บทที่ 4

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

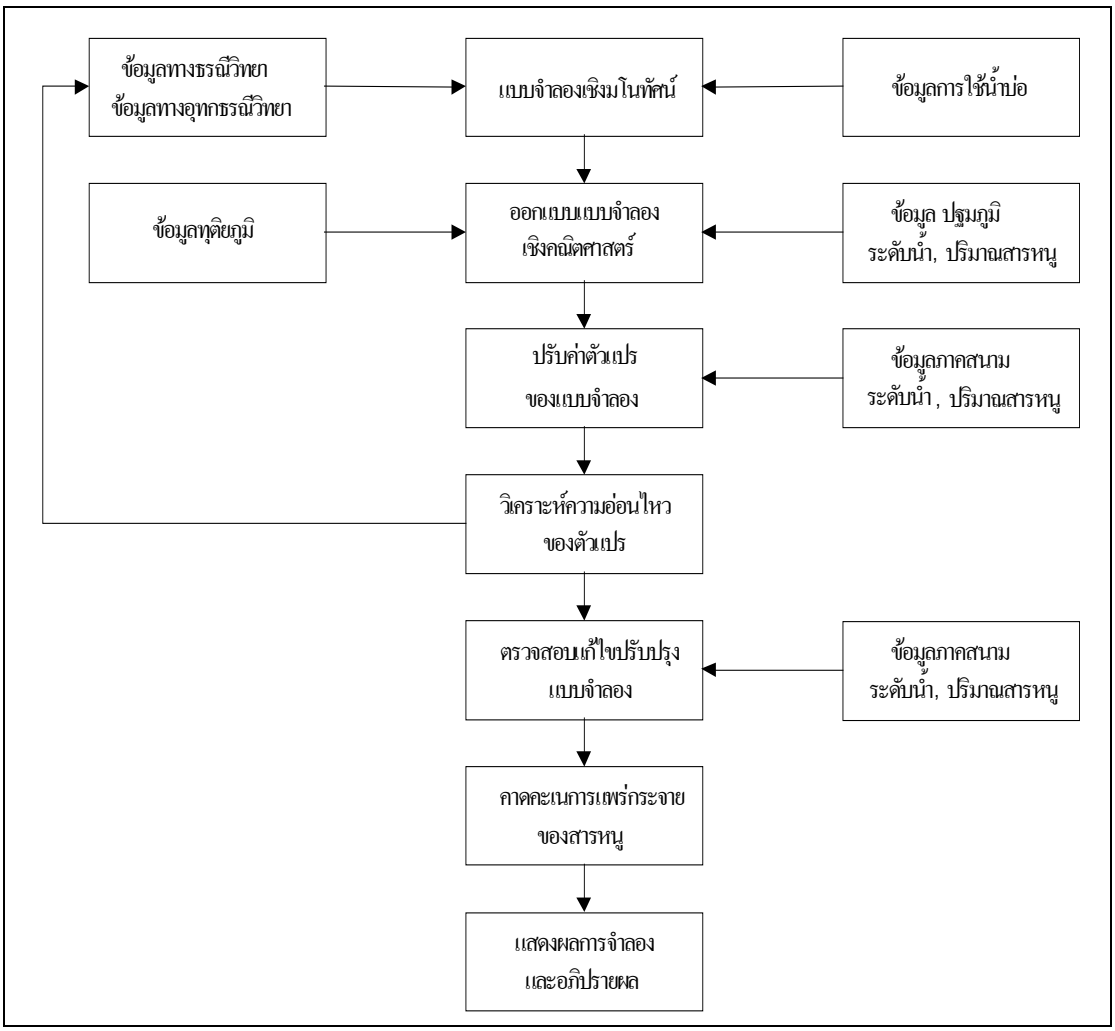
การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองขนาดและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน ในพื้นที่หมู่ที่ 13 ตำบลร่อนพิบูลย์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Visual MODFLOW Version 2.8.1

ขั้นตอนและวิธีการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดินแสดงไว้ในรูปที่ 4-1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา แบบจำลองเชิงมโนทัศน์อยู่ในรูปภาพตัดขวาง ที่แสดงลักษณะรูปร่าง ความหนาและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ) การกระจายตัวของระดับน้ำในหินให้น้ำ และการกระจายตัวของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน แบบจำลองเชิงมโนทัศน์นี้จะใช้กำหนดขนาดและขอบเขตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกริด (grid) ต่อไป

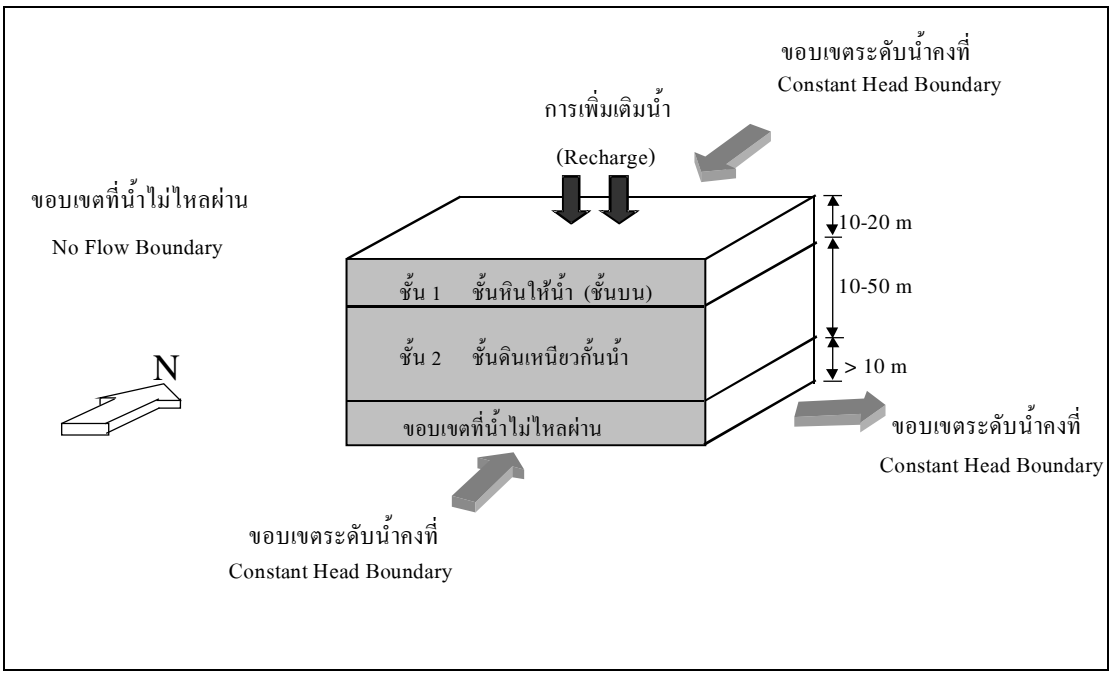
จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4-2) พบว่าชั้นน้ำมีความลึก 10-20 เมตร ประกอบด้วยกรวด ทราย และดินเหนียวของที่ราบตะกอนน้ำพา มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน น้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะไหลในแนวนอนในบริเวณที่มีค่าความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านมาก น้ำใต้ดินชั้นนี้มีการไหลจากพื้นที่ราบเชิงเขาร่อนนา-สรวงจันทร์ ผ่านชุมชนในเขตสุขาภิบาล ลงมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ แล้ววกอ้อมขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและไหลลงสู่อ่าวไทย ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.5 ถึง 1.0 เมตรต่อวัน (ธีรวัชร อินทรสูตร, 2531) และมีชั้นดินเหนียวซึ่งมีความหนาประมาณ 10 ถึง 40 เมตรเป็นชั้นกั้นน้ำ (JICA, 1999)



รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

4.2 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง

พื้นที่ที่ทำการจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปที่ 4-3) กำหนดโดยพิจารณาถึงความเหมาะสมทางกายภาพและอุทกวิทยาของสภาพขอบเขตของแบบจำลอง (boundary conditions) และตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่มีอยู่ มีขนาดประมาณ 20 ตร.กม. สามารถจัดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดิน มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีขนาดความกว้าง 6,500 ม. ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก จากพิกัด 590500-597000 E ความยาว 4,700 ม. ตามแนวเหนือ-ใต้ จากพิกัด 901800-906500 N และมีความสูงของระดับภูมิประเทศตั้งแต่ -25 ม.รทก. จนถึง 200 ม.รทก.

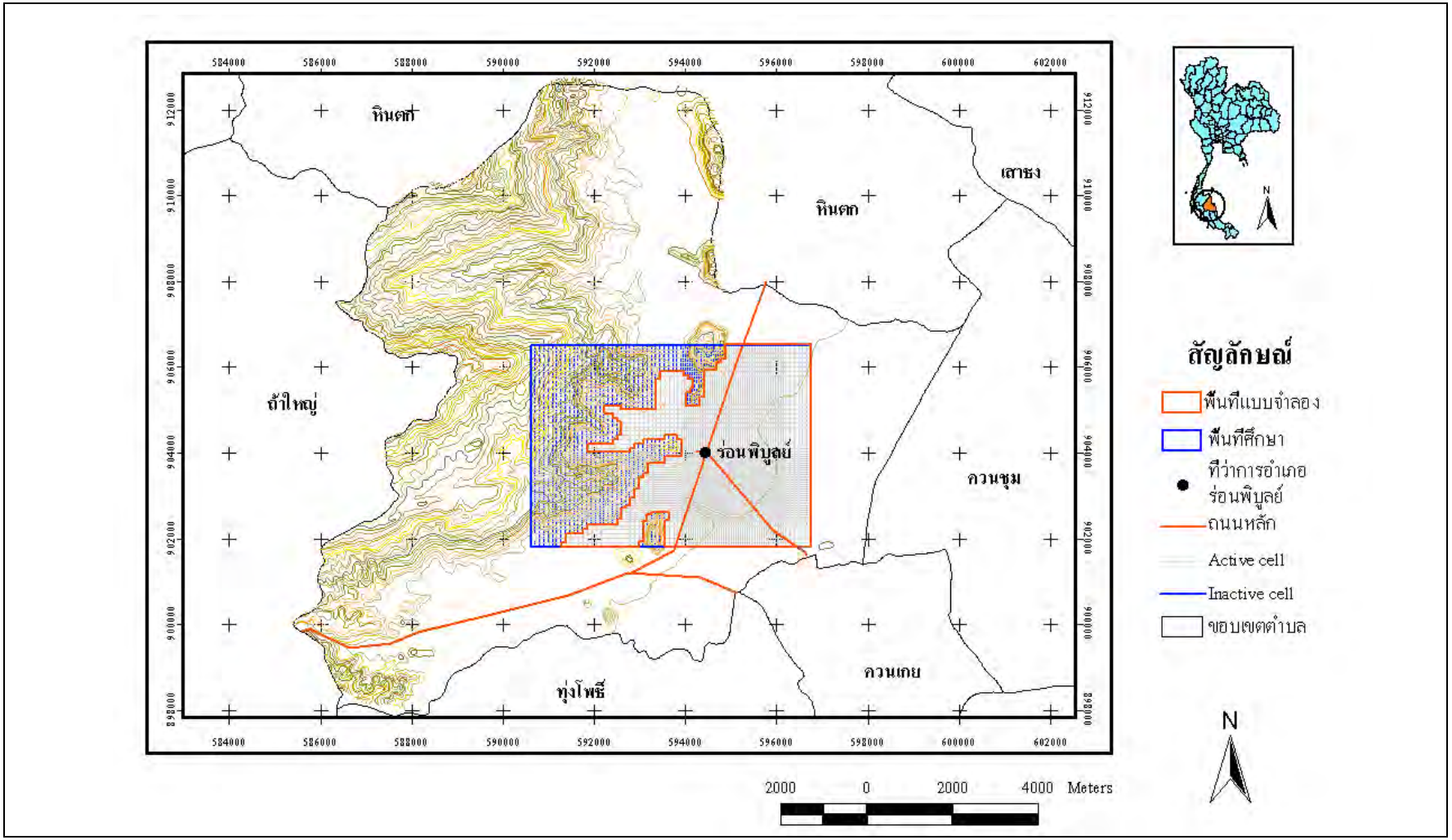


รูปที่ 4-2 แผนภาพแสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

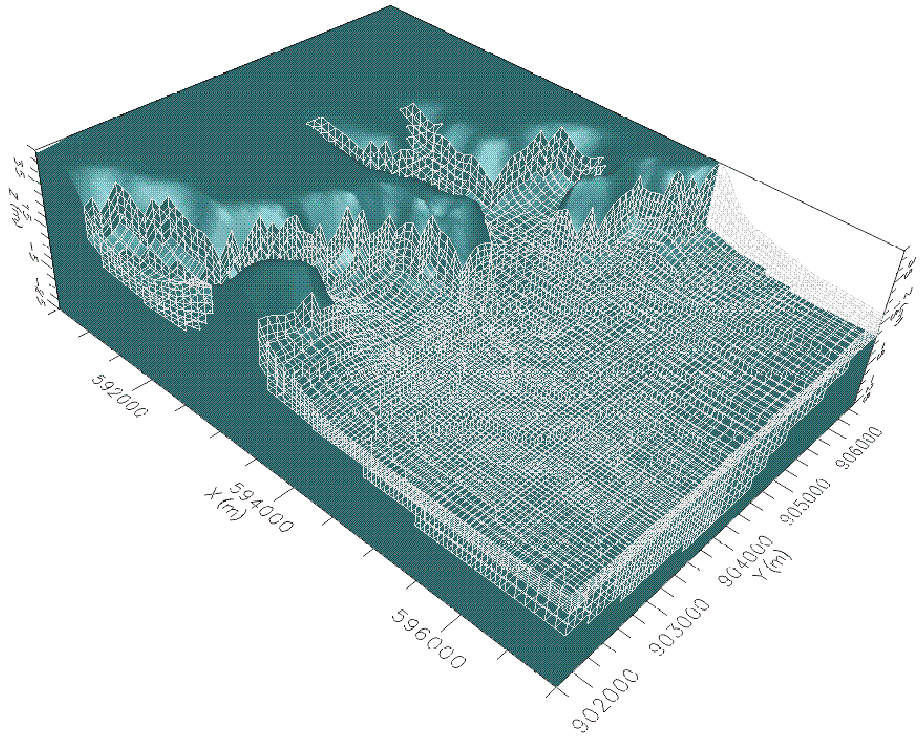
สำหรับในการศึกษาการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน ได้ทำการศึกษาในบริเวณเล็กลงมา ครอบคลุมพื้นที่ ประมาณ 4 ตร.กม. โดยมีความกว้าง 2,400 ม. ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก จากพิกัด 590500-597000 E ความยาว 1,600 ม. ตามแนวเหนือ-ใต้ จากพิกัด 902400-904000 N และมีความสูงของระดับภูมิประเทศตั้งแต่ 26 ม.รทก. จนถึง 15 ม.รทก. ซึ่งอยู่ ภายในพื้นที่ที่ได้ทำการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน โดยพิกัดภูมิศาสตร์ด้าน Easting และ Northing อ้างอิงในระบบ Indian โซน 47N-UTM

4.3 การออกแบบกริด

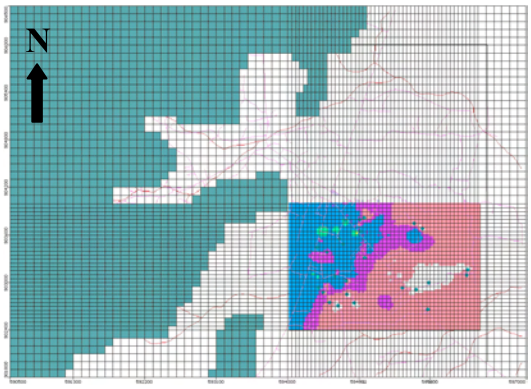
ในการจำลองได้แบ่งพื้นที่ศึกษา เป็นกริดบล็อกขนาดเล็ก โดยแบ่งในแนวตะวันออก-ตะวันตก 89 สดมภ์ (column) แนวเหนือ-ใต้ 63 แถว (row) และแบ่งความสูงของพื้นที่เป็น 15 ชั้น (layer) มีกริดบล็อคทั้งหมด จำนวน 84,105 กริดบล็อค (89x63x15) โดยเฉพาะบริเวณหมู่ 13 ซึ่งมีข้อมูลการปนเปื้อนของสารหนู ค่อนข้างสูง จะทำการแบ่งกริดให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ผลการจำลองที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-4 โดยมีรายละเอียดการแบ่งกริดของพื้นที่ศึกษา ในแต่ละด้านเป็น ดังนี้



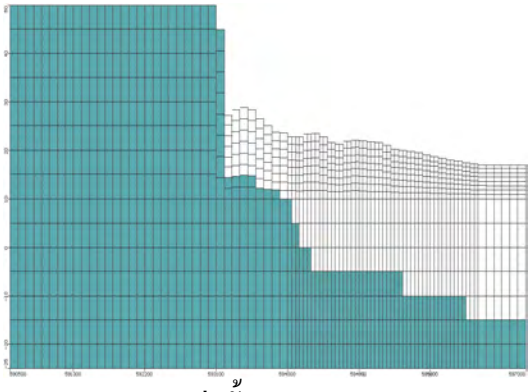
รูปที่ 4-3 แผนที่แสดงพื้นที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ลักษณะการแบ่งกริด ในแบบ สามมิติ



การแบ่งกริดในแนวระนาบ



การแบ่งชั้นของแบบจำลอง

คำอธิบาย		
แนว E-W	พิกัด UTM 590500-597000	89 สดมภ์
แนว N-S	พิกัด UTM 902400-904000	63 แถว
ชั้น	ความสูง 50 ถึง –25 ม.รทก.	15 ชั้น
	Inactive Cell	

รูปที่ 4-4 แผนภาพแสดงการออกแบบกริดของแบบจำลอง

4.3.1 พื้นที่ศึกษา แนวตะวันออก-ตะวันตก

แบ่งกริดออกเป็น 89 สดมภ์ มีความกว้างของสดมภ์ 100 และ 50 เมตร

โดย สดมภ์ที่ 1-35 มีความกว้าง เท่ากับ 100 เมตร
สดมภ์ที่ 36-83 มีความกว้าง เท่ากับ 50 เมตร
สดมภ์ที่ 84-89 มีความกว้าง เท่ากับ 100 เมตร

4.3.2 พื้นที่ศึกษา แนวเหนือ-ใต้

แบ่งกริดออกเป็น 63 แถว ขนาดของแถว 100 และ 50 เมตร

โดย แถวที่ 1-25 มีความกว้างช่วงกว้าง 100 เมตร
แถวที่ 25-57 มีความกว้างช่วงกว้าง 50 เมตร
แถวที่ 58-63 มีความกว้างช่วงกว้าง 100 เมตร

4.3.3 ความสูงของแบบจำลอง

แบ่งเป็น 15 ชั้น มีความสูง 50 ม.รทก. ถึง -25 ม.รทก.

โดย ชั้นที่ 1-8 ความสูงเปลี่ยนตามภูมิประเทศที่ระดับผิวดินถึง 10 ม. รทก.
ชั้นที่ 9-15 แบ่งให้มีขนาดเท่ากัน คือ 5 เมตร จากระดับ 10 ม.รทก. จนถึง -25 ม.รทก.

4.4 สภาพขอบเขตของแบบจำลอง (boundary conditions)

สภาพขอบเขตของแบบจำลอง จะเป็นตัวควบคุมระบบการไหลของน้ำใต้ดินในแบบจำลอง แบ่งโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ (physical boundaries) โดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ภูเขา แม่น้ำ ทะเล และขอบเขตทางอุทกวิทยา (hydrological boundaries) ได้แก่ แนวสันปันน้ำ (groundwater divides) โดยในแต่ละด้านได้กำหนดสภาพขอบเขต ดังนี้ (รูปที่ 4-5)

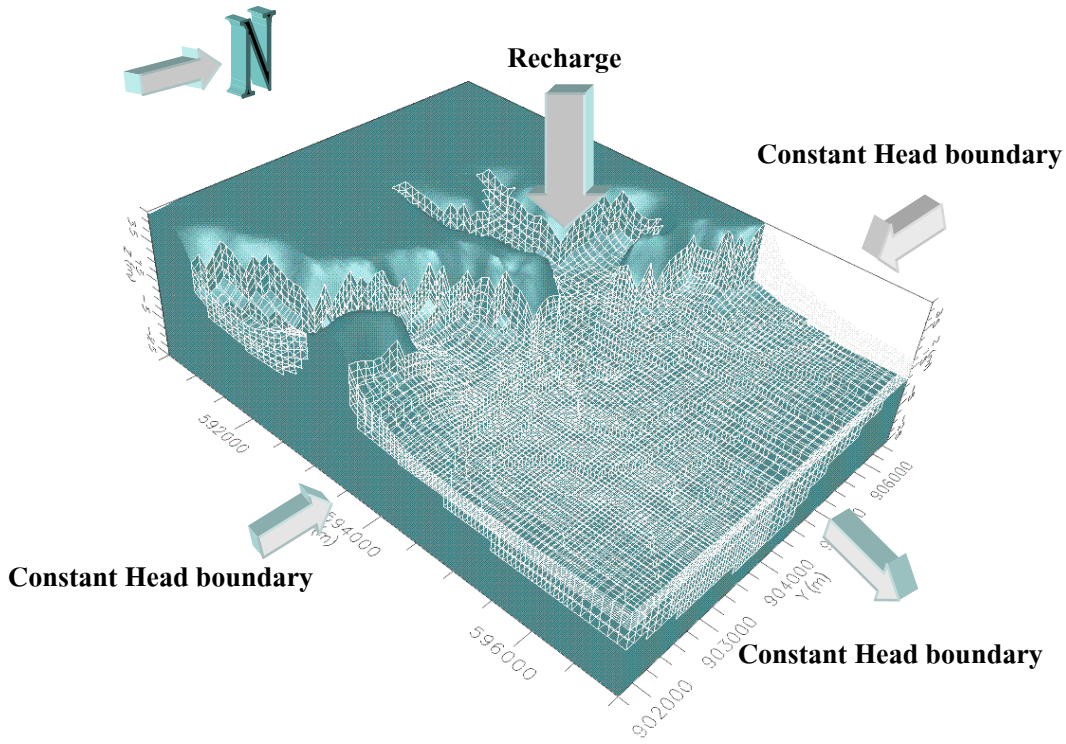
ทิศเหนือ เป็นขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

ทิศตะวันออก เป็นขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

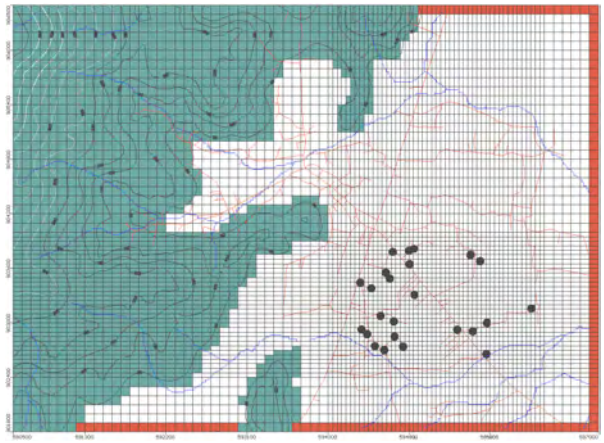
ทิศตะวันตก เป็นภูเขาสูง (เทือกเขาหลวง) กำหนดเป็นสันปันน้ำใต้ดิน เป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลของน้ำ (no flow boundary)

ทิศใต้ เป็นขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

ด้านบน เป็นขอบเขตที่มีการเพิ่มเติมน้ำ (recharge)



แสดงแบบ 3 มิติ



แสดงแบบแนวระนาบ

คำอธิบาย	
	ขอบเขตที่มีระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)
	Inactive Cell

รูปที่ 4-5 แผนภาพแสดงขอบเขตของแบบจำลอง

4.5 กรณีจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารหนู

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาโดยทำการจำลองกรณีต่างๆ 4 กรณี คือ

1) กรณีจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่สภาวะคงที่
2) กรณีจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่สภาวะระดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงตามเวลา
3) กรณีจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน
4) การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดินในกรณีที่มีการใช้น้ำ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการแพร่กระจายของสารหนู

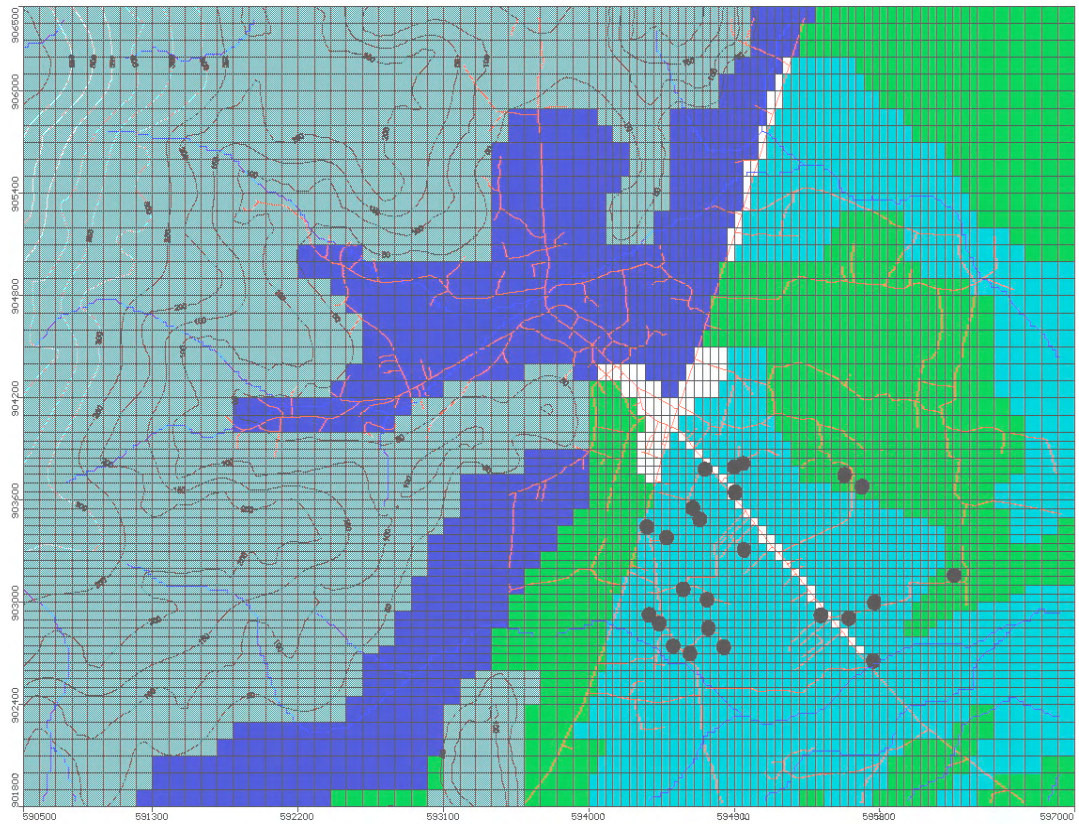
โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่ (steady state) เป็นการจำลองเบื้องต้นที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่างๆ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2531-2547 การจำลองในสภาวะคงที่ มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินเบื้องต้น และตรวจสอบความเป็นไปได้ของสภาพขอบเขตแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ตั้งเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำ ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (root mean squareerror, RMS) ไว้ที่ 0.5 เมตร ถ้าระดับน้ำที่วัดจากบ่อสังเกตการณ์และจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 เมตร ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยในการจำลองสภาวะคงที่มีรายละเอียดในการจำลองดังนี้

4.5.1.1 การเพิ่มเติมน้ำ (recharge)

การเพิ่มเติมน้ำในแหล่งน้ำใต้ดินมีปัจจัยหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา จะพิจารณาจาก 6 ปัจจัย ที่มีผลต่อการเติมน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การคายระเหย ความสูงต่ำของภูมิประเทศ และการประเมินอัตราการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน เมื่อนำข้อมูลทั้งหกส่วนมาพิจารณาร่วมกัน และทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในการจำลองจะได้พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ 4 โซน โดยมีช่วงการเพิ่มเติมน้ำอยู่ระหว่าง ร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 14 ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 4-6



สัญลักษณ์

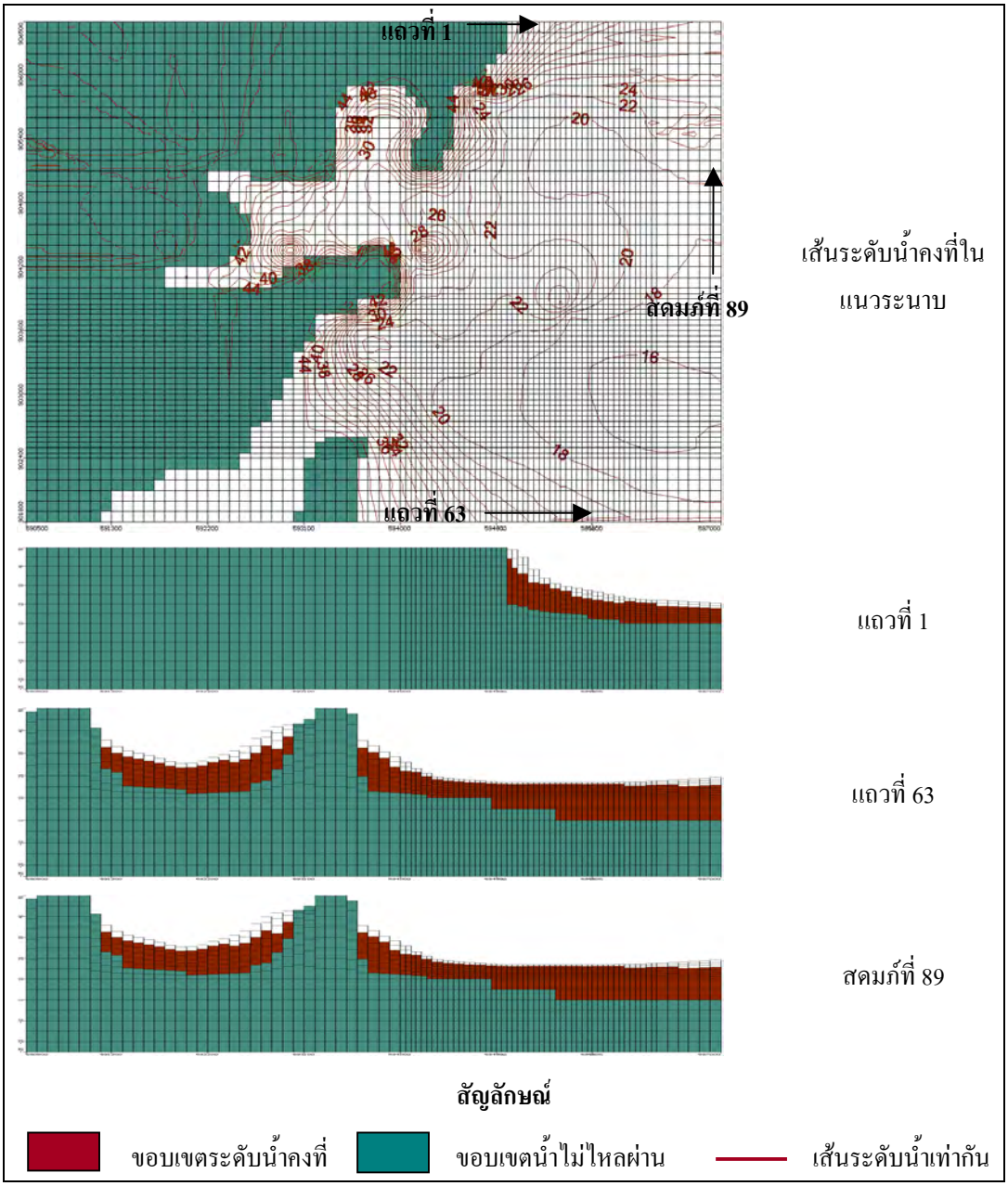
สี	ลักษณะพื้นที่	ปริมาณการเติมน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละของน้ำฝน
ขาว	พื้นที่เมือง ไม่มีการซึมผ่านของน้ำฝน	0.0	0
น้ำเงิน	พื้นที่ต้นไม้ใหญ่ ดินมีค่าการซึมผ่านเร็ว	4.5	14
เขียว	พื้นที่นาข้าว ดินมีค่าการซึมผ่านต่ำ	0.8	3
เขียวอมฟ้า	พื้นที่พืชสวน ดินมีค่าการซึมผ่านปานกลาง	2.8	8

รูปที่ 4-6 แผนภาพแสดงพื้นที่เติมน้ำและปริมาณการเพิ่มเติมน้ำในการจำลองทางคณิตศาสตร์

4.5.1.2 การกำหนดค่าขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

ขอบเขตระดับน้ำคงที่ในการจำลองแบบสภาวะคงที่ กำหนดจากค่าเฉลี่ยระดับน้ำรายปีทั้งพื้นที่ จากข้อมูลการศึกษาของ JICA (1999) โดยนำค่าระดับน้ำที่ทำการเฉลี่ยไว้มาลากเส้นระดับน้ำเท่ากัน แล้วกำหนดค่าระดับน้ำจากเส้นระดับน้ำเท่ากันลงในกริดเซลที่ต้องการ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-7

เนื่องจากชั้นน้ำที่ทำการศึกษาเป็นชั้นน้ำแบบไร้แรงดัน ดังนั้นขอบเขตที่เป็นระดับน้ำคงที่จะต้องกำหนดลงไปจนกว่าจะถึงชั้นกั้นน้ำโดยมีค่าเท่ากันตลอดในแนวดิ่ง และความสูงของระดับน้ำจะเป็นตัวกำหนดระดับชั้นของกริดเซล หมายถึงชั้นที่จะกำหนดให้เป็นขอบเขตระดับน้ำคงที่จะมีระดับกึ่งกลางชั้นใกล้เคียงหรือเท่ากับระดับน้ำ โดยค่าระดับน้ำคงที่ในแต่ละกริดเซลได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-7 แผนภาพแสดงขอบเขตระดับน้ำคงที่ในแต่ละด้าน

ตารางที่ 4-1 ค่าขอบเขตระดับน้ำคงที่ในแต่ละกริดเซล

แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)
1	56	40.00	25	89	13.76	63	32	30.00
1	57	38.71	26	89	13.71	63	33	27.00
1	58	36.13	27	89	13.68	63	34	25.00
1	59	36.14	28	89	13.65	63	35	22.00
1	60	31.00	29	89	13.62	63	36	22.00
1	61	31.00	30	89	13.59	63	37	21.20
1	62	30.00	31	89	13.56	63	38	21.00
1	63	30.00	32	89	13.53	63	39	19.50
1	64	28.00	33	89	13.54	63	40	19.50
1	65	28.00	34	89	13.54	63	41	18.20
1	66	26.80	35	89	13.58	63	42	18.00
1	67	25.20	36	89	13.63	63	43	17.00
1	68	23.60	37	89	13.67	63	44	17.00
1	69	22.00	38	89	13.71	63	45	17.00
1	70	21.83	39	89	13.75	63	46	17.00
1	71	21.67	40	89	13.79	63	47	16.50
1	72	21.50	41	89	13.83	63	48	16.50
1	73	21.33	42	89	13.88	63	49	16.50
1	74	21.17	43	89	13.92	63	50	16.50
1	75	21.00	44	89	13.96	63	51	16.30
1	76	20.83	45	89	14.00	63	52	16.30
1	77	20.67	46	89	14.00	63	53	16.10
1	78	20.50	47	89	14.04	63	54	16.10
1	79	20.33	48	89	14.09	63	55	16.05
1	80	20.17	49	89	14.13	63	56	16.05
1	81	20.00	50	89	14.18	63	57	16.00
1	82	19.73	51	89	14.22	63	58	16.00
1	83	19.47	52	89	14.27	63	59	16.00
1	84	19.07	53	89	14.31	63	60	15.97

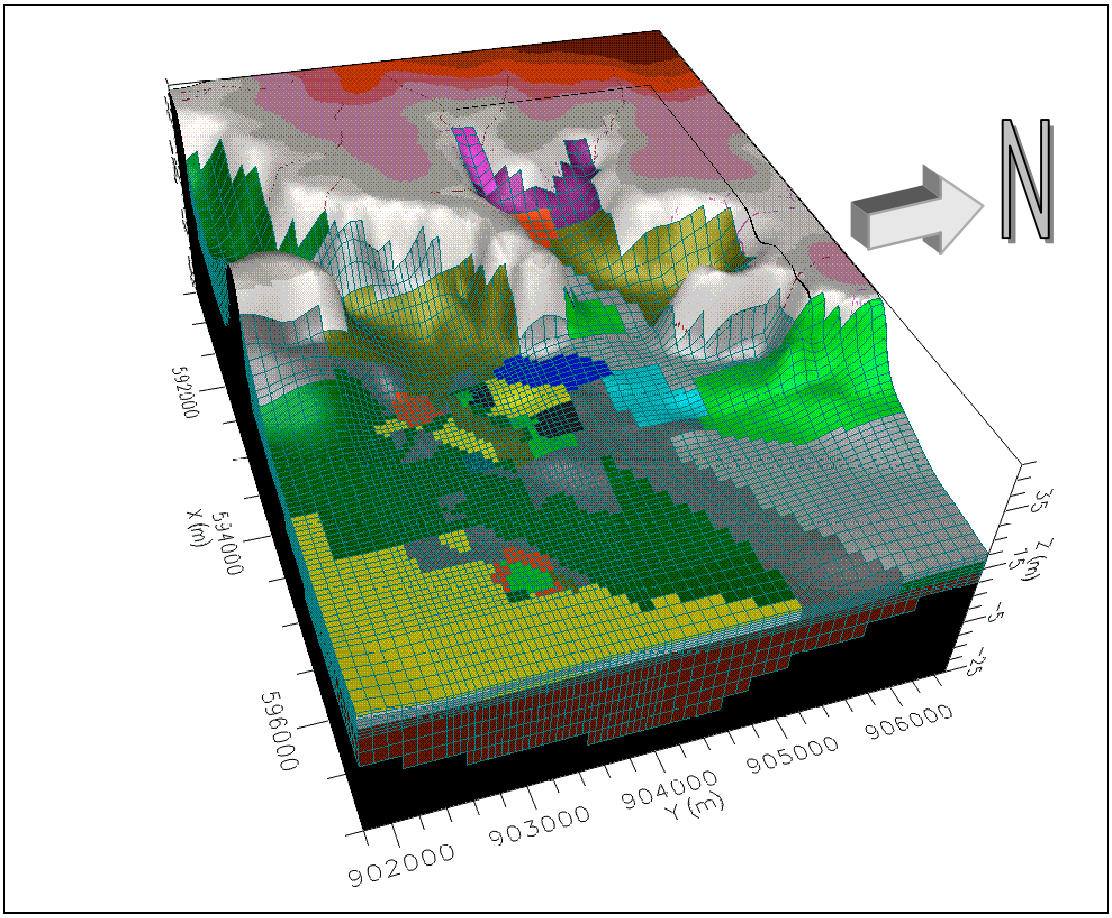
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)	แถว	สดมภ์	ระดับน้ำ (ม.รทก.)
1	85	18.53	54	89	14.36	63	61	15.94
1	86	18.00	55	89	14.40	63	62	15.91
1	87	17.73	56	89	14.44	63	63	15.88
1	88	17.47	57	89	14.49	63	64	15.86
1	89	17.20	58	89	14.56	63	65	15.83
2	89	17.08	59	89	14.64	63	66	15.80
3	89	16.96	60	89	14.73	63	67	15.77
4	89	16.84	61	89	14.82	63	68	15.74
5	89	16.72	62	89	14.91	63	69	15.71
6	89	16.60	63	89	15.00	63	70	15.68
7	89	16.48	63	8	33.00	63	71	15.65
8	89	16.36	63	9	30.00	63	72	15.62
9	89	16.24	63	10	29.00	63	73	15.59
10	89	16.12	63	11	28.00	63	74	15.57
11	89	16.00	63	12	27.00	63	75	15.54
12	89	15.64	63	13	26.00	63	76	15.51
13	89	15.45	63	14	24.00	63	77	15.48
14	89	15.27	63	15	23.67	63	78	15.45
15	89	15.09	63	16	23.33	63	79	15.42
16	89	14.91	63	17	22.00	63	80	15.39
17	89	14.73	63	18	23.00	63	81	15.36
18	89	14.55	63	19	23.93	63	82	15.33
19	89	14.36	63	20	24.67	63	83	15.29
20	89	14.18	63	21	26.00	63	84	15.23
21	89	14.00	63	22	27.33	63	85	15.17
22	89	13.94	63	23	28.67	63	86	15.12
23	89	13.88	63	24	30.00	63	87	15.06
24	89	13.82	63	25	32.00	63	88	15.00

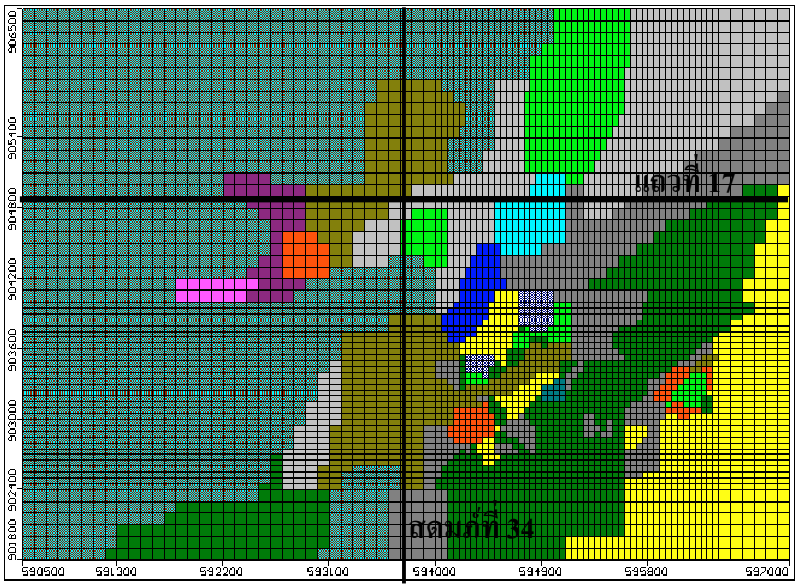
4.5.1.3 การกำหนดค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์

คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำ ได้จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบจากรายงานของ JICA (1999) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity, K) และจากช่วงค่าที่เป็นไปได้ของหินชนิดเดียวกันจากรายงานการศึกษาของ Spitz and Moreno (1996) โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่ง ต่อสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ เท่ากับ 1:10

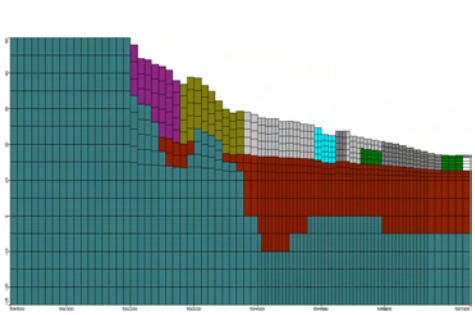
การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน พิจารณาจากข้อมูลชั้นดินและชั้นหิน และลักษณะการวางตัวของชั้นหิน การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้แสดงในรูปที่ 4-8 และ รูปที่ 4-9



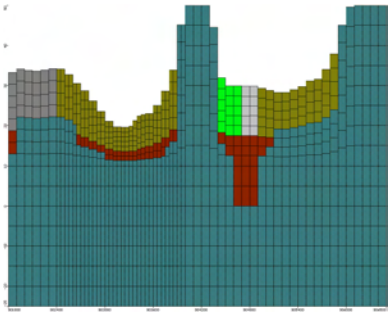
รูปที่ 4-8 แผนภาพ 3 มิติ แสดงการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้



ชั้นที่ 1



แถวที่ 17



สดมภ์ที่ 34

สี	หมายเลข	ชั้นหินให้น้ำ	สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (m/d)		
			Kx	Ky	Kz
	3	ทราย	0.09	0.09	0.009
	4	ทรายแป้ง	0.005	0.005	5.0e-4
	5	ดินเหนียว	9.0e-5	9.0e-5	9.0e-6
	6	กรวดและทราย	90	90	9
	7	ทราย	5	5	0.5
	8	ทราย	30	30	3
	9	ทราย	10	10	1
	10	ทราย	15	15	1.5
	11	ทรายและทรายแป้ง	0.5	0.5	0.05
	12	ทราย	40	40	4
	13	ทรายและทรายแป้ง	1	1	0.1
	14	ทราย	50	50	5
	15	กรวดและทราย	200	200	20
	16	กรวดและทราย	150	150	15

รูปที่ 4-9 แผนภาพแสดงการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้

4.5.1.4 ระดับแรงดันน้ำเริ่มต้น (initial head)

ระดับน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลอง ใช้ค่าระดับแรงดันน้ำที่ได้จากการเฉลี่ยค่าระดับแรงดันน้ำรายเดือน ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง คือ ตั้งแต่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2545 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2545 ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-3 ในบทที่ 3 นำค่าระดับน้ำในแต่ละบ่อมาเฉลี่ย ผลที่ได้จากการเฉลี่ย นำมาเตรียมในรูปแบบที่จะนำเข้าในแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ประกอบด้วย 6 สดมภ์ คือ ชื่อสถานีบ่อสังเกตกาณ์ พิกัด X พิกัด Y ระดับ Screen ของบ่อ จำนวน screen และระดับน้ำ

ตารางที่ 4-2 แสดงการเฉลี่ยค่าระดับแรงดันน้ำ สำหรับใช้เป็นค่าเริ่มต้น

สถานี	พิกัด X	พิกัด Y	ระดับ Screen (ม.รทก)	จำนวน Screen	ระดับน้ำ (ม.รทก)
R1	594640.7	903553.0	17	1	20.24
R2	594359.1	903443.8	18	1	21.23
R3	594479.6	903382.9	17.5	1	20.94
R4	594435.7	902877.1	15.4	1	17.88
R5	594622.2	902703.1	15.4	1	17.76
R6	594736.2	902850.2	15.1	1	18.23
R7	594519.8	902745.1	15.5	1	18.30
R8	594830.8	902739.8	14.7	1	18.02
R9	594581.6	903076.8	16.1	1	18.76
R10	594371.7	902928.3	15.4	1	18.99
R11	594728.3	903016.4	15.4	1	18.43
R12	594684.1	903487.5	17.3	1	20.38
R13	595578.5	903746.9	15.4	1	17.07
R14	594897.3	903795.8	17.8	1	21.06
R15	594902.6	903646.7	17.2	1	20.16
R16	594716.5	903782.0	17.4	1	20.70
R17	595762.4	902999.9	12.9	1	15.84
R18	595754.3	902659.5	13	1	15.70
R19	596255.9	903157.9	12.5	1	14.97
R20	594952.6	903816.3	17.8	1	21.13
R21	595433.4	902925.7	13.8	1	17.30
R22	595603.2	902908.4	13.5	1	18.89
R23	594956.6	903310.0	15.6	1	16.69
R24	595686.4	903678.9	14.9	1	16.86

4.5.2 การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การจำลองการไหลแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา จะมีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากกว่าการจำลองการไหลแบบสภาวะคงที่ ทั้งนี้เพราะการจำลองแบบนี้ใช้ต้นทุนน้ำที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยได้กำหนดเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำ ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน ไว้ที่ 0.5 เมตร เช่นกัน ถ้าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์และจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 เมตร ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยมีรายละเอียดการกำหนดสภาพขอบเขตและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ในการจำลอง ดังนี้

4.5.2.1 สภาพขอบเขตและช่วงเวลา

สภาพขอบเขตและปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลองในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เหมือนกับในแบบจำลองในสภาวะคงที่ ยกเว้นค่าที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้แก่ ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ ขอบเขตระดับน้ำคงที่ โดยค่าเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกเดือนในช่วงเวลาที่ทำการจำลอง

4.5.2.2 การกำหนดช่วงเวลาในการจำลอง

ช่วงเวลาของการจำลองเป็นตัวกำหนดระยะเวลาของการจำลอง และข้อมูลของพารามิเตอร์ที่จะนำเข้าแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดเวลาของการจำลองครอบคลุมเวลา 5 ปี เริ่มจากเดือนเมษายน พ.ศ. 2545 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งในเวลาที่ทำการจำลองได้กำหนดช่วงเวลาการคำนวณ (stress period) เป็นรายเดือนจำนวน 60 เดือน ส่วนขั้นเวลาการคำนวณ (time step) ซึ่งเป็นเวลาย่อยจากช่วงเวลาของคำนวณการจำลองได้กำหนดให้ 1 ช่วงเวลาของการคำนวณมี 5 ขั้นเวลาการคำนวณ (หรือ 1 ขั้นเวลาประมาณ 6 วัน)

4.5.2.3 การเพิ่มเติมน้ำ (recharge)

ขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำจะแบ่งโซนเช่นเดียวกับในสภาวะคงที่ อัตราการเพิ่มเติมน้ำจะอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม และ ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม การเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน และอัตราการคายระเหยในช่วงเวลานั้น ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในบทที่3 หัวข้อ 3.1.5.3 โดยใช้ค่าการเติมน้ำของทุกเดือนมาคำนวณปริมาณการเพิ่มเติมน้ำในแบบจำลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำรายเดือนในแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ลักษณะพื้นที่		พื้นที่เมือง ไม่มีการซึมผ่านของน้ำฝน	พื้นที่ต้นไม้ใหญ่ ดินมีค่าการซึมผ่านเร็ว	พื้นที่นาข้าว ดินมีค่าการซึมผ่านต่ำ	พื้นที่พืชสวน ดินมีค่าการซึมผ่านปานกลาง
สี		ขาว	น้ำเงิน	เขียว	เขียวอมฟ้า
ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตร)	มกราคม	0	0	0	0
	กุมภาพันธ์	0	0	0	0
	มีนาคม	0	0	0	0
	เมษายน	0	75	13	54
	พฤษภาคม	0	47	8	34
	มิถุนายน	0	0	0	0
	กรกฎาคม	0	0	0	0
	สิงหาคม	0	11	2	8
	กันยายน	0	89	15	65
	ตุลาคม	0	183	31	133
	พฤศจิกายน	0	500	85	364
	ธันวาคม	0	203	35	148

4.5.2.4 การกำหนดค่าขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

ขอบเขตระดับน้ำคงที่ในการจำลองแบบสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลากำหนดจากการเฉลี่ยค่าระดับน้ำรายเดือนทั้งพื้นที่ โดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาของ JICA (1999) รวมกับข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือนจากการสำรวจภาคสนามในการวิจัยนี้ นำระดับน้ำที่ทำการเฉลี่ยไว้มาทำการลากเส้นระดับน้ำเท่ากันในแต่ละเดือน โดยค่าระดับน้ำคงที่ในแต่ละกริดเซลได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 ส่วนการกำหนดจะเหมือนกับการจำลองแบบสภาวะคงที่

ตารางที่ 4-4 ค่าระดับน้ำสำหรับขอบเขตระดับน้ำคงที่ในการจำลองแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา

แถว	สดมภ์	ระดับน้ำคงที่ในแต่ละเดือน (ม.รทก.)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
63	8	29.98	29.47	30.20	30.31	30.00	29.65	29.64	29.83	30.22	31.12	34.38	32.37
63	11	26.98	26.47	27.20	27.31	27.00	26.65	26.64	26.83	27.22	28.12	31.38	29.37
63	12	25.98	25.47	26.20	26.31	26.00	25.65	25.64	25.83	26.22	27.12	30.38	28.37
63	13	23.98	23.47	24.20	24.31	24.00	23.65	23.64	23.83	24.22	25.12	28.38	26.37
63	16	21.98	21.47	22.20	22.31	22.00	21.65	21.64	21.83	22.22	23.12	26.38	24.37
63	17	22.98	22.47	23.20	23.31	23.00	22.65	22.64	22.83	23.22	24.12	27.38	25.37
63	20	25.98	25.47	26.20	26.31	26.00	25.65	25.64	25.83	26.22	27.12	30.38	28.37
63	23	29.98	29.47	30.20	30.31	30.00	29.65	29.64	29.83	30.22	31.12	34.38	32.37
63	24	31.98	31.47	32.20	32.31	32.00	31.65	31.64	31.83	32.22	33.12	36.38	34.37
63	25	35.98	35.47	36.20	36.31	36.00	35.65	35.64	35.83	36.22	37.12	40.38	38.37
63	32	31.98	31.47	32.20	32.31	32.00	31.65	31.64	31.83	32.22	33.12	36.38	34.37
63	33	29.98	29.47	30.20	30.31	30.00	29.65	29.64	29.83	30.22	31.12	34.38	32.37
63	34	26.98	26.47	27.20	27.31	27.00	26.65	26.64	26.83	27.22	28.12	31.38	29.37
63	35	24.98	24.47	25.20	25.31	25.00	24.65	24.64	24.83	25.22	26.12	29.38	27.37
63	36	21.98	21.47	22.20	22.31	22.00	21.65	21.64	21.83	22.22	23.12	26.38	24.37
63	44	16.98	16.47	17.20	17.31	17.00	16.65	16.64	16.83	17.22	18.12	21.38	19.37
63	58	15.98	15.47	16.20	16.31	16.00	15.65	15.64	15.83	16.22	17.12	20.38	18.37
63	59	15.98	15.47	16.20	16.31	16.00	15.65	15.64	15.83	16.22	17.12	20.38	18.37
63	60	15.98	15.47	16.20	16.31	16.00	15.65	15.64	15.83	16.22	17.12	20.38	18.37
63	89	14.98	14.47	15.20	15.31	15.00	14.65	14.64	14.83	15.22	16.12	19.38	17.37
46	89	13.98	13.47	14.20	14.31	14.00	13.65	13.64	13.83	14.22	15.12	18.38	16.37
39	89	13.73	13.22	13.95	14.06	13.75	13.40	13.39	13.58	13.97	14.87	18.13	16.12
21	89	13.98	13.47	14.20	14.31	14.00	13.65	13.64	13.83	14.22	15.12	18.38	16.37
11	89	15.98	15.47	16.20	16.31	16.00	15.65	15.64	15.83	16.22	17.12	20.38	18.37
1	89	17.18	16.67	17.40	17.51	17.20	16.85	16.84	17.03	17.42	18.32	21.58	19.57
1	86	17.98	17.47	18.20	18.31	18.00	17.65	17.64	17.83	18.22	19.12	22.38	20.37
1	81	19.98	19.47	20.20	20.31	20.00	19.65	19.64	19.83	20.22	21.12	24.38	22.37
1	75	20.98	20.47	21.20	21.31	21.00	20.65	20.64	20.83	21.22	22.12	25.38	23.37
1	69	21.98	21.47	22.20	22.31	22.00	21.65	21.64	21.83	22.22	23.12	26.38	24.37
1	65	27.98	27.47	28.20	28.31	28.00	27.65	27.64	27.83	28.22	29.12	32.38	30.37
1	63	29.98	29.47	30.20	30.31	30.00	29.65	29.64	29.83	30.22	31.12	34.38	32.37
1	60	30.98	30.47	31.20	31.31	31.00	30.65	30.64	30.83	31.22	32.12	35.38	33.37
1	56	39.98	39.47	40.20	40.31	40.00	39.65	39.64	39.83	40.22	41.12	44.38	42.37

4.5.2.5 การกำหนดค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์

สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านใช้เช่นเดียวกับแบบจำลองในสภาวะคงที่ ส่วนสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำใช้ข้อมูลจากการสูบทดสอบ และช่วงค่าที่เป็นไปได้ของหินชนิดเดียวกันจากที่มีในรายงานการศึกษาของ Spitz and Moreno (1996) ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำในการจำลองสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-5

4.5.2.6 ระดับน้ำเริ่มต้น

ระดับน้ำเริ่มต้นเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการจำลองในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการจำลอง ระดับน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองได้จากการวัดระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3-3 บทที่ 3

ตารางที่ 4-5 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำสำหรับใช้ในแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

สี	หมายเลข	ชั้นหินให้น้ำ	Ss (1/m)	Sy (ไม่มีหน่วย)	Eff. Por (ไม่มีหน่วย)	Tot.Por (ไม่มีหน่วย)
	3	ทราย	1.0e-4	0.27	0.24	0.27
	4	ทรายแป้ง	2.4e-3	0.10	0.1	0.34
	5	ดินเหนียว	5.0e-4	0.04	0.15	0.38
	6	กรวดและทราย	1.0e-4	0.20	0.20	0.25
	7	ทราย	1.0e-4	0.27	0.24	0.27
	8	ทราย	2.0e-4	0.15	0.15	0.25
	9	ทราย	1.0e-4	0.27	0.24	0.27
	10	ทราย	1.0e-4	0.17	0.17	0.25
	11	ทรายและทรายแป้ง	1.0e-4	0.27	0.24	0.27
	12	ทราย	8.0e-3	0.18	0.18	0.25
	13	ทรายและทรายแป้ง	1.6e-3	0.11	0.11	0.25
	14	ทราย	1.6e-3	0.20	0.20	0.25
	15	กรวดและทราย	1.0e-4	0.27	0.24	0.27
	16	กรวดและทราย	1.0e-4	0.23	0.25	0.25

หมายเหตุ Ss คือ Specific Storage

Sy คือ Soecific Yield

Eff. Por คือ Effective Porosity

Tot. Por คือ Total Porosity

4.5.3 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะคงที่

การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะคงที่ ได้ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่ซึ่งได้ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว นำมาปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลสารของชั้นหินให้น้ำ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวราบ (longitudinal dispersivity), ค่า bulk density ของดิน, ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับสารหนู ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อต่อไป เปรียบเทียบค่าปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินที่คำนวณได้กับค่าปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บมาจากบ่อสังเกตการณ์ ทำการจำลองโดยใช้ค่าปริมาณสารหนูเฉลี่ย แล้วทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในการจำลอง ให้ได้ผลการจำลองสอดคล้องกับสภาพจริงที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ โดยพิจารณาจากค่าปรกติของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) จากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองไม่เกิน 7% ในการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูนั้นมีการกำหนดขอบเขตเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

4.5.3.1 ความเข้มข้นของปริมาณสารหนูเริ่มต้น (initial concentration)

ค่าความเข้มข้นของสารหนูเริ่มต้น ได้จากข้อมูลติดตามคุณภาพน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2544 และนำข้อมูลมาสร้างเส้นชั้นแสดงความเข้มข้นของปริมาณสารหนู ทำให้ได้ลักษณะการกระจายตัวเริ่มต้นของปริมาณสารหนูในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-10

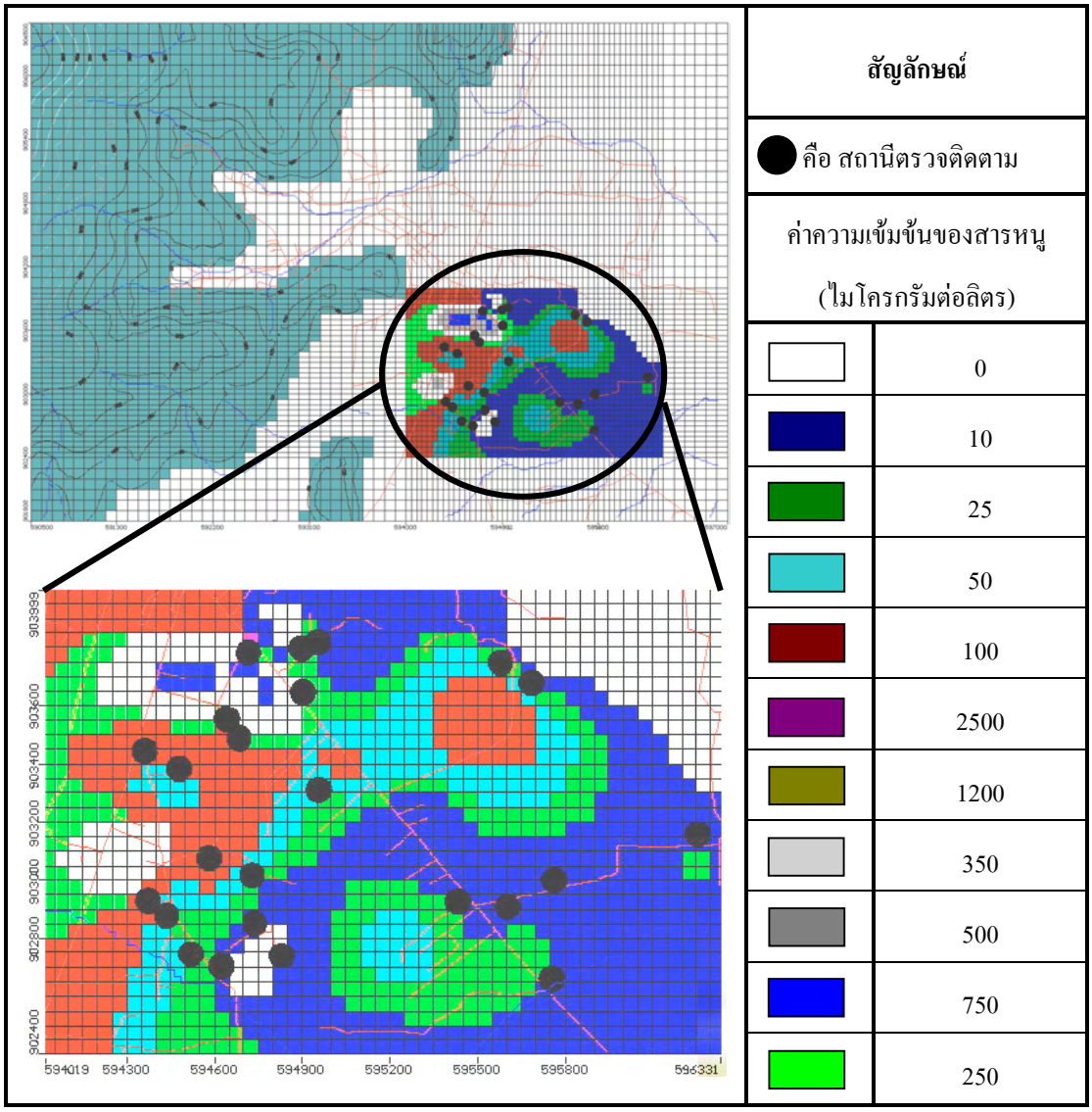
4.5.3.2 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินให้น้ำ (dispersivity, α)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินให้น้ำจะมีทั้งแนวราบ (แกน X และ Y) และแนวดิ่ง (แกน Z) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะใช้อ้างอิงจากชนิดของหินจากที่มีการศึกษามาแล้วของ Spitz and Moreno (1996) ซึ่งค่าการแพร่กระจายจะได้จากระยะทางการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินให้น้ำ โดยที่ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งมีค่าประมาณ 10% ของการแพร่กระจายในแนวราบ ดังแสดงในตารางที่ 4-6 โดยมีลักษณะการกระจายตัวเหมือนกับค่าความนำทางชลศาสตร์ (รูปที่ 4-9)

4.5.3.3 สัมประสิทธิ์การดูดซับสารหนูของหินให้น้ำ

สัมประสิทธิ์การดูดซับสารหนูของชั้นหินให้น้ำ ได้มาจากการทดลองในข้อที่ 2.3.2.7 และช่วงค่าที่เป็นไปได้ของหินชนิดเดียวกันจากรายงานการศึกษาของ Spitz and Moreno

(1996) ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวเหมือนกับการกระจายตัวของชั้นหินให้น้ำเช่นกัน (รูปที่ 4-9) โดยในแต่ละส่วนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ ดังตารางที่ 4-6



รูปที่ 4-10 ลักษณะการกระจายตัวเริ่มต้นของปริมาณสารหนูทั้งพื้นที่ศึกษาการไหลและเฉพาะพื้นที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของสารหนู (ไมโครกรัมต่อลิตร)

4.5.3.4 ค่า Bulk density ของดิน

ค่า bulk density ของดิน คือ ค่า dry density ของดิน มีค่าเท่ากับมวลของธาตุที่อยู่ในรูปของแข็งรวมกับสารประกอบอินทรีย์ในดิน หารด้วย ปริมาตรทั้งหมด โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้อ้างอิงตามชนิดของหินจากข้อมูลที่มีการศึกษามาแล้ว (http://www.hydro.washington.edu/

Lettenmaier/Models/VIC/Documentation/Info/soiltext.html) ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวเหมือนกับการกระจายตัวของชั้นหินให้น้ำ (รูปที่ 4-9) เช่นกัน ได้แสดงค่าในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสารหนู

สี	หมายเลข	ชั้นหินให้น้ำ	α_L (m)	K_f (1/(µg/L))	a (ไม่มีหน่วย)	ρ_b (Kg/m^3)
	3	ทราย	80	1.7e-4	0.63	1600
	4	ทรายแป้ง	15	2.3e-6	0.65	1420
	5	ดินเหนียว	10	3.1e-2	0.93	1390
	6	กรวดและทราย	80	1.0e-5	0.70	1600
	7	ทราย	27	5.0e-5	0.62	1500
	8	ทราย	55	1.3e-3	0.51	1520
	9	ทราย	30	1.3e-7	0.70	1500
	10	ทราย	35	5.0e-5	0.62	1500
	11	ทรายและทรายแป้ง	20	1.3e-7	0.70	1480
	12	ทราย	70	1.3e-3	0.51	1520
	13	ทรายและทรายแป้ง	25	5.0e-5	0.62	1480
	14	ทราย	25	1.3e-4	0.512	1520
	15	กรวดและทราย	110	1.7e-4	0.63	1500
	16	กรวดและทราย	100	1.7e-4	0.63	1500

หมายเหตุ α_l คือ Longitudinal Dispersivity

K_f คือ ค่าคงที่การดูดซับใน Freundlich Equation

a คือ ค่า Freundlich exponent

ρ_b คือ ค่า Bulk density ของดิน

4.5.4 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งได้ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว นำมาปรับค่าการแพร่กระจายของชั้นหินให้น้ำ โดยเปรียบเทียบค่าปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินที่คำนวณได้กับค่าปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างน้ำใต้ดินที่เก็บมาจากบ่อสังเกตการณ์ ในแต่ละช่วงเวลาที่มีการตรวจสอบปริมาณสารหนูในน้ำจากเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2545 โดยทำการจำลองแล้วทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในการจำลอง ให้ได้ผลการจำลองสอดคล้องกับสภาพจริงที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ พิจารณาโดยค่าปรกติค่าเฉลี่ยรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) จากการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองไม่เกิน 7% เช่นเดียวกับการจำลองในสภาวะคงที่ โดยพิจารณาทุกช่วงเวลาที่มีข้อมูล

4.6 การทดสอบความไวของตัวแปรในแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองคือ การวิเคราะห์ว่าแบบจำลองมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่นำเข้าอย่างไร โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองหลังจากปรับเทียบค่าแล้ว หากการเปลี่ยนพารามิเตอร์ใดทำให้ผลการจำลองเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าพารามิเตอร์นั้นมีความอ่อนไหวหรือมีอิทธิพลต่อแบบจำลองมาก จะทำให้สามารถกำหนดแนวทางในการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติม หรือใช้ในการปรับเทียบเมื่อต้องการปรับปรุงแบบจำลอง เมื่อสภาพอุทกธรณีวิทยาในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลง เป็นการปรับชุดพารามิเตอร์ในขั้นละเอียดที่ทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนลดลง และเป็นการยืนยันความถูกต้องของพารามิเตอร์ก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 10 และร้อยละ 50 ครั้งละพารามิเตอร์ เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลของชุดข้อมูลปรับเทียบสมบูรณ์ โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ กับค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำ

4.7 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน กรณีที่มีการใช้น้ำ

หลังจากที่ได้ทำการปรับแก้ค่าตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การแพร่กระจายสารหนูในน้ำใต้ดิน จนได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คำนวนได้กับค่าที่วัดได้จริงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้แล้ว จึงได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดินโดยสมมุติให้มีการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา โดยการเพิ่มบ่อสูบเข้าไปในพื้นที่ศึกษา จำนวน 6 บ่อ กระจายในพื้นที่ศึกษา โดย มีการสูบน้ำใต้ดินออกจากระบบ บ่อละ 20 ลบ.ม. ต่อ วัน รวม 120 ลบ.ม. ต่อวัน ซึ่งได้ทำการคำนวณจากจำนวนบ้านที่เก็บตัวอย่างครั้งแรก คือ 155 หลังคาเรือน ให้ มีประชากร 4 คน ต่อหลังคาเรือน รวม 620 คน คิดอัตราการใช้น้ำ คนละ 0.2 ลบ.ม. ต่อคนต่อวัน และได้แยกจุดสูบน้ำเป็น 6 จุด เพื่อให้น้ำกระจายออกเท่ากันทั้งพื้นที่ แล้วทำการจำลอง เช่นเดียวกับการจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการแพร่กระจายของสารหนูต่อไป

4.1 สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ 71
4.2 การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง....72
4.3 การออกแบบกริด 73
4.3.1 พื้นที่ศึกษา แนวตะวันออก-ตะวันตก 76
4.3.2 พื้นที่ศึกษา แนวเหนือ-ใต้....76
4.3.3 ความสูงของแบบจำลอง....76
4.4 สภาพขอบเขตของแบบจำลอง (boundary conditions)....76
4.5 กรณีจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของสารหนู 78
4.5.1 การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่....78
4.5.2 การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา....86
4.5.3 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะคงที่....90
4.5.4 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา 92
4.6 การทดสอบความไวของตัวแปรในแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง 93
4.7 การจำลองการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน กรณีที่มีการใช้น้ำ 93