาลจากการจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ล้าน ลบ.ม./ปี)	ปริมาณการไหลออก (ล้าน ลบ.ม./ปี)
Storage	136.82	131.63
Constant Head	0	12.13
Wells	0	16.55
Recharge	120.39	0
River Leakage	1.59	108.64
General-Head	10.46	0.31
Total	269.25	269.25
IN - OUT = 0 ล้าน ลบ.ม./ปี		
Percent Discrepancy = 0.00 %		

Storage	=	การกักเก็บน้ำในชั้นหินให้น้ำ
Constant Head	=	ขอบเขตที่มีระดับน้ำคงที่ (ทะเลสาบสงขลา)
Wells	=	บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ
Recharge	=	การเพิ่มเติมน้ำสุทธิจากน้ำฝน
River Leakage	=	ขอบเขตแม่น้ำ (คลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภา)
General-Head	=	ขอบเขตที่มีน้ำไหลเข้า (เทือกเขาด้านตะวันออก-ตะวันตก)

จากข้อมูลสมดุลของน้ำพบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจาก น้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินให้น้ำ 136.82 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การเพิ่มเติมน้ำสุทธิจากน้ำฝน 120.39 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีการเติมน้ำจากชั้นหินให้น้ำของน้ำบาดาลในหินแข็ง (เทือกเขาด้านตะวันออก-ตะวันตก) เข้ามาในแบบจำลอง 10.46 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีการไหลซึมของน้ำจากคลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภาเข้าสู่แบบจำลอง 1.59 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำไหลเข้าระบบทั้งหมด 269.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลองไหลออกไปกักเก็บในชั้นหินให้น้ำ 131.63 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภา 108.64 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ 16.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ทะเลสาบสงขลา 12.13 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และชั้นหินให้น้ำของน้ำบาดาลในหินแข็ง 0.31 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำไหลออกจากแบบจำลองทั้งหมด 269.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

เมื่อพิจารณาการไหลซึมของน้ำที่เข้าและจากคลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภาในแต่ละเดือนพบว่า ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำจากคลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภาไหลซึมเข้าสู่แบบจำลองมีค่ามากกว่าในฤดูแล้ง ในทางกลับกัน ในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำจากแบบจำลองไหล

ออกสู่คลองรัตนภูมิและคลองอุตะเถามากกว่าในฤดูฝน (ตาราง 4-9) นั่นแสดงว่า น้ำในคลองรัตนภูมิและคลองอุตะเถาบางส่วนได้ไหลเข้ามาเพิ่มเติมให้กับแหล่งน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน ส่วนในช่วงฤดูแล้ง น้ำบาดาลก็จะไหลเพิ่มเติมออกสู่คลองทั้งสองเช่นกัน ซึ่งผลการศึกษา มีความสอดคล้องกับสรุปผล อารีย์กุล (2534)

ตาราง 4-9 ปริมาณน้ำจากคลอง รัตนภูมิและคลองอุตะเถาที่ไหลเข้าสู่แบบจำลอง และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลองสู่คลองรัตนภูมิและคลองอุตะเถา ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2545 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2546

เดือน	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม./เดือน)	
	จากคลองรัตนภูมิและคลองอุตะเถาไหลเข้าสู่แบบจำลอง	จากแบบจำลองไหลออกสู่คลองรัตนภูมิและคลองอุตะเถา
เม.ย. 45	0.06	8.50
พ.ค. 45	0.06	9.54
มิ.ย. 45	0.06	10.44
ก.ค. 45	0.07	10.73
ส.ค. 45	0.09	9.95
ก.ย. 45	0.10	8.83
ต.ค. 45 *	0.26	6.58
พ.ย. 45 *	0.50	4.71
ธ.ค. 45 *	0.30	5.96
ม.ค. 46	0.03	11.30
ก.พ. 46	0.03	10.44
มี.ค. 46	0.04	11.64

* ฤดูฝน

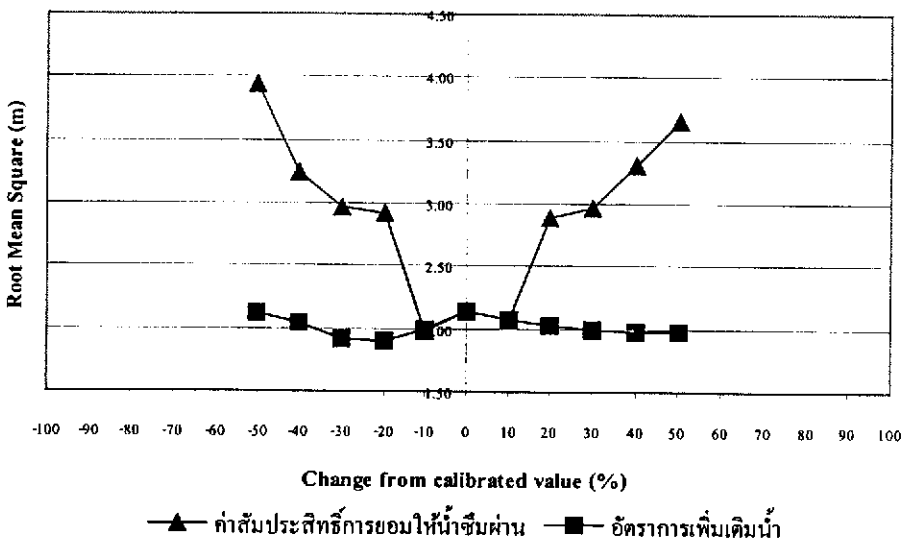
4.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองเป็นการจำลองซ้ำ โดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองหลังจากปรับแก้ค่าสมบูรณแล้ว เพื่อดูว่าผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์นั้นๆ มีผลต่อแบบจำลองมากน้อยเพียงใด

4.5.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสถานะคงที่

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ครั้งละ 10% ครั้งละ 1 พารามิเตอร์ เปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้กับผลของชุดข้อมูลปรับเทียบสมบูรณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (RMS) เป็นหลัก แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์กับค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่ได้

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4-19 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเพิ่มเติมน้ำ ตามลำดับ



รูปที่ 4-19 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวกรณีการจำลองในสถานะคงที่

4.5.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวทำโดยเปลี่ยนพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ ที่ละพารามิเตอร์ครั้งละ 10% เปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้กับผลของชุดข้อมูลที่ปรับแก้แล้ว โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเป็นหลัก แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์กับค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำ

ตาราง 4-10 การตรวจสอบแบบจำลองกับข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547

หมายเลขบ่อ	พิกัด		ค่าระดับปากบ่อ (ม.รทก.)	ชั้น ที่	ระดับน้ำ (ม. รทก.)		คลาดเคลื่อน (ม.)
	ออก - ตก	เหนือ - ใต้			บ่อสังเกตการณ์	การคำนวณ	
TH0140	655401	763437	14.97	2	13.33	12.66	-0.67
H0439	658895	749442	20.00	2	15.95	19.79	3.84
H1294	663005	783084	1.62	3	-0.36	1.31	1.67
H0631	663425	782079	2.71	3	-0.34	1.57	1.91
TH0039	662532	780438	4.75	3	0.60	2.32	1.72
H0536	661006	771933	6.08	3	4.60	3.10	-1.50
H1322	663101	758086	16.01	3	12.31	16.10	3.79
H1379	660474	753351	20.00	3	17.10	18.42	1.32
H1042	656498	748810	21.38	3	19.95	22.79	2.84
H0636	665579	788350	1.14	4	-1.92	0.39	2.31
H1246	665887	788370	0.92	4	-1.05	0.39	1.44
H0579	663779	783402	3.39	4	1.19	1.21	0.02
H1291	661914	781877	1.85	4	-0.42	1.97	2.39
H0588	657744	780222	6.20	4	1.76	3.94	2.18
H1176	660545	779525	3.64	4	-0.30	2.74	3.04
H0490	654894	759502	18.16	4	15.74	14.56	-1.18
H1297	662510	784363	1.59	5	-1.72	1.15	2.87
TH0042	663997	782341	3.02	5	-0.92	1.56	2.48
TH0255	663456	780783	3.09	5	-0.07	2.20	2.27
TH0168	661481	753354	19.76	5	15.06	18.48	3.42
H1390	661107	751071	20.90	5	17.10	18.60	1.50
H1387	658047	749528	20.00	5	17.06	20.80	3.74
H0752	660349	786243	1.32	6	-0.62	1.16	1.78
H1226	655841	780632	7.33	6	3.48	5.02	1.54
TH0342	665391	776054	4.51	6	2.54	3.25	0.71
H1202	660968	774022	7.54	6	0.06	2.04	1.98
H0510	662710	767777	11.17	6	9.05	6.85	-2.20
TH0145	652194	767467	19.53	6	14.97	12.21	-2.76
H0687	662753	766517	14.42	6	11.13	8.09	-3.04
H0635	659697	788924	1.28	7	-1.03	0.69	1.72

ตาราง 4-10 (ต่อ)

หมายเลขบ่อ	พิกัด		ค่าระดับปากบ่อ (ม.รทก.)	ชั้น ที่	ระดับน้ำ (ม. รทก.)		คลาดเคลื่อน (ม.)
	ออก - ตก	เหนือ - ใต้			บ่อสังเกตการณ์	การคำนวณ	
TH0111	655415	780609	7.65	7	3.67	5.42	1.75
TH0306	659964	779775	3.86	7	2.34	2.97	0.63
TH0305	660631	778322	4.50	9	0.47	2.80	2.33
TH0177	661010	779010	3.40	10	-0.05	2.65	2.70
H0787	654152	773435	13.50	10	10.54	9.14	-1.40
H1342	659000	750298	20.00	10	15.55	19.42	3.87
H1227	665963	755369	21.32	11	15.62	18.50	2.88

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณกับที่วัดจริงในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 บ่อสังเกตการณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 3 เมตร ก็ยังเป็นบ่อชุดเดียวกับที่คลาดเคลื่อนในการจำลองในสภาวะคงที่และที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีในสภาวะคงที่และสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจากทั้ง 2 กรณี คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ความคลาดเคลื่อนน่าจะมาจากการกำหนดชนิดชั้นหินให้น้ำของแบบจำลอง ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งที่ใส่ในแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ระดับน้ำจากการคำนวณจึงมีค่าสูงกว่าระดับน้ำที่วัดได้ นั่นแสดงว่าแบบจำลองนี้สามารถจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาของแอ่งหาคิใหญ่ได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงในธรรมชาติเฉพาะพื้นที่ตอนกลางของแอ่ง ส่วนพื้นที่บริเวณใกล้ทะเลสาบสงขลาและบริเวณด้านทิศใต้ของแบบจำลองต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น