

บทที่ 5

ผลการจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการอภิปรายผล

การจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 กรณี ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำของบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 23 บ่อ กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่ทำการจำลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จนให้ผลการจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด และนอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงสมมูลของน้ำใต้ดินที่ได้ทำการจำลอง ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยหรืออยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งผลการจำลองมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

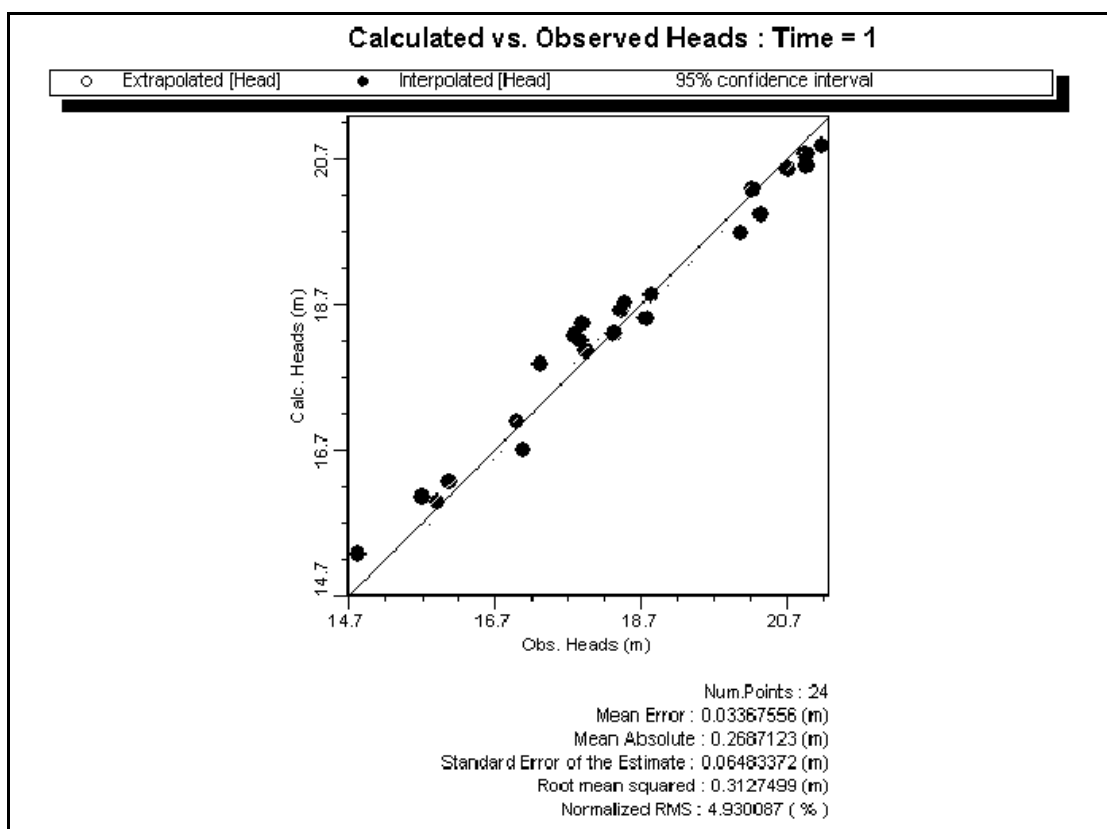
5.1.1 ผลการจำลองแบบสภาวะคงที่

ในการจำลองแบบสภาวะคงที่ได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลอง จนค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และมีค่าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยจากข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2545 (ตารางที่ 3-3) ทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเพิ่มเติมน้ำ ให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ที่ละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง จากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนระดับน้ำใต้ดินที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของระดับน้ำ โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ตั้งเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำ ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (root mean square, RMS) ไว้ที่ 0.5 เมตร หมายความว่า ถ้าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 เมตร ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

แบบจำลองที่ปรับเทียบค่าแล้วมีความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลอง แสดงไว้ดังรูปที่ 5-1 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลอง ดังนี้

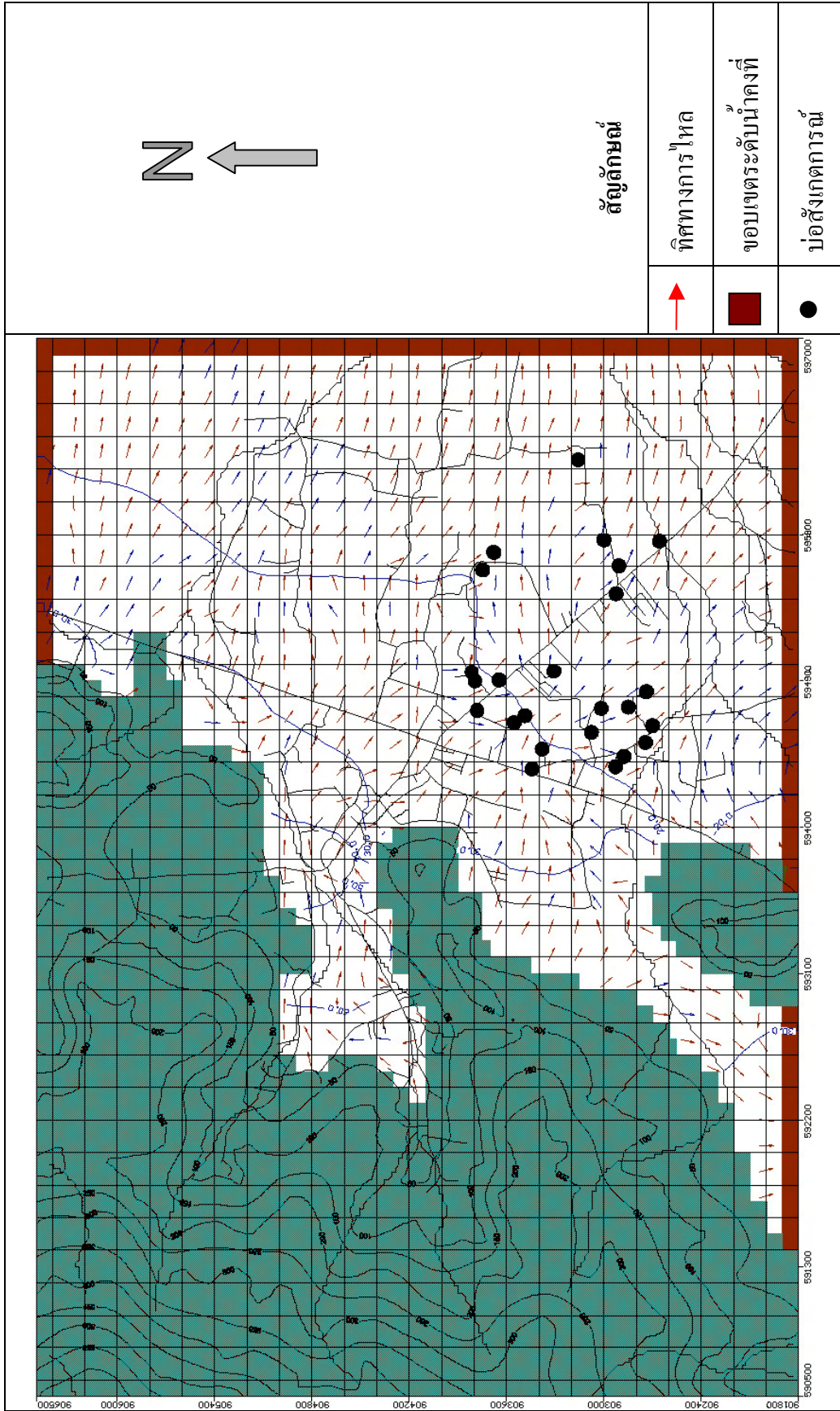
Mean error	=	0.0337 m.
Mean absolute	=	0.2687 m.
Standard error of the estimate	=	0.0648 m.
Root mean squared	=	0.3128 m.
Normalized RMS	=	4.9300 %

ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนจากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในสถานะคงที่มีค่าเท่ากับ 0.31 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมีค่าปรกติของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 4.93%



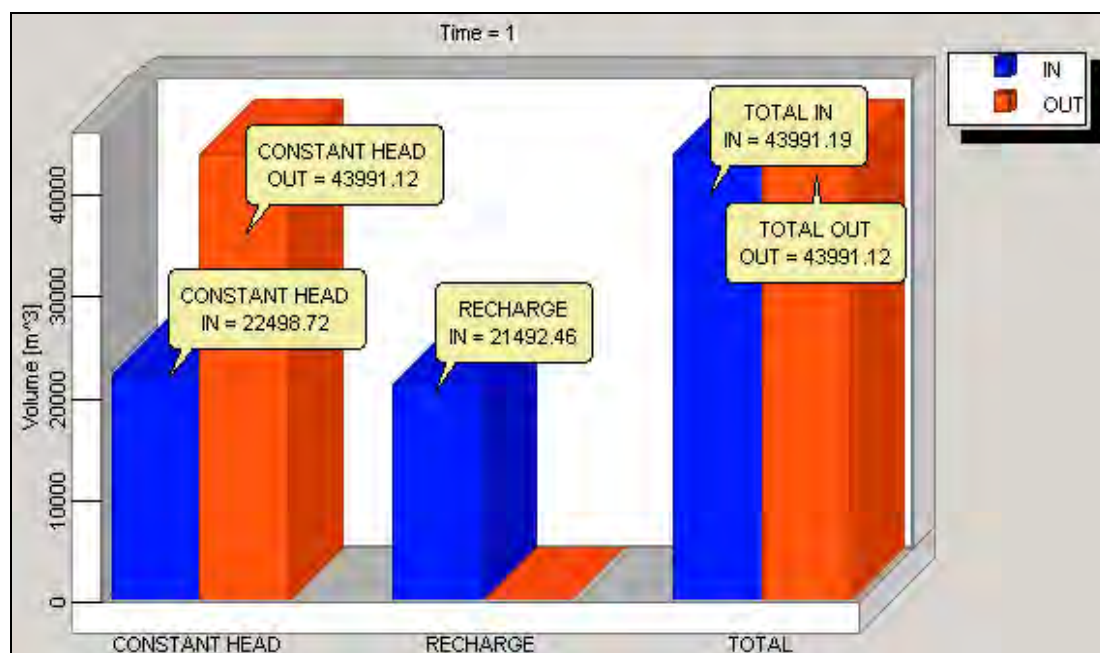
รูปที่ 5-1 ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะคงที่

ผลการจำลองแบบสถานะคงที่ พบว่าการจำลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยทั่วไปจะไหลจากพื้นที่เดิมน้ำทางทิศตะวันตก บริเวณที่ราบเชิงเขาร่อนนา-สรวงจันทร์ ผ่านชุมชนร่อนพิบูลย์ บริเวณหมู่ที่ 12 ลงมาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านพื้นที่ศึกษาในหมู่ที่ 13 แล้ววกอ้อมขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วยความเร็วเฉลี่ย ประมาณ 0.9 เมตรต่อวันซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ JICA (1999) และรับรองผลการวิจัยในหัวข้อที่ 3.2.1 ของการวิจัยครั้งนี้อีกด้วย ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 แผนภาพแสดงทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากการจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมดุลของน้ำเฉลี่ยรายปีของแบบจำลองในสภาวะคงที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-3 จากข้อมูลสมดุลของน้ำพบว่า น้ำที่ไหลออกจากแบบจำลอง มาจากการไหลออกไปนอกระบบผ่านขอบเขตระดับน้ำคงที่ ส่วนน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจากการไหลเข้ามาจากนอกระบบโดยผ่านทางขอบเขตระดับน้ำคงที่และการเติมน้ำจากน้ำฝน ตามลำดับดังตารางที่ 5-1



รูปที่ 5-3 กราฟแสดงสมดุลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่

ตารางที่ 5-1 สมดุลของน้ำใต้ดินจากการจำลองในสภาวะคงที่

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)
Constant Head	22,499	43,991
Recharge	21,492	0
Total	43,991	43,991
IN - OUT = 0 m ³		
Percent Discrepancy = 0.00 %		

Constant Head = ขอบเขตระดับน้ำคงที่

Recharge = การเติมน้ำจากน้ำฝน

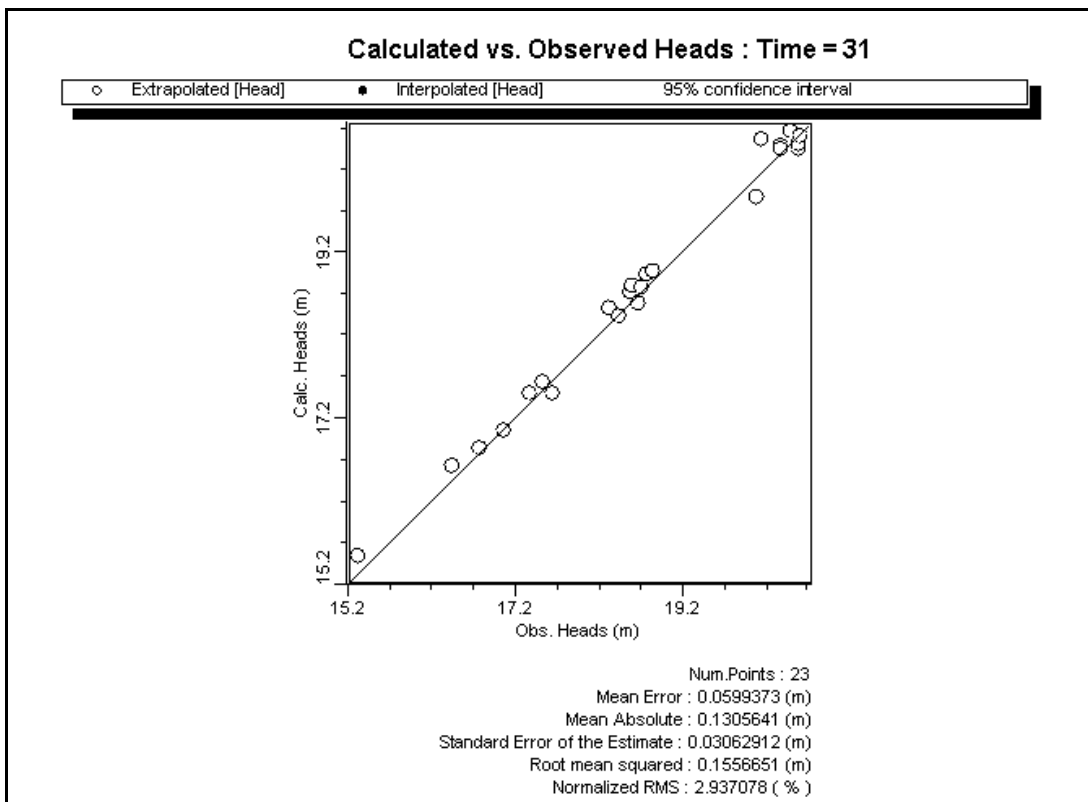
5.1.2 การจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การกักเก็บ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ ให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ที่ละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง จากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ ในแต่ละช่วงเวลา มีความสอดคล้องใกล้เคียงกันมากที่สุด และอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2545 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2545 (ตารางที่ 3-3) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของระดับน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ตั้งเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำ ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนไว้ที่ 0.5 เมตร ซึ่งหมายความว่าถ้าระดับน้ำที่วัดจากบ่อสังเกตการณ์ และระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 เมตร ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

แบบจำลองที่ปรับเทียบค่าแล้ว มีค่าความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์และจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545 แสดงไว้ดังรูปที่ 5-4 ซึ่งถือเป็นตัวแทนของระดับน้ำในช่วงฤดูร้อน มีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ และค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลอง ดังนี้

Mean error	=	0.060 m.
Mean absolute	=	0.130 m.
Standard error of the estimate	=	0.031 m.
Root mean squared	=	0.156 m.
Normalized RMS	=	2.937 %

โดยค่าเฉลี่ยรากที่สองจากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองช่วงฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ 0.156 เมตร ซึ่งไม่เกิน 0.5 เมตรถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมีค่าปรกติของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 2.94%

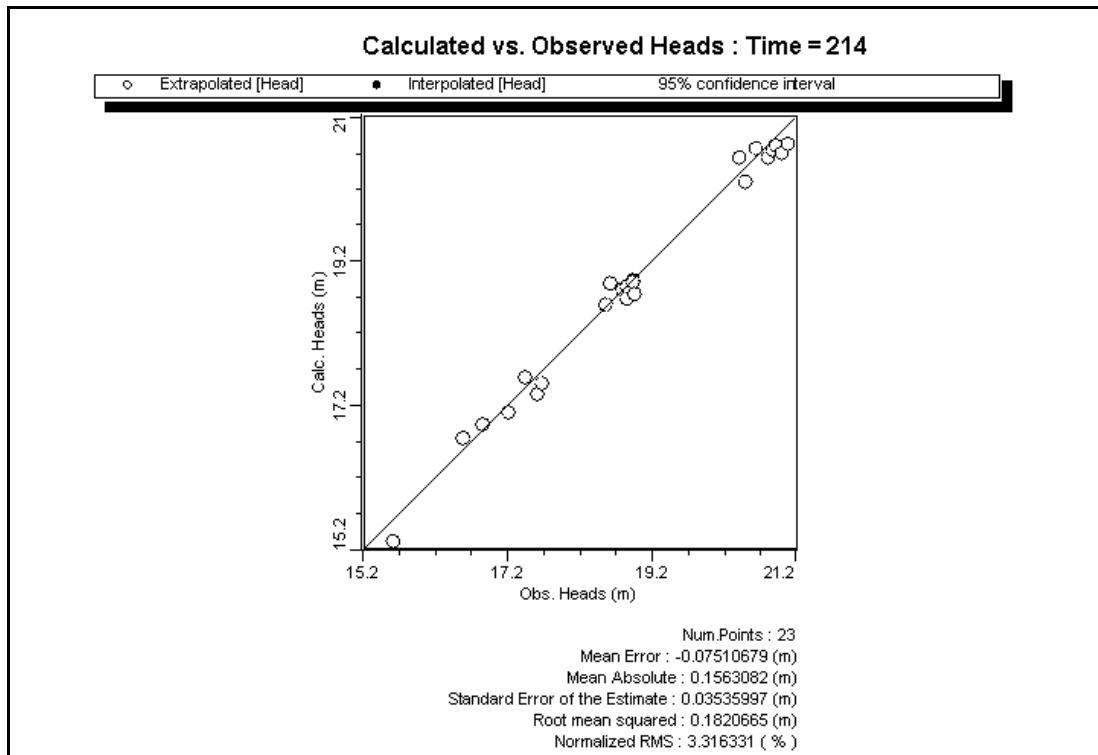


รูปที่ 5-4 ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา 1 เดือน (พฤษภาคม พ.ศ. 2545)

ส่วนผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-5 ซึ่งถือเป็นตัวแทนของระดับน้ำในช่วงฤดูฝน มีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ และค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลอง ดังนี้

Mean error	=	0.075 m.
Mean absolute	=	0.156 m.
Standard error of the estimate	=	0.035 m.
Root mean squared	=	0.182 m.
Normalized RMS	=	3.316 %

ค่าเฉลี่ยรากที่สองที่ได้จากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองช่วงฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 0.182 เมตร ซึ่งไม่เกิน 0.5 เมตรถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ และมีค่าปรกติของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 3.32%

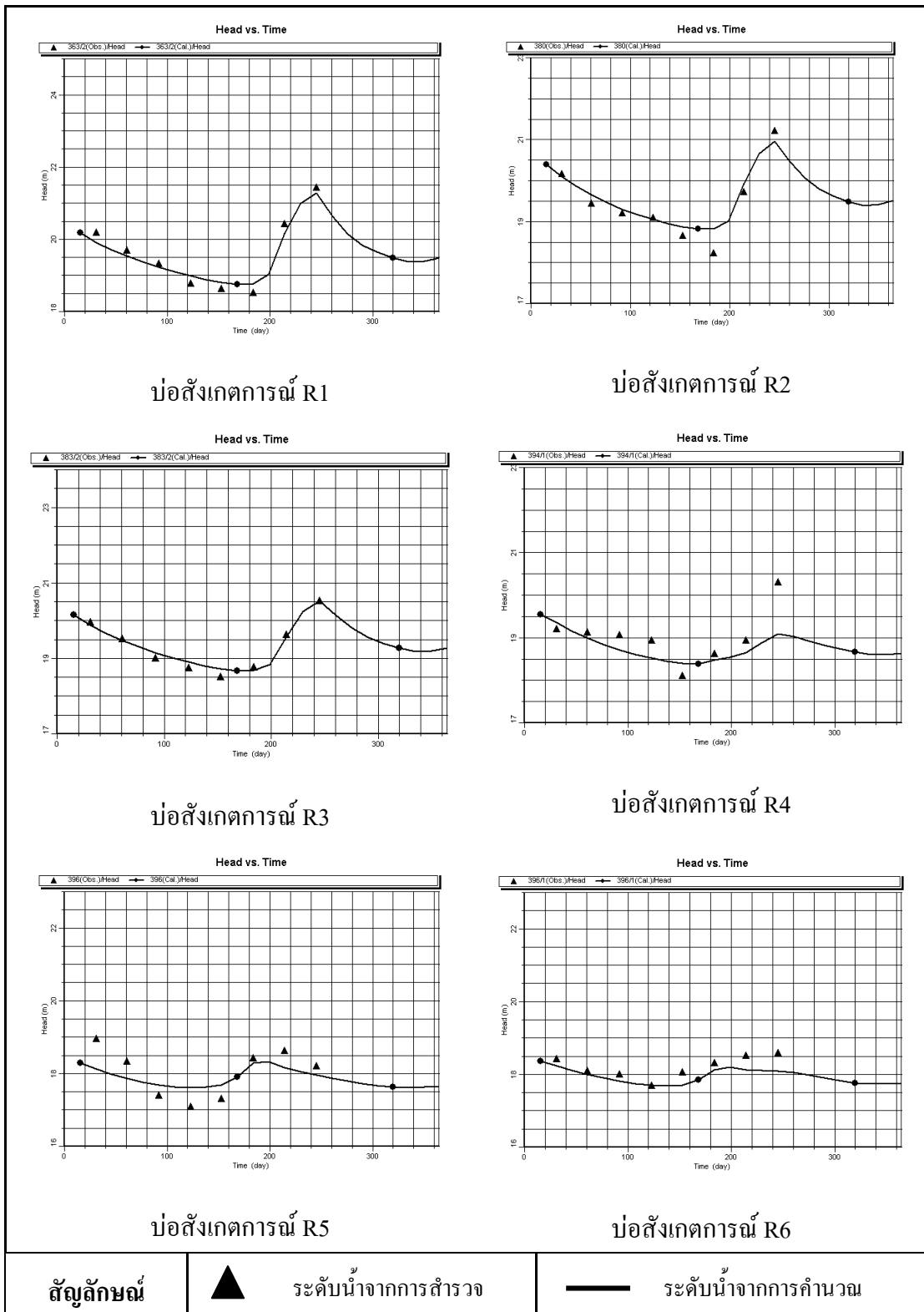


รูปที่ 5-5 ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา 8 เดือน (ธันวาคม พ.ศ. 2545)

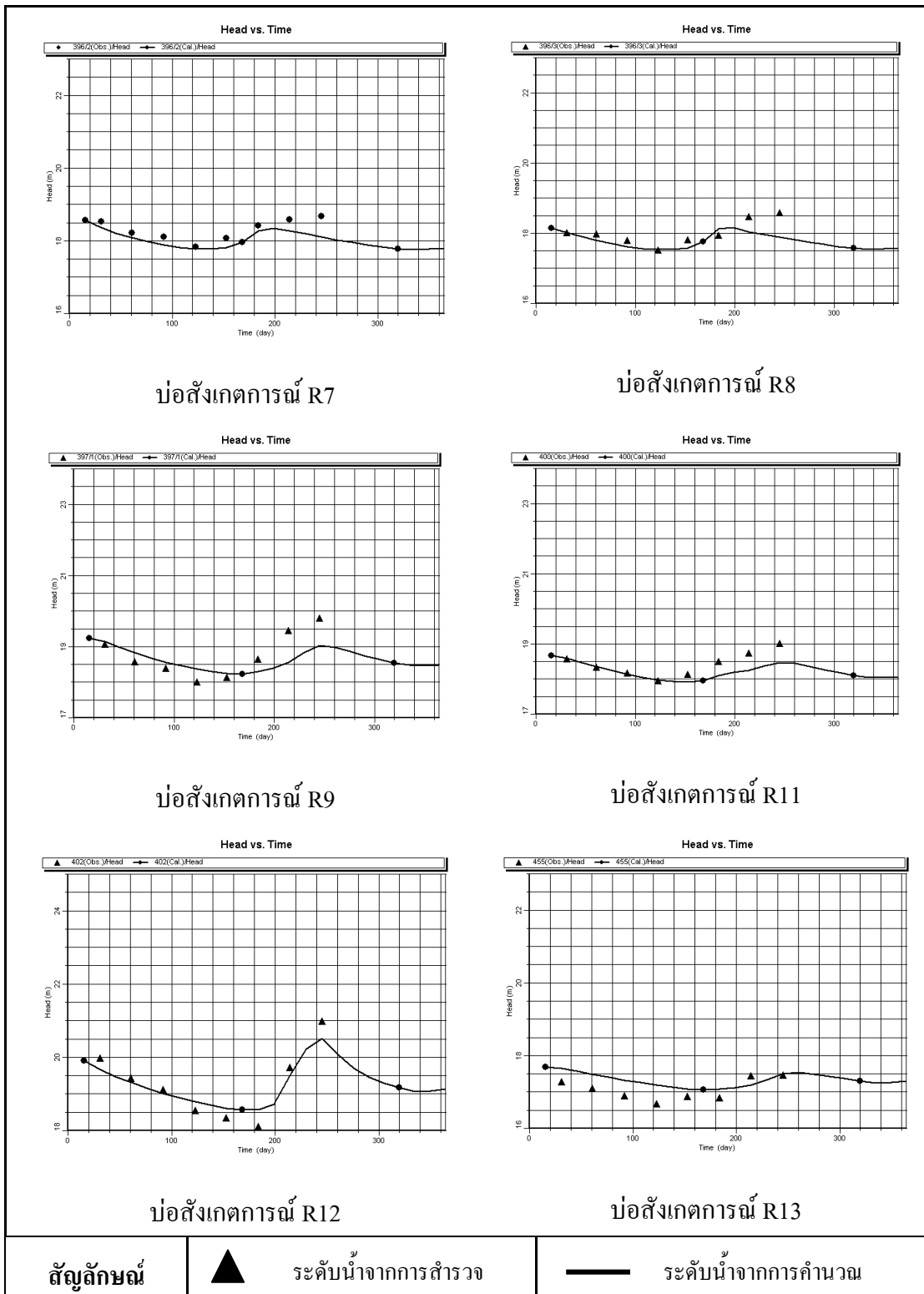
ผลจากการจำลองการไหลพบว่า การไหลแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีรูปแบบคล้ายกับการไหลแบบสถานะคงที่ กล่าวคือทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางทิศตะวันตกบริเวณที่เป็นที่ราบเชิงเขาร่อนนา-สรวงจันทร์ ผ่านชุมชนร้อนพิบูลย์ บริเวณหมู่ที่ 12 ลงมาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านพื้นที่ศึกษาในหมู่ที่ 13 แล้ววกอ้อมขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ระดับน้ำที่ได้จากการจำลองการไหลแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา ของบ่อสังเกตการณ์ แต่ละบ่อ แสดงไว้ในรูปที่ 5-6 โดยได้เปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงจากบ่อสังเกตการณ์ในแต่ละช่วงเวลา

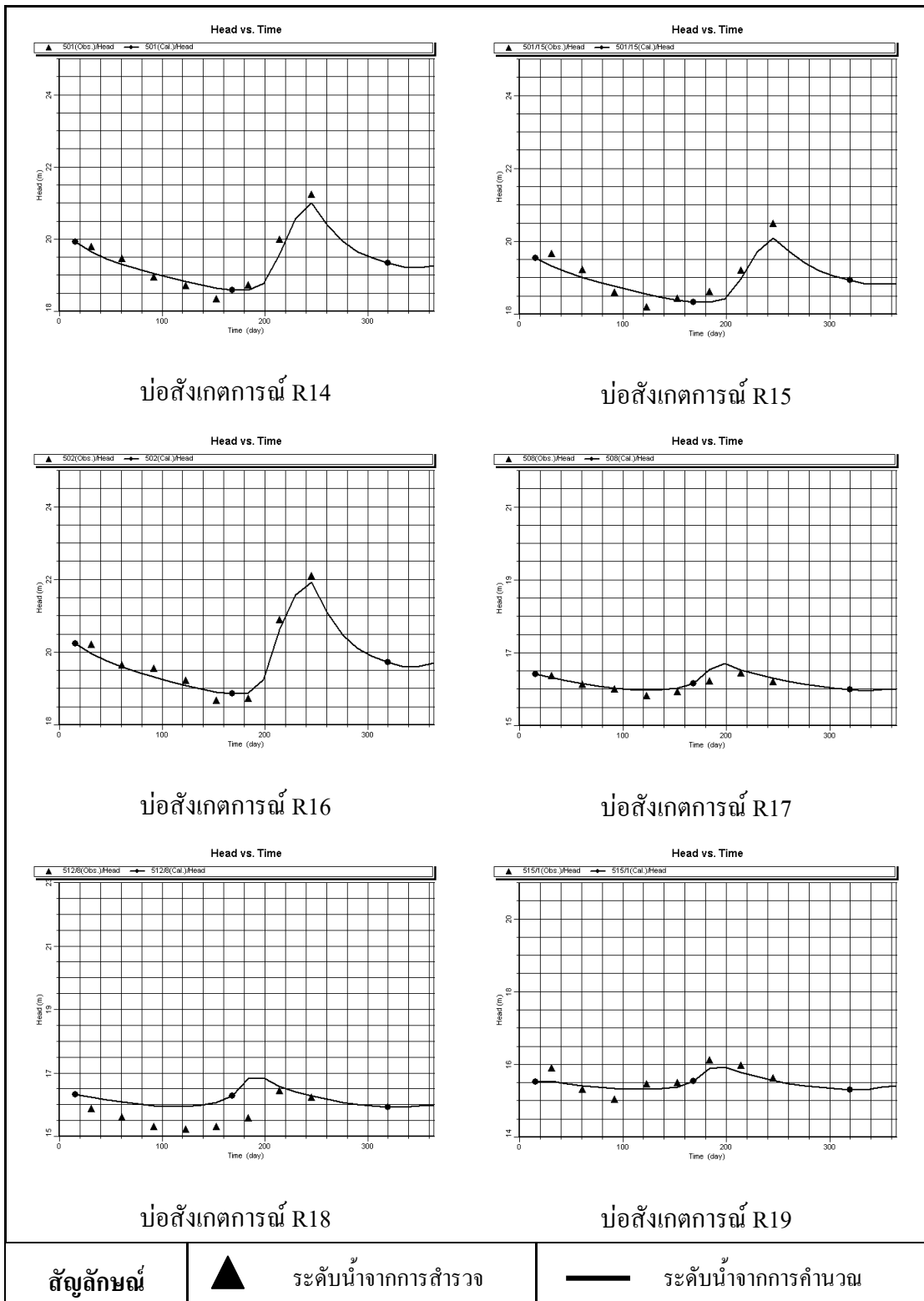
สมดุลของน้ำเฉลี่ยรายปีที่ได้จากแบบจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในช่วงเวลา 1 ปี แสดงไว้ในรูปที่ 5-7 จากข้อมูลสมดุลของน้ำพบว่า น้ำที่ไหลออกจากแบบจำลอง มาจากการไหลออกไปนอกระบบโดยผ่านทางขอบเขตระดับน้ำคงที่ และเก็บไว้ในระบบ โดยการเก็บกัก ส่วนน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจากการเติมน้ำจากน้ำฝน ไหลเข้ามาจากขอบเขตระดับน้ำคงที่ และมาจากการเก็บกัก ตามลำดับดังตารางที่ 5-2



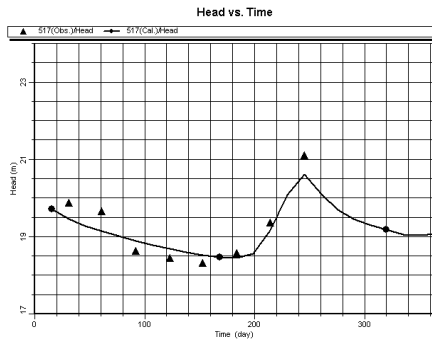
รูปที่ 5-6 ผลการจำลองเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในบ่อสังเกตการณ์ ในแต่ละบ่อ



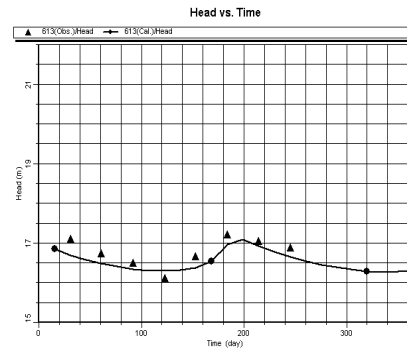
รูปที่ 5-6 (ต่อ)



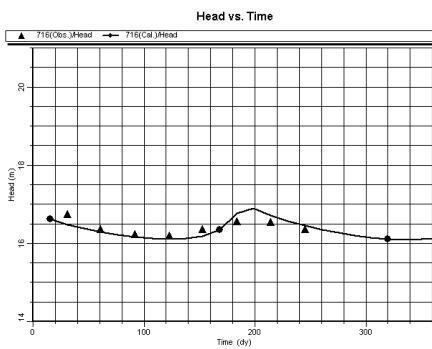
รูปที่ 5-6 (ต่อ)



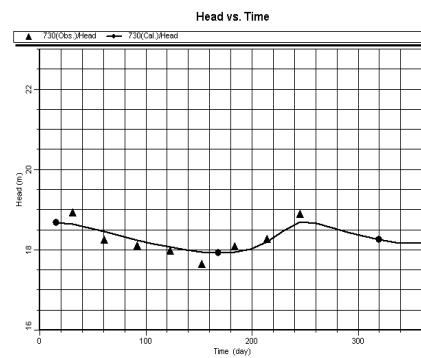
บ่อสังเกตการณ์ R20



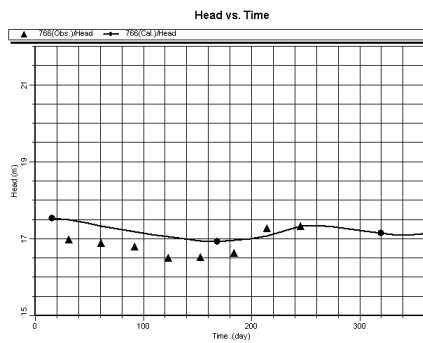
บ่อสังเกตการณ์ R21



บ่อสังเกตการณ์ R22



บ่อสังเกตการณ์ R23



บ่อสังเกตการณ์ R24

สัญลักษณ์

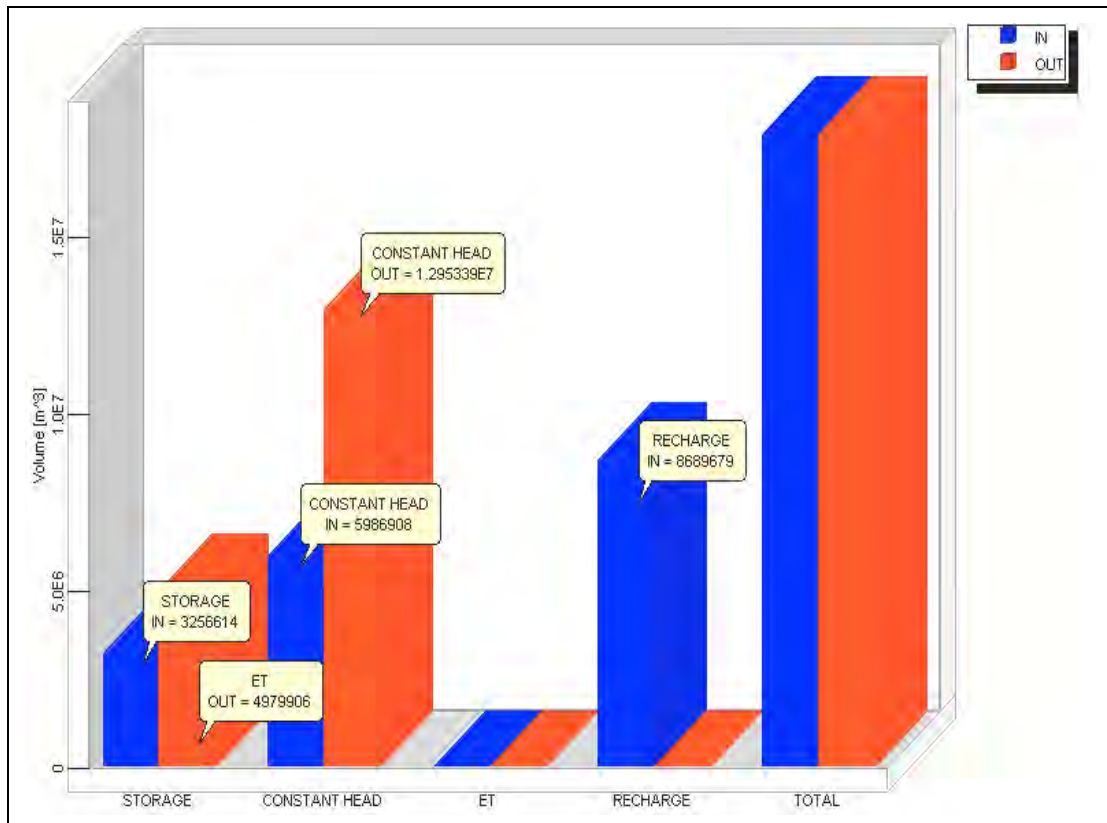


ระดับน้ำจากการสำรวจ



ระดับน้ำจากการคำนวณ

รูปที่ 5-6 (ต่อ)



รูปที่ 5-7 กราฟสมดุลน้ำจากการจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (1 ปี)

ตารางที่ 5-2 สมดุลของน้ำใต้ดินจากการจำลองในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม./ปี)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม./ปี)
Storage	3,256,614	4,979,906
Constant Head	5,986,907	12,953,392
Recharge	8,689,679	0
Total	17,933,200	17,933,298
IN - OUT = -98.00 m ³ /year		
Percent Discrepancy = 0.00 %		

Storage = การเก็บกักน้ำในชั้นหินให้น้ำ

Constant Head = ขอบเขตระดับน้ำคงที่

Recharge = การเติมน้ำจากน้ำฝน

5.1.3 วิจารณ์ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

จากการจำลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหินให้น้ำชั้นบนมีค่าหลากหลายมาก ทั้งนี้เนื่องจากชั้นน้ำที่ทำการศึกษานี้คือชั้นตะกอนเชิงเขาและตะกอนน้ำพายุควอเทอนารี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวปะปนกันอยู่ ไม่สามารถระบุได้แน่นอนว่าบริเวณใดเป็นดินเหนียว บริเวณใดเป็นทรายหรือกรวด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำที่ได้ทำการนำเข้าไปในแบบจำลอง จะได้จากผลของการสุบทดสอบ และช่วงค่าที่เป็นไปได้ของดินแต่ละชนิด นอกจากนี้บ่อสังเกตการณ์ตรวจวัดในแบบจำลองนี้อยู่ใกล้กันมาก ระดับพื้นดินค่อนข้างราบ และระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แต่ละบ่อมีค่าใกล้เคียงกัน จึงจำเป็นต้องใส่ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านหลายค่า ซึ่งอาจจะแตกต่างกันมากในบางจุด เพื่อให้ระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแต่ละบ่อสังเกตการณ์ มีค่าใกล้เคียงกับระดับน้ำที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด

ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากทั้งสองกรณีพบว่า น้ำมีทิศทางการไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางทิศตะวันตก ลงมาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ แล้ววกอ้อมขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือแล้วออกสู่ภายนอกระบบ ทั้งนี้เพราะว่า ชั้นน้ำที่ทำการศึกษาเป็นชั้นน้ำแบบไร้แรงดัน ซึ่งที่มีการไหลตามสภาพภูมิประเทศ ทางด้านทิศตะวันตกซึ่งเป็นต้นน้ำจะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง น้ำจะไหลอยู่ภายในชั้นหินให้น้ำชั้นแรกซึ่งมีการทับถมของพวกตะกอนกรวดทรายอยู่มาก แล้วไหลต่อมายังที่ราบลุ่มระหว่างหุบเขาซึ่งวางตัวมาทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านมาถึงที่ราบทางด้านทิศตะวันออกของตัวอำเภอซึ่งมีระดับต่ำกว่า ทำให้น้ำใต้ดินไหลวกกลับไปยังที่ราบนี้ จากนั้นจึงไหลออกจากระบบไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือออกสู่อ่าวไทยต่อไป

เมื่อพิจารณาผลจากการวิเคราะห์สมดุลน้ำพบว่า น้ำที่ไหลเข้าระบบส่วนใหญ่เป็นน้ำฝน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นชั้นน้ำที่อยู่บนสุด ระดับน้ำจะได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนโดยตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาพื้นที่รับน้ำร่วมกับปริมาณน้ำฝน พบว่ามีปริมาณน้ำมากกว่า น้ำที่ไหลเข้ามาจากระบบหรือน้ำที่ไหลออกจากแหล่งกักเก็บในชั้นน้ำเอง นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำมีการไหลออกไปสู่ภายนอกโดยผ่านทางขอบเขตระดับน้ำคงที่มากกว่าปริมาณที่เก็บในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากชั้นน้ำที่ทำการศึกษาคือชั้นน้ำไร้แรงดัน น้ำจะมีการไหลตามสภาพภูมิประเทศ ซึ่งสามารถไหลได้ง่ายกว่าการเก็บกักอยู่ในระบบ

5.2 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนู

การจำลองการแพร่กระจายของสารหนู ได้พิจารณาถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของสารหนูในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การเคลื่อนที่เนื่องจากการแพร่กระจายซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นตัวแปรสำคัญ การดูดซับสารหนูของดินในการจำลองนี้ใช้การดูดซับแบบ Freundlich ซึ่งมีค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich และ ค่า Freundlich exponent เป็นตัวแปร นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนที่เนื่องจากการพาไปโดยมวลน้ำ ซึ่งมีความเร็วของน้ำใต้ดินที่ได้มาจากการจำลองการไหลเป็นตัวแปร

ในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง จะใช้ข้อมูลปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ 22 บ่อ โดยใช้ข้อมูลในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2545 จำนวน 8 ชุด ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-4 (บทที่ 3) ผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของชั้นหินให้น้ำ ค่าคงที่ในการดูดซับในรูปแบบการดูดซับของ Freundlich และค่า bulk density ของดิน โดยปรับเพิ่มหรือลด จนได้ค่าปริมาณสารหนูที่คำนวณใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ โดยพิจารณาจากค่าปรกติค่าเฉลี่ยรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) จากการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีค่าไม่เกิน 7% ซึ่งมีผลดังนี้

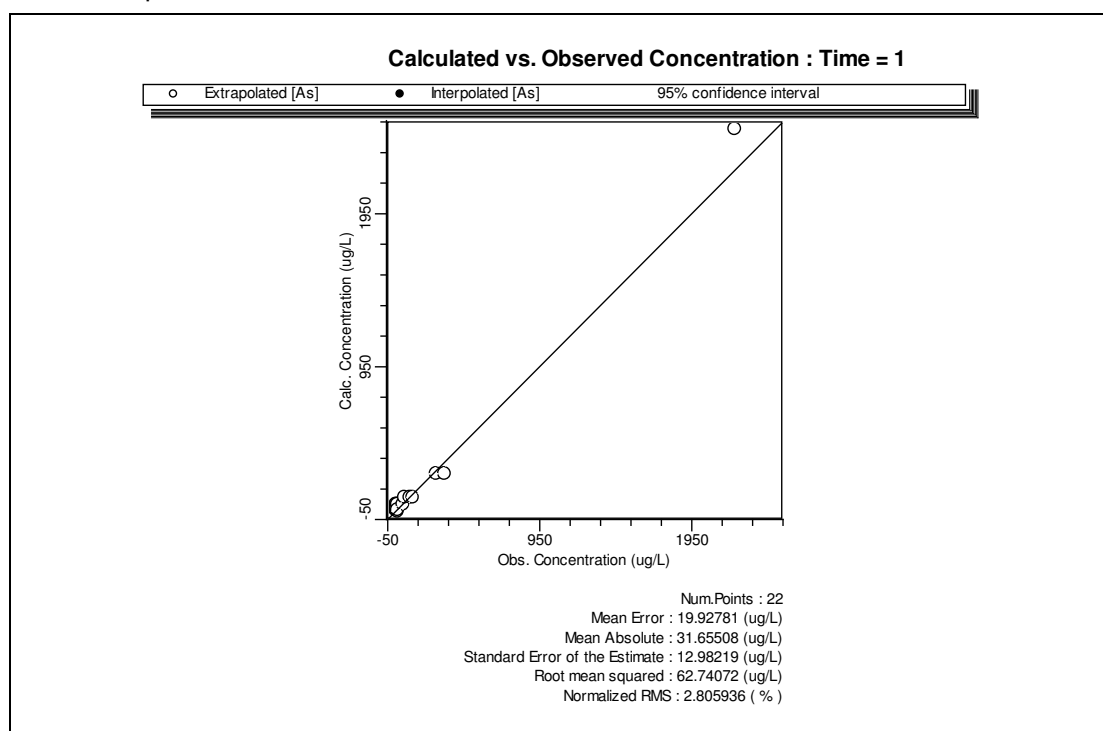
5.2.1 ผลการจำลองในสภาวะคงที่

ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะคงที่ แสดงไว้ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินที่คำนวณได้ กับปริมาณสารหนูที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากบ่อสังเกตการณ์ ในเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2545 ดังแสดงในรูปที่ 5-8 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง ดังนี้

Mean error	= 19.93 $\mu\text{g/L}$
Mean absolute	= 31.65 $\mu\text{g/L}$
Standard error of the estimate	= 12.98 $\mu\text{g/L}$
Root mean squared	= 62.74 $\mu\text{g/L}$
Normalized RMS	= 2.81 %

จากผลการจำลองพบว่า ค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 62.74 ไมโครกรัมต่อลิตร และ ค่าปรกติค่าเฉลี่ยราคาที่สอง มีค่า 2.81% ซึ่งไม่เกิน 7% จึงถือว่า แบบจำลองนี้ได้รับการปรับเทียบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ผลการจำลองนี้ เป็นผลการจำลองแบบสภาวะคงที่ ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา แบบจำลองนี้จึงเป็นการจำลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสภาพขอบเขตและตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ เพื่อนำไปใช้ต่อในการทำแบบจำลองในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

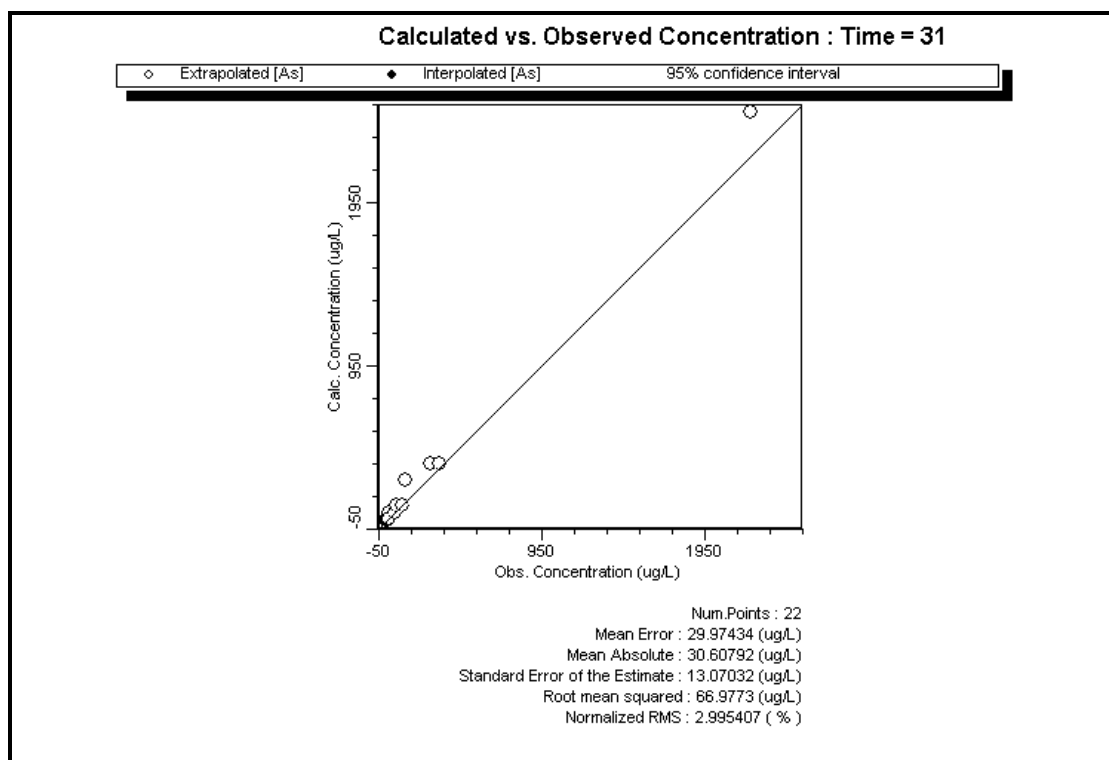


รูปที่ 5-8 ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะคงที่

5.2.2 ผลการจำลองในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ส่วนผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้แสดงไว้สองช่วงเวลาเช่นเดียวกับการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน คือ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-9 ซึ่งถือเป็นตัวแทนของปริมาณสารหนูในช่วงฤดูร้อน มีความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วิเคราะห์ได้ ดังนี้

Mean error	= 29.97 µg/L
Mean absolute	= 30.61 µg/L
Standard error of the estimate	= 13.07 µg/L
Root mean squared	= 66.98 µg/L
Normalized RMS	= 2.99 %

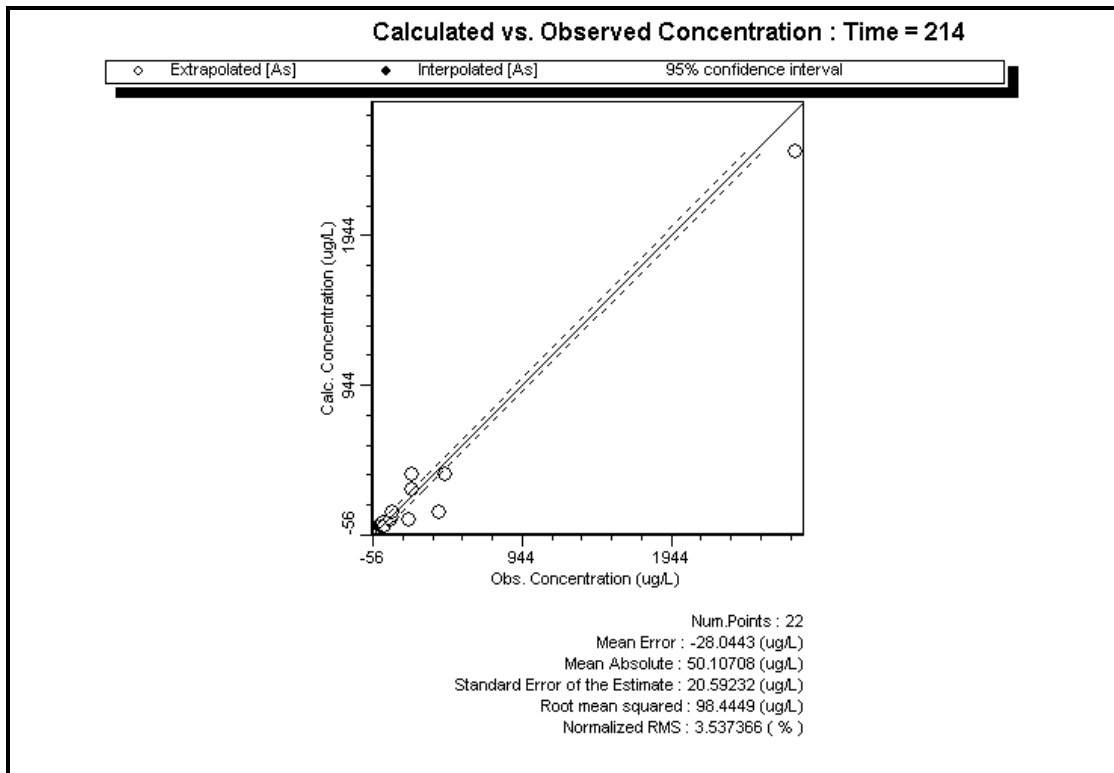


รูปที่ 5-9 ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ระยะเวลา 1 เดือน (พฤษภาคม พ.ศ. 2545)

และผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-10 ซึ่งถือเป็นตัวแทนของปริมาณสารหนูในช่วงฤดูฝน มีความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วิเคราะห์ได้ ดังนี้

Mean error	= -28.04 $\mu\text{g/L}$
Mean absolute	= 50.11 $\mu\text{g/L}$
Standard error of the estimate	= 20.59 $\mu\text{g/L}$
Root mean squared	= 98.44 $\mu\text{g/L}$
Normalized RMS	= 3.54%

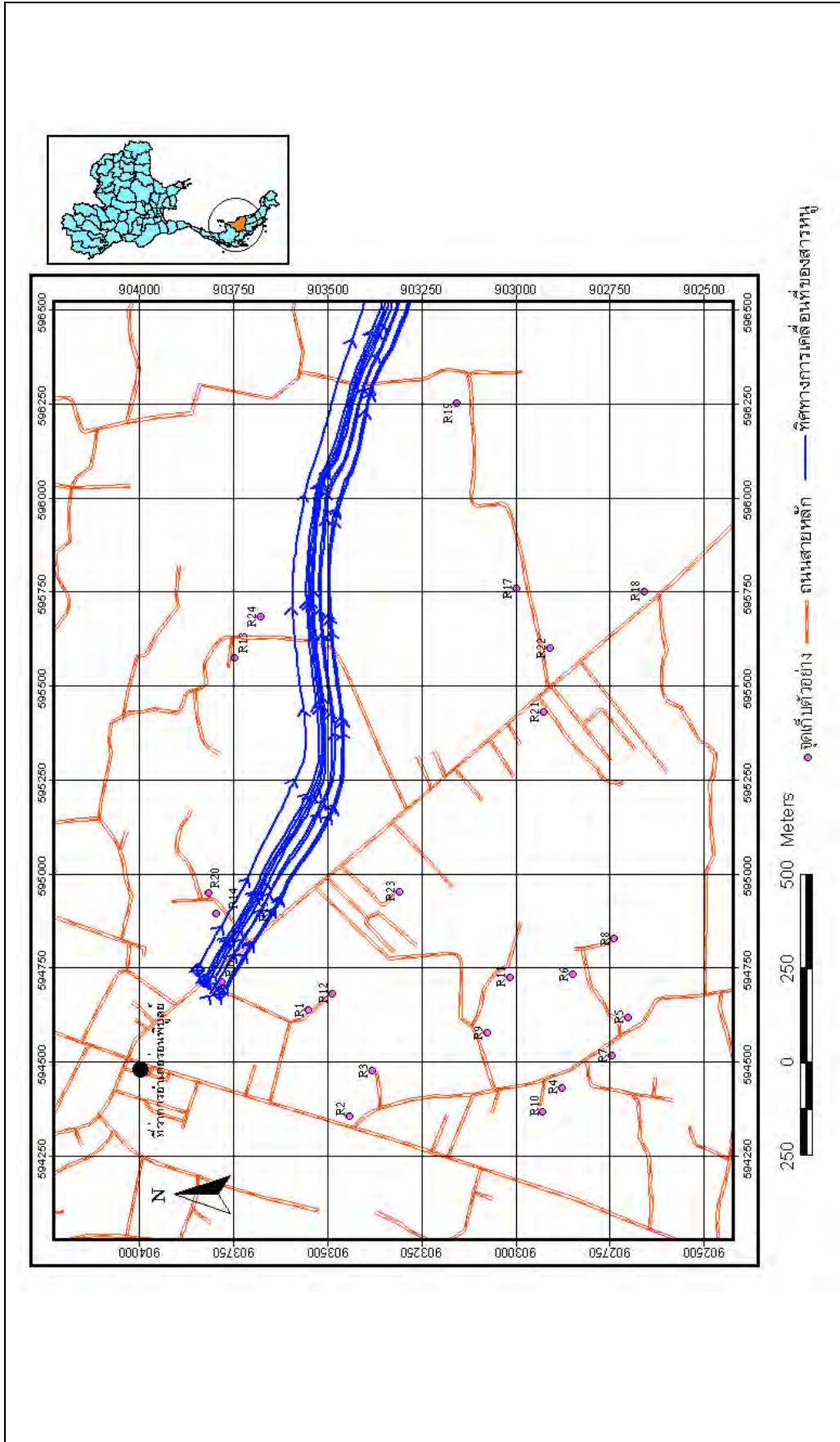
จากผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ได้แสดงไว้ทั้งสองฤดูกาลพบว่าค่าปรกติของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน มีค่า 2.99% ในเดือนพฤษภาคม ตัวแทนของฤดูร้อน และ 3.54% ในเดือนธันวาคม ซึ่งถือเป็นตัวแทนของฤดูฝน ซึ่งทั้งสองช่วงเวลามีค่าดังกล่าวไม่เกิน 7% จึงถือว่าสามารถยอมรับแบบจำลองนี้และนำไปทำนายผลต่อไปได้



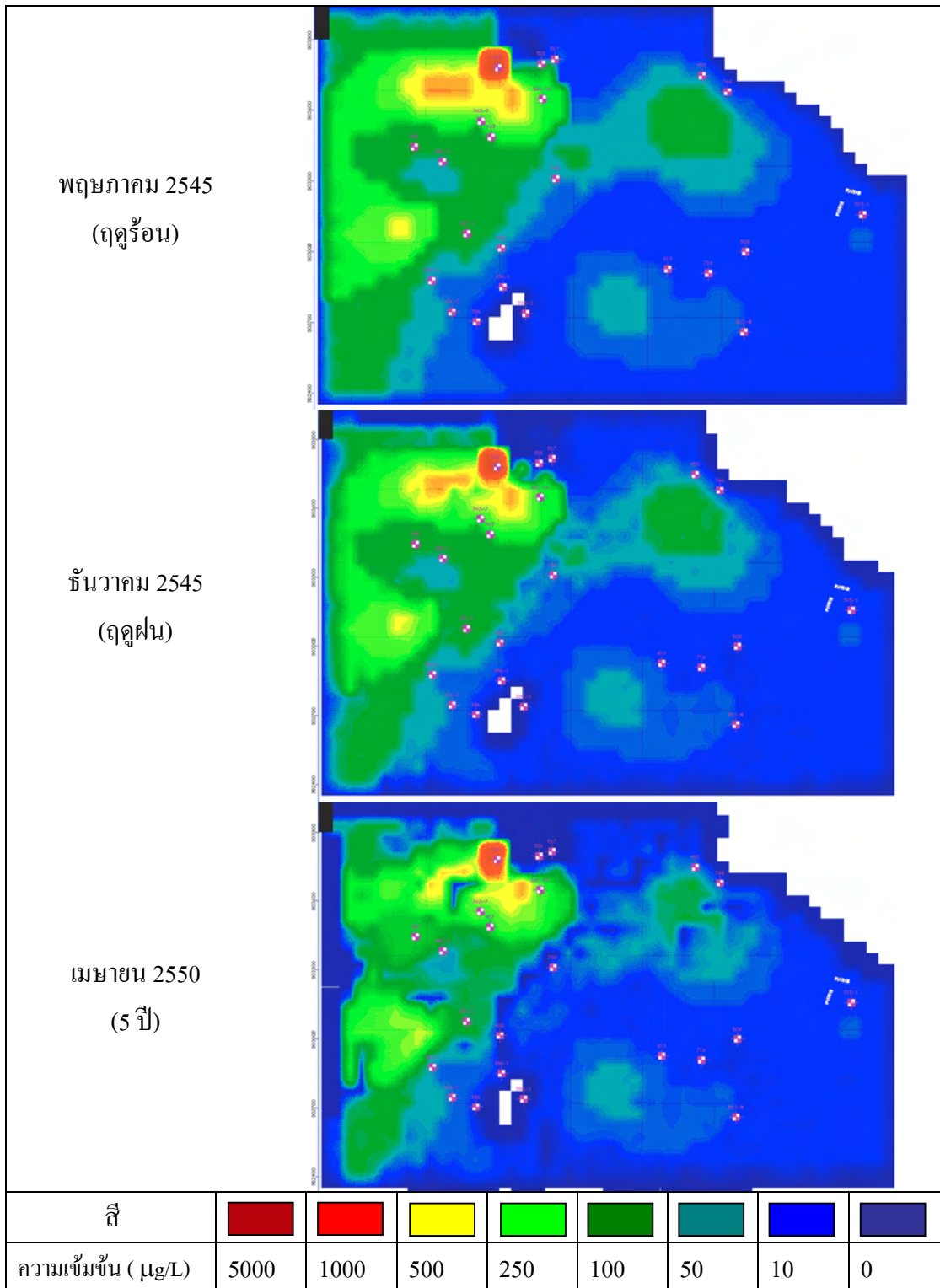
รูปที่ 5-10 ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ระยะเวลา 8 เดือน (ธันวาคม พ.ศ. 2545)

เมื่อกำหนดให้ บ่อสังเกตการณ์ R16 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารหนูสูงที่สุดเป็นแหล่งกำเนิดของสารหนู ทำการจำลองเพื่อดูเส้นทางการเคลื่อนที่ (path line) ของสารหนูจากจุดนี้พบว่าสารหนูในน้ำใต้ดินมีเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5-11 ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่นี้จะมีผลจากการไหลของน้ำใต้ดินเพียงอย่างเดียว การที่เส้นทางการเคลื่อนที่มีการหักมุมโค้งงอ เป็นผลมาจากลักษณะของดินที่มีความยากง่ายในการซึมผ่านต่างกัน ตามลักษณะของดินแต่ละจุดในพื้นที่

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดิน เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5-12 ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไปสารหนูมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และโดยส่วนมากมีแนวโน้มลดลงโดยดูจากบริเวณที่มีสีเขียวจะค่อยๆ กลายเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรจง วิทยวิโรศักดิ์ และตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์ (2540) ยกเว้น บริเวณที่อยู่ในพื้นที่ที่น้ำใต้ดินมีการไหลผ่านบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารหนูมาก น้ำใต้ดินจะค่อยๆ ชะพาสารหนูให้แพร่กระจายตามทิศทางการไหลของน้ำทำให้พื้นที่ที่อยู่ท้ายน้ำจะความเข้มข้นของสารหนูสูงขึ้น



รูปที่ 5-11 แผนภาพแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของสารหนูจากปอสังเกตการณ์ R16



รูปที่ 5-12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดินจากการคำนวณ เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป

5.2.3 วิจารณ์ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู

จากการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู พบว่า สารหนูมีการแพร่กระจายได้น้อยมากในสภาวะปกติ สามารถดูได้จากค่าของสารหนูที่คำนวณได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าสารหนูตั้งต้น ซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ที่พบว่า ค่าสารหนูในแต่ละจุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งอาจจะเกิดได้จากหลากหลายสาเหตุ เช่น

ในการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละบ่อสังเกตการณ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ เนื่องจากต้องการสภาพน้ำในบ่อในขณะนั้นซึ่งเป็นสภาพตามธรรมชาติ จึงไม่ได้ทำการสูบน้ำออกมาก่อน และน้ำในบ่อก็ไม่ได้มีการใช้ จึงอาจทำให้เกิดการตกตะกอน หรือเกิดสภาพสมดุลของสารหนูในน้ำ ทำให้ค่าของสารหนูที่ตรวจวัดได้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

หรือเป็นผลจากกระบวนการทางธรณีเคมี เนื่องจากงานวิจัยของ JICA (1999) ระบุว่า ดินในพื้นที่ศึกษา มีสารประกอบจำพวกเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ ซัลไฟด์ และสารประกอบอินทรีย์ อยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ สามารถดูดซับสารหนูไว้ได้ เมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเดชัน-รีดักชันและสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ซึ่งทั้งสองสภาวะนี้เป็นปัจจัยที่ควบคุมสภาวะการตกตะกอนและการละลายรวมถึงการดูดซับต่างๆ จึงทำให้สารหนูถูกตรึงไว้ในบริเวณนั้นได้ง่าย

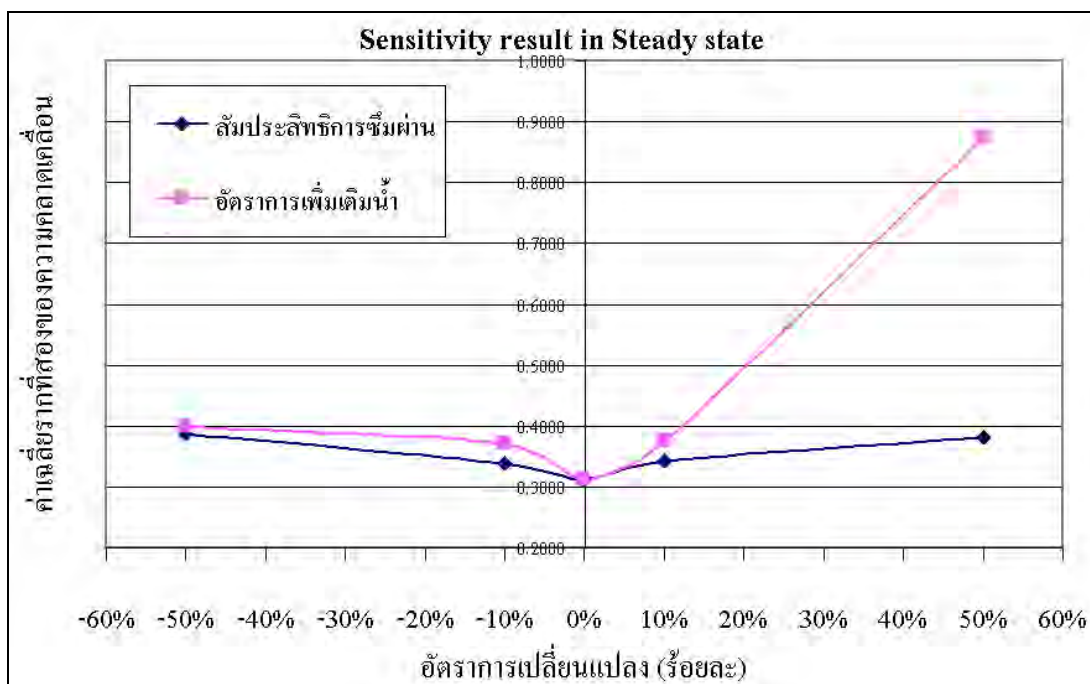
5.3 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองเป็นการจำลองซ้ำ โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองหลังจากที่ได้มีการปรับแก้ค่าสมบูรณแล้ว เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าแต่ละพารามิเตอร์มีผลต่อแบบจำลองมากน้อยเพียงใด

5.3.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กรณีการจำลองในสภาวะคงที่

ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะคงที่นี้ ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยทำการเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ร้อยละ 10 และร้อยละ 50 ครั้งละพารามิเตอร์ เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลของชุดข้อมูลปรับเทียบสมบูรณ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์กับค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำ

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะคงที่ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-13 ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 5-3 พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแบบจำลองมากที่สุด คือ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ ตามลำดับ



รูปที่ 5-13 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะคงที่

ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในสภาวะคงที่ (แสดงค่า RMS, m)

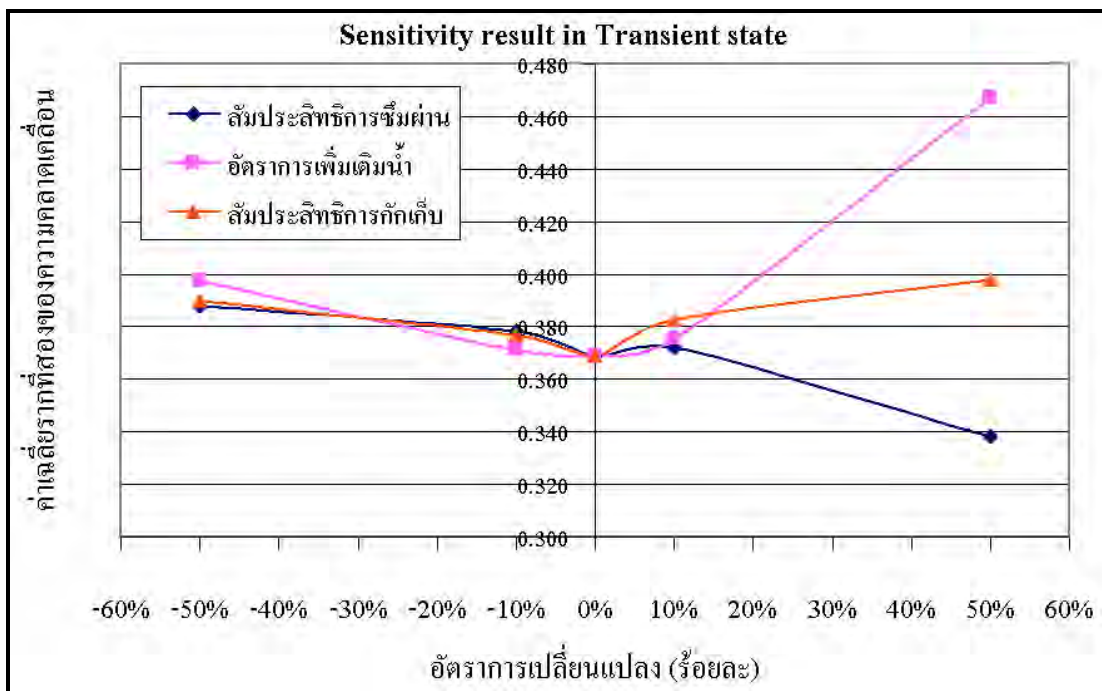
อัตราการเปลี่ยนแปลง	-50%	-10%	0	10%	50%
สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	0.388	0.338	0.313	0.342	0.382
อัตราการเพิ่มเติมน้ำ	0.399	0.371	0.313	0.376	0.873

5.3.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กรณีการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำและอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยทำการเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ร้อยละ 10 และร้อยละ 50 ครั้งละพารามิเตอร์ แล้วเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลของชุดข้อมูลปรับเทียบสมบูรณ์ โดย

พิจารณาค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดสอบในกรณีสภาวะคงที่

ผลการทดสอบ (รูปที่ 5-14) พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองมากที่สุด คืออัตราการเพิ่มเติม น้ำ รองลงมาคือสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำมีผลต่อแบบจำลองน้อยสุด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-4



รูปที่ 5-14 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

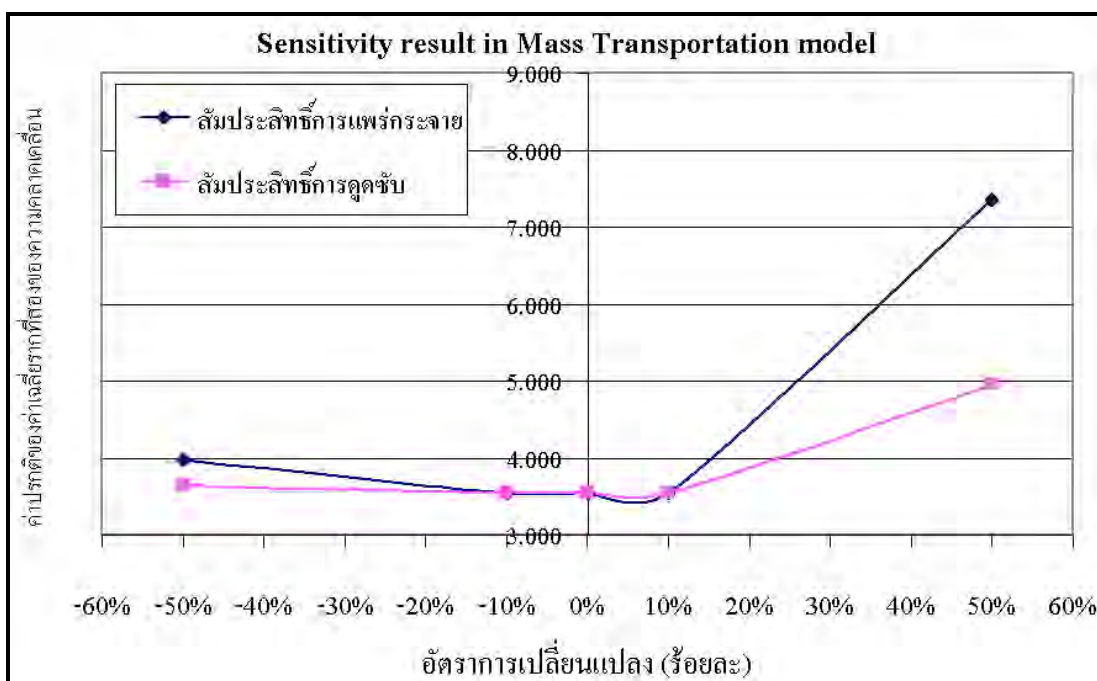
ตารางที่ 5-4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง ในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (แสดงค่า RMS, m)

อัตราการเปลี่ยนแปลง	-50%	-10%	0	10%	50%
สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	0.388	0.378	0.369	0.372	0.338
อัตราการเพิ่มเติม น้ำ	0.397	0.371	0.369	0.376	0.467
สัมประสิทธิ์การกักเก็บ	0.390	0.377	0.369	0.383	0.398

5.3.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กรณีการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กรณีการแพร่กระจายของสารหนูในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ โดยทำการเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ร้อยละ 10 และร้อยละ 50 ครั้งละพารามิเตอร์ แล้วเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลของชุดข้อมูลเปรียบเทียบสมมุติ โดยพิจารณาค่าปรกติของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน

ผลการทดสอบ (รูปที่ 5-15) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-5



รูปที่ 5-15 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการแพร่กระจายของสารหนู (แสดงค่า N-RMS, %)

อัตราการเปลี่ยนแปลง	-50%	-10%	0	10%	50%
สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย	3.978	3.537	3.537	3.537	7.352
สัมประสิทธิ์การดูดซับ	3.647	3.537	3.537	3.537	4.950

5.3.4 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

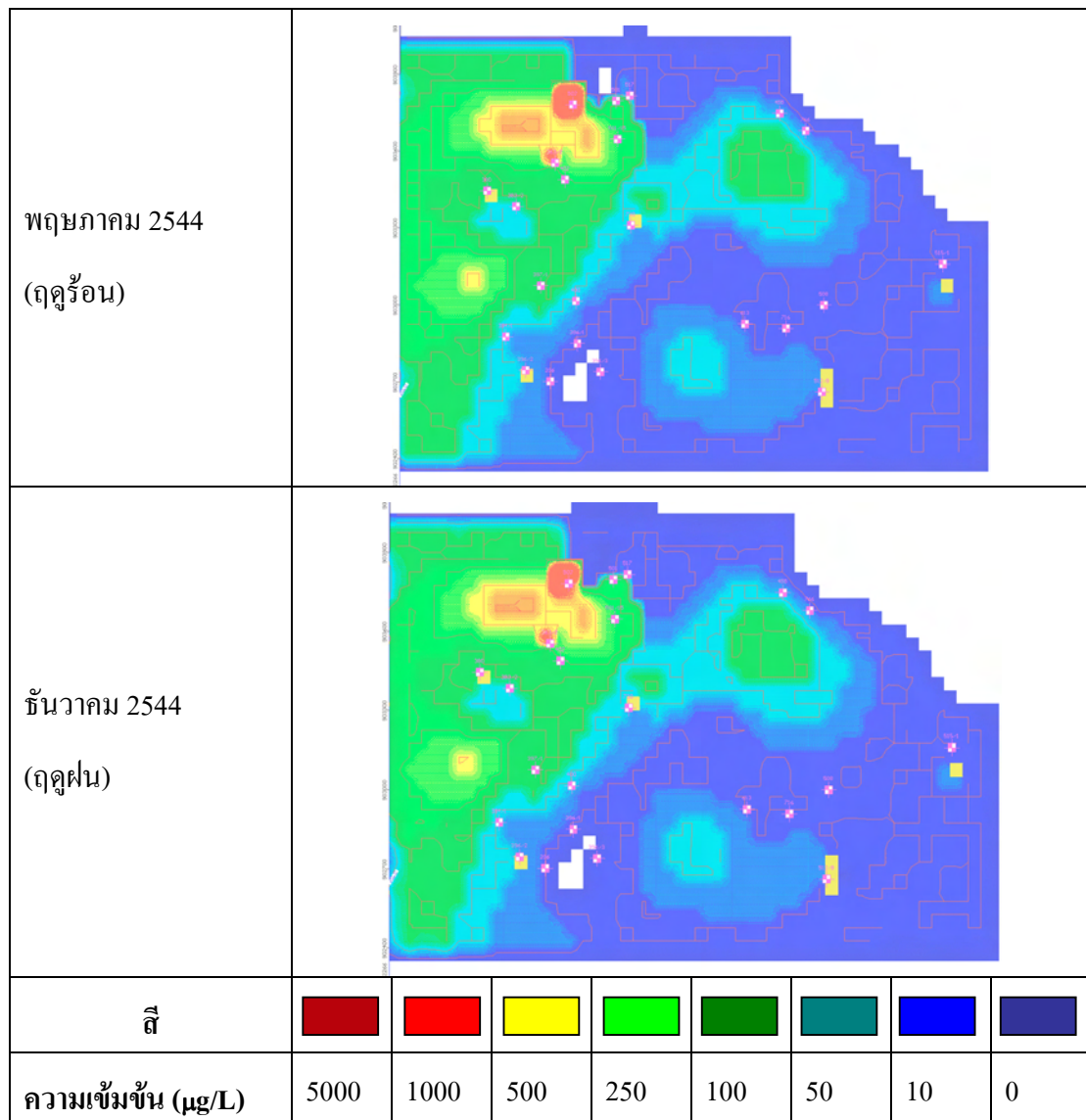
ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองทั้งสองกรณี พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลองมากที่สุดคือ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ ซึ่งในที่นี้หมายถึง ปริมาณการเติมน้ำอันเนื่องมาจากน้ำฝน จากกราฟจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนจะสูงมากในกรณีที่มีการเพิ่มปริมาณน้ำฝนมากขึ้นอีกร้อยละ 50 หมายถึงว่าค่าระดับน้ำที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าระดับที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการกำหนดขอบเขตทางด้านทิศตะวันออกของแบบจำลองซึ่งเป็นขอบเขตที่น้ำไหลออกให้เป็นระดับน้ำคงที่ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำฝนมากขึ้นทำให้น้ำที่เข้าสู่แบบจำลองมีปริมาณมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันระดับน้ำที่ได้ทำการกำหนดค่าไว้ในบริเวณที่เป็นขอบเขตระดับน้ำคงที่ทางด้านทิศตะวันออกยังคงเท่าเดิม น้ำที่ไหลออกจากระบบจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่เดิมเข้ามา ส่งผลให้ระดับน้ำในแบบจำลองที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงขึ้น

ส่วนการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอีกร้อยละ 50 ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่าค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนจะลดลงต่ำกว่าค่าอ้างอิง ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่ได้แบ่งชนิดของชั้นหินให้น้ำออกเป็น 16 ชนิด ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง หมายถึงชั้นหินให้น้ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน 16 ค่า แต่ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ได้ทำการปรับค่าทั้ง 16 ค่าพร้อมกัน จึงมีโอกาสนำให้ระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในบางจุด มีค่าใกล้เคียงกับระดับน้ำที่ได้จากการสำรวจมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลง และอาจเกิดจากการเปรียบเทียบแบบจำลองในตอนแรก ที่ได้กำหนดไว้ว่าค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 0.5 เมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองจนได้ว่าค่าเฉลี่ยราคาที่สองของความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.5 เมตรแล้วจึงหยุดทำการปรับ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จึงอาจไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด แต่เป็นค่าที่ทำให้แบบจำลองสามารถยอมรับได้

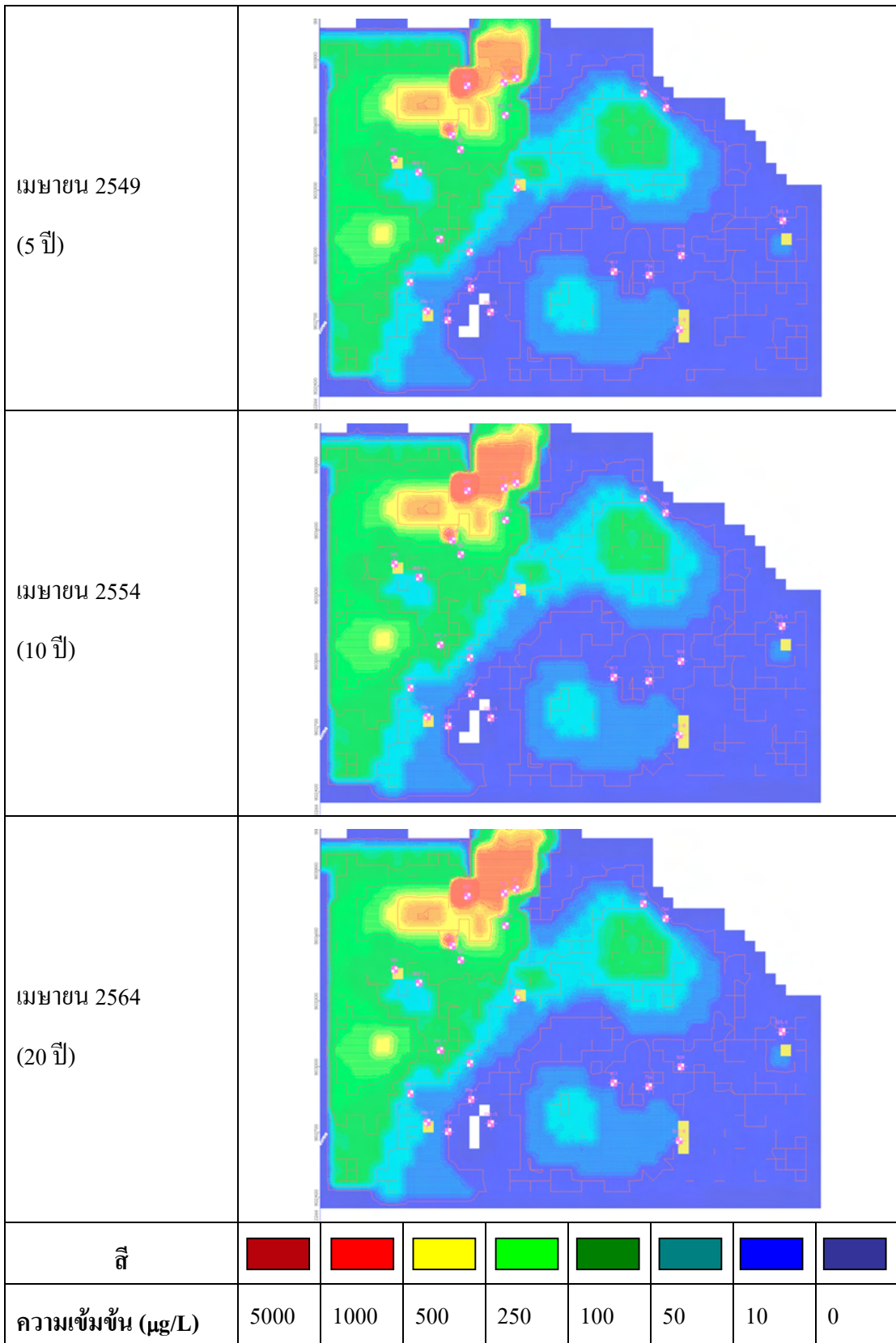
สำหรับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กรณีการจำลองแพร่กระจายของสารหนู พบว่าการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายขึ้นอีก ร้อยละ 10 ไม่มีผลต่อแบบจำลอง แต่เมื่อเพิ่มขึ้นอีก ร้อยละ 50 จะมีผลต่อแบบจำลองค่อนข้างมาก ทำให้ค่าความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของสารหนูที่คำนวณได้กับค่าความเข้มข้นของสารหนูที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำแตกต่างกันมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเร็วของน้ำที่สามารถพาสารหนูไปได้มากกว่าการดูดซับไว้ ทำให้สารหนูมีการแพร่กระจายได้เร็วขึ้น

5.4 ผลการจำลองในกรณีมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น

จากการที่สมมุติให้ในพื้นที่ศึกษา มีการใช้น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยการใส่บ่อสูบน้ำเข้าไป โดยให้เริ่มสูบน้ำออกตั้งแต่วันที่ 1 ในแบบจำลอง (1 เมษายน 2545) พบว่าสารหนูจะค่อยๆ แพร่กระจายไปตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแพร่กระจายจากบริเวณที่มีสารหนูสูงที่สุด ตามระยะเวลาที่ผ่านไป ดังรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 การแพร่กระจายของสารหนูในกรณีที่มีการใช้น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5-16 (ต่อ)

จากผลการจำลองในกรณีนี้ แสดงให้เห็นว่า สारหนูมีโอกาสที่จะแพร่กระจายออกไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำในระยะเวลา 20 ปีข้างหน้า ทำให้เกิดพื้นที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารหนูเพิ่มขึ้นได้ โดยการแพร่กระจายนี้จะแพร่ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

5.1	ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน.....	94
5.1.1	ผลการจำลองแบบสภาวะคงที่	94
5.1.2	การจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา	98
5.1.3	วิจารณ์ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน	106
5.2	การจำลองการแพร่กระจายของสารหนู.....	107
5.1.1	ผลการจำลองในสภาวะคงที่	107
5.1.2	ผลการจำลองในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา	108
5.1.3	วิจารณ์ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู	113
5.3	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง.....	113
5.3.1	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะคงที่	113
5.3.2	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา 114	
5.1.3	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองกรณีการจำลองการแพร่กระจายของสารหนู..	116
5.1.4	วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง.....	117
5.2	ผลการจำลองในกรณีที่ มีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น.....	118