



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

โดย

นางสาวสุภัค คลองสนั่น

เลขประจำตัวนิสิต 5732758423

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและฉบับเต็มของนิสิตของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นเพียงข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

นางสาวสุภัค คลองสนั่น

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

GROUNDWATER FLOW MODELING IN RAYONG GROUNDWATER BASIN

MISS SUPAK KLONGSANAN

A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

โดย

นางสาวสุภัค คลองสนั่น

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

5732758423 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : แบบจำลอง / น้ำบาดาล / แอ่งน้ำบาดาลระยอง / ระยอง

สุภัค คลองสนั่น : แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง
(GROUNDWATER FLOW MODELING IN RAYONG GROUNDWATER BASIN)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 42 หน้า

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรสำคัญที่ถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้น้ำในปัจจุบัน ซึ่งการพัฒนานำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้หากมีการสูบน้ำบาดาลมากกว่าปริมาณการไหลเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงและปริมาณน้ำเสียสมดุลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการศึกษาในครั้งนี้ได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จัดทำขึ้นด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW ในการอธิบายการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยใช้ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในช่วงเวลาเดือนสิงหาคมปี พ.ศ.2554 และเดือนมกราคม ปี พ.ศ.2555 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลได้ถูกนำมาเปรียบเทียบและตรวจสอบกับค่าระดับน้ำบาดาลจากการตรวจวัดค่าจริงโดยค่า Normalized RMS ของทั้งสองช่วงเวลามีค่า 11.20% และ 11.19% ตามลำดับ และชั้นน้ำต่าง ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง 0.0544 ถึง 0.446 เมตร/วัน

จากการศึกษาพบว่าทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำซึ่งกำหนดให้เป็นบริเวณแนวเขาตามขอบแอ่งลงสู่พื้นที่กลางแอ่งซึ่งเป็นตะกอนร่วน และไหลลงสู่ทะเลอ่าวไทยตามทางน้ำ ในการศึกษาสมดุลน้ำพบว่าทุกชั้นน้ำจะมีปฏิสัมพันธ์ของน้ำบาดาลที่เข้าและออกระหว่างกัน ชั้นน้ำที่มีอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลมากที่สุดคือชั้นน้ำที่ 1 เพราะทำหน้าที่ระบายน้ำลงสู่ทะเลอ่าวไทย แต่ชั้นน้ำที่มีอัตราการสูบน้ำมากที่สุดคือชั้นน้ำที่ 3 โดยมีอัตราการสูบน้ำ 12,663 ลบ.ม./วัน

ภาควิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา _____ 2560 _____

5732758423: MAJOR GEOLOGY

KEYWORD: GROUNDWATER FLOW / GROUNDWATER MODELING / RAYONG
GROUNDWATER BASIN

SUPAK KLONGSANAN: GROUNDWATER FLOW MODELING IN RAYONG
GROUNDWATER BASIN. ADVISOR: ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT,
42 pp.

Groundwater is a crucial water resource to human's water demand in various sectors such as residential consumption, irrigation, and industrial areas. However, the overuse of groundwater can affect to water balance in groundwater system. In this study, a mathematical groundwater model, called Visual MODFLOW software, was used to explain groundwater flow direction and groundwater balance in Rayong groundwater basin. The observed groundwater data was derived from the Department of Groundwater Resources (DGR) observed in August 2011 (Rainy season) and January 2012 (Summer season). The groundwater flow modeling was calibrated and then verified with measured groundwater levels in both rainy and summer seasons with the normalized RMS of 11.20% and 11.19%, respectively. The hydraulic conductivity (K) were in the range from 0.0544 to 0.446 m/day. The model revealed that groundwater flows from the recharge zone in the mountainous area to discharge area mainly located in the central floodplain of groundwater basin, and then groundwater flows to the gulf of Thailand. According to the study of water balance, all the layers of aquifer were interacted by water inflows and outflows between each other. The largest outflow found in the first layer which flow into the Gulf of Thailand. Moreover, the third layer was the largest water consumption with the rate of 12,663 m³/day.

Department _____ Geology _____ Student's Signature _____
Field of Study _____ Geology _____ Advisor's Signature _____
Academic Year _____ 2017 _____

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ ให้กำลังใจ ให้ความรู้ ตลอดจนความคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในการจัดทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณนายวรวิษฐ์ เนื้อไม้ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านโปรแกรม

ขอขอบพระคุณหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และข้อมูลต่าง ๆ ในการทำแบบจำลอง กรมอุตุนิยมวิทยา ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญที่สุดในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำและชลศาสตร์การไหล	10
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับโปรแกรม MODFLOW	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	20
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการใช้โปรแกรม	21
3.3 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการทำแบบจำลอง	21
3.4 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	22
3.5 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	23

เรื่อง	หน้า
3.6 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	32
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา	33
4.1 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะคงที่	33
4.2 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะเปลี่ยนแปลง	37
4.3 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการศึกษา	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Unconsolidated Sedimentary Materials	12
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Crystalline Rocks	12
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Sedimentary Rocks	13
ตารางที่ 2.4 ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่าง ๆ	13
ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำ	13
ตารางที่ 2.6 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่าง ๆ ของ Morris and Johnson, 1967	14
ตารางที่ 2.7 ค่าความพรุนในวัสดุทางธรณีวิทยาต่าง ๆ	15
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง	21
ตารางที่ 3.2 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	24
ตารางที่ 3.3 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง	24
ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์ขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	25
ตารางที่ 3.5 ความหนาชั้นน้ำ	25
ตารางที่ 3.6 ค่าระดับน้ำคงที่และความจุอ่างเก็บน้ำ	28
ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่แบบจำลองสถานะคงที่	33
ตารางที่ 4.2 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสถานะคงที่	37
ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำแบบจำลองสถานะเปลี่ยนแปลง	37
ตารางที่ 4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสถานะเปลี่ยนแปลง	38
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บในแบบจำลองสถานะเปลี่ยนแปลง	38

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	3
รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	6
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	7
รูปที่ 2.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยอง	9
รูปที่ 2.4 การแบ่งพื้นที่แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์	17
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
รูปที่ 3.2 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา	22
รูปที่ 3.3 การออกแบบกริดในแนวระนาบของแบบจำลอง	24
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพตัดขวางแนวตะวันออก-ตกในแถวที่ 63 แสดงการแบ่งชั้นน้ำทั้ง 3 ชั้น	25
รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 1	26
รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 2	26
รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 3	27
รูปที่ 3.8 ขอบเขตการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	28
รูปที่ 3.9 การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundary conditions)	29
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์	30
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ก่อนทำการปรับเทียบแบบจำลอง	31
รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์หลังทำการปรับเทียบแบบจำลอง	31
รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	32
รูปที่ 4.1 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนสิงหาคม	34
รูปที่ 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนมกราคม	34
รูปที่ 4.3 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 1	35
รูปที่ 4.4 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 2	35
รูปที่ 4.5 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 3	36

	หน้า
รูปที่ 4.6 สมดุลน้ำในระบบ	36
รูปที่ 4.7 ผลการสร้างแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง	38
รูปที่ 4.8 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่	39
รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางแนว (A-A')	40
รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวางแนว (B-B')	40
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางแนว (C-C')	40
รูปที่ 4.12 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	41

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำและชลศาสตร์การไหล	10
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับโปรแกรม MODFLOW	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	20
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการใช้โปรแกรม	21
3.3 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการทำแบบจำลอง	21
3.4 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	22
3.5 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	23

เรื่อง	หน้า
3.6 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	32
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา	33
4.1 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะคงที่	33
4.2 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะเปลี่ยนแปลง	37
4.3 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการศึกษา	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Unconsolidated Sedimentary Materials	12
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Crystalline Rocks	12
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Sedimentary Rocks	13
ตารางที่ 2.4 ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่าง ๆ	13
ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำ	13
ตารางที่ 2.6 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่าง ๆ ของ Morris and Johnson, 1967	14
ตารางที่ 2.7 ค่าความพรุนในวัสดุทางธรณีวิทยาต่าง ๆ	15
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง	21
ตารางที่ 3.2 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	24
ตารางที่ 3.3 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง	24
ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์ขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	25
ตารางที่ 3.5 ความหนาชั้นน้ำ	25
ตารางที่ 3.6 ค่าระดับน้ำคงที่และความจุอ่างเก็บน้ำ	28
ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่แบบจำลองสภาวะคงที่	33
ตารางที่ 4.2 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสภาวะคงที่	37
ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง	37
ตารางที่ 4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง	38
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บในแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง	38

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	3
รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	6
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	7
รูปที่ 2.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยอง	9
รูปที่ 2.4 การแบ่งพื้นที่แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์	17
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
รูปที่ 3.2 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา	22
รูปที่ 3.3 การออกแบบกริดในแนวระนาบของแบบจำลอง	24
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพตัดขวางแนวตะวันออก-ตกในแถวที่ 63 แสดงการแบ่งชั้นน้ำทั้ง 3 ชั้น	25
รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 1	26
รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 2	26
รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 3	27
รูปที่ 3.8 ขอบเขตการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	28
รูปที่ 3.9 การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundary conditions)	29
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์	30
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ก่อนทำการปรับเทียบแบบจำลอง	31
รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์หลังทำการปรับเทียบแบบจำลอง	31
รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	32
รูปที่ 4.1 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนสิงหาคม	34
รูปที่ 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนมกราคม	34
รูปที่ 4.3 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 1	35
รูปที่ 4.4 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 2	35
รูปที่ 4.5 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 3	36

หน้า

รูปที่ 4.6 สมดุลน้ำในระบบ	36
รูปที่ 4.7 ผลการสร้างแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง	38
รูปที่ 4.8 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่	39
รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางแนว (A-A')	40
รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวางแนว (B-B')	40
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางแนว (C-C')	40
รูปที่ 4.12 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรสำคัญที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในปัจจุบันเพื่อการอุปโภค บริโภค การอุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว ซึ่งการพัฒนานำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้หากมีการสูบน้ำ บาดาลมากกว่าปริมาณการไหลเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงและปริมาณน้ำ เสียสมดุลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นการลดลงของระดับน้ำ การทรุดของแผ่นดินและการรุกราน ของน้ำเค็ม (อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ, 2551) จังหวัดระยองเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำมาก โดยแหล่งน้ำ สำคัญ คือ แหล่งน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำ โดยแบ่งตามสภาพทางอุทกวิทยาลุ่มน้ำสามารถแบ่ง ออกเป็นลุ่มน้ำหลักได้ 2 พื้นที่ลุ่มน้ำ ได้แก่ (1) พื้นที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่ (แม่น้ำระยอง) ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำดอกกราย อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล และอ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ (2) พื้นที่ลุ่มน้ำประแสร์ ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำประแสร์และอ่างเก็บน้ำคลองระโงก แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2548 เกิดภัยแล้ง สาเหตุหลักมาจากแหล่งน้ำหลักในพื้นที่มีอยู่ในปัจจุบันมีจำกัดและภาวะฝนทิ้งช่วง ในช่วงวิกฤตินี้ ภาครัฐหนึ่งในวิธีการดำเนินการแก้ปัญหาคือการขุดเจาะบ่อบาดาล 400 จุด (สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ, 2551) นอกจากนี้แอ่งน้ำบาดาลระยองยังมีความสำคัญต่อทางเศรษฐกิจและโรงงาน อุตสาหกรรมอย่างมากเพราะมีการใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแหล่งน้ำบาดาลจึงมี ความสำคัญมากขึ้น

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการสร้างแบบจำลองเพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและประเมิน ปริมาณน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองโดยโปรแกรม Visual MODFLOW และต้องมีขั้นตอนการ ปรับเทียบแบบจำลอง คือ ขั้นตอนการปรับปรุงแบบจำลองโดยการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าใกล้เคียง กับค่าความเป็นจริงในภาคสนามมากที่สุด เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (Saba et al., 2016) ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา (สุพล สันติเจริญกุล, 2554)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อจำลองการไหลของน้ำบาดาลและประเมินปริมาณน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลระยอง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- พื้นที่ศึกษาแอ่งน้ำบาดาลระยอง ครอบคลุมพื้นที่ 2,200 ตร.กม.
- ข้อมูลการสำรวจระดับน้ำบาดาลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2555

1.3.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

แอ่งน้ำบาดาลระยอง ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทยหรือริมฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทย มีเนื้อที่ประมาณ 2,200 ตร.กม. พื้นที่ทางทิศเหนือของแอ่งติดกับแอ่งน้ำบาดาลปราจีนบุรี-สระแก้ว ทางทิศใต้ติดกับทะเลอ่าวไทย ทางด้านทิศตะวันตกติดกับแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี ทางทิศตะวันออกติดต่อกับแอ่งน้ำบาดาลจันทบุรี-ตราด ครอบคลุมพื้นที่ของ อำเภอบ้านฉาง อำเภอนิคมพัฒนา อำเภอปลวกแดง และพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง รวมถึงพื้นที่บางส่วนของจังหวัดชลบุรีคือทางด้านใต้ของ อำเภอบ้านบึง และบริเวณด้านตะวันออกของ อำเภอศรีราชา อำเภอบางละมุง อำเภอสัตหีบ

1.3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

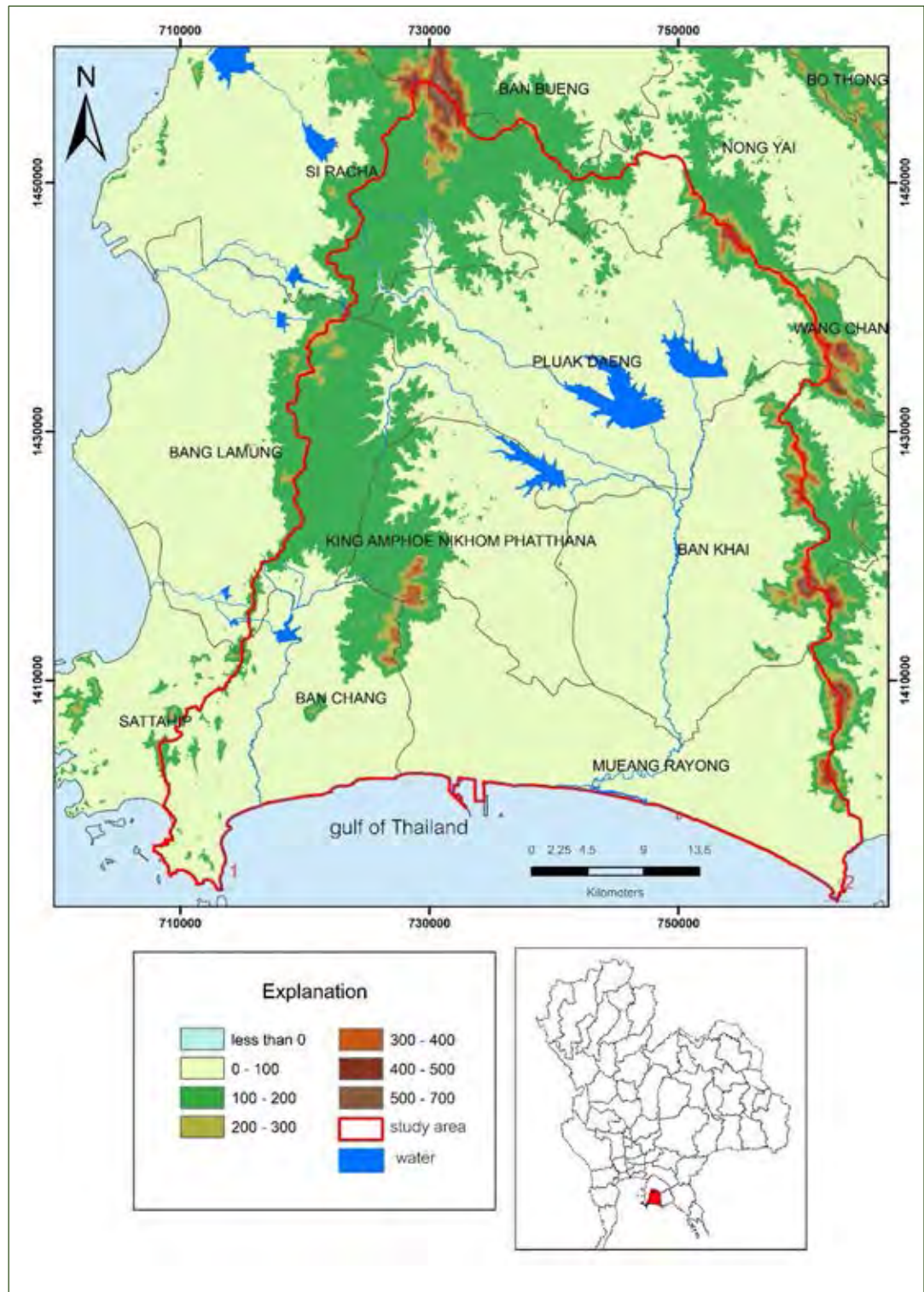
ลักษณะภูมิประเทศของแอ่งน้ำบาดาลระยอง ดังรูปที่ 1.1 ประกอบด้วยที่ราบชายฝั่งที่เกิดจากการทับถมของตะกอนบริเวณแอ่งลุ่มน้ำระยองและที่ราบสลับเนินเขาและภูเขา มีลักษณะเป็นลอนลูกคลื่นสูงต่ำสลับกันไปรวมกับพื้นที่ทิวเขา 2 แนว คือ เขาขุนอินและเขางวงข้างเรียงตัวต่อกัน ทิศทางทิศตะวันออก ซึ่งสูงจากระดับน้ำทะเล 1,035 ม. และทางทิศตะวันตกมีเขาทำจุด เขายายดา เขาตะเภาคว่า ที่มีความสูงน้อยกว่าเขาทางทิศตะวันออกเรียงต่อกันเป็นแนวยาว แอ่งน้ำบาดาลระยองมีแม่น้ำสำคัญ คือ แม่น้ำระยองหรือแม่น้ำคลองใหญ่ยาวประมาณ 50 กม. ไหลผ่านพื้นที่ อำเภอปลวกแดง อำเภอบ้านค่าย อำเภอเมืองระยอง ไหลลงสู่ทะเลที่ ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

1.3.3 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดระยองซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอ่งน้ำบาดาลระยองมีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนลมทะเลพัดผ่านตลอดปี อากาศอบอุ่น ไม่ร้อนจัด บริเวณชายฝั่งทะเลเย็นสบาย ในฤดูฝนจะมีฝนตกชุก ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมของทุกปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,350 มม./ปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 29.5°C โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายนวัดได้ 38.7°C และอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคมวัดได้ 17.8°C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและสมดุลน้ำในแอ่งน้ำบาดาลระยอง



รูปที่ 1.1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

2.1.1 ลักษณะทางธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

ในพื้นที่สำรวจศึกษาแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี สามารถจำแนกหน่วยหินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มหินแข็ง (consolidated rocks) และกลุ่มหินร่วนและตะกอน (unconsolidated rocks and sediments) ดังนี้ (รูปที่ 2.1และ2.2)

ก. หินแข็ง

ในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลทั้งสองแอ่งปรากฏหินแข็งบนพื้นผิวเพียงร้อยละ 13 เท่านั้น โดยปรากฏในลักษณะของแนวเทือกเขาสูง ภูเขา เนินเขา และตามชายหาดบางแห่ง กลุ่มหินแข็งที่โผล่ให้เห็นเหล่านี้จำแนกออกได้เป็น 3 หน่วย ประกอบด้วย

1. หินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (SD) ปรากฏเป็นเนินเขาเล็ก ๆ กระจายอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ทางตอนกลางของแอ่งน้ำบาดาลระยอง บริเวณ ต.ชะหาร อ.ปลวกแดง จ.ระยอง บริเวณรอยต่อระหว่าง อ.บ้านค่าย กับ อ.นิคมพัฒนา และ อ.เมือง จ.ระยอง และบริเวณเขาแหลมหญ้า ต.บ้านเพ อ.แกลง จ.ระยอง

2. หินตะกอนและหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน (CP) หน่วยหินนี้ปรากฏเฉพาะบริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่สำรวจศึกษา อยู่ในเขต อ.สัตหีบเช่นกัน เป็นกลุ่มเขาที่อยู่บริเวณเขตติดต่อระหว่างแอ่งน้ำบาดาลระยองกับแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี ตั้งแต่บริเวณเขาชีจรรย์-เขาชีโอนทางด้านเหนือ จนถึงเขาหมาจอก-แหลมแสมสารทางด้านใต้ ประกอบด้วย หินทราย หินปูนเนื้อดิน หินดินดาน และหินเชิร์ต บางบริเวณที่อยู่ใกล้แนวสัมผัสกับหินแกรนิต เช่น บริเวณเขาชีจรรย์ หินเดิมถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นหินแคล์ซิลิเกต (calc-silicate)

3. หินอัคนียุคไทรแอสซิก (TRgr) หน่วยหินนี้ปรากฏให้เห็นในลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ ทั้งที่เป็นแนวเขาสูง ปรากฏเป็นเนินเขากระจายอยู่ทั่วไป ทางด้านตะวันตกของแอ่งน้ำบาดาลระยอง ประกอบด้วยหินแกรนิตหลายชนิด เช่น หินไปโอไทต์แกรนิต หินไปโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต เนื้อผลึกปานกลางถึงหยาบ บางแห่งเป็นเนื้อดอก บางบริเวณโดยเฉพาะในแนวเขาด้านตะวันออกของแอ่งน้ำบาดาลระยอง มักพบลักษณะการเรียงตัวของเม็ดแร่จากหินไนส์ซิกแกรนิต (gneissic granite)

นอกจากนี้ยังมีสายเพกมาไทต์ และผนังหินควอตซ์แทรกตัดเข้ามาในหลายบริเวณ เช่น ผนังหินควอตซ์ที่เขาสามมูข

ข. หินร่วนและตะกอน

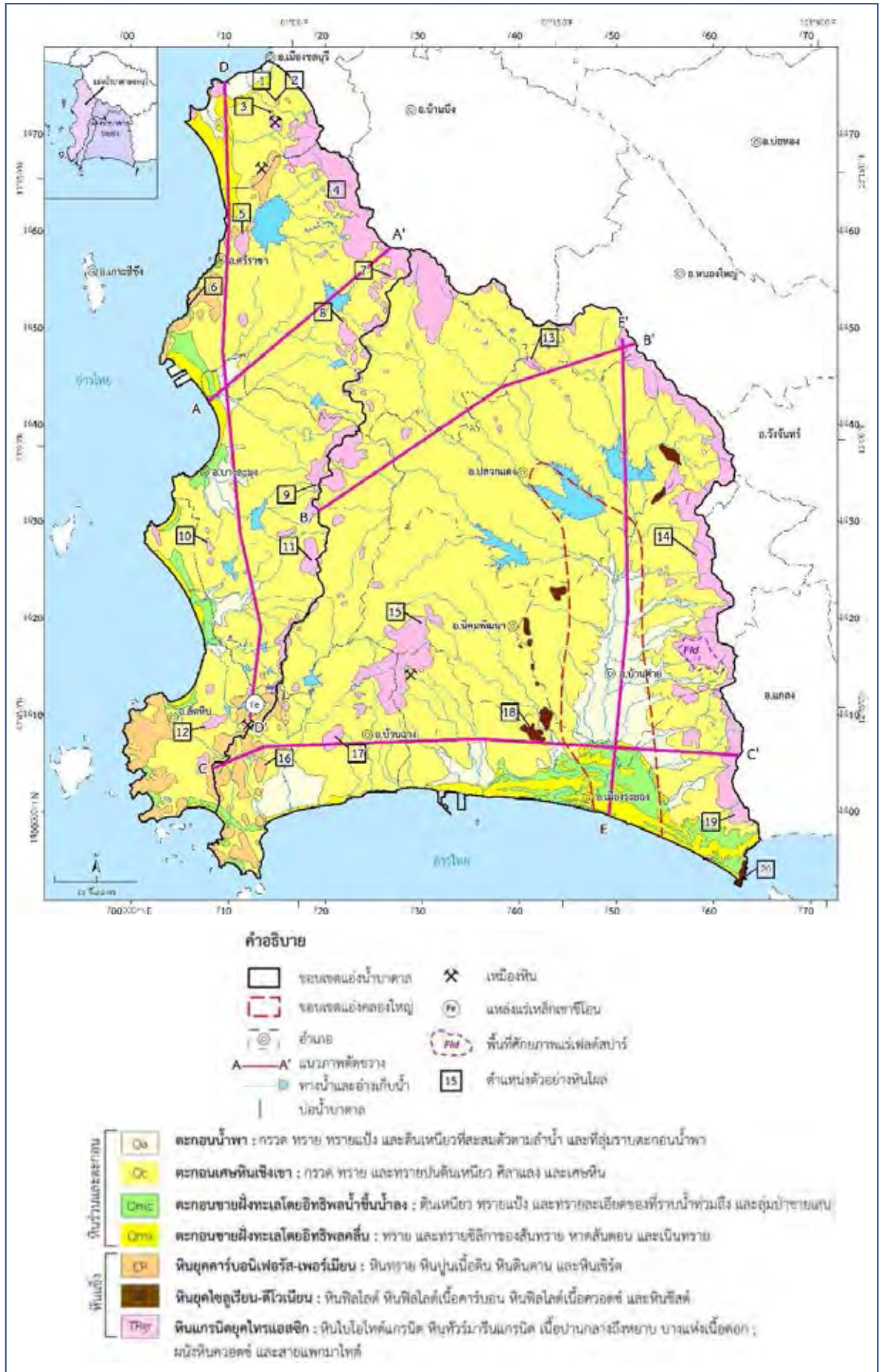
หินร่วนและตะกอนเหล่านี้ปกคลุมพื้นที่ถึงร้อยละ 87 มีภูมิฐานแบบต่างๆ ทั้งที่ลาดชันเชิงเขา ที่ราบลอนคลื่น ที่ราบทางน้ำ ที่ราบน้ำท่วมตามลุ่มแม่น้ำ หาดสันดอน สันทราย เนินทราย ลุ่มน้ำขังป่าชายเลน และที่ราบน้ำขึ้นถึง ประกอบด้วย

1. ตะกอนน้ำพา (Qa) ปรากฏที่คลองบางไผ่ต่อกับสนามบินอยู่ตะเภา บริเวณคลองหลอด-คลองน้ำชา ที่มาบตาพุด และบริเวณตามลำห้วยลำคลองที่มีทิศทางไหลเข้าสู่ตัวเมืองระยอง โดยมีแหล่งใหญ่ที่สุดอยู่บริเวณลุ่มน้ำคลองใหญ่ ตั้งแต่ อ.บ้านค่ายจนถึงปากแม่น้ำที่ อ.เมืองระยอง ประกอบด้วยชั้นตะกอนกรวด ทราย สลับชั้นตะกอนทรายละเอียด หรือทรายแป้งปนดินเหนียว

2. ตะกอนเศษหินเชิงเขา และตะกอนผุอยู่กับที่ (Qc) ปรากฏให้เห็นมากที่สุดในพื้นที่ประมาณร้อยละ 74 ของพื้นที่ โดยแพร่กระจายครอบคลุมทั้งในแอ่งน้ำบาดาลระยอง จากการศึกษาบริเวณลุ่มน้ำคลองใหญ่พบว่า บริเวณตั้งแต่อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหลลงมาตามลุ่มน้ำคลองใหญ่เป็นหุบเขาเก่า ซึ่งก็คือแอ่งน้ำบาดาลย่อยคลองใหญ่ มีความลึกมากกว่า 120 ม. โดยคาดว่าดานหินเป็นหินแกรนิตหรือหินแปรของหน่วยหินไซลูเรียน-ดีโวเนียน และถูกปิดทับด้วยตะกอนเศษหินเชิงเขาขึ้นก่อนจะถูกปิดทับด้วยตะกอนน้ำพาที่คลองใหญ่พามาตกสะสมในภายหลัง แอ่งคลองใหญ่นี้อาจเกิดจากการผุกร่อนของแนวเขาในอดีตหรืออาจจะเป็นส่วนหนึ่งของร่องทรุด (graben) ในยุคเทอร์เชียรีที่ปรากฏทั่วไปในประเทศไทยรวมถึงในอ่าวไทย ทำให้ตะกอนของหน่วย Qa และ Qc บริเวณแอ่งคลองใหญ่มีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่สำรวจศึกษา

3. ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (Qmc) โดยมากอยู่ตามชายฝั่งทะเล ปรากฏเป็นแนวยาวตั้งแต่บ้านตากวน ทางตะวันออกของมาบตาพุด จนถึงบ้านก้นอ่าวทางขอบด้านตะวันออกของพื้นที่สำรวจศึกษา โดยมีส่วนที่ลึกที่สุดตั้งแต่ชายฝั่งทะเลผ่านตัวเมืองระยองขึ้นไปตามคลองใหญ่เข้าไปประมาณ 7 กม. ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวสลับทรายแป้งและทรายละเอียด พบซากพืชและเศษเปลือกหอยปะปนอยู่ทั่วไป

4. ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลคลื่น (Qms) ปรากฏเป็นแนวยาว บริเวณชายฝั่งทะเล เช่นเดียวกับ หน่วย Qmc เกือบตลอดขอบด้านใต้ของแอ่งน้ำบาดาลระยอง ตั้งแต่หาดขลอดที่อยู่ตะเภา มาทางตะวันออก ที่หาดพูน หาดน้ำริน มาบตาพุด หาดแม่รำพึง จนถึงหาดเพ ประกอบด้วยชั้นทรายร่วน เม็ดทรายมีรูปร่างมนถึงเกือบมน มีการคัดขนาดดี มักพบเศษเปลือกหอย



รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาอ่างน้ำบาดาลระยองและอ่างน้ำบาดาลชลบุรี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

2.1.2 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

หินเกือบทุกชนิดเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลหรือเป็นชั้นหินให้น้ำ เพื่อให้การศึกษาแหล่งน้ำบาดาลทำได้ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุดจึงมีการจัดแบ่งหินชุดต่าง ๆ ออกเป็นหน่วยหินทางอุทกธรณีดังนี้ (รูปที่2.3)

1. ตะกอนน้ำพา ประกอบด้วย ตะกอนพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวที่พัดพามาสะสมโดยน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร เป็นชั้นๆ แทรกสลับ โดยมีการคัดขนาดและสัดส่วนของตะกอนขนาดต่างๆ แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของการตกตะกอน เช่น เกิดเป็นชั้นกรวดทรายเป็นดินเหนียว สลับกับชั้นของทรายแป้งปนดินเหนียวเป็นต้น แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินร่วน (Unconsolidated aquifer) ชนิดตะกอนน้ำพา (Alluvial aquifer; Oa)

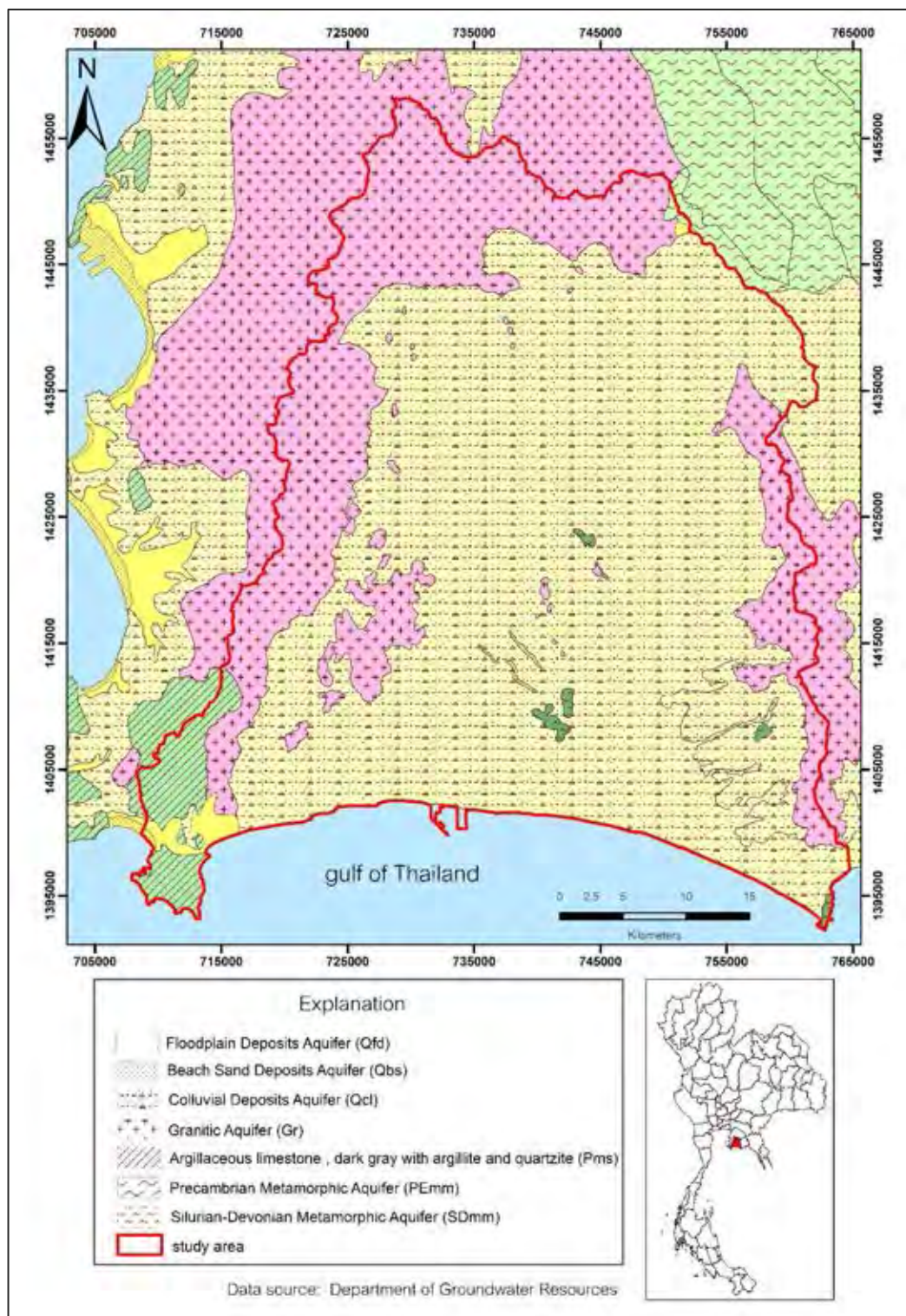
2. ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ ประกอบด้วย กรวด ทราย ดินเหนียว เศษหิน และศิลาแลง เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ (weathering) และการกร่อน (erosion) ของหินแข็งแล้วสะสมกองอยู่ตามหน้าผานหินหรือตกไปกองสะสมตามหุบเขา หรือบริเวณที่ลาดเอียงเชิงเขา เนื่องจากตะกอนชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นเศษหินเหลี่ยมปะปนกับดินเหนียวที่ผุพังมาจากหินเดิม จึงมีการคัดขนาดไม่ดี มักมีความพรุนน้อยและกักเก็บน้ำบาดาลได้น้อย แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินร่วนชนิดตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvial aquifer; Ocl)

3. ตะกอนชายหาด ประกอบด้วย ทราย เศษเปลือกหอย ที่สะสมจากกระแสน้ำตามชายหาด ทั้งที่เป็นชายหาดปัจจุบันและชายหาดยุคเก่า ส่วนบริเวณที่สะสมตามที่ราบลุ่มหลังแนวหาดจากอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง มีตะกอนของทรายแป้งและดินเหนียวเป็นหลัก แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินร่วนชนิดชั้นน้ำตะกอนชายหาด (Beach aquifer; Obs)

4. หน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปร ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต หินปูนเนื้อดิน หินดินดานกึ่งฟิลไลต์ และหินแคลก์ซิลิเกต ของยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน น้ำบาดาลอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อน และรอยต่อระหว่างชั้นหิน แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินแข็ง (Consolidated aquifer) ชนิดชั้นน้ำหินตะกอนกึ่งหินแปร (Meta-sediment Aquifer; PCms)

5. หน่วยหินแปร ประกอบด้วย หินฟิลไลต์ หินชีสต์ และหินไนส์ ของยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ลักษณะของหินส่วนใหญ่มีการโค้งงอ มีรอยแตก แต่รอยแตกไม่ค่อยต่อเนื่องเป็นแนวยาว ทำให้กักเก็บน้ำไม่ดี แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินแข็งชนิดชั้นน้ำหินแปร (Metamorphic aquifer; SDmm)

6. **หน่วยหินแกรนิต** ประกอบด้วย หินแกรนิตและหินไนส์ซิกแกรนิต ของยุคไทรแอสซิก น้ำบาดาลอยู่ในชั้นหินผุ และรอยแตก รอยเลื่อน ส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้ำน้อยเพราะรอยแตกไม่ค่อยต่อเนื่อง แหล่งน้ำบาดาลจากหน่วยหินนี้จัดเป็นชั้นน้ำบาดาลหินแข็งชนิดชั้นน้ำหินแกรนิต (Granitic aquifer; Gr)



รูปที่ 2.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยอง

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำและชลศาสตร์การไหล

2.2.1 วัสดุทางธรณีที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล

วัสดุทางธรณีที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาลประกอบด้วยสองชนิด ดังนี้

1. ชั้นน้ำ (aquifer) คือ วัสดุทางธรณีที่มีเนื้อวัสดุเป็น กรวด ทราย หินทรายที่รูพรุน หินปูนมีโพรง และหินแข็งชนิดต่าง ๆ ที่มีรอยแตก มีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในช่องว่างที่ต่อเนื่องกัน

2. ชั้นทึบน้ำ (confining layer, confining bed) คือ วัสดุทางธรณีที่มีเนื้อวัสดุเป็น ดินเหนียว ทรายแป้ง หินดินดาน หินทรายแป้ง หินอัคนีเนื้อแน่น และหินแปรเนื้อแน่น วัสดุเหล่านี้มักมีช่องว่างที่ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้มีคุณสมบัติไม่ยอมให้น้ำไหลผ่านหรือยอมให้ไหลผ่านได้น้อยมาก ถ้าชั้นทึบน้ำมีน้ำบาดาลรั่วซึมผ่านได้จะเรียกว่า ชั้นทึบน้ำรั่ว (leaky confining layer)

2.2.2 ประเภทของชั้นน้ำ

1. ชั้นน้ำไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) คือ ชั้นน้ำที่ไม่อยู่ภายใต้แรงดันกล่าวคือไม่มีชั้นทึบน้ำปิดทับ เป็นชั้นน้ำที่อยู่ใกล้ผิวดินที่สุด โดยระดับน้ำสูงสุดเรียกว่า water table ซึ่งระดับน้ำสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ในฤดูฝนระดับน้ำสูงสุดจะสูงกว่าฤดูร้อนเพราะน้ำที่มาเติมส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำฝนที่ไหลซึมลงไป

2. ชั้นน้ำมีแรงดัน (confined aquifer) คือ ชั้นน้ำที่มีชั้นทึบน้ำปิดทับอยู่ด้านบนและด้านล่าง ซึ่งน้ำหนักที่กดทับจะทำให้ น้ำถูกกักเก็บอยู่ภายใต้แรงดันที่สูงกว่าแรงดันบรรยากาศ เมื่อทำการเจาะเข้าไปในชั้นน้ำ น้ำจึงพุ่งขึ้นสูงในท่อเนื่องจากแรงดันภายใน ซึ่งถ้าหากชั้นน้ำมีแรงดันสูงมากอาจเกิดน้ำพุหรือมีน้ำพุ่งขึ้นมาเองโดยไม่มีการสูบ ระดับน้ำสูงสุดในชั้นน้ำมีแรงดัน เรียกว่า ระดับแรงดันน้ำ (piezometric surface)

3. ชั้นน้ำปลอม (perched aquifer) คือ ชั้นน้ำไม่มีแรงดันชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่อน้ำถูกกักเก็บบนชั้นทึบน้ำขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นกระเปาะ เมื่อทำการสูบไประยะหนึ่งน้ำบาดาลจะหมดลง จึงเรียกว่าชั้นน้ำปลอม

2.2.3 ปริมาณปลอดภัยและศักยภาพน้ำบาดาล

การสูบน้ำบาดาลต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ถูกเติมเข้าและน้ำที่ถูกนำมาใช้ ปริมาณปลอดภัย (safe yield) คือปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ผลเสียของการสูบน้ำบาดาลมากเกินไป เช่น การลดลง

ของระดับน้ำบาดาล การแทรกตัวของน้ำทะเล น้ำพุแห้ง รวมถึงการทรุดตัวของแผ่นดินและอื่น ๆ ซึ่งปริมาณพลอตภัยนี้มีความสัมพันธ์กับศักยภาพน้ำบาดาล

ศักยภาพน้ำบาดาล (groundwater potential) คือปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในชั้นน้ำรวมกับปริมาณน้ำที่ถูกเติมเข้าชั้นน้ำที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ โดยในแต่ละพื้นที่จะมีศักยภาพไม่เท่ากันซึ่งมีผลมาจากปริมาณพลอตภัย

2.2.4 กฎของดาร์ซี (Darcy's law)

เฮนรี ดาร์ซี (Henry Darcy) วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองการไหลของน้ำในท่อทรงกระบอก 2 ท่อที่บรรจุทรายไว้และแต่ละท่อมีความดันไม่เท่ากัน และได้รายงานผลการศึกษาดทดลองว่าอัตราการไหลของน้ำผ่านวัสดุที่มีรูพรุนจะแปรผันตรงกับการลดลงของความดันชลศาสตร์ (Head loss) และแปรผกผันกับระยะทางในแนวการไหล นอกจากนั้นปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity, K) และพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งจากการทดลองดาร์ซีพบว่า

$$Q = -KA(dh/dl)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (L^3/T)

K = สภาพการนำชลศาสตร์ (L/T)

dh/dl = ความลาดทางชลศาสตร์

2.2.5 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity, K)

คือ ความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำ คำนวณได้จากอัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลของน้ำภายใต้ลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย ส่วนมากเป็นค่าที่ได้มาจากการสูบทดสอบในภาคสนามเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$K = \frac{Q}{A(dh/dL)}$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (L/T ; m/d or ft/d)

Q = อัตราการไหล (L^3/T ; m^3/d or ft^3/d)

A = พื้นที่ (L^2 ; m^2 or ft^2)

dh/dL = ลาดชลศาสตร์ (L/L ; m/m or ft/ft)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่าง ๆ (Domenico and Schwartz, 1990)

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Unconsolidated Sedimentary Materials

Unconsolidated Sedimentary Materials	
Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Gravel	3×10^{-4} to 3×10^{-2}
Coarse sand	9×10^{-7} to 6×10^{-3}
Medium sand	9×10^{-7} to 5×10^{-4}
Fine sand	2×10^{-7} to 2×10^{-4}
Silt, loess	1×10^{-9} to 2×10^{-5}
Till	1×10^{-12} to 2×10^{-6}
Clay	1×10^{-11} to 4.7×10^{-9}
Unweathered marine clay	8×10^{-13} to 2×10^{-9}

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Crystalline Rocks

Crystalline Rocks	
Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Permeable basalt	4×10^{-7} to 2×10^{-2}
Fractured igneous and metamorphic rock	8×10^{-9} to 3×10^{-4}
Weathered granite	3.3×10^{-6} to 5.2×10^{-5}
Weathered gabbro	5.5×10^{-7} to 3.8×10^{-6}
Basalt	2×10^{-11} to 4.2×10^{-7}
Unfractured igneous and metamorphic rock	3×10^{-14} to 2×10^{-10}

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใน Sedimentary Rocks

Sedimentary Rocks	
Rock Type	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Karst and reef limestone	1×10^{-6} to 2×10^{-2}
Limestone, dolomite	1×10^{-9} to 6×10^{-6}
Sandstone	3×10^{-10} to 6×10^{-6}
Siltstone	1×10^{-11} to 1.4×10^{-8}
Salt	1×10^{-12} to 1×10^{-10}
Anhydrite	4×10^{-13} to 2×10^{-8}
Shale	1×10^{-13} to 2×10^{-9}

ตารางที่ 2.4 ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่าง ๆ (Domenico and Miffilin, 1965)

Material	Ss (m-1)
Plastic clay	1.89×10^{-3} to 2.38×10^{-4}
Stiff clay	2.38×10^{-4} to 1.19×10^{-4}
Medium hard clay	1.19×10^{-4} to 8.53×10^{-5}
Loose sand	4.57×10^{-5} to 9.45×10^{-5}
Dense sand	1.19×10^{-5} to 1.89×10^{-5}
Dense sandy gravel	4.57×10^{-6} to 9.45×10^{-6}
Rock, fissured	3.05×10^{-7} to 9.45×10^{-6}
Rock, sound	$< 3.05 \times 10^{-7}$

ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำ (Heath, 1983)

Material	Porosity (%)	Specific Yield (%)	Specific Retention (%)
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Sandstone (unconsolidated)	11	6	5
Granite	0.1	0.09	0.01
Basalt (young)	11	8	3

ตารางที่ 2.6 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่าง ๆ ของ Morris and Johnson, 1967

Material	Specific Yield (%)	Material	Specific Yield (%)
Gravel, coarse	21	Limestone	14
Gravel, medium	24	Dune sand	38
Gravel, fine	28	Loess	18
Sand, coarse	30	Peat	44
Sand, medium	32	Schist	26
Sand, fine	33	Siltstone	12
Silt	20	Till, predominantly silt	6
Clay	6	Till, predominantly sand	16
Sandstone, fine grained	21	Till, predominantly gravel	16
Sandstone, medium grained	27	Tuff	21

2.2.6 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity, S)

ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Confined aquifer) ส่วนที่เป็นชั้นหินอุ้มน้ำจะอึดตัวด้วยน้ำทั้งหมด ดังนั้นจึงใช้ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำมาคำนวณโดยตรง สัมประสิทธิ์การกักเก็บจะคำนวณได้จาก

$$S = S_G b$$

และสำหรับชั้นหินอุ้มน้ำแบบไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) เนื่องจากความหนาของส่วนที่อึดตัวด้วยน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในช่องว่าง ระดับน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย จึงพิจารณาพร้อมกับประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (Specific yield, S_y)

$$S = S_y + S_G b$$

โดยที่ S = สัมประสิทธิ์การกักเก็บ

S_G = การกักเก็บจำเพาะ (1/L)

S_y = ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ

b = ความหนาของชั้นอุ้มน้ำที่มีแรงดัน (L)

2.2.7 ความพรุน (porosity, n)

ความพรุน เป็นตัวแปรหนึ่งที่โปรแกรมใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บคือ อัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรชั้นน้ำทั้งหมด ค่าของความพรุนมีผลมาจากขนาด รูปร่าง การอัดตัว การจัดเรียงรอยแตก รวมถึงตัวประสานของวัสดุทางธรณี ในการศึกษาหน้าบาดาลมักให้ความสำคัญกับความต่อเนื่องกันของช่องว่าง เพราะช่องว่างที่เชื่อมถึงกันจะทำให้น้ำบาดาลไหลผ่านได้ เมื่อพิจารณาเฉพาะช่องว่างที่เชื่อมถึงกัน ความพรุนจะเรียกชื่อใหม่ว่า ความพรุนต่อเนื่อง (effective porosity, n_e) ความพรุนต่อเนื่องจะมีค่าไม่เกินค่าของความพรุนเสมอ

$$n_e = \frac{V_v}{V_t}$$

โดยที่ n_e = ความพรุนไม่ต่อเนื่อง [ไม่มีหน่วย]

V_v = ปริมาตรของช่องว่างต่อเนื่อง (effective void volume) [L^3]

V_t = ปริมาตรทั้งหมดของวัสดุธรณี (total volume) [L^3]

ตารางที่ 2.7 ค่าความพรุนในวัสดุทางธรณีวิทยาต่าง ๆ (Heath, 1983)

Material	Porosity (%)
Plastic clay	55
Stiff clay	50
Medium hard clay	25
Loose sand	20
Dense sand	20
Dense sandy gravel	11
Rock, fissured	0.1
Rock, sound	11

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับโปรแกรม MODFLOW

แบบจำลองในตระกูล MODFLOW เป็น Three-dimensional finite-difference groundwater flow model เขียนโดย McDonald and Harbaugh (1988) ใช้การแก้ปัญหาแบบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite-differential method) เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในการศึกษา น้ำบาดาลใช้อธิบายขนาด ทิศทางและพฤติกรรมของการไหลของรวมถึงการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดินโดยเป็นการไหลแบบสามมิติ แบบจำลองในตระกูล MODFLOW นำมาประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่ชั้นหินอุ้มน้ำทั้งแบบมีแรงดันและไม่มีแรงดัน หรือรวมทั้งสองกรณี โดยโปรแกรมหลักจะมีชุดโปรแกรมย่อย (module) ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของหัวข้อที่ต้องการศึกษา

2.3.1. สมการการไหลของ 3 มิติของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Equation)

สมการเชิงอนุพันธ์ที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ใน 3 มิติของน้ำบาดาลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนในสถานะที่ความหนาแน่นคงที่คือสมการดังนี้ (Harbaugh, 2005)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

โดยที่ K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} = เมตริกซ์ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

(Hydraulic conductivity) มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา (L/T)

h = แรงดันน้ำใต้ดิน (head) มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)

W = ปริมาตรของการไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Volumetric flux) มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนเวลา (1/T) ซึ่งมีค่าเป็นบวกเมื่อน้ำไหลเข้าสู่ระบบ และมีค่าเป็นลบเมื่อน้ำไหลออกจากระบบ

S_s = การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนระยะทาง (1/L)

t = เวลา (T)

2.3.2 สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite-difference equation)

วิธีการแก้ปัญหาแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite-difference method) คือการแบ่งพื้นที่ของชั้นน้ำออกตารางย่อยเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2-1 เข้ามาประยุกต์กับทฤษฎีการไหลของน้ำใต้ดิน โดยผลรวมทั้งหมดของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกที่ไหลผ่านเซลล์จะต้องเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บน้ำภายในเซลล์ (Harbaugh, 2005) มีสมการดังนี้

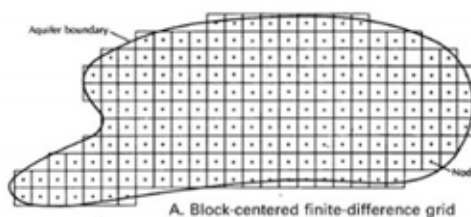
$$\sum Q_i = SS \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลเข้าเซลล์ (L^3/T) หากไหลเข้าเป็นบวกและไหลออกเป็นลบ

SS คือ การเก็บกักเฉพาะ (Specific storage) (L^{-1}) หากปริมาณเพิ่มเป็นบวกและลดลงเป็นลบ

ΔV คือ ปริมาตรของเซลล์ (L^{-3})

Δh คือ ระดับความดันชลศาสตร์ที่เปลี่ยนในช่วงเวลา Δt



รูปที่ 2.4 การแบ่งพื้นที่แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Fetter, 2001)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) สำรวจและศึกษาค่าพื้นฐานโลหะหนักในน้ำบาดาลแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี โดยได้แบ่งชั้นน้ำบาดาลออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำบาดาลหินร่วน และชั้นน้ำบาดาลหินแข็ง เมื่อพิจารณาคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และที่เป็นพิษ ร่วมกับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะหนักอื่นๆ เพื่อจัดระดับความเหมาะสมในการนำน้ำบาดาลไปใช้ ประโยชน์พบว่าส่วนใหญ่ น้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลหินร่วนจะมีคุณภาพต่ำกว่าในชั้นหินแข็ง และคุณภาพน้ำจะลดลงในบริเวณที่ใช้ประโยชน์ที่ดินหนาแน่นหรือในชุมชน

นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการทางธรรมชาติระหว่างหินและตะกอนชั้นน้ำบาดาลกับน้ำบาดาลยังคงเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในน้ำบาดาลทั้งสองชั้นโดยเฉพาะในชั้นน้ำบาดาลหินแข็งที่มีค่าความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักมากกว่าหรืออยู่ในช่วงค่าพื้นฐานชั้นกับลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ และในชั้นน้ำบาดาลหินร่วนบางบริเวณจะได้รับอิทธิพลจากของมนุษย์

สุพล สันติเจริญกุล (2554) ศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล และความเป็นไปได้ของการรुक้ำของน้ำเค็มในเทศบาลนครสงขลา ตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่มวลสาร พบว่าน้ำบาดาลจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางทิศใต้มารวมกับน้ำจากพื้นที่รับน้ำบริเวณกลางพื้นที่ศึกษาแล้วไหลออกทางทิศตะวันออกลงสู่ทะเลอ่าวไทย และไหลออกทางด้านทิศตะวันตกลงสู่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในแบบจำลองมากที่สุดคือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

การศึกษาการรुक้ำของน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษาใช้ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์เป็นตัวบ่งชี้ ซึ่งพบว่าในชั้นน้ำสมิหลามีปริมาณคลอไรด์อยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนบริเวณที่คลอไรด์มีการกระจายตัวสูงกว่ามาตรฐานจะจำกัดขอบเขตอยู่ในพื้นที่ใกล้ทะเลสาบสงขลาและริมทะเลอ่าวไทยของชั้นน้ำบ่อยาง

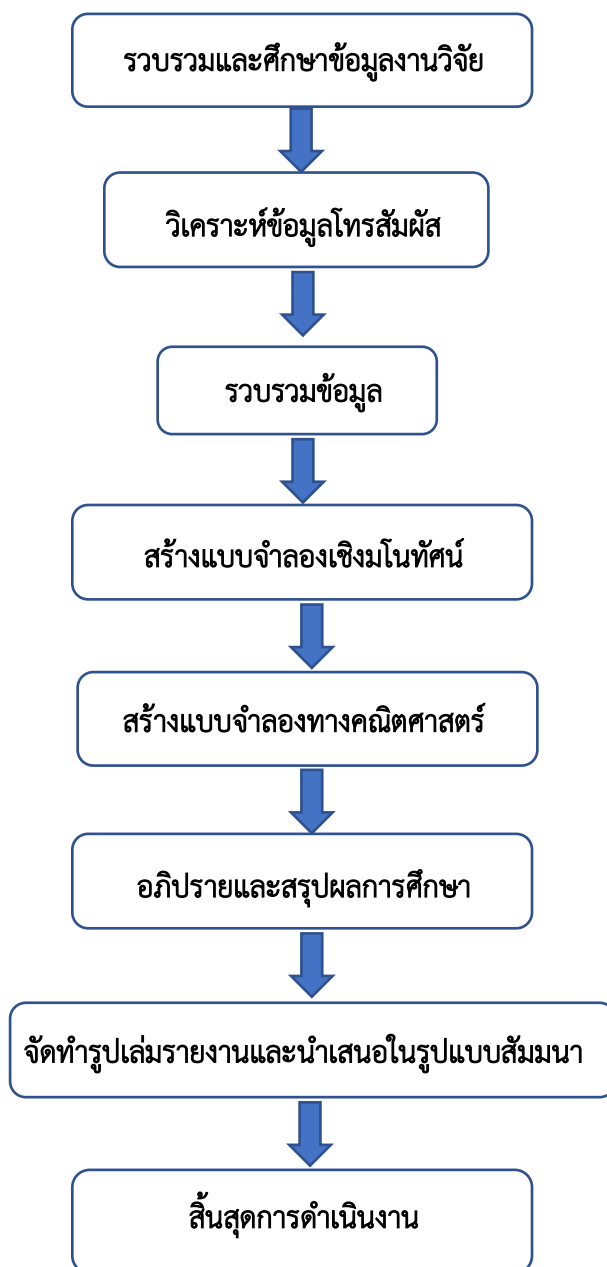
จิรพงษ์ เหล่าน้ำใส (2559) สร้างแบบจำลองควบน้ำผิวดิน-น้ำบาดาล จำลองระดับน้ำ ศึกษา ลักษณะการไหลของน้ำบาดาล รวมทั้งประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ปรับเทียบพารามิเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำ พบว่าในเขตจังหวัดสุโขทัยน้ำบาดาลจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำทางทิศตะวันตก แนวสันปันน้ำ อำเภอทุ่งเสลี่ยม ไหลไปทางทิศตะวันออกซึ่งคืออำเภอองไกรลาศ รวมกับน้ำจากทิศเหนือ อำเภอศรีสัชนาลัย และไหลลงสู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อำเภอศรีนคร ตามแนวทิศทางการไหลของแม่น้ำยม ระบบน้ำบาดาลในจังหวัดสุโขทัยมีเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้อยกว่าปริมาณที่ออกจากระบบ ทำให้ระบบไม่อยู่ในสมดุลและระดับบาดาลลดลง

Koch (2011) ศึกษาปริมาณการสูบน้ำสูงสุดที่เป็นไปได้โดยไม่ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงต่ำกว่า 20 เมตร ใน 20 ปีข้างหน้าของระบบชั้นน้ำเชิงทรายตอนบน ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และใช้ชุดโปรแกรมย่อย (module) ที่ชื่อว่า zone budget ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาตามค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกเป็น 20 พื้นที่ย่อย โดยได้ผลการศึกษาว่าปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้เมื่อพิจารณาพื้นที่ย่อยทั้งหมดแล้ว การสูบน้ำในพื้นที่ศึกษาขึ้นมาใช้โดยระดับน้ำบาดาลยังอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือสูบได้ไม่เกิน 1,600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการใช้โปรแกรม

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ Visual MODFLOW รวมถึงศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการนำเข้าเพื่อประมวลผล เช่น ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และข้อมูลบ่อบาดาล ของพื้นที่ศึกษาแอ่งน้ำบาดาลระยอง

3.3 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการทำแบบจำลอง

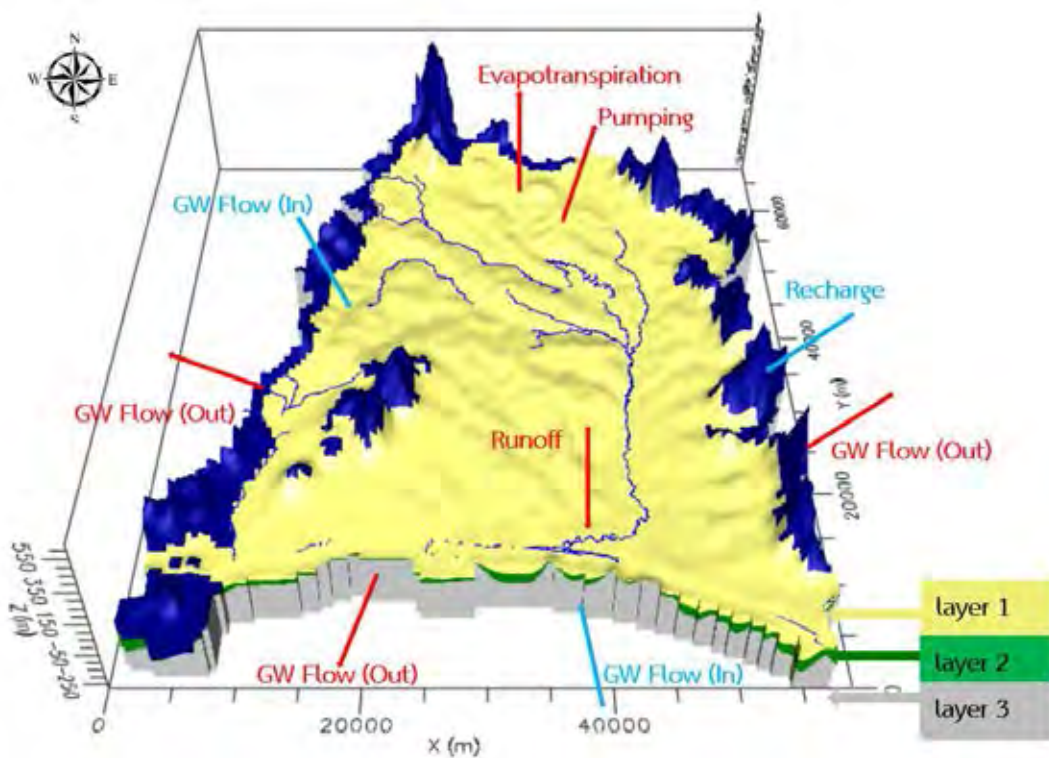
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

ข้อมูลนำเข้า	ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เป็นข้อมูลนำเข้า	แหล่งที่มา
ภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิประเทศ	Google Earth Pro
ระดับความสูงพื้นผิว (Surface)	Digital Elevation Model (DEM) ความละเอียด 30x30 เมตร	USGS
ระดับชั้นน้ำต่างๆ (Layers)	ข้อมูลหลุมเจาะบ่อสังเกตการณ์	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
	ภาพตัดขวางแอ่งน้ำบาดาลระยอง	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
อัตราการเติมน้ำฝน (Recharge)	ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จังหวัดระยองปี พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ. 2559 จังหวัดชลบุรีปี พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ. 2559	กรมอุตุนิยมวิทยา
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากการสุบทดสอบ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
	ค่าของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่าง ๆ	Domenico and Schwartz, 1990
	ข้อมูลลักษณะอุทกธรณีวิทยาเพื่อแบ่งขอบเขตหน่วยหินตามค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S)	ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่าง ๆ	Domenico and Miffilin, 1965
	ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่าง ๆ	Heath, 1983
	ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่าง ๆ	Morris and Johnson, 1967
	ค่าความพรุนในวัสดุต่าง ๆ	Morris and Johnson, 1967
	ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2560

บ่อสังเกตการณ์ (Observation wells)	บ่อสังเกตการณ์หน้าแล้งจำนวน 18 บ่อ และ หน้าฝนจำนวน 16 บ่อ ประกอบด้วยข้อมูล ระดับน้ำของแต่ละช่วงเวลาสังเกตการณ์, ข้อมูลระดับสิ้นสุดท่อกรู, ระดับกันท่อกรูและ ของแต่ละบ่อ ในปี พ.ศ. 2560	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2560
บ่อสูบ (Pumping wells)	บ่อสูบจำนวน 386 บ่อ ประกอบด้วยข้อมูล อัตราการสูบ, ระดับสิ้นสุดท่อกรู และระดับกัน ท่อกรูของแต่ละบ่อ	ฐานข้อมูลพสุธา กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.4 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model)

การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จากข้อมูลที่รวบรวมไว้แล้วดังในตารางที่ 3.1 จะช่วยให้มองเห็นภาพรวมลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะชั้นน้ำและการแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อให้เกิดความเข้าใจของระบบและพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเลียนแบบสถานะจริงตามธรรมชาติในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.2 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา

3.5 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Numerical model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาปัญหาทางด้านน้ำบาดาลได้หลากหลาย โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาเกี่ยวกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (Groundwater flow model) ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลประกอบด้วยรูปแบบและขนาดของชั้นหินอุ้มน้ำ, ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, ระดับน้ำในแหล่งน้ำผิวดินและทางน้ำต่าง ๆ, ขอบเขตและเงื่อนไข (Boundary conditions) ของชั้นน้ำ รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ดังใน **ตารางที่ 3.1** ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะส่งผลให้เกิดความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคือการนำข้อมูลเหล่านั้นเข้าโปรแกรมและเข้าสู่กระบวนการประมวลผลของแบบจำลอง จากนั้นทำการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) หากพบว่าผลจากการประมวลผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่สอดคล้องกับข้อมูลบ่งชี้เหตุการณ์ ให้ปรับค่าของตัวแปรต่าง ๆ หรือแบบปรับปรุงจำลองเชิงคณิตศาสตร์ใหม่จนกว่าจะได้ค่าทางสถิติที่ยอมรับได้

3.5.1 การกำหนดกริดและจำนวนชั้นน้ำ

แบบจำลองถูกสร้างขึ้นบนระบบพิกัด UTM (ใช้ตัวเลือก World co-ordinate system ในโปรแกรม) เพื่อความสะดวกในการเชื่อมโยงกับข้อมูลที่นำเข้าซึ่งถูกจัดเก็บในระบบพิกัด UTM พื้นที่ศึกษาได้ถูกแบ่งให้มีความละเอียดของกริดหรือขนาดของเซลล์ (Cell) เท่ากับ 460 x 560 เมตร ตามแนวนอนและแนวตั้ง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาจริงมีความกว้างและความยาว 56 x 67 ตารางกิโลเมตร ทำให้แบบจำลองนี้มี 120 สดมภ์ (column) และ 120 แถว (row) ส่วนกริดในแนวตั้งนั้นได้แบ่งไว้ทั้งสิ้น 3 ชั้น (layer) ดังนั้นเมื่อรวมกริดในแนวตั้งแบบจำลองจะมีเซลล์รวมทั้งสิ้น 43,200 เซลล์

การแบ่งชั้นน้ำจะพิจารณาจากหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ได้จากรายงานของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลปี พ.ศ. 2555 (**ตารางที่ 3.2**) เดิมมี 6 หน่วยหิน แต่ในแบบจำลองนี้กำหนดให้มีเพียง 4 หน่วยหิน (**ตารางที่ 3.3**) ในส่วนของการแบ่งชั้นน้ำได้แบ่งออกเป็น 3 ชั้น และความหนาของชั้นน้ำจะพิจารณาจากลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ลักษณะทางธรณีวิทยาและภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา ซึ่งจะอธิบายขอบเขตของหน่วยหินและความหนาชั้นน้ำไว้ในหัวข้อค่าคุณสมบัติทางด้านอุทกศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (**หัวข้อ 3.4.2**)

ตารางที่ 3.2 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

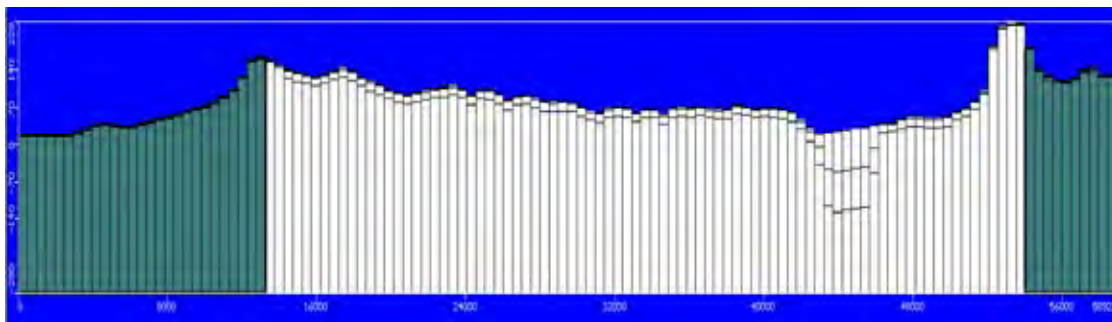
ชั้นน้ำ	คำอธิบาย
Qa	Quaternary alluvial deposits
Qcl	Quaternary colluvial deposits
Qbs	Quaternary beach deposits
PCms	Permian – Carboniferous meta-sediment
SDmm	Silurian – Devonian metamorphic rock
Gr	Triassic granite

ตารางที่ 3.3 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง

ชั้นน้ำ	คำอธิบาย
Qa	Quaternary alluvial deposits
Qcl	Quaternary colluvial deposits
PCms	Permian – Carboniferous meta-sediment
Gr	Triassic granite



รูปที่ 3.3 การออกแบบกริดในแนวระนาบของแบบจำลอง




รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพตัดขวางแนวตะวันออก-ตกในแถวที่ 63 แสดงการแบ่งชั้นน้ำทั้ง 3 ชั้น

3.5.2 ค่าคุณสมบัติทางด้านอุทกศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

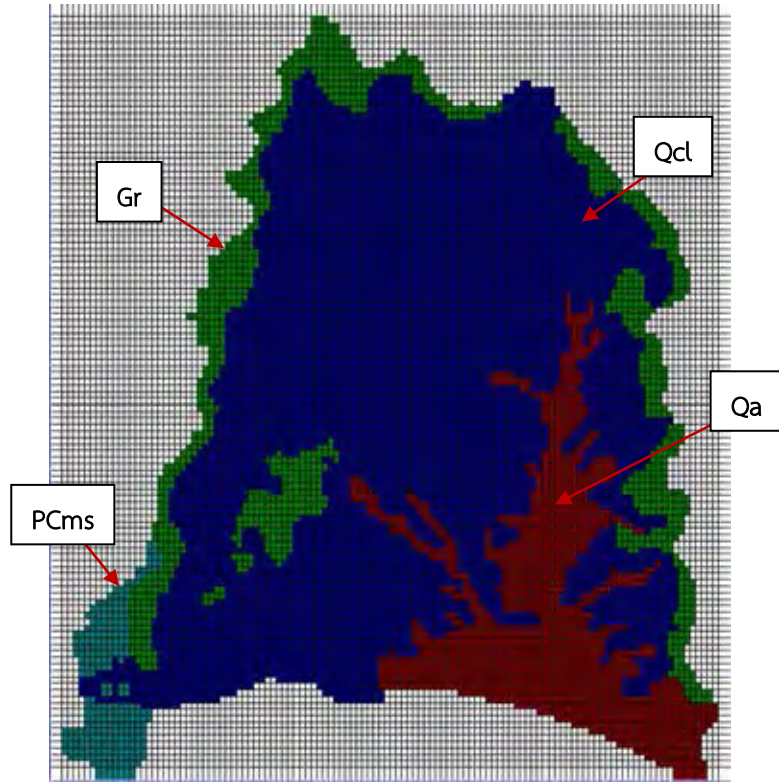
คุณสมบัติทางด้านอุทกศาสตร์จะเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวราบ (Hydraulic conductivity; Kx) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage parameter: Ss และ Sy) ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2555 และจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่าง ๆ ของ Domenico และ Schwartz ในปี ค.ศ.1990 โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะแตกต่างกันตามลักษณะของวัสดุทางธรณีวิทยาที่ต่างกัน โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวตั้งต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวราบ (Kx/Kz) เท่ากับ 1:20

ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์ขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

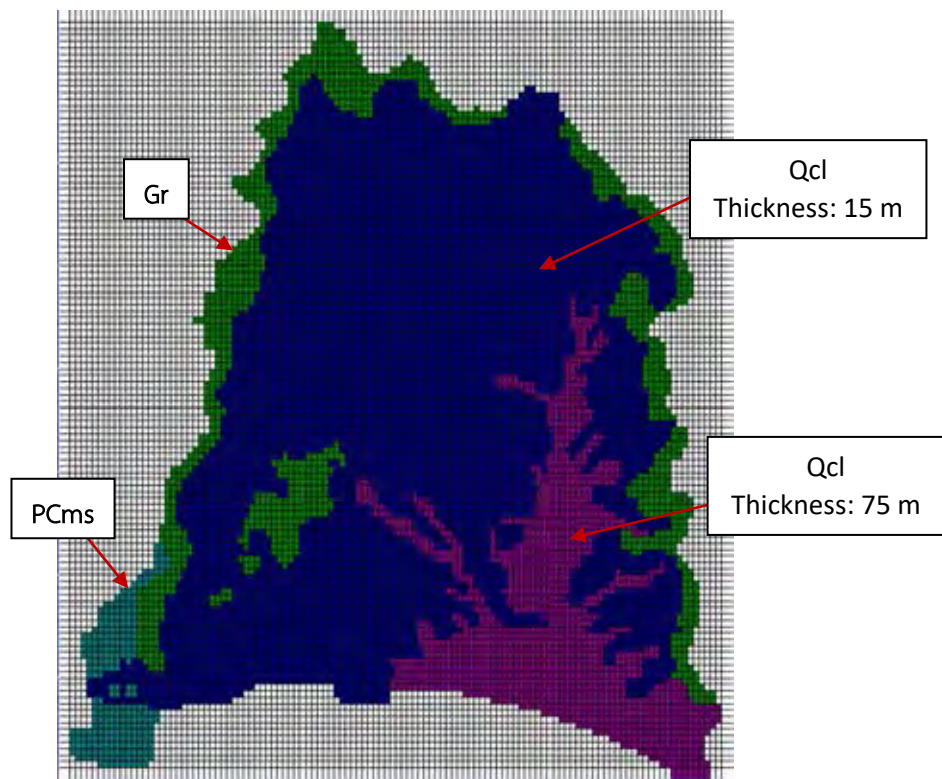
สัญลักษณ์	หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)
	Qa	5.162E-6
	Qcl	3.75E-6
	PCms	6.296E-7
	Gr	1.447E-6

ตารางที่ 3.5 ความหนาชั้นน้ำ

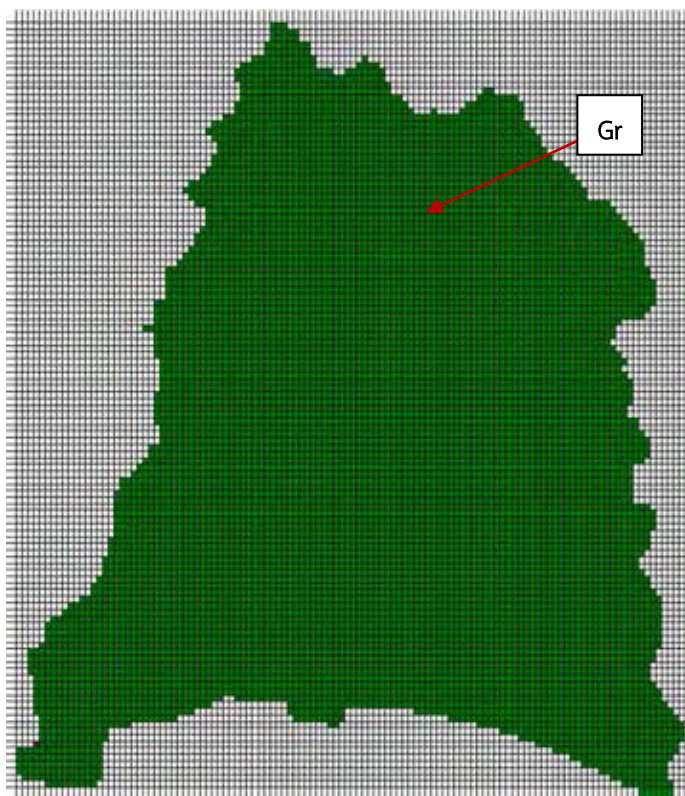
หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	ความหนาชั้นน้ำที่ 1	ความหนาชั้นน้ำที่ 2	ความหนาชั้นน้ำที่ 3
Qa	75	75	ตั้งค่าตามความสูงภูมิประเทศที่ -280 เมตร
Qcl	3	15 และ 75	
PCms	150	100	
Gr	3	3	



รูปที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 1



รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 2



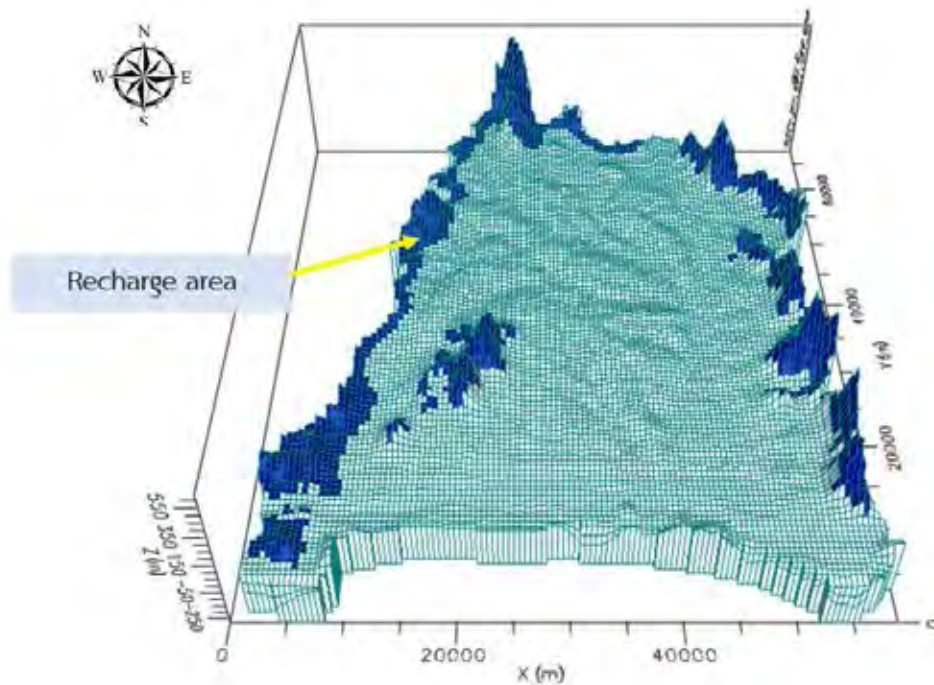
รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นน้ำที่ 3

3.5.3 การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundary conditions)

ในการสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องมีการกำหนดสภาวะขอบเขตโดยเลียนแบบสภาวะต่าง ๆ ตามธรรมชาติที่มีผลต่อระดับน้ำและการไหลของน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงควรกำหนดค่าให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้ผลลัพธ์การสร้างแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

3.5.3.1 การเติมน้ำ (Recharge)

ในการสร้างแบบจำลองนี้กำหนดให้พื้นที่แนวเขาเป็นพื้นที่เติมน้ำ คือ ภูเขาหินแกรนิต (Gr) ตามบริเวณขอบแอ่งและภูเขาในหน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปร (PCms) ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยให้อัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นประมาณร้อยละ 6.5 ของปริมาณน้ำฝนรายปีของจังหวัดระยอง ซึ่งข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาระบุว่ามีปริมาณน้ำฝน 1,573 มม./ปี ร้อยละ 6.5 ของปริมาณน้ำฝนคือ 102 มม./ปี



รูปที่ 3.8 ขอบเขตการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

3.5.3.2 ขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant Head)

ค่าระดับน้ำคงที่แบ่งออกเป็นสองขอบเขตคือ บริเวณชายฝั่งติดทะเลให้ค่าเป็น 0 เมตร และบริเวณอ่างเก็บน้ำให้มีค่าระดับน้ำคงที่เท่ากับค่าเฉลี่ยความสูงภูมิประเทศในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ (ตารางที่ 3.6)

ตารางที่ 3.6 ค่าระดับน้ำคงที่และความจุอ่างเก็บน้ำ

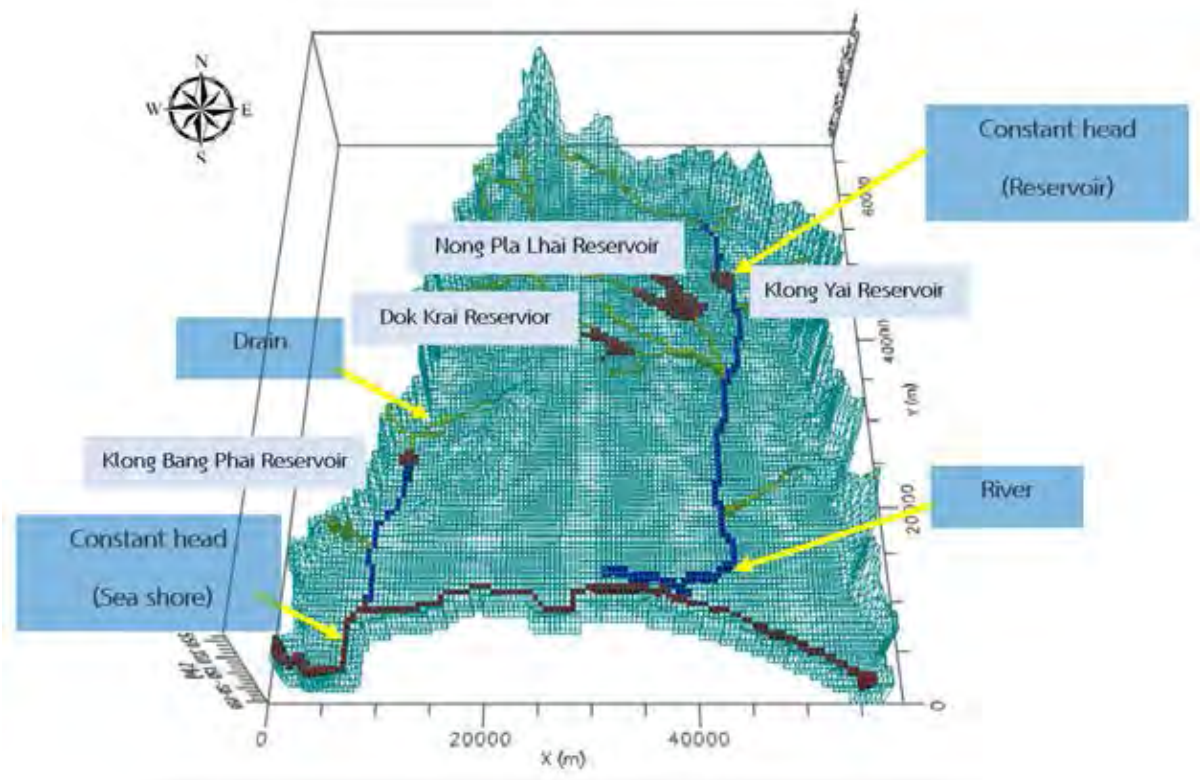
ขอบเขตค่าระดับน้ำคงที่	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ค่าระดับน้ำคงที่ในแบบจำลอง (เมตร)
1. อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล	163.75	60
2. อ่างเก็บน้ำดอกกราย	71.40	55
3. อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่	40.10	55
4. อ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่	12	60

3.5.3.3 ทางน้ำ

การกำหนดทางน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. กำหนดให้ทางน้ำที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทยเป็น River ประกอบด้วยแม่น้ำสองสาย ได้แก่ แม่น้ำระยองหรือแม่น้ำคลองใหญ่ไหลผ่านอ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ทางทิศเหนือและไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทยทางทิศใต้ แม่น้ำระยองมีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร มีความกว้างตั้งแต่ 20 เมตร ถึงช่วงที่กว้างที่สุดประมาณ 200 เมตร และคลองบางไผ่ที่เชื่อมมาจากอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ มีความยาวประมาณ 17 กิโลเมตร เป็นคลองเล็ก ๆ ที่มีความกว้างไม่เกิน 5 เมตร แต่จะมีความกว้างมากที่สุดประมาณ 20 เมตร ในช่วงปากน้ำที่ไหลออกสู่อ่าวไทย

2. กำหนดให้ทางน้ำย่อยอื่น ๆ เป็น Drain ขอบเขตประเภทนี้เป็นพื้นที่ที่มีการระบายน้ำตามลักษณะของลำธาร กำหนดให้แต่ละกริดเซลล์มีค่าการระบายน้ำ 500 ตารางเมตร/วัน เช่น คลองดอกกราย คลองหนึ่ง คลองสอง ห้วยภูไทร มักเป็นทางน้ำที่ไหลจากพื้นที่เติมน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำ และพื้นที่กลางแอ่ง



รูปที่ 3.9 การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundary conditions)

3.5.4 ข้อมูลบ่อบาดาล (Wells)

1. ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ (Observation wells) ใช้ข้อมูลที่ทำการศึกษาสำรวจโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในหน้าฝนเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ.2554 จำนวน 74 บ่อ และหน้าแล้งเดือนมกราคมปี พ.ศ. 2555 จำนวน 74 บ่อ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะคงที่ (Steady-state) จะทำการสร้างแบบจำลองทั้งสองช่วงเวลา และในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะเปลี่ยนแปลง (Transient-state) จะทำการสร้างแบบจำลองจากเดือนสิงหาคมไปเดือนมกราคม โดยข้อมูลบ่อสังเกตการณ์จะแสดงในภาคผนวก

2. ข้อมูลบ่อสูบ (Pumping wells) จำนวน 386 บ่อ ซึ่งกระจายอยู่ในทุกชั้นน้ำ มีอัตราการสูบรวมอยู่ที่ 26,767.7 ลบ.ม./วัน

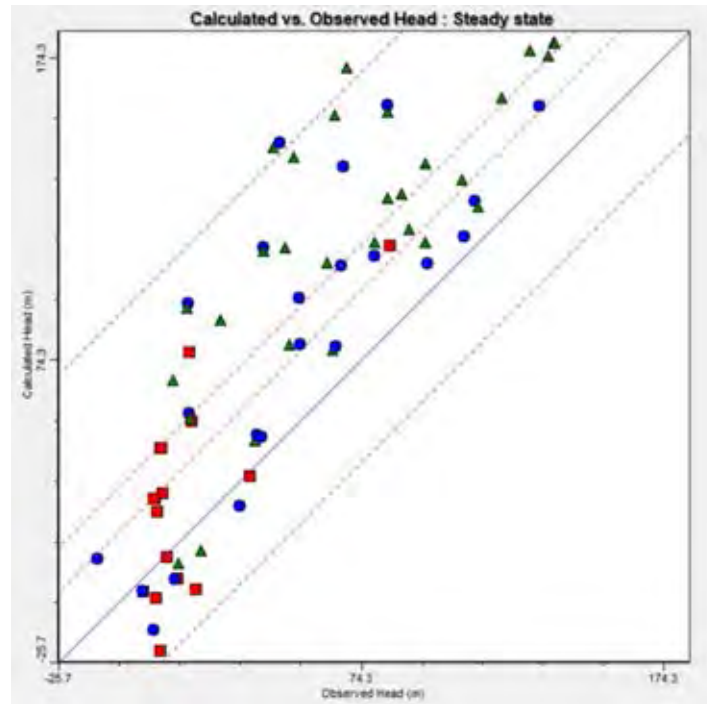


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์

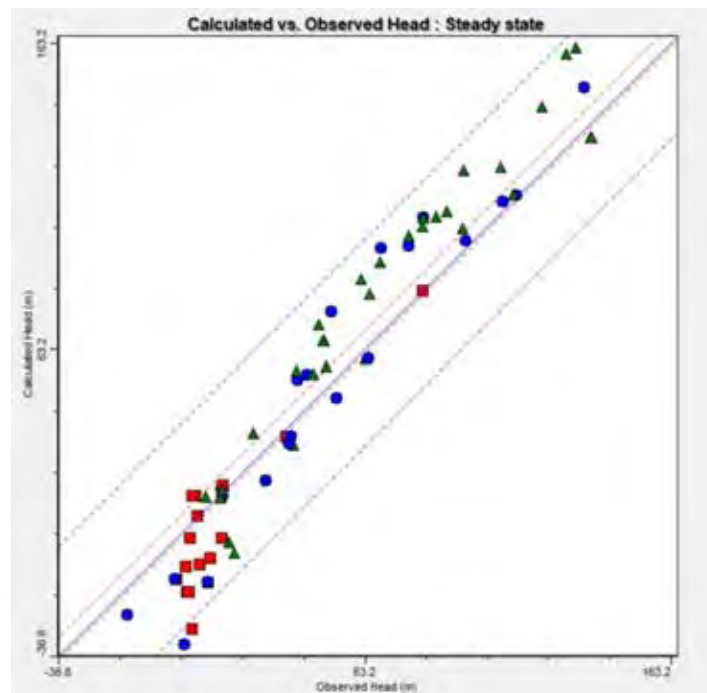
3.5.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

เมื่อเรานำเข้าข้อมูลค่าทางอุทกศาสตร์ต่าง ๆ แล้วจะสามารถดูผลการสร้างแบบจำลองได้จากผลการวิเคราะห์ซึ่งจะแสดงผลในลักษณะของกราฟการปรับเทียบระหว่างแนวแกนตั้งหรือค่าระดับน้ำบ่อสังเกตการณ์จากการเก็บข้อมูลภาคสนามเทียบกับแนวแกนนอนหรือระดับน้ำของบ่อที่โปรแกรมคำนวณออกมา หากผลการวิเคราะห์ยังไม่เป็นที่ยอมรับได้ให้ทำการปรับค่าทางอุทกศาสตร์ใหม่เพื่อให้ผลออกมาอยู่ในเส้นระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และเมื่อทำการปรับเทียบแล้วเราสามารถ

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (verification) ด้วยการเปลี่ยนชุดข้อมูลระดับน้ำจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ถ้าผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันมากนักก็ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ตัวค่าทางอุทกศาสตร์แล้ว และสามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้คาดคะเนผลได้

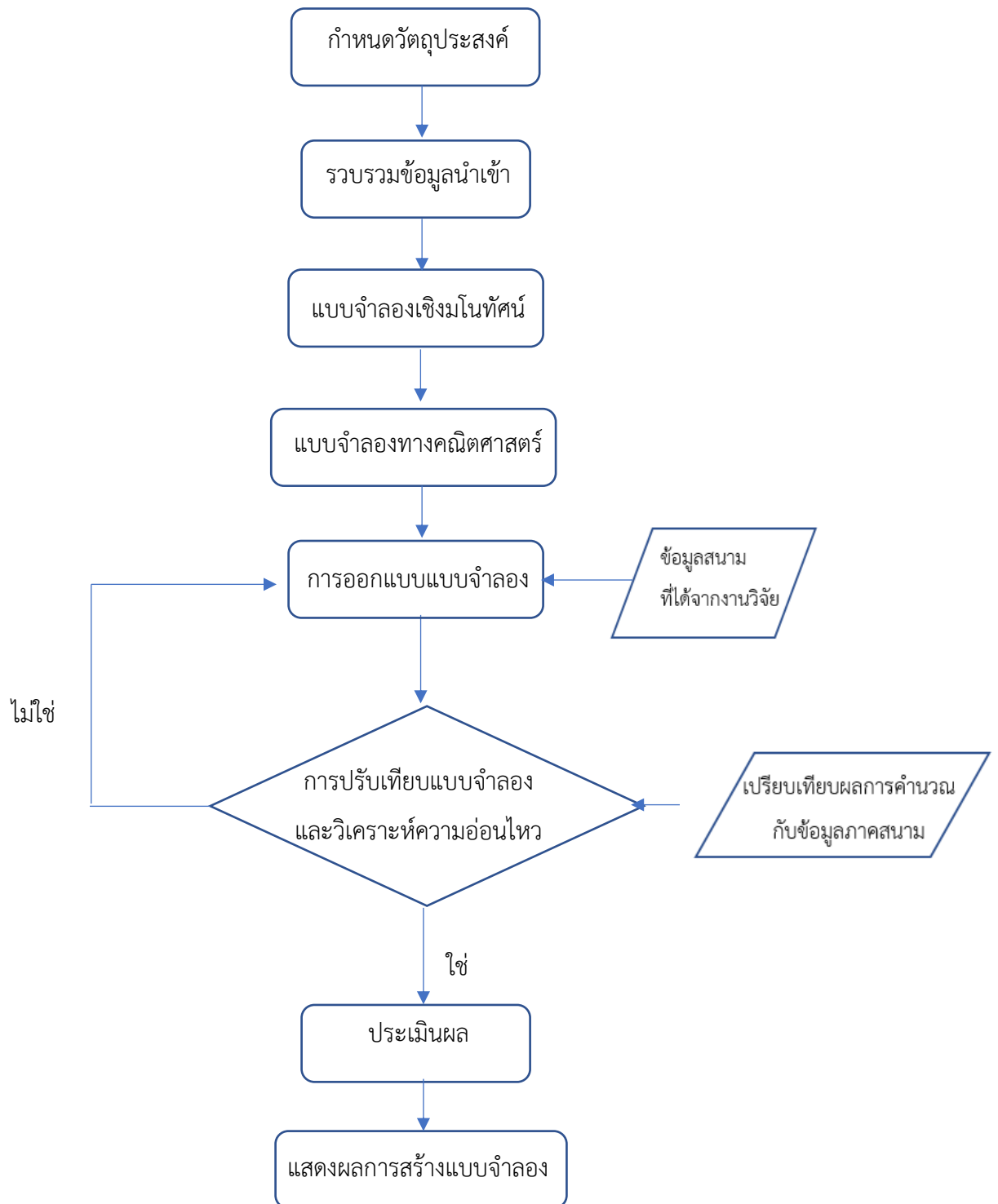


รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ก่อนทำการปรับเทียบแบบจำลอง



รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์หลังทำการปรับเทียบแบบจำลอง

3.6 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สถานะคงที่ (Steady state simulation)

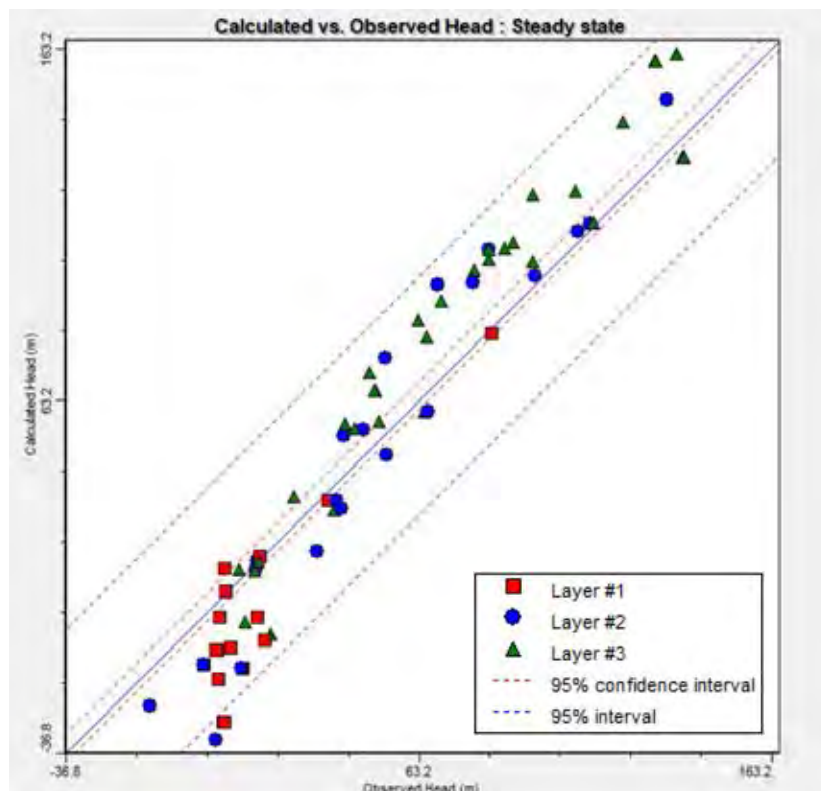
การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสถานะคงที่ หมายถึงการกำหนดให้ระดับน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและฤดูกาลหรือให้แบบจำลองการไหลอยู่ในสถานะที่สมดุล แต่ความเป็นจริงในธรรมชาติระดับน้ำบาดาลจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอในการศึกษาสมดุลน้ำจะถือว่าอัตราการไหลเข้า (Inflow) และการสูญเสียน้ำจากแอ่งน้ำบาดาล (Outflow) มีอัตราเท่ากัน ซึ่งการเปรียบเทียบในสถานะคงที่นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อตรวจสอบรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลที่กำหนดไว้ในแบบจำลองเชิงโมเดล
2. เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity, K) และอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แอ่งน้ำบาดาล
3. ใช้เป็นข้อมูลและสถานะเริ่มต้น (Initial condition) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสถานะเปลี่ยนแปลง

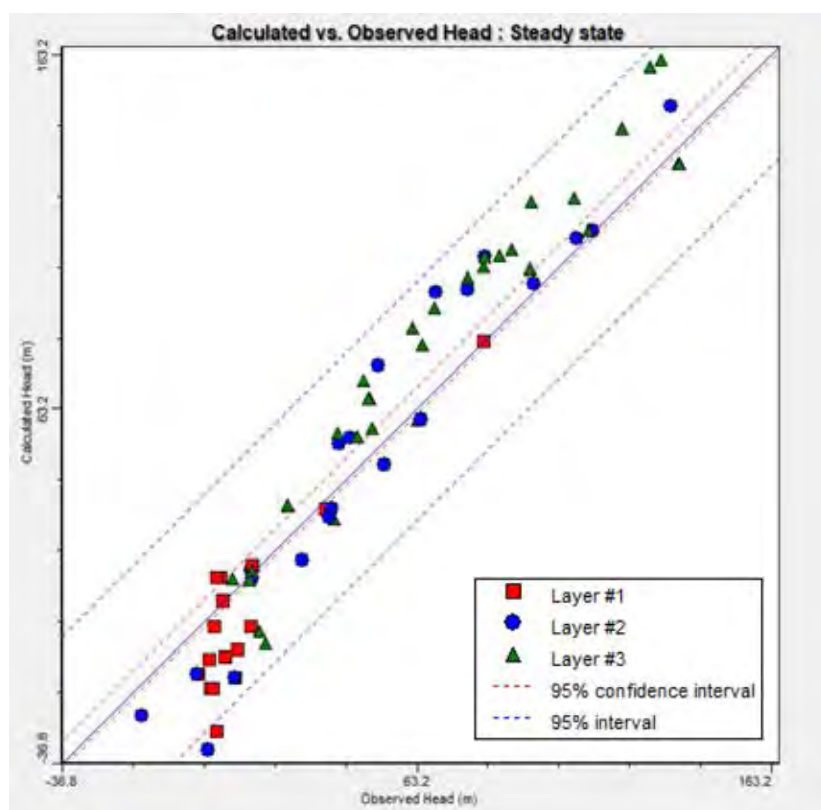
ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สถานะคงที่สองช่วงเวลา คือ เดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2554 เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง (calibration) แสดงในรูปที่ 4.1 และเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2555 เพื่อเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (verification) แสดงในรูปที่ 4.2 โดยผลการจำลองของทั้งสองช่วงเวลามีผลการจำลองส่วนใหญ่อยู่ภายในช่วงระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์และค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองแสดงใน ตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่แบบจำลองสถานะคงที่

ความคลาดเคลื่อน	สิงหาคม 2554	มกราคม 2555
Standard error of the estimate (m)	1.973	1.963
Root mean squared (m)	16.925	16.941
Normalized RMS (%)	11.204	11.188
Correlation coefficient	0.97	0.97



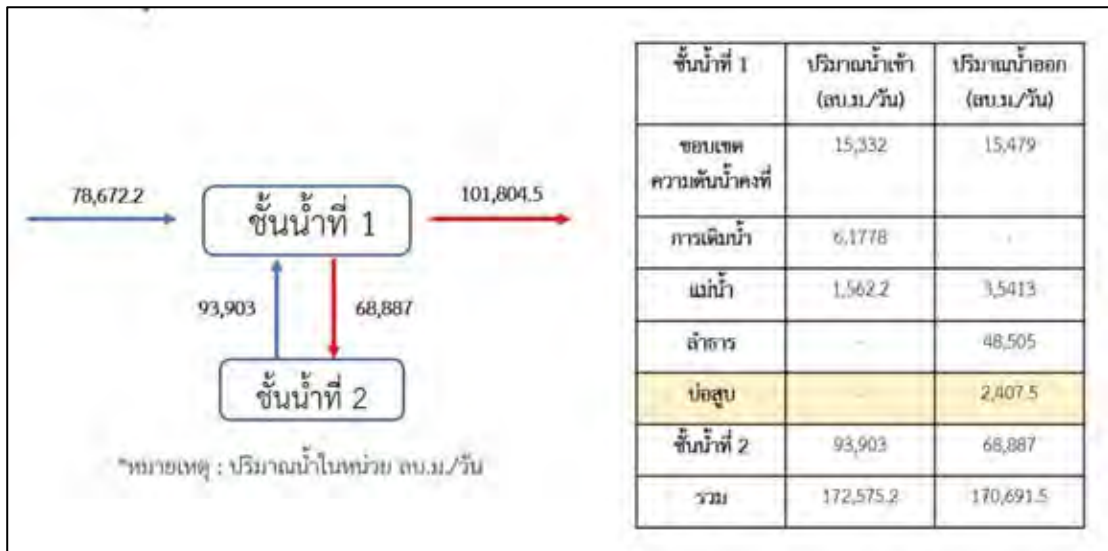
รูปที่ 4.1 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนสิงหาคม



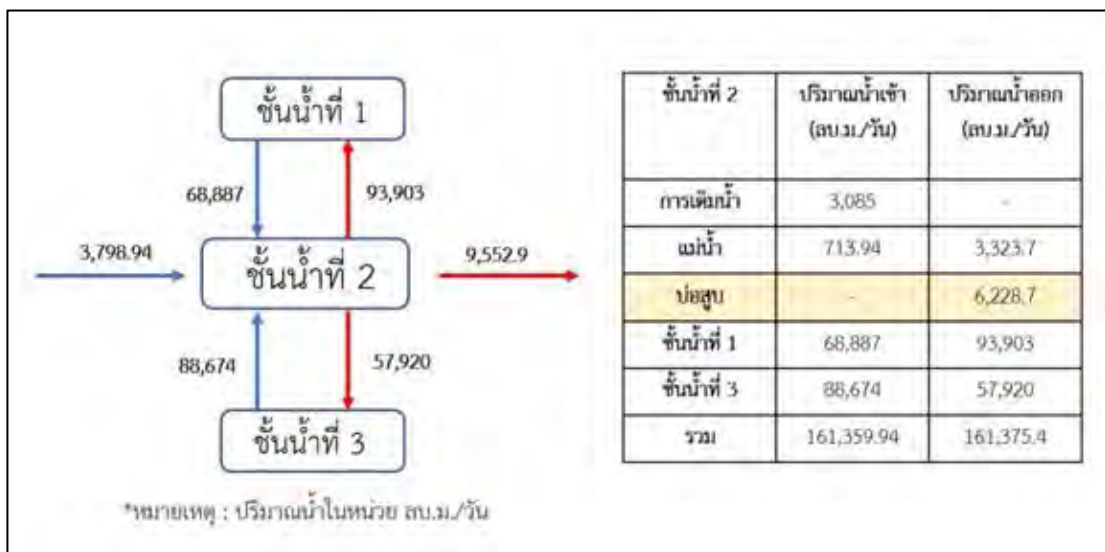
รูปที่ 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองเดือนมกราคม

4.1.1 ประเมินปริมาณน้ำบาดาลจากแบบจำลองสภาวะคงที่

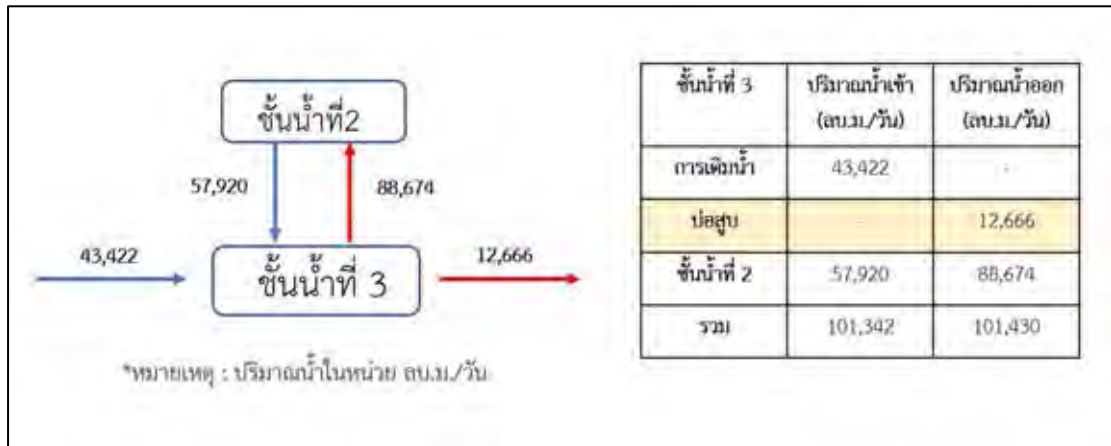
จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะคงที่ที่จะสามารถคำนวณสมดุลน้ำบาดาลได้ ซึ่งจะถือว่าอัตราการไหลเข้า (Inflow) และการสูญเสียน้ำจากแอ่งน้ำบาดาล (Outflow) มีอัตราเท่ากัน หากรวมแล้วไม่เท่ากันคาดว่าส่งผลมาจากความผิดพลาด (Error) จากขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้ ได้สรุปสมดุลน้ำบาดาลออกมาเป็นแผนภาพ(รูปที่ 4.3-5)



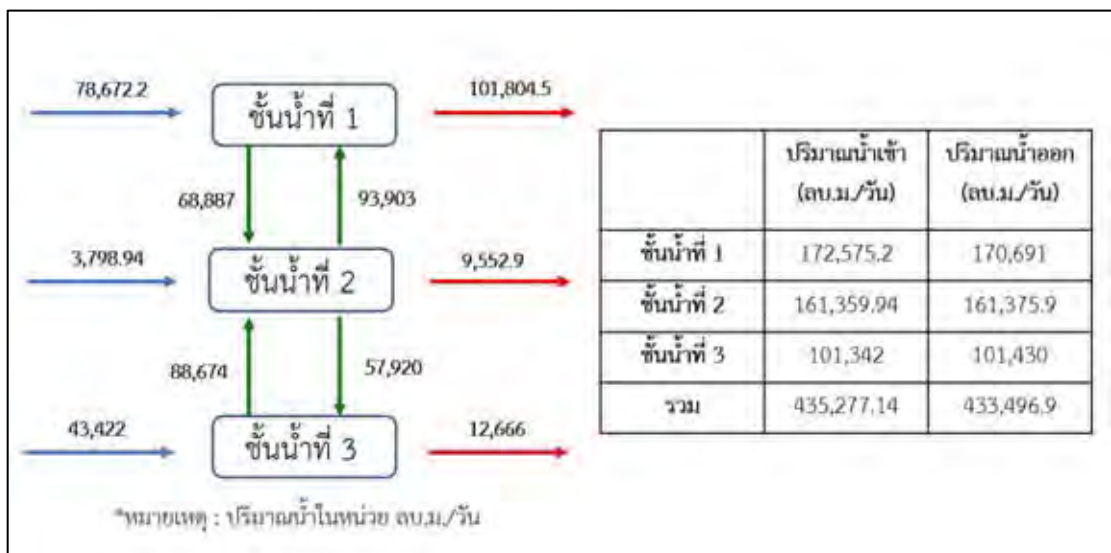
รูปที่ 4.3 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 1



รูปที่ 4.4 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 2



รูปที่ 4.5 สมดุลน้ำในชั้นน้ำที่ 3



รูปที่ 4.6 สมดุลน้ำในระบบ

จากการศึกษาพบว่าชั้นน้ำที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นน้ำหินแข็งที่กำหนดให้เป็นหินแกรนิตมีอัตราการสูบน้ำมากที่สุด คือ 12,666 ลบ.ม./วัน และอัตราการสูบน้ำรวมทั้งหมดอยู่ที่ 26,767.7 ลบ.ม./วัน หรือ 9.8 ล้าน ลบ.ม./ปี

4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางอุทกศาสตร์ต่าง ๆ (Hydraulic properties)

คุณสมบัติทางด้านอุทกศาสตร์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ในแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity, K) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าที่ได้จากการปรับเทียบสอดคล้องกับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุ ต่าง ๆ ของ Domenico และ Schwartz ในปี ค.ศ.1990 และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage parameter, Ss และ Sy)

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสถานะคงที่

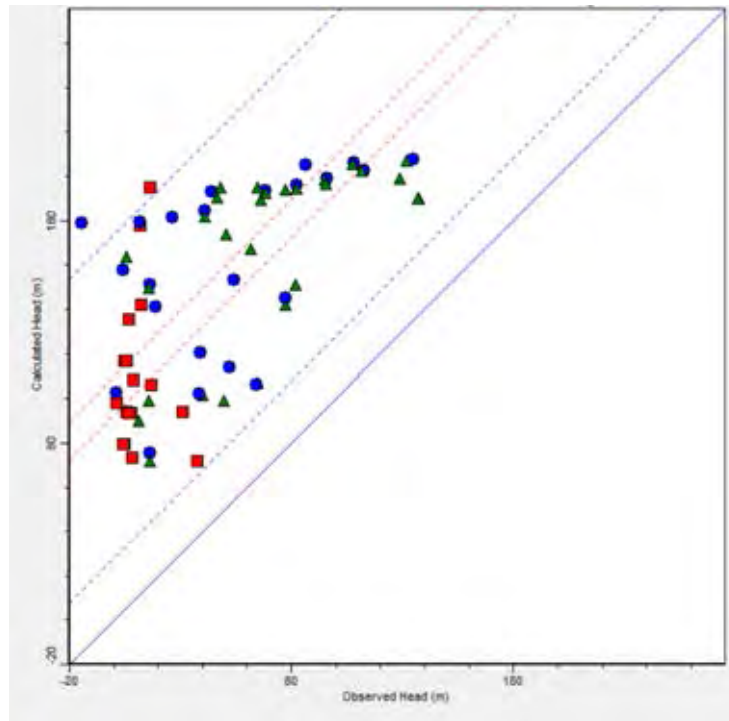
หน่วยหิน ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)			ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Domenico and Schwartz, 1990)
	Kx	Ky	Kz	
Qa	5.162E-6	5.162E-6	2.58E-7	1E-9 to 6E-3
Qcl	3.75E-6	3.75E-6	1.875E-7	1E-9 to 6E-3
PCms	6.296E-7	6.296E-7	3.148E-8	8E-9 to 3E-4
Gr	1.447E-6	1.447E-6	7.234E-8	8E-9 to 3E-4

4.2 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สถานะเปลี่ยนแปลง (Transient state simulation)

การจำลองการไหลในสถานะไม่คงที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาล ในช่วงระยะเวลาที่ทำการจำลองกับระดับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากข้อมูลที่ตรวจวัดจาก ภาคสนาม นั่นคือเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ทำการปรับเทียบ พารามิเตอร์เพื่อให้ระดับน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับข้อมูลจากการตรวจวัดใน ภาคสนามมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำแบบจำลองสถานะเปลี่ยนแปลง

ความคลาดเคลื่อน	ค่า
Standard error of the estimate (m)	4.271
Root mean squared (m)	107.12
Normalized RMS (%)	70.627
Correlation coefficient	0.651



รูปที่ 4.7 ผลการสร้างแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง

หน่วยหิน ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)		
	Kx	Ky	Kz
Qa	5.162E-4	5.162E-6	2.58E-7
Qcl	3.75E-4	3.75E-6	1.875E-7
PCms	6.296E-6	6.296E-6	3.148E-8
Gr	1.447E-5	1.447E-5	7.234E-7

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บในแบบจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลง

หน่วยหิน ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	
	การกักเก็บจำเพาะ (Ss) (1/m)	ประสิทธิภาพในการกัก เก็บ (Sy)
Qa	0.01	0.02
Qcl	0.01	0.02
PCms	1E-5	0.02
Gr	1E-5	0.02

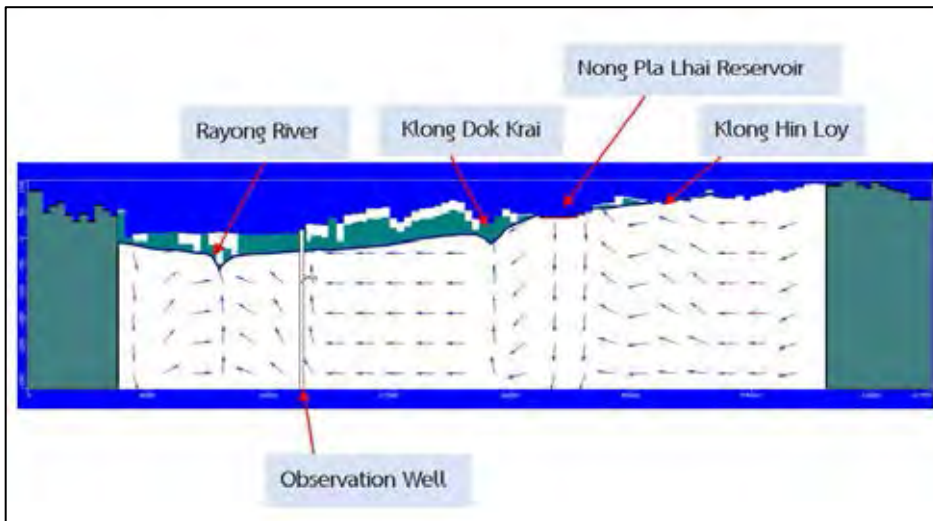
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ได้จากการเปรียบเทียบในแบบจำลองสภาวะคงที่ พบว่าผลการวิเคราะห์ยังไม่อยู่ในช่วงความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ จึงทำการเปรียบเทียบใหม่ได้ผลการศึกษาดัง **ตารางที่ 4.5** ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำแสดงใน **ตารางที่ 4.4**

4.3 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (Groundwater flow)

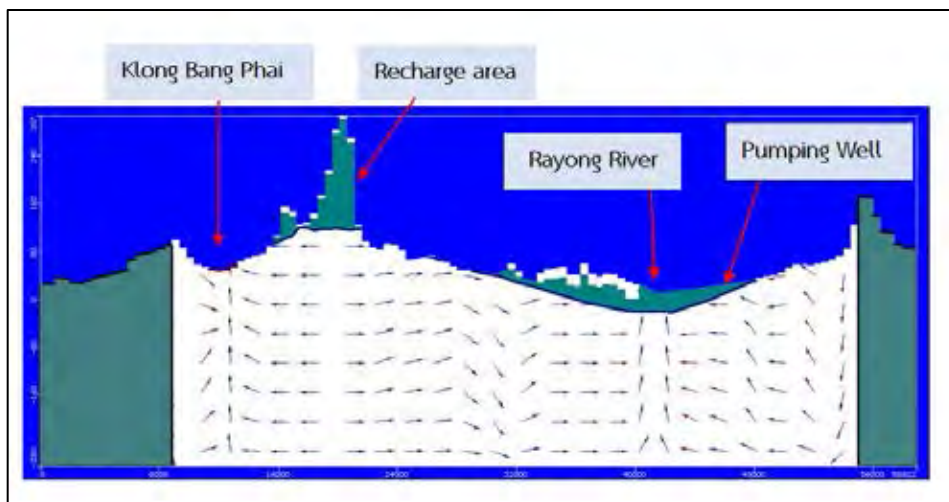
ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ ที่เวลา 7300 วัน พบว่าน้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เขาซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่เติมน้ำ ลงสู่พื้นที่กลางแอ่งเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และไหลเข้าสู่ทางน้ำเพื่อระบายน้ำออกสู่ทะเลอ่าวไทย หรือสังเกตทิศทางการไหลจากระดับน้ำบาดาล น้ำจะไหลจากเส้นระดับน้ำที่สูงไปยังเส้นระดับน้ำที่ต่ำกว่าแสดงใน **รูปที่ 4.12** เพื่อให้มองเห็นภาพการไหลของน้ำบาดาลมากยิ่งขึ้นจึงทำการสร้างภาพตัดขวางจำนวน 3 แนวดัง **รูปที่ 4.8** และแสดงภาพตัดขวางแต่ละแนวใน **รูปที่ 4.9-11** ตามลำดับ



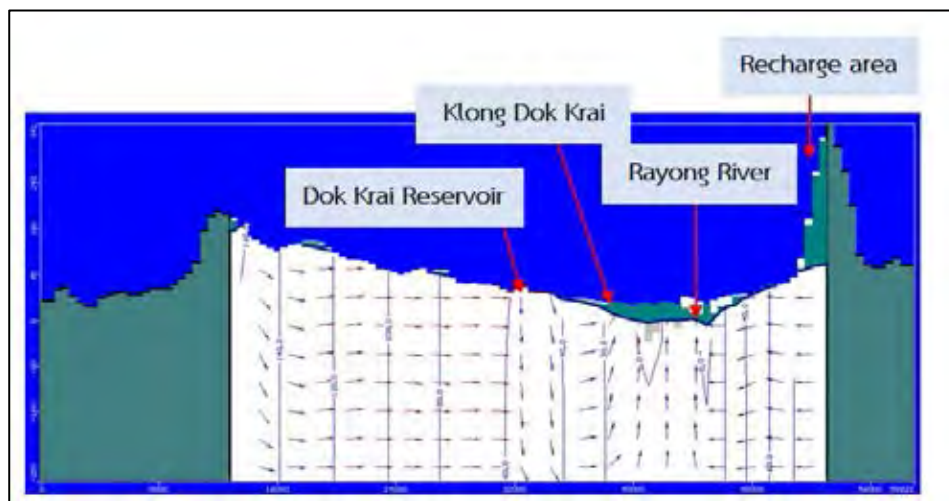
รูปที่ 4.8 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่



รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางแนว (A-A')

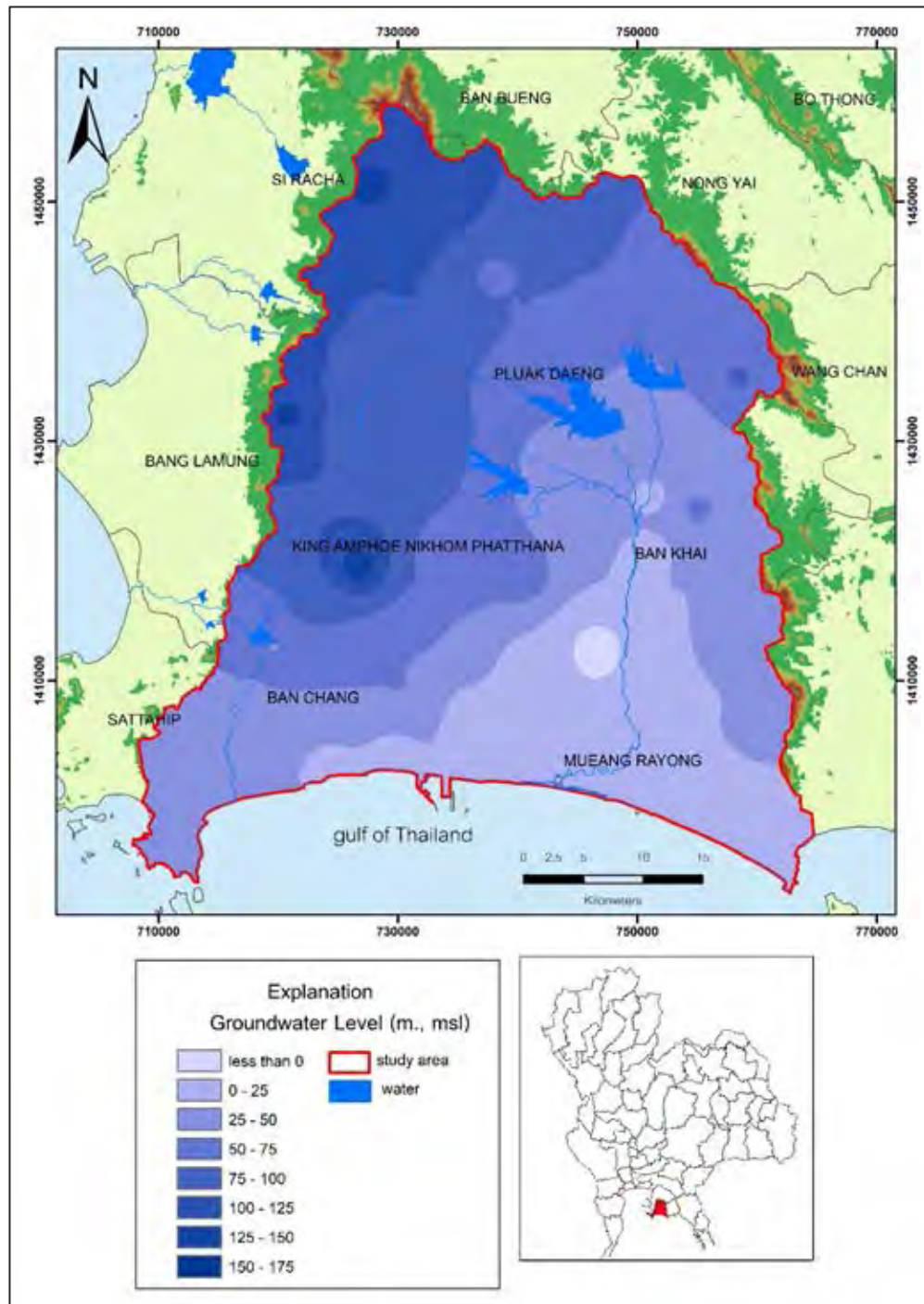


รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวางแนว (B-B')



รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางแนว (C-C')

จากภาพตัดขวางทั้งสามแนว จะพบว่าสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา กล่าวคือ น้ำจะไหลจากพื้นที่เติมน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เขาไหลขนานกับชั้นน้ำลงสู่ชั้นตะกอนบริเวณแอ่งน้ำบาดาล ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหลและอ่างเก็บน้ำตอกรายมีการไหลจากอ่างเก็บน้ำเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำ แต่ต่างจากอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ที่ได้รับการเติมน้ำจากชั้นน้ำในส่วนของทางน้ำ น้ำจะไหลเข้าแม่น้ำ ลำคลอง เพื่อไหลลงสู่ทะเลอ่าวไทย ในบริเวณที่มีการสูบน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำจะพุ่งเข้าหาบ่อสูบ



รูปที่ 4.12 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สภาวะคงที่พบว่าทิศทางการไหลของน้ำบาดาลสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์และลักษณะภูมิประเทศ คือน้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เขาซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่เติมน้ำ ลงสู่พื้นที่กลางแอ่งเข้าสู่อ่างเก็บน้ำและไหลเข้าสู่ทางน้ำเพื่อระบายน้ำออกสู่ทะเลอ่าวไทย
2. พื้นที่เติมน้ำคือบริเวณที่เป็นแนวเขาหรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา PCms และ Gr ในพื้นที่ศึกษา อัตราการเติมน้ำเป็นตัวแปรสำคัญต่อแบบจำลอง จึงสรุปได้ว่าอัตราการเติมน้ำ ปริมาณน้ำฝน และลักษณะของพื้นที่มีผลโดยตรงต่อระดับน้ำบาดาล โดยมีอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลอยู่ที่ร้อยละ 6.5 ของปริมาณน้ำฝนรายปีจังหวัดระยอง และน้ำฝนจะเติมเข้าสู่ชั้นน้ำที่ 1 มากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นน้ำอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงตามธรรมชาติ
3. ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในชั้นน้ำตะกอนร่วน (Qa&Qcl) มีผลต่อแบบจำลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นน้ำอื่น ๆ ค่าประสิทธิ์การซึมผ่านในทุกชั้นน้ำของพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง $6.296E-7$ ถึง $5.162E-6$ เมตร/วัน
4. จากข้อมูลสมมูลน้ำพบว่าทุกชั้นน้ำจะมีปฏิสัมพันธ์ของน้ำบาดาลที่เข้าและออกระหว่างกัน โดยชั้นน้ำที่อยู่ด้านบนจะเติมน้ำสู่ชั้นน้ำด้านล่าง และน้ำจากชั้นน้ำด้านล่างก็สามารถเติมเข้าสู่ชั้นน้ำด้านบนได้เนื่องจากแรงดันในชั้นน้ำ ส่วนชั้นน้ำที่มีอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลมากที่สุดคือชั้นน้ำที่ 1 เพราะทำหน้าที่ระบายน้ำลงสู่ทะเลอ่าวไทย แต่ชั้นน้ำที่มีอัตราการสูบน้ำมากที่สุดคือชั้นน้ำที่ 3 โดยมีอัตราการสูบน้ำ $12,663$ ลบ.ม./วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลบ่อสูบน้ำบาดาล ควรมีการเก็บบันทึกข้อมูลให้ครบถ้วนสมบูรณ์เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง
2. ในส่วนของค่าทางชลศาสตร์ ควรมีการสุบทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมและค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บในแต่ละหน่วยหินให้มากขึ้นเพื่อนำค่าทางอุทกศาสตร์ที่เป็นจริงตามธรรมชาติมาใช้เป็นข้อมูลในการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2551. โครงการ “ประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี”.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2555. โครงการ “สำรวจและศึกษาค่าพื้นฐานโลหะหนักในน้ำบาดาล แอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี”.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ. 2551. โครงการ “การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อจัดการทรัพยากรน้ำเชิงพื้นที่พร้อมระบบสนับสนุนการตัดสินใจและกระบวนการทางสังคมในบริเวณพื้นที่จังหวัดระยอง”.
- สุพล สันติเจริญกุล. 2554. การจำลองการไหลของน้ำบาดาลของเทศบาลนครสงขลาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อรุณ ลูกจันทร์, ธนิต เฉลิมยานนท์, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์. สมุดน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำปลอดภัยในแอ่งขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. 2551. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, หน้า 608-613.
- Anderson, M.P., and Woessner, W.W. Applied groundwater modeling simulation of flow and advective transport. USA: Elsevier, 2002.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. Physical and chemical hydrogeology. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- Domenico, P.A. and Mifflin, M.D. Water from low-permeability sediments and land subsidence. Water resources research vol. 1 (December 1965): 563-576.
- Harbaugh, A.W. The U.S. geological survey modular ground-water model-the ground-water flow process. In U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, 2005.

Mercer, J.W., and Faust, C.R. 1980. Ground-Water Modeling: An Overview. Ground Water18: 108-115.

Morris, D.A., and Johnson, A.I. Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials, as analyzed by the hydrologic laboratory of the U.S. geological survey. Water supply paper, 1967.

Schlumberger Water Services, Visual mudflow premium demo tutorial, 2010.

ภาคผนวก

ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ (Observation wells)

Well names	Easting	Northing	Depth (m)	Water level (m) August, 2012	Water level (m) January, 2013
NBV-MWU-RY-001	729603	1447630	10	2.6	2.6
NBV-MWU-RY-002	728320	1441365	17	2.25	2.4
NBV-MWU-RY-004	727893	1451135	14	4.19	2.66
NBV-MWU-RY-005	720929	1432189	10	1.87	3.14
NBV-MWU-RY-006	719651	1412817	26	5.6	6.6
NBV-MWU-RY-007	713721	1406653	24	6.22	6.22
NBV-MWU-RY-008	758375	1435300	18	5.2	6.43
NBV-MWU-RY-009	740945	1435498	20	3.87	5.22
NBV-MWU-RY-010	743826	1427310	8	3.43	5.97
NBV-MWU-RY-011	763789	1396797	9	1.42	1.79
NBV-MWU-RY-012	726667	1419538	14	4.2	5.17
NBV-MWU-RY-013	760812	1405741	8	2.19	3
NBV-MWU-RY-014	740344	1418824	10	5.15	6.25
NBV-MWU-RY-016	730156	1409758	27	4.92	6.37
NBV-MWU-RY-019	735762	1407555	18	7.18	7.78
NBV-MWU-RY-020	732184	1410937	16	2.24	5.26
NBV-MWU-RY-021	738885	1404416	12	1.87	3.31
NBV-MWU-RY-022	724485	1402445	16	2.44	3.41
NBV-MWU-RY-025	746080	1446617	16	5.61	6.39
NBV-MWU-RY-026	750981	1411238	24	1.45	2.98
NBV-MWU-RY-027	727781	1444261	12	7.7	6.64
NBV-MWU-RY-028	740945	1435498	46	4.89	6.23
NBV-MWU-RY-029	746649	1412420	102	33.5	34.93
NBV-MWU-RY-030	750981	1411238	98	2.05	3
NBV-MW-U-RY-001	750183	1443181	14	2.88	4
NBV-MW-U-RY-002	722804	1416244	29	1.63	2.77
NBV-MW-U-RY-003	739404	1447865	15	4.62	5.77
NBV-MW-U-RY-006	731808	1430369	8	5.29	7.01
NBV-MW-U-RY-007	754943	1424284	12	2.02	2.02
NBV-MW-U-RY-008	754758	1399577	22	1.45	2.21
NBV-MW-U-RY-009	749609	1404656	50	1.84	3.03

NBV-MW-U-RY-010	749610	1404657	30	1.74	3.13
NBV-MW-U-RY-011	760940	1396102	18	1.95	2.15
NBV-MW-U-RY-012	738191	1443916	12	3.22	3.22
NBV-MW-U-RY-013	729606	1412940	21	2.6	3.71
NBV-MW-U-RY-014	751170	1420895	84	2.56	3.32
NBV-MW-U-RY-016	750206	1402185	60	1.33	2.67
NBV-MW-U-RY-017	750206	1402185	32	1.25	2
NBV-MW-U-RY-018	759656	1399954	10	2.27	3.66
NBV-MW-U-RY-019	751377	1400775	25	1.24	2.16
NBV-MW-U-RY-020	751377	1400775	54	1.22	2.16
NBV-MW-U-RY-023	749356	1400800	18	4.08	4.85
NBV-MW-U-RY-024	749356	1400800	78	4.08	5.28
NBV-MW-U-RY-027	751189	1425453	18	4.85	11.85
NBV-MW-U-RY-028	751189	1425453	84	10.43	5.7
NBV-MW-U-RY-030	747820	1406957	60	2.23	3.7
NBV-MW-U-RY-031	741470	1411330	0	2.5	3.62
NBV-MW-U-RY-032	726404	1434137	26	5.32	5.32
NBV-MWC-RY-001	729603	1447630	27	3.26	3.26
NBV-MWC-RY-002	728320	1441365	25	2.88	3.51
NBV-MWC-RY-003	734969	1450948	36	5.2	5.2
NBV-MWC-RY-004	727893	1451135	50	1.34	5.65
NBV-MWC-RY-005	720929	1432189	37	1.82	3.23
NBV-MWC-RY-006	719651	1412817	36	5.67	6.81
NBV-MWC-RY-007	713721	1406653	45	6.15	6.15
NBV-MWC-RY-008	758375	1435300	30	5.13	6.32
NBV-MWC-RY-010	743826	1427310	33	5.29	4.56
NBV-MWC-RY-011	763789	1396797	32	1.19	2.55
NBV-MWC-RY-012	726667	1419538	46	3.99	5.07
NBV-MWC-RY-013	760812	1405741	30	2	3.28
NBV-MWC-RY-016	730156	1409758	60	4.96	6.32
NBV-MWC-RY-019	735762	1407555	29	7.75	8.35
NBV-MWC-RY-020	732184	1410937	62	4.48	3.02
NBV-MWC-RY-021	738885	1404416	54	2.18	3.43
NBV-MWC-RY-022	724485	1402445	60	2.23	3.34
NBV-MWC-RY-025	746080	1446617	62	5.54	6.39
NBV-MWC-RY-027	727781	1444261	27	6.64	7.7

NBV-MW-C-RY-001	757947	1412916	37	4.5	5.66
NBV-MW-C-RY-002	753745	1429577	54	1.65	2.59
NBV-MW-C-RY-003	734139	1420843	50	3.37	4.15
NBV-MW-C-RY-004	758180	1406176	22	2.82	4.1
NBV-MW-C-RY-005	751062	1432306	22	6.37	9.89
NBV-MW-C-RY-006	729742	1403372	28	1.94	2.72
NBV-MW-C-RY-008	725213	1431356	32	2.1	2.1
NBV-MW-C-RY-009	753897	1435973	15	1.77	3.29

ปริมาณน้ำฝนรายเดือนจังหวัดระยอง

พ.ศ.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2554	0	65.2	150.6	102.7	33.7	278.5	143.6	288	373.8	194.8	18.9	0.6
2555	82.8	80.2	60.3	8.9	184.8	66.7	258.4	64.7	504.7	202	59.3	0
2556	116.4	5	36.3	96.9	130	338.1	212.7	166.4	40.4	295.7	69.1	11.4

*ปริมาณน้ำฝนในหน่วย มม. ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

