



การจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหัดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
Groundwater Management of Hat Yai Basin Using a Mathematical Model

นันทิยา รียาพันธ์
Nantiya Riyapan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคีใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ผู้เขียน นางสาวนันทิยา ธิยาพันธ์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิด เกลิมยานนท์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ชนันท์ ชูอุปการ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิด เกลิมยานนท์)

.....กรรมการ
(พ.อ.ดร.ปรีชา อภิวัฒน์ตระกูล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตาม หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ผู้เขียน	นางสาวนันท์ทิยา ริยาพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมธรณีเทคนิค)
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

แอ่งหาคใหญ่เป็นแหล่งน้ำบาดาลหลักของพื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ปัจจุบันพบว่าความต้องการในการใช้น้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอย่างถาวร เกิดการรุกของน้ำเค็ม และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มของแอ่งหาคใหญ่ และนำผลการจำลองที่ได้มาใช้เพื่อกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ โดยประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร รวมถึงการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของชั้นน้ำหาคใหญ่

ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลพบว่า น้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่มีทิศทางการไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศใต้ ไปยังบริเวณที่ราบตอนกลางของพื้นที่แอ่งหาคใหญ่ และบางส่วนไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา สมดุลของน้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2554 จากการจำลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า มีปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกจากแบบจำลองประมาณ 84.56 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำหลักที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองได้แก่ ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ 45.36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การเพิ่มเติมน้ำสุทธิน้ำจากน้ำฝน 34.66 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนปริมาณน้ำหลักที่ไหลออกจากแบบจำลองได้แก่ ปริมาณที่ไหลออกไปกักเก็บในชั้นหินอุ้มน้ำ 48.26 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จากการสูบน้ำบาดาล 28.42 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ผลการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลเพื่อหาอัตราการสูบน้ำที่สามารถสูบได้เมื่อกำหนดระยะน้ำตลสูงสุดที่ยอมรับ โดยแบ่งเป็นเขตน้ำบาดาลย่อย 19 เขต พบว่า อัตราการสูบน้ำที่สามารถสูบได้ที่ระยะน้ำตลที่ 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 10 เมตร มีค่าเท่ากับ 37.56, 86.98, 134.07, 168.28, 199.62, 273.19 และ 332.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ และพบการปนเปื้อนของ

น้ำเค็มในบริเวณพื้นที่ติดทะเลสาบสงขลา ได้แก่ ตำบลคูเต่า ตำบลบางกล่ำ ตำบลแม่ทอม และ อำเภอสิงหนคร ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลพบว่า มีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ 1 นั่นคือชั้นน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากแหล่งมลสารจากผิวดินน้อยมาก

การศึกษาการบริหารจัดการน้ำบาดาลได้ดำเนินการภายใต้วัตถุประสงค์และเงื่อนไขกำหนดซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาสูงสุดที่ยอมรับได้ อัตราการสูบน้ำสูงสุดที่สามารถสูบได้ ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการบรรเทาผลกระทบหรือค่าอนุรักษ์น้ำ และการแพร่กระจายของน้ำเค็ม ผลการพิจารณา พบว่า เขตน้ำบาดาลย่อยคอหงส์และหาคใหญ่เป็นเขตวิกฤตน้ำบาดาล ส่วนเขตน้ำบาดาลย่อยอื่นๆ เป็นเขตการใช้น้ำบาดาลปลอดภัย เขตน้ำบาดาลย่อยที่มีการแพร่กระจายของน้ำเค็ม ได้แก่ เขตน้ำบาดาลย่อยสิงหนคร เขตน้ำบาดาลย่อยบางกล่ำ เขตน้ำบาดาลย่อยคูเต่า และเขตน้ำบาดาลย่อยแม่ทอม

คำหลัก : แอ่งหาคใหญ่, การจัดการน้ำบาดาล, ความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล, อัตราการสูบน้ำปลอดภัย, การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

Thesis Title	Groundwater Management of Hat Yai Basin Using Mathematical Model
Author	Miss Nantiya Riyapan
Major Program	Civil Engineering (Geotechnical Engineering)
Academic Year	2011

ABSTRACT

The Hat Yai basin is a main source of groundwater in the southern part of Songkhla Lake watershed. Recently, groundwater demands in the Hat Yai basin increases resulting in decreasing in groundwater level, increasing of seawater intrusion and other environmental impacts. The objectives of this study are to study the groundwater potential, seawater intrusion, groundwater management of the Hat Yai basin using a groundwater flow and mass transport model as a tool in. In addition, groundwater contamination risk assessment of the Hat Yai basin was also studied.

The simulation result shows that the direction of groundwater flow is from the recharge areas in the east, the west and the south to the center of the basin and to the Songkhla Lake. Groundwater balance results in 2011 reveal that total inflow and outflow are 84.56 Mm³/yr. Inflows from storage and rainfall to the model are 45.36 and 34.66 Mm³/yr, respectively. Outflows from the model to storage and pumping wells are 48.26 and 28.42Mm³/yr, respectively.

Groundwater potential results for 19 zones of the Hat Yai basin indicate that, pumping rate associated with 2, 3, 4, 5, 6, 8 and 10 meters of drawdown are 37.56, 86.98, 134.07, 168.28, 199.62, 273.19 and 332.25 Mm³/yr, respectively. Furthermore, the simulation result shows that, chloride contamination is found in the areas adjacent to the Songkhla Lake such as Kutao, Bangklam, Maetom and Singhanakorn. Risk index of groundwater contamination is in the range of 1 to 4 out of 25 which indicates that, for the Hat Yai basin, there is very low risk of groundwater contamination.

Groundwater management study was conducted under multiple objective functions namely maximizing allowable drawdown, maximizing pumping rate, minimizing mitigation cost and minimizing seawater intrusion. Study results show that, groundwater usage of Hat Yai Municipality area and Korhong area are critical whereas other areas are safe. Singhanakorn, Bangklam, Kutao and Maetom areas are found to have seawater intrusion.

Keywords : Hat Yai basin, Groundwater management, Risk of groundwater contamination, Safe yield, Groundwater potential.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ท่านแรกที่ผู้วิจัยอยากขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งคือ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิด เฉลิมยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทาง ในตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ชนันท์ ชูบุญการ และ พ.อ.ดร. ปรีชา อภิวันท์ตระกูล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนศึกษากันฤฎีและทุนอุดหนุนการวิจัย ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยผ่านมาได้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณอรุณ ลูกจันทร์ และคุณสุพล สันติเจริญกมล ที่ได้ให้ข้อมูล คำปรึกษา คำแนะนำ ในการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณรัตนา ทองย้อย สถาบันภูมิศาสตร์สารสนเทศฯ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรม ArcView GIS

ขอขอบคุณ คุณฐิตินันท์ อินธนู ที่ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจผู้วิจัย รวมถึงคุณพลวัตร และเพื่อนๆ และพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจในการดำเนินงานจนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ บุคคลที่ผู้วิจัยอยากขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งคือ คุณแม่อนงค์ และคุณพ่อประมวญ ธิยาพันธ์ บิดามารดาของผู้วิจัย ที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ และเชื่อมั่นในตัวผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงกำลังใจจากสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่เป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่าน

นันทิยา ธิยาพันธ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	3
2.1.1 ที่ตั้งและขอบเขต	3
2.1.2 สภาพภูมิประเทศ	3
2.1.3 สภาพภูมิอากาศ	5
2.1.4 สภาพอุทกวิทยา	5
2.1.5 ลักษณะธรณีสัณฐานและธรณีวิทยา	7
2.1.6 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา	11
2.1.7 แหล่งน้ำบาดาล	14
2.1.8 ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	15
2.1.9 ศักยภาพน้ำบาดาล	15
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับน้ำบาดาลและสารปนเปื้อน	16
2.2.1 ชั้นหินอุ้มน้ำ	16
2.2.2 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ	18
2.2.3 การไหลของน้ำใต้ดิน	21
2.2.4 การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน	25
2.2.5 กาประเมินศักยภาพแอ่งน้ำบาดาล	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของน้ำบาดาล	30
2.3.1 ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน	30
2.3.2 การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล	32
2.3.3 วิธี DRASTIC Index	32
2.3.4 การประเมินศักยภาพมลสาร	33
2.4 หลักการบริหารจัดการน้ำบาดาล	34
2.4.1 หลักการในการจัดการแอ่งน้ำบาดาล	34
2.4.2 องค์ประกอบของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล	35
2.4.3 การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์	37
2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	40
2.5.1 โปรแกรม Visual MODFLOW (v.4.1 pro)	41
2.5.2 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ใน Visual MODFLOW	41
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การรวบรวมข้อมูล	52
3.1.1 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ	52
3.1.2 การประเมินการใช้น้ำ	52
3.1.3 คุณสมบัติทางชลศาสตร์	54
3.2 การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ	54
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	54
3.3.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	55
3.3.2 การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง	55
3.3.3 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล	61
3.4.1 การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อย และการกำหนดระยะน้ำลด	61
3.4.2 การเพิ่มอัตราการสูบ	61
3.5 การวางแผนการจัดการน้ำบาดาล	65
3.5.1 ปักจี้ และเงื่อนไขในการจัดการ	65
3.5.2 การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่	66
4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลของแอ่งหาคใหญ่	69
4.1.1 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ	69
4.1.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำ	70
4.1.3 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ	71
4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อน	72
4.2.1 ผลการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำ	72
4.2.2 ผลการประเมินศักยภาพมลสาร	75
4.2.3 ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแอ่งหาคใหญ่	83
4.3 ผลการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง	84
4.3.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	84
4.3.2 ขนาดของแบบจำลองและขนาดของกริด	85
4.3.3 การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง	85
4.3.4 สภาพขอบเขตและช่วงเวลาการคำนวณ	85
4.3.5 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ	89
4.3.6 คุณสมบัติทางชลศาสตร์	90
4.3.7 ระดับแรงดันน้ำเริ่มต้น	91
4.3.8 การใช้น้ำบาดาลสำหรับแบบจำลอง	95
4.3.9 ความเข้มข้นคลอไรด์เริ่มต้น	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.10 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ	96
4.4 การเปรียบเทียบและตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง	100
4.4.1 การไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา	100
4.4.2 การแพร่กระจายของน้ำเค็ม	101
4.5 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็ม	102
4.5.1 ทิศทางการไหล	103
4.5.2 สมคูลน้ำบาดาล	108
4.5.3 การแพร่กระจายของน้ำเค็ม	110
4.6 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง	110
4.6.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา	110
4.6.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับการแพร่กระจายของน้ำเค็ม	112
4.7 ผลการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล	114
4.8 แผนการจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่	116
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	120
5.2 ข้อเสนอแนะ	124
บรรณานุกรม	126
ภาคผนวก	130
ก การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC Index	131
ข การประเมินศักยภาพมลสาร	137
ค สมการการไหลของน้ำใต้ดินและสมการการเคลื่อนที่ของมวลสาร	147
ง ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล	157
จ ข้อมูลคุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ	177
ฉ ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า	182
ช ข้อมูลระดับแรงดันน้ำ และปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้ในสนาม	186

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ฉ. สมดุลของน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อย	202
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	
การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ ก	213
ประวัติผู้เขียน	

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แผนที่ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	4
2.2	แผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งหาคใหญ่	9
2.3	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของแอ่งหาคใหญ่	13
2.4	ประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำ	17
2.5	ความหมายของศักย์ของน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ	22
2.6	เครื่องมือทดลองของดาร์ซี	23
2.7	รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาล	25
2.8	การแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์	27
2.9	การแบ่งความเป็นไปได้ตามวิธี Equal area of score	31
2.10	กระบวนการทำงานของแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำบาดาล	39
3.1	แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย	53
3.2	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งหาคใหญ่	56
3.3	อัตราการให้น้ำของชั้นน้ำในแอ่งหาคใหญ่	57
3.4	การแบ่งพื้นที่ของชั้นน้ำในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน	58
3.5	การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล	62
3.6	ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล	63
3.7	แผนภูมิการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลโดยการกำหนดระยะน้ำลด	64
3.8	แผนภูมิการจัดการน้ำบาดาล ปัจจัยและเงื่อนไขควบคุม	68
4.1	ตำแหน่งแหล่งมลสารในพื้นที่ศึกษา	77
4.2	การออกแบบขนาดกริดของแบบจำลอง	86
4.3	อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งหาคใหญ่	90
4.4	ระดับแรงดันน้ำใต้ดินชั้นน้ำหาคใหญ่ที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม (2551)	92
4.5	ระดับแรงดันน้ำใต้ดินชั้นน้ำคูเต่าที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม (2551)	93
4.6	ระดับแรงดันน้ำใต้ดินชั้นน้ำคองหงส์ที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม (2551)	94
4.7	ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำหาคใหญ่ในเดือนพฤษภาคม (2551)	97
4.8	ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำคูเต่าในเดือนพฤษภาคม (2551)	98
4.9	ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำคองหงส์ในเดือนพฤษภาคม (2551)	99

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551)	101
4.11 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็มในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551)	102
4.12 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลใหญ่ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)	104
4.13 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำคูลต่ำ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)	105
4.14 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำคองหงส์ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)	106
4.15 ภาพตัดขวางแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ณ เวลา ปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)	107
4.16 ผลการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็ม	111
4.17 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ	112
4.18 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าอัตราการเพิ่มเติม น้ำ	113
4.19 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ	113
4.20 แผนที่แสดงเขตน้ำบาดาลวิกฤตและเขตใช้น้ำปลอดภัย	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แอ่งหาคใหญ่ตั้งอยู่ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครอบคลุมพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ และอำเภออื่นๆอีก 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา แอ่งหาคใหญ่ถือได้ว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลคุณภาพดี น้ำบาดาลส่วนใหญ่ได้จากชั้นตะกอนหินร่วน มีอัตราการให้น้ำสูงโดยเฉพาะชั้นน้ำหาคใหญ่ซึ่งเป็นชั้นน้ำหลักที่มีการสูบน้ำบาดาลจากชั้นน้ำนี้ขึ้นมาใช้มากที่สุด

ปัจจุบันความต้องการในการใช้น้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมืองในบริเวณอำเภอหาดใหญ่และบริเวณรอบๆ การเพิ่มขึ้นของประชากรและโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการเป็นเมืองท่องเที่ยวและศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของเทศบาลนครหาดใหญ่ ความต้องการในการใช้น้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นนี้ อาจส่งผลกระทบต่อทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอย่างถาวร เกิดการรุกของน้ำเค็ม และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการบริหารจัดการการใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลที่เหมาะสมเพื่อรักษาสมดุลน้ำและระดับน้ำในชั้นน้ำ เพื่อการใช้น้ำบาดาลอย่างยั่งยืน

การศึกษานี้ได้ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร โดยใช้โปรแกรม MODFLOW และ MT3DMS เพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มของแอ่งหาคใหญ่ และนำผลการจำลองที่ได้มาใช้เพื่อกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ นอกจากการบริหารจัดการแล้วในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของชั้นน้ำหาคใหญ่ โดยใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงที่เสนอโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) เพื่อประเมินความเป็นไปได้ที่จะเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำของแอ่งหาคใหญ่อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษา พัฒนา และปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่

1.2.2 ประเมินแหล่งน้ำต้นทุนและศักยภาพของแอ่งหาดใหญ่

1.2.3 ประเมินอัตราการสูบน้ำตามระยะน้ำลคที่กำหนดเพื่อการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล รวมถึงการคำนวณค่าอนุรักษ์น้ำเมื่อมีการใช้น้ำเกินสมดุล

1.2.4 ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ชั้นหินอุ้มน้ำของแอ่งหาดใหญ่ ครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลาประกอบด้วย อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ อำเภอบางกล่ำ อำเภอกวนเนียงและอำเภอสิงหนคร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1ทราบถึงปริมาณแหล่งน้ำต้นทุนและสามารถประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่ได้

1.4.2 สามารถกำหนดอัตราการสูบน้ำจากการจัดทำแผนการใช้น้ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบด้านปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.1.1 ที่ตั้งและขอบเขต

แอ่งหาดใหญ่เป็นแอ่งน้ำบาดาลขนาดย่อมตั้งอยู่บนที่ราบชายฝั่งทะเลตะวันออกของภาคใต้ ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีขนาดประมาณ 1,200 ตารางกิโลเมตร โดยมีความกว้างในแนวตะวันออก-ตะวันตกประมาณ 20 กิโลเมตรและมีความยาวในแนวเหนือ-ใต้ประมาณ 60 กิโลเมตร (Lohawijam, 2005) ครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลาได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ อำเภอบางกล่ำ อำเภอกวนเนียง อำเภอสิงหนครและอำเภอคลองหอยโข่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ขอบเขตทางด้านตะวันตก-ตะวันออกตั้งอยู่ที่พิกัดประมาณ UTM 640000-670000E และขอบเขตทางด้านเหนือ-ใต้อยู่ที่พิกัด UTM N810000-750000N

2.1.2 สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของแอ่งหาดใหญ่ เป็นที่ราบล้อมรอบด้วยภูเขาและพื้นที่ซึ่งเป็นที่เนินถึง 3 ด้าน คือ เขาคอหงส์ด้านทิศตะวันออก แนวเทือกเขาบรรทัดทางทิศตะวันตก และเทือกเขาสันกาลาคีรีทางทิศใต้ซึ่งเป็นชายแดนไทย-มาเลเซีย ส่วนด้านทิศเหนือติดต่อกับทะเลสาบสงขลาและทะเลอ่าวไทย บริเวณกลางแอ่งเป็นที่ราบมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 9 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ยอดเขาสูงที่สุดในบริเวณนี้คือ เขาคอหงส์ ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ และห่างจากตัวเมืองหาดใหญ่ประมาณ 6 กิโลเมตร มีความสูง 371 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (สภา, 2539)



รูปที่ 2.1 แผนที่ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

2.1.3 สภาพภูมิอากาศ

แอ่งหาคใหญ่ตั้งอยู่ทางตอนล่างของทะเลสาบสงขลา ซึ่งอยู่บนภาคใต้ฝั่งตะวันออกทำให้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมที่สำคัญ 2 ช่วงคือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แอ่งหาคใหญ่มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Tropical monsoon climates) กล่าวคือ มีอากาศร้อน มีอุณหภูมิสูงตลอดปี มีฝนตกชุกเกือบตลอดปี และมีเพียง 2 ฤดูคือ

1) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่พฤษภาคมถึงธันวาคม แบ่งได้เป็น 2 ระยะ ระยะแรก ตั้งแต่พฤษภาคมถึงกันยายน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้มีฝนตกน้อย ระยะที่ 2 ตั้งแต่ตุลาคมถึงธันวาคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านอ่าวไทย ช่วงนี้ฝนตกชุก และเดือนพฤศจิกายนจะเป็นเดือนที่ฝนตกมากที่สุด

2) ฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่มกราคมถึงเมษายน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น เดือนเมษายนจะมีอากาศร้อนที่สุด

2.1.4 สภาพอุทกวิทยา

เนื่องจากแอ่งหาคใหญ่เป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ข้อมูลจากพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งประกอบด้วย

1) ปริมาณฝน

ปริมาณฝนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน 47 สถานีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทานพบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของแต่ละจังหวัดมีค่าพิสัยดังแสดงในตารางที่ 2.1 การผันแปรของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 จำนวนสถานีวัดน้ำฝนและค่าพิสัยของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

จังหวัด	จำนวนสถานีวัดน้ำฝน	ค่าพิสัยของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (มม.)
พัทลุง	14	1,557-2,378
สงขลา	25	1,034-2,060
นครศรีธรรมราช	8	1,425-2,193

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายเดือนทั้งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554)

เดือน	ปริมาณฝน (มม.)
เมษายน	93.56
พฤษภาคม	127.02
มิถุนายน	82.50
กรกฎาคม	91.3
สิงหาคม	103.64
กันยายน	121.45
ตุลาคม	242.88
พฤศจิกายน	445.06
ธันวาคม	334.36
มกราคม	89.83
กุมภาพันธ์	35.78
มีนาคม	66.46
ฤดูฝน	1,428
ฤดูแล้ง	405.32
ทั้งปี	1,833.84

2) การคายระเหย

ปริมาณการระเหยวัดได้จากถาดวัดระเหยน้ำ (Evaporation Pan) ของสถานีสงขลา มีค่า 1,738.40 มิลลิเมตรต่อปี ขณะที่ค่าการระเหยวัดได้จากสถานีคอหงส์ มีค่า 1,469.58 มิลลิเมตร

ต่อปี สาเหตุที่แตกต่างกัน สืบเนื่องจากสถานีจังหวัดสงขลาได้รับลมจากรอบทิศ ส่วนสถานีคอกหงส์ ถูกเทือกเขาคอกหงส์ช่วยกั้นลมที่พัดมาจากด้านตะวันออก ดังนั้น จึงมีค่าประมาณ 85% ของสถานี สงขลา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)

3) ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจากการประเมินของกรมชลประทานครอบคลุมพื้นที่ 7,455 ตารางกิโลเมตร ของสถานีวัด 21 สถานีพบว่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 5,214.85 ล้านลูกบาศก์เมตร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554)

4) แหล่งน้ำผิวดิน

แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญของแอ่งหาคใหญ่คือ คลองอู่ตะเภา ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาสันกาลาคีรี ในตำบลสำนักแคว อำเภอสะเดา ไหลผ่านตำบลต่างๆในอำเภอสะเดาเข้าสู่อำเภอหาคใหญ่ ผ่านตำบลพะตง ทุ่งลาน บ้านพรุ ควนลัง คลองแห บ้านหาร ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านคลองบางกล้า อำเภอบางกล้า มีความยาวประมาณ 90 กิโลเมตร (ข้อมูลจังหวัดสงขลา, 2552)

2.1.5 ลักษณะธรณีลักษณะและธรณีวิทยา

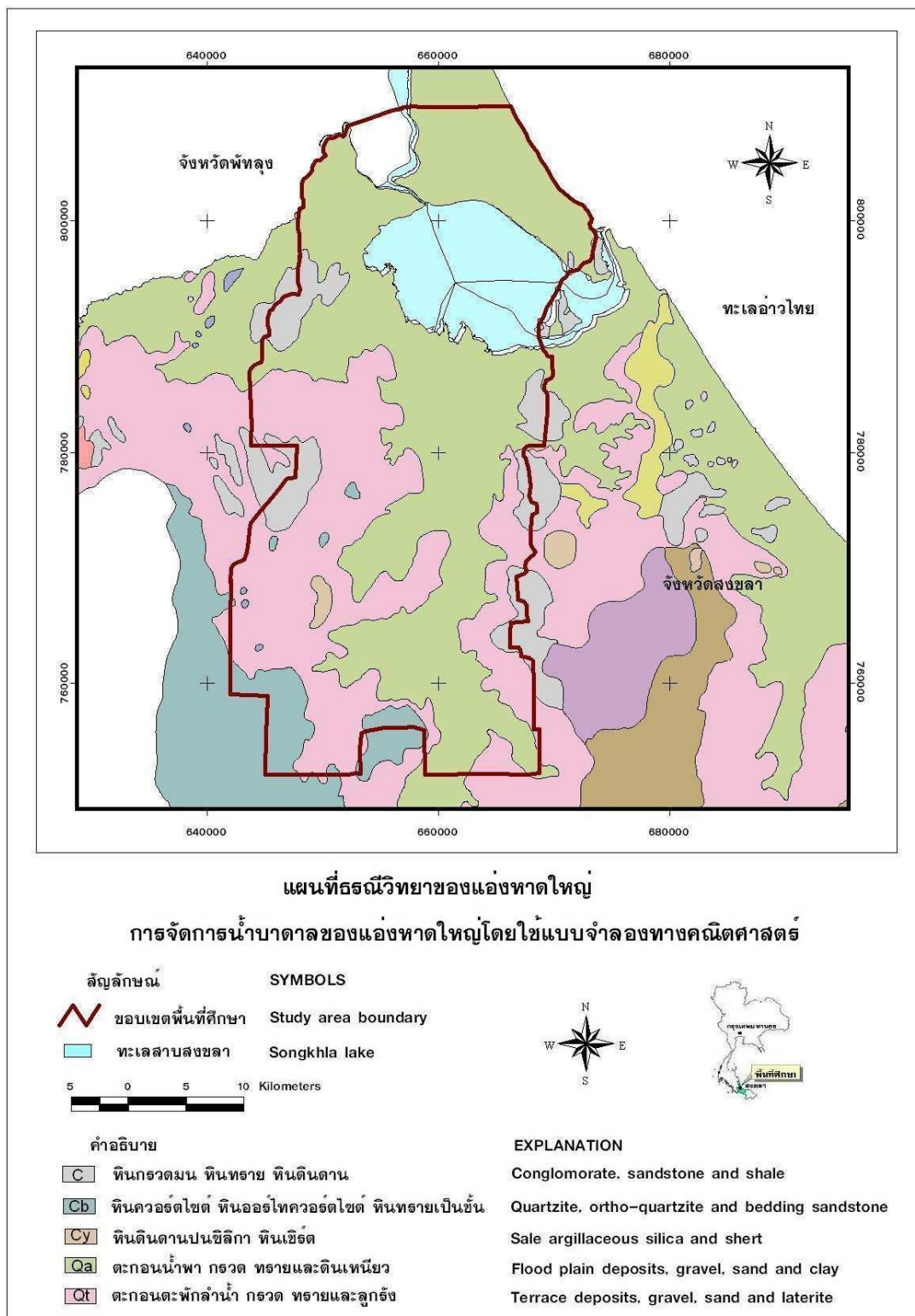
แอ่งหาคใหญ่เป็นแอ่งเทอร์เชียรี (Tertiary) ลักษณะเป็นแอ่งที่ราบระหว่างหุบเขา (Intermountain Groundwater Basin) มีตะกอนในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ปกคลุมอยู่ด้านบน ขอบแอ่งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นเทือกเขาสูงซึ่งเป็นหินทรายหินดินดาน และหินเชิร์ต ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) และหินแกรนิต เนื่องจากแอ่งหาคใหญ่เกิดจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกทำให้เกิดแนวรอยเลื่อน โดยบริเวณขอบแอ่งทั้งสองด้านถูกยกตัวขึ้นมา ในลักษณะ Horst and graben ทำให้ขอบแอ่งมีตะกอนกรวดขนาดใหญ่ที่เกิดจากการผุพังของหิน บริเวณขอบแอ่งตกตะกอนทับถมอยู่เป็นจำนวนมาก ตะกอนเหล่านี้ประกอบไปด้วยกรวดขนาดเล็กถึงใหญ่มาก มีความกลมมนปานกลาง และส่วนละเอียด (Very poorly graded) ส่วนบริเวณกลางแอ่งมีการสะสมตัวของตะกอนกรวดทรายและดินเหนียว ที่เกิดจากการพัดพาของแม่น้ำสมัยโบราณ และแม่น้ำสายปัจจุบัน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่แอ่งหาคีใหญ่ประกอบไปด้วยชั้นหินที่มีอายุแตกต่างกันเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

1) หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) เป็นหินที่มีอายุอยู่ในช่วง 360-286 ล้านปี ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง หินเชิร์ต หินโคลน และหินทรายปนกรวด บริเวณที่สัมผัสกับหินแกรนิตจะถูกกระบวนการ Contact Metamorphism เปลี่ยนไปเป็นหินควอร์ตไซต์ หินควอร์ตชีสต์ และหินชีสต์ พบทั่วไปทางด้านตะวันออก และทางด้านตะวันตกของจังหวัดสงขลา เช่นในเขตอำเภอเมือง และอำเภอหาคีใหญ่ เป็นต้น

2) หินยุคเพอร์เมียน (Permian) หรือ หินปูนชุกราชบุรี (Ratburi Limestone) เป็นหินที่มีอายุอยู่ในช่วงประมาณ 286-245 ล้านปี ประกอบด้วยหินปูน และหินเนื้อโคลนโดโลไมต์ มีหินเชิร์ต เป็นกระเปาะและแทรกสลับเป็นชั้นบางๆ พบกระจายตัวเป็นบริเวณแคบๆ ทางด้านฝั่งตะวันตกของพื้นที่ เช่น ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอสะเดา

3) หินยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ได้แก่ชั้นของตะกอนที่มีอายุอยู่ในช่วง 1.6 ล้านปี- อายุปัจจุบัน ประกอบด้วยตะกอน กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว ลูกกรัง และเศษหิน ที่ถูกพัดมาสะสมตัวกันโดยตัวกลางชนิดต่างๆ เช่น แม่น้ำ ทะเล และลม เป็นต้น พบทั่วไปบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบชายฝั่งทะเล ตะกอนชุดนี้เป็นตะกอนที่ยังไม่มีการจับตัวและเชื่อมประสาน (Compaction and Cementation) เป็นหินแข็ง ยกเว้นบางบริเวณที่อาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เนื่องจากน้ำบาดาลทำให้ตะกอนบางส่วนถูกเชื่อมประสานด้วยแร่เหล็กที่ถูกพัดพามากับน้ำบาดาลกลายเป็นชั้นลูกกรัง หรือศิลาแลง (Leterite) ความหนาของชั้นลูกกรังหรือศิลาแลง ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลบริเวณนั้นๆ ตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาประกอบด้วย



รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาของแ่งหาดใหญ่

- สันทรายชายหาด (Beach Sand Ridge) ได้แก่ ชั้นตะกอนทรายหยาบถึงละเอียดมีกรวดปนเล็กน้อย ประกอบไปด้วยแร่ ควอร์ต (Quartz) เป็นส่วนใหญ่ ตะกอนเหล่านี้ถูกพัดพามาสะสมตัวโดยกระแสน้ำทะเล (Long Shore Current) และบางส่วนของตะกอนขนาดทรายละเอียดที่ถูกพัดพามาโดยทะเล จะถูกลมที่พัดอยู่บริเวณแนวชายฝั่ง พัดพาไปตกตะกอนบนฝั่ง มีลักษณะเป็นแนวยาวขนานไปกับแนวชายฝั่งทะเล เม็ดของตะกอนค่อนข้างกลมมน (Sub Rounded to Rounded) มีผิวเป็นมัน การคัดขนาดปานกลางถึงดีมาก (Moderately to Well Sorted) ตะกอนทรายชายหาดที่พบมีทั้งตะกอนที่เกิดในอดีตและปัจจุบัน พบในบริเวณพื้นที่ด้านทิศเหนือที่อยู่ติดกับทะเล บริเวณอำเภอหาดใหญ่

- ตะกอนน้ำพา (Floodplain Deposits) ได้แก่ ชั้นของตะกอน กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ที่ถูกพัดพามาสะสมตัวโดยทางน้ำในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำหลาก และบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล ขนาดของตะกอนกรวดทรายน้อยกว่า 2 เซนติเมตร รูปร่างของเม็ดตะกอนมีเหลี่ยมคมเล็กน้อยถึงค่อนข้างกลมมน (Sub Angular to Sub Rounded) การคัดขนาดปานกลาง ประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ และเชิร์ต เป็นส่วนใหญ่ พบในทุกอำเภอของจังหวัดสงขลา ยกเว้นอำเภอรัตภูมิและอำเภอสะเดา

- ตะกอนตะพักน้ำระดับสูง (High Terrace Deposits) ประกอบไปด้วยชั้นของตะกอน กรวดขนาดใหญ่ ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และลูกรัง ที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยทางน้ำสมัยโบราณ ขนาดของกรวดมีตั้งแต่ 2 เซนติเมตรจนถึงมากกว่า 1 เมตร มีความกลมมนปานกลางถึงกลมมนค่อนข้างสูง (Sub Rounded to Rounded) การคัดไม่ดี (Poorly Sorted) ประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ เชิร์ต ควอตซ์ชีสต์ หินทราย หินทรายแป้ง และแกรนิต โดยมากมักพบเป็นหินโผล่วางตัวอยู่ในระดับสูงกว่าระดับตะกอนทางน้ำปัจจุบันและบางส่วนวางตัวอยู่ด้านล่างของตะกอนทางน้ำปัจจุบัน พบเป็นหินโผล่บริเวณขอบแอ่งหาดใหญ่ โดยพบอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ อำเภอคลองหอยโข่ง

- ตะกอนที่ราบเชิงเขา (Colluvial Deposits) ประกอบไปด้วยตะกอนเศษดินและหินที่เกิดจากการพังทลายของหินบริเวณเชิงเขาและตกตะกอนเป็นที่ราบบริเวณเชิงเขา ลักษณะของตะกอนมักมีขนาดต่างๆ กัน มีเหลี่ยมคมสูง การคัดขนาดไม่ดี ส่วนประกอบของชั้นตะกอนขึ้นอยู่กับชนิดของหินที่เป็นต้นกำเนิด (Host Rock) ว่าเป็นหินชนิดใด พบทั่วไปในบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขาและบริเวณเชิงเขาที่ติดต่อกับบริเวณที่ราบในเขต อำเภอหาดใหญ่

- หินอัคนี (Igneous Rocks) ประกอบไปด้วยหินแกรนิต (Granitic Aquifer) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกทิวไรต์มาหินแกรนิต บางบริเวณมีหินเพ็กมาไทต์ และสายแร่ควอตซ์แทรก มีลักษณะเนื้อแน่นและแข็ง บางแห่งมีการแตกแบบเป็นกาบ (Exfoliation) หินที่พบในบริเวณที่เนินเดี่ยวๆ และบริเวณราบเชิงเขามักเป็นหินผุจนถึงผุมาก ส่วนใหญ่พบในบริเวณที่เป็นเทือกเขาสูง และเขาโดดในเขตอำเภอหาดใหญ่ อำเภอคลองหอยโข่ง และอำเภอสะเดา

2.1.6 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในตะกอนหินร่วนและหินชั้นแข็ง (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

1) ชั้นหินอุ้มน้ำในตะกอนหินร่วน (Unconsolidated Aquifer)

ชั้นตะกอนหินร่วนที่ยังไม่มีการจับตัวและเชื่อมประสานซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่ประกอบด้วย

- ชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพา (Fluvial Deposits Aquifer; Qfd) ชั้นหินอุ้มน้ำประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยน้ำบาดาลจะกักเก็บอยู่ในช่องระหว่างเม็ดกรวด ทราย ที่สะสมตัวอยู่ที่ราบลุ่มน้ำหลาก บริเวณแนวคดโค้งของทางน้ำ และบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลที่เกิดจากการพัดพาของทางน้ำ โดยทั่วไปจะพัฒนาน้ำบาดาลได้ที่ระดับความลึก 30-60 เมตร ปริมาณน้ำที่ได้อยู่ในเกณฑ์ 10-30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางบริเวณคุณภาพน้ำกร่อย-เค็ม เนื่องจากการรุกล้ำของน้ำทะเล ตะกอนชุดนี้วางตัวอยู่บนตะกอนทางน้ำเก่า

- ชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนพังก้าน้ำสูง (High Terrace Aquifer; Qht) ชั้นหินอุ้มน้ำประกอบด้วยชั้นของตะกอน กรวดขนาดใหญ่ ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ที่เกิดจากการพัดพาโดยทางน้ำโบราณ ตะกอนมีขนาดตั้งแต่ 2 เซนติเมตรจนถึงมากกว่า 1 เมตร มีความกลมมนปานกลางถึงค่อนข้างสูง การคัดขนาดไม่ดี ประกอบไปด้วย ควอตซ์ เซิร์ต ควอร์ตไซต์ ควอตซ์ชีสต์ หินทราย หินทรายแป้ง และแกรนิต พบบริเวณของแอ่งหาดใหญ่ บริเวณอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอสะเดาปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำดี ความลึกที่พัฒนาน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 20-60 เมตร บางบริเวณอาจลึกถึง 100 เมตร

- ชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium Aquifer; Qcl) ชั้นหินอุ้มน้ำประเภทนี้ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และเศษหิน เป็นชั้นตะกอนหนาที่ไม่มี การคัดขนาดของเม็ดตะกอน น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ภายในช่องว่างระหว่างกรวด ทราย ทรายแป้ง และเศษหิน ความลึกของชั้นน้ำบาดาล 20-40 เมตร ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง คุณภาพน้ำจืด พบทั่วไปในบริเวณเชิงเขาและที่ราบระหว่างภูเขา

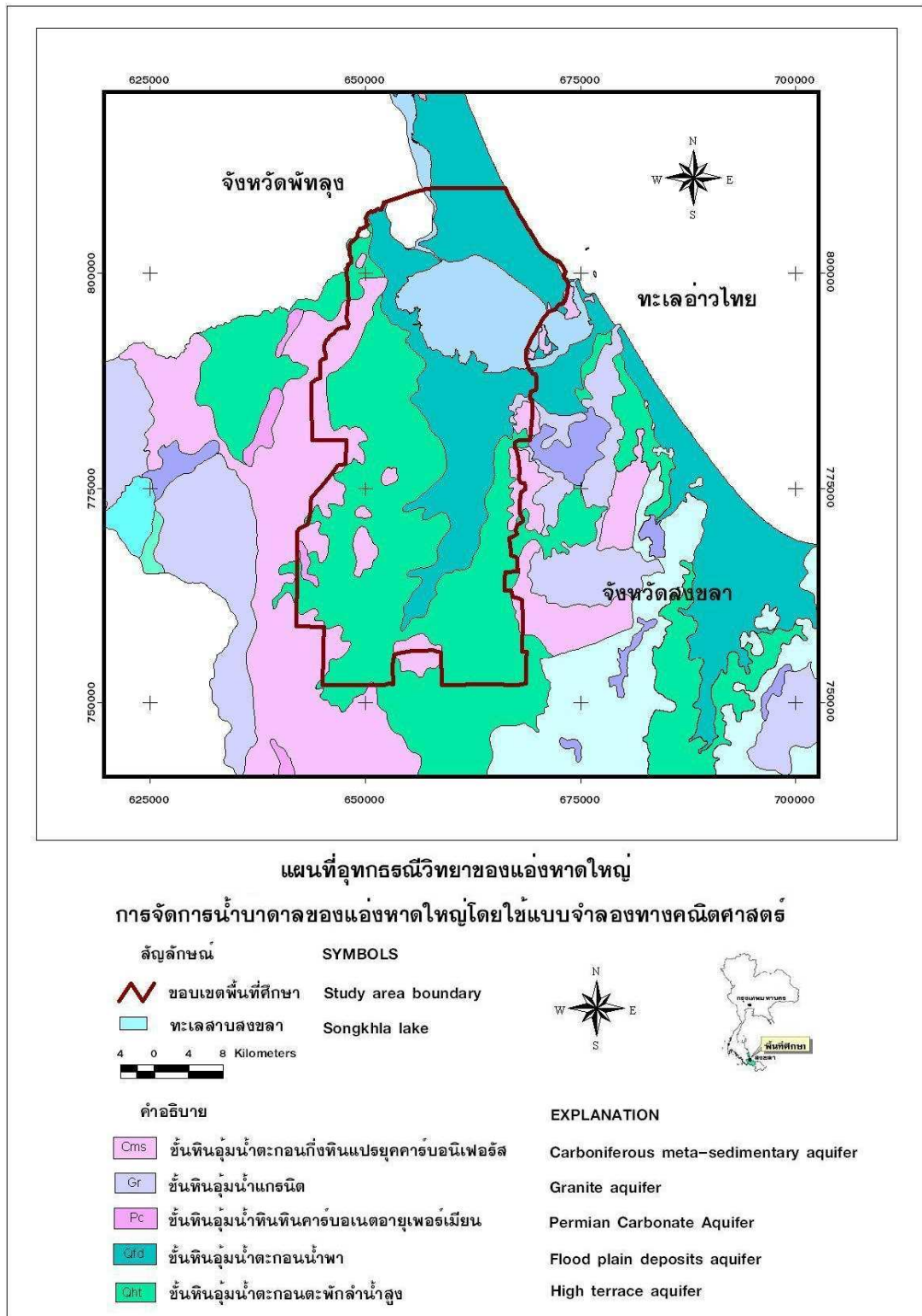
2) ชั้นหินอุ้มน้ำในหินแข็ง (Consolidated Aquifer)

ชั้นหินอุ้มน้ำในหินแข็ง คือแหล่งน้ำบาดาลที่ถูกกักอยู่ในชั้นหินตะกอน หิน ตะกอนกึ่งหินแปร และหินอัคนี ซึ่งมีรายละเอียดของชั้นหินในแต่ละประเภท ดังนี้

- ชั้นหินให้น้ำหินตะกอน (Clastic Sedimentary Aquifers) ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำ ลำปาง (Lampang Aquifers; TRIp) พบชั้นน้ำบาดาลชนิดนี้กระจายในเขตอำเภอสะเตา ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน หินปูน และหินกรวดมนภูเขาไฟ น้ำบาดาลถูกกัก เก็บอยู่ภายในรอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน และรอยต่อระหว่างชั้นหิน

- ชั้นหินให้น้ำตะกอนกึ่งหินแปร (Meta-Sedimentary Aquifers) ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำ ตะกอนกึ่งหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous Metasedimentary Aquifer; Cms) พบใน เขตอำเภอเมือง อำเภอหาดใหญ่ อำเภอคลองหอยโข่ง และอำเภอสะเตา ชั้นหินให้น้ำประกอบไป ด้วยหินดินดาน หินทรายแป้ง หินทราย หินชนวน หินฟิลไลต์ และหินควอร์ตไซต์ น้ำบาดาลกักเก็บ อยู่ภายใน รอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน และบริเวณที่หินผุ

- ชั้นหินให้น้ำอัคนี (Igneous Aquifers) พบในบริเวณที่เป็นเทือกเขาสูง และเขา โดดในอำเภอหาดใหญ่ อำเภอคลองหอยโข่งและอำเภอสะเตา ประกอบไปด้วย หินแกรนิต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกทิวร์มาลีนแกรนิต บางบริเวณมีหินเพ็กมาไทต์ และสารแร่ควอร์ตแทรก มีลักษณะเนื้อ แน่นและแข็ง บางบริเวณมีการแตกแบบเป็นกาบ (Exfoliation) หินที่พบในบริเวณเนินเตี้ย ๆ และ บริเวณราบเชิงเขามักเป็นหินผุนถึงหินผุมากส่วนใหญ่ศักยภาพในการให้น้ำของหินชนิดนี้ต่ำ พัฒนาน้ำบาดาลที่ความลึก 15-45 เมตร ปริมาณน้ำที่ได้จะน้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง น้ำมี คุณภาพดี



รูปที่ 2.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของแอ่งหาดใหญ่

2.1.7 แหล่งน้ำบาดาล

สภา (2539) ศึกษาลักษณะชั้นดินและหินรวมทั้งข้อมูลของหลุมเจาะน้ำบาดาลในบริเวณแอ่งหาดใหญ่ และเครื่องหยั่งธรณี สามารถแบ่งชั้นน้ำบาดาลออกได้เป็น 3 ชั้น คือ

1) ชั้นน้ำหาดใหญ่ (Had Yai Aquifer)

ชั้นน้ำหาดใหญ่เป็นชั้นน้ำชั้นบนสุด มีความลึกประมาณ 20-50 เมตร มีความหนาของชั้นกรวดทรายเฉลี่ย 10-20 เมตร โดยความหนาแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ บริเวณตัวเมืองหาดใหญ่หนาประมาณ 20-40 เมตร ปกคลุมด้วยดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายซึ่งน้ำสามารถซึมผ่านได้เล็กน้อย ชั้นน้ำหาดใหญ่เป็นชั้นน้ำประเภทปราศจากแรงดัน (Unconfined aquifer) ถึงกึ่งภายใต้แรงดัน (Semi-confined aquifer) การเพิ่มเติมของน้ำในชั้นน้ำนี้ จะได้จากน้ำฝนซึ่งตกมาในพื้นที่รับน้ำของแอ่งหาดใหญ่โดยตรง ชั้นน้ำหาดใหญ่เป็นชั้นน้ำหลักของแอ่งหาดใหญ่ ให้ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 20-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นชั้นน้ำที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้มากที่สุด บ่อบาดาลบางบ่อที่เจาะในชั้นนี้สามารถให้น้ำได้ถึง 150-200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2) ชั้นน้ำคูเต่า (Ko Tao Aquifer)

ชั้นน้ำคูเต่าเป็นชั้นที่อยู่ลึกลงไปประมาณ 60-100 เมตร โดยมีความหนาประมาณ 30 เมตร โดยมีดินเหนียวกั้นจากชั้นน้ำหาดใหญ่ เป็นชั้นน้ำที่มีแรงดัน (Confined Aquifer) ประกอบด้วยชั้นกรวดทรายหลายชั้น (Multi-layer aquifer) และดินทรายปนดินเหนียว ซึ่งน้ำสามารถซึมผ่านได้ ให้ปริมาณน้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 20-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ชั้นน้ำนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้น้อยกว่าชั้นน้ำหาดใหญ่

3) ชั้นน้ำคอหงส์ (Kor Hong Aquifer)

ชั้นน้ำคอหงส์เป็นชั้นน้ำที่อยู่ลึกลงไปจากชั้นน้ำคูเต่า โดยมีดินเหนียวปิดทับอยู่ข้างบน อยู่ลึกลงไปจากผิวดินมากกว่า 100 เมตร เป็นชั้นน้ำที่มีแรงดัน (Confined aquifer) ประกอบด้วยชั้นกรวดทราย มีการคัดขนาด และความกลมมนดี โดยทั่วไปบ่อบาดาลที่เจาะในชั้นน้ำนี้จะให้น้ำน้อยกว่าบ่อบาดาลที่เจาะในชั้นน้ำ 2 ชั้นที่กล่าวมาแล้ว โดยสามารถให้น้ำได้ประมาณ 10-50 ลูกบาศก์

เมตรต่อชั่วโมง และมีการใช้น้ำในชั้นนี้น้อยกว่าน้ำบาดาลชั้นอื่น การเพิ่มของน้ำในชั้นนี้ได้จากการรั่วซึมของน้ำจากชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไปชั้นทั้งสามนี้แยกจากกัน โดยมีชั้นดินเหนียวกัน

2.1.8 ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

การไหลของน้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่โดยส่วนใหญ่มีทิศทางจากทิศใต้สู่ทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือในแนวนอน เนื่องจากมีคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวนอนดีกว่าการไหลในแนวตั้ง (สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546) จากการติดตามวัดระดับน้ำจากบ่อบาดาลซึ่งเจาะในชั้นน้ำหาคใหญ่บริเวณตัวเมืองและบริเวณใกล้เคียง จำนวน 103 บ่อ โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี (ปัจจุบัน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) ในปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2538 พบว่าน้ำบาดาลรอบตัวเมืองหาคใหญ่จะไหลเข้าสู่ตัวเมืองหาคใหญ่ ซึ่งบริเวณที่ระดับน้ำบาดาลลึกมากที่สุดอยู่กลางเมือง โดยมีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง (รทก.) ประมาณ 8 เมตร มีความยาวประมาณ 10 กิโลเมตร และกว้างประมาณ 5 กิโลเมตร และพบว่าระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างต่อเนื่องและแผ่ขยายออกไปรอบด้าน ถ้าหากการแผ่กว้างของขอบเขตที่มีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าระดับทะเลปานกลางมากกว่า 8 เมตร ขยายไปทางทิศเหนือจนถึงบริเวณทะเลสาบสงขลา จะทำให้น้ำเค็มแทรกตัวเข้ามาในชั้นน้ำหาคใหญ่ได้ (สภา, 2539)

ธนิตและคณะ (2552) ศึกษาทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำบาดาล ผลการจำลองพบว่า ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่โดยทั่วไปจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางทิศตะวันตก (เทือกเขาบรรทัด) และทิศตะวันออก (เทือกเขาคอหงส์) มายังพื้นที่รับน้ำบริเวณกลางแอ่ง รวมกับน้ำจากทิศใต้ (เขาวังชิง) แล้วไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา และการไหลของน้ำมีการไหลซึมผ่านชั้นดินในแนวตั้งจากชั้นบนสุด สู่ชั้นน้ำหาคใหญ่นอกจากนี้ยังพบว่ามีทิศทางการไหลไปยังกรวยน้ำลด ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีการสูบน้ำมาก โดยเฉพาะบริเวณตัวเมืองหาคใหญ่

2.1.9 ศักยภาพน้ำบาดาล

จากข้อมูลทริเทียม (Tritium, 3H) ในตัวอย่างน้ำฝนและน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาบ่งชี้ว่า น้ำบาดาลในแอ่งหาคใหญ่มีต้นกำเนิดจากน้ำฝนที่ซึมผ่านเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล มีทิศทางการไหลจากขอบเขาลงสู่ใจกลางแอ่งซึ่งอยู่ในเขตเทศบาลนครหาคใหญ่ ในฤดูฝนน้ำใน

คลองอุ้ต๊ะเกาบางส่วนจะไหลเข้าไปเพิ่มเติมให้กับแหล่งน้ำบาดาลด้วย แต่ในช่วงฤดูแล้งจะกลับกัน คือ น้ำบาดาลจะไหลออกสู่คลองอุ้ต๊ะเกา และพบว่า 6 % ของฝนที่ตกลงในพื้นที่จะไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในลุ่มน้ำย่อยคลองอุ้ต๊ะเกา หรือประมาณ 120 มิลลิเมตรต่อปี (สุรพล, 2534)

อรุณ (2552) ศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาของแอ่งหาดใหญ่และสรุปไว้ว่า แอ่งหาดใหญ่มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลประมาณ 7.64% ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย พื้นที่รับน้ำหลักอยู่บริเวณแนวเขาสูงทางทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศใต้ ส่วนพื้นที่ให้น้ำคือ พื้นที่ราบลุ่มตอนกลางของแอ่งหาดใหญ่ เช่นเดียวกับการศึกษาของอมรรัตน์ (2548) ที่กล่าวไว้ว่า แอ่งหาดใหญ่มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลประมาณ 7% ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย และมีพื้นที่รับน้ำอยู่บริเวณแนวเขาสูง มีพื้นที่ให้น้ำบริเวณพื้นที่ราบตอนกลางแอ่ง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับน้ำบาดาลและสารปนเปื้อน

2.2.1 ชั้นหินอุ้มน้ำ

ชั้นหินอุ้มน้ำ หมายถึง ชั้นดินหรือหินที่มีน้ำแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือรอยแตกในชั้นหิน และสามารถให้น้ำในปริมาณที่มากพอที่จะสูบขึ้นมาใช้ได้ มีความสามารถในการกักเก็บน้ำและให้น้ำแตกต่างกันตามลักษณะการเกิดของชั้นหินอุ้มน้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันและชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (รูปที่ 2.4)

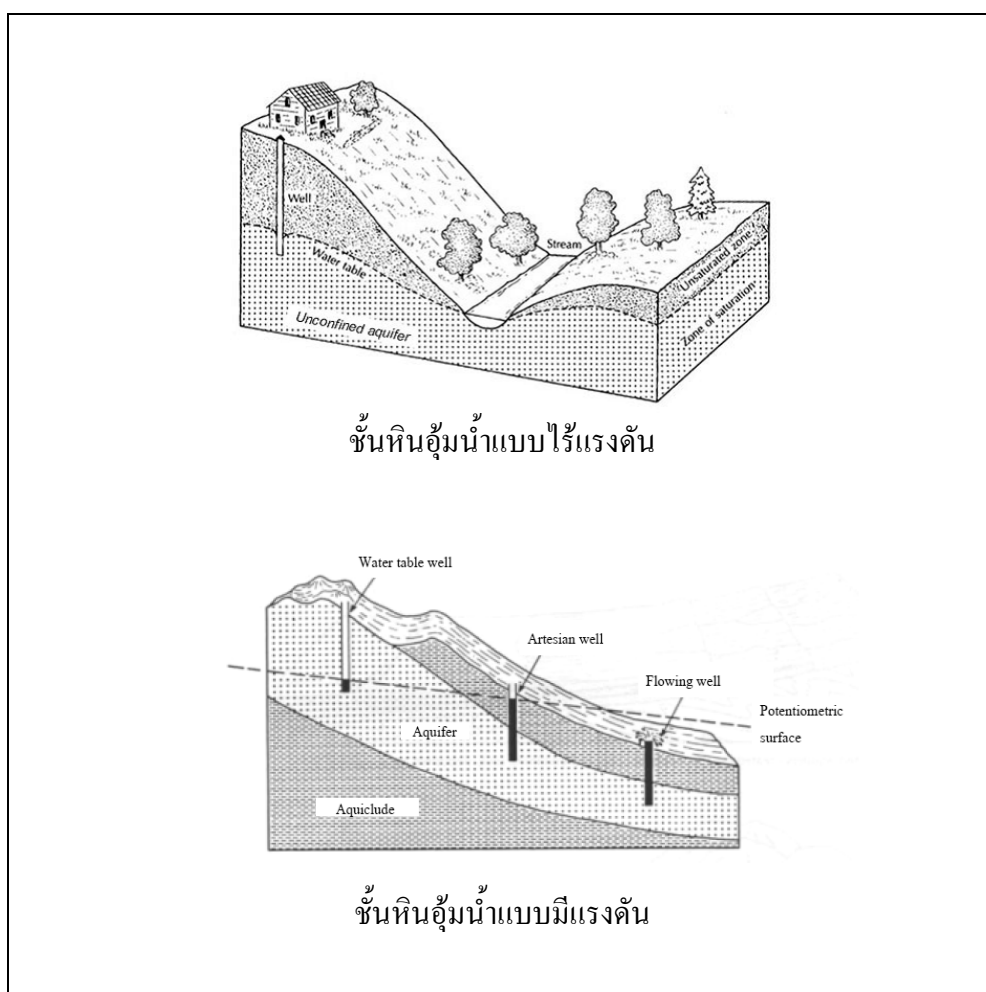
1) ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Confined aquifers)

ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันเป็นชั้นให้น้ำที่ถูกปิดกั้นด้วยชั้นหินทึบน้ำ (Aquitard) ทั้งด้านบนและด้านล่าง ในธรรมชาติไม่มีชั้นทึบน้ำที่แท้จริง ชั้นหินทึบน้ำส่วนใหญ่จะยอมให้น้ำไหลผ่านได้ต่ำหรือต่ำมาก ความดันน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันนี้จะมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ น้ำจะถูกเติมเข้าหรือปล่อยออกจากชั้นหินอุ้มน้ำขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ระดับน้ำที่เกิดจากแรงดัน และถูกปล่อยให้สูงขึ้นจนหยุดนิ่งเรียกว่า Piezometric head และระดับผิวน้ำนี้จะเรียกว่า Piezometric surface ภายใต้งี้อนี้จะทำให้เกิดการอัดตัวของหินและการขยายตัวของน้ำในช่องว่าง เมื่อระดับน้ำลดลงแรงดันของน้ำจะลดลงด้วย แต่ชั้นหินอุ้มน้ำยังคงอึดตัว ปริมาณของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำเมื่อระดับของน้ำลดลงหนึ่งหน่วย เรียกว่า

การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage, S_s) ซึ่งมีหน่วยต่อระยะทาง (L^{-1}) ช่วงของค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

2) ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifers)

ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันเป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่มีชั้นหินกั้นน้ำปิดทับอยู่ เมื่อน้ำถูกปล่อยออกมาจากชั้นหินอุ้มน้ำจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงเนื่องจากแรงดันลดลง ปริมาตรของน้ำที่ปล่อยออกจากชั้นหินอุ้มน้ำภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกต่อหนึ่งหน่วยความหนาเมื่อเสด (Head) ของน้ำลดลงหนึ่งหน่วย เรียกว่า สัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Specific yield, S_y) ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันแสดงได้ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำ (Fetter, 2001)

ตารางที่ 2.3 ช่วงของค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Domennico, 1972)

Material	Specific storage (S_s) [m^{-1}]
Plastic clay	$2.6 \times 10^{-3} - 2.0 \times 10^{-2}$
Stiff clay	$1.3 \times 10^{-3} - 2.6 \times 10^{-3}$
Medium-hard clay	$9.2 \times 10^{-4} - 1.3 \times 10^{-3}$
Loose sand	$4.9 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-3}$
Dense sand	$1.3 \times 10^{-4} - 2.0 \times 10^{-4}$
Dense sand gravel	$4.9 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-4}$
Rock, fissured, jointed	$3.3 \times 10^{-6} - 6.9 \times 10^{-5}$
Rock, sound	Less than 3.3×10^{-6}

2.2.2 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ

คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำที่สำคัญประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหินอุ้มน้ำ (Hydraulic conductivity) คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีทิศทางไหลตั้งฉากกับการไหลภายใต้ความชันชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในหินชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันในตำแหน่งและทิศทาง กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นให้น้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งจะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Homogeneous แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งจะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Heterogeneous กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นให้น้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางจะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Isotropic แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางจะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Anisotropic (ธนิต, 2552)

ในสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติ ชั้นหินอุ้มน้ำจะเป็นแบบ Heterogeneous และ Anisotropic คือมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแปรเปลี่ยนทั้งตำแหน่งและทิศทาง ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหินอุ้มน้ำแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Morris and Johnson, 1967)

Material	Range of values of S_y	Arithmetic mean of S_y
Sandstone (fine)	0.02 - 0.40	0.21
Sandstone (medium)	0.12 - 0.41	0.27
Siltstone	0.01 - 0.33	0.12
Sand (fine)	0.01 - 0.46	0.33
Sand (medium)	0.16 - 0.46	0.32
Sand (coarse)	0.18 - 0.43	0.30
Gravel (fine)	0.13 - 0.40	0.28
Gravel (medium)	0.17 - 0.44	0.24
Gravel (coarse)	0.13 - 0.25	0.21
Silt	0.01 - 0.39	0.20
Clay	0.01 - 0.18	0.06
Limestone	0.00 - 0.36	0.14
Schist	0.22 - 0.33	0.26
Tuff	0.01 - 0.47	0.21

ตารางที่ 2.5 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหินอุ้มน้ำ (Domenico, 1990)

Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)	Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Gravel	$3.0 \times 10^{-4} - 3.0 \times 10^{-2}$	Karst and reef limestone	$1.0 \times 10^{-6} - 2.0 \times 10^{-2}$
Sand (coarse)	$9.0 \times 10^{-7} - 6.0 \times 10^{-3}$	Limestone, dolomite	$1.0 \times 10^{-9} - 6.0 \times 10^{-6}$
Sand (medium)	$9.0 \times 10^{-7} - 5.0 \times 10^{-4}$	Sandstone	$3.0 \times 10^{-10} - 6.0 \times 10^{-6}$
Sand (fine)	$2.0 \times 10^{-7} - 2.0 \times 10^{-4}$	Siltstone	$1.0 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Silt, loess	$1.0 \times 10^{-9} - 2.0 \times 10^{-5}$	Salt	$1.0 \times 10^{-12} - 1.0 \times 10^{-10}$
Till	$1.0 \times 10^{-12} - 2.0 \times 10^{-6}$	Anhydrite	$4.0 \times 10^{-13} - 2.0 \times 10^{-8}$
Clay	$1.0 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$	Shale	$1.0 \times 10^{-13} - 2.0 \times 10^{-9}$

2) สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ (Transmissivity, T) คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตลอดความหนาของหินอุ้มน้ำภายใต้ความชันชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย สำหรับหินอุ้มน้ำที่มีความหนา b จะมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำดังนี้

$$T = Kb \quad (2.1)$$

เมื่อ

T = ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (L^2/T)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (LT^{-1})

b = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ (L)

3) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ

ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำ (Storage Coefficient, S) คือ ปริมาณของน้ำที่กักเก็บในหินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ สามารถกักเก็บหรือปล่อยออกมาจากชั้นหินต่อพื้นที่หน้าตัด หนึ่งหน่วยและต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Head) หนึ่งหน่วย สำหรับหินอุ้มน้ำที่มีความหนา b จะมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บดังนี้

$$\text{หินอุ้มน้ำมีแรงดัน:} \quad S = S_s b \quad (2.2)$$

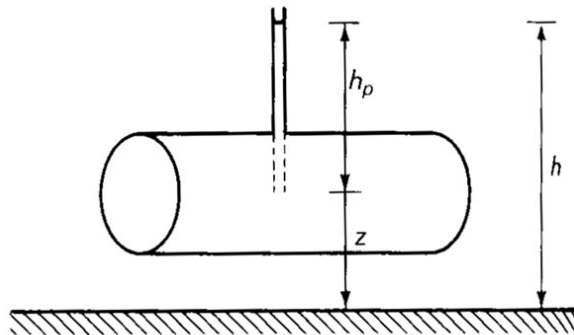
$$\text{หินอุ้มน้ำไร้แรงดัน:} \quad S = S_y + S_s b \quad (2.3)$$

เมื่อ	S	= ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ
	S_s	= ค่าการกักเก็บจำเพาะ, (L^{-1})
	S_y	= ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน
	b	= ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, (L)

2.2.3 การไหลของน้ำใต้ดิน

1) ศักย์ของน้ำ (Hydraulic head)

น้ำบาดาลจะไหลจากบริเวณที่มีศักย์ของน้ำสูง ไปยังบริเวณที่ความศักย์ของน้ำต่ำเสมอ โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 2.5 จะสามารถหาศักย์ของน้ำ ณ ตำแหน่งใดๆ ในชั้นหินอุ้มน้ำสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (ทวิศักดิ์, 2546)



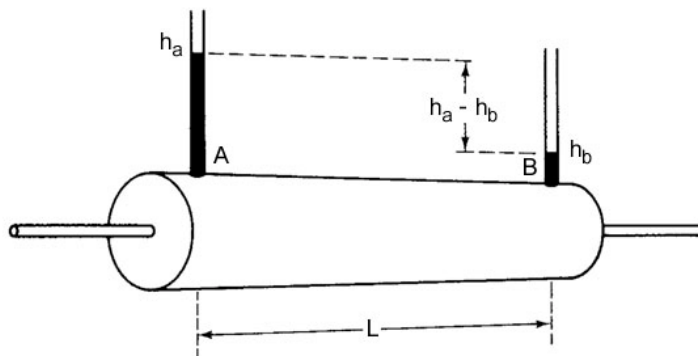
รูปที่ 2.5 ความหมายของศักย์ของน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ (Fetter, 2001)

$$h = h_p + z \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- h = ค่าศักย์ของน้ำรวม (Total head)
 - h_p = ค่าศักย์ของน้ำเนื่องจากน้ำหนักของน้ำ (Pressure head)
 - z = ค่าศักย์ของน้ำเนื่องจากระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation head)

2) กฎของดาร์ซี (Darcy's Law)

ดาร์ซีได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านวัสดุที่มีรูพรุน (Porous media) โดยทำการทดลองในชั้นทราย พบว่าอัตราการไหลของน้ำผ่านวัสดุจะแปรผันตรงกับการลดลงของความดันศาสตร์ (Head loss) และแปรผกผันกับระยะทางหรือความยาวที่น้ำไหลผ่านนอกจากนี้ ปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity, K) ของวัสดุนั้น ๆ (ทวิศักดิ์, 2546)



รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดลองของคาร์ซี (Fetter, 2001)

เครื่องมือทดลองของคาร์ซี แสดงในรูปที่ 2.6 โดยมี Q เป็นอัตราการไหล A เป็นพื้นที่หน้าตัดของกระบอกทรงกลมบรรจุทราย และ L เป็นระยะทางการไหล ซึ่งจากการทดลองคาร์ซีพบว่า

$$Q \propto h_a - h_b \quad \text{และ} \quad Q \propto \frac{1}{L}$$

ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q = -KA \left(\frac{h_a - h_b}{L} \right) \quad (2.5)$$

หรือ

$$Q = -KA \left(\frac{dh}{dL} \right) \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$\frac{dh}{dL} = \text{ความชันชลศาสตร์ (Hydraulic gradient, i)}$$

เครื่องหมาย (-) แสดงทิศทางการไหลของน้ำไปตามทิศทางที่ความดันชลศาสตร์ลดลง โดยสมการที่ (2.6) อาจเขียนใหม่เป็น

$$V = \frac{Q}{A} = -K \left(\frac{dh}{dL} \right) = -Ki \quad (2.7)$$

เมื่อ	V	= ความเร็วของการไหล (L/T)
	Q	= ปริมาณหรืออัตราการไหล (L^3/T)
	A	= พื้นที่หน้าตัด (L^2)
	K	= ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (L/T)

สมการที่ (2.7) ใช้ได้ในกรณีที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และความเร็วของการไหลนี้ไม่ใช่ค่าความเร็วการไหลจริง เนื่องจากการคำนวณหาความเร็วที่แท้จริงต้องใช้ความเร็วของการไหลซึม (Seepage velocity) ซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยที่ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านช่องว่างที่อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ ช่องว่างหรือรูพรุนจะมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นความเร็วที่ได้จากกฎของดาร์ซีจะต่ำกว่าความเร็วของการไหลซึม ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลซึม ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการไหลซึมและความเร็วดาร์ซีเขียนได้ดังนี้ (ชนิต, 2552)

$$V_s = \frac{V_{darcy}}{n_e} \quad (2.8)$$

เมื่อ	V_s	= ความเร็วของการไหลซึม
	V_{darcy}	= ความเร็วของดาร์ซี
	n_e	= ค่าความพรุนประสิทธิผลของหิน

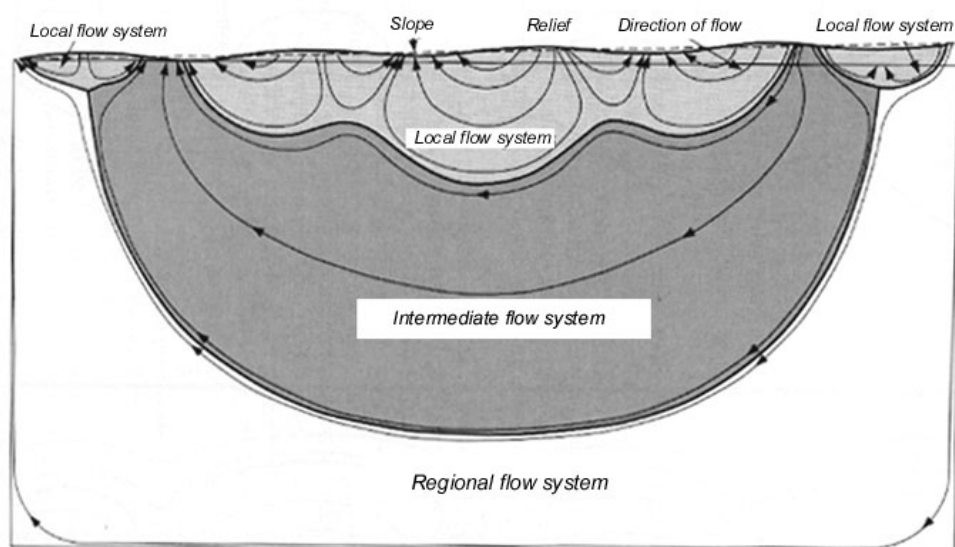
3) ระบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาล

Toth (1963) ได้เสนอรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลเป็น 3 รูปแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) ดังนี้

- ระบบการไหลเฉพาะแห่ง (Local flow system) เป็นการไหลของน้ำในระดับดินพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำอยู่ในระยะใกล้กันทำให้ระยะทางและเวลาการไหลสั้น การเปลี่ยนแปลงทิศทางและอัตราการไหลของน้ำไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับารซึมของน้ำเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดินและการคายระเหยที่ผิว มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแนวคิ่งค่อนข้างสูง

- ระบบการไหลขนาดกลาง (Intermediate flow system) เป็นการไหลของน้ำใต้ดินที่เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อย

- ระบบการไหลบริเวณกว้าง (Regional flow system) มีพื้นที่รับน้ำเป็นชั้นหินน้ำของแอ่งกักเก็บและพื้นที่สูญเสียน้ำเป็นบริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำที่สุดของแอ่งน้ำใต้ดิน มีระยะการไหลที่ไกลและลึก อัตราการไหลช้า อุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.7 รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาล (Fetter, 2001)

2.2.4 การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินประกอบด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญ คือ การเคลื่อนที่แบบการพา (Advection) การแพร่ (Dispersion) และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction) (Moss, 1990)

1) การเคลื่อนที่แบบการพา (Advection)

การเคลื่อนที่แบบการพาเป็นกระบวนการที่สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการไหลซึมของน้ำอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำ (Head) โดยผ่านไปตามรูพรุนของชั้นหิน

ที่น้ำมีการไหลผ่าน ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีค่าการซึมผ่านได้สูง เช่น ทราย หรือกรวด จะมีการเคลื่อนที่แบบนี้ สารปนเปื้อนที่เป็นสารละลายแบบ Non-reactive ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับประจุลบในดินได้แก่ คลอไรด์ โดยจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วของการไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage velocity)

2) การเคลื่อนที่แบบการแพร่ (Dispersion)

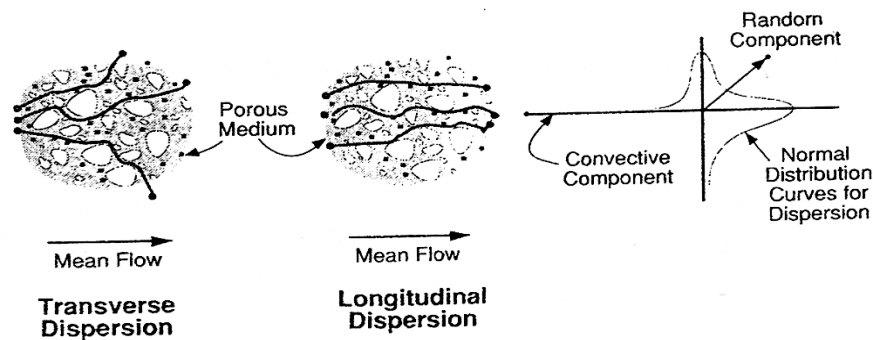
การเคลื่อนที่แบบการแพร่ประกอบด้วย การแพร่กระจายเชิงโมเลกุล (Molecular diffusion) และการแพร่กระจายเชิงกล (Mechanical dispersion)

- การแพร่กระจายเชิงโมเลกุล (Molecular diffusion) เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนระหว่างจุดสองจุดในดิน ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่อหน่วยระยะทาง (Concentration gradient) ก่อให้เกิดความต่างศักย์ทางเคมี โมเลกุลจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ จนกว่าความเข้มข้นทั้งสองข้างเท่ากันจึงจะหยุดแพร่ โดยไม่จำเป็นต้องมีการไหลของน้ำ สมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายการแพร่นี้ เรียกว่า Fick's law สำหรับการเคลื่อนที่ใน 1 มิติแสดงได้ดังนี้

$$J_D = -D \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2.9)$$

เมื่อ J_D = อัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient)
 $\frac{\partial C}{\partial z}$ = ค่าความชันความเข้มข้น (Concentration gradient)

- การแพร่กระจายเชิงกล (Mechanical dispersion) เป็นสภาพการไหลของน้ำใต้ดินแบบไม่คงตัว (Transient State) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกระจายตัวของสารละลายในน้ำใต้ดินเช่น สิ่งปนเปื้อนต่างๆ หรือ สารมลพิษ เป็นต้น ซึ่งมีการกระจายตัวในแนวทางการไหล (Longitudinal dispersion) และการกระจายตัวในแนวทิศทางการตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Transverse dispersion) รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์ (Moss, 1990)

3) การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction)

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาลโดยส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ การดูดซับ (Sorption) และการย่อยสลาย (Decay)

- ปฏิกิริยาการดูดซับ (Sorption) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสารปนเปื้อนไปจับกับวัสดุพอร์นของชั้นน้ำด้วยแรงทางเคมี การดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่ การดูดติดผิว (Adsorption) และการดูดซึม (Absorption) การดูดติดผิวเป็นความสามารถในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะจับกับผิวของวัสดุพอร์น ส่วนการดูดซึมนั้นโมเลกุลของสารปนเปื้อนถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในปริมาตรของวัสดุพอร์น

- ปฏิกิริยาการย่อยสลาย (Decay) เป็นปฏิกิริยาที่สารปนเปื้อนเกิดการย่อยสลายตัวเนื่องจากอินทรีย์สารหรือสารเคมีบางชนิดทำให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนนั่นลดลง

2.2.5 การประเมินศักยภาพแอ่งน้ำบาดาล

การประเมินศักยภาพแอ่งน้ำบาดาล มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำที่ปลอดภัย (Safe yield) และปริมาณการใช้น้ำสูงสุดที่ยอมรับได้ (Allowable yield) โดย Sophocleous (1997) กล่าวว่า ปริมาณการใช้น้ำที่ปลอดภัย (Safe yield) หมายถึง ปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ในแอ่งน้ำนั้นๆ ได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อมต่อแหล่งน้ำ คุณภาพน้ำ การทรุดตัวของแผ่นดินและอื่นๆ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว หากมีการใช้น้ำที่มากเกินไปกว่าปริมาณน้ำปลอดภัยหรือภาวะที่อาจเกิดผลกระทบข้างเคียงที่ไม่พึงปรารถนาได้เช่น ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่สามารถสูบมาใช้ได้อีกต่อไป เป็นต้น สำหรับคำว่าปริมาณการใช้น้ำที่ปลอดภัย (Safe yield) เป็นคำที่มีความหมายค่อนข้างกว้างและมีความหมายใกล้เคียงกับคำอื่นจำนวนมากเช่น Permissible yield, Perennial yield เป็นต้น

ปริมาณการใช้น้ำสูงสุดที่ยอมรับได้ (Allowable yield) หมายถึงปริมาณการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้สูงสุดภายใต้เงื่อนไขของผลกระทบที่ยอมรับได้ ศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาล โดยหลักการทั่วไปอาจพิจารณาจากปริมาณน้ำ ที่เดิมให้กับชั้นน้ำในระยะยาว แต่ต้องพิจารณาถึงอัตราการไหลของน้ำสู่ชั้นน้ำที่ต่อเนื่องกันและชั้นน้ำที่อยู่ทางท้ายน้ำด้วย (Stephen et al, 2000)

ปริมาณน้ำที่ยอมให้สูบได้ (Permissible yield) คือปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้จากการพิจารณาในเรื่องผลประโยชน์ที่จะได้รับกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้นและได้ใช้น้ำใต้ดิน (Water Balance Research Group, 1976)

แนวทางการประเมินศักยภาพสามารถสรุปได้เป็น 3 แนวทางหลัก (สุจริตและคณะ, 2551) คือ การคำนวณศักยภาพ โดยพิจารณาปริมาณกักเก็บน้ำบาดาล (งบคุณน้ำ) การคำนวณศักยภาพจากการคืนตัวของระดับน้ำ และการประเมินศักยภาพโดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การคำนวณศักยภาพโดยพิจารณาจากบดน้ำ

การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลวิธีนี้ คำนึงถึงปริมาณน้ำบาดาลที่กักเก็บไว้ในแอ่งน้ำบาดาลที่ไม่ให้มีการลดลงของปริมาณน้ำบาดาลลงไปอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือพิจารณาถึงสภาพสมดุลของปริมาณน้ำในแอ่งน้ำบาดาลดังแสดง

$$\text{การเปลี่ยนแปลงปริมาณที่กักเก็บ} = \text{ปริมาณการเติมน้ำเข้าสู่แอ่งน้ำ} - \text{ปริมาณน้ำไหลออกจากแหล่งน้ำ} + \text{ปริมาณน้ำไหลเข้าแอ่ง} - \text{ปริมาณน้ำที่ถูกสูบใช้}$$

2) การคำนวณศักยภาพจากการคืนตัวของระดับน้ำ

สำหรับการศึกษาวิธีนี้ได้คำนวณศักยภาพน้ำบาดาลเบื้องต้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในรอบปี พื้นที่ของแหล่งน้ำบาดาล และปริมาณน้ำจำเพาะ (Specific yield) ในกรณีของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักน้ำ (Storage coefficient) แทนปริมาณน้ำจำเพาะในการคำนวณ เช่นงานวิจัยของ วจี (2541) สุจริตและคณะ (2545) เป็นต้น โดยการคำนวณทำได้ดังแสดง

$$\text{ปริมาณน้ำที่เก็บกัก} = \text{การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ} \times \text{พื้นที่ของชั้นน้ำ} \times \text{สัมประสิทธิ์ของการเก็บกักน้ำ}$$

3) การประเมินศักยภาพโดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาล

วิธีประเมินศักยภาพโดยใช้แบบจำลองนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสภาพของน้ำบาดาล มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพของปริมาณฝน ปริมาณการใช้น้ำ และปัจจัยอื่น ๆ ดังนั้นการนำเอาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้มาพิจารณา โดยอาศัยแบบจำลองน้ำบาดาล ทำให้การประเมินมีความแม่นยำขึ้น และสามารถประเมินศักยภาพในแต่ละชั้นน้ำภายใต้ภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ ได้ด้วย งานวิจัยที่ประเมินศักยภาพน้ำโดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาลได้แก่ งานของ อมรรรัตน์ (2548) กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) อรุณ (2552) เป็นต้น

2.3 การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของน้ำบาดาล

2.3.1 ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) เสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลโดยจะพิจารณาปัจจัยสำคัญ 2 ส่วนคือ ความสามารถของแหล่งมลสารที่จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำ และความอ่อนไหวของสภาพทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ดังนั้นในการวิเคราะห์การปนเปื้อนจึงจำเป็นต้องประเมินศักยภาพมลสารและความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลก่อนที่จะทำการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อน และสมการที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$R = L \times V \quad (2.10)$$

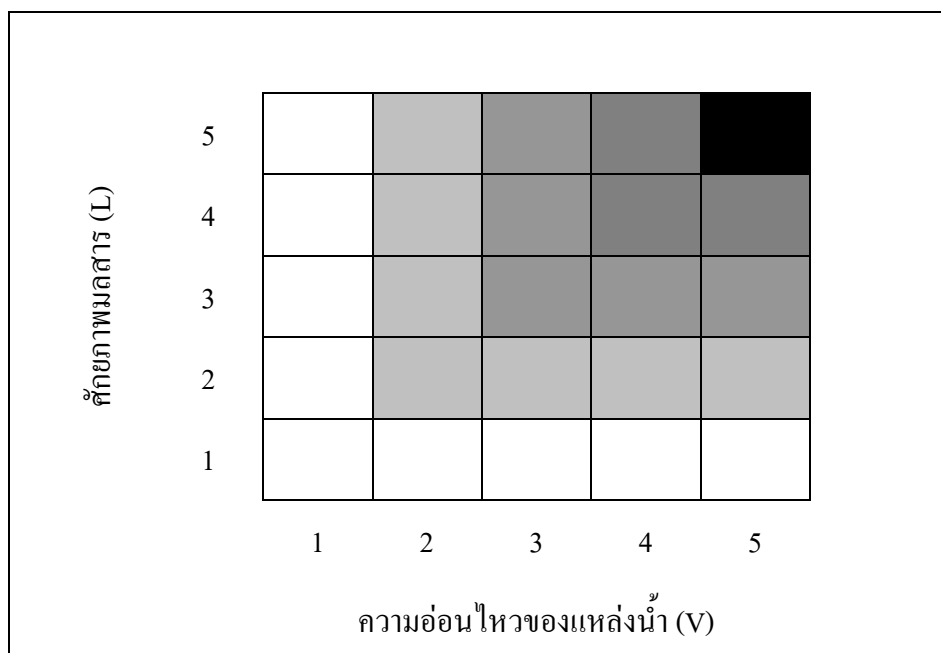
เมื่อ

R คือ ค่าคะแนนความเสี่ยงในการปนเปื้อน

L คือ ระดับศักยภาพมลสารซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1-5

V คือ ระดับความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1-5

ค่าคะแนนความเสี่ยงที่ได้จากสมการที่ 2.10 สามารถนำมาจัดระดับความเสี่ยง โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งระดับความเสี่ยงในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธี equal area of score ซึ่งหลักการคือการแบ่งความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ในระดับต่างๆเท่าๆกันดังแสดงในรูปที่ 2.9 และจากวิธี equal area of score สามารถจัดระดับความเสี่ยงออกเป็น 5 ระดับซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.9 การแบ่งความเป็นไปได้ตามวิธี Equal area of score (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ตารางที่ 2.6 ระดับความเสี่ยงในการปนเปื้อนของน้ำบาดาลพิจารณาจากคะแนนความเสี่ยง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด	คะแนนความเสี่ยง (R)
1	น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล อย่างมีนัยสำคัญ	1-5
2	น้อย	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	6-10
3	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลสามารถควบคุมหรือแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	11-15
4	สูง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไขระยะปานกลาง อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรจัดให้มีระบบการเฝ้าระวังการปนเปื้อน	16-20
5	สูงมาก	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้างหรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน ต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน	21-25

2.3.2 การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล

การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล (Groundwater resources vulnerability assessment) เป็นการประเมินความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของมลสารในแหล่งน้ำบาดาลโดยวิธีการประเมินมีหลายวิธีแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ประเมินจากสภาพอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeological Complex and Setting Methods, HCS) ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยาในการประเมิน กลุ่มที่ 2 การประเมินโดยการวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อม (Parametric system methods) เป็นการประเมินโดยเลือกพิจารณาปัจจัยกำหนดที่มีผลต่อความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อน กลุ่มที่ 3 การประเมินจากการเปรียบเทียบเชิงสัมพัทธ์และใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ วิธีนี้ใช้หลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความอ่อนไหว มักใช้ได้เฉพาะสารปนเปื้อนบางตัว โดยวิธีที่นิยมคือวิธี DRASTIC ซึ่งเป็นการประเมินแบบกลุ่มที่ 1

2.3.3 วิธี DRASTIC

วิธี DRASTIC เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำโดยใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยามาพิจารณารวม 7 ปัจจัย ได้แก่ ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table), อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge), คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media), คุณสมบัติของดิน (Soil media), ลักษณะภูมิประเทศ (Topography), คุณสมบัติของวัสดุในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Impact of the vadose zone media), สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (Hydraulic conductivity of the aquifer) โดยในแต่ละปัจจัยจะมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 1-10 นำค่าคะแนนมาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักในช่วง 1-5 และนำผลคูณของคะแนนกับน้ำหนักของแต่ละปัจจัยดังกล่าวมารวมกัน เรียกว่า DRASTIC Index ดังสมการที่ (2.10) โดยค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ 23 และค่าสูงสุดที่เป็นไปได้คือ 226 การจัดระดับความอ่อนไหวจากการประเมินด้วยวิธีนี้ ทำได้โดยการแบ่งค่า DRASTIC Index ที่ได้จากการประเมินออกเป็น 5 ช่วง จากนั้นจึงจัดระดับออกเป็น 5 ระดับ โดยเรียงลำดับให้ช่วงที่มีค่า DRASTIC Index สูงที่สุดอยู่ในระดับ 5 ส่วนช่วงที่มีค่า DRASTIC Index น้อยที่สุดอยู่ในระดับ 1 (Aller, 1987) รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนนและค่าน้ำหนักในการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC Index แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{DRASTIC Index} \quad (2.11)$$

เมื่อ	D	คือ ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table)
	R	คือ อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge)
	A	คือ คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media)
	S	คือ คุณสมบัติของดิน (Soil media)
	T	คือ ลักษณะภูมิประเทศ (Topography)
	I	คือ คุณสมบัติของวัสดุในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Impact of the vadose zone media)
	C	คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (Hydraulic conductivity of the aquifer)
	Subscript r (Rating)	คือ ค่าที่ได้จากการให้คะแนนในช่วง 1-10 ของแต่ละพารามิเตอร์
	Subscript w (Weight)	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์

2.3.4 การประเมินศักยภาพมลสาร

ศักยภาพมลสารคือ ความสามารถของมลสารในการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ศักยภาพของแหล่งมลสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ วิธีการประเมินศักยภาพจึงมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละการศึกษา แต่จะมีแนวคิดและวิธีการคล้ายคลึงกัน วิธีวิเคราะห์ที่นิยมนำมาเป็นแนวทางการประเมินศักยภาพของแหล่งมลสารคือ วิธีจัดลำดับความเสี่ยงอันตราย (Hazard Ranking System, HRS) ที่พัฒนาโดย USEPA (1992) โดยในการประเมินศักยภาพจะแบ่งแหล่งมลสารออกเป็น 6 ประเภทได้แก่ แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม แหล่งมลสารประเภทสถานบริการน้ำมัน แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ และแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม ในการประเมินจะทำการให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนจากคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล เรื่องการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนแหล่งน้ำบาดาล โดยจะทำการคิดคะแนนเต็มให้เป็นร้อยเปอร์เซ็นต์ และแบ่งระดับความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2.7 สำหรับรายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนนศักยภาพมลสารแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 2.7 ระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ระดับ (L)	ความรุนแรง	รายละเอียด	คะแนน (%)
1	น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล อย่างมีนัยสำคัญ	<45
2	น้อย	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	46-60
3	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลสามารถควบคุมหรือแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	60-75
4	สูง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไขระยะปานกลางอีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรจัดให้มีระบบการเฝ้าระวังการปนเปื้อน	76-90
5	สูงมาก	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วนต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน	>90

2.4 หลักการบริหารจัดการน้ำบาดาล

2.4.1 หลักการในการจัดการแอ่งน้ำบาดาล

การจัดการน้ำบาดาลเป็นการควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้าและออกจากแอ่งน้ำบาดาลให้เป็นไปอย่างเหมาะสมเพื่อให้การใช้น้ำจากแอ่งน้ำบาดาลเกิดประโยชน์สูงสุด ในการพัฒนาน้ำบาดาลให้ได้ผลสูงสุดจำเป็นต้องวางแผนการใช้น้ำให้ครอบคลุมตลอดทั้งแอ่งน้ำบาดาล เนื่องจากลักษณะแอ่งน้ำบาดาลเป็นอ่างน้ำธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ใต้ดิน การใช้น้ำบาดาลในอ่างน้ำดังกล่าวไม่ว่าจะโดยผู้หนึ่งผู้ใดย่อมจะมีผลต่อผู้ใช้น้ำรายอื่นๆด้วย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

การจัดการน้ำบาดาลนั้นนอกจากจะคำนึงถึงสภาพทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาแล้ว ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ กฎหมาย และการเงินด้วย โดยทั่วไป จุดประสงค์หลักของการจัดการน้ำบาดาลก็เพื่อให้ได้ “ปริมาณน้ำมากที่สุด คุณภาพน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ดี ด้วยราคาต่ำที่สุด” ในการพัฒนาแอ่งน้ำบาดาลยังต้องคำนึงถึงด้วยว่าแอ่งน้ำบาดาลเปรียบเสมือนเป็นที่เก็บน้ำใต้ดินขนาดใหญ่การใช้น้ำบาดาลหรือการสูบน้ำบาดาลไปใช้ ณ จุดใดจุดหนึ่งในแอ่งน้ำบาดาลนั้น จะมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำบาดาล ณ จุดอื่นๆ ในแอ่งน้ำบาดาลนั้นด้วย

โดยส่วนใหญ่การพัฒนาน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลเริ่มจากบ่อสูบน้ำบาดาลไม่กี่บ่อกระจายอยู่ในท้องที่ต่างๆ ในแอ่งน้ำบาดาล เมื่อเวลาผ่านไปมีการเจาะบ่อน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อัตราการสูบน้ำจากแอ่งน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของจำนวนบ่อน้ำบาดาลนี้จะมีจำนวนมากตามเวลา จนในที่สุดความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าแอ่งน้ำบาดาลและปริมาณน้ำที่สูบน้ำจากแอ่งน้ำบาดาลเสียไป หรือปริมาณการสูบน้ำสูงกว่าปริมาณน้ำไหลเข้ามาๆ ถ้าขาดการจัดการก็จะทำให้เกิดการลดลงของระดับน้ำบาดาลและปริมาณน้ำบาดาลในที่สุด

2.4.2 องค์ประกอบของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล

การบริหารจัดการทรัพยากรใดๆ ก็ตามจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีอุปสงค์หรือความต้องการในทรัพยากรนั้นๆ มากกว่าปริมาณของทรัพยากรที่มีอยู่หรืออุปทาน และมีเป้าหมายในการบริหารจัดการทรัพยากรนั้นๆ ให้อยู่ในสมดุลหรือใกล้เคียงกับสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานอย่างสมเหตุสมผล ในทำนองเดียวกันการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลเป็นความพยายามที่จะใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพให้อยู่ในสมดุลของน้ำบาดาล การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากเกินไปจนเกินกว่าขีดความสามารถให้น้ำของชั้นน้ำบาดาลหรือหินอุ้มน้ำ ในพื้นที่นั้นๆ ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อชั้นน้ำบาดาล ซึ่งอาจเริ่มต้นด้วยการลดลงของระดับน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่องหรือคุณภาพน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไปในทางลบ และหากมิได้มีการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ชั้นน้ำบาดาลจะเสื่อมลง (Aquifer deterioration) และทรัพยากรน้ำบาดาลอาจหมดไปจากพื้นที่นั้นๆ หรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ติดตามมา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

Tuinhof et al., (2006) กล่าวว่าองค์ประกอบสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนบริหารจัดการด้านอุปสงค์ (Demand-side management) และส่วนบริหารจัดการด้านอุปทาน (Supply-side management) ซึ่งทั้งสองส่วนมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในทรัพยากรน้ำบาดาลจำนวนมาก โดยทั้งสองส่วนควรยึดหลักการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลดังต่อไปนี้

1) การบริหารจัดการด้านอุปทาน

สำหรับด้านอุปทานนอกจากทราบปริมาณการกักเก็บ ปริมาณการไหลเติมน้ำและปริมาณการสูญเสียจากชั้นน้ำบาดาล โดยการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลดังกล่าวข้างต้นแล้วยังจำเป็นต้องยึดถือหลักปฏิบัติสำคัญดังนี้

a) การศึกษาและทำความเข้าใจกับระบบน้ำบาดาล (Groundwater systems) และสภาพความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่างๆ (Aquifers susceptibilities) เพื่อลดผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาลต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้ ภายใต้ความต้องการของอุปสงค์ ตัวอย่างเช่น

- การบริหารจัดการการใช้น้ำบาดาลในระดับลึกลง หรือการกระจายสูบน้ำบาดาลจากชั้นน้ำบาดาลทุกชั้นให้เต็มประสิทธิภาพการจ่ายน้ำของชั้นน้ำบาดาลที่ระดับความลึกต่างๆ ในพื้นที่ดังกล่าว

- การบริหารจัดการการใช้น้ำบาดาลในเชิงพื้นที่ หรือการกระจายสูบน้ำบาดาลจากชั้นน้ำบาดาลต่างๆ อย่างกระจายไม่เน้นที่จุดใดจุดหนึ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการแย่งน้ำระหว่างบ่อน้ำบาดาล

- บริหารจัดการการสูบน้ำบาดาลเพื่อควบคุมปัญหาการสูบน้ำที่มีผลต่อการเหนี่ยวนำ (Induced pumpage) มลภาวะสู่ชั้นน้ำบาดาล ทั้งในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำเค็มหรือพื้นที่ที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งปนเปื้อนน้ำบาดาล

b) การศึกษาและทำความเข้าใจกับความสัมพันธ์ระหว่างชั้นน้ำบาดาลต่างๆ ด้วยกันเองรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งน้ำบาดาลกับแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ โดยเฉพาะความต่อเนื่องทางชลศาสตร์ (Hydraulic continuities) ระหว่างชั้นน้ำบาดาลและความต่อเนื่องทางชลศาสตร์ระหว่างแหล่งน้ำบาดาลกับแหล่งน้ำผิวดิน ตัวอย่างเช่นผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินหรือ

พื้นที่ชุ่มน้ำต่างๆจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นใช้ หรือในทางตรงกันข้าม การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำผิวดินมีผลกระทบต่อระบบการไหลเติมน้ำบาดาลตามกระบวนการทางธรรมชาติหรือไม่ การติดตั้งระบบบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษาจะเป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพสำหรับการบริหารจัดการดังกล่าว

2) การบริหารจัดการด้านอุปสงค์

สำหรับด้านอุปสงค์จำเป็นต้องยึดถือหลักปฏิบัติสำคัญดังนี้

a) ความสำเร็จของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลจะเกิดขึ้นได้ ภายใต้ความร่วมมือร่วมใจของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่นั้นๆ เท่านั้น

b) แหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคและการเกษตรขนาดเล็ก มีความสำคัญอันดับต้นๆของความต้องการแหล่งน้ำ เนื่องจากมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะได้รับผลกระทบจากปัญหาความขาดแคลนแหล่งน้ำเป็นจำนวนมาก

c) ความต้องการแหล่งน้ำของภาคส่วนต่างๆ ต้องได้รับการยอมรับจากสังคมได้ ภายใต้การบริหารจัดการการใช้น้ำอย่างดีภายในภาคส่วนนั้นๆ ตัวอย่างเช่น แหล่งน้ำสำรองสำหรับการป้องกันอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพเทียบเท่ากับน้ำอุปโภคบริโภค น้ำทิ้งจากโรงงานอาจใช้เป็นแหล่งน้ำสำรองสำหรับการป้องกันอัคคีภัยได้ ท่อส่งน้ำของระบบประปามีการป้องกันการรั่วไหลดีพอหรือไม่ การจ่ายน้ำเป็นเวลาและการสำรองน้ำไว้ใช้ในครัวเรือนสำหรับระบบประปาหมู่บ้านขนาดเล็ก อาจใช้แก้ไขปัญหาเบื้องต้นจากการรั่วไหลของระบบท่อส่งน้ำได้ แหล่งน้ำสำหรับการเกษตรจะต้องมีการบริหารจัดการทั้งระบบส่งน้ำ ระบบการให้น้ำ รวมไปถึงความคุ้มทุนในการใช้แหล่งน้ำในระดับที่สามารถยอมรับได้

2.4.3 การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

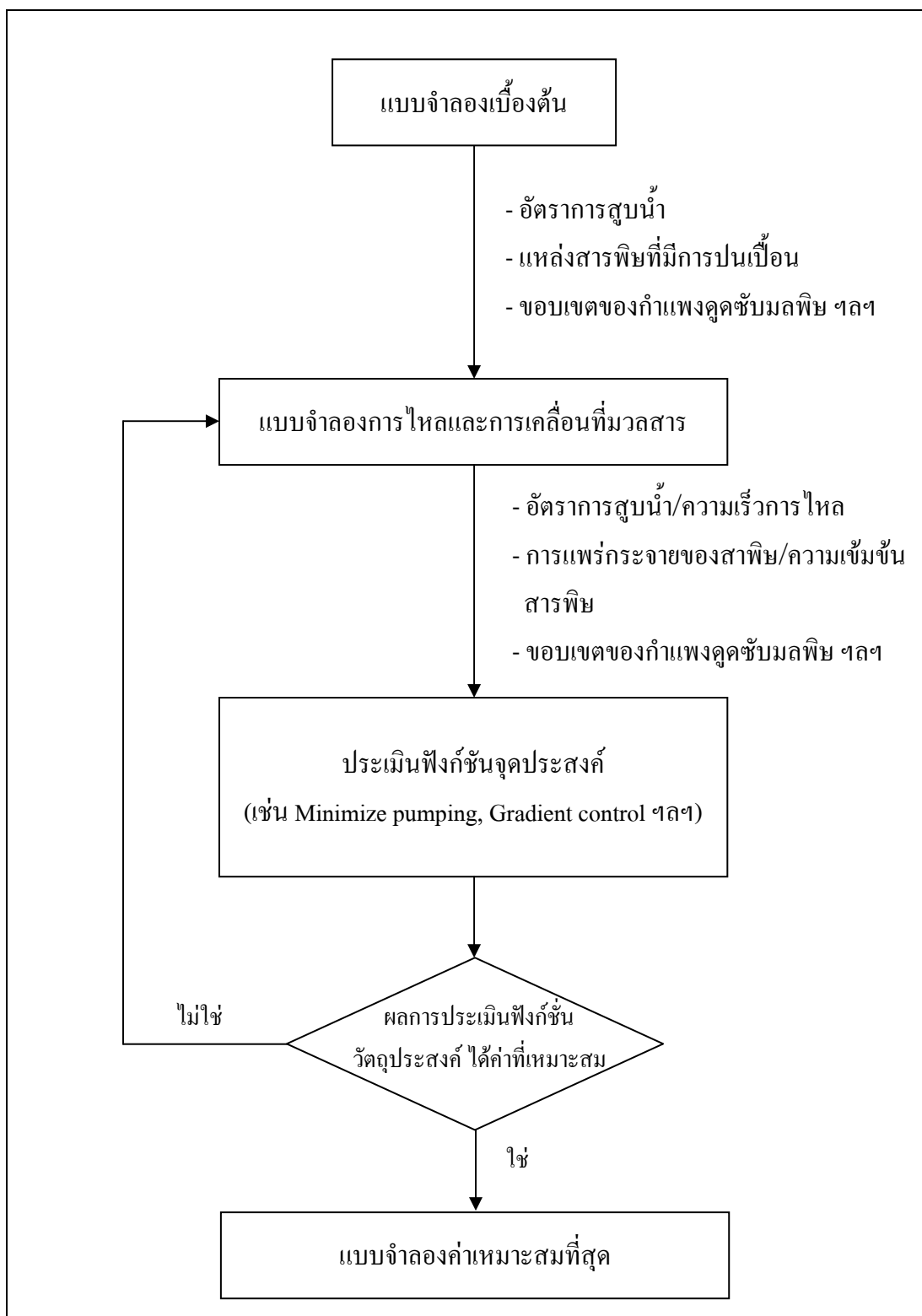
1) แบบจำลองการจัดการน้ำบาดาล

แบบจำลองเพื่อการจัดการน้ำบาดาลนั้นมี 2 ประเภทคือ แบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายมวลสารในชั้นน้ำบาดาล (Groundwater flow mode and transport model or simulation model) ซึ่งใช้ในการจำลองผลกระทบจากการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลแบบต่างๆ และ

แบบจำลองเพื่อการจัดการน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimization model) การบริหารจัดการน้ำบาดาลให้มีประสิทธิภาพควรเชื่อมโยงแบบจำลองทั้ง 2 ชนิดด้วยกัน (Simulation-optimization model) (Todd and Mays, 2005) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการน้ำบาดาลได้ในหลายกรณีด้วยกัน เช่น การศึกษาปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้สูงสุดโดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Safe yield) การจำลองเพื่อกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีสารปนเปื้อน (Groundwater contamination site) การบริหารจัดการการใช้น้ำผิวดินร่วมกับน้ำใต้ดิน (Conjunctive management of surface water and groundwater) และการเลือกตำแหน่งเหมาะสมต่อการเติมน้ำหรือสูบน้ำเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของน้ำเค็ม (Seawater intrusion control) เป็นต้น โดยทั่วไปแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำบาดาลมีกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2.10

2) แบบจำลองการจัดการน้ำที่เหมาะสมที่สุด

แบบจำลองการจัดการน้ำที่เหมาะสมที่สุดเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการบริหารจัดการให้ได้รับผลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดตามข้อกำหนดหรือกรอบที่กำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์ ซึ่งอาจเป็นเกณฑ์เชิงเศรษฐศาสตร์ สังคมหรือสิ่งแวดล้อม โดยแบบจำลองนี้ประกอบด้วย ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function) ที่เป็นระบบการประเมินผลจากการบริหารจัดการ และปัจจัยควบคุม โดยเป็นการประเมินจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงตัวแปรออกแบบให้เป็นเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ของแบบจำลอง ปัญหาด้านการบริหารจัดการเพื่อให้ได้ค่าเหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แบบจำลองเชิงเส้น (Linear programming, LP) และแบบจำลองไม่เชิงเส้น (Non-linear programming, NLP) โดยแบบจำลองเชิงเส้นนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการจัดสรรทรัพยากร (อ้างอิงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)



รูปที่ 2.10 กระบวนการทำงานของแบบจำลองการบริหารจัดการน้ำบาดาล (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models)

แบบจำลองน้ำบาดาลเป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการศึกษาและประเมินสภาพที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติหรือจำลอง (Simulation) พฤติกรรมของกระบวนการที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ทำนายหรือพยากรณ์ เหตุการณ์ที่ยังไม่เกิดขึ้น แบบจำลองน้ำบาดาลแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ แบบจำลองทางกายภาพ (Physical model) ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำในกรณีต่างๆ โดยการควบคุมตัวแปรทางชลศาสตร์สามารถตรวจสอบผลได้จากแบบจำลอง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ใช้คำนวณทิศทาง ขนาดการไหลของน้ำบาดาล และการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน โดยนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้คำนวณและวิเคราะห์ระบบน้ำบาดาลแทนแบบจำลองทางกายภาพ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มี 2 ประเภทคือ แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (Analytical model) และแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical model) ซึ่งการใช้งานจะขึ้นอยู่กับลักษณะความซับซ้อนทางกายภาพของแหล่งน้ำ กล่าวคือแบบจำลองเชิงวิเคราะห์มักจะใช้กับชั้นน้ำที่มีระบบไม่ซับซ้อนหรือชั้นน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอด โดยสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์หาผลเฉลย โดยทั่วไปแบบจำลองเชิงวิเคราะห์นี้จะใช้สำหรับออกแบบและคำนวณเบื้องต้น หรือตรวจสอบแบบจำลองเชิงตัวเลข แต่ในสภาพความเป็นจริงมีความซับซ้อน เช่น ดินไม่เนื้อเดียวกันทั้งพื้นที่ ลักษณะการไหลไม่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน ความเร็วในการไหลก็แตกต่างกัน

ดังนั้นเงื่อนไขขอบเขตและค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการจึงมีความแตกต่างกัน จึงต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นทุกจุดในแต่ละช่วงและพื้นที่ (Time and space) แตกต่างกันไป จากนั้นทำการประมาณค่าโดยใช้ชุดสมการอนุพันธ์ย่อยแบบต่อเนื่อง เรียกว่าแบบจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ระบบน้ำบาดาลมีความซับซ้อนและแบ่งออกเป็นชั้นๆ วิธีการนี้พื้นที่ของชั้นน้ำจะถูกแบ่งออกเป็นตารางย่อยๆ จำนวนมากโดยแบ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมในกรณีใช้วิธี Finite difference และรูปสามเหลี่ยมหรือรูปสี่เหลี่ยมในกรณีใช้วิธี Finite-element ช่วงเวลาที่จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อยๆ โดยสมการพีชคณิต (Algebra) หรือชุดสมการของตัวมันเอง จากนั้นแก้สมการโดยใช้วิธีทางเมทริก (Matrix method) เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ระบบสมการที่ซับซ้อน ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์จึงเป็นเครื่องมือที่ลดความยุ่งยากและเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณ (Domenico, 1998)

อย่างไรก็ดีการสร้างแบบจำลองให้สมบูรณ์เหมือนสภาพจริงนั้นไม่สามารถทำได้หากไม่มีการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของสภาพพื้นที่ เพื่อช่วยทำให้ระบบมีความง่ายและจัดระบบข้อมูลที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในรูปที่พร้อมจะวิเคราะห์ให้ได้ถ้าแบบจำลองเชิงมโนทัศน์มีความใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากเท่าไร ความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลขก็จะเพิ่มมากขึ้น

2.5.1 โปรแกรม Visual MODFLOW (v.4.1 pro)

โปรแกรม Visual MODFLOW เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณและแสดงผลหลังจากการคำนวณของการจำลองน้ำบาดาล พัฒนาโดย Waterloo Hydrogeologic Inc. ประเทศแคนาดาเป็นโปรแกรมในตระกูล MODFLOW (Modular Three-dimension Finite-Difference Groundwater Flow Model) ซึ่งสามารถใช้งานในแต่ละขั้นตอนของการจำลองการไหลของน้ำบาดาลได้อย่างครบถ้วน ตั้งแต่การกำหนดลักษณะพื้นที่ การแบ่งพื้นที่ การปรับปรุงแบบจำลอง การแสดงผลคำนวณ การเปรียบเทียบแบบจำลอง การแสดงผลภาพในมุมมองต่างๆ และสามารถใช้งานร่วมกับแบบจำลอง 2 มิติและ 3 มิติ เช่น MODFLOW MODPATH และ MT3D เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2546)

2.5.2 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ใน Visual MODFLOW

1) สมการการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Equation)

ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์จะใช้สมการหลัก 2 สมการคือ สมการสมดุล (Continuity equation) และกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) (Fetter, 1994) เพื่อประยุกต์ให้ได้สมการการไหลของน้ำใต้ดินที่มีความหนาแน่นคงที่ ผ่านตัวกลางซึ่งมีคุณสมบัติ Heterogeneous และ Anisotropic ภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient condition) ดังสมการที่ (2.11) (รายละเอียดที่มาของสมการในภาคผนวก ก-1)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right) + R = S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.12)$$

เมื่อ	K_x, K_y, K_z	= ค่าความนำชลศาสตร์ในแนว x, y, z ตามลำดับ
	h	= ความสูงของระดับความดันน้ำ
	S_s	= ปริมาณกักเก็บจำเพาะ
	R	= ปริมาณน้ำเข้าและ/หรือออกจากระบบต่อหน่วยเวลาที่น้ำเข้าและ/หรือออก
	t	= เวลา

2) สมการการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน (Mass Transport Equation)

การคำนวณและการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน ขึ้นอยู่กับการจำลองการไหลเป็นหลัก แล้วอาศัยลักษณะการพา (Advection) การแพร่และการกระจาย (Dispersion and diffusion) และปฏิกิริยา (Reaction) ของมวลสารเข้ามารวม ดังนั้นความเข้มข้นของมวลสารที่เคลื่อนที่ได้ในเวลาต่างๆ ใน 1 มิติ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.12) (Zheng and Wang, 1999)

$$\frac{\partial(nC^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[nD_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial X_j} \right] - \frac{\partial}{\partial X_i} (nV_i C^k) + q_s C_s^k + \sum_{n=1}^N R_n \quad (2.13)$$

เมื่อ	C^k	=	ความเข้มข้นของมวลสาร k ที่ละลายในน้ำ [ML^{-3}]
	n	=	ความพรุนของวัสดุตัวกลาง [ไม่มีหน่วย]
	t	=	เวลา [T]
	X_i	=	ระยะทางการเคลื่อนที่ [L]
	D_{ij}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Hydrodynamic dispersion coefficient) [L^2T^{-1}]
	V_i	=	ความเร็วเฉลี่ยของน้ำใต้ดิน (Linear pore water velocity) [LT^{-1}]
	q_s	=	อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า (Source, +) หรือไหลออก (Sink, -) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำ [T^{-1}]
	C_s^k	=	ความเข้มข้นของมวลสาร k ณ จุดที่เข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดิน [ML^{-3}]

R_n = การเปลี่ยนแปลงมวลสาร k ต่อหน่วยเวลาขณะที่มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากมวลคินกับมวลสารในน้ำ [$ML^{-3}T^{-1}$]

สมการที่ (2.12) เป็นสมการสมดุลของมวลสาร หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของมวลสารในแต่ละหน่วยเวลา จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของมวลสารจากการแพร่กระจาย ลบด้วยอัตราการพามวลสารจากจุดนั้น บวกด้วยการเพิ่มเติมมวลสารเข้าไปในระบบหรือลบด้วยการไหลออกของมวลสารจากระบบ และรวมกับปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่มีผลทำให้มวลสารลดหรือเพิ่มปริมาณ หน่วงหรือเร่งความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยสามารถแบ่งย่อยๆตามลักษณะของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้ (รายละเอียดที่มาของสมการในภาคผนวก ก-2)

$\frac{\partial(nC^k)}{\partial t}$	หมายถึง	อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารในระบบของแต่ละช่วงเวลา (Change in contamination)
$\frac{\partial}{\partial X_i} \left[nD_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial X_j} \right]$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการแพร่กระจาย (Dispersion and diffusion)
$-\frac{\partial}{\partial X_i} (nV_i C^k)$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการพา (Advection in/out flow)
$q_s C_s^k$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการไหลเข้าหรือออกของมวลสาร (Source/sink)
$\sum_{n=1}^N R_n$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical reaction)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การศึกษาการรุกของน้ำเค็มในชั้นน้ำใต้ดินในแอ่งหาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (อรุณ, 2552)

อรุณ (2552) ศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล และความเป็นไปได้ในการรुक้าของน้ำเค็มในแอ่งหาดใหญ่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีรายละเอียดดังนี้

ศึกษาระบบการไหล สมดุลน้ำบาดาลและขอบเขตการแพร่กระจายของคลอไรด์ในสถานะการสูบน้ำใช้ในปัจจุบัน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณคาดการณ์สถานการณ์จำลอง 3 มิติด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW 4.1 Pro ทำการปรับค่าและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ 47 บ่อ

ทำการศึกษาในชั้นน้ำทั้ง 3 ชั้นของแอ่งหาดใหญ่ ได้แก่ ชั้นน้ำหาดใหญ่มีความลึกประมาณ 20 - 50 เมตร มีความหนาของชั้นกรวดทรายเฉลี่ย 10-20 เมตรให้ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 20 - 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ชั้นที่สอง ชั้นน้ำคูเต่าเป็นชั้นน้ำที่อยู่ลึกลงไปประมาณ 60 - 100 เมตร โดยมีความหนาประมาณ 30 เมตร และชั้นน้ำคองหังที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดินมากกว่า 100 เมตรสามารถให้น้ำได้ประมาณ 10 - 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ในการประเมินปริมาณการสูบสูงสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาล (Safe Yield) ได้กำหนดเงื่อนไขที่ยอมรับได้ในการจำลองคือ ระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำหาดใหญ่บริเวณเมืองหาดใหญ่ ต้องลดลงไม่เกิน 5 เมตร ในช่วงเวลา 20 ปี (ระดับน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาอยู่ต่ำกว่าพื้นดินเฉลี่ยไม่เกิน 5 เมตร) และปริมาณคลอไรด์ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร และได้ทำการจำลองเพื่อประเมินปริมาณการสูบสูงสุดในหลายกรณี (Scenario) ซึ่งประกอบด้วยกรณีจำลอง 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีการใช้น้ำคงที่ในช่วงเวลา 20 ปี กรณีที่มีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นปีละ 5% ในช่วงเวลา 20 ปี และกรณีที่มีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% ในช่วงเวลา 20 ปี โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการจำลองการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่าการไหลของน้ำบาดาลมีทิศการไหลจากพื้นที่เติมน้ำทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศใต้ ไปยังที่ราบตอนกลางของพื้นที่

แล้วไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา ผลการศึกษาสมมูลน้ำบาดาลปี พ.ศ. 2550 พบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจากการเติมน้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำของน้ำบาดาลในหินแข็ง (เทือกเขาด้านตะวันออก-ตะวันตก) 53.40 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การเพิ่มเติมน้ำสุทธิจากน้ำฝน 28.20 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ 23.96 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีการไหลซึมของน้ำจากคลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภาเข้าสู่แบบจำลอง 7.72 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และจากทะเลสาบสงขลา 1.72 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำไหลเข้าระบบทั้งหมด 115.00 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลองไหลออกไปกักเก็บในชั้นหินอุ้มน้ำ 66.88 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ออกจากบ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ 25.03 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คลองรัตภูมิและคลองอู่ตะเภา 10.20 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ทะเลสาบสงขลา 7.83 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และหินแข็ง 5.06 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำไหลออกจากแบบจำลองทั้งหมด 115.00 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ผลจากการจำลองการรุกคืบของน้ำเค็มพบว่า ในสภาวะการใช้น้ำปัจจุบันบริเวณที่มีการกระจายตัวของคลอไรด์สูงกว่ามาตรฐานจะจำกัดขอบเขตอยู่ในพื้นที่ใกล้ทะเลสาบสงขลาและริมทะเลอ่าวไทยของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ ได้แก่ บริเวณบ้านใต้ บ้านหนองหิน บ้านควน บ้านบางโหนด บ้านดีหลวงนอก เป็นต้น มีขอบเขตความเค็มคิดเป็นระยะทางตามแนวเหนือ-ใต้ประมาณ 7.50 กิโลเมตร จากทะเลสาบสงขลาและอยู่ห่างจากเมืองหาดใหญ่ประมาณ 8 กิโลเมตร โดยพื้นที่นี้ได้แก่ ต.บ้านหาร อ.บางกล่ำ ต.คลองแห และ ต.คลองอู่ตะเภา อ.หาดใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่กันชน (Buffer zone) ส่วนชั้นน้ำตื้นและคอหงส์พบว่าปริมาณคลอไรด์อยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนผลการจำลองกรณีกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำไม่คงที่พบว่า การเคลื่อนที่ของคลอไรด์จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่เขตเทศบาลหาดใหญ่เกิดขึ้นน้อยเนื่องจากยังมีทิศทางกรไหลของน้ำใต้ดิน ไปสู่ทะเลสาบสงขลา

ผลการจำลองเพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำปลอดภัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาล (Safe yield) พบว่า ในสภาพการใช้น้ำปัจจุบันหากมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นปีละ 5% และ 10% ในช่วง 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2569) จะส่งผลให้ระดับน้ำลดลงมากกว่า 5 เมตร ภายใน 8 ปี และ 6 ปี ตามลำดับ ส่วนการรุกคืบของน้ำเค็มพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและเข้าใกล้เมืองหาดใหญ่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นยังไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงกำหนดปริมาณใช้น้ำปลอดภัยของแอ่งหาดใหญ่เท่ากับ 36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือประมาณ 98,630 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

2.6.2 การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของน้ำบาดาลแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (อมรรัตน์, 2548)

อมรรัตน์ (2548) ได้ศึกษาการไหลและสมมูลน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW Version 2.81 รายละเอียดของการศึกษามีดังนี้

พื้นที่ศึกษามีขอบเขตตามแนวตะวันออก-ตะวันตกที่พิกัด UTM 640000-675000E แนวเหนือ-ใต้ที่พิกัด UTM 720000-795000N มีความกว้าง 35 กิโลเมตร มีความยาว 75 กิโลเมตร โดยมีสมมติฐานในการจำลองคือ

- 1) ความหนาแน่นของน้ำคงที่
- 2) ชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละชั้นมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง (Anisotropic)
- 3) ชั้นหินให้น้ำที่เป็นหินแข็งรองรับแอ่ง มีการกักเก็บในรอยแตก รอยแยก และรอยต่อของหิน

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะคงที่ มีความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดในสนามกับการคำนวณของแบบจำลอง ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square, RMS) 2.13 เมตร หรือ 9.80 % ส่วนการจำลองการเปลี่ยนแปลงตามเวลามีค่าความคลาดเคลื่อน 2.17 เมตร หรือ 9.82 % ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองพบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเพิ่มเติมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะตามลำดับ

ผลการจำลองการไหลพบว่าน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่ไหลจากขอบแอ่งด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ สู่อำเภอหาดใหญ่แล้วไหลไปทางทิศเหนือสู่ทะเลสาบสงขลา

ผลการศึกษาสมดุลของน้ำบาดาลจากการประเมินอัตราการใช้น้ำบาดาล พ.ศ. 2543 เท่ากับ 16.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีพบว่า สมดุลน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่มีปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกเท่ากันคือ 269.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การจำลองเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 3 เท่าของการใช้น้ำใน พ.ศ. 2543 (49.66 ล้านลบ.ม./ปี) ในช่วงเวลา 5 ปี ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลลดลงมากกว่า 2 เมตร

2.6.3 การศึกษาสมดุลของแหล่งน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ แอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546)

สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546) ได้ศึกษาสมดุลของแหล่งน้ำบาดาลแอ่งหาดใหญ่ โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW Version 3.00 pro รายละเอียดของผลการศึกษา มีดังนี้

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่จากพิกัด UTM 640000-675000E ตามแนวตะวันออก-ตะวันตกมีความกว้าง 35 กิโลเมตร จากพิกัด UTM 750000-795000N ตามแนวเหนือ-ใต้มีความยาว 45 กิโลเมตร (สิ้นสุดที่เขาวังชิง) การจำลองระบบอุทกธรณีวิทยา มีสมมุติฐาน ดังนี้

- 1) ความหนาแน่นของน้ำคงที่ (Constant density)
- 2) ชั้นหินอุ้มน้ำ แต่ละชั้นมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง (Anisotropy)
- 3) ชั้นหินให้น้ำที่เป็นหินแข็งรองรับแอ่ง มีการกักเก็บน้ำในรอยแตก รอยแยก และรอยต่อของหิน

ผลของการปรับเทียบระดับน้ำจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในสถานะคงที่ มีความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดในภาคสนาม ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square, RMS) 5.79 เมตร หรือ 16.72% ส่วนความคลาดเคลื่อนจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีค่า 2.44 เมตร หรือ 15.33%

สมดุลของน้ำบาดาลในปีพ.ศ. 2545 ที่ประเมินได้จากแบบจำลอง พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าระบบทั้งหมดประมาณ 260.37 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนปริมาณน้ำไหลออกจากระบบ

ทั้งหมดประมาณ 259.67 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (ประเมินอัตราการใช้น้ำบาดาล 11.43 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) การจำลองเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในอนาคต พบว่าในรัศมี 200 เมตร ในเขตตัวเมืองหาดใหญ่ควรควบคุมอัตราการใช้น้ำของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ไม่เกิน 1 เท่า ของการใช้น้ำในปี 2545 (ประมาณ 116,800 ลูกบาศก์เมตรต่อปี) จึงจะไม่เกิดการลดลงของระดับน้ำบาดาลมากกว่า 1 เมตร

2.6.4 โครงการจัดทำแนวทางการพัฒนาและอนุรักษ์น้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

ศึกษาสมมูลแหล่งน้ำบาดาลและการรุกรานของน้ำเค็มของแอ่งหาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW Version 4.1 รายละเอียดของผลการศึกษา มีดังนี้

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่จากพิกัด UTM 635000-680000E ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก มีความกว้าง 45 กิโลเมตร จากพิกัด UTM 710000-830000N ตามแนวเหนือ-ใต้ มีความยาว 120 กิโลเมตร (สิ้นสุดที่ชายแดนไทย-มาเลเซีย) การจำลองระบบอุทกธรณีวิทยา มีสมมติฐานเช่นเดียวกับกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546)

ผลของการปรับเทียบระดับน้ำจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในสถานะคงที่ มีความแตกต่างของระดับน้ำที่วัดในภาคสนาม ในรูปของค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square, RMS) 2.722 เมตร หรือ 19.087% ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอัตราการเพิ่มน้ำ ตามลำดับ

ผลการจำลองการประเมินอัตราการใช้น้ำบาดาลปี พ.ศ.2548 เท่ากับ 40 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ศึกษาสมมูลของน้ำบาดาล 2 วิธี ได้แก่ วิธี Data analysis และวิธีใช้แบบจำลอง พบว่า มีสมมูลน้ำบาดาลเท่ากับ 424 และ 420 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ ส่วนผลการจำลองเพื่อคาดการณ์การรุกรานของน้ำเค็มในอนาคตของชั้นน้ำบาดาลใหญ่อีก 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2568) พบว่าต้องกำหนดปริมาณการใช้น้ำปลอดภัย (safe yield) เท่ากับ 100 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยยอมให้เกิดระยะน้ำลดไม่เกิน 5 เมตร จึงจะไม่เกิดการรุกรานของน้ำเค็มจากทะเลสาบสงขลาเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลใหญ่

จากผลการศึกษาของงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้นสามารถสรุปผลการจำลองน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สรุปผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลแอ่งหาคใหญ่

ผลการศึกษา	กรมทรัพยากร น้ำบาดาล (2546)	อมรรัตน์ (2548)	กรมทรัพยากร น้ำบาดาล (2549)	อรุณ (2552)
อัตราการสูบน้ำปลดกภัย (ล้านลบ.ม./ปี)	0.12	39.66	100.00	36.00
อัตราการใช้น้ำบาดาล (ล้านลบ.ม./ปี)	11.43	16.50	40.00	25.03
ปริมาณน้ำที่ไหลออก (ล้านลบ.ม./ปี)	259.67	269.25	420.00	115.00
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า (ล้านลบ.ม./ปี)	260.37	269.25	420.00	115.00
อัตราการเติมน้ำ (ล้านลบ.ม./ปี)	134.74	120.39	-	28.20

2.6.5 การจัดการน้ำบาดาลอย่างยั่งยืนด้วยวิธี Multiobjective Optimization

McPhee and Yeh (2004) ทำการศึกษากิจการน้ำบาดาลในลุ่มน้ำ San Pedro ทางตอนใต้ของ Arizona เพื่อรักษาความสมดุลของแหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และระบบนิเวศใกล้เคียง โดยหาค่าเหมาะสมที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ 3 ข้อคือ ค่าระยะน้ำลดต่ำสุด (Minimizing drawdown) ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ (Maximizing aquifer yield) และค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะหรือบรรเทา

ผลกระทบ (Minimizing mitigation cost) โดยใช้โปรแกรม MODFLOW จำลองการไหลในสภาวะระดับน้ำคงที่ (Steady State) และระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Transient)

ผลจากการจำลองแบ่งออกเป็นสองกรณี กรณีแรกจำลองการสูบน้ำโดยกำหนดให้อัตราการสูบน้ำคงที่ กรณีที่สองกำหนดให้อัตราการสูบน้ำแปรผันตามเวลา ผลการจำลองในกรณีแรกเมื่อพิจารณากระแสน้ำล้นต่ำสุดเป็นหลักพบว่า กระแสน้ำล้นต่ำสุดที่ได้เท่ากับ 6.92 เมตร โดยที่กระแสน้ำล้นนี้สามารถสูบน้ำในอัตราการสูบน้ำสูงสุดที่ 21,813 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าชดเชยเพื่อบรรเทาผลกระทบเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อการอุปโภค บริโภคเป็นเงิน 217 ล้านดอลลาร์ เมื่อพิจารณาอัตราการสูบน้ำสูงสุดเป็นหลักพบว่า อัตราการสูบน้ำสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 135,857 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งที่อัตราการสูบน้ำสูงสุดนี้ทำให้เกิดกระแสน้ำล้นเท่ากับ 11.11 เมตร และไม่มีค่าชดเชยในการบรรเทาผลกระทบ และเมื่อพิจารณาค่าชดเชยในการบรรเทาผลกระทบที่น้อยที่สุดเป็นหลักพบว่า ไม่มีค่าชดเชยใดๆในการบรรเทาผลกระทบที่อัตราการสูบน้ำ 97,698 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากอัตราการสูบน้ำนี้เพียงพอต่อการอุปโภค บริโภค โดยที่อัตราการสูบน้ำเท่ากับ 97,698 ลูกบาศก์เมตรต่อวันนี้ทำให้เกิดกระแสน้ำล้น 10.81 เมตร

ผลจำลองในกรณีที่สองไม่ต่างจากกรณีแรกมากนักนั่นคือ เมื่อพิจารณาค่ากระแสน้ำล้นต่ำสุดเป็นหลักพบว่าค่ากระแสน้ำล้นที่ได้เท่ากับ 6.88 เมตร สามารถสูบน้ำในอัตราการสูบน้ำสูงสุดที่ 28,050 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีค่าชดเชย 310 ล้านดอลลาร์ เมื่อพิจารณาผลอัตราการสูบน้ำสูงสุดเป็นหลักพบว่าอัตราการสูบน้ำสูงสุดที่สูบน้ำได้เท่ากับ 135,857 ลูกบาศก์เมตรต่อวันซึ่งทำให้เกิดกระแสน้ำล้นเท่ากับ 11.15 เมตร และไม่มีค่าชดเชยในการบรรเทาผลกระทบ เมื่อพิจารณาถึงค่าชดเชยเป็นหลักพบว่าไม่มีค่าชดเชยใดๆในการบรรเทาผลกระทบที่อัตราการสูบน้ำ 135,289 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยที่อัตราการสูบน้ำนี้มีค่ากระแสน้ำล้นเท่ากับ 11.04 เมตร

2.6.6 การจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำกึ่งแห้งแล้งอย่างยั่งยืนด้วยวิธี Multi-Objective Optimization

Yang et al. (2001) ศึกษาการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำ Shiyang ซึ่งเป็นพื้นที่กึ่งแห้งแล้งทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน ในการศึกษาได้พิจารณาปัจจัยหลายประการประกอบด้วย ปัจจัยด้านปริมาณน้ำ ด้านคุณภาพน้ำ ด้านระบบนิเวศใกล้ และด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาค่าปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยที่กำหนด เพื่อใช้ในการวาง

แผนการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลอย่างยั่งยืน โดยในการจำลองได้แบ่งพื้นที่ของแบบจำลองซึ่งมีขนาด 8,784 ตารางกิโลเมตรออกเป็น 16 พื้นที่ย่อย เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของพื้นที่ย่อยนั้นๆ ซึ่งแต่ละพื้นที่ย่อยมีความต้องการการใช้น้ำที่แตกต่างกัน ผลการจำลองการสุบพบว่าปริมาณการสูบน้ำรวมที่เหมาะสมที่สุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงของพื้นที่ลุ่มน้ำ Shiyang มีค่าเท่ากับ 263.9 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

2.6.7 Optimizing Groundwater Yield through Enhanced Stream-Aquifer Interaction: a case study of Lower Ghaggar basin in India

Tyagi (2010) ศึกษาความสัมพันธ์ของการไหลของน้ำในแม่น้ำกับชั้นน้ำบาดาล ในพื้นที่ตอนล่างของแอ่งน้ำบาดาล Ghaggar ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 3 รัฐของอินเดียประกอบด้วย รัฐ Punjab รัฐ Haryana และ รัฐ Rajasthan โดยได้ทำการศึกษาเพื่อหา ค่าปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสม ระดับแรงดันน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างแม่น้ำกับแหล่งน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาล โดยทำการจำลองในสภาวะการไหลคงที่ ภายใต้ข้อจำกัด 4 ประการคือ ระบายน้ำลดยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ กำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของค่าศักย์ของน้ำบาดาล การกำหนดการไหลของน้ำระหว่างแม่น้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล กำหนดอัตราการสูบน้ำขั้นต่ำและขั้นสูง

ในการจำลองการสูบได้ใช้ค่าอัตราการสูบต่างๆกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ถึง 8.48 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลจากการจำลองพบว่า ปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมจะทำให้มีการเพิ่มเติมน้ำร้อยละ 60 จากแม่น้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูล การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล และการวางแผนการจัดการน้ำบาดาล ซึ่งแสดงในรูปแผนได้ดังรูปที่ 3.1 โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูล

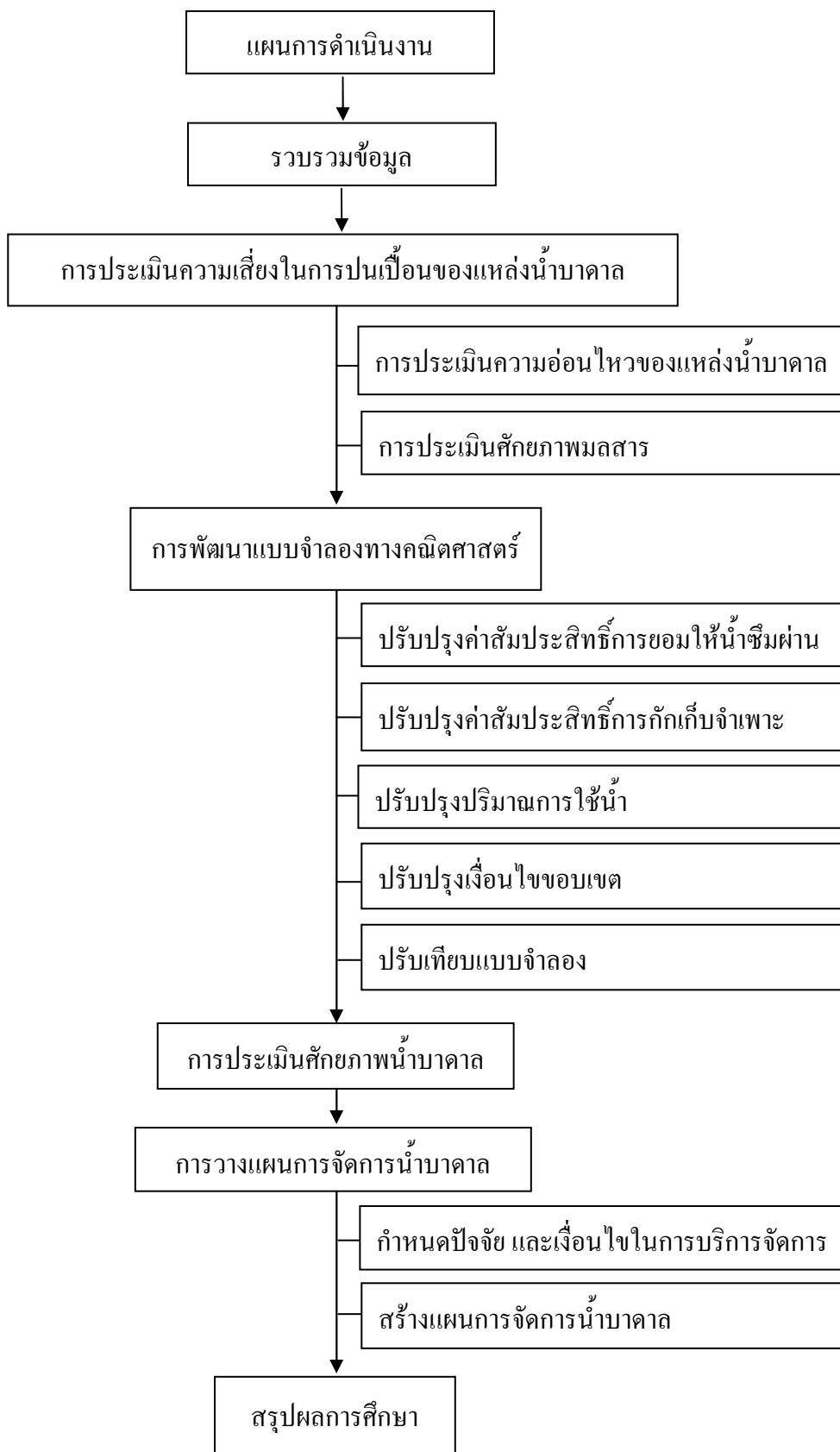
ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูล อัตราการเพิ่มเติมน้ำ การประเมินการใช้น้ำ และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าสู่แบบจำลองรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.1.1 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ

การหาอัตราการเพิ่มเติมน้ำทำได้โดยการพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มเติมน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อัตราการคายระเหย ปริมาณน้ำท่า ลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความสูงต่ำของภูมิประเทศ โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกันแล้วทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในการจำลอง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำจากการประเมินของอรุณ (2552) ซึ่งได้ทำการประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำของแอ่งหาคใหญ่เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลในการศึกษาการรุกของน้ำเค็มในแอ่งหาคใหญ่

3.1.2 การประเมินการใช้น้ำ

การประเมินการใช้น้ำทำได้โดยการรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากประปาหมู่บ้าน ประปาเทศบาล บ่อบาดาลส่วนตัว บ่อบาดาลเอกชนและบ่อบาดาลแฝง โดยแบ่งออกเป็นการใช้น้ำจากภาคกิจกรรมหลักๆ 4 กลุ่มได้แก่ อุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม เกษตรกรรมและ โรงแรม



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย

โดยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินการใช้น้ำ โดยดัดแปลงข้อมูลจากการประเมินการใช้น้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) ให้เป็นข้อมูลการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2554

3.1.3 คุณสมบัติทางชลศาสตร์

ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำที่ทำการรวบรวมเพื่อนำมาใช้ในการนำเข้ามาในแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient) โดยค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำได้ใช้ข้อมูลการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยวของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ในการกักเก็บพิจารณาจากข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา และข้อมูลการสุบทดสอบแบบบ่อกลุ่มของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546)

3.2 การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ

การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ การประเมินระดับความอ่อนไหวของแหล่งน้ำ และการประเมินศักยภาพของมลสาร นั่นคือต้องทำการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำ และประเมินศักยภาพของมลสารก่อน จากนั้นจึงทำการประเมินความเสี่ยงตามสมการ (2.10) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้วิธี DRASTIC Index (Aller, 1987) ดังแสดงในหัวข้อ 2.3.2 ในการประเมินระดับความอ่อนไหวของแหล่งน้ำ และใช้วิธี Hazard ranking system (USEPA, 1992) ดังแสดงในหัวข้อ 2.3.3 ซึ่งปรับปรุงและแนะนำโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) ในการประเมินศักยภาพของมลสาร

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาแบบจำลองของอรุณ (2552) ซึ่งได้ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อการศึกษาการรุกของน้ำเค็มในแอ่งหาคีใหญ่มาทำการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อการบริหารจัดการน้ำบาดาล โดยรายละเอียดในส่วนของการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำบาดาลมีดังนี้

3.3.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ คือบทสรุปความเข้าใจของลักษณะทางกายภาพ และระบบการไหลของน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา จากการวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีสัณฐานอุทกธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ การใช้น้ำบาดาล สภาพดินและการใช้ที่ดิน ผลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข แผนที่ และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งจะนำไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและตรวจสอบผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

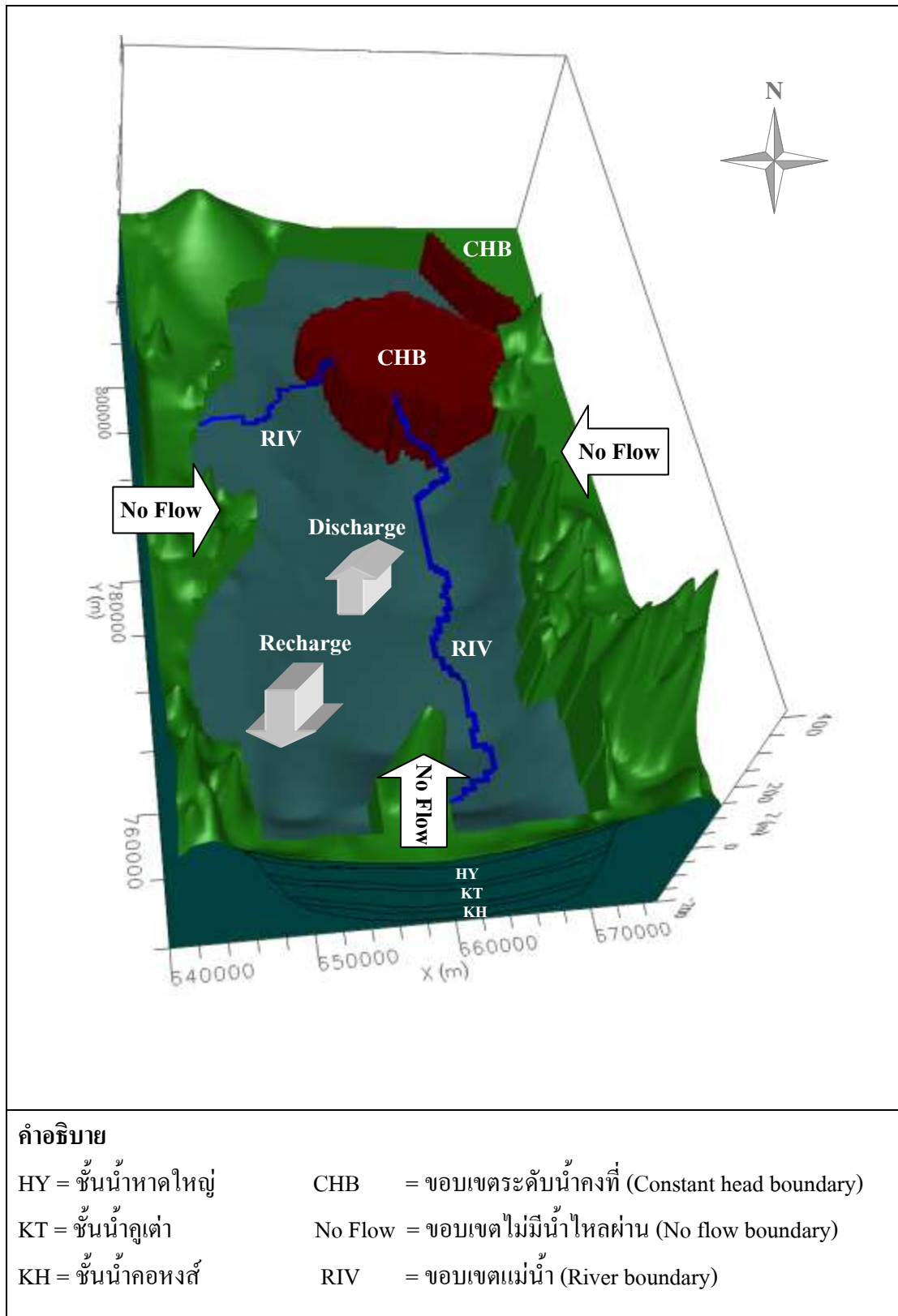
ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองของอรุณ (2552) ในบางส่วนของแบบจำลองใหม่ให้เป็นขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่าน (No flow) โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นภูเขาและสันปันน้ำ จากแบบเดิมที่เป็นขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่าน (General head boundary) นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงปริมาณการใช้น้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใหม่ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.3.2 การพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง

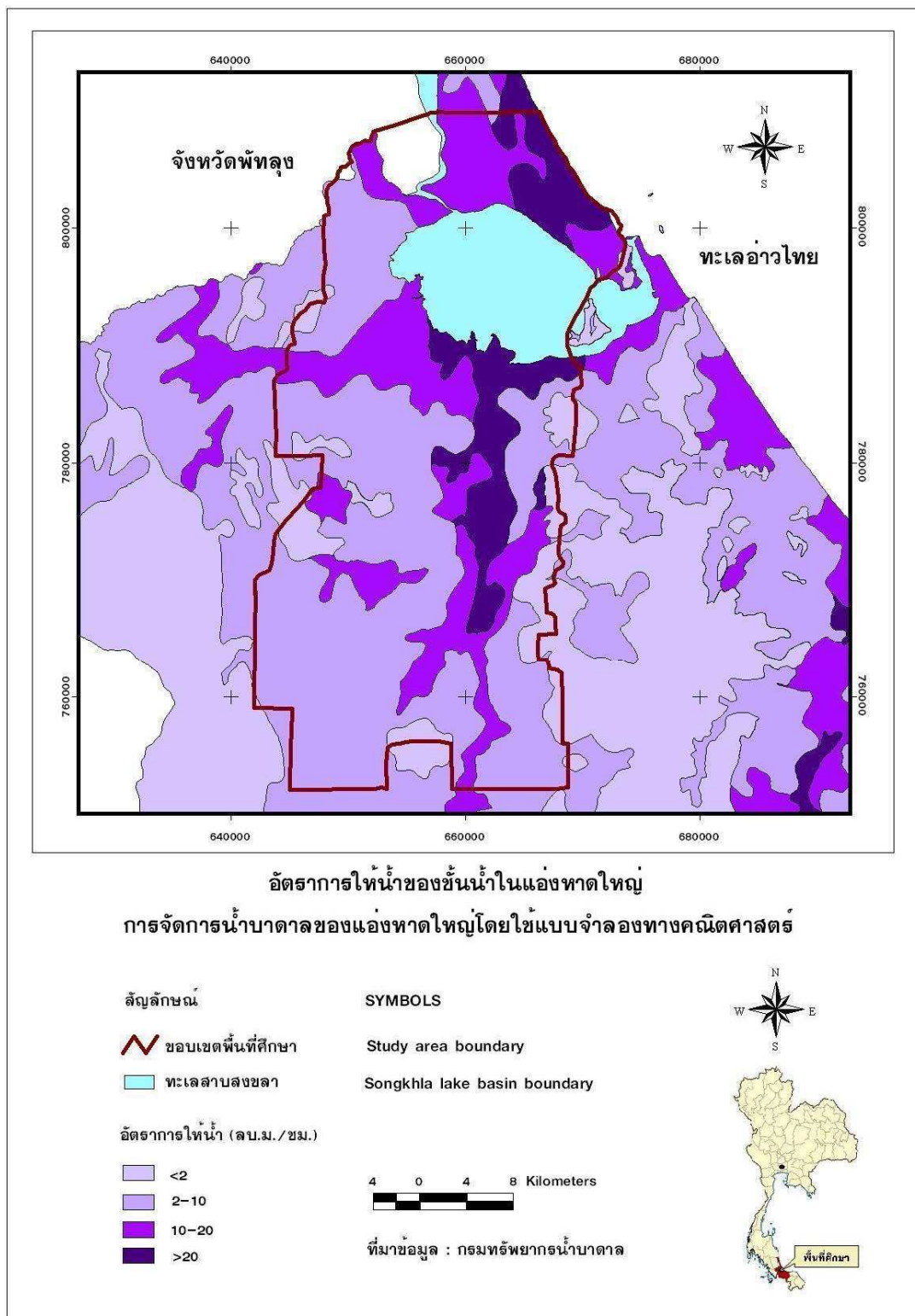
จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้าในการศึกษานี้ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองของอรุณ (2552) ในส่วนของ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ปริมาณการใช้น้ำ เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) โดยรายละเอียดมีดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity)

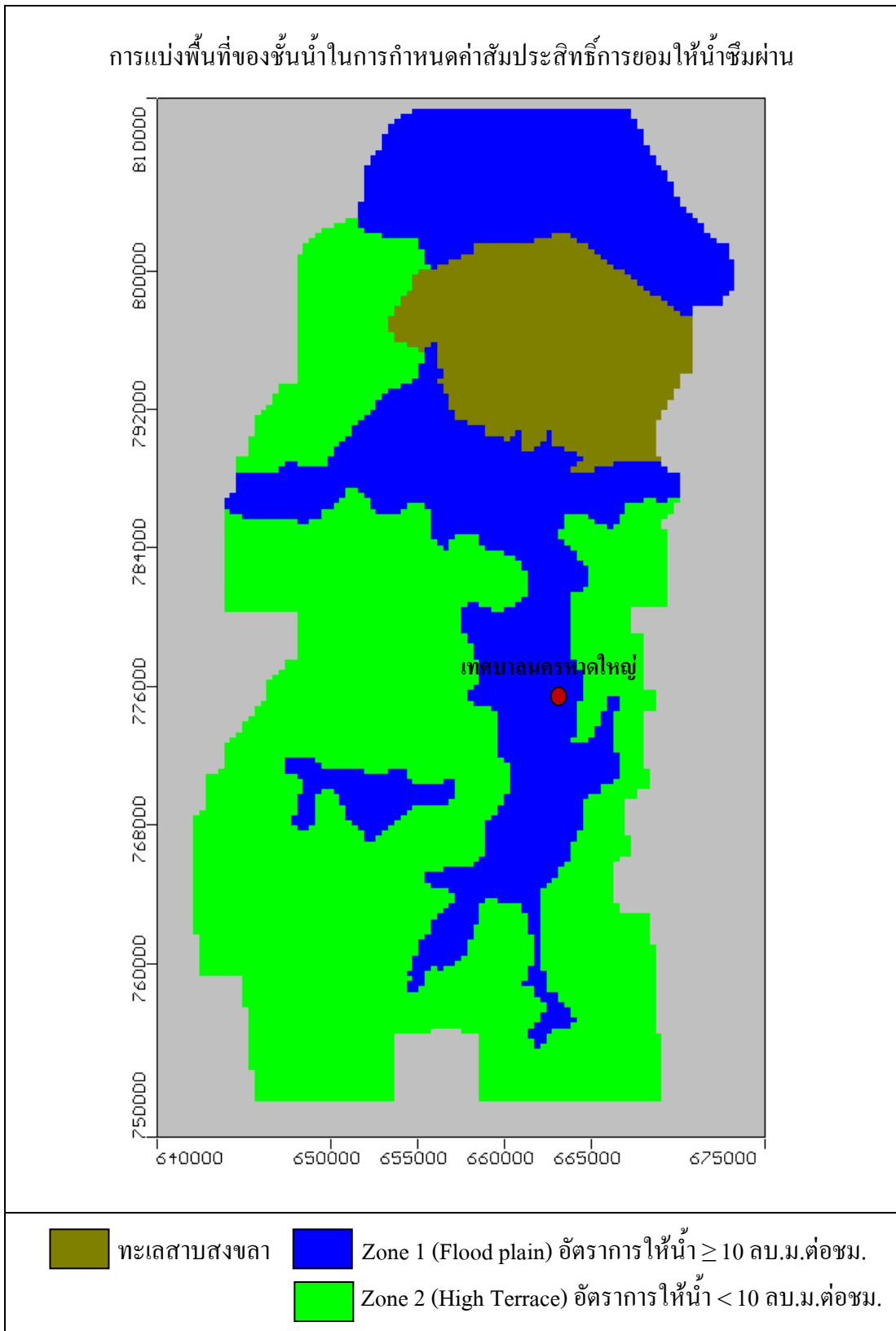
การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจะพิจารณาชั้นน้ำบาดาลใหญ่เป็นหลัก โดยแบบจำลองเดิมกำหนดให้ชั้นน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านเท่ากันทั้งชั้นน้ำ แต่เมื่อพิจารณาจากแผนที่อัตราการใช้จากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2544) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 พบว่าบริเวณกลางแอ่งมีค่าอัตราการใช้ที่สูงกว่า ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 โซนซึ่งทั้งสองโซนมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน โดยกำหนดให้บริเวณกลางแอ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งหาดใหญ่ (ปรับปรุงจาก อรุณ 2552)



รูปที่ 3.3 อัตราค่าเงินน้ำของชั้นน้ำในแอ่งหาดใหญ่ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2544)



รูปที่ 3.4 การแบ่งพื้นที่ของชั้นน้ำในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

2) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ

การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะทำเช่นเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านคือแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 พื้นที่และกำหนดให้พื้นที่บริเวณกลางแอ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะสูงกว่า

3) ปริมาณการใช้น้ำ

สำหรับข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในการศึกษานี้ได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำใหม่โดยนำเอาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) มาทำการตัดแปลงเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำในปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในการบริหารจัดการ

4) การปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขต

การปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำบาดาลนั้น เนื่องมาจากการกำหนดขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่านซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตแบบเดิมของอรุณ (2552) ทำให้มีน้ำจาก General Head Boundary (GHB) อยู่ตลอด เมื่อพิจารณาสมมูลน้ำบาดาลในตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นสมมูลน้ำจากแบบจำลองเดิม จะเห็นว่าน้ำที่ไหลเข้าแบบจำลองมาจาก General Head Boundary (GHB) ถึง 53 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองซึ่งไม่สอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) ในการศึกษาจึงได้ปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตส่วนที่เป็นขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่าน (General Head Boundary, GHB) เดิม ให้เป็นขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่าน (No Flow Boundary) โดยทำการขยายโมเดลตรงบริเวณขอบเขตที่ปรับปรุงออกไปด้วย จนถึงบริเวณที่เป็นสันปันน้ำ (Groundwater divide)

ตารางที่ 3.1 สมดุลน้ำบาดาลจากแบบจำลองของอรุณ (2552)

แหล่ง	ปริมาณการไหล (ล้าน ลบ.ม./ปี)	
	เข้า	ออก
Storage	23.96	66.88
Constant Head	1.72	7.83
Wells	-	25.03
River Leakage	7.72	10.2
Recharge	28.2	-
General Head	53.4	5.06
Total	115	115

3.3.3 การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นการปรับเทียบค่าตัวแปรเพื่อให้ผลการคำนวณกับข้อมูลในสนามสอดคล้องกัน ณ สถานที่และเวลานั้นๆ โดยตัวแปรดังกล่าวได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเติมน้ำ และสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ซึ่งการปรับแก้ค่าตัวแปรจะเป็นในลักษณะลองผิดลองถูก (Trial-and-error adjustment) จนกระทั่งทราบขอบเขตและช่วงค่าของตัวแปรต่างๆ เพื่อตรวจสอบแบบจำลอง เมื่อมีการปรับค่าตัวแปรจนแบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่ดีแล้ว ต้องดำเนินการตรวจสอบยืนยันอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ข้อมูลภาคสนามอีกชุดหนึ่งที่แตกต่างกันจากข้อมูลชุดแรกที่ใช้ในการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองให้มีความถูกต้องและสามารถนำมาใช้งานได้

เมื่อมีการปรับปรุงแบบจำลองดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.3.2 จึงต้องทำการปรับเทียบแบบจำลองอีกครั้ง โดยเกณฑ์ในการพิจารณาความถูกต้องของแบบจำลองจะใช้ค่าความแตกต่างของระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จากสนาม โดยกำหนดค่าความแตกต่างไว้ไม่เกินร้อยละ 10 นั่นคือ ค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ของแบบจำลองมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 ถือว่าแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.4 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

การประเมินศักยภาพของน้ำบาดาลในรูปของสมมูลน้ำบาดาล ทำได้โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มที่ได้ปรับเทียบแล้ว และผลการจำลองที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่วัดในสนาม โดยมีค่าความเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ไม่เกินร้อยละ 10 จึงถือได้ว่าแบบจำลองนี้มีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง และนำไปใช้ในการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในอนาคตและประเมินศักยภาพน้ำบาดาลได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลเพื่อให้ได้ปริมาณการสูบน้ำสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

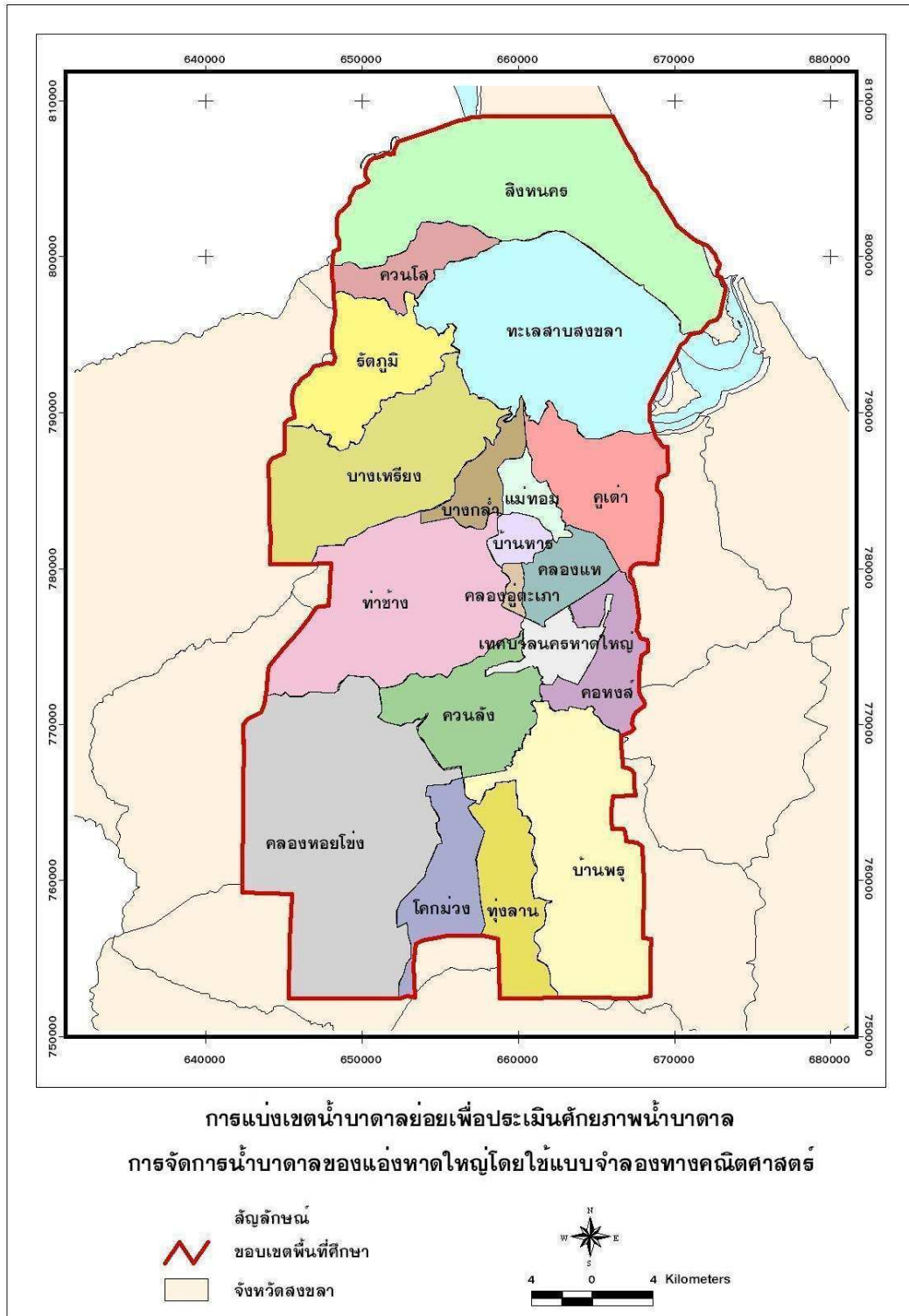
3.4.1 การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อย และการกำหนดระยะน้ำลด

ในการศึกษานี้ได้แบ่งพื้นที่แอ่งหาคใหญ่ออกเป็นเขตน้ำบาดาลย่อย (Zone budget) เพื่อให้ได้ปริมาณการสูบน้ำที่แท้จริงของทั้งแอ่ง โดยการแบ่งพื้นที่ให้เป็นเขตน้ำบาดาลย่อยจะใช้ขอบเขตตำบลเป็นหลัก โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยออกเป็น 19 เขตดังแสดงในรูปที่ 3.5

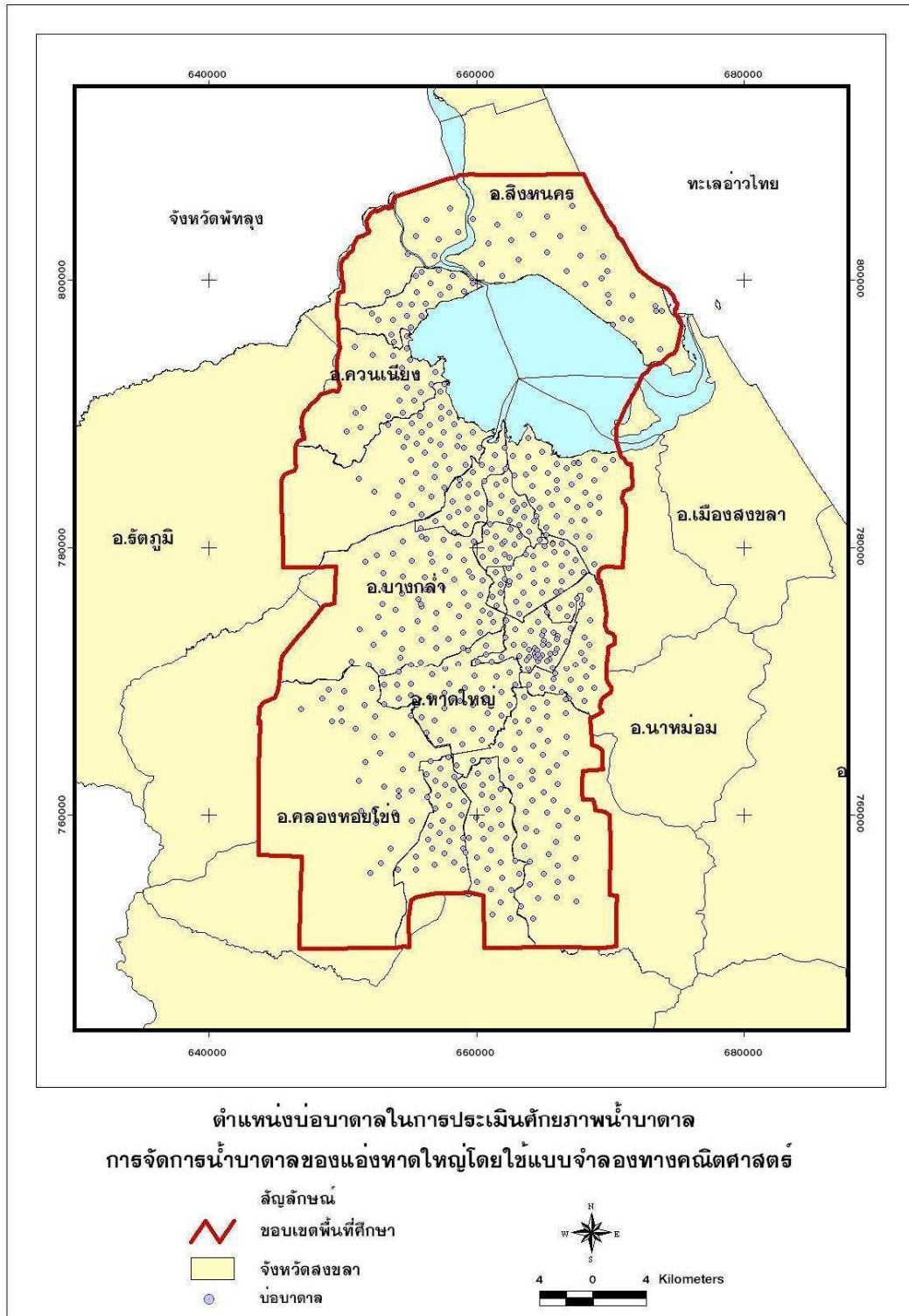
สำหรับการกำหนดระยะน้ำลด (Drawdown) เพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลนั้น ในการศึกษาี้ได้กำหนดระยะน้ำลดที่ทำการศึกษาประกอบด้วยระยะน้ำลดที่ระดับ 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 เมตร

3.4.2 การเพิ่มอัตราการสูบน้ำ

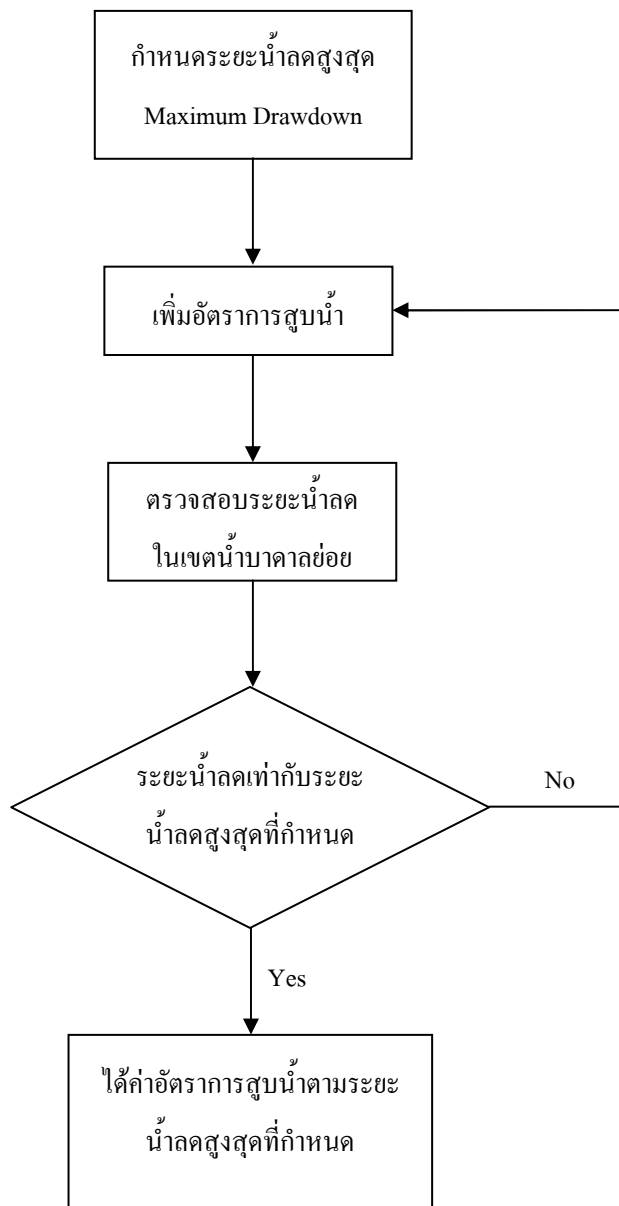
การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาลนั้นทำได้โดยการเพิ่มอัตราการสูบน้ำในแบบจำลอง โดยจะทำการเพิ่มอัตราการสูบน้ำในแต่ละพื้นที่ไปเรื่อยๆ เมื่อเขตน้ำบาดาลย่อยใดมีระยะน้ำลดตามที่กำหนดไว้ จะทำการหยุดเพิ่มอัตราการสูบน้ำของเขตน้ำบาดาลย่อยนั้นๆ จนครบทุกพื้นที่ย่อย ซึ่งในการเพิ่มอัตราการสูบน้ำแต่ละครั้งจะเพิ่มอัตราการสูบน้ำครั้งละ 0.1 เท่าของปริมาณการสูบน้ำในปี 2554 และใช้เวลาในการจำลองการสูบน้ำ 1 ปี โดยบ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 (รายละเอียดพิภพตัดของบ่อน้ำบาดาลในภาคผนวก ง) และกระบวนการในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิผังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งบ่อบาดาลในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล



รูปที่ 3.7 แผนภูมิการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลโดยการกำหนดระยะน้ำลด

3.5 การวางแผนการจัดการน้ำบาดาล

ในการศึกษาการจัดการน้ำบาดาลมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและต่อผู้อุปโภค-บริโภค รวมถึงแผนการใช้น้ำบาดาลอย่างยั่งยืนตามที่เสนอโดย McPhe and Yeh (2004) ในการศึกษานี้ได้พิจารณาถึงปัจจัยและเงื่อนไขที่สำคัญประกอบด้วย อัตราการสูบน้ำปลอดภัย ระยะเวลาสูงสุดที่ยอมให้ ค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบ และการแพร่กระจายของน้ำเค็ม โดยในการวางแผนจัดการจะพิจารณาปัจจัยและเงื่อนไขเหล่านี้ร่วมกัน ดังแสดงในแผนภูมิดังรูปที่ 3.8 และมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ปัจจัย และเงื่อนไขในการจัดการ

ในการจัดการน้ำบาดาลนั้นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขและปัจจัยควบคุม เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์นั่นคือ ความพอใจทั้งทางด้านอุปสงค์หรือความต้องการในการใช้น้ำและอุปทานหรือปริมาณน้ำที่สามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ กำหนดปัจจัยเพื่อใช้ในการพิจารณาในการบริหารจัดการน้ำสามประการซึ่งมีความสัมพันธ์กันคือ อัตราการสูบน้ำ ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบ นอกจากนี้ยังทำการพิจารณาภายใต้เงื่อนไขของการแพร่กระจายของน้ำเค็มด้วย เนื่องจากแอ่งหาคใหญ่มีขอบเขตติดต่อกับทะเล และพื้นที่ทางทิศเหนือของแอ่งเป็นทะเลสาบสงขลา รายละเอียดในการบริหารจัดการน้ำบาดาลมีดังนี้

1) ปริมาณการสูบน้ำ และระยะเวลา

ปริมาณการสูบน้ำและระยะเวลาเป็นปัจจัยสองปัจจัยที่ต้องพิจารณาไปด้วยกัน โดยในการศึกษาการจัดการน้ำบาดาลนั้นต้องการหาอัตราการสูบน้ำสูงสุดที่สูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ยอมให้ นั่นคือในการบริหารจัดการน้ำบาดาลจะต้องทำการกำหนดระยะเวลาที่ยอมให้ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและผู้อุปโภคบริโภค และอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลตที่กำหนดนี้คือ อัตราการสูบน้ำปลอดภัย

2) ค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบ

สำหรับค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการยอมให้มีการสูบน้ำได้มากกว่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัย โดยจะเรียกค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบนี้ว่า ค่าอนุรักษ์น้ำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงจากค่าอนุรักษ์น้ำบาดาลจากกฎกระทรวงเรื่อง การกำหนดอัตราค่าอนุรักษ์น้ำบาดาลได้กำหนดอัตราค่าอนุรักษ์น้ำไว้ที่ 8.50 บาทต่อการใช้ น้ำบาดาลหนึ่งลูกบาศก์เมตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547)

3) การแพร่กระจายของน้ำเค็ม

เนื่องจากแอ่งหาดใหญ่มีขอบเขตบางส่วนติดทะเลและทะเลสาบดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาการแพร่กระจายของน้ำเค็ม โดยจะใช้เกณฑ์ความเข้มข้นของคลอไรด์ในการพิจารณา ซึ่งเกณฑ์ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12, 2542) ในการพิจารณาจะเปรียบเทียบขอบเขตการแพร่กระจายที่เปลี่ยนไปเมื่อแบบจำลองมีค่าอัตราการสูบน้ำสูงสุดที่ระยะน้ำลตต่างๆ เทียบกับขอบเขตการแพร่กระจายที่อัตราการสูบน้ำในปี 2554

3.5.2 การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่

ในการศึกษานี้ได้แบ่งแผนการจัดการน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่ ออกเป็นสองส่วน คือ อัตราการสูบปลอดภัยเมื่อกำหนดระยะน้ำลตสูงสุดที่ยอมให้ และส่วนที่สองคือ การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยออกเป็นเขตใช้น้ำวิกฤต และเขตใช้น้ำปลอดภัย (รูปที่ 3.8) โดยมีรายละเอียดดังนี้

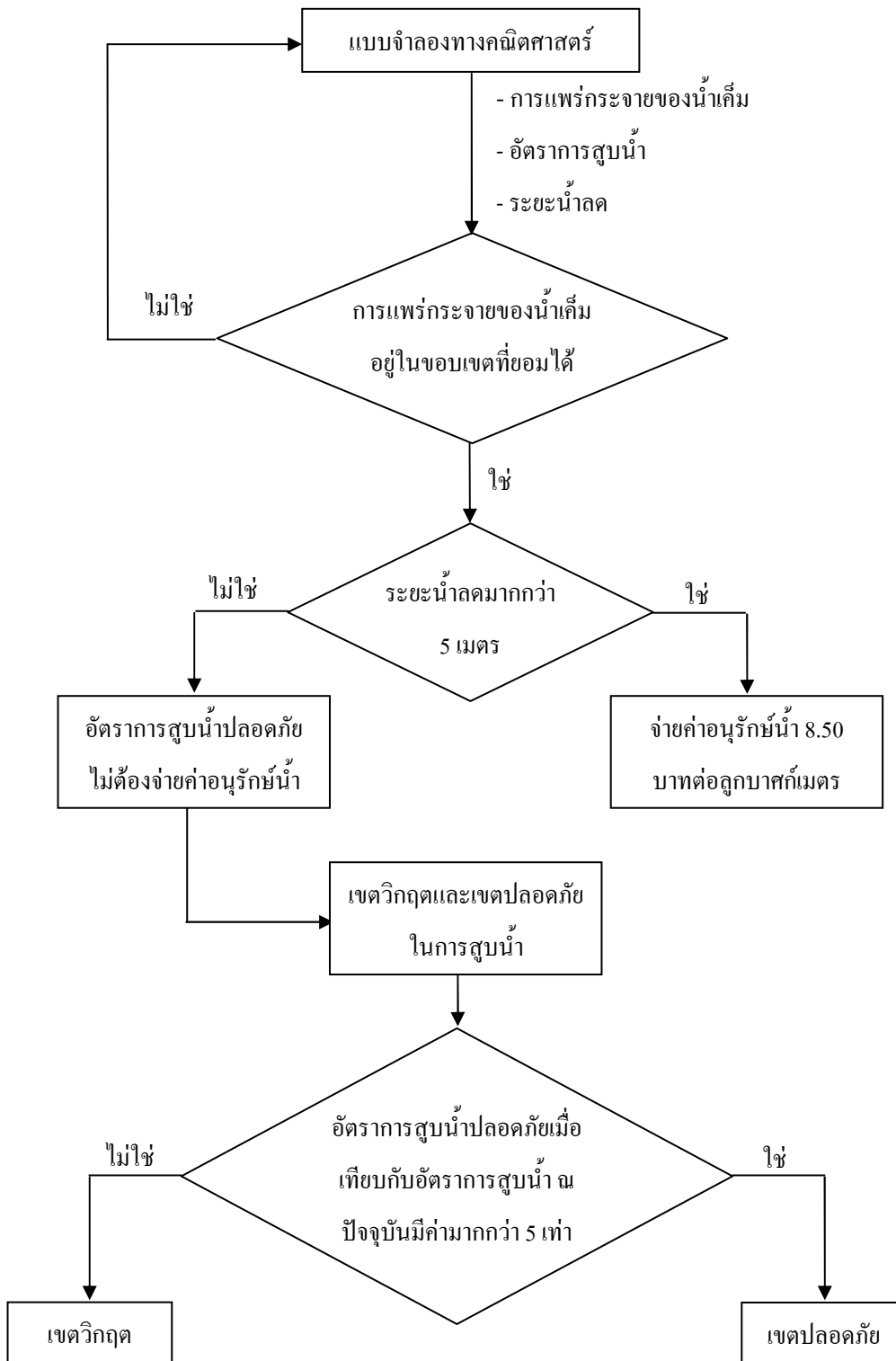
3.5.2.1 อัตราการสูบปลอดภัยเมื่อกำหนดระยะน้ำลตสูงสุดที่ยอมให้

แผนการจัดการในส่วนนี้จะบอกถึงค่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ในแต่ละเขตน้ำบาดาลย่อยของแอ่งหาดใหญ่ โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดระยะน้ำลตสูงสุดที่ยอมให้เท่ากับ 5 เมตร ซึ่งเป็นค่าประมาณความลึกของระดับน้ำบาดาลในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ถึงขอบเขตชั้นน้ำ นั่นคือจะได้อัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลต 5 เมตรของแต่ละเขตน้ำบาดาลย่อย รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการบรรเทาผลกระทบหรือค่าอนุรักษ์น้ำ หากยอมให้มีการสูบน้ำเพิ่มขึ้น

จากระดับน้ำลดสูงสุดที่ยอมให้ (5 เมตร) ซึ่งจะทำให้ชั้นน้ำบาดาลเกิดระยะน้ำลดเพิ่มขึ้น โดยค่าอนุรักษณ์้ำบาดาลเท่ากับ 8.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม , 2547)

3.5.2.2 การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยออกเป็นเขตใช้น้ำวิกฤต และเขตใช้น้ำปลอดภัย

ในส่วนของการแบ่งเขตน้ำบาดาลออกเป็นเขตใช้น้ำวิกฤตและเขตใช้น้ำปลอดภัย สามารถทำได้ โดยการพิจารณาอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ได้จากการกำหนดระยะน้ำลดสูงสุดเท่ากับ 5 เมตรของแต่ละเขตน้ำบาดาลย่อยเทียบกับอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2554) โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาคือ เมื่อนำอัตราการสูบน้ำปลอดภัยมาเทียบกับอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2554) แล้วมีค่าไม่เกิน 5 เท่า ให้จัดเขตน้ำบาดาลย่อยนั้นอยู่ในเขตใช้น้ำวิกฤต (กำหนด 5 เท่า เนื่องจากบางพื้นที่ในแอ่งหาคใหญ่มีการเจริญเติบโตของจำนวนประชากรสูง ทำให้มีความต้องการใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว) และถ้าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยมาเทียบกับอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2554) มีค่ามากกว่า 5 เท่าให้ถือว่าอยู่ในเขตใช้น้ำปลอดภัย



รูปที่ 3.8 แผนภูมิการจัดการน้ำบาดาล ปัจจุบันและเงื่อนไขควบคุม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิจารณ์

ผลการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 8 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ผลการรวบรวมข้อมูล ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล ผลการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง ผลการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล และแผนการจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ รายละเอียดของผลการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลของแอ่งหาคใหญ่

ผลการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลอัตราการเพิ่มเติมน้ำ ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำ และข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ โดยรายละเอียดมีดังนี้

4.1.1 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ

อรุณ (2552) ได้ทำการประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำในแอ่งหาคใหญ่ โดยคำนวณจากปริมาณน้ำฝน (R) ค่าการคายระเหย (ET_p) ปริมาณการกักเก็บ (S) และปริมาณน้ำท่า (Stream) ผลการคำนวณการเติมน้ำแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และจากผลการคำนวณพบว่าค่าปริมาณการไหลออกรายเดือนในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากชั้นดินลงสู่ลำน้ำ (Stream flow) และบางส่วนไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Groundwater flow, GW) ปริมาณการเติมน้ำสุทธิรายปี (GW_{net}) เท่ากับ 121 มิลลิเมตร นั่นคือในแต่ละปีจะมีน้ำไหลลงสู่ระบบน้ำบาดาลประมาณ 121 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 7.64% ของปริมาณฝนทั้งปี ดังนั้นปริมาณการเติมน้ำสู่พื้นที่ศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ (ไม่คิดรวมทะเลสาบสงขลา)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำฝน (1,583 มม.)} \times \text{พื้นที่ (1,124 ตร.กม.)} &= 1,779 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี} \\ \text{ปริมาณการเติมน้ำ (121 มม.)} \times \text{พื้นที่ (1,124 ตร.กม.)} &= 136 \text{ ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1 การคำนวณการเติมน้ำในพื้นที่ศึกษา (อรุณ, 2552)

เดือน	R	ET _p	R[ET _p	S	ΔS	ET _a	Out	Stream	Recharge
มกราคม	56	94	-38	90	0	56	0	37	-37
กุมภาพันธ์	41	101	-60	40	-50	91	0	15	-15
มีนาคม	72	116	-44	25	-15	87	0	16	-16
เมษายน	92	105	-13	25	0	92	0	20	-20
พฤษภาคม	106	101	5	30	5	101	0	23	-23
มิถุนายน	91	88	3	33	3	88	0	15	-15
กรกฎาคม	85	93	-8	25	0	93	0	14	-14
สิงหาคม	108	95	13	38	13	95	0	15	-15
กันยายน	115	89	26	64	26	89	0	22	-22
ตุลาคม	220	78	142	90	26	78	116	55	61
พฤศจิกายน	307	60	247	90	0	60	247	104	143
ธันวาคม	290	66	224	90	0	66	224	130	94
รายปี	1,583	1,086	497			996	587	466	121

4.1.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำ

การประเมินปริมาณการใช้น้ำของแอ่งหาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2554 โดยการคัดแปลงข้อมูลจากการประเมินการใช้น้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) ซึ่งรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากประปาหมู่บ้าน ประปาเทศบาล บ่อบาดาลส่วนตัว บ่อบาดาลเอกชนและบ่อบาดาลแฝง โดยแบ่งออกเป็นการใช้น้ำจากภาคกิจกรรมหลักๆ 4 กลุ่มได้แก่ อุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม เกษตรกรรมและ โรงแรม ผลการประเมินพบว่าแอ่งหาดใหญ่มีปริมาณการใช้น้ำรวมประมาณ 28 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีปริมาณการใช้น้ำของแต่ละตำบลในเขตพื้นที่ศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยบริเวณที่มีการใช้น้ำมากที่สุดคือ พื้นที่ตำบลควนลัง รองลงมาคือพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ และบ้านพรุ เมื่อพิจารณาการใช้น้ำในแต่ละภาคกิจกรรมพบว่า พื้นที่ที่มีการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค มากที่สุดคือเทศบาลนครหาดใหญ่ พื้นที่ที่มีการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมมากที่สุดคือตำบลบ้านพรุ พื้นที่ที่มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมมากที่สุดคือ พื้นที่ตำบลคลองหอยโข่ง

และการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมด้านการโรงแรมมีพื้นที่เดียวคือเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยเมื่อพิจารณาการใช้น้ำในภาพรวมจะเห็นได้ว่า พื้นที่อำเภอหาดใหญ่มีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่าพื้นที่อำเภออื่นๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2554 (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

อำเภอ	ตำบล	ปริมาณการใช้น้ำบาดาลในปี 2554 (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)				
		อุปโภคบริโภค	อุตสาหกรรม	เกษตรกรรม	โรงแรม	รวม
คลองหอยโข่ง	คลองหอยโข่ง	293,240	2,571	425,661	-	721,472
	โคกม่วง	368,687	26,765	50,875	-	446,326
	ทุ่งลาน	336,456	12,509	147,221	-	496,186
ควนเนียง	ควนโส	437,703	-	25,400	-	463,103
	บางเหรียง	861,465	158,764	172,193	-	1,192,422
	รัตภูมิ	664,751	301,412	30,607	-	996,770
บางกล่ำ	ท่าช้าง	973,037	1,106,127	167,941	-	2,247,104
	บางกล่ำ	285,423	8,736	118,665	-	412,824
	บ้านหาร	219,159	-	36,262	-	255,421
	แม่ทอม	240,407	-	5,522	-	245,930
หาดใหญ่	คลองแห	860,312	72,597	-	-	932,908
	คลองอู่ตะเภา	232,461	15,042	5,597	-	253,099
	ควนลัง	2,000,850	2,847,073	-	-	4,847,924
	คูเต่า	1,162,709	1,076	83,465	-	1,247,251
	บ้านพรุ	571,212	3,098,034	55,980	-	3,725,226
	คอหงส์	1,819,686	726,790	-	-	2,546,476
สิงหนคร	หาดใหญ่	2,130,107	1,012,793	-	1,375,618	4,518,519
		692,790	2,296,684	-	-	2,989,474
รวม		14,150,455	11,686,973	1,325,388	1,375,618	28,538,434

4.1.3 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ

ผลการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำเพื่อใช้ในการนำเข้ามาในแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient) มีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำได้ใช้ข้อมูลการสูบทดสอบของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546) ดังแสดงในภาคผนวก จ ซึ่งจากข้อมูลพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำในแอ่งหาคใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง $1.12 \times 10^{-3} - 2.31 \times 10^{-8}$ เมตรต่อวินาที

2) ค่าสัมประสิทธิ์ในการกักเก็บ

ค่าสัมประสิทธิ์ในการกักเก็บพิจารณาจากข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา การสูบทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก จ) และอัตราการให้น้ำของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ในการกักเก็บของชั้นน้ำอยู่ในช่วง $1 \times 10^{-1} - 2.31 \times 10^{-5}$

4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อน

การประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลได้พิจารณาใน 2 ส่วนคือ ความสามารถของแหล่งมลสารที่จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำ และการพิจารณาสภาพทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำบาดาลที่มีความอ่อนไหวเพียงใด (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.3) ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนประกอบด้วย ผลการประเมินศักยภาพมลสารและผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล มีรายละเอียดผลการวิเคราะห์และประเมินดังนี้

4.2.1 ผลการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลแอ่งหาคใหญ่ด้วยวิธี DRASTIC Index ซึ่งทำการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีการเกิดมลสารจากแหล่งมลสารทั้ง 6 ประเภทโดยอ้างอิงการให้คะแนนจากคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D)

ความลึกถึงระดับน้ำบาดาลเป็นตัวบอกระดับระยะทางที่มลสารจะต้องเดินทางผ่านก่อนที่จะถึงระดับน้ำบาดาล จากตารางการให้คะแนนค่าความลึกถึงของระดับน้ำและค่าถ่วงน้ำหนัก พบว่า

ความลึกถึงระดับน้ำมีค่าถ่วงน้ำหนัก (D_w) เท่ากับ 5 สำหรับค่าความลึกถึงระดับน้ำของแต่ละจุดศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการให้คะแนนระดับความลึกถึงของระดับน้ำบาดาล

แหล่งน้ำ	Depth to water table (m)	D_r	Index D
บ่อขยะบ้านพรุ	19	3	15
บ่อขยะควนลิ่ง	20	3	15
บ่อขยะ ทน.หาดใหญ่	21	3	15
สถานีบริการน้ำมัน	12-25	5	25
โรงงานอุตสาหกรรม	12-25	5	25
ระบบบำบัดน้ำเสีย ทน.หาดใหญ่	25	3	15
เหมืองแร่	12-25	5	25
แหล่งเกษตรกรรม	12-25	5	25

2) อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R)

อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นตัวบอกระดับปริมาณน้ำที่ซึ่งเป็นตัวทำละลายและนำมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยในพื้นที่ศึกษามีค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในช่วง 71-140 มิลลิเมตรต่อปี เมื่อพิจารณาตารางการให้คะแนนค่าอัตราการซึมของน้ำและค่าถ่วงน้ำหนัก พบว่าพื้นที่ศึกษามีค่าคะแนนเท่ากับ 4 และมีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 4 นั่นคือจะได้ค่า R เท่ากับ 16

3) คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media, A)

วัสดุชั้นน้ำจะเป็นตัวบอกระดับความสามารถในการซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล โดยความสามารถในการซึมผ่านจะเป็นตัวบ่งชี้ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล นั่นคือชั้นน้ำที่มีการซึมผ่านได้ดีจะมีความอ่อนไหวมากกว่าชั้นน้ำที่ซึมผ่านได้ไม่ดี จากเกณฑ์การให้คะแนนคุณสมบัติของวัสดุชั้นน้ำและค่าถ่วงน้ำหนัก และจากการพิจารณาวัสดุชั้นน้ำของพื้นที่ศึกษาพบว่าเป็นชั้นทรายและกรวด มีค่าคะแนนเท่ากับ 9 และมีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 3 จะได้ค่า A เท่ากับ 27

4) คุณสมบัติของดิน (Soil media, S)

คุณสมบัติของดินในที่นี้จะหมายถึงดินที่อยู่ชั้นบนสุดของพื้นผิวที่มีการผุพังและทับถมกันของซากอินทรีย์วัตถุ มีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตร สำหรับคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษาพบว่าเป็นดินเหนียว เมื่อพิจารณาค่าคะแนนคุณสมบัติของดินและค่าถ่วงน้ำหนัก ดินเหนียวมีค่าคะแนนเท่ากับ 1 เมื่อคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 จะได้ค่า S เท่ากับ 2

5) ลักษณะภูมิประเทศ (Topography, T)

ลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยน้ำที่ไหลผ่านและสัมผัสผิวดินมีมาก โอกาสที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็มีมาก สำหรับพื้นที่ศึกษานั้นจะมีความชันอยู่ที่ 0-5% เมื่อพิจารณาจากตารางการให้คะแนนลักษณะภูมิประเทศและค่าถ่วงน้ำหนัก จะมีค่าคะแนนเท่ากับ 9 และเนื่องจากมีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้ค่า T เท่ากับ 9

6) คุณสมบัติของวัสดุในชั้นเหนือระดับน้ำ (Impact of the vadose zone media, I)

การที่มลสารจะปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในปริมาณเท่าใดหรือในทิศทางใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่อยู่ในชั้นเหนือระดับน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวลดความรุนแรงของมลสารที่กระจายลงสู่ชั้นน้ำ โดยการกรอง ปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้น สำหรับพื้นที่ศึกษานั้นวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลเป็นวัสดุดินเหนียวเมื่อพิจารณาจากตารางคะแนนลักษณะของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำและค่าถ่วงน้ำหนัก จะได้ค่าคะแนนเท่ากับ 1 และค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 5 นั่นคือจะได้ค่า I เท่ากับ 5

7) สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (Aquifer hydraulic conductivity, C)

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำแสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่านและเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสารว่าสามารถกระจายตัวได้เร็วหรือช้า สำหรับพื้นที่ศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำอยู่ในช่วง $1.12 \times 10^{-3} - 2.31 \times 10^{-8}$ เมตรต่อวินาที จากตารางคะแนนค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้น

น้ำบาดาลและค่าถ่วงน้ำหนัก พบว่ามีค่าคะแนนเท่ากับ 10 และค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 3 จะได้ค่า C เท่ากับ 30

ค่าคะแนนค่าความอ่อนไหวของแหล่งน้ำในพื้นที่ที่มีการเกิดมลสารจากแหล่งต่างๆ สามารถสรุปผลการให้คะแนนและค่าความอ่อนไหวได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า DRASTIC Index พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำโดยมีค่าอยู่ในช่วง 104 ถึง 114 จึงจัดกลุ่มของค่าความอ่อนไหวให้อยู่ในระดับ 1 จากทั้งหมด 5 กลุ่มตามช่วงคะแนนของค่า DRASTIC Index ซึ่งระดับ 1 จัดว่ามีค่าความอ่อนไหวต่ำ สังเกตได้ว่าค่า DRASTIC Index ของทั้งพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากันคือ 1 ทั้งหมด เนื่องจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอยู่ในแอ่งหาคีใหญ่ที่มีคุณสมบัติของชั้นน้ำและลักษณะทางธรณีวิทยาใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างผลการให้คะแนนและค่าความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล

แหล่งน้ำ	D	R	A	S	T	I	C	DRASTIC
บ่อขยะบ้านพรุ	15	16	27	2	9	5	30	104
บ่อขยะควนลิ่ง	15	16	27	2	9	5	30	104
บ่อขยะ ทน.	15	16	27	2	9	5	30	104
สถานีบริการน้ำมัน	25	16	27	2	9	5	30	114
โรงงาน	25	16	27	2	9	5	30	114
บ่อบำบัดน้ำเสีย	15	16	27	2	9	5	30	104
เหมืองแร่	25	16	27	2	9	5	30	114
แหล่งเกษตรกรรม	25	16	27	2	9	5	30	114

4.2.2 ผลการประเมินศักยภาพมลสาร

สำหรับรายละเอียดในการวิเคราะห์ศักยภาพมลสารของแหล่งมลสารทั้ง 6 ประเภทมีดังต่อไปนี้

1) แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

เกณฑ์การให้คะแนนมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยนั้นจะพิจารณาจากปัจจัยหลายปัจจัย ได้แก่ วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้และระบบป้องกันการปนเปื้อน ปริมาณขยะมูลฝอย

ที่กำจัดต่อวัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้กำจัดขยะไปแล้ว ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ ประเภทของขยะ ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบ สภาพแวดล้อมทางกายภาพของแหล่งฝังกลบ โดยในการศึกษานี้ จะทำการประเมินแหล่งฝังกลบ 3 แหล่งคือ บ่อฝังกลบขยะเทศบาลเมืองบ้านพรุ บ่อฝังกลบขยะเทศบาลตำบลควนลัง และบ่อฝังกลบขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งตำแหน่งของบ่อฝังกลบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4.5 และจากผลคูณคะแนนในตารางที่ 4.6 บ่อฝังกลบขยะเทศบาลเมืองบ้านพรุ บ่อฝังกลบขยะเทศบาลตำบลควนลัง และบ่อฝังกลบขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้ผลคูณคะแนนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 52%, 67%, 76% ตามลำดับ และเมื่อนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับตารางที่ 2.7 จะสามารถจัดระดับความรุนแรงได้คือ บ่อฝังกลบขยะเทศบาลเมืองบ้านพรุมีระดับความรุนแรงน้อย (ระดับ 2) บ่อฝังกลบขยะเทศบาลตำบลควนลังมีระดับความรุนแรงปานกลาง (ระดับ 3) และบ่อฝังกลบขยะเทศบาลนครหาดใหญ่มีระดับความรุนแรงมาก (ระดับ 4)

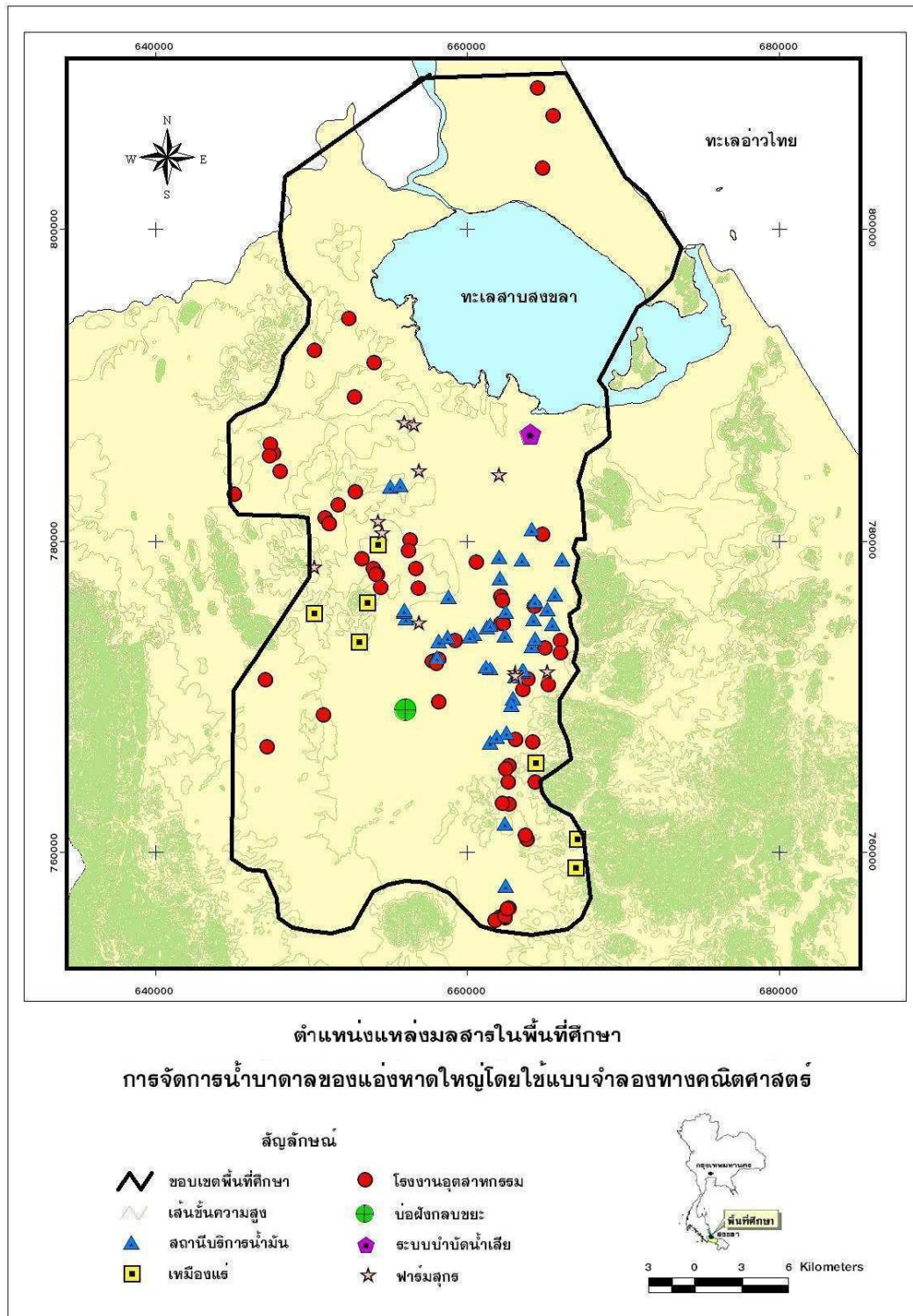
ตารางที่ 4.5 ผลการให้คะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

ปัจจัยกำหนด	น้ำหนัก	สถานที่กำจัดขยะ (คะแนน)		
		ทม.บ้านพรุ	ทต.ควนลัง	ทน.หาดใหญ่
1. วิธีกำจัดขยะมูลฝอยและระบบป้องกันการปนเปื้อน	5	3	5	3
2. ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดต่อวัน	3	2	2	4
3. ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะที่ใช้ไปแล้ว	3	1	2	5
4. ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ	3	3	4	5
5. ประเภทของขยะมูลฝอยที่รับกำจัด	4	4	4	4
6. ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบ	2	1	1	1
7.1 แหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียง	1	2	1	2
7.2 ชุมชนบริเวณใกล้เคียง	1	1	2	2

หมายเหตุ: ทม. = เทศบาลเมือง

ทต. = เทศบาลตำบล

ทน. = เทศบาลนคร



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งแหล่งมลสารในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4.6 ผลคูณคะแนนและระดับความรุนแรงแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

ปัจจัยกำหนด	ผลคูณ (คะแนนรวม 104)		
	ทม.บ้านพรุ	ทต.ควนลัง	ทน.หาดใหญ่
1. วิธีกำจัดขยะมูลฝอยและระบบป้องกันการ	15	25	15
2. ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดต่อวัน	6	6	12
3. ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะที่ใช้ไปแล้ว	3	6	15
4. ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ	9	12	15
5. ประเภทของขยะมูลฝอยที่รับกำจัด	16	16	16
6. ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบ	2	2	2
7.1 แหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียง	2	1	2
7.2 ชุมชนบริเวณใกล้เคียง	1	2	2
sum	54	70	79
%	52	67	76
ระดับความรุนแรง	2	3	4

2) แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม

ของเสียอุตสาหกรรมจัดเป็นมลสารประเภทอุตสาหกรรม โดยของเสียจะมีทั้งในรูปของกากของเสียและน้ำเสีย มลสารจากอุตสาหกรรมเป็นมลสารที่มีความรุนแรงสูง ในการประเมินจะมีปัจจัยของการบำบัดน้ำเสียซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรม โดยแหล่งอุตสาหกรรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และจากตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนัก การให้คะแนนในแต่ละปัจจัยกำหนด และผลคูณคะแนนพบว่าแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษามีค่าคะแนนคิดเป็น 48 เปอร์เซนต์ จากตารางที่ 2.7 พบว่ามีความรุนแรงน้อย (ระดับ 2)

ตารางที่ 4.7 ค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการให้คะแนน และผลคูณคะแนนของแหล่งมลสารประเภท
อุตสาหกรรม

ปัจจัยกำหนด	น้ำหนัก	คะแนน	ผลคูณ (คะแนนรวม 62)
1. การจัดระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสีย	3	1	3
2. ปริมาณน้ำเสียต่อวัน	5	1	5
3. คุณภาพน้ำทิ้ง	4	1	4
4. การบำบัดและกำจัดสลัดจ์	4	4	16
5. ระดับความสำคัญของชุมชนเมือง	2	1	2
Sum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30
%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48
ระดับความรุนแรง	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2

3) แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน

การปนเปื้อนของมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน ส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของสารในภาชนะที่เก็บซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนในดินรวมถึงน้ำบาดาล โดยการปนเปื้อนนี้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และตำแหน่งที่มีการรั่วไหลของถังบรรจุบนดิน ในการประเมินจะมีปัจจัยกำหนด การให้คะแนนและผลคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักดังในตารางที่ 4.8 พบว่าแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันมีผลคูณคะแนนเท่ากับ 40 % นั่นคือแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันในพื้นที่ศึกษามีระดับความรุนแรงน้อยมาก (ระดับ 1) โดยตำแหน่งของสถานีบริการน้ำมันในพื้นที่ศึกษาแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.8 ค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการให้คะแนน และผลคูณคะแนนของแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน

ปัจจัยกำหนด	น้ำหนัก	คะแนน	ผลคูณ (คะแนนรวม 15)
1. ความหนาของเหล็กที่ประกอบเป็นถังน้ำมัน	2	1	2
2. ระยะห่างจากแหล่งน้ำ	1	4	4
sum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40
ระดับความรุนแรง	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1

4) แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน

ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนในพื้นที่ศึกษาที่เดียวคือระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครหาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนจะมีปริมาณน้ำเสียค่อนข้างมาก อาจทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบๆ ได้กล่าวไว้ในแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งมีปัจจัยกำหนดแบบเดียวกัน แต่เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนนั้น มีคุณภาพน้ำทิ้งรวมถึงการบำบัดสลักจ์อยู่ในเกณฑ์ดี จึงทำให้มีระดับความรุนแรงน้อย โดยมีผลคูณคะแนนคิดเป็น 42 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในระดับความรุนแรงระดับที่ 1 หรือความรุนแรงน้อยมาก ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4.9

5) แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่

การทำเหมืองแร่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำบาดาลได้เนื่องจากหลายสาเหตุเช่น การกองทิ้งหางแร่ การชะล้างหางแร่ และการลอยแร่ เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยกำหนดสำหรับแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่จึงประกอบด้วย ชนิดของแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ระยะห่างระหว่างเหมืองแร่และแหล่งน้ำ และอายุการเปิดดำเนินการเหมือง สำหรับจุดที่มีการทำเหมืองแร่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 เมื่อทำการให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ในพื้นที่ศึกษาพบว่าผลคูณคะแนนรวมเท่ากับ 32 คะแนนคิดเป็น 71 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในระดับความรุนแรงปานกลาง (ระดับ 3) (ดังแสดงในตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.9 ค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการให้คะแนน และผลคูณคะแนนของแหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน

ปัจจัยกำหนด	น้ำหนัก	คะแนน	ผลคูณ (คะแนนรวม 62)
1. การจัดระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสีย	3	2	6
2. ปริมาณน้ำเสียต่อวัน	5	2	10
3. คุณภาพน้ำทิ้ง	4	1	4
4. การบำบัดและกำจัดสลัดจ์	4	1	4
5. ระดับความสำคัญของชุมชนเมือง	2	1	2
sum	□	[26
%	□	[42
ระดับความรุนแรง	□	[1

ตารางที่ 4.10 ค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการให้คะแนน และผลคูณคะแนนของแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่

ปัจจัยกำหนด	น้ำหนัก	คะแนน	ผลคูณ (คะแนนรวม 45)
1. ชนิดแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่	5	5	25
2. ระยะห่างระหว่างเหมืองแร่และแหล่งน้ำ	3	1	3
3. อายุเปิดดำเนินการเหมือง	1	4	4
sum	[[32
%	[[71
ระดับความรุนแรง	[[3

6) แหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

มลสารประเภทเกษตรกรรมเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ยาปราบศัตรูพืช การเก็บและการทิ้งมูลสัตว์ เป็นต้น ผิวดินจะทำการรองรับมลสารที่เกิดขึ้นจากนั้นจะค่อยๆเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยในการประเมินจะมีปัจจัยของปริมาณสารเคมีเป็นตัวกำหนด แต่เนื่องจากการสำรวจและวัดปริมาณสารเคมีในพื้นที่ศึกษานั้น พบว่ามีปริมาณสารเคมีน้อยมาก และเนื่องจากชั้นดินด้านบนเป็นชั้นดินเหนียวหนา ในการประเมินจึงได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก จึงจัดให้อยู่ในระดับความรุนแรงระดับที่ 1 คือมีความรุนแรงน้อยมาก โดยแหล่งที่มีการทำเกษตรกรรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

จากผลการประเมินศักยภาพมลสารของแหล่งมลสารทั้ง 6 ประเภทในพื้นที่ศึกษาสามารถสรุปผลการประเมินได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการประเมินศักยภาพมลสารของแหล่งมลสารทั้ง 6 ประเภท

แหล่งมลสาร	ระดับความรุนแรง
1. สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย	
- บ้านพรุ	2
- ควนดิ่ง	3
- เทศบาลนครหาดใหญ่	4
2. อุตสาหกรรม	2
3. สถานีบริการน้ำมัน	1
4. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	1
5. เหมืองแร่	3
6. เกษตรกรรม	1

หมายเหตุ : 1 = ความรุนแรงน้อยมาก, 2 = ความรุนแรงน้อย, 3 = ความรุนแรงปานกลาง,
4 = ความรุนแรงสูง, 5 = ความรุนแรงสูงมาก

4.2.3 ผลการประเมินความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแอ่งหาคีใหญ่

จากผลการประเมินค่าความอ่อนไหวและค่าศักยภาพมลสารที่ได้ทำการประเมินไว้แล้วข้างต้น นำผลการประเมินมาทำการคำนวณตามสมการที่ 2.10 จะได้ค่าคะแนนความเสี่ยงของพื้นที่ศึกษาดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 พบว่าค่าคะแนนความเสี่ยงของแหล่งมลสารทั้งหมดอยู่ในช่วง 1-4 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าระดับความเสี่ยงในการปนเปื้อนของแอ่งหาคีใหญ่อยู่ที่ระดับ 1 หรือมีความเสี่ยงน้อยมาก (ตามตารางที่ 2.6) นั่นคือไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.12 ค่าคะแนนความเสี่ยงของพื้นที่ศึกษา

แหล่งมลสาร	ระดับความอ่อนไหว (V)	ศักยภาพมลสาร (L)	คะแนนความเสี่ยง (R)	ระดับความรุนแรง
บ่อขยะบ้านพรุ	1	2	2	น้อยมาก
บ่อขยะควนลัง	1	3	3	น้อยมาก
บ่อขยะ ทน.หาคีใหญ่	1	4	4	น้อยมาก
สถานีบริการน้ำมัน	1	1	1	น้อยมาก
โรงงานอุตสาหกรรม	1	2	2	น้อยมาก
ระบบบำบัดน้ำเสีย ทน.หาคีใหญ่	1	1	1	น้อยมาก
เหมืองแร่	1	3	3	น้อยมาก
แหล่งเกษตรกรรม	1	1	1	น้อยมาก

4.3 ผลการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง

จากการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลอง สามารถสรุปรายละเอียดของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้ดังนี้

4.3.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

จากการศึกษาระบบการไหล สมดุลน้ำบาดาล ของแบบจำลองเดิม (อรุณ, 2552) และการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ ลักษณะธรณีสัณฐาน และการใช้น้ำบาดาล สามารถอธิบายแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งหาคใหญ่ (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) สำหรับการศึกษานี้ได้ว่า

แอ่งหาคใหญ่ประกอบด้วยชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นน้ำหาคใหญ่เป็นชั้นน้ำที่อยู่ด้านบนสุด ถัดลงมาคือชั้นน้ำคูเต่า และชั้นน้ำคองหงส์ ตามลำดับ และมีชั้นกั้นน้ำ (Aquitard) 3 ชั้น กั้นระหว่างชั้นหินอุ้มน้ำ ชั้นล่างสุดไม่มีการซึมผ่านของน้ำแนวตั้ง (No flow boundary) ทิศเหนือของแอ่ง (ทะเลสาบสงขลาและทะเลอ่าวไทย) เป็นขอบเขตระดับน้ำได้คิงคิงที่ (Constant head boundary) ขอบแอ่งทางด้านทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก เป็นขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่านหรือสันปันน้ำ (No flow boundary) สำหรับคลองอุตะเกาะซึ่งไหลผ่านบริเวณกลางแอ่งจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือและคลองรัตภูมิซึ่งไหลผ่านเขตตำบลรัตภูมิทางทิศเหนือของแอ่งหาคใหญ่ กำหนดให้เป็นขอบเขตแม่น้ำ (River boundary) ชั้นผิวดินด้านบนสุดกำหนดให้น้ำซึมผ่านลงไปได้ นั่นคือกำหนดให้เป็นขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำ (Recharge boundary) สำหรับการจำลองระบบอุทกธรณีได้ตั้งสมมติฐานในการจำลองเชิงตัวเลขดังนี้

- 1) ชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละชั้นมีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง (Anisotropic)
- 2) ชั้นหินอุ้มน้ำในแอ่งหาคใหญ่เป็นชั้นหินร่วน (Unconsolidated aquifer)
- 3) ความหนาแน่นของน้ำคงที่ (Constant density)

4.3.2 ขนาดของแบบจำลองและขนาดของกริด

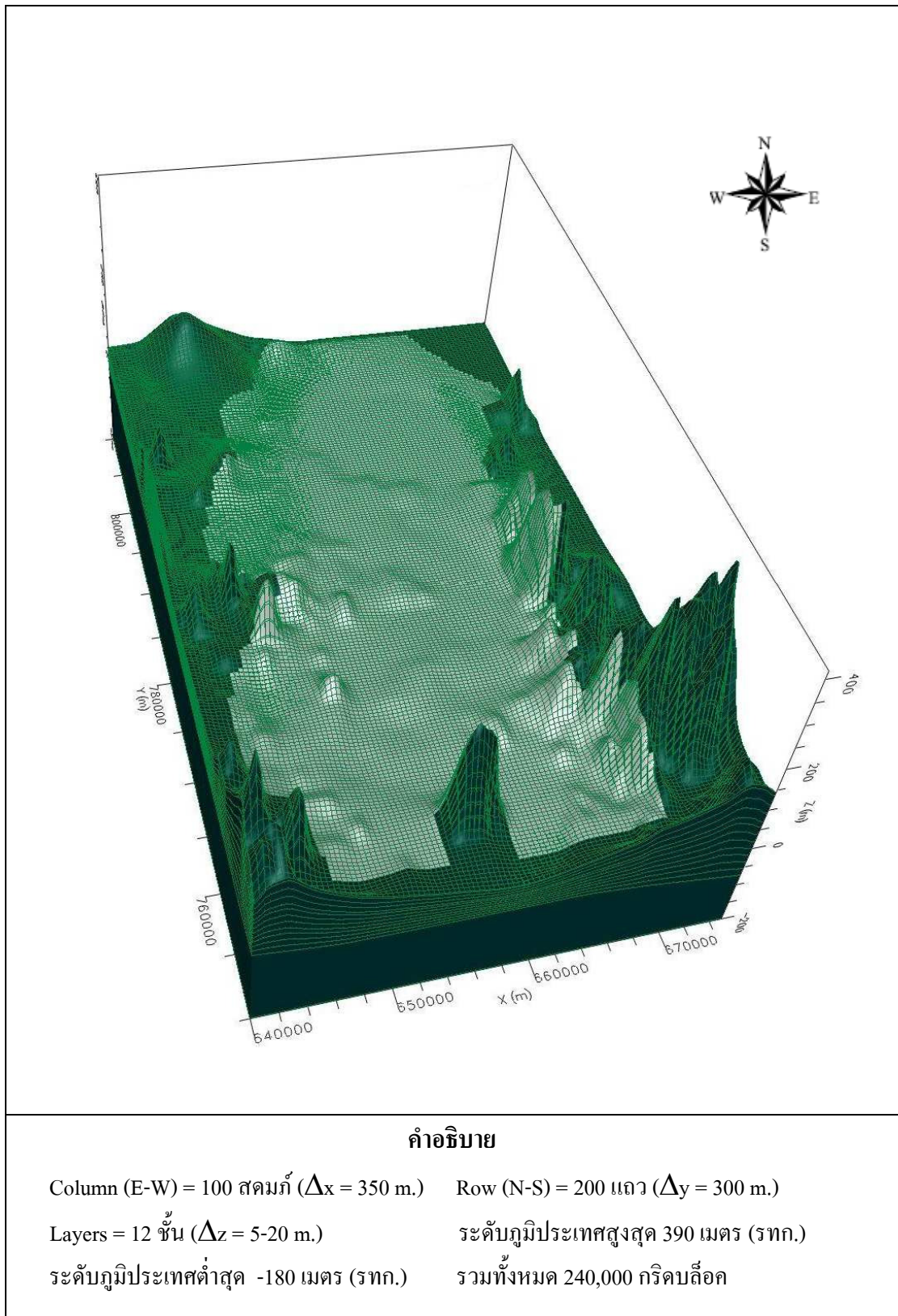
ขนาดของแบบจำลองในการศึกษานี้กำหนดให้แอ่งหาคใหญ่มีพื้นที่ 1,281 ตารางกิโลเมตร (รวมทะเลสาบสงขลา) มีความกว้าง 35 กิโลเมตร ตามแนวตะวันออก-ตะวันตกจากพิกัด UTM 640000-675000E มีความยาว 60 กิโลเมตร ตามแนวเหนือ-ใต้จากพิกัด UTM 750000-810000N และมีความสูงของระดับภูมิประเทศตั้งแต่ -180 เมตร จนถึง 390 เมตร (รทก.) สำหรับขนาดของกริดยังคงใช้ขนาดกริดเท่ากับแบบจำลองเดิม (อรุณ, 2552) แต่เพิ่มพื้นที่จนถึงภูเขาและสันปันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 นั่นคือแบ่งพื้นที่แบบจำลองเป็นกริดขนาดเล็ก โดยแบ่งแนวตะวันออก-ตะวันตกเป็น 100 สดมภ์ แนวเหนือ-ใต้เป็น 200 แถว นั่นคือ กริดมีขนาด กว้าง 350 เมตร ยาว 300 เมตร และแบ่งความสูงของพื้นที่เป็น 12 ชั้น โดยมีความสูงของกริด 5-10 เมตร รวมทั้งหมด 240,000 กริดดังรายละเอียดในตารางที่ 4.13

4.3.3 การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง (Boundary Conditions)

การกำหนดขอบเขตแบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตระดับน้ำคงที่สำหรับขอบเขตที่ติดทะเลอ่าวไทยและทะเลสาบสงขลา กำหนดขอบเขตแม่น้ำสำหรับคลองอุตะเกาซึ่งไหลผ่านบริเวณกลางแอ่งหาคใหญ่และคลองรัตภูมิทางทิศเหนือของแอ่ง กำหนดขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำสำหรับพื้นที่รับน้ำของแอ่ง กำหนดขอบเขตไม่มีน้ำไหลผ่านบริเวณขอบแอ่งซึ่งเป็นภูเขาและสันปันน้ำ และกำหนดขอบเขตความเข้มข้นของคลอไรด์คงที่บริเวณพื้นที่ทะเลสาบสงขลาและทะเลอ่าวไทย โดยรายละเอียดของการกำหนดขอบเขตดังแสดงในตารางที่ 4.14

4.3.4 สภาพขอบเขตและช่วงเวลาการคำนวณ (Time Step and Stress Period)

ช่วงเวลาของการจำลองเป็นตัวกำหนดระยะเวลาของการจำลองและพารามิเตอร์ที่จะนำเข้ามาแบบจำลอง ในการศึกษานี้กำหนดช่วงเวลาการคำนวณเป็นรายเดือนจำนวน 120 เดือน นั่นคือมีระยะเวลาในการจำลอง 10 ปี เพื่อจำกัดค่า Error เนื่องจากค่าระดับน้ำเริ่มต้น (Initial head) ส่วนชั้นเวลาการคำนวณซึ่งเป็นเวลาย่อยของช่วงเวลา กำหนดให้ 1 ช่วงเวลาของการคำนวณมี 5 ชั้นเวลาการคำนวณ คิดเป็น 600 ช่วงเวลา (Time step) จำนวนวันจำลองเท่ากับ 3,650 วัน (พ.ศ. 2545-2551) จะได้ว่าใช้เวลา 1 ชั้น (Stress period) ประมาณ 6 วัน



รูปที่ 4.2 การออกแบบขนาดกริดของแบบจำลอง

ตารางที่ 4.13 การกำหนดรายละเอียดของแบบจำลอง

รายการกำหนด	ค่ากำหนดในแบบจำลอง
1) ขนาดแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา	
ความกว้างพิกัด UTM ตะวันออก	640,000 - 675,000 m.
ความสูงพิกัด UTM เหนือ	750,000 - 810,000 m.
ระดับภูมิประเทศ (รทก.)	-200 ถึง + 390 m.
2) ขนาดความละเอียดของแบบจำลอง	
ขนาด grid cell ตามความกว้าง (E-W)	350 m.
ขนาด grid cell ตามความยาว (N-S)	300 m.
จำนวนสดมภ์ (Column)	100 ช่อง
จำนวนแถว (Row)	200 ช่อง
จำนวนชั้น (Layer)	12 ชั้น
จำนวนกริดในแต่ละชั้น	20,000 กริด
3) การจัดแบ่งชั้นในแบบจำลอง	
ชั้นดินเหนียว (Aquitard)	ชั้นที่ 1, 5, 9
ชั้นน้ำบาดาลใหญ่ (Hat Yai aquifer)	ชั้นที่ 2, 3, 4
ชั้นน้ำคูเต่า (Ku tao aquifer)	ชั้นที่ 6, 7, 8
ชั้นน้ำคองหงส์ (Kor Hong aquifer)	ชั้นที่ 10, 11, 12
4) หน่วยที่ใช้ในแบบจำลอง (ระบบเมตริก)	
ระยะทาง – Length	เมตร – meters
เวลา - Time	วัน – day
ความนำชลศาสตร์ – Conductivity	เมตร / วินาที – m/sec
อัตราการสูบน้ำ – Pumping rate	ลบ.ม./วัน – m ³ /day
การเพิ่มเติมน้ำ – Recharge	มม./ปี – mm./year
มวล – Mass	กก. – kg
ความเข้มข้น - Concentration	มิลลิกรัม/ลิตร – mg/liter
5) ค่ากำหนดวันในแบบจำลอง	
วันที่เริ่มต้นของแบบจำลอง	1 มกราคม 2545
วันที่เทียบเคียงในแบบจำลองเริ่มต้น (1 มกราคม 2545)	0
วันที่เทียบเคียงในแบบจำลองสิ้นสุด (31 ธันวาคม 2554)	3,650
6) จำนวนบ่อบาดาล	
บ่อบาดาล	571 บ่อ
บ่อสังเกตการณ์	47 บ่อ

ตารางที่ 4.14 รายละเอียดการกำหนดขอบเขตแบบจำลอง (Boundary Condition)

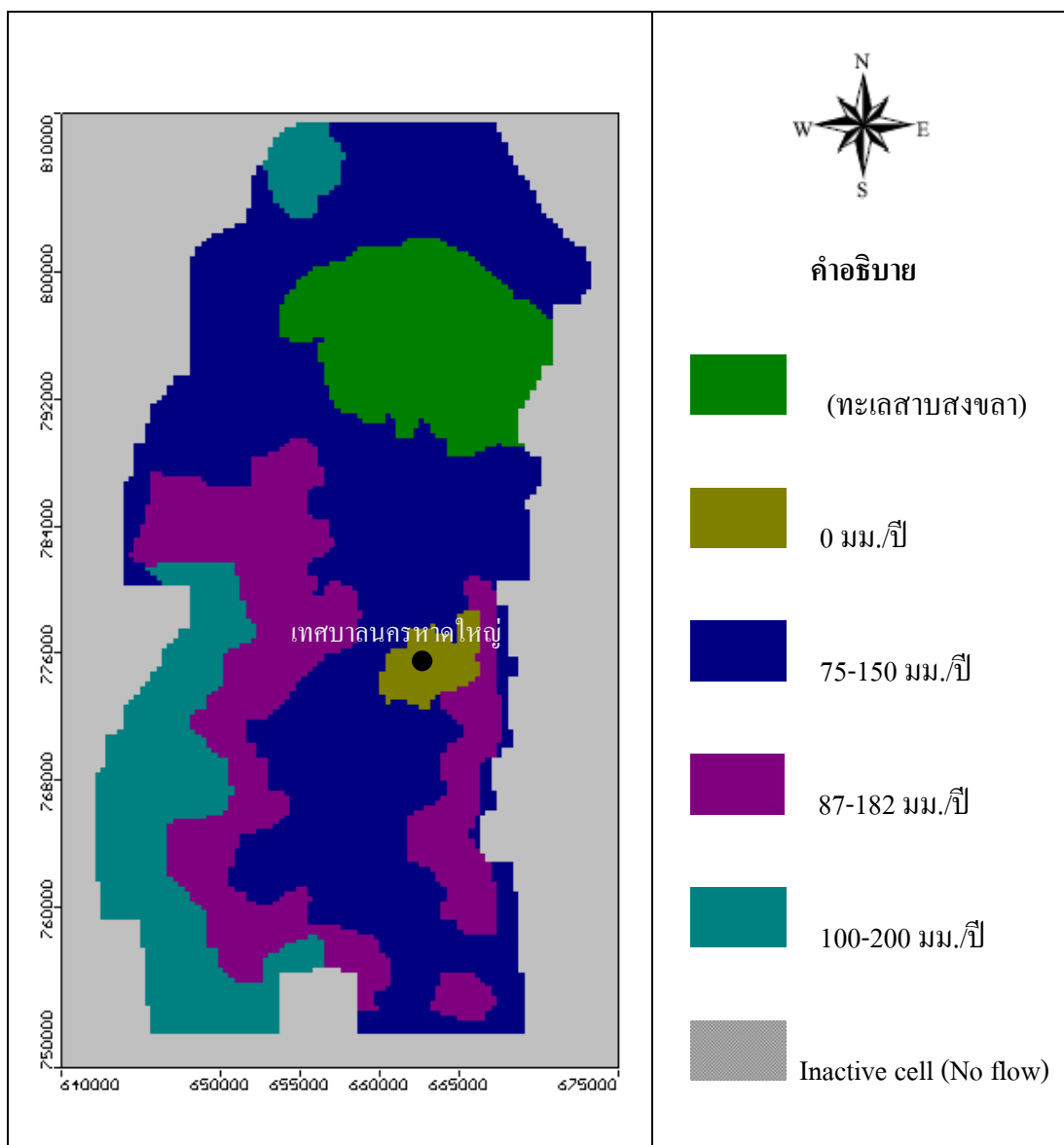
ขอบเขตแบบจำลอง	รายละเอียด
1) ขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant head boundary)	กำหนดให้ระดับน้ำคงที่ตลอดเวลา (0 ม. รทก.)
2) ขอบเขตแม่น้ำ (River boundary) -ระดับน้ำและระดับท้องน้ำ -ความหนาตะกอนท้องน้ำ -ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ของตะกอนท้องน้ำ, Kz -ความกว้างลำน้ำ -ความยาวลำน้ำ -ค่าความนำของน้ำผ่าน ตะกอนท้องน้ำ	ใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่าลุ่มน้ำคลองอุตะเถาและลุ่มน้ำคลองรัตนภูมิ กรมชลประทาน 6 สถานี ได้แก่ X67, X194, X181, X44, X90 และ X173a (ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ) ใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน (ช่วงข้อมูล 2547-2550) ของแต่ละสถานี ใช้ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.50 ม. เนื่องจากตะกอนท้องน้ำของคลองอุตะเถาและคลองรัตนภูมิมีลักษณะเป็นตะกอนดินเหนียวปนทราย จึงกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านเท่ากับ $1e-06$ m/s ใช้ค่าเฉลี่ยประมาณ 50 ม. กำหนดอัตราโนมิตีด้วย โปรแกรม Visual MODFLOW Version 4.1 คำนวณอัตราโนมิตีด้วย โปรแกรม Visual MODFLOW Version 4.1
3) ขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำ (Recharge boundary)	คิดประเมินเป็น 1- 12% ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (จากการรวบรวมข้อมูลในข้อ 4.1.1) ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดชั้นหินอุ้มน้ำและความลาดชันของพื้นที่ โดยกำหนดเฉพาะชั้นที่ 1 ของแบบจำลอง
4) ขอบเขตไม่มีน้ำไหลผ่าน (No flow boundary)	กำหนดให้พื้นที่รับน้ำทางด้านทิศตะวันตก ทิศตะวันออกและทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาเป็นขอบเขตไม่มีน้ำไหลผ่าน
5) ขอบเขตความเข้มข้นคงที่ (Constant concentration)	กำหนดให้ค่าความเข้มข้นคงที่ตลอดเวลาเท่ากับ 16,000 mg/L ที่ทะเลสาบสงขลาและ เท่ากับ 18,000 mg/L ที่ทะเลอ่าวไทย ตามลำดับ

4.3.5 อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (Recharge)

อรุณ (2552) ทำการหาอัตราการเพิ่มเติมน้ำโดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มเติมน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหย ปริมาณน้ำท่า ลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความสูงต่ำของภูมิประเทศ เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน และทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ในการจำลองจะได้พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ 4 โซน (รูปที่ 4.3) โดยได้แจกแจงอัตราการเพิ่มเติมน้ำให้อยู่ในช่วงที่ฝนตกชุก คือ เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม โดยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและอัตราการคายระเหยในช่วงเวลานั้น ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำที่แจกแจงสำหรับน้ำเข้าแบบจำลองแสดงในตาราง 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำสำหรับการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

เดือน	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ (มิลลิเมตร/ปี)		
	พื้นที่ที่มีค่าการซึมผ่านต่ำ	พื้นที่ที่มีค่าการซึมผ่านปานกลาง	พื้นที่ที่มีค่าการซึมผ่านเร็ว
มกราคม	0	0	0
กุมภาพันธ์	0	0	0
มีนาคม	0	0	0
เมษายน	0	0	0
พฤษภาคม	0	0	0
มิถุนายน	0	0	0
กรกฎาคม	0	0	0
สิงหาคม	0	0	0
กันยายน	0	0	0
ตุลาคม	75	87	100
พฤศจิกายน	150	182	200
ธันวาคม	110	135	150



รูปที่ 4.3 อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งหาดใหญ่

4.3.6 คุณสมบัติทางชลศาสตร์

จากผลการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ การศึกษาในครั้งนี้นำข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำที่ได้มาปรับเทียบค่าตัวแปรในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state flow) โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งต่อแนวราบเท่ากับ 1:10 ผลจากการปรับเทียบค่าตัวแปรอันประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient) และ

ความพรุน (Porosity) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบได้แสดงในหัวข้อ 4.4

ตารางที่ 4.16 ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำที่ได้จากการเปรียบเทียบแล้ว

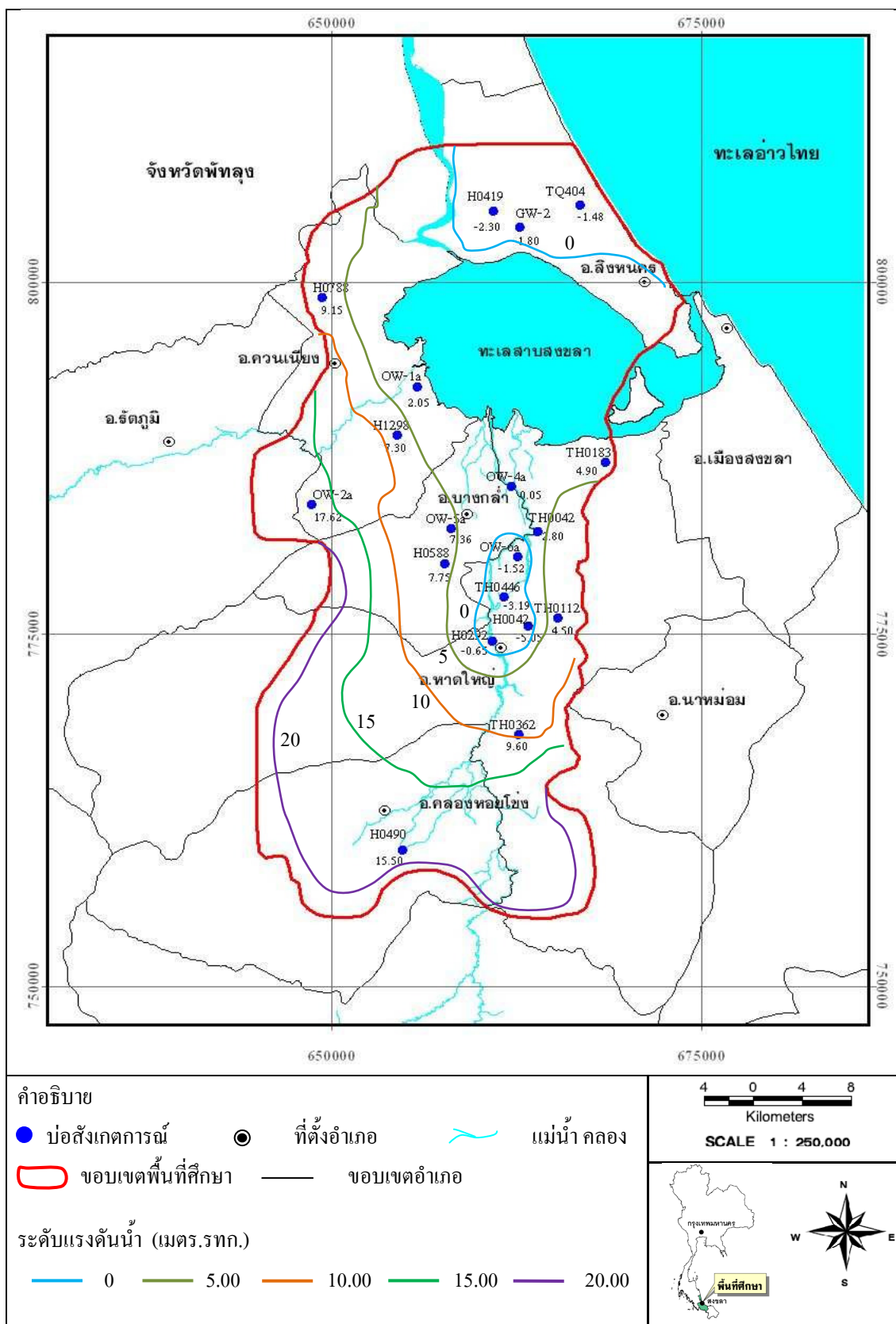
ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifers)	Hydraulic conductivity (m/s)			Storage		Porosity	
	Kx	Ky	Kz	Ss (L ⁻¹)	Sy	Eff.Por.	Tot.Por.
ชั้นน้ำบาดาลใหญ่ (โซนที่ 1)	6.80E-5	6.80E-5	6.80E-6	0.00085	0.32	0.25	0.30
ชั้นน้ำบาดาลใหญ่ (โซนที่ 2)	3.70E-5	3.70E-5	3.70E-6	0.00045	0.25	0.25	0.30
ชั้นน้ำกุ่มเต่า	4.75E-5	4.75E-5	4.75E-6	0.0002	0.20	0.24	0.32
ชั้นน้ำคองส์	2.32E-5	2.32E-5	2.32E-6	0.0001	0.20	0.25	0.30
ดินเหนียว	2.00E-7	2.00E-7	2.00E-8	0.02	0.03	0.03	0.42

หมายเหตุ

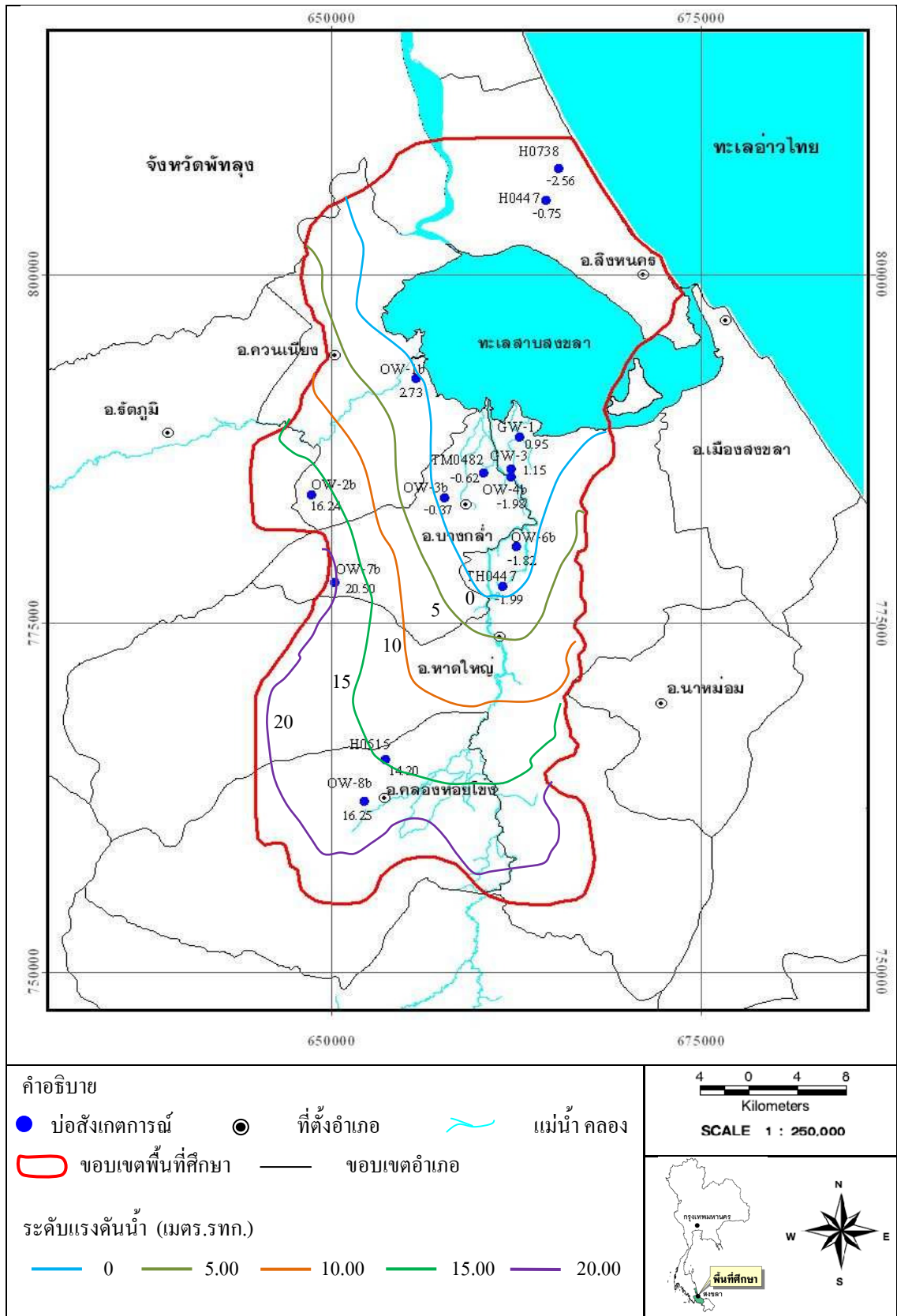
Kx , Ky และ Kz	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ในแนวแกน x, y และ z (แนวดิ่ง)
Ss	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ
Sy	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน
Eff. Por	=	ความพรุนประสิทธิภาพ (Effective Porosity)
Tot. Por	=	ความพรุนทั้งหมด (Total Porosity)

4.3.7 ระดับแรงดันน้ำเริ่มต้น

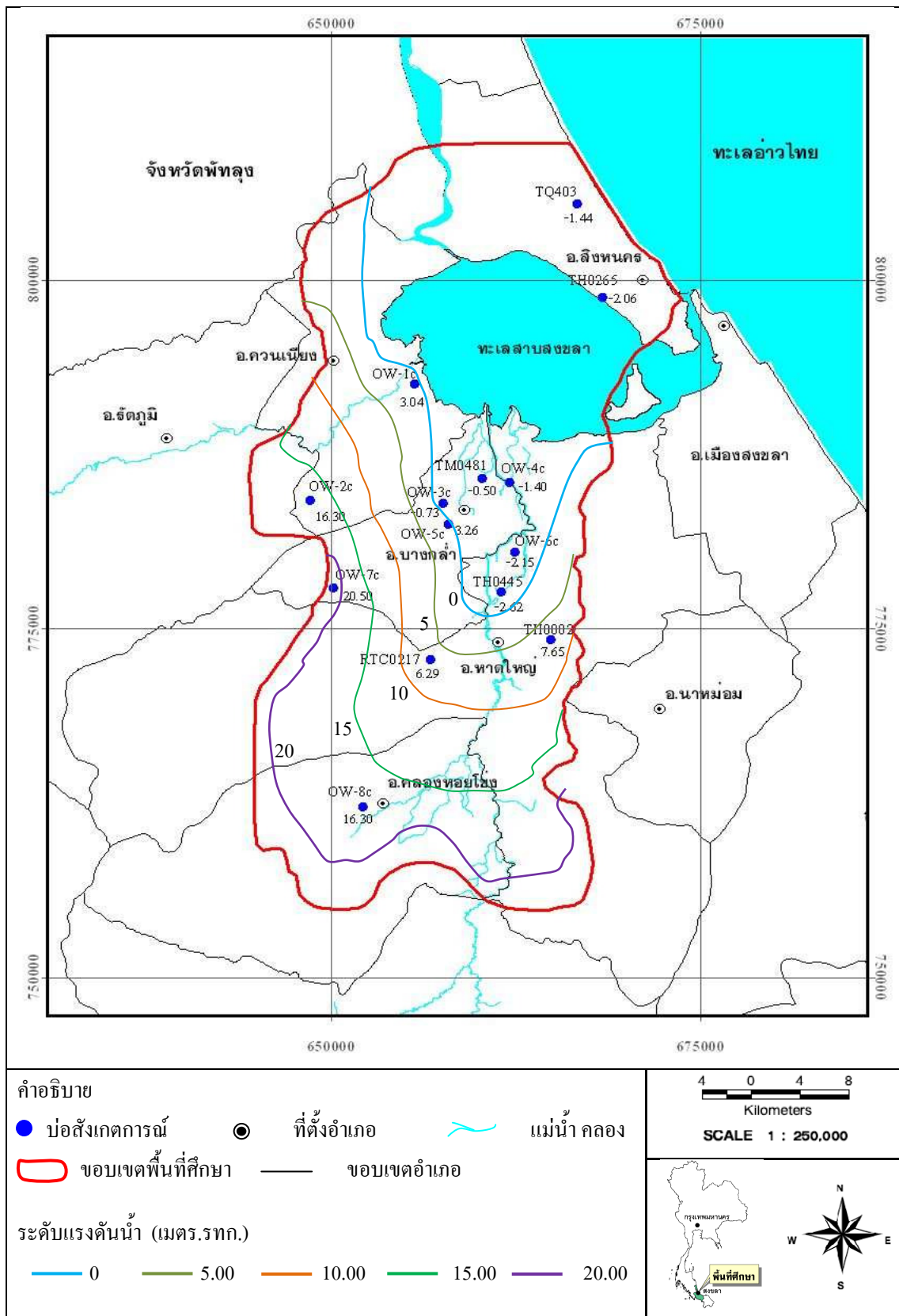
ระดับแรงดันน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองใช้ค่าระดับแรงดันน้ำเฉลี่ยของอรุณ (2552) ซึ่งได้จากการวัดในสนามและข้อมูลระดับน้ำ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4.4- 4.6 (ข้อมูลระดับแรงดันน้ำที่วัดได้ในสนามแสดงไว้ในภาคผนวก ข) จากรูปแสดงให้เห็นว่าบริเวณขอบแอ่งทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศใต้ มีระดับแรงดันน้ำสูง และจะลดลงบริเวณกลางแอ่ง



รูปที่ 4.4 ระดับแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลใหญ่ที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ 2552)



รูปที่ 4.5 ระดับแรงดันน้ำในชั้นน้ำตื้นที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ 2552)



รูปที่ 4.6 ระดับแรงดันน้ำในชั้นน้ำกอหงส์ที่วัดได้ในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ 2552)

4.3.8 การใช้น้ำบาดาลสำหรับแบบจำลอง

การประเมินปริมาณการใช้น้ำของแอ่งหาคใหญ่ในปี พ.ศ. 2554 ในหัวข้อ 4.1.2 ของการศึกษาในครั้งนี้พบว่า พื้นที่ศึกษามีปริมาณการใช้น้ำรวมประมาณ 28 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีปริมาณการใช้น้ำของแต่ละตำบลดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่ในปี พ.ศ. 2554

อำเภอ	ตำบล	รวม
คลองหอยโข่ง	คลองหอยโข่ง	721,472
	โคกม่วง	446,326
	ทุ่งลาน	496,186
ควนเนียง	ควนไส	463,103
	บางเหรียง	1,192,422
	รัตภูมิ	996,770
บางกล่ำ	ท่าช้าง	2,247,104
	บางกล่ำ	412,824
	บ้านหาร	255,421
หาดใหญ่	แม่ทอม	245,930
	คลองแห	932,908
	คลองอู่ตะเภา	253,099
สิงหนคร	ควนลิ่ง	4,847,924
	คูเต่า	1,247,251
	บ้านพรุ	3,725,226
รวม	คอหงส์	2,546,476
	หาดใหญ่	4,518,519
รวม		28,538,434

4.3.9 ความเข้มข้นคลอไรด์เริ่มต้น

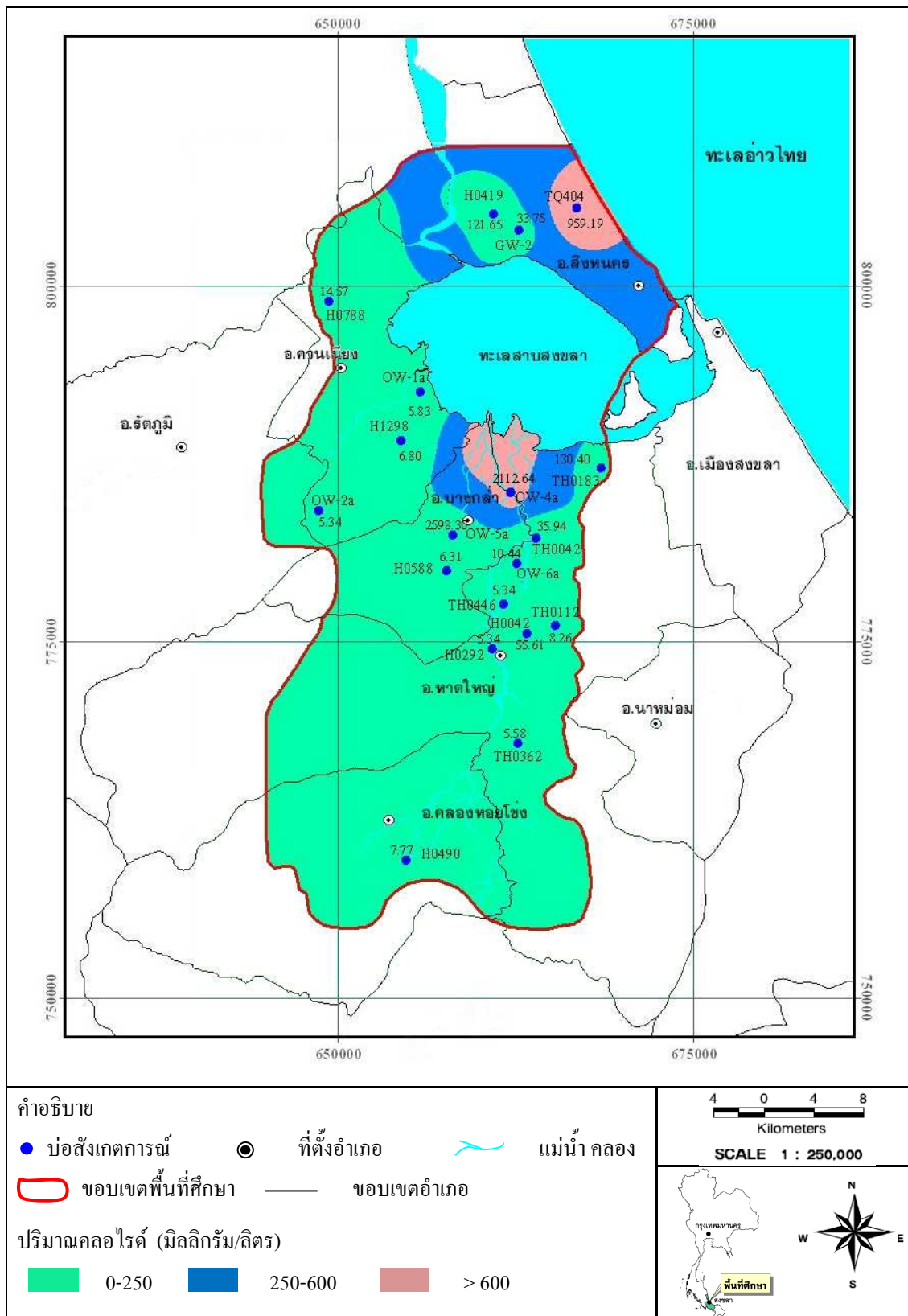
ความเข้มข้นของคลอไรด์เริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองใช้ค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยจากอรุณ (2552) ที่ได้จากการวัดในภาคสนามดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.9 (ข้อมูลปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้ในสนามแสดงไว้ในภาคผนวก ข) โดยปริมาณคลอไรด์อยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นพื้นที่ที่ใกล้ทะเลสาบสงขลาและทะเลอ่าวไทยซึ่งมีปริมาณสูงกว่ามาตรฐานที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.10 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ (Dispersivity, α)

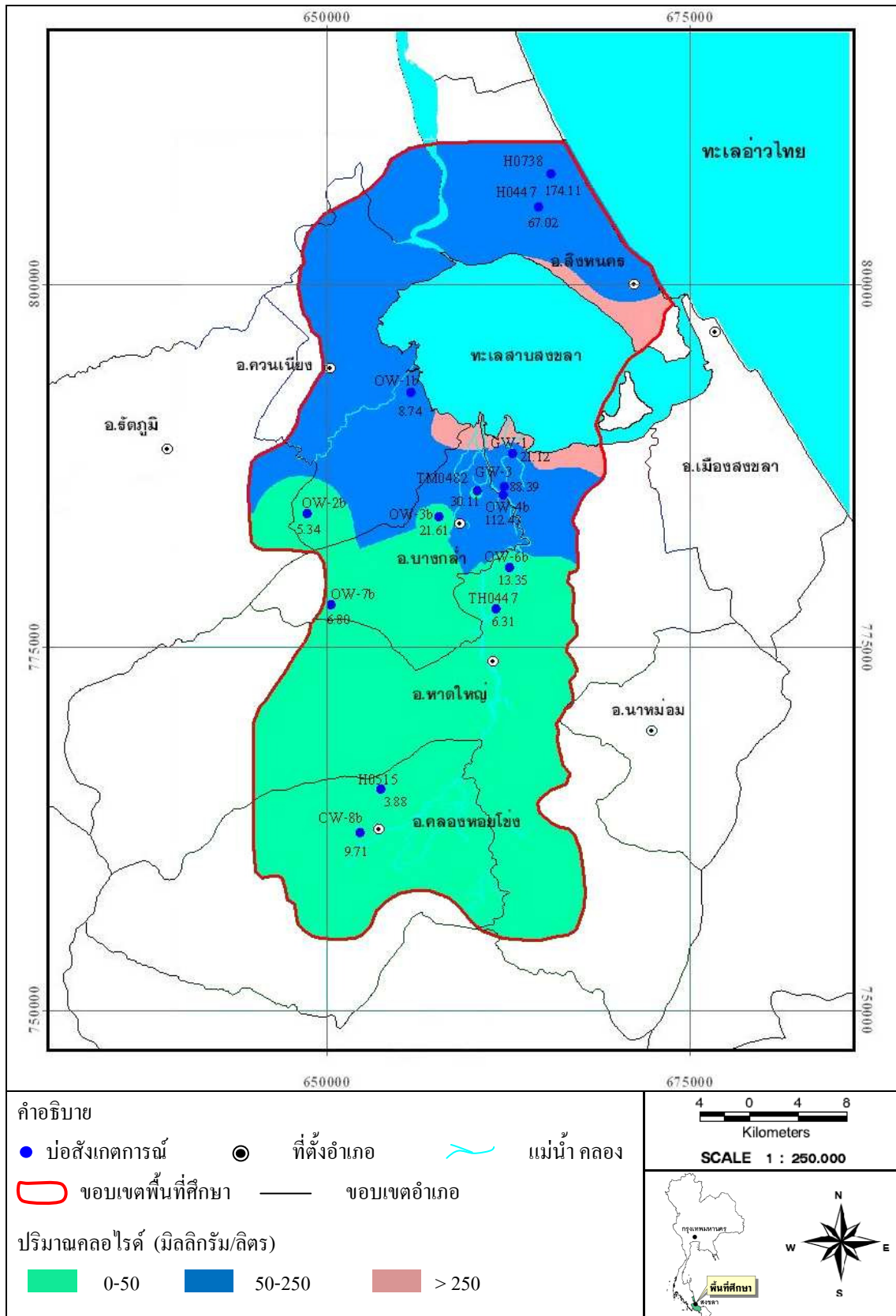
ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวตั้งและแนวราบ โดยค่าการแพร่กระจายในแนวตั้งมีค่าประมาณ 10% ของการแพร่กระจายในแนวราบ และจากการปรับเทียบค่าตัวแปรในการศึกษานี้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำจากการปรับเทียบ

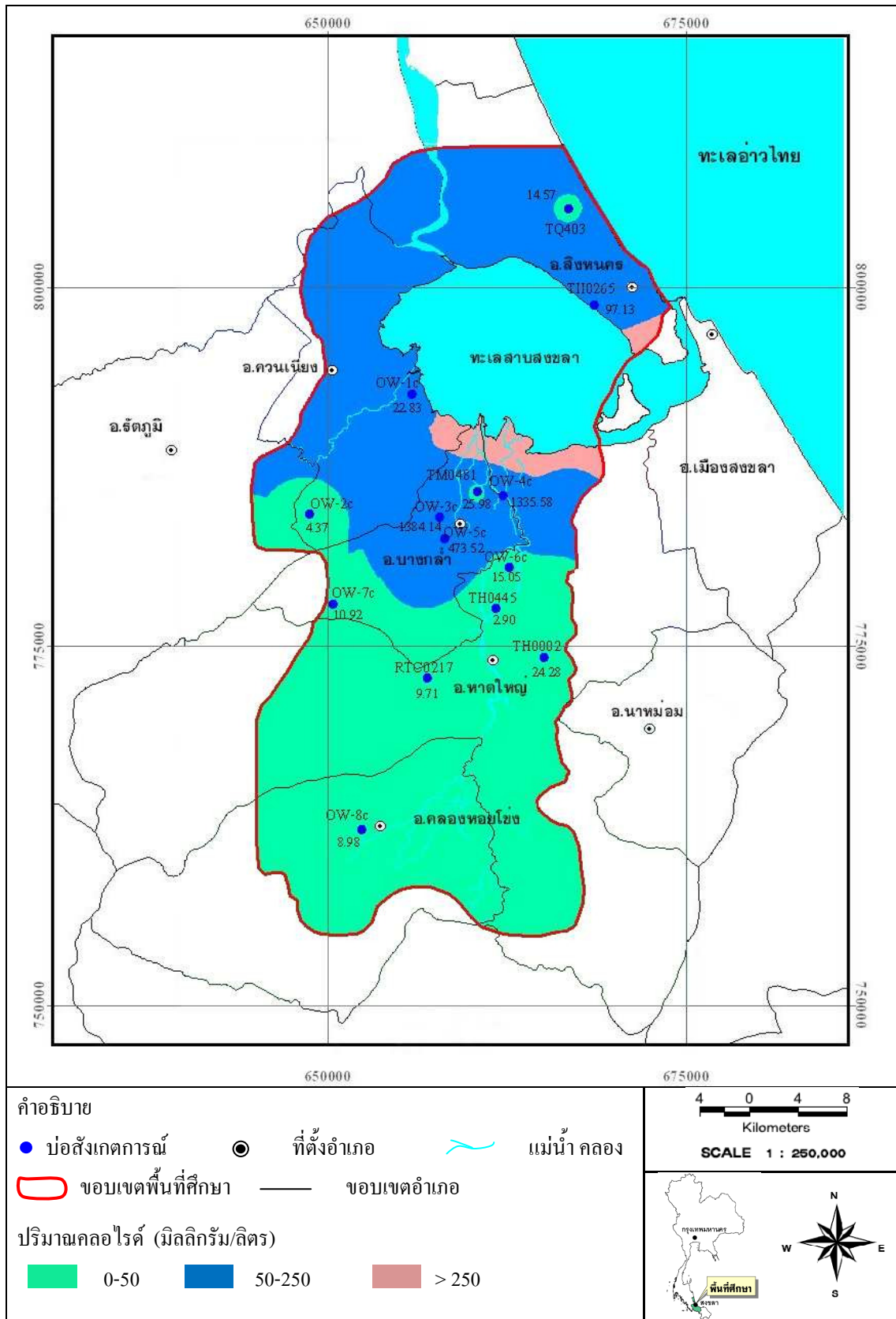
ชั้นหินอุ้มน้ำ	Longitudinal Dispersivity, α_L (m)
ดินเหนียว	1
ชั้นน้ำบาดใหญ่	15
ชั้นน้ำคูเต่า	12
ชั้นน้ำคองส์	10



รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ, 2552)



รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำภูเต่าในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ, 2552)



รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอไรด์ของชั้นน้ำคองกรีเมนต์ในเดือนพฤษภาคม 2551 (อรุณ, 2552)

4.4 การเปรียบเทียบและตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบและตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองสอดคล้องจากผลการตรวจวัดในสนาม โดยผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การจำลองการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา และการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็ม ซึ่งมีรายละเอียดของผลการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

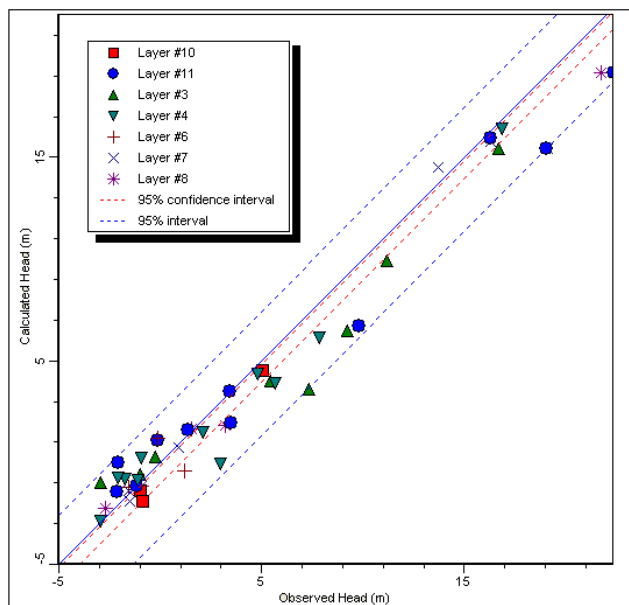
4.4.1 การไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ตัวแปรที่ทำการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่ยอมรับได้ในการจำลองการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาประกอบด้วย อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (ค่าที่เปรียบเทียบแล้วแสดงในตารางที่ 4.15) และค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ (ค่าที่เปรียบเทียบแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 4.16) โดยเกณฑ์ความแตกต่างของระดับน้ำใช้ค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ที่ร้อยละ 10 ถือว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา พิจารณาในช่วงที่มีการตรวจวัดระดับน้ำ (สิงหาคม 2550-พฤษภาคม 2551) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.19 จากผลการเปรียบเทียบพบว่าในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551) แบบจำลองมีค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อนร้อยละ 6.381 นั่นคือแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

Calibrated value	
Standard error of the estimate, m	0.220
Root mean squared, m	1.616
Normalized RMS, %	6.381



รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551)

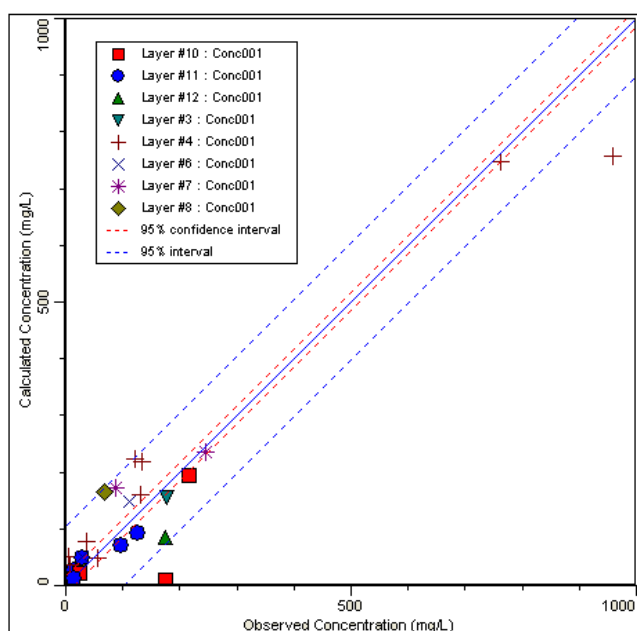
4.4.2 การแพร่กระจายของน้ำเค็ม

ตัวแปรที่ทำการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่ยอมรับได้ในการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็ม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ (Dispersivity) โดยตั้งเกณฑ์ความแตกต่างของปริมาณคลอไรด์ด้วยค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ที่ร้อยละ 10 ถือว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสถานะความหนาแน่นของน้ำคงที่ พิจารณาในช่วงที่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ (สิงหาคม 2550-พฤษภาคม 2551) แสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.20 จากผลการเปรียบเทียบพบว่าในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551) แบบจำลองมีค่าค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.340 นั่นคือแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็ม

Calibrated value	
Standard error of the estimate, mg/L	7.526
Root mean squared, mg/L	51.064
Normalized RMS, %	5.340



รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็มในปีที่ 7 (พฤษภาคม 2551)

4.5 ผลการจำลองจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็ม

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มของแอ่งหาดใหญ่ ด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในระบบ 3 มิติ ทำการจำลองในสภาวะการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในช่วงเวลาการจำลอง 10 ปี โดยเปรียบเทียบตัวแปรในแบบจำลองได้แก่ ค่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำ ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ระดับแรงดันน้ำจากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 47 บ่อ ในการอ้างอิงค่า โดยแบบจำลองมีขนาด 1,281 ตารางกิโลเมตร มีความกว้าง 35 กิโลเมตร ในแนวตะวันออก-

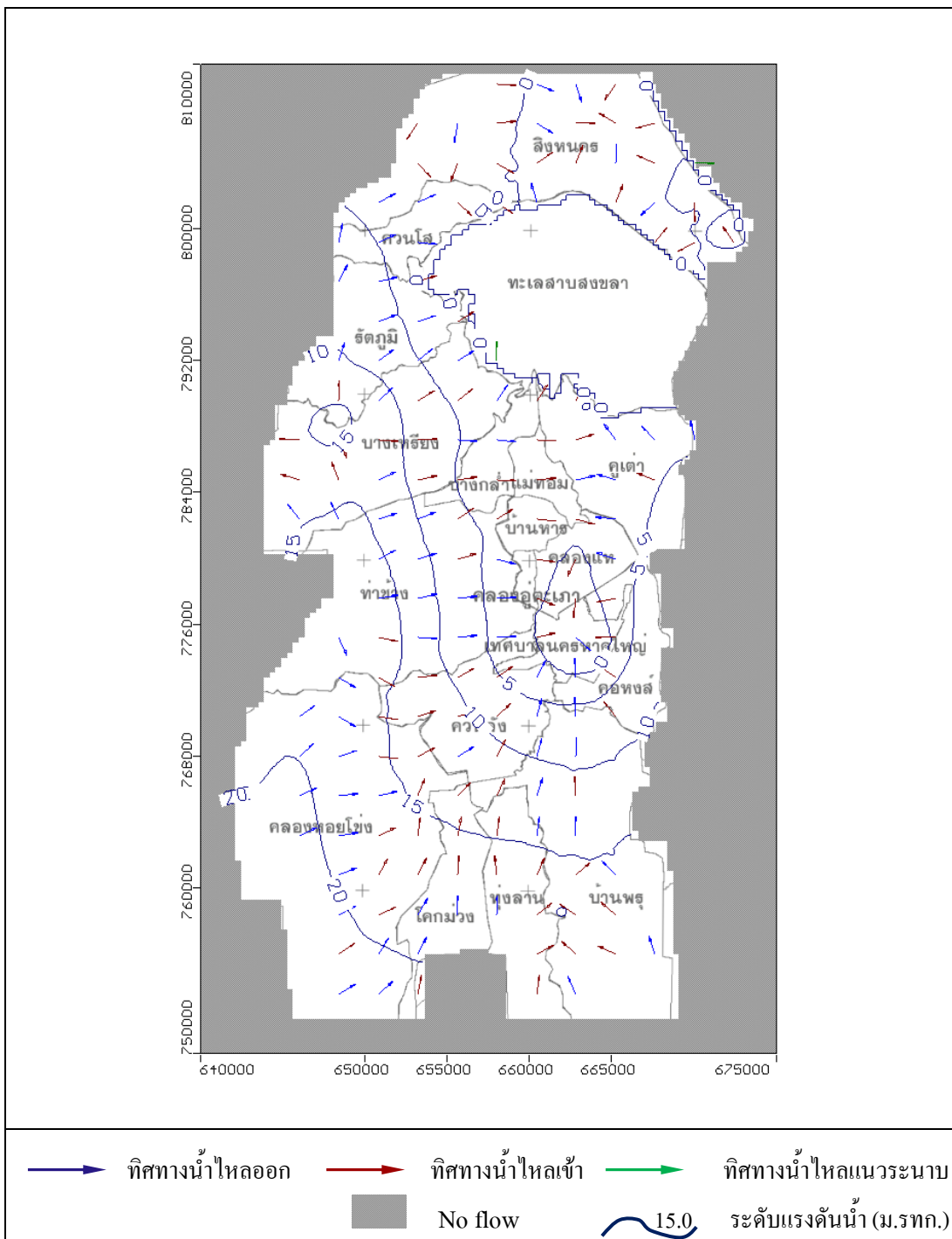
ตะวันตก มีความยาว 60 กิโลเมตร ในแนวเหนือ-ใต้ แบบจำลองประกอบด้วยชั้นน้ำ 3 ชั้นคือ ชั้นน้ำ หาดใหญ่ ชั้นน้ำคูเต่า และชั้นน้ำคองหงส์ มีพื้นที่เติมน้ำอยู่บริเวณขอบแอ่งซึ่งเป็นแนวเทือกเขา ด้าน ทิศตะวันตก ทิศตะวันออกและทิศใต้

ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในระบบ 3 มิติ ของแอ่งหาดใหญ่ประกอบด้วย ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล สมดุลของน้ำบาดาล และการแพร่กระจายของน้ำเค็ม โดยมีรายละเอียดของผลการจำลองดังนี้

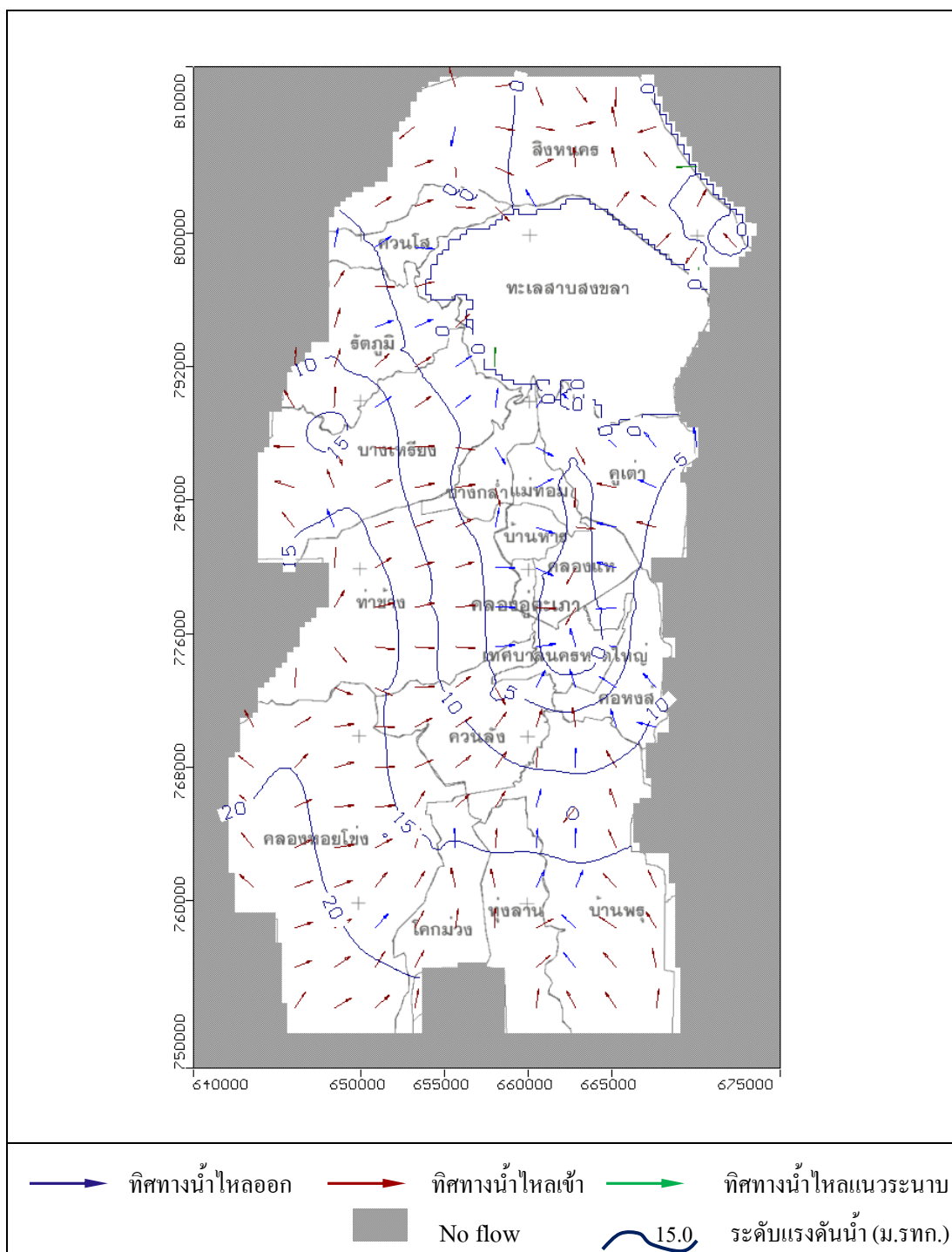
4.5.1 ทิศทางการไหล

ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่จากการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาดัง แสดงในรูปที่ 4.12-4.15 ซึ่งแสดงระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำ หาดใหญ่ คูเต่า และคองหงส์ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) พบว่า น้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่มีทิศทางการไหลจากพื้นที่เติมน้ำบริเวณขอบแอ่ง ที่มีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำที่สูงกว่า +20.00 เมตร (รทก.) ทางด้านทิศตะวันตก (เทือกเขาบรรทัด) และทิศตะวันออก (เทือกเขาคองหงส์) มายังพื้นที่ให้น้ำบริเวณกลางแอ่งที่มีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำประมาณ +5.00 เมตร (รทก.) และบางส่วน ไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา ส่วนน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่เติมน้ำทางด้านทิศใต้ จะไหลไปยังพื้นที่ให้น้ำบริเวณกลางแอ่ง ซึ่งจากทิศทางการไหลพบว่าแบบจำลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองเชิง มโนทัศน์

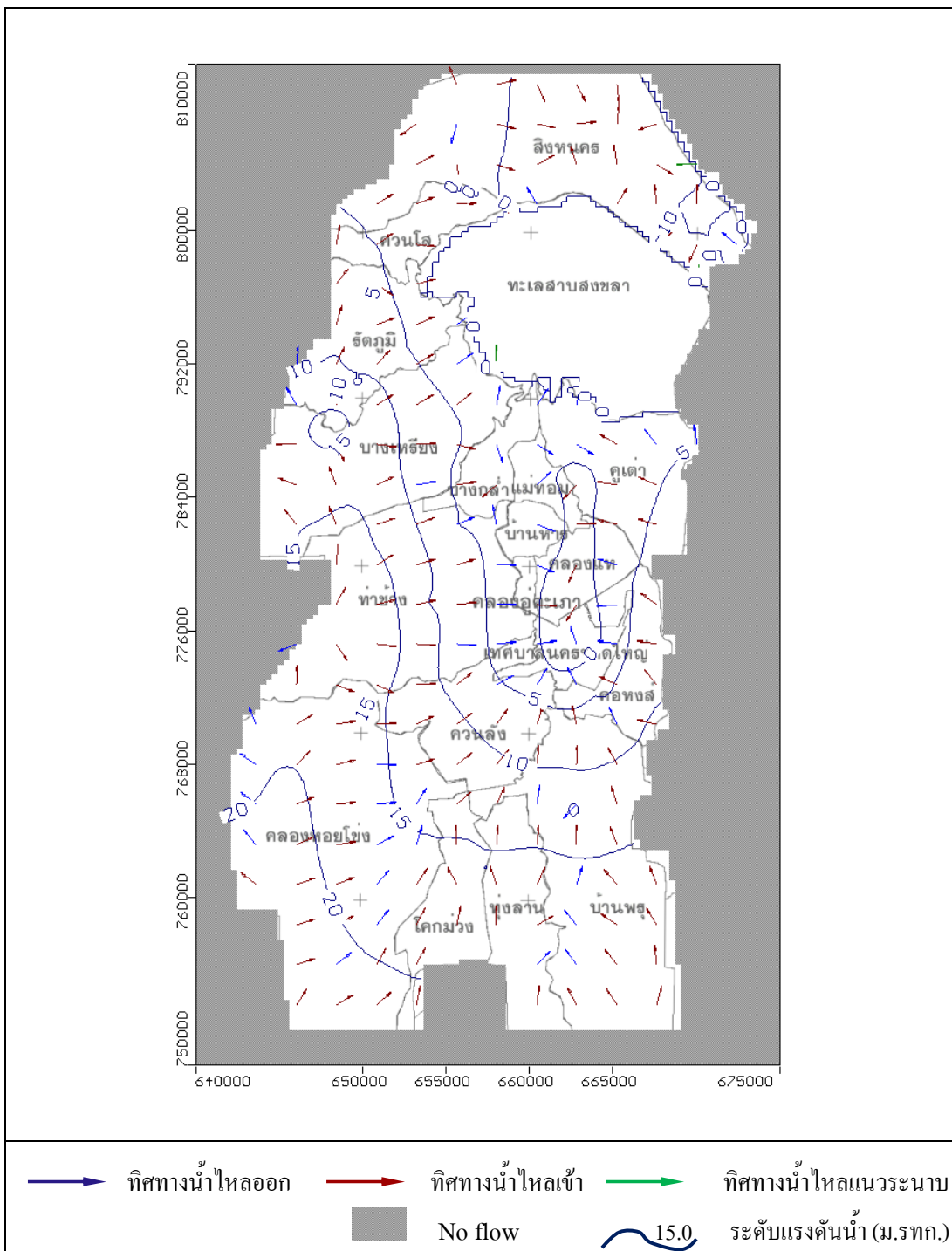
นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดกรวยน้ำลด (Cone of Depression) ในบริเวณพื้นที่เทศบาลนคร หาดใหญ่ และมีบางส่วนระดับน้ำต่ำกว่า +0.00 เมตร (รทก.) โดยพิจารณาจากภาพตัดขวางดังแสดง ในรูปที่ 4.16 พบว่าน้ำบาดาลมีทิศทางการไหลไปยังกรวยน้ำลด (Cone of Depression) ในบริเวณ เทศบาลนครหาดใหญ่ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสูบน้ำขึ้นไปใช้มาก อย่างไรก็ตามจาก ภาพตัดขวางจะเห็นว่าพื้นที่กันชน (Buffer Zone) ในบริเวณตำบลคูเต่า แม่ทอม และบ้านหาร ซึ่ง ระดับน้ำยังสูงกว่า +0.00 เมตร (รทก.) ทำให้ไม่มีการไหลของน้ำจากทะเลสาบสงขลามายังบริเวณ เทศบาลนครหาดใหญ่



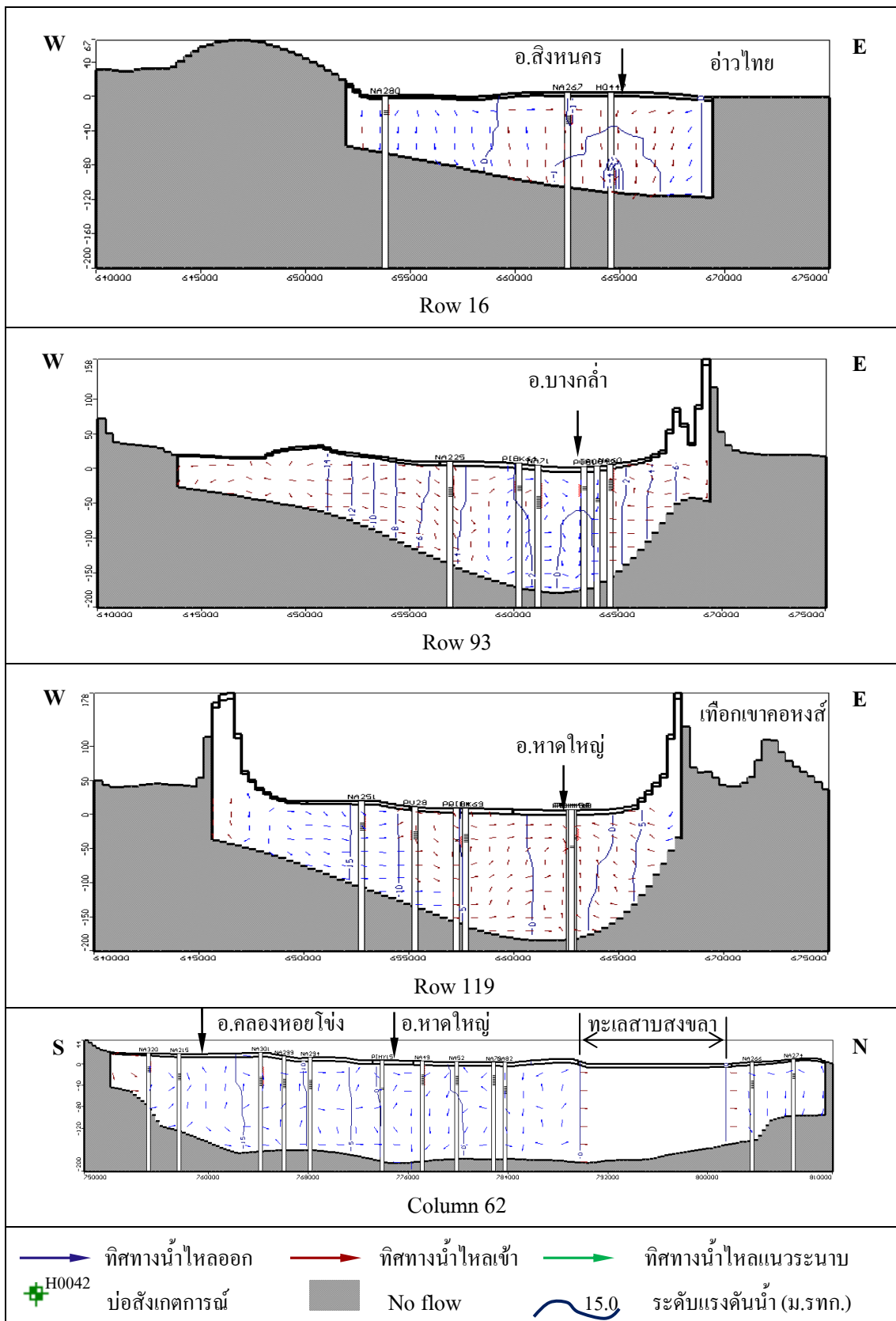
รูปที่ 4.12 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำหาคใหญ่ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)



รูปที่ 4.13 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำคูเต่า ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)



รูปที่ 4.14 ระดับแรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นน้ำคองส์ ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)



รูปที่ 4.15 ภาพตัดขวางแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ณ เวลาปัจจุบัน (พ.ศ. 2554)

4.5.2 สมดุลน้ำบาดาล

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า สมดุลน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่ในปี พ.ศ. 2554 สำหรับการจำลองในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 พบว่าแบบจำลองมีปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกเท่ากันโดยมีค่าเท่ากับ 84.56 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าแบบจำลองเรียงจากมากไปน้อยมาจาก ชั้นหินอุ้มน้ำ (Storage) การเพิ่มเติมน้ำ (Recharge) การไหลซึมจากคลองอุตะเถาและคลองรัตภูมิ (River leakage) และทะเลสาบสงขลา (Constant head) ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลอง เรียงจากมากไปน้อยได้แก่ น้ำจาก ชั้นหินอุ้มน้ำ (Storage) บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ (Well) ทะเลสาบสงขลา (Constant head) และ น้ำไหลออกสู่คลองอุตะเถาและคลองรัตภูมิ (River leakage) สำหรับน้ำส่วนใหญ่ที่ไหลเข้าแบบจำลองมาจาก หินอุ้มน้ำ (45.36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) และ การเพิ่มเติมน้ำ (34.66 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) ส่วนปริมาณน้ำไหลออกหลักได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำ (48.26 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) และ บ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำ (28.42 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี) (สำหรับสมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ) แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่าน (No flow) สำหรับขอบเขตที่อกเขาทั้งทางด้านทิศ ตะวันออก ตะวันตก และ ทิศใต้ พบว่าปริมาณฝนที่เติมลงมามีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการสูบน้ำจากบ่อบาดาลรวมกับการไหลซึมสู่แม่น้ำ และมีปริมาณน้ำไหลจากแบบจำลองเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำมากกว่าการไหลจากชั้นหินอุ้มน้ำเข้าสู่แบบจำลองเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสูบน้ำของแอ่งหาดใหญ่ยังอยู่ในสถานะสมดุลในภาพรวม

เมื่อพิจารณาผลการจำลองเปรียบเทียบกับการศึกษาในอดีตซึ่งประกอบด้วยงานของ อรุณ (2552) อมรรัตน์ (25548) และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546) ดังแสดงในแสดงในตารางที่ 4.21 การศึกษาของอรุณ (2552) ซึ่งกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่าน (General Head Boundary) สำหรับขอบเขตที่อกเขาทั้งทางด้านทิศ ตะวันออก ตะวันตก และ ทิศใต้ พบว่า แบบจำลองมีปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกเท่ากันโดยมีค่าเท่ากับ 115 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีปริมาณน้ำที่ไหลจากที่อกเขาทั้งสามด้านจำนวนมากเข้าสู่แบบจำลอง โดยส่วนใหญ่จะไปกักเก็บไว้ในชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งการที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าไปเติมในชั้นหินอุ้มน้ำในปริมาณมากน่าจะทำให้ระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาสูงขึ้น

การศึกษาของอมรรัตน์ (2548) ซึ่งกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่าน (General Head Boundary) สำหรับขอบเขตเทือกเขาทั้งทางด้านทิศ ตะวันออก ตะวันตก และ ทิศใต้ พบว่าแบบจำลองมีปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมดและไหลออกทั้งหมดเท่ากันคือ 269.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยเป็นปริมาณการไหลเดิมของน้ำเข้าสู่แบบจำลองมากถึง 120.39 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีปริมาณน้ำไหลจากแบบจำลองออกสู่น้ำมากถึง 108 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

การศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2546) ซึ่งกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่าน (No flow) สำหรับขอบเขตเทือกเขาทั้งทางด้านทิศ ตะวันออก ตะวันตก และ ทิศใต้ ผลการจำลองพบว่า แบบจำลองมีปริมาณน้ำไหล-ไหลออกประมาณ 260 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมีปริมาณน้ำจากแบบจำลองไหลออกไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำมากที่สุดคิดเป็นปริมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลออกจากแบบจำลอง เมื่อเทียบปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากชั้นหินอุ้มน้ำพบว่า มีปริมาณน้ำไหลจากแบบจำลองไปสู่อุ้มน้ำมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลจากชั้นหินอุ้มน้ำมาสู่แบบจำลองมากถึง 100 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำมากกว่าไหลออกน่าจะทำให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.21 สมดุลน้ำบาดาลเฉลี่ยรายปี (2554) ในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาเปรียบเทียบกับการศึกษาในอดีต

แหล่ง	ปริมาณน้ำไหลเข้า (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)				ปริมาณน้ำไหลออก (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)			
	งานวิจัยนี้ (2554)	อรุณ 2552	อมรรัตน์ 2548	กรม ทรัพยากร น้ำบาดาล 2546	งานวิจัยนี้ (2554)	อรุณ 2552	อมรรัตน์ 2548	กรม ทรัพยากร น้ำบาดาล 2546
Storage	45.36	23.96	136.82	98.78	48.26	66.88	131.63	201.70
Constant head	0.84	1.72	-	0.97	5.12	7.83	12.13	17.60
Well	-	-	-	-	28.42	25.03	16.55	11.43
River leakage	3.69	7.72	1.59	25.87	2.77	10.20	108.64	28.94
Recharge	34.66	28.20	120.39	134.74	-	-	-	-
General head	-	53.40	10.46	-	-	5.06	0.31	-
Total	84.56	115.0	269.25	260.37	84.56	115.0	269.25	259.66

4.5.3 การแพร่กระจายของน้ำเค็ม

ผลการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็มในรูปของความเข้มข้นของคลอไรด์(ดังแสดงในรูปที่ 4.16) พบว่าในชั้นน้ำหาคีใหญ่บริเวณพื้นที่ที่ติดกับทะเลและทะเลสาบสงขลา ได้แก่ บริเวณอำเภอสิงหนคร บริเวณตำบลบางกล้า ตำบลคูเต่า และตำบลแม่ทอม มีการกระจายตัวของคลอไรด์สูงกว่า 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่กำหนดไว้ว่า เกณฑ์ที่เหมาะสมของน้ำบาดาลคือความเข้มข้นของคลอไรด์ต้องไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เกณฑ์อนุโลมสูงสุดไม่เกิน 600 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) ส่วนพื้นที่อื่นๆ ของชั้นน้ำหาคีใหญ่พบว่ามีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์อยู่ในช่วง 0-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

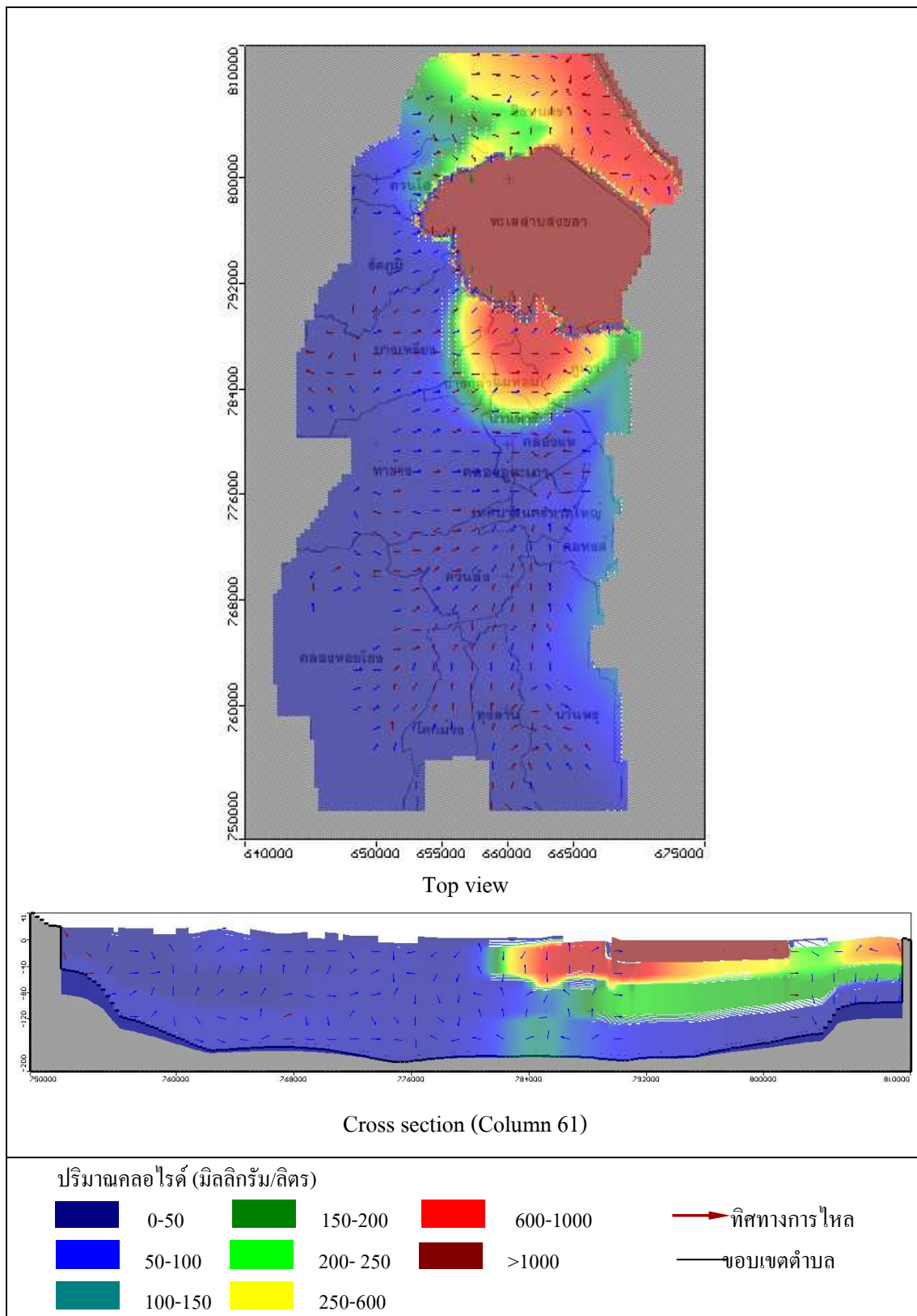
สำหรับชั้นน้ำคูเต่าพบว่าปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-200 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าบริเวณทะเลสาบสงขลามีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น โดยมีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์อยู่ในช่วง 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชั้นน้ำคอกหงส์พบว่าปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0-150 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเพื่อตรวจสอบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง ทำได้โดยการเพิ่มลดค่าตัวแปรที่พิจารณาในช่วงที่เหมาะสม แล้วพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรกับค่าความเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน รายละเอียดของผลการวิเคราะห์มีดังนี้

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับการไหลในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลามีตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ และค่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำ โดยในการเพิ่มลดค่าตัวแปรสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ จะปรับเพิ่มลดค่าครั้งละ Order of magnitude

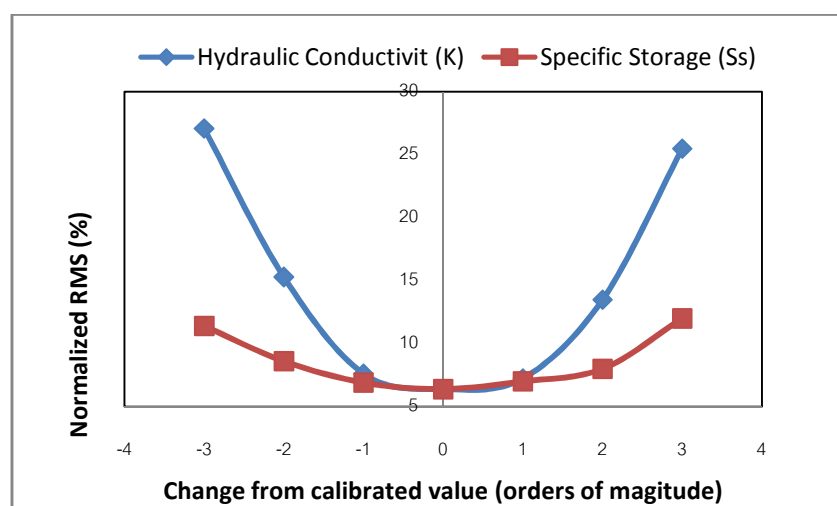


รูปที่ 4.16 ผลการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็ม

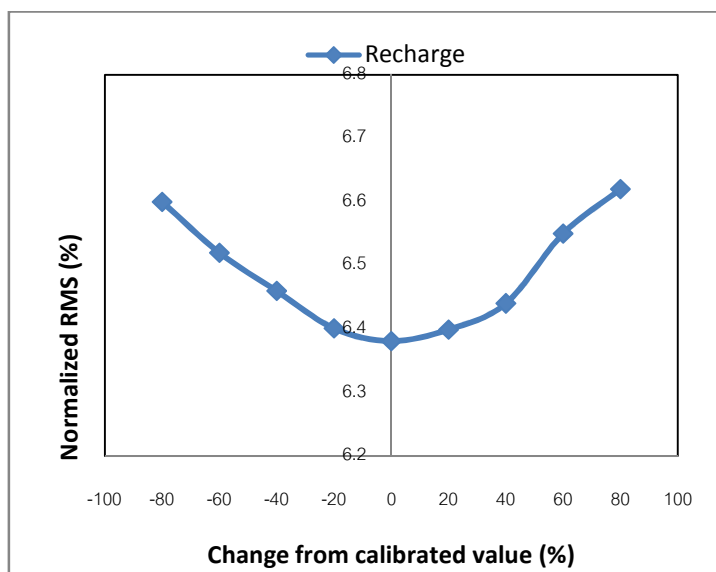
ส่วนค่าอัตราการเพิ่มเติมปรับค่าครั้งละ 20% ของค่าที่ได้จากการปรับเทียบแล้ว (ดังแสดงในตารางที่ 4.15) ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่า ตัวแปรที่มีค่าความอ่อนไหวมากที่สุดคือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มลดค่าตัวแปรแล้วพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ % Normalized RMS สูงที่สุด (ประมาณ 16.67%) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ และค่าอัตราการเพิ่มเติมปรับค่า มีการเปลี่ยนแปลงของ % Normalized RMS น้อย นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน มีผลต่อแบบจำลองมากที่สุด นอกจากนั้นยังพบว่า ค่าตัวแปรที่ปรับเทียบแล้ว (แสดงในตารางที่ 4.16) หรือค่า “0” ในแกนนอนของรูปที่ 4.17-4.18 เป็นค่าที่ทำให้ % Normalized RMS ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบแล้ว ที่ใช้ในการจำลองนั้นเป็นค่าที่ดีที่สุดแล้ว

4.6.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับการแพร่กระจายของน้ำเค็ม

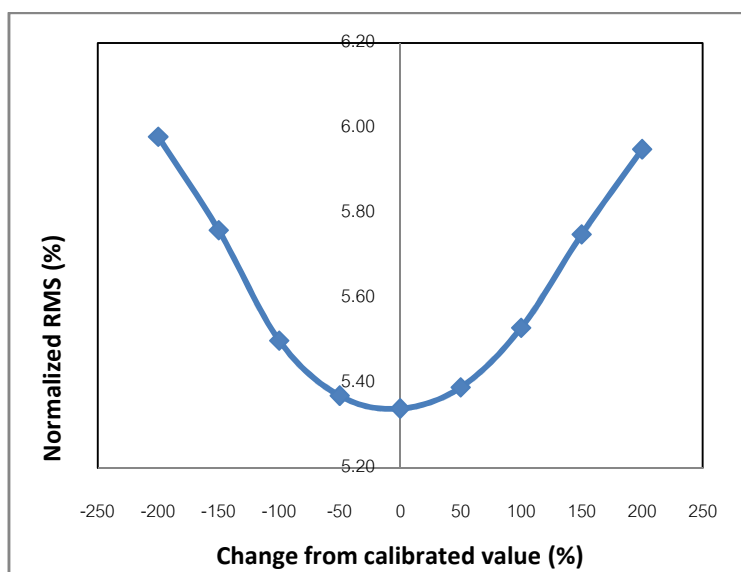
ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการจำลองการแพร่กระจายของน้ำเค็มคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ (α_L) โดยทำการเพิ่มลดค่าตัวแปรครั้งละ 50% ของค่าที่ได้จากการปรับเทียบแล้ว (ตารางที่ 4.18) ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำมีผลต่อแบบจำลองน้อย เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มลดค่าตัวแปรแล้วพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ % Normalized RMS น้อย (ประมาณ 0.65%) จึงสรุปได้ว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ (α_L) มีผลต่อแบบจำลองไม่มากนัก



รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำ



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของหินอุ้มน้ำ

4.7 ผลการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

ผลการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลโดยการแบ่งเขตน้ำบาดาลออกเป็น 19 เขตน้ำบาดาลย่อย เพื่อหาอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลด 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 10 เมตร โดยพิจารณาในชั้นน้ำหาคใหญ่เป็นหลัก ผลจากการประเมินพบว่า เมื่อจำลองการสูบน้ำตามกระบวนการที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 ทำให้ได้อัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลดที่ 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 10 เมตร เท่ากับ 37.56, 86.98, 134.07, 168.28 และ 199.62 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.22

เมื่อพิจารณาสมมูลของน้ำบาดาลที่ระยะน้ำลด 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 10 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการสูบน้ำเพิ่ม น้ำจาก Storage จะไหลเข้าสู่แบบจำลองมากขึ้น นั่นคือน้ำที่สูบน้ำออกไปจากแบบจำลองนั้นมาจาก Storage เป็นหลักเมื่อมีการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะน้ำลดยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย และนอกจากนั้นสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้นน้ำจาก Constant head หรือทะเลสาบสงขลาจะไหลเข้าสู่แบบจำลองมากขึ้น นั่นคือมีการแพร่กระจายของน้ำเค็มเพิ่มขึ้นหรือมีการปนเปื้อนสูงขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของขอบเขตการแพร่กระจายของคลอไรด์หรือน้ำเค็มที่ระยะน้ำลดต่างๆ พบว่า เมื่อระยะน้ำลดเพิ่มขึ้นจะทำให้ขอบเขตการแพร่กระจายของน้ำเค็มเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก เนื่องจากระดับน้ำในบริเวณพื้นที่กันชนซึ่งได้แก่ ตำบลคูเต่า ตำบลแม่ทอม และตำบลบ้านหาร ยังคงสูงกว่า +0.00 เมตร รทก. โดยขอบเขตการแพร่กระจายของน้ำเค็มยังอยู่ในบริเวณพื้นที่ อำเภอสิงหนคร บริเวณตำบลบางกล้า ตำบลคูเต่า และตำบลแม่ทอม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขไม่ให้มีการสูบน้ำเพิ่มในพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายของน้ำเค็ม

เมื่อพิจารณาอัตราการสูบน้ำในภาพรวมของทั้งแอ่งหาคใหญ่จะเห็นได้ว่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) (ตารางที่ 4.17) มีค่าน้อยกว่าอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลด 2 เมตร นั่นคือระยะน้ำลดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการสูบน้ำในปัจจุบันมีค่าน้อยกว่า 2 เมตร แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลดต่างๆ ของแต่ละเขตน้ำบาดาลย่อยดังแสดงในตารางที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า ในบางเขตน้ำบาดาลย่อยนั้นมีอัตราการสูบน้ำในปัจจุบันสูงกว่าอัตราการสูบน้ำที่ระยะ 2 เมตร ตัวอย่างเช่น เขตน้ำบาดาลย่อยหาคใหญ่ที่มีอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ตารางที่ 4.17) ประมาณ 4.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มากกว่าอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลด 2 เมตร และ 3 เมตร ที่มีอัตราการสูบน้ำประมาณ 1.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 3.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม

อัตราการสูบน้ำในปัจจุบันของเขื่อนน้ำบาดาลย่อยขนาดใหญ่ยังคงมีค่าน้อยกว่าอัตราการสูบน้ำที่ระย่น้ำลด 4 เมตร ที่มีอัตราการสูบน้ำประมาณ 6.1 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตารางที่ 4.22 ปริมาณน้ำที่สูบได้ที่ระย่น้ำลดต่างๆ

ระย่น้ำลด (เมตร)	ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)
2	37.56
3	86.98
4	134.07
5	168.28
6	199.62
8	273.19
10	332.25

ตารางที่ 4.23 สมดุลของน้ำบาดาลที่ระย่น้ำลดต่างๆ

Drawdown	Water in (Mm ³)						Water out (Mm ³)					
	Storage	Constant head	Well	River leakage	Recharge	Total	Storage	Constant head	Well	River leakage	Recharge	Total
2	69.52	1.66	0.0	3.78	34.66	109.62	44.25	4.68	57.97	2.73	0.0	109.62
3	119.16	2.58	0.0	4.18	34.66	160.58	32.80	3.01	122.31	2.45	0.0	160.58
4	172.07	3.90	0.0	4.60	34.66	215.23	27.55	2.17	183.24	2.28	0.0	215.23
5	216.13	4.55	0.0	4.98	34.66	260.32	25.49	1.75	230.89	2.19	0.0	260.32
6	254.69	5.77	0.0	5.33	34.66	300.44	24.32	1.50	272.51	2.12	0.0	300.44
8	345.23	8.97	0.0	10.09	34.66	398.95	23.13	1.12	370.21	4.49	0.0	398.95
10	424.72	11.75	0.0	6.69	34.66	477.82	21.58	0.99	453.36	1.89	0.0	477.82

4.8 แผนการจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่

ผลการวางแผนการจัดการน้ำบาดาลตามที่ได้เสนอไว้ในข้อ 3.5.2 ได้กำหนดให้ระยะน้ำลดสูงสุดที่ยอมรับเท่ากับ 5 เมตร นั่นคือหากต้องการสูบน้ำให้ระยะน้ำลดมากกว่า 5 เมตร จะต้องมีการจ่ายค่าอนุรักษ์น้ำในอัตรา 8.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ผลการประเมินศักยภาพน้ำพบว่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยรวมของทั้งแอ่งที่ระยะน้ำลด 5 เมตรมีค่าเท่ากับ 168.28 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยที่อัตราการสูบน้ำปลอดภัยนี้ไม่ต้องจ่ายค่าอนุรักษ์น้ำ ถ้าต้องการสูบน้ำมากกว่านี้จำเป็นต้องจ่ายค่าอนุรักษ์น้ำด้วย เช่น ถ้าสูบแล้วทำให้ระยะน้ำลดเพิ่มขึ้นเป็น 6 เมตร จะทำให้สามารถสูบน้ำได้เพิ่มขึ้น 31.34 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการอนุรักษ์น้ำประมาณ 266 ล้านบาทต่อปี รายละเอียดระยะน้ำลด อัตราการสูบน้ำที่เพิ่มได้ และค่าอนุรักษ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.24 อัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลดต่างๆ ของเขตน้ำบาดาลย่อย

ตำบล	อัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลดต่างๆ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)						
	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร	6 เมตร	8 เมตร	10 เมตร
แม่ทอม	*	*	*	*	*	*	*
โคกม่วง	6.29	8.38	10.48	13.73	15.02	20.96	23.75
คลองแห	3.45	5.43	7.40	9.25	10.86	14.19	17.89
คลองหอยโข่ง	7.41	10.14	14.03	16.37	18.71	23.78	28.26
คลองอู่ตะเภา	1.28	1.79	2.31	2.82	3.25	4.36	5.21
ควนโศ	2.56	3.65	5.29	7.26	7.85	10.95	12.96
ควนลัง	7.43	11.36	15.73	17.87	22.29	29.28	35.40
คอหงส์	0.21	1.04	3.54	5.20	7.07	10.82	14.36
คเต่า	*	*	*	*	*	*	*
ท่าช้าง	6.36	11.81	17.71	23.57	26.80	36.34	45.87
ทุ่งลาน	0.11	4.86	9.72	12.41	15.12	21.05	25.37
บางเหริยง	0.19	9.24	14.11	17.11	20.92	32.11	36.98
บางกล้า	*	*	*	*	*	*	*
บ้านพร	0.74	11.10	18.50	23.26	28.86	38.48	48.10
บ้านหาร	0.10	1.29	2.27	3.45	4.03	5.94	7.48
รัตภูมิ	0.20	3.82	6.83	7.93	9.64	12.65	15.87
สิงหนคร	*	*	*	*	*	*	*
หาดใหญ่	1.23	3.08	6.15	8.45	9.23	12.30	14.76
รวม	37.56	86.98	134.07	168.28	199.62	273.19	332.25

*เขตน้ำบาดาลย่อยมีการแพร่กระจายของน้ำเค็มจึงไม่มีการใช้น้ำ

ตารางที่ 4.25 ผลการประเมินปริมาณน้ำที่สูบได้และค่าอนุรักษ์น้ำ

ระยะน้ำลด (เมตร)	อัตราการสูบน้ำ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)	อัตราการสูบที่เพิ่มได้ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ค่าอนุรักษ์น้ำ (ล้านบาทต่อปี)
5	168.28*	-	-
6	199.62	31.34	266.39
8	273.19	104.91	891.73
10	332.25	163.97	1393.72

* อัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลด 5 เมตร

สำหรับการพิจารณาในกรณีระยะน้ำลดที่เกิดขึ้นไม่เกิน 5 เมตร ได้ทำการแบ่งพื้นที่การใช้น้ำปลอดภัยและพื้นที่วิกฤต โดยการพิจารณาอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) เทียบกับอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลด 5 เมตร (Safe yield) ของเขตน้บาดาลย่อยดังแสดงในตารางที่ 4.26 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1- 33 เท่าโดยเขตน้บาดาลย่อยขนาดใหญ่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบันใกล้เคียงกับอัตราการสูบน้ำปลอดภัยแล้ว และเขตน้บาดาลย่อยคลองอุตะเกษามีค่าสูงที่สุด กล่าวคือ อัตราการสูบน้ำในเขตน้บาดาลย่อยอุตะเกษายังมีปริมาณน้ำบาดาลสำรองให้ใช้ได้อีกมาก

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้อ 3.5.2 นั้นคือค่าอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยกับค่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) ไม่เกิน 5 เท่า ถือเป็นเขตวิกฤตน้ำบาดาลพบว่า เขตน้บาดาลย่อยพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และเขตน้บาดาลย่อยคอหงส์ถือได้ว่าอยู่ในภาวะวิกฤต เนื่องจากเขตน้บาดาลย่อยพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และเขตน้บาดาลย่อยคอหงส์ มีค่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) เทียบกับอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลด 5 เมตร (Safe yield) เท่ากับ 1 และ 5 ตามลำดับ

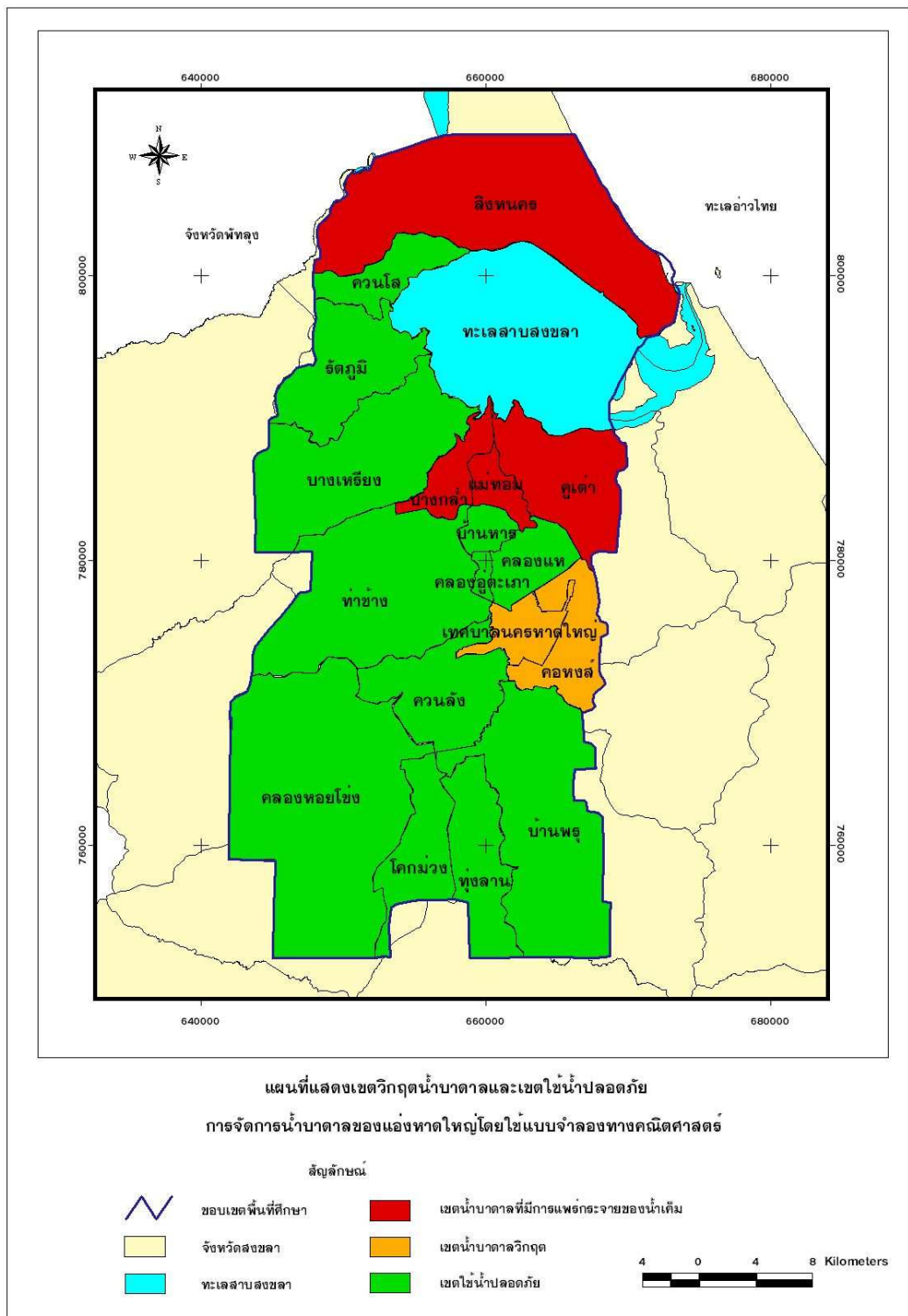
จากผลการคำนวณอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) เทียบกับอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลด 5 เมตร (Safe yield) และใช้เกณฑ์การพิจารณาที่กำหนดไว้ สามารถจำแนกเขตน้บาดาลวิกฤตและปลอดภัยโดยแสดงในรูปแบบของแผนที่ได้ดังรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.26 อัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยกับค่าอัตราการสูบน้ำในปี 2554

ตำบล	พื้นที่ (km ²)	อัตราการสูบน้ำ (Mm ³ /year)		อัตราการสูบน้ำ ที่เพิ่มได้ (Mm ³ /year)	Ratio**
		ปี 2554	safe yield*		
แม่ทอม	14.07	0.54	-	-	-
โคกม่วง	40.01	0.75	13.73	12.98	18
คลองแห	23.52	1.23	9.25	8.02	8
คลองหอยโข่ง	199.61	1.95	16.37	14.42	8
คลองอู่ตะเภา	4.10	0.09	2.82	2.73	33
ควนโศ	25.83	0.43	7.26	6.84	17
ควนลัง	47.36	2.08	17.87	15.80	9
คอหงส์	35.49	1.04	5.20	4.16	5
คูเต่า	57.44	2.10	-	-	-
ท่าช้าง	116.55	2.29	23.57	21.28	10
ทุ่งลาน	48.51	0.59	12.41	11.82	21
บางเหรียญ	110.15	0.95	17.11	16.16	18
บางกล้า	21.00	0.34	-	-	-
บ้านพรุ	129.47	3.59	23.26	19.67	6
บ้านหาร	10.71	0.52	3.45	2.94	7
รัตภูมิ	57.75	1.00	7.93	6.93	8
สิงหนคร	158.55	2.79	-	-	-
หาดใหญ่	23.63	6.20	8.45	2.25	1
รวม	1123.71	28.48	168.28	146.00	

* Safe yield คือ อัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระยะน้ำลต 5 เมตร

** Ratio คือ อัตราส่วนของอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) เทียบกับอัตราการสูบน้ำปลอดภัยปลอดภัยที่ระยะน้ำลต 5 เมตร (Safe yield)



รูปที่ 4.20 แผนที่แสดงเขตน้บาดาลวิฤกตและเขตใช้น้บาดาลปลอดภัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การจัดการน้ำบาดาลของแอ่งหาดใหญ่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของแอ่งหาดใหญ่

แอ่งหาดใหญ่มีลักษณะเป็นแอ่งที่ราบระหว่างหุบเขา ขอบแอ่งมีตะกอนกรวดขนาดใหญ่ที่เกิดจากการผุพังของหินที่ทับถมอยู่เป็นจำนวนมาก บริเวณกลางแอ่งมีการสะสมตัวของตะกอนกรวดทรายและดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพาของแม่น้ำ แหล่งน้ำบาดาล โดยส่วนใหญ่ถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนหินร่วน ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพาในบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลและที่ราบลุ่มน้ำ และชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนตะกั่วลันเตาสูง

พื้นที่รับน้ำหลักอยู่บริเวณขอบแอ่งซึ่งเป็นแนวเทือกเขาทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศใต้ พื้นที่ให้น้ำคือพื้นที่ราบลุ่มตอนกลางแอ่ง มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 1,583 มิลลิเมตร มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำประมาณร้อยละ 7.64 ของปริมาณฝน

แอ่งหาดใหญ่ประกอบด้วยชั้นน้ำบาดาล 3 ชั้นคือ ชั้นน้ำหาดใหญ่ ชั้นน้ำคูเต่า และชั้นน้ำคอกหงส์ ชั้นน้ำหาดใหญ่เป็นชั้นน้ำด้านบนสุดมีความลึก 20-50 เมตร ชั้นน้ำมีความหนาเฉลี่ย 20-40 เมตร ให้น้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 20-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ถัดจากชั้นน้ำหาดใหญ่เป็นชั้นน้ำคูเต่าซึ่งอยู่ลึกลงไปประมาณ 60-100 เมตร มีความหนาประมาณ 30 เมตร ให้น้ำเฉลี่ย 20-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ชั้นสุดท้ายเป็นชั้นน้ำคอกหงส์ซึ่งอยู่ลึกลงไปมากกว่า 100 เมตร ให้น้ำเฉลี่ย 10-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

5.1.2 การไหลและสมดุลของน้ำบาดาล

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ผลจำลองการไหลของน้ำบาดาลสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์มากยิ่งขึ้น โดยการปรับปรุงแบบจำลองน้ำบาดาลของอรุณ (2552) ซึ่งประกอบด้วย การปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองจากขอบเขตแบบมีน้ำไหลผ่านเป็นขอบเขตแบบไม่มีน้ำไหลผ่านโดยขยายพื้นที่แบบจำลองออกไปถึงสันปันน้ำ รวมถึงการปรับปรุงปริมาณการใช้น้ำบาดาล ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ จากนั้นเปรียบเทียบค่าตัวแปรและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

ผลการจำลองการไหลพบว่า น้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่มีทิศทางการไหลจากพื้นที่เดิมน้ำบริเวณขอบแอ่ง ที่มีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำที่สูงกว่า +20.00 เมตร (รทก.) ทางด้านทิศตะวันตก (เทือกเขาบรรทัด) และทิศตะวันออก (เทือกเขาคอหงส์) มายังพื้นที่ให้น้ำบริเวณกลางแอ่งที่มีเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำประมาณ +5.00 เมตร (รทก.) และบางส่วนไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา ส่วนน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่เดิมน้ำทางด้านทิศใต้ จะไหลไปยังพื้นที่ให้น้ำบริเวณกลางแอ่ง ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ จากผลการจำลองการไหลยังพบอีกว่าเกิดกรวยน้ำลดในบริเวณพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ และมีบางส่วนระดับน้ำต่ำกว่า +0.00 เมตร (รทก.) แต่มีพื้นที่กันชน (Buffer Zone) ในบริเวณตำบลคูเต่า แม่ทอม และบ้านหาร ซึ่งระดับน้ำยังสูงกว่า +0.00 เมตร (รทก.) โดยมีค่าความเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองร้อยละ 6.381 และจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองพบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในแบบจำลองมากที่สุดคือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

สมดุลของน้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2554 จากการจำลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองมาจาก ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ 45.36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การเพิ่มเติมน้ำสุทธิน้ำฝน 34.66 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การไหลซึมของน้ำจากคลองอู่ตะเภาและคลองรัตภูมิ 3.69 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และจากทะเลสาบสงขลา 0.84 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำไหลเข้าทั้งหมด 84.56 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลอง ไหลออกไปกักเก็บในชั้นหินอุ้มน้ำ 48.26 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จากการสูบน้ำบาดาล 28.42 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา 5.12 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และไหลสู่คลองอู่ตะเภาและคลองรัตภูมิ 2.77 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รวมปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแบบจำลอง 84.56 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

5.1.3 ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาล

การประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลโดยการพิจารณาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลและศักยภาพมลสารซึ่งแนะนำโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ผลการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC Index พบว่าชั้นน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่มีความอ่อนไหวอยู่ในช่วง 104-114 คะแนนซึ่งมีค่าน้อยจัดอยู่ความอ่อนไหวระดับที่ 1 นั่นคือมีความอ่อนไหวน้อยมาก จะเห็นได้ว่าคะแนนความอ่อนไหวมีค่าใกล้เคียงกันทั้งพื้นที่ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการประเมินศักยภาพมลสารทั้ง 6 ชนิดพบว่ามีความรุนแรงอยู่ในช่วง 1-4 โดยบ่อฝ่งกลบขยะเทศบาลนครหาคใหญ่มีระดับศักยภาพมลสารสูงที่สุด คือระดับ 4 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งมลสารที่มีศักยภาพมาก

จากผลการประเมินความอ่อนไหวและศักยภาพของมลสาร นำค่าที่ได้มาคำนวณความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยการนำค่าระดับความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลมาคูณกับระดับศักยภาพมลสาร ผลการคำนวณค่าความเสี่ยงพบว่า ค่าความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 1-4 คะแนน ซึ่งสามารถจัดระดับความเสี่ยงได้เป็นระดับ 1 นั่นคือชั้นน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากแหล่งมลสารจากผิวดินน้อยมาก

5.1.4 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการสูบน้ำที่ได้เมื่อกำหนดระยะน้ำลัดสูงสุดที่ยอมให้ โดยทำการประเมินหาอัตราการสูบน้ำที่ระยะน้ำลัด 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 เมตร ในการพิจารณาระยะน้ำลัด จะพิจารณาโดยแบ่งเป็นเขตน้ำบาดาลย่อย 19 เขตน้ำบาดาลย่อย (รวมทะเลสาบสงขลา) ผลการประเมินพบว่า อัตราการสูบน้ำที่สามารถสูบได้ที่ระยะน้ำลัดที่ 2, 3, 4, 5, 6, 8 และ 10 เมตร มีค่าเท่ากับ 37.56, 86.98, 134.07, 168.28, 199.62, 273.19 และ 332.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามชั้นน้ำบาดาลของแอ่งหาคใหญ่พบการปนเปื้อนของน้ำเค็มบริเวณพื้นที่ติดทะเลสาบสงขลา ได้แก่ ตำบลคูเต่า ตำบลบางกล่ำ ตำบลแม่ทอม และอำเภอสิงหนคร

5.1.5 การวางแผนการจัดการน้ำบาดาล

การศึกษากิจการบริหารจัดการน้ำบาดาลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาล ภายใต้ วัตถุประสงค์และเงื่อนไขกำหนดซึ่งประกอบด้วย ระบายน้ำล้นสูงสุดที่ยอมให้ อัตราการสูบน้ำสูงสุดที่สามารถสูบได้ ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการบรรเทาผลกระทบหรือค่าอนุรักษ์น้ำ และการแพร่กระจายของน้ำเค็ม โดยแบ่งพื้นที่แอ่งหาคีใหญ่ออกเป็น 19 เขตน้ำบาดาลย่อย (รวมทะเลสาบสงขลา) ผลการพิจารณาและวางแผนสรุปได้ว่า

ระบายน้ำล้นสูงสุดที่ยอมให้สำหรับแอ่งหาคีใหญ่เท่ากับ 5 เมตร คิดเป็น “อัตราการสูบน้ำปลอดภัย” (Safe yield) หากยอมให้ระบายน้ำล้นเกิน 5 เมตรในเขตน้ำบาดาลย่อยใดๆ จะต้องมีการจ่ายค่าอนุรักษ์น้ำในอัตรา 8.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยอัตราการสูบน้ำปลอดภัยที่ระบายน้ำล้น 5 เมตรเท่ากับ 168.28 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และเมื่อพิจารณาอัตราการสูบน้ำในเขตน้ำบาดาลย่อยพบว่าที่ระบายน้ำล้นปลอดภัย 5 เมตร เขตน้ำบาดาลย่อยท่าช้าง ซึ่งเป็นเขตพื้นที่ตำบลท่าช้าง อำเภอบางกล่ำ มีอัตราการสูบน้ำปลอดภัยสูงสุดเท่ากับ 23.57 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ผลการพิจารณา ระบายน้ำล้น อัตราการสูบน้ำ และค่าอนุรักษ์ร่วมกันพบว่า เมื่อยอมให้ระบายน้ำล้นเท่ากับ 6 เมตร 8 เมตร และ 10 เมตร จะสามารถสูบน้ำได้เพิ่มขึ้น 31.34 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี 104.91 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 163.97 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล ประมาณ 266 ล้านบาท 891.73 ล้านบาท และ 1,393.72 ล้านบาท ตามลำดับ

ผลการพิจารณาพื้นที่วิกฤตน้ำบาดาลและพื้นที่การใช้น้ำบาดาลปลอดภัย โดยเกณฑ์ที่กำหนดคือ ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยกับค่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) ไม่เกิน 5 เท่า ถือว่าเป็นเขตวิกฤตน้ำบาดาล พบว่าเขตน้ำบาดาลย่อยคอหงส์และหาคีใหญ่ มีค่าอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการสูบน้ำปลอดภัยกับค่าอัตราการสูบน้ำในปัจจุบัน (ปี 2554) 1 เท่า และ 5 เท่าตามลำดับจัดว่าเป็นเขตวิกฤตน้ำบาดาล ส่วนเขตน้ำบาดาลย่อยอื่นๆ มีค่ามากกว่า 5 เท่าจัดอยู่ในเขตการใช้น้ำบาดาลปลอดภัย ยกเว้นเขตน้ำบาดาลย่อยที่มีการแพร่กระจายของน้ำเค็มได้แก่ เขตน้ำบาดาลย่อยสิงหนคร เขตน้ำบาดาลย่อยบางกล่ำ เขตน้ำบาดาลย่อยคูเต่า และเขตน้ำบาดาลย่อยแม่athom

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาลอย่างสม่ำเสมอและควรมีบ่อสังเกตการณ์เพิ่มขึ้นเพื่อการจำลองที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากตัวแปรที่ใช้ในการจำลองมาจากการเปรียบเทียบกับค่าในสนาม เมื่อมีค่าหรือชุดข้อมูลในสนามมากขึ้นและสม่ำเสมอจะทำให้ได้ค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น

5.2.2 ข้อมูลทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยาที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลที่ไม่ละเอียดและเป็นการแสดงผลในภาพรวม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในชั้นรายละเอียดต่อไป เช่น มีการศึกษาในทุกๆ โรงงานอุตสาหกรรม หรือทุกสถานบริการน้ำมัน เป็นต้น

5.2.3 การใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะในการจำลองการไหลเพื่อการจัดการน้ำบาดาลควรมีค่าที่ได้จากการสุบทดสอบหลายๆชุด เพราะถึงแม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะจะมีผลกระทบต่อแบบจำลองน้อยจากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว แต่ในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลนั้นค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะมีผลอย่างมากต่อผลการประเมิน จึงควรมีค่าอ้างอิงจากการสุบทดสอบในสนาม

5.2.4 ระยะน้ำลด (Drawdown) ปลอดภัยเท่ากับ 5 เมตร ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นระยะน้ำลดที่คิดจากระดับน้ำปัจจุบัน ของเทศบาลนครหาดใหญ่เป็นหลัก ดังนั้นเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้นควรมีการศึกษาระยะน้ำลดตามพื้นที่จริง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเท่ากันตลอดทั้งแอ่ง

5.2.5 ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2554 ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการดัดแปลงข้อมูลจากการสำรวจที่ผ่านมา อาจทำให้การประเมินในส่วนของการจัดการนั้นมีความคลาดเคลื่อนได้ ควรมีการส่งเสริมในด้านการเก็บข้อมูลการใช้น้ำบาดาลให้เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามแผนการจัดการนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการน้ำบาดาลได้ และควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาให้สอดคล้องหรือเหมาะสมกับสถานการณ์ความจำเป็นในการใช้น้ำในอนาคต

5.2.6 การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยจำเป็นอย่างมากในการศึกษาการจัดการน้ำบาดาลเนื่องจากพฤติกรรมการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ของแอ่งน้ำบาดาลนั้นแตกต่างกัน การแบ่งเขตน้ำบาดาลย่อยไม่

จำเป็นต้องแบ่งตามขอบเขตการปกครอง เช่น เขตตำบล เสมอไปควรพิจารณาปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เช่น ตามสภาพชั้นน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม อุตสาหกรรม เขตที่พักอาศัยที่มีประชากรหนาแน่น

5.2.7 ข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศมีความจำเป็นอย่างมากในการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน เพราะช่วยให้ง่ายต่อการนำข้อมูลมาซ้อนทับกันเพื่อพิจารณาร่วมกัน และรวมถึงการนำเสนอข้อมูลเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจและง่ายต่อการใช้งาน ฉะนั้นการรวบรวมข้อมูลด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำในรูปแบบของข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เช่น การเก็บข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลสถานที่ที่ทำให้เกิดมลสาร ตำแหน่งบ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำขึ้นมาใช้ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ ศรีสุข. (2543). น้ำใต้ดิน-แบบจำลอง-การปนเปื้อน. ขอนแก่น : ภาควิชาเทคโนโลยี
ธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เกรียงศักดิ์ ศรีสุข. (2546). การประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลและผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล
ในพื้นที่ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น . ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะ
เทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและจัดการสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ฝ่าย. (2544). แผนที่
ดิจิทัลขอบเขตการปกครองจังหวัดสงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและจัดการสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ฝ่าย. (2544). แผนที่
ดิจิทัลขอบเขตลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและจัดการสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ฝ่าย. (2544). แผนที่
ดิจิทัลแม่น้ำลำคลองจังหวัดสงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จังหวัดสงขลา, สำนักงาน (2545). ข้อมูลจังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2544. สงขลา.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล, กรม (2551). ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล
โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล. กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล, กรม. (2546). โครงการศึกษาศักยภาพน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์ พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ: กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ทรัพยากรน้ำบาดาล, กรม. (2549). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแนวทางการพัฒนาและ
อนุรักษ์น้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.
กรุงเทพฯ.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. (2549). ข้อมูลรายงานชั้นดินหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล. กรุงเทพฯ.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. (2544). แผนที่ดิจิทัลชั้นหินอุ้มน้ำจังหวัดสงขลา. กรมทรัพยากรธรณี.
กรุงเทพฯ.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. (2544). แผนที่ดิจิทัลธรณีวิทยาจังหวัดสงขลา. กรมทรัพยากรธรณี.
กรุงเทพฯ.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. (2544). แผนที่ดิจิทัลเส้นชั้นความสูงจังหวัดสงขลา. กรมทรัพยากรธรณี.
กรุงเทพฯ.

- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. (2547). กฎกระทรวงเรื่องการกำหนดอัตราค่า
อนุรักษ์น้ำบาดาลและหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการเรียกเก็บค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล
พ.ศ. 2547. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. (2546). น้ำบาดาล. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ชนิด เฉลิมยานนท์, สุรพล อารีย์กุล, กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์ (2552). การศึกษาการรุกของน้ำเค็มใน
ชั้นน้ำใต้ดินบริเวณอำเภอหาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วชิ รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. (2541). ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย. วารสารชมรมนัก
อุทกวิทยา. ปีที่ 2, ฉบับที่ 2-2541.
- สภา สกุลแก้ว. (2539). สภาพน้ำบาดาลบริเวณแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. กรุงเทพฯ : ฝ่ายอุทก
ธรณีวิทยา กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี.
- สุจิริต คุณชนกุลวงศ์ และ โชคชัย สุทธิธรรมจิต (2551). การเปรียบเทียบเทคนิคการประเมิน
ศักยภาพน้ำบาดาล. วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 19, ฉบับที่ 3-2551.
- สุรพล อารีย์กุล. (2534). ศักยภาพน้ำบาดาลในแอ่งหาดใหญ่. สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่
และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. (2542). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 เรื่อง กำหนด
หลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกัน
สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล, สำนักงาน. (2546). รายงานฉบับสมบูรณ์ ศึกษาความสมดุล
ของแหล่งน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ แอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. กรม
ทรัพยากรน้ำบาดาล. กรุงเทพฯ.
- อมรรัตน์ วัฒนธรรม (2548). การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของน้ำบาดาลแอ่งหาดใหญ่ จังหวัด
สงขลา. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อรุณ ลูกจันทร์ (2552). การศึกษาการรุกของน้ำเค็มในชั้นน้ำใต้ดินของแอ่งหาดใหญ่โดยใช้
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อดุณิยมวิทยา, กรม. (2546). ข้อมูลลักษณะทางอุณิยมวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.
กรุงเทพฯ.

- Aeller, L., Bennett, T., Jay, H.L., Rebecca, J.P., and Hackett, 1987. DRASTIC: A standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Using Hydrogeologic Setting, NWWA/EPA Series.
- Anderson, M.P. and Woessner, W.W. (1992). Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. California : Academic Press, Inc.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. (1998). Physical and Chemical Hydrogeology. 2 nd ed. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Fetter, C.W., (2001). Applied Hydrogeology. 4 th ed. New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Fetter, C.W., (1994). Applied Hydrogeology. 3 rd ed. New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Foster Stephen, et.al., (2000). Groundwater in Rural Development. World Bank, Technical Report No. 463.
- James McPhee and William W.-G Yeh (2004). Multiobjective Optimization for Sustainable Groundwater Management in Semiarid Regions, Journal of Water Resource Planning and management, ASCE., November/December 2004, 490-497.
- Lohawijarn, W. (2005). Potential groundwater resources of Hat Yai Basin in Peninsular Thailand by gravity study, Songklanakarin J. Sci. Technol., 27(3) (May – June 2005), 633-647.
- M.A. Sophocleos. (1997). Why “Safe yield” is not Sustainable, Managing Water Resources Systems, Groundwater, Vol.35, No.4, p.561.
- Moss, R., and Moss, G.E.(1990). Handhook of Groundwater Development. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- N.K. Tyagi. (2010). Optimizing Groundwater Yield through Enhanced Stream-Aquifer Interaction: a case study of Lower Ghaggar basin in India. International Conference ISARM2010 Responsible for groundwater resources, 6-8 December 2010, p. 89.
- Spitz, K. and Moreno, F. (1996). A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Todd, D.K. and Mays, L.W. (2005). Ground-water Hydrology, 3 rd ed. Wiley and Sons.
- Toth, J. 1963. A theoretical analysis of groundwater flow small drainage basin, Geophysics Research. 68, p.4795-4812.

- Tuinhof, A., Dumars, C., Foster, S, Kemper, K., Garduño, H., Nanni, M., 2006. Groundwater Resource Management an Introduction to Its Scope and Practice, GW Mate, The World Bank Global Water Partnership Program, Briefing Note Series No. 2.
- United States Environmental Protection Agency, 1992. The Hazard Ranking Systems (HRS).
- Wang H.F., and Anderson M.P. (1982). Introduction to Groundwater Modeling Finite Difference and Finite Element Method. Francisco: W.H Freeman and Company.
- Y. S. Yang, R. M. Kalin, Y. Zhang, X. Lin and L. Zou. (2001). Multi-objective Optimization for Sustainable Groundwater Resource Management in A Semiarid Catchment, Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 46(1) February, p.55-72.
- Zheng, Chunmiao, and Wang, P.P., (1999). MT3DMS: A modular three-dimensional multi-species transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Documentation and user's guide: Contract report SERDP-99-1: Vicksburg, Miss., U.S. Army Engineer Research and Development Center, p.169.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC Index

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC

DRASTIC เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำโดยใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา รวม 7 ปัจจัย ได้แก่ ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (depth to water table), อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (net recharge), คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (aquifer media), คุณสมบัติของดิน (soil media), ลักษณะภูมิประเทศ (topography), คุณสมบัติของวัสดุในชั้นเหนือระดับน้ำ (impact of the vadose zone media), สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (hydraulic conductivity of the aquifer) โดยในแต่ละปัจจัยจะมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 1-10 นำค่าคะแนนมาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักในช่วง 1-5 และนำผลคูณของคะแนนกับน้ำหนักของแต่ละปัจจัยมารวมกันดังสมการที่ (1) เรียกว่า DRASTIC Index โดยค่าต่ำสุดที่เป็นคือ 23 และค่าสูงสุดที่เป็นไปได้คือ 226 รายละเอียดของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{DRASTIC Index} \quad (1)$$

เมื่อ	D, R, A, S, T, I, C	คือพารามิเตอร์ทั้ง 7
	r (rating)	คือค่าที่ได้จากการให้คะแนนในช่วง 1-10 ของแต่ละพารามิเตอร์
	w (weight)	คือค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์

1. ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (depth to water table)

ความลึกถึงระดับน้ำบาดาลเป็นตัวบอกถึงระยะทางที่มลสารจะต้องเดินทางผ่านก่อนที่จะถึงระดับน้ำบาดาล ความลึกถึงระดับน้ำมีค่าถ่วงน้ำหนัก (D_w) เท่ากับ 5 และมีค่าคะแนนของแต่ละช่วงของค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาลดังแสดงในตารางที่ ก-1

2. อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (net recharge)

อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นตัวบอกถึงปริมาณน้ำที่ซึ่งเป็นตัวทำละลายและนำมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ค่าคะแนนของแต่ละช่วงของค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และค่าถ่วงน้ำหนักแสดงได้ดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-1 ค่าคะแนน D_r และค่าถ่วงน้ำหนัก D_w (Aller et al., 1987)

ช่วงค่าความลึกถึงระดับน้ำ (เมตร)	ค่าคะแนน (D_r)
0-2	10
2-5	9
5-10	7
10-15	5
15-25	3
25-30	2
มากกว่า 30	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (D_w) = 5	

ตารางที่ ก-2 ค่าคะแนน R_r และค่าถ่วงน้ำหนัก R_w (Aller et al., 1987)

ช่วงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	ค่าคะแนน (R_r)
0-70	1
71-140	4
141-210	6
211-280	8
281-350	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (R_w) = 4	

3. คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (aquifer media)

วัสดุชั้นน้ำจะเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล โดยความสามารถในการซึมผ่านจะเป็นตัวบ่งชี้ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล นั่นคือชั้นน้ำที่มีการซึมผ่านได้ดีจะมีความอ่อนไหวมากกว่าชั้นน้ำที่ซึมผ่านได้ไม่ดี เกณฑ์การให้คะแนนคุณสมบัติของวัสดุชั้นน้ำและค่าถ่วงน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ ก-3

ตารางที่ ก-3 คะแนน A_r และค่าถ่วงน้ำหนัก A_w (Aller et al., 1987)

ลักษณะของวัสดุอุ้มน้ำ	ค่าคะแนน (A_r)
ทรายและกรวด	9
หินปูน	8
ทรายและดินเหนียว	6
หินทรายและหินดินดาน	6
แกรนิต	4
หินแปร	3
หินภูเขาไฟ	3
หินตะกอนเนื้อแน่น	2
ค่าถ่วงน้ำหนัก (A_w) = 3	

4. คุณสมบัติของดิน (soil media)

คุณสมบัติของดินในที่นี้จะหมายถึงดินที่อยู่ชั้นบนสุดของพื้นผิวที่มีการผุพังและทับถมกันของซากอินทรีย์วัตถุ มีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตร ค่าคะแนนคุณสมบัติของดินและค่าถ่วงน้ำหนักแสดงได้ดังตารางที่ ก-4

ตารางที่ ก-4 คะแนน S_r และค่าถ่วงน้ำหนัก S_w (Aller et al., 1987)

คุณสมบัติของดิน	ค่าคะแนน (S_r)
ทราย	10
ทรายปนดินร่วน	9
ดินร่วนปนกรวด	6
ทรายแป้ง	4
ดินเหนียวปนทรายแป้ง	3
ดินเหนียว	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (S_w) = 2	

5. ลักษณะภูมิประเทศ (topography)

ลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยน้ำที่ไหลผ่านและสัมผัสผิวดินมีมาก โอกาสที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็มีมาก เกณฑ์การให้คะแนนความลาดชันของภูมิประเทศและค่าถ่วงน้ำหนักดังตารางที่ ก-5

ตารางที่ ก-5 คะแนน T_r และค่าถ่วงน้ำหนัก T_w (Aller et al., 1987)

ความลาดชันของภูมิประเทศ (ร้อยละ)	ค่าคะแนน (T_r)
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
มากกว่า 18	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (T_w) = 1	

6. คุณสมบัติของวัสดุในชั้นเหนือระดับน้ำ (impact of the vadose zone media)

การที่มลสารจะปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในปริมาณเท่าใดหรือในทิศทางใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่อยู่ในชั้นเหนือระดับน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวลดความรุนแรงของมลสารที่กระจายลงสู่ชั้นน้ำ โดยการกรอง ปฏิกริยาทางเคมี เป็นต้น เกณฑ์การให้คะแนนสำหรับคุณสมบัติของวัสดุในชั้นเหนือระดับน้ำและค่าถ่วงน้ำหนักแสดงได้ดังตารางที่ ก-6

7. สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (hydraulic conductivity of the aquifer)

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลแสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่านชั้นน้ำบาดาลและเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสารว่าสามารถกระจายตัวได้เร็วหรือช้า เกณฑ์การให้คะแนนค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและค่าถ่วงน้ำหนักแสดงได้ดังตารางที่ ก-7

ตารางที่ ก-6 ค่าคะแนน I_r และค่าถ่วงน้ำหนัก I_w (Aller et al., 1987)

ลักษณะของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	ค่าคะแนน (I_r)
ดินเหนียว	1
ดินเหนียวปนทราย	2
ทรายแป้ง	3
หินอัคนีและหินแปร	4
หินดินดาน	5
หินทราย	5
หินปูน	6
ทราย	8
กรวด	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (I_w) = 5	

ตารางที่ ก-7 ค่าคะแนน C_r และค่าถ่วงน้ำหนัก C_w (Aller et al., 1987)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (เมตรต่อวัน)	ค่าคะแนน C_r
< 0.50	1
0.50-1.50	2
1.50-3.50	4
3.50-5.00	6
5.00-10.00	8
> 10.00	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก $C_w = 3$	

ภาคผนวก ข
การประเมินศักยภาพมลสาร

การประเมินศักยภาพมลสาร

มลสารแบ่งออกเป็น 6 ประเภทได้แก่ แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ และแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม โดยรายละเอียดการให้คะแนนมีดังนี้

1. แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

เกณฑ์การให้คะแนนมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยนั้นพิจารณาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้และระบบป้องกันการปนเปื้อน ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดต่อวัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้กำจัดขยะไปแล้ว ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ ประเภทของขยะ ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบ สภาพแวดล้อมทางกายภาพของแหล่งฝังกลบ โดยเกณฑ์การให้คะแนนแสดงได้ดังตารางที่ ข-1

2. แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม

ของเสียอุตสาหกรรมจัดเป็นมลสารประเภทอุตสาหกรรม โดยของเสียจะมีทั้งในรูปของกากของเสียและน้ำเสีย มลสารจากอุตสาหกรรมเป็นมลสารที่มีความรุนแรงสูง ในการประเมินจะมีปัจจัยของการบำบัดน้ำเสียซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรม โดยค่าคะแนนในแต่ละปัจจัยกำหนด และค่าน้ำหนัก แสดงได้ดังตารางที่ ข-2

3. แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน

การปนเปื้อนของมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน ส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของสารในภาชนะที่เก็บซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนในดินรวมถึงน้ำบาดาล โดยการปนเปื้อนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และตำแหน่งที่มีการรั่วไหลของถังบรรจุบนดิน ปัจจัยกำหนด การให้คะแนน และค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันดังแสดงในตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-1 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (กรมทรัพยากร
น้ำบาดาล, 2551)

ลำดับ ที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
1	วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยและระบบ ป้องกันการปนเปื้อนน้ำบาดาล						5	
	-ฝังกลบอย่างปลอดภัย (secure landfill)	x						5
	-ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึม สองชั้น (double liner)		x					10
	-ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึม เป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชั้นเดียวกับดิน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึม ผ่านต่ำ (single geosynthetic liner with low permeable soil) หรือชั้นกันซึม แบบผสม (composite liner)				x			15
	-ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึม เป็นดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้ น้ำซึมผ่านต่ำ (low permeable soil liner)					x		20
	-ฝังกลบไม่ถูกหลักสุขาภิบาล หรือเท กอง (open dump)							x
2	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตันต่อวัน)						3	
	< 10	x						3
	10-50		x					6
	> 50-100			x				9
	> 100-300				x			12
	> 300					x		15

ตารางที่ ข-1 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (กรมทรัพยากร
น้ำบาดาล, 2551) (ต่อ)

ลำดับ ที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
3	ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะ (ไร่)						3	
	< 5	x						3
	10-50		x					6
	> 10-20			x				9
	> 20-50				x			12
	> 50					x		15
4	ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ มูลฝอย (ปี)						3	
	< 2	x						3
	2-5		x					6
	> 5-10			x				9
	> 10-15				x			12
	> 15					x		15
5	ประเภทของมูลฝอยที่รับกำจัด						4	
	-ขยะมูลฝอยชุมชนที่คัดแยกขยะเปียก ออกไป เหลือแต่ขยะแห้งประเภทที่เผา ไหม้ได้	x						4
	-ขยะมูลฝอยชุมชนที่คัดแยกขยะเปียก ออกไป เหลือแต่ขยะแห้งประเภทที่เผา ไหม้ไม่ได้		x					8
	-ขยะมูลฝอยชุมชนที่คัดแยกขยะแห้ง ออกไป เหลือแต่ขยะเปียก			x				12
	-ขยะชุมชนที่ไม่มีการคัดแยกขยะ				x			16
	-ของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม					x		20

ตารางที่ ข-1 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (กรมทรัพยากร
น้ำบาดาล, 2551) (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
6	ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบขยะ						2	
	-ดินเหนียวที่ไม่มีช่องว่างเรียงตัวในแนวตั้งหรือเป็นชั้นดานที่มีการเชื่อมตัวแข็ง	x						2
	-ดินที่มีเนื้อดินออกกร่วน ทรายแป้ง หรือดินเหนียวที่มีโครงสร้างไม่ดี		x					4
	-ดินร่วน หรือดินร่วนปนทรายแป้ง			x				6
	-ทรายปนดินร่วน				x			8
	-ทรายหยาบ กรวด					x		10
7	สภาพแวดล้อมกายภาพโดยรวมรอบสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย						1	
7.1	แหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียง							
	-ไม่มีแหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียงหรือมีแหล่งน้ำสาธารณะอยู่ห่างมากกว่า 300 เมตร	x						1
	-มีแหล่งน้ำสาธารณะอยู่ห่างน้อยกว่า 300 เมตร		x					2
7.2	ชุมชนบริเวณใกล้เคียง							
	-มีชุมชนบริเวณใกล้เคียงในรัศมีมากกว่า 1 กม.	x						1
	-มีชุมชนบริเวณใกล้เคียงภายในรัศมี 1 กม.		x				2	
ผลรวมคะแนนเต็ม								104

ตารางที่ ข-2 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ลำดับ ที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
1	การจัดระดับการดำเนินงานระบบ บำบัดน้ำเสีย						3	
	-จัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก	x						3
	-จัดอยู่ในเกณฑ์ดี		x					6
	-จัดอยู่ในเกณฑ์พอใช้			x				9
	-จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ				x			12
2	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)						5	
	≥ 5,000	x						5
	> 5,000-10,000		x					10
	> 10,000-20,000			x				15
	> 20,000				x			20
3	ความเข้มข้นของ BOD (มก./ล)						4	
	≤ 200	x						4
	> 200		x					8
4	การบำบัดและกำจัดสลัดจ์						4	
	-มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัดโดยการ เผา	x						4
	-มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัดโดยการ นำไปหมักทำปุ๋ยหรือฝังกลบนอกเขต พื้นที่โรงบำบัด		x					8
	-มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัดโดยการ นำไปหมักทำปุ๋ยหรือฝังกลบในเขต พื้นที่โรงบำบัด			x				12
	-ไม่มีการบำบัดสลัดจ์				x			16

ตารางที่ ข-2 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
5	ลำดับความสำคัญของชุมชนเมือง						2	
	-ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการคุณภาพน้ำในระยะยาว	x						2
	-ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการคุณภาพน้ำในระยะปานกลาง		x					4
	-ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการคุณภาพน้ำในระยะเร่งด่วน			x				6
ผลรวมคะแนนเต็ม								62

ตารางที่ ข-3 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทบริการน้ำมัน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
1	ความหนาของเหล็กที่ประกอบเป็นถังน้ำมัน						2	
	-น้อยกว่า 7 มม.			x				6
	-หนากว่า 7 มม.					x		10
	-ไม่เคยระเบิด	x						2
2	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (เมตร)						1	
	0-200					x		5
	> 200-400				x			4
	> 400-600			x				3
	> 600-800		x					2
	> 800	x						1
ผลรวมคะแนนเต็ม								15

4. แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนจะมีปริมาณน้ำเสียค่อนข้างมาก อาจทำให้ส่งผลกระทบต่อเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งมีปัจจัยกำหนดแบบเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ ข-2

5. แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่

การทำเหมืองแร่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำบาดาลได้เนื่องจากหลายสาเหตุเช่น การกองทิ้งหางแร่ การชะล้างหางแร่ และการละลายแร่ เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยกำหนดสำหรับแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่จึงประกอบด้วย ชนิดของแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ระยะห่างระหว่างเหมืองแร่และแหล่งน้ำ และอายุการเปิดดำเนินการเหมือง โดยเกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ ดังแสดงในตารางที่ ข-4

6. แหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

มลสารประเภทเกษตรกรรมเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ยาปราบศัตรูพืช การเก็บและการทิ้งมูลสัตว์ เป็นต้น ผิวดินจะทำการรองรับมลสารที่เกิดขึ้นจากนั้นจะค่อยๆเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยในการประเมินจะมีปัจจัยของปริมาณสารเคมีเป็นตัวกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ข-5

ตารางที่ ข-4 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ลำดับ ที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
1	ชนิดแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่						5	
	-หินทรายแก้ว	x						5
	-หินปูน			x				15
	-หินแกรนิต					x		25
2	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (เมตร)						3	
	> 800	x						3
	> 600-800		x					6
	> 400-600			x				9
	> 200-400				x			12
	< 200-400					x		15
3	อายุเปิดดำเนินการเหมือง (ปี)						1	
	< 3	x						1
	> 4-6		x					2
	> 7-9			x				3
	> 10-13				x			4
	> 14-16					x		5
ผลรวมคะแนนเต็ม								45

ตารางที่ ข-5 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

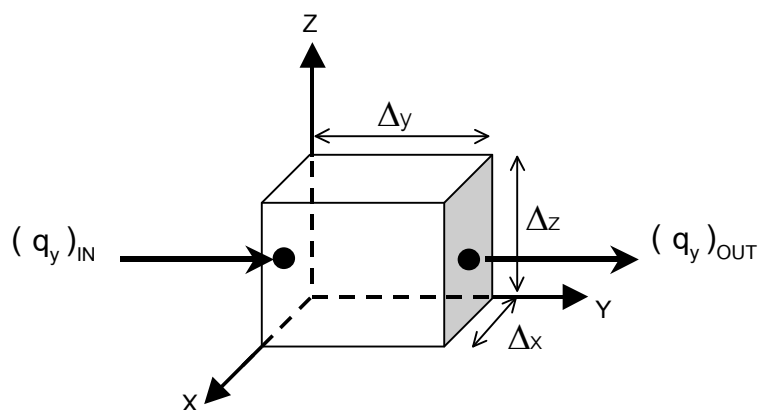
ลำดับ ที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (Weighing factor)	ผลคูณ
		1	2	3	4	5		
1	ปริมาณฟอสฟอรัส						5	
	-0-20%	x						5
	-21-40%		x					10
	-41-60%			x				15
	-61-80%				x			29
	-81-100%					x		25
2	ปริมาณไนโตรเจน						5	
	-0-20%	x						5
	-21-40%		x					10
	-41-60%			x				15
	-61-80%				x			29
	-81-100%					x		25
3	ปริมาณโพแทสเซียม						5	
	-0-20%	x						5
	-21-40%		x					10
	-41-60%			x				15
	-61-80%				x			29
	-81-100%					x		25
4	ปริมาณสังกะสี						5	
	-0-20%	x						5
	-21-40%		x					10
	-41-60%			x				15
	-61-80%				x			29
	-81-100%					x		25
5	ปริมาณโซเดียม						5	
	-0-20%	x						5
	-21-40%		x					10
	-41-60%			x				15
	-61-80%				x			29
	-81-100%					x		25
ผลรวมคะแนนเต็ม							45	

ภาคผนวก ค

สมการการไหลของน้ำใต้ดินและสมการการเคลื่อนที่ของมวลสาร

ภาคผนวก ค-1
สมการการไหลของน้ำใต้ดิน

สมการการไหลผ่านตัวกลางพรุนอ้างอิง (Representation Elementary Volume: REV) ดังรูป ค-1 ซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่จะเป็นตัวแทนของคุณสมบัติของตัวกลางพรุนนั้นได้ และจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำภายในมีค่าน้อยมากๆ โดยปริมาตรของ REV ที่มีลักษณะเป็นรูปลูกบาศก์มีค่าเท่ากับ $\Delta x \Delta y \Delta z$



รูปที่ ค-1 แสดง Representation Elementary Volume: REV (Anderson and Woessner, 1992)

การไหลผ่าน REV กำหนดให้เป็นเทอมของอัตราการไหล (q) ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติทั่วไป คือ

$$q = q_x i_x + q_y i_y + q_z i_z \quad (1)$$

เมื่อ i_x , i_y , i_z คือ หน่วยเวกเตอร์ในแนวแกน x, y, z

จากกฎทรงมวลของการไหลผ่านตัวกลางพรุนในสมการที่ (2-9) พิจารณาการไหลในแนวแกน y ของ REV ดังแสดงในรูป ข-1 การไหลเข้าสู่ REV ผ่านผนังด้าน $\Delta x \Delta z$ มีค่าเท่ากับ $(q_y)_{IN}$ และการไหลออกจาก REV ผ่านผนัง $\Delta x \Delta z$ มีค่าเป็น $(q_y)_{OUT}$ ถ้าเอาค่าการไหลออกลบการไหลเข้าในแนวแกน y จะได้

$$[(q_y)_{OUT} - (q_y)_{IN}] \Delta x \Delta z \quad (2)$$

เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{(q_y)_{OUT} - (q_y)_{IN}}{\Delta y} (\Delta x \Delta y \Delta z) \quad (3)$$

หรือกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่าน REV ในแนวแกน y คือ

$$\frac{\partial q_y}{\partial y} (\Delta x \Delta y \Delta z) \quad (4)$$

สำหรับการพิจารณาการไหลในแนวแกน x และแกน z จะใช้หลักการในทำนองเดียวกัน ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลมีค่าเท่ากับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกักเก็บ ดังสมการ (5)

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \text{change in storage} \quad (5)$$

ในกรณีที่มีการสูญเสียน้ำจากการซึมหรือการใช้น้ำ (Sink) หรือมีการเพิ่มเติมน้ำจาก Recharge หรือ injection well (source) ภายใน REV จะมีค่า Volumetric inflow rate คือ $R^* \Delta x \Delta y \Delta z$ เมื่อกำหนดให้ R^* มีค่าเป็นบวก ในกรณีที่เป็ค่า Source ซึ่งจะเพิ่มเข้าทางด้านซ้ายของสมการ (5) ดังนี้

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - R^* \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \text{change in storage} \quad (6)$$

พิจารณาด้านขวามือของสมการ (6) change in storage สามารถแทนค่าโดย Specific storage (S_s) ซึ่งกำหนดให้เป็นสัดส่วนของปริมาณน้ำซึ่งไหลออกจากการกักเก็บ ต่อหน่วยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำ ต่อหน่วยปริมาตรของชั้นหินให้น้ำ

$$S_s = - \frac{\Delta V}{\Delta h \Delta x \Delta y \Delta z} \quad (7)$$

โดยปกติ ค่า ΔV ในสมการ (7) มีค่าเป็นบวกเมื่อค่า Δh มีค่าเป็นลบ หรือกล่าวได้ว่า ปริมาณน้ำที่กักเก็บจะลดลงเมื่อแรงดันน้ำลดลง ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกักเก็บใน REV คือ

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = - S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (8)$$

รวมสมการ (6) และสมการ (8) เข้าด้วยกัน แล้วหารด้วย $\Delta x \Delta y \Delta z$ จะได้สมการสุดท้ายคือ สมการ (9)

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = - S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad (9)$$

สมการที่ได้นี้มีการใช้งานน้อยมาก เพราะไม่สามารถวัดค่า q ได้โดยตรง ดังนั้นจะใช้สมการของดาร์ซีช่วยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า q และค่า h ซึ่งค่าแรงดันน้ำสามารถวัดได้ โดยใช้สมการของดาร์ซีใน 3 มิติ เขียนได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} q_x &= - K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= - K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ q_z &= - K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

เมื่อนำค่า q_x , q_y และ q_z ไปแทนที่ในสมการที่ (9) จะได้สมการหลักคือ

$$\frac{\partial}{\partial x}[-K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[-K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[-K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z}] + R = S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

เมื่อ	K_x, K_y, K_z	=	ค่าความนำชลศาสตร์ในแนว x, y, z ตามลำดับ [LT^{-1}]
	h	=	ความสูงของระดับความดันน้ำ [L]
	S_s	=	ปริมาณการกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) [L^{-1}]
	R	=	ปริมาณน้ำเข้า (Recharge) และ/หรือ ออก (Discharge) จาก ระบบต่อหน่วยปริมาตรของชั้นน้ำต่อหน่วยเวลาที่น้ำเข้าและ/ หรือ ออก [T^{-1}] (กรณีจำลองการไหลออก R มีค่าเป็นลบ)
	t	=	เวลา [T]

ภาคผนวก ค-2
สมการการเคลื่อนที่ของมวลสาร

สมการการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดินที่มีความหนาแน่นคงที่ (Constant density) ดังสมการที่ (2-13) ในหัวข้อ 2.3.3-2 สามารถแบ่งย่อยๆ ตามลักษณะของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial(nC^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[nD_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial X_j} \right] - \frac{\partial}{\partial X_i} (nV_i C^k) + q_s C_s^k + \sum_{n=1}^N R_n \quad (12)$$

เมื่อ $\frac{\partial(nC^k)}{\partial t}$	หมายถึง	อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารในระบบของแต่ละช่วงเวลา (Change in storage)
$\frac{\partial}{\partial X_i} \left[nD_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial X_j} \right]$	หมายถึง	อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการแพร่กระจาย (Dispersion and diffusion)
$-\frac{\partial}{\partial X_i} (nV_i C^k)$	หมายถึง	อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการพา (Advection in/outflow)
$q_s C_s^k$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากการไหลเข้าหรือออกของมวลสาร (Source/sink)
$\sum_{n=1}^N R_n$	หมายถึง	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical reaction)

พจน์ทางซ้ายมือของสมการที่ (12) สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 พจน์ ดังนี้

$$\frac{\partial(nC^k)}{\partial t} = n \frac{\partial C^k}{\partial t} + C^k \frac{\partial n}{\partial t} \quad (13)$$

พจน์ของ $\frac{\partial n}{\partial t}$ หมายถึง อัตราของความเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแหล่งกักเก็บน้ำใต้ดิน มีหน่วยเป็น T^{-1} สามารถเขียนแทนด้วย q_s' นำไปแทนที่ใน สมการที่ (13) ได้ดังนี้

$$\frac{\partial(nC^k)}{\partial t} = n \frac{\partial C^k}{\partial t} + q'_s C^k \quad (14)$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมวลสารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้รวมผลของปฏิกิริยาทางชีวเคมีและธรณีเคมีไว้แล้วดังสมการที่ (15)

$$\sum R_n = -\rho_b \frac{\partial \bar{C}^k}{\partial t} - \lambda_1 n C^k - \lambda_2 \rho_b \bar{C}^k \quad (15)$$

เมื่อ	$\sum R_n$	คือ	ผลรวมการเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลสารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี [ML ⁻³ T ⁻¹]
	C^k	คือ	ความเข้มข้นของมวลสาร k ที่ละลายในน้ำ [ML ⁻³]
	n	คือ	ความพรุนของหิน [ไม่มีหน่วย]
	ρ_b	คือ	ค่า bulk density ของชั้นหินใต้น้ำ [ML ⁻³]
	λ_1	คือ	First order reaction rate ของมวลสารในสถานะสารละลาย [T ⁻¹]
	λ_2	คือ	First order reaction rate ของมวลสารในสถานะของแข็ง [T ⁻¹]
	\bar{C}^k	คือ	ความเข้มข้นของมวลสาร k ที่ถูกดูดซับไว้ [MM ⁻¹]

นำสมการที่ (14) และ (15) ไปแทนที่ในสมการที่ (12) แล้วจัดรูปให้ดูง่ายได้ดังนี้

$$n \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[n D_{ij} \frac{\partial C}{\partial X_{ij}} \right] - \frac{\partial}{\partial X_i} (n V_i C) + q_s C_s - q'_s C - \lambda_1 n C - \lambda_2 \rho_b \bar{C} \quad (16)$$

สมการที่ (16) เป็นพื้นฐานของการอนุรักษ์มวลสาร เมื่อเขียนพจน์ทางซ้ายใหม่

$$Rn \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[n D_{ij} \frac{\partial C}{\partial X_{ij}} \right] - \frac{\partial}{\partial X_i} (n V_i C) + q_s C_s - q'_s C - \lambda_1 n C - \lambda_2 \rho_b \bar{C} \quad (17)$$

$$\text{โดยที่ } R = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial \bar{C}}{\partial C} \quad (18)$$

ซึ่ง R จากสมการที่ (18) หมายถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหน่วง (retardation factor) ให้มวลสารเคลื่อนที่ช้าลง

สำหรับค่า V_i ในสมการที่ (17) คือความเร็วของการไหลที่ได้มาจากกฎของ Darcy เมื่อพิจารณาในพจน์ของการแพร่กระจายหรือ Dispersion ในสมการที่ (12) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายได้ดังนี้

$$D_{xx} = \alpha_L \frac{V_x^2}{|V|} + \alpha_{TH} \frac{V_y^2}{|V|} + \alpha_{TV} \frac{V_z^2}{|V|} + D^* \quad (19a)$$

$$D_{yy} = \alpha_L \frac{V_y^2}{|V|} + \alpha_{TH} \frac{V_x^2}{|V|} + \alpha_{TV} \frac{V_z^2}{|V|} + D^* \quad (19b)$$

$$D_{zz} = \alpha_L \frac{V_z^2}{|V|} + \alpha_{TV} \frac{V_x^2}{|V|} + \alpha_{TV} \frac{V_y^2}{|V|} + D^* \quad (19c)$$

$$D_{xy} = D_{yx} = (\alpha_L - \alpha_{TH}) \frac{V_x V_y}{|V|} \quad (19d)$$

$$D_{xz} = D_{zx} = (\alpha_L - \alpha_{TV}) \frac{V_x V_z}{|V|} \quad (19e)$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (\alpha_L - \alpha_{TV}) \frac{V_y V_z}{|V|} \quad (19f)$$

เมื่อ	D_{ii}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย [L^2T^{-1}]
	D_{ij}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวขวางจาก i ไป j [L^2T^{-1}]
	D^*	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจายสัมฤทธิ์ผล [effective molecular diffusion coefficient, L^2T^{-1}]
	α_L	คือ	ค่า longitudinal dispersivity [L]
	α_{TH}	คือ	ค่า horizontal transverse dispersivity [L]

α_{TV}	คือ	ค่า vertical transverse dispersivity [L]
V_x, V_y, V_z	คือ	ความเร็วการไหลตามแนวแกน X, Y และ Z [LT^{-1}]
$ V $	คือ	อัตราเร็วของการไหล [$=\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$, LT^{-1}]

สำหรับค่าความเข้มข้นของมวลสารที่ถูกดูดซับไว้ หรือ \bar{C} สามารถแยกคำนวณได้ตามลักษณะการดูดซับ ดังนี้

-กรณีการดูดซับเป็นแบบเชิงเส้นตรง (Linear sorption isotherm) สามารถอนุมานได้ว่าค่าความเข้มข้นของมวลสารที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นที่ละลายน้ำของมวลสารนั้น หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\bar{C} = K_d C \quad (20)$$

โดย K_d หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (distribution coefficient, L^3M^{-1})

-กรณีการดูดซับไม่เป็นแบบเชิงเส้นตรง (Non-linear sorption isotherm) ซึ่งสามารถแยกย่อยออกได้เป็น 2 กรณีย่อย คือ แบบ Freundlich และ Langmuir โดย

การดูดซับแบบ Freundlich ค่าความเข้มข้นของมวลสารที่ถูกดูดซับดังนี้

$$\bar{C} = K_f C^a \quad (21)$$

โดย K_f หมายถึงค่าคงที่ของ Freundlich (L^3M^{-1})^a

a หมายถึงค่า Freundlich exponent ซึ่งไม่มีหน่วย

ซึ่งค่าคงที่ทั้งสองนี้ได้มาจากการทดลอง

ส่วนการดูดซับแบบ Langmuir สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\bar{C} = \frac{K_L \bar{S} C}{1 + K_L C} \quad (22)$$

เมื่อ K_L หมายถึงค่าคงที่ของ Langmuir (L^3M^{-1})
 \bar{S} หมายถึงค่าความเข้มข้นทั้งหมดที่มีอยู่ในพื้นที่ (MM^{-1})

ภาคผนวก ง

ตำแหน่งปอบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันตก	เขตน้ำบาดาลย่อย
1	A	654946	794212	รัตภูมิ
2	B	649248	796998	รัตภูมิ
3	C	652160	797420	ควนโศ
4	D	651950	797968	ควนโศ
5	E	650472	799530	ควนโศ
6	G	652582	800205	ควนโศ
7	H	655495	802738	ควนโศ
8	H0142	661281	778007	คลองแห
9	H0293	663235	778656	คลองแห
10	H0419	660930	805000	สิงหนคร
11	H0444	668390	798600	สิงหนคร
12	H0447	664580	805300	สิงหนคร
13	H0485	671670	800090	สิงหนคร
14	H0518	668220	800300	สิงหนคร
15	H0535	648414	771218	คลองหอยโข่ง
16	H0584	668150	800930	สิงหนคร
17	H0588	657744	780222	ท่าช้าง
18	H0635	659697	788924	บางกล้า
19	H0636	665579	788350	คูเต่า
20	H0712	663550	806750	สิงหนคร
21	H0737	666450	801700	สิงหนคร
22	H0738	665450	807550	สิงหนคร
23	H0787	654152	773435	ท่าช้าง
24	H1036	659650	808350	สิงหนคร
25	H1158	672150	799730	สิงหนคร
26	H1204	664124	781690	คลองแห
27	H1242	670100	797250	สิงหนคร
28	H1243	668070	802700	สิงหนคร
29	H1246	665887	788370	คูเต่า
30	H1259	667750	803750	สิงหนคร

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
31	H1261	666290	805900	สิงหนคร
32	H1262	663220	802140	สิงหนคร
33	H1293	660400	781500	บ้านหาร
34	I	656550	802315	ควนโส
35	J	658070	801766	ควนโส
36	K	653638	793030	รัตภูมิ
37	L	652540	792988	รัตภูมิ
38	M	649628	791000	รัตภูมิ
39	N	648600	790725	รัตภูมิ
40	NA1	648208	769963	คลองหอยโข่ง
41	NA10	649553	764558	คลองหอยโข่ง
42	NA100	665756	782843	คูเต่า
43	NA101	666388	781950	คูเต่า
44	NA102	667128	780774	คูเต่า
45	NA103	666758	782865	คูเต่า
46	NA104	666366	784063	คูเต่า
47	NA105	666780	785239	คูเต่า
48	NA106	667128	787025	คูเต่า
49	NA107	667107	788593	คูเต่า
50	NA108	667869	787896	คูเต่า
51	NA109	667499	785805	คูเต่า
52	NA11	657046	770531	ควนลัง
53	NA110	667455	784629	คูเต่า
54	NA111	668479	788549	คูเต่า
55	NA112	657366	801169	ควนโส
56	NA113	654196	802627	ควนโส
57	NA114	654886	801779	ควนโส
58	NA115	656252	801447	ควนโส
59	NA116	653865	801129	ควนโส
60	NA117	655589	800903	ควนโส

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันตก	เขตน้ำบาดาลย่อย
61	NA118	654528	800240	ควนโส
62	NA119	653454	800214	ควนโส
63	NA12	658063	770213	ควนลัง
64	NA120	654196	799312	ควนโส
65	NA121	653440	798490	ควนโส
66	NA122	653096	799352	ควนโส
67	NA123	652101	799034	ควนโส
68	NA124	650961	799047	ควนโส
69	NA125	652448	757900	โคกม่วง
70	NA126	656240	766327	โคกม่วง
71	NA127	654898	766016	โคกม่วง
72	NA128	655590	765450	โคกม่วง
73	NA129	656650	764857	โคกม่วง
74	NA13	655923	769980	ควนลัง
75	NA130	655265	764574	โคกม่วง
76	NA131	655972	764235	โคกม่วง
77	NA132	656608	763910	โคกม่วง
78	NA133	657357	763062	โคกม่วง
79	NA134	656268	762723	โคกม่วง
80	NA135	655251	762468	โคกม่วง
81	NA136	654855	761211	โคกม่วง
82	NA137	655566	760646	โคกม่วง
83	NA138	656293	760050	โคกม่วง
84	NA139	655901	759136	โคกม่วง
85	NA14	655181	769048	ควนลัง
86	NA140	656666	758484	โคกม่วง
87	NA141	655193	758260	โคกม่วง
88	NA142	653814	758875	โคกม่วง
89	NA143	657299	757943	โคกม่วง
90	NA144	653814	757925	โคกม่วง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
91	NA145	659719	790050	บางกล้า
92	NA146	660437	789483	บางกล้า
93	NA147	660456	787913	บางกล้า
94	NA148	658736	788216	บางกล้า
95	NA149	659454	787932	บางกล้า
96	NA15	657279	767268	ควนล้ง
97	NA150	658036	787667	บางกล้า
98	NA151	657733	786722	บางกล้า
99	NA152	658357	786079	บางกล้า
100	NA153	657658	785795	บางกล้า
101	NA154	658717	784944	บางกล้า
102	NA155	657677	784944	บางกล้า
103	NA156	654159	783469	บางกล้า
104	NA157	655256	784018	บางกล้า
105	NA158	656674	783186	บางกล้า
106	NA159	656277	784339	บางกล้า
107	NA16	657321	760323	ควนล้ง
108	NA160	656977	784661	บางกล้า
109	NA161	658320	784301	บางกล้า
110	NA162	655893	794243	บางเหริยง
111	NA163	655584	793655	บางเหริยง
112	NA164	654562	782696	บางเหริยง
113	NA165	656280	792108	บางเหริยง
114	NA166	654114	791876	บางเหริยง
115	NA167	656666	791266	บางเหริยง
116	NA168	654795	791211	บางเหริยง
117	NA169	658043	790654	บางเหริยง
118	NA17	654863	770891	ควนล้ง
119	NA170	657022	790344	บางเหริยง
120	NA171	655877	790623	บางเหริยง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
121	NA172	653139	790298	บางเหริยง
122	NA173	653835	789772	บางเหริยง
123	NA174	654207	790654	บางเหริยง
124	NA175	654872	790035	บางเหริยง
125	NA176	655630	789725	บางเหริยง
126	NA177	654485	789107	บางเหริยง
127	NA178	651724	791209	บางเหริยง
128	NA179	655942	788863	บางเหริยง
129	NA18	656304	771802	ควนล้ง
130	NA180	653428	788593	บางเหริยง
131	NA181	655251	788205	บางเหริยง
132	NA182	656280	787901	บางเหริยง
133	NA183	655166	787294	บางเหริยง
134	NA184	653816	787581	บางเหริยง
135	NA185	655909	786484	บางเหริยง
136	NA186	654188	786450	บางเหริยง
137	NA187	654912	785809	บางเหริยง
138	NA188	653499	785243	บางเหริยง
139	NA189	652753	787017	บางเหริยง
140	NA19	658699	767586	ควนล้ง
141	NA190	652419	785911	บางเหริยง
142	NA191	652085	784652	บางเหริยง
143	NA192	653092	797811	รัตภูมิ
144	NA193	653092	796931	รัตภูมิ
145	NA194	652074	796352	รัตภูมิ
146	NA195	655245	795125	รัตภูมิ
147	NA196	653833	794871	รัตภูมิ
148	NA197	652745	795449	รัตภูมิ
149	NA198	653092	793968	รัตภูมิ
150	NA199	651726	791838	รัตภูมิ

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันตก	เขตน้ำบาดาลย่อย
151	NA2	649949	770227	คลองหอยโข่ง
152	NA20	658063	768454	ควนลัง
153	NA200	652074	794778	รัตภูมิ
154	NA201	654180	793644	รัตภูมิ
155	NA202	652814	792116	รัตภูมิ
156	NA203	658431	765128	ทุ่งลาน
157	NA204	659427	764815	ทุ่งลาน
158	NA205	657351	764161	ทุ่งลาน
159	NA206	660109	763962	ทุ่งลาน
160	NA207	658773	764247	ทุ่งลาน
161	NA208	660536	760322	ทุ่งลาน
162	NA209	659057	762455	ทุ่งลาน
163	NA21	659440	768454	ควนลัง
164	NA210	657749	760294	ทุ่งลาน
165	NA211	659398	759412	ทุ่งลาน
166	NA212	660109	758502	ทุ่งลาน
167	NA213	658374	758844	ทุ่งลาน
168	NA214	659114	757962	ทุ่งลาน
169	NA215	661531	757621	ทุ่งลาน
170	NA216	660223	757336	ทุ่งลาน
171	NA217	658318	756995	ทุ่งลาน
172	NA218	659398	756483	ทุ่งลาน
173	NA219	660877	756398	ทุ่งลาน
174	NA22	660797	772671	ควนลัง
175	NA220	660138	755516	ทุ่งลาน
176	NA221	659483	754606	ทุ่งลาน
177	NA222	660848	754294	ทุ่งลาน
178	NA223	659398	760976	ทุ่งลาน
179	NA224	659483	763365	ทุ่งลาน
180	NA225	656955	782224	ท่าช้าง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
181	Na226	656293	781316	ท่าช้าง
182	NA227	657347	781095	ท่าช้าง
183	NA228	654184	782837	ท่าช้าง
184	NA229	655999	780335	ท่าช้าง
185	NA23	659779	772311	ควนลัง
186	NA230	656661	779624	ท่าช้าง
187	NA231	657372	778643	ท่าช้าง
188	NA232	656268	777760	ท่าช้าง
189	NA233	654478	779845	ท่าช้าง
190	NA234	653472	781022	ท่าช้าง
191	NA235	652835	782518	ท่าช้าง
192	NA236	652099	781610	ท่าช้าง
193	NA237	657004	776902	ท่าช้าง
194	NA238	657666	777686	ท่าช้าง
195	NA239	657323	775675	ท่าช้าง
196	NA24	658741	771442	ควนลัง
197	NA240	658745	779550	ท่าช้าง
198	NA241	654502	778888	ท่าช้าง
199	NA242	652810	779894	ท่าช้าง
200	NA243	651339	780139	ท่าช้าง
201	NA244	652761	778594	ท่าช้าง
202	NA245	655287	777147	ท่าช้าง
203	NA246	655263	775994	ท่าช้าง
204	NA247	653889	776534	ท่าช้าง
205	NA248	654184	775111	ท่าช้าง
206	NA249	652244	777392	ท่าช้าง
207	NA25	660775	770234	ควนลัง
208	NA250	652761	775896	ท่าช้าง
209	NA251	652737	774449	ท่าช้าง
210	NA252	652658	773787	ท่าช้าง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
211	NA253	651412	775626	ท่าช้าง
212	NA254	651412	778937	ท่าช้าง
213	NA255	651290	777784	ท่าช้าง
214	NA256	650995	776828	ท่าช้าง
215	NA257	650284	773272	ท่าช้าง
216	NA258	649592	775911	ท่าช้าง
217	NA259	650630	774747	ท่าช้าง
218	NA26	659123	769620	ควนลัง
219	NA260	669948	800865	สิงหนคร
220	NA261	665033	802660	สิงหนคร
221	NA262	666092	803838	สิงหนคร
222	NA263	663591	804073	สิงหนคร
223	NA264	660236	802337	สิงหนคร
224	NA265	658705	803249	สิงหนคร
225	NA266	661442	803543	สิงหนคร
226	NA267	662531	805397	สิงหนคร
227	NA268	659176	804750	สิงหนคร
228	NA269	656969	804073	สิงหนคร
229	NA27	653401	771781	ควนลัง
230	NA270	655203	803838	สิงหนคร
231	NA271	655497	805074	สิงหนคร
232	NA272	656969	805603	สิงหนคร
233	NA273	659853	806163	สิงหนคร
234	NA274	661531	806869	สิงหนคร
235	NA275	662237	808282	สิงหนคร
236	NA276	658053	806604	สิงหนคร
237	NA277	657734	808311	สิงหนคร
238	NA278	656321	807340	สิงหนคร
239	NA279	654556	806545	สิงหนคร
240	NA28	656940	773307	ควนลัง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
241	NA280	653790	805309	สิงหนคร
242	NA281	653202	803955	สิงหนคร
243	NA282	653783	802324	สิงหนคร
244	NA283	651665	801115	สิงหนคร
245	NA284	661859	770848	บ้านพรุ
246	NA285	662565	769960	บ้านพรุ
247	NA286	661199	769004	บ้านพรุ
248	NA287	662201	769072	บ้านพรุ
249	NA288	663589	769345	บ้านพรุ
250	NA289	663020	768412	บ้านพรุ
251	NA29	662265	771732	คองหงส์
252	NA290	664295	786390	บ้านพรุ
253	NA291	664977	769619	บ้านพรุ
254	NA292	664977	766637	บ้านพรุ
255	NA293	663657	767548	บ้านพรุ
256	NA294	661495	768116	บ้านพรุ
257	NA295	660084	767252	บ้านพรุ
258	NA296	661154	766910	บ้านพรุ
259	NA297	658059	766068	บ้านพรุ
260	NA298	660517	766045	บ้านพรุ
261	NA299	661564	766045	บ้านพรุ
262	NA3	650740	769337	คลองหอยโข่ง
263	NA30	663242	771462	คองหงส์
264	NA300	660904	764816	บ้านพรุ
265	NA301	661564	764179	บ้านพรุ
266	NA302	663680	765203	บ้านพรุ
267	NA303	663339	763678	บ้านพรุ
268	NA304	663589	762176	บ้านพรุ
269	NA305	664340	764293	บ้านพรุ
270	NA306	664295	765681	บ้านพรุ

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
271	NA307	665046	767866	บ้านพรุ
272	NA308	664044	763087	บ้านพรุ
273	NA309	665835	761763	บ้านพรุ
274	NA31	664698	771212	คองหงส์
275	NA310	665807	760297	บ้านพรุ
276	NA311	665724	758775	บ้านพรุ
277	NA312	664258	760020	บ้านพรุ
278	NA313	663677	759107	บ้านพรุ
279	NA314	661879	759660	บ้านพรุ
280	NA315	662294	758554	บ้านพรุ
281	NA316	662294	756811	บ้านพรุ
282	NA317	663345	757613	บ้านพรุ
283	NA318	664396	758250	บ้านพรุ
284	NA319	662930	755787	บ้านพรุ
285	NA32	665363	772065	คองหงส์
286	NA320	661630	755179	บ้านพรุ
287	NA321	662543	754266	บ้านพรุ
288	NA322	665780	755538	บ้านพรุ
289	NA323	664313	755843	บ้านพรุ
290	NA324	664341	757032	บ้านพรุ
291	NA325	665420	757337	บ้านพรุ
292	NA326	653856	770221	ควนล้ง
293	NA327	654550	768136	ควนล้ง
294	NA328	655583	767592	ควนล้ง
295	NA329	660146	771159	ควนล้ง
296	NA33	665717	773250	คองหงส์
297	NA330	655977	772962	ควนล้ง
298	NA331	657423	771479	ควนล้ง
299	NA332	651415	770277	ควนล้ง
300	NA333	655912	771140	ควนล้ง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
301	NA334	654228	769317	ควนล้ง
302	NA335	660172	769416	ควนล้ง
303	NA336	659083	770565	ควนล้ง
304	NA337	653435	773240	ควนล้ง
305	NA338	652365	771754	ควนล้ง
306	NA339	661178	771731	ควนล้ง
307	NA34	666050	771399	คองหงส์
308	NA340	653430	770933	ควนล้ง
309	NA341	660557	776596	หาดใหญ่
310	NA342	660503	775346	หาดใหญ่
311	NA343	658396	773507	หาดใหญ่
312	NA344	659432	773507	หาดใหญ่
313	NA345	661110	774757	หาดใหญ่
314	NA346	661217	775917	หาดใหญ่
315	NA347	665359	775988	หาดใหญ่
316	NA348	662164	772918	หาดใหญ่
317	NA349	663574	777185	หาดใหญ่
318	NA35	666112	774165	คองหงส์
319	NA350	665020	775042	หาดใหญ่
320	NA36	666403	775330	คองหงส์
321	NA37	666798	776578	คองหงส์
322	NA38	666403	770526	คองหงส์
323	NA39	666466	772335	คองหงส์
324	NA4	649256	768447	คลองหอยโข่ง
325	NA40	665093	776911	คองหงส์
326	NA41	666757	778928	คองหงส์
327	NA42	667131	771483	คองหงส์
328	NA43	666736	774748	คองหงส์
329	NA44	665031	772959	คองหงส์
330	NA45	665384	777763	คองหงส์

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดวันเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
331	NA46	662868	772377	คอหงส์
332	NA47	666403	773625	คอหงส์
333	NA48	663991	771462	คอหงส์
334	NA49	661532	777100	คลองแห
335	NA5	653475	761558	คลองหอยโข่ง
336	NA50	662224	777758	คลองแห
337	NA51	661819	778686	คลองแห
338	NA52	661498	779884	คลองแห
339	NA53	662527	781386	คลองแห
340	NA54	663607	779597	คลองแห
341	NA55	664654	779513	คลองแห
342	NA56	665379	780171	คลองแห
343	NA57	665025	781622	คลองแห
344	NA58	665717	781065	คลองแห
345	NA59	666341	780154	คลองแห
346	NA6	650674	767821	คลองหอยโข่ง
347	NA60	664654	782314	คลองแห
348	NA61	659743	780176	คลองอู่ตะเภา
349	NA62	659817	777707	คลองอู่ตะเภา
350	NA63	660141	778659	คลองอู่ตะเภา
351	NA64	660095	779242	คลองอู่ตะเภา
352	NA65	659485	778336	คลองอู่ตะเภา
353	NA66	659068	783169	บ้านหาร
354	NA67	658765	781342	บ้านหาร
355	NA68	659357	781920	บ้านหาร
356	NA69	659751	782840	บ้านหาร
357	NA7	651102	766601	คลองหอยโข่ง
358	NA70	659725	781013	บ้านหาร
359	NA71	661171	782222	บ้านหาร
360	NA72	660842	783419	บ้านหาร

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันออก	เขตน้ำบาดาลย่อย
361	NA73	661526	782840	บ้านหาร
362	NA74	659800	786727	แม่ทอม
363	NA75	660462	787050	แม่ทอม
364	NA76	660094	784637	แม่ทอม
365	NA77	660168	785888	แม่ทอม
366	NA78	660786	784049	แม่ทอม
367	NA79	661860	785241	แม่ทอม
368	NA8	652783	765415	คลองหอยโข่ง
369	NA80	661875	784343	แม่ทอม
370	NA81	662258	783195	แม่ทอม
371	NA82	661522	783740	แม่ทอม
372	NA83	662185	788832	คูเต่า
373	NA84	661161	787393	คูเต่า
374	NA85	663230	789159	คูเต่า
375	NA86	662577	787939	คูเต่า
376	NA87	663644	787613	คูเต่า
377	NA88	663666	786154	คูเต่า
378	NA89	664297	787068	คูเต่า
379	NA9	650014	765975	คลองหอยโข่ง
380	NA90	663927	785261	คูเต่า
381	NA91	664319	784390	คูเต่า
382	NA92	665081	785566	คูเต่า
383	NA93	665386	786763	คูเต่า
384	NA94	664689	783148	คูเต่า
385	NA95	665386	784019	คูเต่า
386	NA96	665016	787939	คูเต่า
387	NA97	666039	787373	คูเต่า
388	NA98	666431	786154	คูเต่า
389	NA99	665822	785021	คูเต่า
390	O	649280	792109	รัตภูมิ

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันออก	เขตน้ำบาดาลย่อย
391	P	649882	792482	รัตภูมิ
392	PIBK63	655827	782639	ท่าช้าง
393	PIBK64	660241	782290	บ้านหาร
394	PIBK65	654225	777656	ท่าช้าง
395	PIBK66	654163	777817	ท่าช้าง
396	PIBK67	659589	776470	ท่าช้าง
397	PIBK68	658600	775700	ท่าช้าง
398	PIBK69	657705	774350	ท่าช้าง
399	PIBK70	650894	781463	ท่าช้าง
400	PIBK71	653990	778182	ท่าช้าง
401	PIHY1	663203	775518	หาดใหญ่
402	PIHY10	664165	772567	หาดใหญ่
403	PIHY11	666200	777800	หาดใหญ่
404	PIHY12	665209	770697	คลองหอยโข่ง
405	PIHY13	664049	772173	คลองแห
406	PIHY14	664350	775440	หาดใหญ่
407	PIHY15	661483	773913	หาดใหญ่
408	PIHY16	663332	775778	หาดใหญ่
409	PIHY17	665928	788346	คูเต่า
410	PIHY19	647279	771349	คลองหอยโข่ง
411	PIHY2	664224	778733	คลองแห
412	PIHY20	648222	769016	คลองหอยโข่ง
413	PIHY21	669681	780823	คูเต่า
414	PIHY22	664960	770637	บ้านพรุ
415	PIHY23	662544	767167	บ้านพรุ
416	PIHY24	662500	765300	บ้านพรุ
417	PIHY25	662779	760773	บ้านพรุ
418	PIHY26	663250	766477	บ้านพรุ
419	PIHY27	662017	762215	บ้านพรุ
420	PIHY28	662500	764700	บ้านพรุ

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันออก	เขตน้ำบาดาลย่อย
421	PIHY29	662483	763084	บ้านพรุ
422	PIHY3	662900	776500	หาดใหญ่
423	PIHY30	663585	770391	บ้านพรุ
424	PIHY37	664315	775187	หาดใหญ่
425	PIHY38	664172	774155	หาดใหญ่
426	PIHY39	663350	775100	หาดใหญ่
427	PIHY4	659012	774012	ควนลัง
428	PIHY40	663227	773985	หาดใหญ่
429	PIHY41	661900	774750	หาดใหญ่
430	PIHY42	662900	773530	หาดใหญ่
431	PIHY43	663997	773014	หาดใหญ่
432	PIHY44	664306	774446	หาดใหญ่
433	PIHY45	662643	774091	หาดใหญ่
434	PIHY46	662676	774518	หาดใหญ่
435	PIHY47	662216	773851	หาดใหญ่
436	PIHY48	662840	774346	หาดใหญ่
437	PIHY49	663010	773791	หาดใหญ่
438	PIHY5	656555	768354	ควนลัง
439	PIHY50	664081	775705	หาดใหญ่
440	PIHY51	662332	775778	หาดใหญ่
441	PIHY52	663800	774100	หาดใหญ่
442	PIHY53	663758	773706	หาดใหญ่
443	PIHY54	662030	773620	หาดใหญ่
444	PIHY55	662742	773836	หาดใหญ่
445	PIHY56	663590	773573	หาดใหญ่
446	PIHY57	663695	774757	หาดใหญ่
447	PIHY58	662212	774416	หาดใหญ่
448	PIHY59	663255	774775	หาดใหญ่
449	PIHY6	658189	772390	ควนลัง
450	PIHY60	662880	774040	หาดใหญ่

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันออก	เขตน้ำบาดาลย่อย
451	PIHY7	660152	773831	ควนลั้ง
452	PIHY8	666981	773052	คอหงส์
453	PIHY9	665844	778245	คอหงส์
454	PIKH61	653500	766500	คลองหอยโข่ง
455	PIKH62	656851	765680	บ้านพรุ
456	PV100	651200	758400	คลองหอยโข่ง
457	PV101	651300	772700	ท่าช้าง
458	PV102	651900	759500	คลองหอยโข่ง
459	PV103	652500	772700	ท่าช้าง
460	PV104	652500	790700	บางเหรียญ
461	PV105	653400	769400	คลองหอยโข่ง
462	PV106	653500	763800	คลองหอยโข่ง
463	PV107	653500	791300	บางเหรียญ
464	PV108	654900	781600	ท่าช้าง
465	PV109	655000	772500	ควนลั้ง
466	PV11	650700	762300	คลองหอยโข่ง
467	PV110	655800	761600	โคกม่วง
468	PV111	656900	789600	บางเหรียญ
469	PV112	657000	786700	บางกล้า
470	PV113	657300	759500	โคกม่วง
471	PV114	657300	774500	ท่าช้าง
472	PV115	657400	789500	บางเหรียญ
473	PV116	657500	759200	โคกม่วง
474	PV117	657500	783700	บางกล้า
475	PV118	657500	788200	บางเหรียญ
476	PV12	650700	786200	บางเหรียญ
477	PV120	658500	776500	ท่าช้าง
478	PV121	658800	777300	ท่าช้าง
479	PV122	659200	766000	บ้านพรุ
480	PV123	660000	762400	ทุ่งลาน

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันตก	เขตน้ำบาดาลย่อย
481	PV124	661200	758600	ทุ่งลาน
482	PV125	662000	787500	คูเต่า
483	PV126	663000	785000	คูเต่า
484	PV128	664300	788300	คูเต่า
485	PV129	664500	777500	คองหงส์
486	PV13	650800	761400	คลองหอยโข่ง
487	PV132	660700	780500	บ้านหาร
488	PV15	651400	764100	คลองหอยโข่ง
489	PV16	652000	768000	คลองหอยโข่ง
490	PV17	652200	762200	คลองหอยโข่ง
491	PV18	652500	763400	คลองหอยโข่ง
492	PV19	652500	763800	คลองหอยโข่ง
493	PV23	654600	765050	โคกม่วง
494	PV24	654700	760200	โคกม่วง
495	PV25	655000	759500	โคกม่วง
496	PV26	655000	781000	ท่าช้าง
497	PV28	655300	774500	ท่าช้าง
498	PV29	655700	791700	บางเหริยง
499	PV30	655700	792500	บางเหริยง
500	PV31	655800	779000	ท่าช้าง
501	PV32	656200	775200	ท่าช้าง
502	PV35	656500	761000	โคกม่วง
503	PV36	656500	785500	บางกล้า
504	PV38	657100	787100	บางเหริยง
505	PV39	657200	762000	โคกม่วง
506	PV41	658000	779800	ท่าช้าง
507	PV42	658100	782500	ท่าช้าง
508	PV43	658300	761800	ทุ่งลาน
509	PV45	658500	789500	บางเหริยง
510	PV46	658600	778500	ท่าช้าง

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดตะวันออก	เขตน้ำบาดาลย่อย
511	PV47	658700	761300	ทุ่งลาน
512	PV48	658700	763500	ทุ่งลาน
513	PV49	658850	760260	ทุ่งลาน
514	PV50	658900	787000	บางกล้า
515	PV52	659000	774700	ควนลั้ง
516	PV53	659300	783800	แม่ทอม
517	PV54	659300	785300	แม่ทอม
518	PV57	660200	761300	ทุ่งลาน
519	PV58	660400	779700	คลองอุตะเกา
520	PV59	660400	782500	บ้านหาร
521	PV61	660700	779300	คลองแห
522	PV63	660800	779500	คลองแห
523	PV64	660800	781300	บ้านหาร
524	PV65	661000	785500	แม่ทอม
525	PV66	661000	788900	คูเต่า
526	PV68	661200	784800	แม่ทอม
527	PV69	661300	785000	แม่ทอม
528	PV7	649000	773500	ท่าช้าง
529	PV72	662000	761000	บ้านพรุ
530	PV73	662000	781500	บ้านหาร
531	PV74	662200	790200	คูเต่า
532	PV75	662500	785600	คูเต่า
533	PV76	662500	786600	คูเต่า
534	PV77	662600	784000	แม่ทอม
535	PV78	662800	784400	คูเต่า
536	PV79	663000	782600	แม่ทอม
537	PV8	649500	787200	บางเหรียญ
538	PV81	663400	782100	คลองแห
539	PV82	663500	783000	คูเต่า
540	PV83	663500	783500	คูเต่า

ตารางที่ ๓ ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ใช้ในการจำลองการสูบน้ำเพื่อประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	เขตน้ำบาดาลย่อย
541	PV84	664000	782400	คลองแห
542	PV85	664400	761200	บ้านพรุ
543	PV86	664600	778800	คลองแห
544	PV87	664700	780700	คลองแห
545	PV9	649700	762300	คลองหอยโข่ง
546	PV90	665100	762300	บ้านพรุ
547	PV95	645200	769900	คลองหอยโข่ง
548	PV97	647500	769000	คลองหอยโข่ง
549	PV98	650000	781000	ท่าช้าง
550	PV99	650400	757700	คลองหอยโข่ง
551	Q	653385	796070	รัตภูมิ
552	R	650556	796448	รัตภูมิ
553	TH0039	662532	780438	คลองแห
554	TH0041	662580	779420	คลองแห
555	TH0042	663997	782341	คลองแห
556	TH0059	672017	796844	สิงหนคร
557	TH0140	655401	763437	โคกม่วง
558	TH0153	654200	784500	บางเหริยง
559	TH0154	652863	789527	บางเหริยง
560	TH0193	669221	799168	สิงหนคร
561	TH0194	667622	802127	สิงหนคร
562	TH0198	669823	799005	สิงหนคร
563	TH0255	663456	780783	คลองแห
564	TH0256	654654	763349	คลองหอยโข่ง
565	TH0264	671705	799730	สิงหนคร
566	TH0265	668500	798700	สิงหนคร
567	TH0296	646800	770700	คลองหอยโข่ง
568	TH0324	650500	771500	คลองหอยโข่ง
569	TH0351	652500	770700	ควนลัง
570	TH0352	651408	771703	ควนลัง
571	TH0353	659298	777053	ท่าช้าง

ภาคผนวก จ

ข้อมูลคุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ

ตารางที่ จ-1 คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำจากการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยว (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Time-Drawdown*		Recovery Test**		Average	
		T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)
1	H0041	0.487	3.38E-04	0.495	3.44E-04	0.491	3.41E-04
2	H0042	0.31	2.15E-04	0.191	1.33E-04	0.251	1.74E-04
3	H0013	0.279	3.88E-04	0.435	6.04E-04	0.357	4.96E-04
4	H0124	1.028	9.56E-04	0.055	5.05E-05	0.541	5.03E-04
5	H0141	0.168	3.11E-04	0.121	2.24E-04	0.145	2.68E-04
6	H0293	0.224	3.11E-04	0.231	3.21E-04	0.227	3.16E-04
7	H0294	0.019	2.06E-05	0.126	1.75E-04	0.072	9.78E-05
8	H0320	0.080	2.22E-04	0.160	4.44E-04	0.120	3.33E-04
9	H0462	0.012	3.41E-05	0.003	7.64E-06	0.008	2.08E-05
10	H0487	0.141	1.56E-04	0.035	3.91E-05	0.088	9.77E-05
11	H0490	0.048	8.80E-05	0.032	5.90E-05	0.040	7.35E-05
12	H0955	0.134	3.73E-04	0.200	5.56E-04	0.167	4.64E-04
13	H0965	0.143	3.97E-04	0.101	2.81E-04	0.122	3.39E-04
14	H1039	0.498	1.38E-03	-	-	0.498	1.38E-03
15	H1040	0.129	3.58E-04	-	-	0.129	3.58E-04
16	H1167	0.015	2.07E-05	0.010	1.32E-05	0.012	1.70E-05
17	H1202	0.195	1.09E-03	0.031	1.70E-04	0.113	6.28E-04
18	H1204	1.201	3.34E-03	5.521	1.53E-02	3.361	9.31E-03
19	H1224	0.004	7.64E-06	0.004	7.29E-06	0.004	7.41E-06
20	TH0039	0.290	1.61E-03	0.305	1.69E-03	0.298	1.65E-03
21	TH0040	0.273	7.58E-04	0.299	8.31E-04	0.286	7.94E-04
22	TH0041	0.247	6.86E-04	0.262	7.28E-04	0.255	7.12E-04
23	TH0042	0.363	1.01E-03	0.093	2.57E-04	0.228	6.33E-04
24	TH0045	0.474	1.55E-04	0.535	1.75E-04	0.505	1.65E-04
25	TH0046	0.017	4.65E-05	0.675	1.88E-03	0.346	9.61E-04
26	TH0052	0.053	2.54E-04	0.100	4.76E-04	0.077	3.65E-04

ตารางที่ จ-1 คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำจากการสุบทดสอบแบบบ่อเดี่ยว (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546) (ต่อ)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Time-Drawdown*		Recovery Test**		Average	
		T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)
27	TH0057	0.254	7.06E-04	0.227	6.31E-04	0.241	6.68E-04
28	TH0091	0.156	2.18E-04	0.771	1.08E-03	0.464	6.46E-04
29	TH0112	0.005	6.83E-06	0.002	3.01E-06	0.004	4.86E-06
30	TH0352	0.058	1.20E-04	0.065	1.36E-04	0.061	1.28E-04
31	TH0353	0.193	4.02E-04	0.185	3.85E-04	0.189	3.94E-04
32	TH0367	0.146	2.43E-04	0.251	4.18E-04	0.199	3.31E-04
33	H0035	0.030	2.22E-05	0.058	4.36E-05	0.044	3.30E-05
34	H0039	0.002	9.26E-07	0.001	8.10E-07	0.002	9.26E-07
35	H0094	0.152	1.06E-04	0.124	8.61E-05	0.138	9.58E-05
36	H0142	0.267	2.47E-04	0.210	1.94E-04	0.239	2.21E-04
37	H0853	0.009	3.01E-05	0.007	7.52E-06	0.008	1.89E-05
38	H0907	0.033	9.19E-05	0.281	7.81E-04	0.157	4.37E-04
39	H1203	0.400	2.22E-03	-	-	0.400	2.22E-03
40	H1223	0.002	3.82E-06	0.019	3.53E-05	0.011	1.96E-05
41	H1246	0.000	1.74E-06	0.0003	1.16E-07	0.0004	9.26E-07
42	TH0037	0.003	3.94E-06	0.001	1.27E-06	0.002	2.66E-06
43	TH0113	0.001	8.10E-07	0.001	8.10E-07	0.001	8.10E-07
44	TH0183	0.008	9.03E-06	0.022	2.66E-05	0.015	1.78E-05
45	TH0244	0.003	4.05E-06	0.002	3.13E-06	0.003	3.59E-06
46	TH0324	0.004	2.66E-06	0.024	1.63E-05	0.014	9.49E-06
47	TH0410	0.002	4.05E-06	0.001	2.89E-06	0.002	3.47E-06
48	TH0411	0.000	2.31E-07	0.0003	2.31E-07	0.0003	2.31E-07
49	TH0001	0.002	1.97E-06	0.002	1.74E-06	0.002	1.85E-06
50	TH0002	0.004	3.59E-06	0.001	1.16E-06	0.003	2.31E-06

หมายเหตุ

* Cooper & Jacob method

** Theis & Jacob method

ตารางที่ จ-2 คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำจากการสูบน้ำแบบมีบ่อสังเกตการณ์, (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Theis Analysis			Time-Drawdown*		Recovery Test**	
		T (m ² /min)	K (m/sec)	S	T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)
1	TM478	0.013	2.78E-06	-	0.009	1.97E-06	0.023	5.09E-06
	TM479	0.002	9.26E-07	-	0.001	1.85E-06	0.001	4.63E-07
	TM480	0.023	4.98E-06	-	0.013	2.78E-06	0.017	3.70E-06
2	TM481	0.127	2.65E-04	-	0.889	1.85E-03	0.833	1.74E-03
	TM483	0.343	9.53E-04	1.31E-6	0.649	1.79E-03	0.567	1.57E-03
	TM482	0.191	1.05E-04	-	0.881	7.73E-04	0.474	4.15E-04
3	RCT216	0.001	6.94E-07	-	0.0001	2.28E-05	0.002	5.09E-06
	RCT217	0.001	1.39E-06	-	0.001	1.04E-06	0.002	4.05E-06
	RCT218	0.001	4.17E-06	-	0.002	6.25E-06	0.002	4.86E-06
	RCT219	0.002	4.86E-06	2.84E-5	0.001	4.17E-06	0.002	5.09E-06
4	TH445	0.006	4.05E-06	-	0.004	2.78E-06	0.004	2.78E-06
	TH446	0.094	1.97E-04	-	0.068	1.41E-04	0.275	5.73E-04
	TH447	0.147	2.44E-04	-	0.281	4.68E-04	0.297	4.94E-04
	TH448	0.312	8.66E-04	5.95E-2	0.310	8.61E-04	0.301	8.36E-04
5	TH441	0.000	4.63E-08	-	0.002	1.85E-06	0.001	8.10E-07
	TH442	0.001	2.43E-06	3.56E-4	0.002	5.56E-06	0.001	1.62E-06
6	TQ402	0.021	8.91E-06	-	0.044	1.82E-05	0.181	7.52E-05
	TQ403	0.111	2.47E-05	-	0.472	1.05E-04	0.343	7.63E-05
	TQ404	0.178	3.96E-05	-	0.173	3.84E-05	0.189	4.19E-05
	TQ405	0.269	1.12E-04	-	0.133	5.56E-05	0.172	7.18E-05
7	TH0120	0.043	1.18E-04	1.35E-3	0.124	3.44E-04	0.201	3.72E-04
		0.116	2.14E-04	4.94E-2	0.144	2.67E-04	1.076	2.00E-03

หมายเหตุ: S คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity)

* Cooper & Jacob method

** Theis & Jacob method

ตารางที่ จ-2 คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำจากการสูบทดสอบแบบมีบ่อสังเกตการณ์, (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2546) (ต่อ)

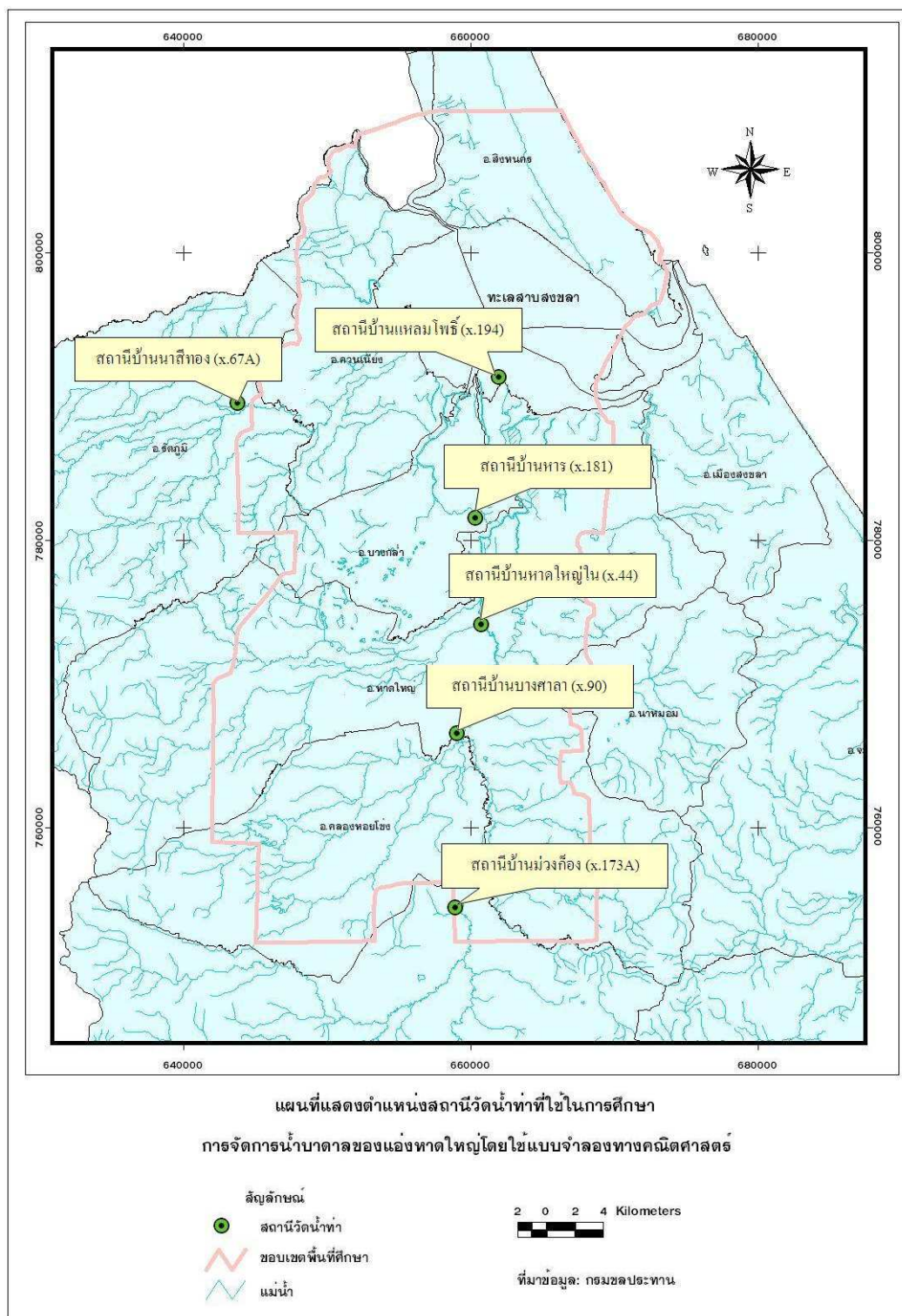
ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Theis Analysis			Time-Drawdown*		Recovery Test**	
		T (m ² /min)	K (m/sec)	S	T (m ² /min)	K (m/sec)	T (m ² /min)	K (m/sec)
8	TH0045	0.007	9.72E-06	-	0.007	9.84E-06	0.0001	1.04E-06
	TH0039	0.008	4.66E-05	-	0.008	4.18E-05	0.0001	5.79E-07
	TH0255	0.007	2.88E-05	-	0.007	2.74E-05	0.0001	3.47E-07
9	TH0051	0.004	1.06E-05	-	0.005	1.30E-05	0.0001	1.16E-07
	H0485	0.008	1.55E-05	-	0.008	1.49E-05	0.0001	2.31E-07
10	H0589	0.001	1.74E-06	-	0.001	2.20E-06	0.00001	2.31E-08
	H1225	0.001	4.05E-06	-	0.001	4.05E-06	0.00003	6.94E-08
11	PW	0.024	6.70E-05	-	0.061	1.69E-04	0.403	1.12E-03
	OW	0.131	3.62E-04	2.18E-4	0.237	6.59E-04	0.118	3.28E-04

หมายเหตุ: S คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity)

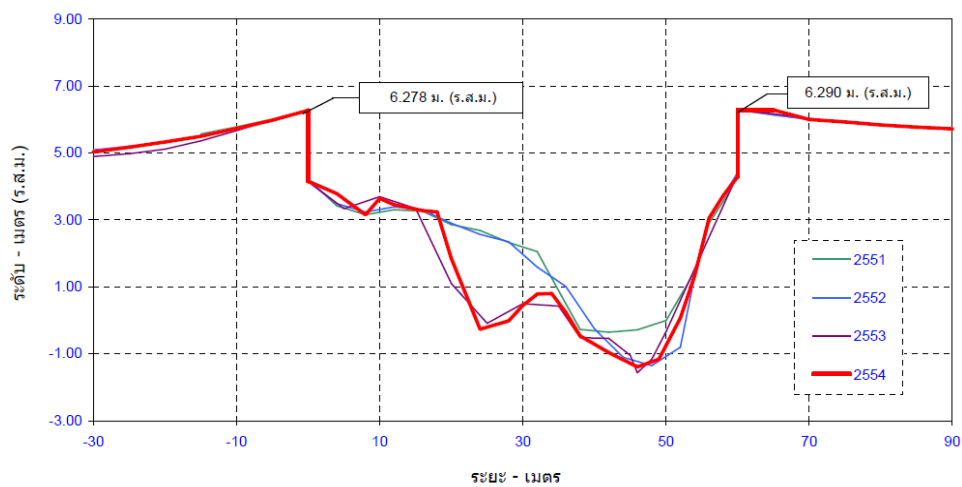
* Cooper & Jacob method

** Theis & Jacob method

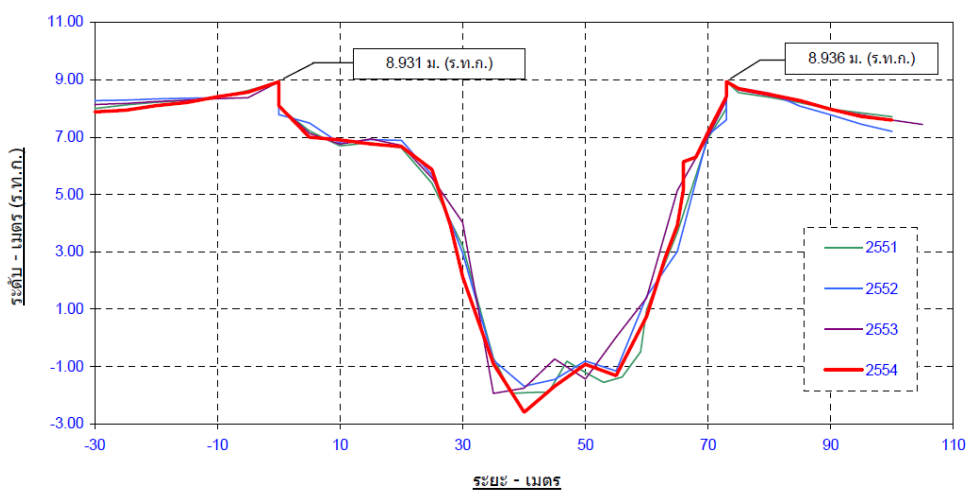
ภาคผนวก จ
ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า



รูปที่ ๑-1 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า



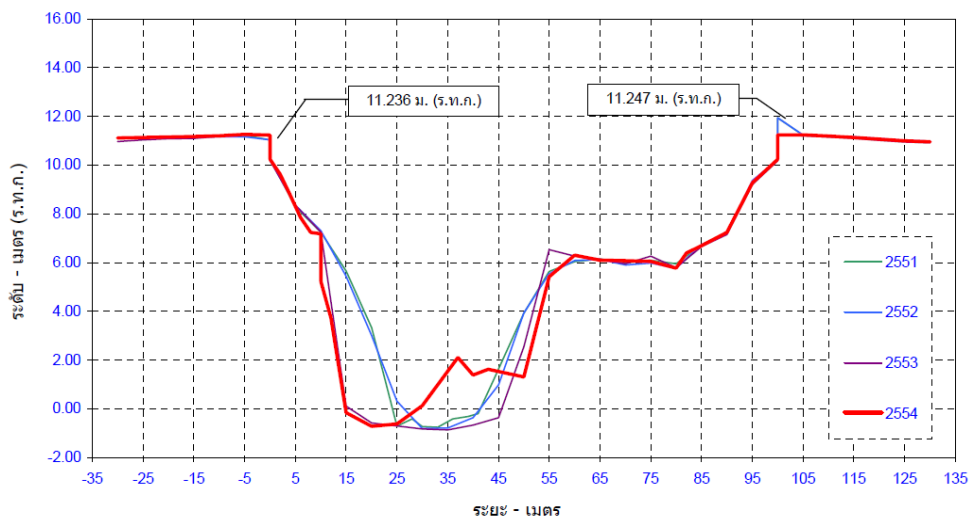
รูปที่ ฉ-2 ภาพตัดขวางของคลองรัตนภูมิ ที่สถานี X.67A สถานีบ้านนาสีทอง อ.รัตนภูมิ จ.สงขลา



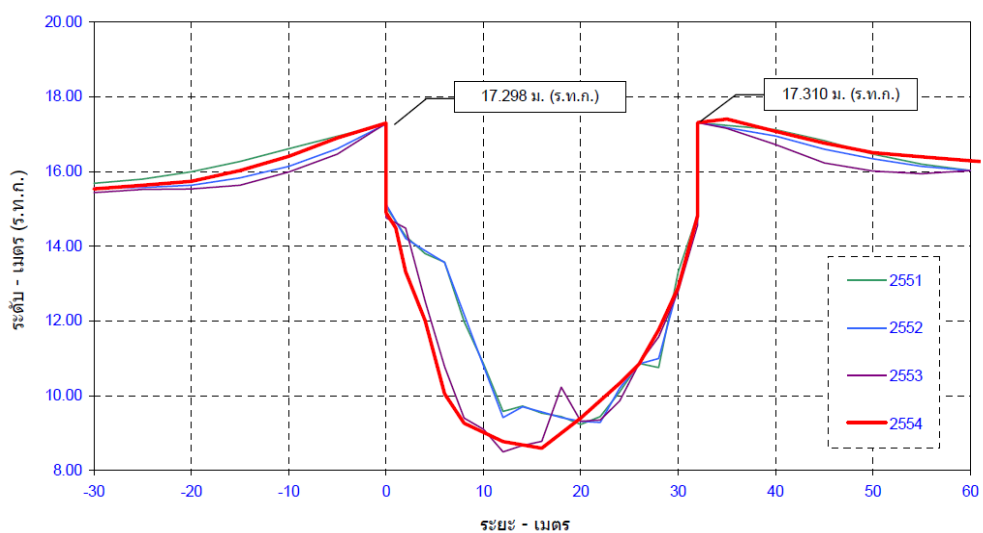
รูปที่ ฉ-3 ภาพตัดขวางของคลองอู่ตะเภา ที่สถานี X.44 สถานีบ้านหาดใหญ่ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา



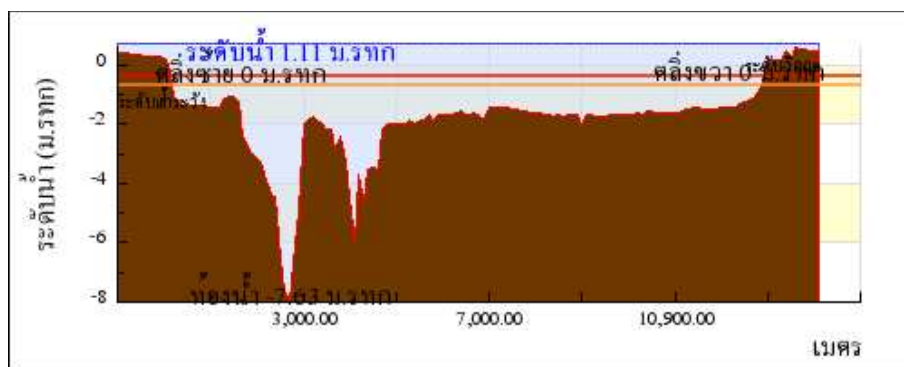
รูปที่ ฉ-4 ภาพตัดขวางของคลองอู่ตะเภา ที่สถานี X.181 สถานีบ้านหาร อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา



รูปที่ ฉ-5 ภาพตัดขวางของคลองอุ้ตะเภา ที่สถานี X.90 สถานีบ้านบางศาลา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา



รูปที่ ฉ-6 ภาพตัดขวางของคลองอุ้ตะเภา ที่สถานี X.173A สถานีบ้านม่วงกึ่ง อ.สะเดา จ.สงขลา



รูปที่ ฉ-7 ภาพตัดขวางของคลองอุ้ตะเภา ที่สถานี X.194 สถานีบ้านแหลมโพธิ์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ภาคผนวก ข

ข้อมูลระดับแรงดันน้ำ และปริมาณคลอรีนที่วัดได้ในสนาม

ตารางที่ ข-1 ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำหาคีใหญ่ที่วัดได้ในสนาม (อรุณ, 2552)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	ระดับน้ำจากผิวดิน (เมตร)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	H0292	7	Na.	Na.	7.85
2	H0419	5	Na.	6.85	Na.
3	H0490	Na.	2.4	Na.	Na.
4	H0588	4.7	4.5	4.75	5.45
5	H0788	4.8	0.37	0.6	0.85
6	H1298	Na.	1.82	2.15	2.7
7	TH0042	Na.	Na.	Na.	Na.
8	TH0112	0.8	0.65	Na.	1.6
9	TH0362	2.5	1.6	2.7	3.28
10	TH0183	10.5	9.68	10	9.9
11	H0041	11	Na.	Na.	Na.
12	TH0446	Na.	7.6	Na.	8
13	TQ404	5.8	5.52	5.44	5.8
14	OW-1a	Na.	2.1	2.58	2.6
15	OW-2a	Na.	8.47	10	9.86
16	OW-4a	2.15	3	3.4	2.45
17	OW-5a	2.8	2.5	2.92	2.9
18	OW-6a	6.5	4.37	5.18	5.7
19	GW-2	Na.	5.54	Na.	Na.

หมายเหตุ: Na = เก็บตัวอย่างไม่ได้

ครั้งที่ 1 = สิงหาคม 2550

ครั้งที่ 2 = พฤศจิกายน 2550

ครั้งที่ 3 = กุมภาพันธ์ 2551

ครั้งที่ 4 = พฤษภาคม 2551

ตารางที่ ข-2 ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำที่วัดได้ในสนาม (อรุณ, 2552)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	ระดับน้ำจากผิวดิน (เมตร)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	H0515	4.4	4.1	5.4	Na.
2	H0738	Na.	Na.	5.9	8.85
3	H1203	Na.	Na.	Na.	Na.
4	H0447	5.7	5.85	5.7	Na.
5	TH0447	6	5.85	6.3	6.8
6	TM0482	3	Na.	2.5	3.62
7	OW-1b	2.15	1.93	1.79	2.27
8	OW-2b	8.6	8.75	7.85	8.76
9	OW-3b	Na.	7.57	8.6	10.52
10	OW-4b	Na.	4.07	4.08	4.48
11	OW-6b	Na.	5.88	5.72	6
12	OW-7b	4.3	3.82	2.65	3.9
13	OW-8b	1.05	0.75	10.8	16.75
14	GW-1	Na.	Na.	Na.	Na.

หมายเหตุ: Na = เก็บตัวอย่างไม่ได้

ครั้งที่ 1 = สิงหาคม 2550

ครั้งที่ 2 = พฤศจิกายน 2550

ครั้งที่ 3 = กุมภาพันธ์ 2551

ครั้งที่ 4 = พฤษภาคม 2551

ตารางที่ ข-3 ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำคองส์ที่วัดได้ในสนาม (อรุณ, 2552)

ลำดับที่	หมายเลขบ่อ	ระดับน้ำจากผิวดิน (เมตร)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	TH0265	5.2	4.6	5	4.96
2	TH0002	2.8	2	Na.	Na.
3	TH0445	Na.	7.07	5.7	7.43
4	TQ403	5.8	5.45	5.5	5.76
5	TM0482	3	Na.	2.5	3.5
6	RTC0217	26.5	17.26	23	17
7	OW-1c	2.1	1.85	1.53	1.96
8	OW-2c	8.6	8.46	7.58	8.7
9	OW-3c	7	9	8.75	10.88
10	OW-4c	3.6	3.5	3.5	3.9
11	OW-5c	7	6.75	6.8	7
12	OW-6c	8	6.42	6.3	6.33
13	OW-7c	3.9	3.82	2.02	2.9
14	OW-8c	1	0.76	12.6	22.34

หมายเหตุ: Na = เก็บตัวอย่างไม่ได้

ครั้งที่ 1 = สิงหาคม 2550

ครั้งที่ 2 = พฤศจิกายน 2550

ครั้งที่ 3 = กุมภาพันธ์ 2551

ครั้งที่ 4 = พฤษภาคม 2551

ตารางที่ ๔-4 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ครั้งที่ 1, (สิงหาคม 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0292	28.50	3.18	13.02	Nd.	Nd.	23.40	4.40
2	H0419	30.70	7.10	14.80	Nd.	Nd.	645.00	79.00
3	H0490	29.60	5.93	12.47	Nd.	Nd.	197.00	4.40
4	H0588	26.70	5.05	5.65	Nd.	Nd.	22.6	6.36
5	H0788	26.40	5.31	12.73	Nd.	Nd.	254	4.64
6	H1298	28.80	6.05	15.17	Nd.	Nd.	194	34.73
7	TH0042	28.80	3.50	12.63	Nd.	Nd.	62.4	19.08
8	TH0112	28.80	6.05	9.22	Nd.	Nd.	115	9.29
9	TH0362	26.80	2.82	14.39	Nd.	Nd.	19.5	2.45
10	TH0183	26.10	6.57	13.44	Nd.	Nd.	510	126.7
11	H0042	29.00	4.60	12.51	Nd.	Nd.	187	56.75
12	TH0446	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
13	TQ404	30.00	8.15	10.88	Nd.	Nd.	1614.00	692.23
14	OW-1a	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
15	OW-2a	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
16	OW-4a	27.10	5.34	15.21	Nd.	Nd.	4147.00	Nd.
17	OW-5a	29.00	7.49	10.59	Nd.	Nd.	4856.00	2480.29
18	OW-6a	28.40	8.54	11.54	Nd.	Nd.	257.00	15.41
19	GW-2	31.10	7.31	14.76	Nd.	Nd.	609	34.73
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ๕-5 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ครั้งที่ 2, (พฤศจิกายน 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0292	26.90	4.50	175.60	0.00	36.93	25.00	4.38
2	H0419	29.90	6.42	101.10	0.60	1267.00	862.00	140.36
3	H0490	28.60	6.77	107.20	0.10	284.00	193.00	8.74
4	H0588	27.90	4.81	159.40	0.00	627.76	19	4.38
5	H0788	28.40	6.50	116.50	0.00	137.20	93.3	6.8
6	H1298	28.00	7.78	186.70	0.20	447.10	304	3.89
7	TH0042	29.00	6.19	199.50	0.10	259.80	176	36.91
8	TH0112	28.10	5.51	197.90	0.10	316.80	215	2.91
9	TH0362	27.00	4.57	134.80	0.00	30.97	21	4.86
10	TH0183	28.40	7.06	192.80	0.30	707.80	481	130.65
11	H0042	27.60	5.37	190.50	0.10	303.80	207	66.05
12	TH0446	24.5	5.85	153.5	0	62.71	43	4.86
13	TQ404	29.30	6.95	81.20	1.40	2621.00	1782	713.44
14	OW-1a	29.6	6.82	41.5	0.1	368.2	250	5.83
15	OW-2a	28.2	6.39	101.2	0	131.3	90	2.43
16	OW-4a	27.90	6.38	182.50	0.50	1070.00	728.00	288.00
17	OW-5a	28.10	8.48	125.10	4.00	7268.00	4952	248.66
18	OW-6a	29.00	5.43	145.90	0.00	51.52	35.00	7.77
19	GW-2	30.60	7.72	118.80	0.40	904.50	615	35.94
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ๖-6 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ครั้งที่ 3, (คุณภาพชั้น 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0292	27.00	4.21	23.30	0.00	37.00	25.00	5.79
2	H0419	29.50	6.58	31.90	0.50	1170.00	975.00	125.85
3	H0490	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.
4	H0588	31.40	4.21	57.20	0.00	37.50	25.5	3.38
5	H0788	29.10	6.69	26.40	0.00	129.90	88.3	7.72
6	H1298	28.20	7.23	45.40	0.20	424.00	288	3.38
7	TH0042	30.00	5.91	25.60	0.10	255.00	173	38.09
8	TH0112	27.50	6.42	56.70	0.00	95.50	65	17.36
9	TH0362	26.90	4.55	85.30	0.00	26.50	18	2.41
10	TH0183	23.70	7.69	58.50	0.30	778.00	529	129.21
11	H0042	26.30	5.88	41.40	0.10	310.00	211	60.27
12	TH0446	26.4	5.59	27.2	0	56	38	3.38
13	TQ404	29.70	6.83	26.40	1.40	2782.00	1839	754.20
14	OW-1a	29.2	6.83	18.2	0.1	357	243	3.86
15	OW-2a	20.9	6.43	25.8	0	147.5	100	3.38
16	OW-4a	27.70	5.89	17.80	0.50	1037.00	705.00	239.61
17	OW-5a	29.30	8.21	19.30	4.00	7236.00	4920	2454
18	OW-6a	34.70	5.87	67.20	0.00	78.00	53.00	7.72
19	GW-2	29.70	7.97	65.30	0.40	907.00	616	35.68
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ๗-7 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลใหญ่ครั้งที่ 4, (พฤษภาคม 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0292	27.40	4.40	197.10	0.00	31.50	21.50	5.34
2	H0419	29.60	6.62	16.00	0.50	1160.00	786.00	121.65
3	H0490	28.30	7.40	99.10	0.10	232.00	158.00	7.77
4	H0588	30.50	4.73	50.50	0.00	2595.00	17.6	6.31
5	H0788	29.50	7.21	47.70	0.00	135.00	92	14.57
6	H1298	30.10	7.28	23.30	0.20	434.00	295	6.8
7	TH0042	29.90	6.55	45.20	0.10	250.00	170	35.94
8	TH0112	28.10	5.50	195.90	0.00	70.30	47.8	8.26
9	TH0362	27.10	4.64	166.30	0.00	28.65	19.4	5.58
10	TH0183	28.10	7.56	40.20	0.30	761.50	519	130.4
11	H0042	29.10	5.71	35.20	0.10	280.20	191	55.61
12	TH0446	31	5.79	15.5	0	59	40	5.34
13	TQ404	31.40	7.36	40.10	1.40	2720.00	1845.00	959.19
14	OW-1a	30.3	7.33	13.4	0.1	365	248	5.83
15	OW-2a	28.9	6.89	16.5	0	125	85	5.34
16	OW-4a	28.20	6.37	17.20	3.40	6160.00	4188.00	2112.64
17	OW-5a	30.40	8.03	22.10	3.80	6902.00	4690.00	2598.30
18	OW-6a	31.10	7.06	45.70	0.00	86.75	59.00	10.44
19	GW-2	31.20	7.61	53.40	0.40	840.00	571	33.75
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ๘-8 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำคู่ครั้งที่ 1, (สิงหาคม 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0515	28.70	3.63	13.24	Nd.	Nd.	32.9	8.32
2	H0738	30.3	6.92	14.93	Nd.	Nd.	847	160.7
3	H1203	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
4	H0447	31.50	6.98	14.57	Nd.	Nd.	962	68.49
5	TH0447	28.80	6.41	15.20	Nd.	Nd.	96.90	11.00
6	TM0482	28.00	6.91	13.32	Nd.	Nd.	185.00	36.20
7	OW-1b	28.10	5.42	19.95	Nd.	Nd.	137.00	3.91
8	OW-2b	27.40	4.77	12.53	Nd.	Nd.	233.00	3.91
9	OW-3b	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
10	OW-4b	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
11	OW-6b	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
12	OW-7b	27.10	7.15	14.70	Nd.	Nd.	73.80	5.14
13	OW-8b	30.10	7.60	11.83	Nd.	Nd.	220.00	6.36
14	GW-1	28.50	6.21	14.82	Nd.	Nd.	138	19.08
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-9 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำคู่ครั้งที่ 2, (พฤศจิกายน 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0515	30.30	5.23	94.50	0.10	255.50	174	0.97
2	H0738	30	6.42	80.5	0.6	1275	867	154.93
3	H1203	30.9	6.43	185.3	0.2	469.7	319	84.51
4	H0447	31.20	6.68	103.80	0.70	1445.00	982	65.08
5	TH0447	27.40	6.14	197.50	0.00	152.00	103.00	6.80
6	TM0482	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.
7	OW-1b	29.60	8.35	95.70	0.00	181.90	124.00	6.80
8	OW-2b	28.20	7.39	65.80	0.20	436.80	297.00	4.38
9	OW-3b	28	7.49	109.8	0.2	578.6	391	43.71
10	OW-4b	28	8.65	146.3	0.2	453.2	308	100.05
11	OW-6b	28.5	8.94	159.4	0.1	233.5	159	11.17
12	OW-7b	28.50	8.15	116.40	0.00	109.50	75.00	5.83
13	OW-8b	28.90	8.46	85.20	0.10	349.00	237.00	7.29
14	GW-1	29.10	6.60	191.20	0.00	193.10	131	18.95
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-10 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำตื้นครั้งที่ 3, (กุมภาพันธ์ 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0515	34.60	6.41	32.00	0.10	287.00	195	3.38
2	H0738	28.4	7.06	50.1	0.6	1277	868	161.03
3	H1203	30.6	6.42	51.1	0.2	455	310	88.23
4	H0447	31.10	6.52	41.70	0.70	1400.00	950	63.16
5	TH0447	28.00	6.37	15.00	0.00	158.00	108.00	4.34
6	TM0482	28.50	6.77	32.30	0.00	88.00	60.00	8.68
7	OW-1b	29.10	8.32	16.80	0.00	167.00	113.00	3.86
8	OW-2b	29.40	7.74	26.90	0.20	409.00	278.00	2.41
9	OW-3b	28.6	7.38	24.1	0.2	514.5	350	27.48
10	OW-4b	27.7	8.66	14.8	0.2	481.5	327	104.62
11	OW-6b	28.4	8.96	12.2	0.1	231	157	12.06
12	OW-7b	28.90	7.50	33.30	0.00	109.00	74.00	5.79
13	OW-8b	29.70	8.25	37.40	0.10	333.00	226.00	5.79
14	GW-1	26.90	5.88	53.40	0.00	200.00	136	16.88
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-11 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำตื้นครั้งที่ 4, (พฤษภาคม 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	H0515	29.40	7.38	66.60	0.10	292.00	198	3.88
2	H0738	30.3	7.18	50	0.6	1340	911	174.11
3	H1203	30.8	6.61	56.4	0.2	481	326	88.39
4	H0447	29.80	6.67	28.90	0.70	1400.00	953	67.02
5	TH0447	29.50	6.21	15.80	0.00	117.30	80.00	6.31
6	TM0482	30.20	7.13	15.20	0.00	154.50	105.00	30.11
7	OW-1b	31.20	7.38	19.90	0.10	276.00	188.00	8.74
8	OW-2b	28.80	7.92	41.80	0.10	315.00	214.00	5.34
9	OW-3b	29.7	7.27	19.9	0.2	483	328	21.61
10	OW-4b	28.2	7.9	16.1	0.2	540	367	112.43
11	OW-6b	29.3	8.23	15.3	0.1	223.5	152	13.35
12	OW-7b	29.40	6.95	18.80	0.00	116.50	79.00	6.80
13	OW-8b	31.10	7.47	32.20	0.20	530.00	360.00	9.71
14	GW-1	30.10	6.94	75.80	0.00	188.00	128	21.12
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-12 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำกอหงส์ครั้งที่ 1, (สิงหาคม 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	TH0265	28.90	7.51	15.04	Nd.	Nd.	595	122.3
2	TH0002	29.10	8.45	15.13	Nd.	Nd.	108	17.61
3	TH0445	Na.	Na.	Na.	Nd.	Nd.	Na.	Na.
4	TQ403	30.10	6.37	10.93	Nd.	Nd.	132.00	12.96
5	TM0482	28.40	6.74	15.32	Nd.	Nd.	60.90	1.71
6	RTC0217	29.90	6.33	12.71	Nd.	Nd.	445.00	3.42
7	OW-1c	28.50	5.60	12.67	Nd.	Nd.	154.00	3.42
8	OW-2c	27.10	4.53	15.55	Nd.	Nd.	305.00	3.18
9	OW-3c	26.90	6.41	13.99	Nd.	Nd.	655.00	192.26
10	OW-4c	27.40	5.46	11.19	Nd.	Nd.	2424.00	1218.13
11	OW-5c	28.80	8.17	15.20	Nd.	Nd.	376.00	69.47
12	OW-6c	28.60	7.65	13.94	Nd.	Nd.	236.00	11.00
13	OW-7c	28.30	7.23	12.61	Nd.	Nd.	144.00	8.32
14	OW-8c	30.60	7.88	9.64	Nd.	Nd.	225.00	7.34
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-13 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำกอหงส์ครั้งที่ 2, (พฤศจิกายน 2550)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	TH0265	27.10	7.34	74.30	0.10	310.80	214	33.03
2	TH0002	25.50	6.20	192.10	0.00	113.20	77	14.57
3	TH0445	28.60	7.60	156.40	0.10	372.50	253	6.32
4	TQ403	29.10	7.74	122.80	0.00	112.00	76.00	8.74
5	TM0482	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.	Na.
6	RTC0217	28.40	7.28	180.20	0.20	512.00	349.00	8.26
7	OW-1c	29.80	7.62	53.20	0.10	254.10	173.00	6.80
8	OW-2c	28.00	7.70	126.10	0.20	421.60	287.00	2.91
9	OW-3c	28.00	8.24	110.50	1.70	3325.00	2262	1015
10	OW-4c	28.10	7.01	179.70	1.90	3660.00	2490	1151
11	OW-5c	28.40	5.58	128.20	0.40	975.50	663.00	211.75
12	OW-6c	28.30	8.75	192.00	0.10	347.20	236.00	14.09
13	OW-7c	28.10	8.61	180.00	0.00	170.10	116.00	6.80
14	OW-8c	28.60	8.77	72.80	0.10	312.00	212.00	7.77
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-14 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำคอกหงส์ครั้งที่ 3, (กุมภาพันธ์ 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (^o C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	TH0265	27.60	7.74	27.00	0.10	383.00	260	37.13
2	TH0002	24.90	6.16	88.50	0.00	188.00	128	25.07
3	TH0445	28.60	7.38	11.90	0.10	378.50	257	6.75
4	TQ403	29.90	6.39	25.90	0.00	125.00	85.00	6.75
5	TM0482	28.50	6.77	32.30	0.00	88.00	60.00	8.68
6	RTC0217	29.60	7.17	77.70	0.30	713.00	485.00	7.23
7	OW-1c	29.50	8.03	15.00	0.10	254.00	172.00	5.79
8	OW-2c	30.40	7.98	25.20	0.20	406.50	276.00	2.41
9	OW-3c	28.90	8.08	18.90	1.50	3836.00	1928.00	826.84
10	OW-4c	28.00	7.57	15.70	1.90	3622.00	2463.00	1147.45
11	OW-5c	29.80	7.96	18.40	0.70	1515.00	1030.00	394.86
12	OW-6c	28.40	8.23	17.30	0.10	349.00	237.00	13.98
13	OW-7c	28.50	8.60	29.60	0.00	167.00	113.00	7.23
14	OW-8c	29.60	8.46	34.20	0.10	364.00	248.00	12.06
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ตารางที่ ข-15 คุณภาพน้ำบาดาลของชั้นน้ำกอหงส์ครั้งที่ 4, (พฤษภาคม 2551)

ลำดับ ที่	หมายเลข บ่อ	Temp. (⁰ C)	pH	DO (mg/L)	Salinity (ppt.)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Chloride (mg/L)
1	TH0265	31.00	7.46	17.40	0.30	698.00	474	97.13
2	TH0002	28.50	6.94	160.50	0.00	158.00	107	24.28
3	TH0445	29.30	7.50	13.20	0.10	388.20	264	2.9
4	TQ403	30.40	7.54	13.20	0.00	150.00	102.00	14.57
5	TM0482	33.60	6.67	18.40	0.10	302.00	205.00	25.98
6	RTC0217	29.80	7.66	19.50	0.20	558.00	380.00	9.71
7	OW-1c	30.50	7.98	14.20	0.00	204.00	139.00	22.83
8	OW-2c	29.20	8.02	43.30	0.10	344.50	234.00	4.37
9	OW-3c	30.10	7.93	18.30	1.90	3600.00	2450.00	1384.14
10	OW-4c	28.60	7.48	23.20	1.90	3685.00	2508.00	1335.58
11	OW-5c	30.70	8.06	26.80	0.70	1567.00	1066.00	473.52
12	OW-6c	29.20	7.43	17.80	0.10	316.00	215.00	15.05
13	OW-7c	29.40	8.05	19.80	0.00	140.00	95.00	10.92
14	OW-8c	30.50	7.62	28.70	0.20	407.00	276.00	8.98
เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม			7.0-8.5	-	-	-	600	250
เกณฑ์อนุโลมสูงสุด			6.5-9.2	-	-	-	1,200	600

หมายเหตุ

Na. = เก็บตัวอย่างไม่ได้

Nd. = ตัวอย่างไม่พอ

ภาคผนวก ฅ
สมุดขงน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อย

ตารางที่ ฅ-1 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้้าบาดาลย่อยทะเลสาบสงขลา

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	3,197.06	2,624.49
Constant Head	673,271.10	4,831,918.00
Wells	0.00	0.00
River Leakage	220,121.62	130,372.56
Recharge	2,944.32	0.00
คูเต่า	1,336,928.50	102,489.46
สิงหนคร	149,261.97	516,802.70
บางหรียง	1,769,751.10	5,140.59
รัตภูมิ	842,175.60	32,743.50
บางกล่ำ	311,013.07	19,371.39
ควนโศ	333,680.06	875.13
Total	5,642,344.40	5,642,337.82

ตารางที่ ฅ-2 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้้าบาดาลย่อยคูเต่า

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	2,985,379.50	1,475,070.50
Constant Head	0.00	102,445.83
Wells	0.00	2,104,955.00
River Leakage	68,348.99	110,237.08
Recharge	1,628,831.00	0.00
ทะเลสาบสงขลา	102,489.46	1,336,928.50
คลองแห	57,619.98	306,116.68
บางกล่ำ	435,579.70	6,911.32
แม่ทอม	346,958.81	190,552.33
คอหงส์	8,002.51	0.00
Total	5,633,209.95	5,633,217.24

ตารางที่ ฅ-3 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยสิงหนคร

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	4,795,695.60	6,901,316.70
Constant Head	270,491.82	121,641.44
Wells	0.00	2,792,250.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	4,480,606.00	0.00
ทะเลสาบสงขลา	516,802.70	149,261.97
ควนโศ	122,725.39	221,884.61
Total	10,186,321.51	10,186,354.72

ตารางที่ ฅ-4 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยคลองแห

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,026,652.58	1,783,061.50
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	1,233,700.00
River Leakage	111,555.03	32,514.15
Recharge	649,828.20	0.00
คูเต่า	306,116.68	57,619.98
หาดใหญ่	105,593.32	421,902.50
คลองอู่ตะเภา	725,035.30	16,661.30
บ้านหาร	231,512.04	3,290.08
แม่ทอม	56,737.66	37,204.09
คองหงส์	496,074.40	123,159.07
Total	3,709,105.21	3,709,112.68

ตารางที่ ฅ-5 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยคลองหอยโข่ง

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	4,228,588.00	8,504,298.00
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	1,949,027.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	7,085,339.00	0.00
ท่าช้าง	186,025.93	57,707.94
ควนล้ง	48,275.08	890,309.20
โคกม่วง	303,321.78	450,449.30
Total	11,851,549.79	11,851,791.44

ตารางที่ ฅ-6 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยบ้านพรุ

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	5,090,348.10	4,485,951.00
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	3,586,125.00
River Leakage	0.00	1,313,178.50
Recharge	3,911,488.00	0.00
ควนล้ง	355,849.21	801,657.20
ทุ่งลาน	1,652,795.40	205,205.61
คอหงส์	196,559.36	1,012,083.90
โคกม่วง	197,021.27	0.00
Total	11,404,061.34	11,404,201.21

ตารางที่ ๗-7 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยหาดใหญ่

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,699,625.30	1,479,467.50
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	6,203,905.00
River Leakage	267,935.26	0.00
Recharge	133,272.12	0.00
คลองแห	421,902.50	105,593.32
ท่าช้าง	450,262.90	0.00
ควนลิ่ง	1,857,241.60	419,006.80
คลองอู่ตะเภา	29,873.36	45.67
คอหงส์	3,884,844.00	536,963.50
Total	8,744,957.04	8,744,981.79

ตารางที่ ๗-8 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยท่าช้าง

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	3,181,543.67	5,164,917.40
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	22,630.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	4,344,231.00	0.00
คลองหอยโข่ง	57,707.94	186,025.93
หาดใหญ่	0.00	450,262.90
ควนลิ่ง	384,691.58	727,201.40
คลองแห	125,141.24	275,125.80
คลองอู่ตะเภา	54,885.09	708,035.70
บ้านหาร	58,680.92	244,830.98
บางกล้า	71,892.17	497,158.80
แม่ทอม	8,399.16	11,057.08
Total	8,287,172.77	8,287,245.99

ตารางที่ ๘-9 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยควนลัง

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	2,458,382.70	2,173,127.60
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	2,078,310.00
River Leakage	43,794.56	40,240.18
Recharge	1,624,756.00	0.00
คลองหอยโข่ง	890,309.20	48,275.08
บ้านพรุ	801,657.20	355,849.21
หาดใหญ่	419,006.80	1,857,241.60
ท่าช้าง	727,201.40	384,691.58
คอหงส์	1.60	70,706.29
โคกม่วง	43,225.32	0.00
Total	7,008,334.77	7,008,441.54

ตารางที่ ๘-10 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้บาดาลย่อยบางเหริยง

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	3,130,682.30	5,166,844.60
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	950,460.00
River Leakage	1,320,837.40	386,593.74
Recharge	3,405,780.00	0.00
ทะเลสาบสงขลา	5,140.59	1,769,751.10
ท่าช้าง	275,125.80	125,141.24
รัตภูมิ	1,345,102.20	780,235.70
บางกล้า	367,005.08	670,926.20
Total	9,849,673.37	9,849,952.58

ตารางที่ ฅ-11 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้้ำบาดาลย่อยรั้ตภูมิ

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,640,128.11	1,789,805.82
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	1,004,115.00
River Leakage	932,433.60	0.00
Recharge	1,619,360.00	0.00
ทะเลสาบสงขลา	32,743.50	842,175.60
บางกล้า	780,235.70	1,345,102.20
ควนโ้	184,187.54	207,906.43
Total	5,189,088.45	5,189,105.05

ตารางที่ ฅ-12 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้้ำบาดาลย่อยคลองอู่ตะเภา

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	169,377.12	144,458.42
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	85,410.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	114,828.74	0.00
คลองแห	16,661.30	725,035.30
หาดใหญ่	45.67	29,873.36
ท่าช้าง	708,035.70	54,885.09
บ้านหาร	94,274.24	63,566.72
Total	1,103,222.78	1,103,228.89

ตารางที่ ฅ-13 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยบ้านหาร

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	877,811.40	289,618.53
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	516,110.00
River Leakage	8,374.31	12,838.91
Recharge	285,599.30	0.00
คลองแห	3,290.08	231,512.04
ท่าช้าง	244,830.98	58,680.92
คลองอู่ตะเภา	63,566.72	94,274.24
แม่ทอม	23,521.85	303,967.23
Total	1,506,994.64	1,507,001.87

ตารางที่ ฅ-14 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยบางกล้า

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,312,083.50	1,286,349.30
Constant Head	22,400.39	33,803.33
Wells	0.00	337,260.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	587,562.90	0.00
ทะเลสาบสงขลา	19,371.39	311,013.07
คูเต่า	6,911.32	435,579.70
ท่าช้าง	497,158.80	71,892.17
บางเหรียง	670,926.20	367,005.08
แม่ทอม	54,068.20	327,574.05
Total	3,170,482.70	3,170,476.70

ตารางที่ ฅ-15 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยแม่ทอม

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	746,211.98	939,343.40
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	537,280.00
River Leakage	35,677.55	59,867.78
Recharge	373,931.90	0.00
คูเต่า	190,552.33	346,958.81
คลองแห	37,204.09	56,737.66
ท่าช้าง	11,057.08	8,399.16
บ้านหาร	303,967.23	23,521.85
บางกล้า	327,574.05	54,068.20
Total	2,026,176.21	2,026,176.86

ตารางที่ ฅ-16 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยควนโศ

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	666,577.69	756,847.81
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	427,050.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	727,238.10	0.00
ทะเลสาบสงขลา	875.13	333,680.06
สิงหนคร	221,884.61	122,725.39
รัตภูมิ	207,906.43	184,187.54
Total	1,824,481.97	1,824,490.80

ตารางที่ ฅ-17 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยทุ่งลาน

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,779,278.70	1,298,201.50
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	587,285.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	1,416,647.00	0.00
บ้านพรุ	205,205.61	1,652,795.40
โคกม่วง	273,373.38	136,533.70
Total	3,674,504.69	3,674,815.60

ตารางที่ ฅ-18 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยคอหงส์

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	3,584,337.70	672,502.32
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	1,040,250.00
River Leakage	6,480.25	15,386.30
Recharge	979,956.60	0.00
คูเต่า	0.00	8,002.51
คลองแห	123,159.07	496,074.40
บ้านพรุ	1,012,083.90	196,559.36
หาดใหญ่	536,963.50	3,884,844.00
ควนลิ่ง	70,706.29	1.60
Total	6,313,687.31	6,313,620.49

ตารางที่ ฅ-19 สมดุลน้ำบาดาลของเขตน้ำบาดาลย่อยโคกม่วง

แหล่ง	ปริมาณการไหลเข้า (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)	ปริมาณการไหลออก (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
Storage	1,153,572.57	1,461,513.60
Constant Head	0.00	0.00
Wells	0.00	751,900.00
River Leakage	0.00	0.00
Recharge	1,289,751.50	0.00
คลองหอยโข่ง	450,449.30	303,321.78
บ้านพรุ	0.00	197,021.27
ควนลิ่ง	0.00	43,225.32
ทุ่งลาน	136,533.70	273,373.38
Total	3,030,307.07	3,030,355.35

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ก.

The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology

(ICET- 2011), Phuket, May 2-3, 2011

Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Hat-Yai, Songkhla, Thailand



GROUNDWATER CONTAMINATION RISK ASSESSMENT: A CASE STUDY OF THE HAT YAI BASIN

Nantiya Riyapan¹, Tanit Chalermyanont^{2*}, Ratana Tongyoi³

^{1,2}Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Thailand

³GEO-Informatics Research Center for Natural Resource and Environment, Thailand

*Corresponding Author email: tanit.c@psu.ac.th

Abstract: For decades, Hat Yai city, a major city in southern Thailand, has experienced significant increase in population, urbanization and industrialization which leads to major concerns of over utilization of groundwater and potential of groundwater contamination. An objective of this study was to conduct groundwater contamination risk assessment for the Hat Yai basin area. Hazard Ranking System was used for assessing contaminant potential and DRASTIC method was used to determine aquifer vulnerability. Risk index of groundwater contamination was defined by a product of contaminant potential and aquifer vulnerability. Based on the results of this study, the risk index of groundwater contamination was found to be 4 out of 25 which indicated that, for the Hat Yai basin, in general, there was very low risk of groundwater contamination.

Key Words: Risk Assessment / Groundwater Contamination / Hat Yai Basin

1. INTRODUCTION

The Hat Yai basin is located in the southern part of Thailand. The Hat Yai basin mainly includes Hat Yai city and some other districts within Songkhla province with total population of 468,570 people. It is approximately 70 km in the north-south direction from the mountainous area of the Thai-Malaysian border on the southern boundary to the Songkhla Lake on the northern boundary and about 30 km in the east-west direction from Buntad Mountain on the western boundary to Korhong Mountain on the eastern boundary [1,2] as shown in Fig. 1. Groundwater is mainly withdrawn from three main unconsolidated aquifers namely; Hat Yai aquifer, Kutao aquifer, and Korhong aquifer [3].

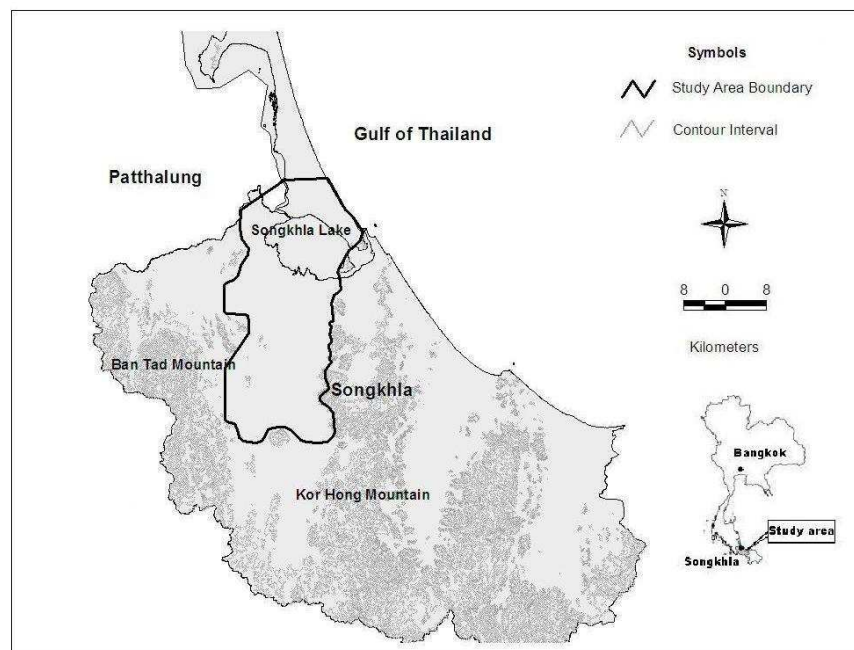


Fig. 1. Map of Hat Yai basin

For decades, Hat Yai city, a center of business and tourism in southern Thailand, has experienced significant increase in population, urbanization and industrialization which leads to major concerns of over utilization of groundwater and potential of groundwater contamination. An objective of this study was to conduct groundwater contamination risk assessment for the Hat Yai basin area by Thai Department of Groundwater Resources Standard (2008).

2. METHODOLOGY

Based on Thai Department of Groundwater Resources Standard, groundwater contamination risk index was defined by a product of contaminant potential and aquifer vulnerability [4]. The hazard ranking system (USEPA, 1992) [5] was used for assessing contaminant potential and DRASTIC method (Aller et al., 1987) [6] was used to determine aquifer vulnerability. Risk assessment for groundwater contamination in term of risk index as proposed by Gonzalez, et al. 1997 [7], is shown in Eq. 1.

$$R = L \times V \quad (1)$$

where R is groundwater contaminant risk index, L is contaminant potential level and V is aquifer vulnerability level.

3. CONTAMINANT POTENTIAL ASSESSMENT

For Hazard ranging system according to USEPA (1992)[5], six pollutant sources were considered; land fill, gas station, industrial factory, wastewater treatment system, mining and agriculture. Contaminant potential level for each source is rated from one (i.e., very low potential rate) to five (i.e., very high potential rate) which are equivalent to percentage of potential score from less than 45% to greater than 90%, respectively, as show in Table 1.

Table 1. *Potential level and potential rate of contaminant potential assessment [4].*

Percentage of potential score	Potential level (L)	Potential rate
<45	1	Very low
46-60	2	Low
60-75	3	Moderate
76-90	4	High
>90	5	Very high

In this study, the percentages of contaminant potential scores were determined based on available data of Hat Yai landfill (e.g., landfill system, waste volume per day, waste composition etc.) [8], the distance from gas station to water source [9], type of mineral and distance from mine to public water source [9]. Other data such as concentration of pesticides, wastewater volume, sludge treatment system and quality of treated water for wastewater system and industrial factories were collected by the authors. The positions of all pollutant sources in the Hat Yai basin are shown in Fig. 2. Results of contaminant potential assessment of the Hat Yai basin are tabulated in Table 2. According to USEPA (1992) (Table 1.), landfill source provided the highest percentage of potential score of 76 whereas gas station source indicated the lowest score of 40 which were categorized as level 4 and 1, respectively. Although percentages of potential score are slightly higher than that of gas station, wastewater treatment system and agriculture source were also categorized as level 1. The landfill highest level was due to some important factors such as, waste composition, waste volume per day, landfill system and area of landfill. In contrary, factors affecting contaminant potential level of the gas stations such as, wall thickness of gas tank and distance to water source provided low potential scores resulting in low contaminant potential level.

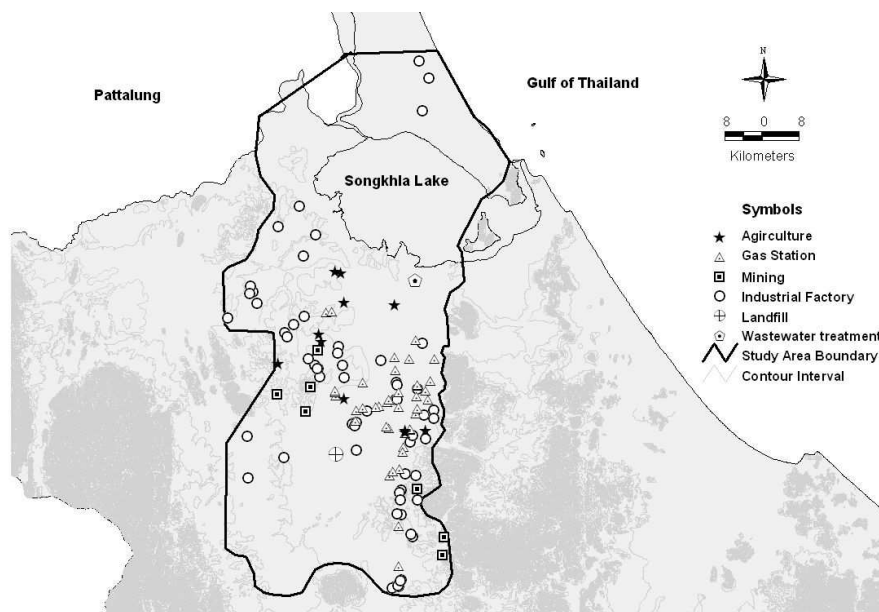


Fig. 2. *Position of pollutant sources in the Hat Yai basin.*

Table 2. Result of contaminant potential assessment.

Pollutant sources	Potential score	Possible maximum score	% of potential score	Level
Landfill	79	104	76	4
Gas station	6	15	40	1
Industrial factories	30	62	48	2
Wastewater treatment system	26	62	42	1
Mining	32	45	71	3
Agriculture	-	-	-	1

Pesticides contaminated groundwater was used in the rating of contaminant potential level. In the study area, very low concentration of pesticides was observed, thus it was categorized as level 1.

4. AQUIFER VULNERABILITY ASSESSMENT

Aquifer vulnerability was assessed using DRASTIC method [6]. DRASTIC index was determined using aquifer properties such as depth to water table (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), impact of the vadose zone media (I) and hydraulic conductivity of the aquifer (C) as shown in Eq.2.

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{DRASTIC Index} \quad (2)$$

where subscript r indicates parameter rating ranging from 1 to 10, and subscript w indicates parameter weight ranging from 1 to 5. Thus possible maximum and minimum scores for DRASTIC index are 226 and 23 respectively.

Aquifer properties of the Hat Yai aquifer, a major aquifer of the area, are shown in Table 3 [9, 10]. The corresponding DRASTIC index calculated using data in Table 3 and Eq. 2 are shown in Table 4. Only two DRASTIC index values of 98 and 108 were found for the Hat Yai basin and can be categorized as very low aquifer vulnerability level. This was because the study area has practically the same geology and hydrogeology. However, the only parameter that resulted in different DRASTIC index was “depth to water table” as shown in Table 3. Furthermore, when compare the result index of this study with maximum index that is low which can be explained that two important parameters was involved consists of impact of vadose zone media and depth to water table that are 5 of weight but rating is not over 5 as show in Table 4. The depth to water table was about 25 m at the center of the basin (i.e., $D_r = 3$) while $D_r = 5$ for boundary areas (i.e., depth of water table was 12 m.)

Table 3. Weight, rating and score of each parameter.

Parameter	Data of Hat Yai basin	Weight	Rating	Score
Depth to water table	12-25 m	5	3 and 5	15 and 25
Net recharge	71-140 mm/yr	4	4	16
Aquifer media	Sand and gravel	3	9	27
Soil media	Clay	1	2	2
Topography	Percentage slope	1	9	9
Impact of the vadose zone media	clay	5	1	5
Hydraulic conductivity of the aquifer	1×10^{-4} to 1×10^{-6} m/sec	3	8	24

Table 4. DRASTIC index and score of each parameter for aquifer vulnerability of Hat Yai basin.

Pollutant Source	D	R	A	S	T	I	C	DRASTIC Index
Hat Yai Municipal Landfill	15	16	27	2	9	5	24	98
Gas Stations	25	16	27	2	9	5	24	108
Industrial Factories	25	16	27	2	9	5	24	108
Wastewater Treatment System	15	16	27	2	9	5	24	98
Mining	25	16	27	2	9	5	24	108
Agriculture	25	16	27	2	9	5	24	108

5. GROUNDWATER CONTAMINATION RISK ASSESSMENT

For the Hat Yai basin, aquifer vulnerability, potential contaminant and risk index values obtained in this study are tabulated in Table 5. and criteria for risk rate are shown in Table 6. Based on the results of this study, the risk index of groundwater contamination ranged from 1 to 4 which indicated that the risk of groundwater contamination in the area is very low which mainly due to very low level of aquifer vulnerability resulting from a thick clay layer above the Hat Yai aquifer.

Table 5. Hazard Rating Score of the Hat Yai basin.

Pollutant sources	Aquifer vulnerability (V)	Contaminant potential (L)	Risk index (R)	Risk rate
Hat Yai Municipalities Landfill	1	4	4	Very low
Gas Stations	1	1	1	Very low
Industrial Factories	1	2	2	Very low
Wastewater Treatment System	1	1	1	Very low
Mining	1	3	3	Very low
Agriculture	1	1	1	Very low

Table 6. Risk rate and risk index for risk assessment.

Level	Risk rate	Risk index
1	Very low	1-5
2	Low	6-10
3	Moderate	11-15
4	High	16-20
5	Very high	21-25

6. CONCLUSION

Groundwater contamination risk assessment for the Hat Yai basin was conducted according to Thai Department of Groundwater Resources Standard. The following conclusion can be made.

1. Contaminant potential assessment results of the Hat Yai basin ranged from level 1 to 4. The landfill source provided the highest level of 4 whereas gas station source, wastewater system source and agriculture source indicated the lowest level of 1. In addition, industrial factory source and mining source were found to be level 2 and level 3, respectively.

2. The aquifer vulnerability of all pollutant sources was very low (level 1). This was due to the fact that the area has the same geology and hydrogeology. Particularly, the thick clay layer (aquitard) above Hat Yai aquifer was the main factor resulting in low aquifer vulnerability of the area.

3. Risk index of groundwater contamination was in range of 1 to 4 out of 25 which indicated that, for the Hat Yai basin, there was very low risk of groundwater contamination.

7. ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank Hat Yai Municipality for available data of Hat Yai landfill.

8. REFERENCES

- [1] Wattanathum, A., Chalermyanont, T., Sompongchaiyakul, P., Punjasutharos, S., and Piromlert, S. (2004) "Numerical Groundwater Flow Model for Hat Yai Basin, Songkhla Province, Thailand: A Conceptual Model", Preceeding of 3rd National Environmental Conference, Environmental Engineering Association of Thailand, Hat Yai, Songkhla, 648-655.
- [2] Lohawijarn, W. 2005. Potential Groundwater Resources of Hat Yai Basin in Peninsular Thailand by gravity study. Songklanakarin J. Sci. Technol 27(3) (May-June 2005), 633-647
- [3] Sakulkeaw S. 1993. Groundwater Condition of Hat-Yai Basin, Songkhla. Department of Mineral Resources, Thailand
- [4] Department of Groundwater Resources, Thailand, 2008. Groundwater Standard Formulation for Groundwater Well Drilling, Investigations and Development.
- [5] United States Environmental Protection Agency, 1992. The Hazard Ranking Systems (HRS).
- [6] Aeller, L., Bennett, T., Jay, H.L., Rebecca, J.P., and Hackett, 1987. DRASTIC: A standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Using Hydrogeologic Setting, NWWA/EPA Series.
- [7] Gonzalez, B., Andrade-Garda, E., Seraano-Velasco, J.M., Lopez-Hahia, P., 1997. Hydrology and Groundwater pollution of Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Geof Sica International, 36, 49-54.
- [8] Lerng-amornsiri.T. and Sanyasiri N. 2010. Leachate Evaluation Using HELP Program : A Case Study of Hat Yai Municipality Landfill. Department of Civil Engineering. Prince of Songkhla University. Thailand.
- [9] GEO-Informatics Research Center for Natural Resource and Environment, Thailand.
- [10] Chalermyanont, T., Arrykul, S., Chalermyanont, K. 2009. Study of Seawater Intrusion into Groundwater in Hat Yai Area Using Mathematical Models. Department of Civil Engineering. Prince of Songkhla University. Thailand.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนันทยา ธิยาพันธ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120078

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551
วิศวกรรมโยธา		

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการการศึกษา)

ทุนศึกษย่ก้นกฏคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2552 - 2553

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Nantiya Riyapan, Thanit Chalermyanont and Ratana Tongyoi., (2011). Groundwater Conamination Risk Assessment: A Case Study of The Hat Yai Basin. The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET 2011), Phuket, May 2-3, 2011.