



# โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การจำลองการรูก้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

โดย

นายอัฐพงศ์ สกนุ้ย

เลขประจำตัวนิสิต 5832743023

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

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

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

การจำลองการรูก้ำของน้ำทะเลในอ่างน้ำบาดาลระยอง

นายอัฐพงศ์ สงนุ้ย

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561

# MODELLING OF SEAWATER INTRUSION IN RAYONG GROUNDWATER BASIN

Mr. ATTHAPHONG SONGNUI

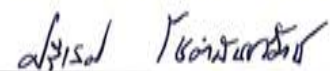
A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology  
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ	การจำลองการรูก้ำของน้ำทะเลในอ่างน้ำบาดาลระยอง
โดย	นายอัฐพงศ์ สมน้อย
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์

---

วันที่ส่ง..... 13 พ.ค. 2562 .....

วันที่อนุมัติ..... 13 พ.ค. 2562 .....



---

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์)

Project Title                      MODELLING OF SEAWATER INTRUSION IN RAYONG  
GROUNDWATER BASIN

By                                        Mr.ATTHAPHONG SONGNUI

Field of Study                      Geology

Project Advisor                    ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT

---

Submitted date.....13 May 2019.....

Approval date.....13 May 2019.....

Srilert Chotpantarat

Project Advisor

(ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT)

## 5832743023 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : แอ่งน้ำบาดาลระยะของ / การรุกรานของน้ำทะเล / แบบจำลอง

ผู้พิมพ์ ส่งนุ้ย : การจำลองการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะของ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 54 หน้า

แอ่งน้ำบาดาลระยะของเป็นแอ่งน้ำบาดาลที่อยู่ติดทะเลทางภาคตะวันออกของประเทศไทยและยังเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เป้าหมายของเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต น้ำบาดาลจึงเป็นที่รองรับความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะของ โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และ SEAWAT Engine โดยดำเนินการภายใต้สภาวะแบบไม่คงตัว แบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ชั้นน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ชั้นน้ำที่ 1 และชั้นน้ำที่ 2 ซึ่งเป็นชั้นน้ำของตะกอนน้ำพา และตะกอนเศษหินแข็งเขาและตะกอนผออยู่กับที่ ส่วนชั้นน้ำที่ 3 เป็นชั้นน้ำบาดาลหินแกรนิต และปรับเทียบกับระดับน้ำและความเข้มข้นของคลอไรด์จากบ่อสังเกตการณ์ โดยทำการปรับเทียบกับข้อมูลเดือนสิงหาคม 2554 เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2559 และการสูบน้ำใช้ปริมาณใน พ.ศ.2552 เท่ากับ 18.39 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มขึ้นประมาณ 21.44 ล้านลูกบาศก์เมตร ใน พ.ศ.2561 กำหนดให้ตั้งแต่ เดือนมกราคม 2562 มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลปีละ 90 มิลลิเมตรต่อปีและอัตราการสูบน้ำบาดาลเท่ากับ 21.44 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ผลการสร้างแบบจำลองพบว่า น้ำบาดาลไหลจากขอบแอ่งซึ่งเป็นภูเขาสูง ลงไปยังทางน้ำเล็ก ๆ เข้าสู่อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำตอกกราย และอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ แล้วไหลลงสู่ทะเลผ่านแม่น้ำระยอง และคลองบางไผ่ การปรับเทียบพารามิเตอร์มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง  $3.148 \times 10^{-8}$  ถึง  $6.53 \times 10^{-4}$  เมตรต่อวินาทีและมีค่าสัมประสิทธิ์แพร่การกระจายอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 8 เมตร ส่วนการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะของ ในชั้นน้ำที่ 1 แนวการรุกรานของน้ำทะเลถอยลงมาประมาณ 1.3 กิโลเมตร จากตำบลตาขัน ไปยังตำบลเชิงเนิน ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 และเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของแนวการรุกรานของน้ำทะเลที่แนวการรุกรานเข้าไปไกลสุด 5.8 กิโลเมตร ที่ตำบลเชิงเนิน ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2572 ส่วนชั้นน้ำที่ 2 และชั้นน้ำที่ 3 พบการรุกรานของน้ำทะเลเข้าเริ่มตั้งแต่ พ.ศ.2554 โดยไม่มีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล แนวการรุกรานเข้าไปไกลมากที่สุดที่ตำบลเชิงเนิน เป็นระยะทางประมาณ 4.8 และ 5.1 กิโลเมตร ในชั้นน้ำที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงอยู่บริเวณตำบลริมฝั่งแม่น้ำระยอง บริเวณตำบลเชิงเนิน ตำบลทับมา ตำบลน้ำคอก ตำบลเนินพระ ตำบลปากน้ำ ตำบลท่าประจักษ์ ตำบลเพ และตำบลตะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง อย่างไรก็ตามพบบางบริเวณที่ไม่สามารถปรับเทียบให้สอดคล้องกับแบบจำลองได้เนื่องจากได้รับอิทธิพลของหลุมฝังกลบขยะข้างเคียงที่ก่อให้เกิดปริมาณคลอไรด์ที่สูงกว่าปกติได้

ภาควิชา \_\_\_\_\_ ธรณีวิทยา \_\_\_\_\_ ลายมือชื่อนิสิต อัฐพงษ์ ส่งนุ้ย  
 สาขาวิชา \_\_\_\_\_ ธรณีวิทยา \_\_\_\_\_ ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษา ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์  
 ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2561 \_\_\_\_\_



## 5732758423: MAJOR GEOLOGY

KEYWORD: Rayong Groundwater Basin / Seawater intrusion/Modelling / SEAWAT Engine

ATTHAPHONG SONGNUJ : MODELLING OF SEAWATER INTRUSION IN RAYONG  
GROUNDWATER BASIN.

ADVISOR: ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, 54 pp.

Rayong Groundwater Basin is the coastal aquifer in the eastern part of Thailand and is also a part of the Eastern Economic Corridor (EEC), which appears to increase water consumption in the future. Groundwater is available for for increasing of water demand. Therefore, modelling of seawater intrusion in Rayong Groundwater Basin is the model to assess the seawater intrusion by using Visual MODFLOW version and SEAWAT engine as a tool to operate under a transient state. The model was divided into 3 layers, consisting of first and second aquifers of Quaternary alluvial (Q) and Quaternary colluvial (Qt). And third aquifer of granite aquifer (Gr). Calibration and verification processes were carried out with observation wells measured in August 2011, January 2012 and November 2016. The pumping rate in 2009 was approximately 18.39 m<sup>3</sup> and increase to approximately 21.44 m<sup>3</sup> in 2018. In the future scenario, the simulation was conducted since January 2019 with recharge rate of 90 mL/yr and the pumping rate of 21.44 MCM/year.

The results of the model showed that the groundwater flows from the high mountainous areas, down into Khlong Yai, Nong Pla Lai, Dok Krai and Khlong Bang Phai Reservoirs and then flowed into the low land areas, and finally flow through sea by Bang Phai canal and Rayong River. The calibration found that hydraulic conductivity ranged from  $3.15 \times 10^{-8}$  to  $6.53 \times 10^{-4}$  m/s and dispersivity values were in the range between 3 and 8 m. The first aquifer, seawater intrusion decreased, about 1.3 km from Takhan Subdistrict to Choeng Noen Subdistrict, from August, 2011 to January, 2019. Afterward, it began to the equilibrium with no further movement of seawater front with a distance of 5.8 km at Choeng Noen Subdistrict since January 2029. In the second and third aquifers increased from August 2011. The longest front of seawater movement appears in Choeng Noen Subdistrict both in first and second aquifers with distances of 4.8 and 5.1 km, respectively. This influenced area consisted of Choeng Noen Subdistrict, Thap Ma Subdistrict, Nam Khok Subdistrict, Noen Phra Subdistrict, Pak Nam Subdistrict, Tha Pra Du Subdistrict, Phe Subdistrict and Taphong Subdistrict, Mueang Rayong District and Rayong Province. However, some areas that cannot be calibrated because of groundwater also affected by the leachate from landfills, causing higher chloride contents.

Department \_\_\_\_\_ Geology \_\_\_\_\_ Student's Signature *Atthaphong Songnuj*  
Field of Study \_\_\_\_\_ Geology \_\_\_\_\_ Advisor's Signature *Srilert Chotpantarot*  
Academic Year \_\_\_\_\_ 2018 \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

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

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในการจัดทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณนางสาวสุภักดิ์ คลองสนั่น ที่ให้คำปรึกษาทางด้านโปรแกรม

ขอขอบพระคุณนางสาวนางสาววิยะดา นิลกาญจนกุล ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนเล่ม

ขอขอบพระคุณหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ให้ความอนุเคราะห์ ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และข้อมูลต่าง ๆ ในการทำแบบจำลอง กรมอุตุนิยมวิทยา ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัย Research Unit Control of Emerging Micropollutants in Environment จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญที่สุดในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายอัฐพงศ์ สงนุ้ย

ผู้จัดทำ



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 พื้นที่ศึกษา	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	16
3.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง	17
3.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	18
3.4 การสร้างแบบจำลอง	29

## หน้า

**บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา**

4.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง	36
4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง	40
4.3 ภาพการรูกำลังของน้ำทะเล จากโปรแกรม Visual MODFLOW	42
4.4 การรูกำลังของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง	46

**บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการศึกษา	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54

**บรรณานุกรม**

**ภาคผนวก ก**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่าง ๆ (Domenico and Schwartz, 1990)	10
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลและแหล่งที่มาในแบบจำลอง	17
ตารางที่ 3.2 แสดงหน่วยหินที่ใช้ในแบบจำลอง(สุภัก คลองสนั่น, 2560)	20
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการสูบน้ำบาดาลในแต่ละชั้นน้ำหลังปี 2561	21
ตารางที่ 3.4 แสดงการเพิ่มขึ้นของบ่อสูบน้ำบาดาลตั้งแต่พ.ศ.2552-2561	21
ตารางที่ 3.5 แสดงจำนวนบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง	23
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ใช้ในแบบจำลอง (สุภัก คลองสนั่น, 2560)	25
ตารางที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวตามหน่วยหินทางธรณีวิทยา	30
ตารางที่ 3.8 แสดงค่าต่าง ๆ ของค่าการกักเก็บ ที่ใส่ในแบบจำลอง	32
ตารางที่ 3.9 แสดงอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แอ่งน้ำบาดาลระยอง พ.ศ.2552-2561	32
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าระดับน้ำค้างที่บริเวณอ่างเก็บน้ำในพื้นที่แบบจำลอง	34
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยระดับน้ำ	36
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยค่าความเข้มข้น	38

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตและตำบลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง	4
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยอง และแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)	6
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยอง และแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	8
รูปที่ 2.4 แสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็ม	11
รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งพื้นที่แบบ Finite-difference (www.usgs.gov)	12
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	16
รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งน้ำบาดาลระยอง	18
รูปที่ 3.3 แสดงกริดที่ใช้ในแบบจำลอง	19
รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายตัวของบ่อสูบ (Pumping Wells)	22
รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายตัวของบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ (Head Observations Wells)	23
รูปที่ 3.6 แสดงการกระจายตัวของบ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ (Concentration Observation well)	24
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 1	25
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 2	26
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 3	26
รูปที่ 3.10 แสดงระดับน้ำของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองและชลบุรี	27
รูปที่ 3.11 แสดงค่าระดับน้ำเริ่มต้นในแบบจำลอง	28
รูปที่ 3.12 แสดงแผนที่น้ำบาดาลบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี	29

	หน้า
รูปที่ 3.13 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของชั้นน้ำที่ 1	30
รูปที่ 3.14 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของชั้นน้ำที่ 2	31
รูปที่ 3.15 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของชั้นน้ำที่ 3	31
รูปที่ 3.16 แสดงพื้นที่เติมน้ำ	33
รูปที่ 3.17 แสดงแม่น้ำ ร่องน้ำ และบริเวณระดับน้ำคงที่ ในแบบจำลอง	34
รูปที่ 3.18 แสดงบริเวณที่กำหนดค่าความเข้มข้นคงที่	35
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบระดับน้ำ ช่วงสิงหาคม 2554	37
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระดับน้ำ ช่วงมกราคม 2555	37
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น ช่วงสิงหาคม 2554	38
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น ช่วงมกราคม 2555	39
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น ช่วงพฤศจิกายน 2559	39
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบระดับน้ำของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยใช้ MODFLOW 2000 Engine (สุภัค คลองสนั่น, 2560)	40
รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำในชั้นน้ำที่ 1 บริเวณปากแม่น้ำระยอง	40
รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง	42
รูปที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกคืบของน้ำทะเล ในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 1	43
4.10 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกคืบของน้ำทะเล ในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 2	44
รูปที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกคืบของน้ำทะเล ในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 3	45
รูปที่ 4.12 แสดงขอบเขตปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในแอ่งน้ำบาดาลระยอง	46
รูปที่ 4.13 แสดงแผนที่แนวการรุกคืบของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 1	48
รูปที่ 4.14 แสดงแผนที่แนวการรุกคืบของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 2	50

รูปที่ 4.15 แสดงแผนที่แนวการรูกล้าของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 3

หน้า

52



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มา

น้ำเป็นส่วนหนึ่งของทรัพยากรที่สำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม โดยการค้าเนติกิจกรรมทุกรูปแบบของมนุษย์จำเป็นต้องมีน้ำจืดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งแหล่งทรัพยากรน้ำจืดที่สำคัญคือน้ำบาดาล แอ่งน้ำบาดาลระยะยงเป็นแอ่งน้ำบาดาลที่สำคัญแอ่งหนึ่งของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ในจังหวัดระยอง และบางส่วนของด้านตะวันออกของจังหวัดชลบุรี จากการศึกษารูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยง พบปริมาณคลอไรด์ที่พบเห็นได้ชัดเจนในบริเวณที่ติดกับชายฝั่งทะเลและเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) นอกจากนี้บริเวณจังหวัดระยองและชลบุรี ยังเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เป้าหมายของเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกซึ่งเตรียมพร้อมเป็นพื้นที่เศรษฐกิจเพื่อรองรับการลงทุนในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ ในการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในพื้นที่นั้น ทำให้ความต้องการในการใช้น้ำมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต จากผลการคาดการณ์ความต้องการใช้น้ำจืดทั้งหมดในพื้นที่อุตสาหกรรมของพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 166.08 ล้าน ลบ.ม./ปี เป็น 465.44 ล้าน ลบ.ม./ปี และในปีพ.ศ. 2584 จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 299.36 ล้าน ลบ.ม./ปี (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก, 2561) ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากน้ำบาดาลจึงเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้เพื่อรองรับปริมาณความต้องการน้ำที่สูงขึ้นจากภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามหากมีการสูบน้ำบาดาลมากกว่าปริมาณการไหลเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล จะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลง และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เช่น ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน การรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการประเมินการรุกรานของน้ำทะเลเนื่องจากการพัฒนาโครงการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต รวมถึงการพบปริมาณคลอไรด์ค่อนข้างสูงในพื้นที่ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดถึงสถานการณ์การรุกรานของน้ำทะเลได้ (Dunlop et al., 2018) ด้วยเหตุนี้การสร้างแบบจำลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยะยง เช่นเดียวกับแอ่งน้ำบาดาลหาดใหญ่ที่ปัจจุบันมีปัญหารุกรานของน้ำทะเล ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และ SEAWAT Engine แล้วประเมินสถานการณ์ใช้น้ำบาดาลพบว่า หากมีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นปีละ 5% ในอีก 20 ปีข้างหน้า จะมีการรุกรานของน้ำทะเลเพิ่มขึ้นและมีการแพร่กระจายในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญ (อรุณ ลูกจันทร์, 2552)

นอกจากนี้จากแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาวจากการศึกษาที่ผ่านมา (สุภัก คลองสนั่น, 2560) พบว่าระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำที่ 1 ในพื้นที่ติดทะเล บริเวณปากแม่น้ำระยอง มีผลการจำลองของค่าระดับน้ำที่ต่ำกว่าผลจากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งอาจเป็นผลของความหนาแน่นของน้ำบาดาลที่ได้รับอิทธิพลของการรุกตัวของน้ำทะเลเข้ามา เพราะแบบจำลองนี้ใช้ MODFLOW 2000 Engine ซึ่งไม่คำนึงถึงความหนาแน่นในการคำนวณ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในการศึกษาครั้งนี้จะดำเนินการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการรุกตัวของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาว โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองในรูปแบบสามมิติ พร้อมกับการนำเข้าสู่ข้อมูลที่หลากหลายให้ใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติ รวมทั้งมีการเปรียบเทียบและตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองได้ (Hariharan and Shankar, 2017) เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ และใช้ SEAWAT Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือในการดำเนินการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำทะเล (Ding et al., 2014) โดยในการศึกษานี้จะคำนึงถึงผลของความแตกต่างของค่าความหนาแน่นในน้ำทะเลและน้ำจืด รวมทั้งปรับปรุงข้อมูลจากแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาวจากการศึกษาที่ผ่านมา (สุภัก คลองสนั่น, 2560) เพื่อให้การประเมินการไหลของน้ำบาดาลใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติ โดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะสามารถนำไปใช้ประเมินสถานการณ์การรุกตัวของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาวได้และใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนพัฒนาและอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อประเมินการรุกตัวของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาว

## 1.3 สมมติฐาน

การรุกตัวของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะยาวจะขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต เนื่องจากความต้องการใช้น้ำบาดาลที่สูงขึ้น

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 การศึกษาในครั้งนี้มีพื้นที่การศึกษาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยะยาวซึ่งครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดระยอง บริเวณอำเภอบ้านฉาง อำเภอนิคมน้ำจืดพัฒนา อำเภอปลวกแดง และอำเภอบ้านค่าย รวมถึงพื้นที่บางส่วนของจังหวัดชลบุรีประกอบด้วยทางทิศใต้ของอำเภอบ้านบึงและบริเวณทิศตะวันออกของอำเภอศรีราชา อำเภอบางละมุง อำเภอสัตหีบ

- 1.4.2 การศึกษามีขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลเช่นข้อมูลการเติมน้ำ ข้อมูลบ่อบาดาล และข้อมูลหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา เพื่อสร้างแบบจำลองการรुक้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW ซึ่งมี SEAWAT code เป็นเครื่องมือในการดำเนินการ ภายใต้สภาวะแบบไม่คงตัว (Transient state)
- 1.4.3 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์เป็นตัวปรับเทียบความถูกต้องทั้งหมด 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเดือนสิงหาคม 2554 เดือนมกราคม 2555 ซึ่งทั้งสองเวลามีทั้งข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำและข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ความเข้มข้นของคลอไรด์ ส่วนช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559 ที่มีเพียงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ความเข้มข้นของคลอไรด์เท่านั้น

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แผนที่แสดงการรुक้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

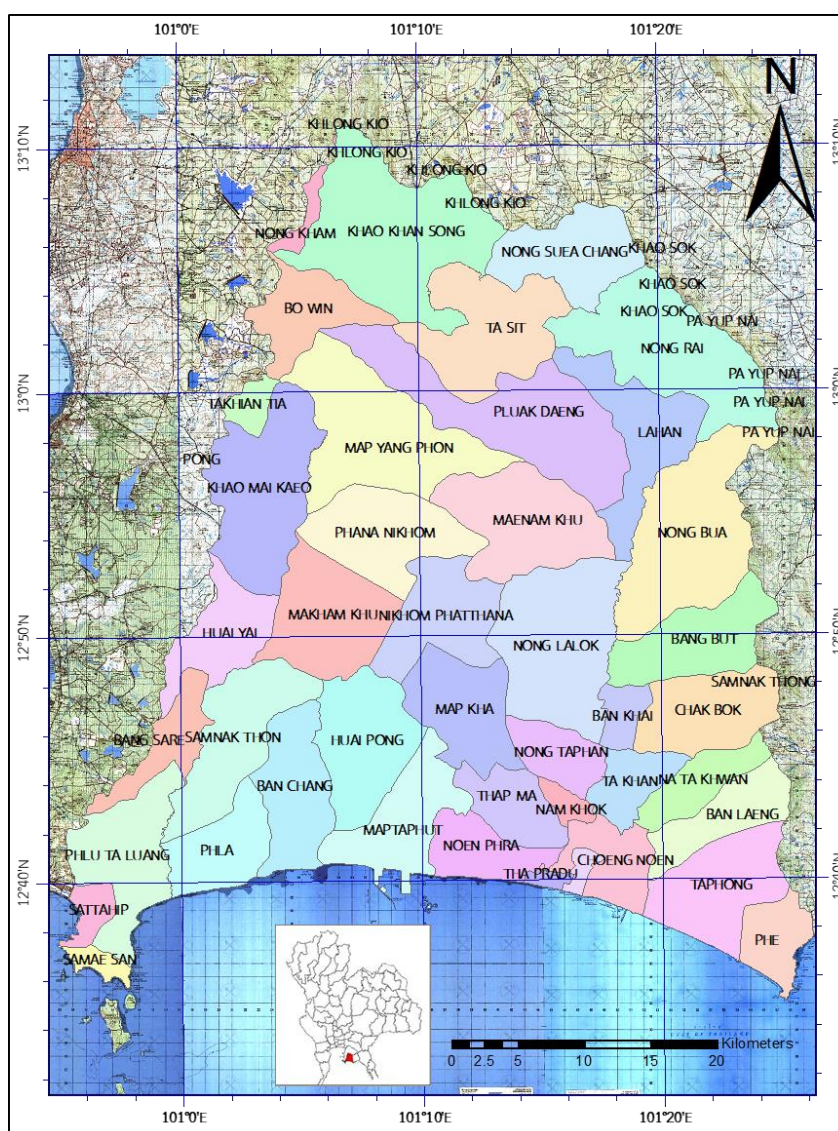
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พื้นที่ศึกษา

##### 2.1.1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล,2555)

แอ่งน้ำบาดาลระยอง ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 2,200 ตร.กม. ดังรูปที่ 2.1 คลอบคลุมพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี บริเวณทิศใต้ติดกับอ่าวไทยซึ่งเป็นชายฝั่งทะเลที่มีลักษณะเป็นหน้าผาสลับกับหาดสันดอนขนาดเล็ก บริเวณทิศเหนือมีอาณาเขตติดกับแอ่งน้ำบาดาลปราจีนบุรี สระแก้ว ทิศตะวันออกติดต่อกับแอ่งน้ำบาดาลจันทบุรี-ตราด และทางทิศตะวันตกมีพื้นที่ติดกับแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี มีสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนลมทะเลและมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,350 มม./ปี



รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตและตำบลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

### 2.1.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

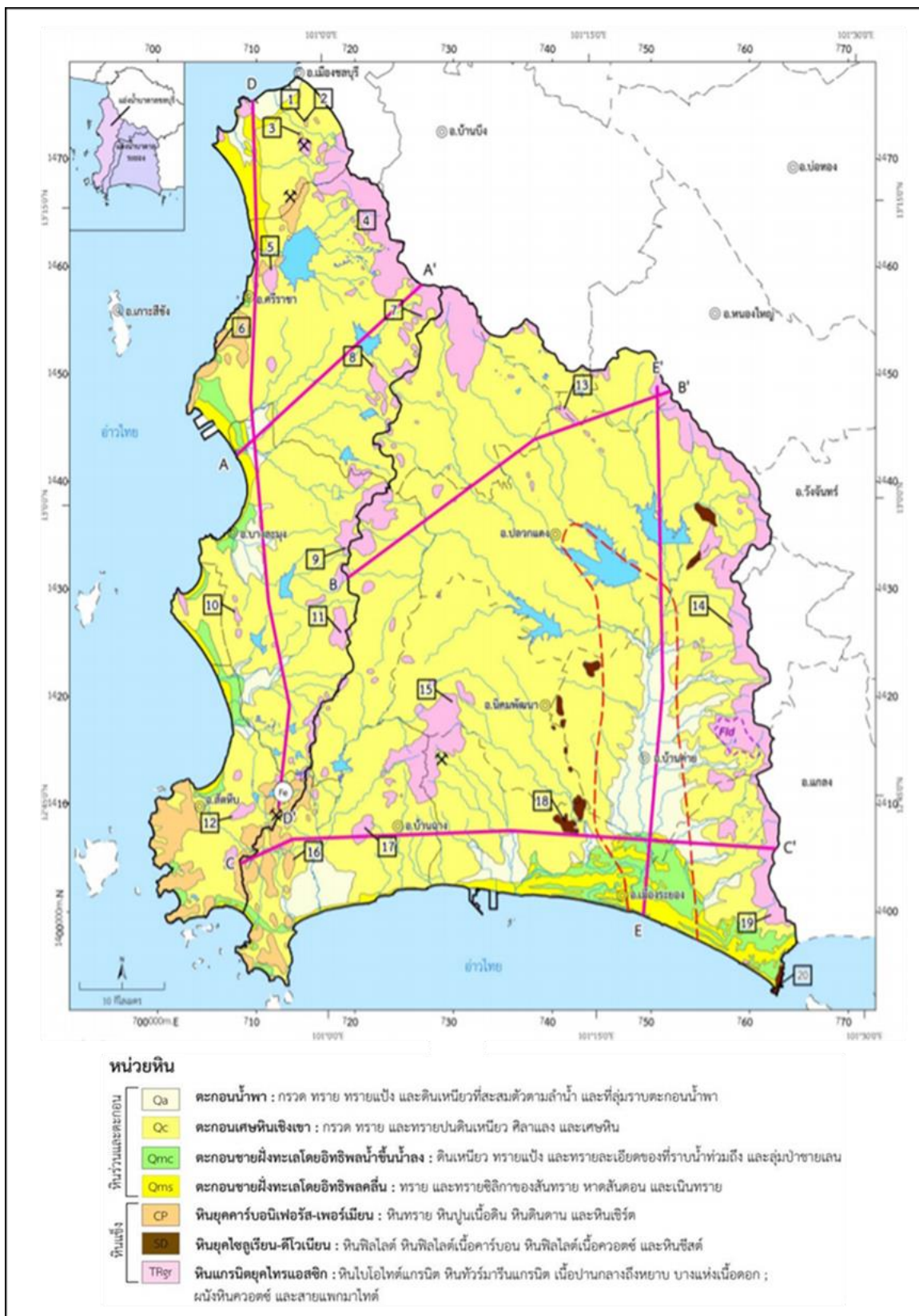
จากการรวบรวมข้อมูลในการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล สามารถแบ่งหน่วยหินทางธรณีวิทยาของเป็น 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 2.2 คือ กลุ่มหินร่วนและตะกอน (unconsolidated rocks and sediment) และกลุ่มหินแข็ง(consolidated rocks)ดังนี้ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

#### ก.กลุ่มหินร่วนและตะกอน

กลุ่มหินร่วนและตะกอน เป็นกลุ่มที่ปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอ่งน้ำบาดาลระยอง ทั้งที่ลาดชันเชิงเขา ที่ราบทางน้ำ ที่ราบน้ำท่วมตามลุ่มแม่น้ำ หาดสันดอน สันทราย เนินทราย ลุ่มน้ำขังป่าชายเลนและที่ราบน้ำขึ้นถึง ประกอบด้วย ตะกอนน้ำพา (Qa) ตะกอนหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ (Qc) ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (Qmc) และตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลคลื่น (Qms)

#### ข.กลุ่มหินแข็ง

หินแข็งบริเวณพื้นที่ของแอ่งน้ำบาดาลระยองพบเป็นส่วนน้อยของพื้นที่บริเวณขอบแอ่ง โดยจะปรากฏเป็นเทือกเขาสูง ภูเขา เนินเขา และตามชายหาดบางแห่ง สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มประกอบด้วยหินแปรยุคไซลูเลียน-ดีโวเนียน (SD) หินตะกอนและหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน (CP) และ หินแกรนิต (Gr)



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)



### 2.1.3 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

หินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันอย่างชัดเจนจึงต้องการจัดแบ่งหน่วยหินเพื่อศึกษาทางด้านอุทกธรณีวิทยา โดยเฉพาะซึ่งสามารถแบ่งหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาของแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี ซึ่งแสดงขอบเขตของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาไว้ในแผนที่น้ำบาดาลบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี(กรมทรัพยากรธรณี, 2538 และกรมทรัพยากรธรณี, 2539) ดังรูปที่ 2.3 ดังนี้

1) ตะกอนน้ำพา (Quaternary alluvial:Qa) ประกอบด้วย ตะกอนพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ที่พัดพามา สะสมโดยน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร เป็นชั้นๆ แทรกสลับ โดยมีการคัดขนาดและสัดส่วนของตะกอนขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของการตกตะกอน

2) ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ (Quaternary Colluvial: Qcl) ประกอบด้วย กรวด ทราย ดินเหนียว เศษหิน และศิลาแลง เกิดจากการผุพังอยู่กับที่และการกร่อน ของหินแข็ง แล้วสะสมกองอยู่ตาม ภูเขาดานหินหรือตกไปกองสะสมตามหุบเขา หรือบริเวณที่ลาดเอียงเชิงเขา

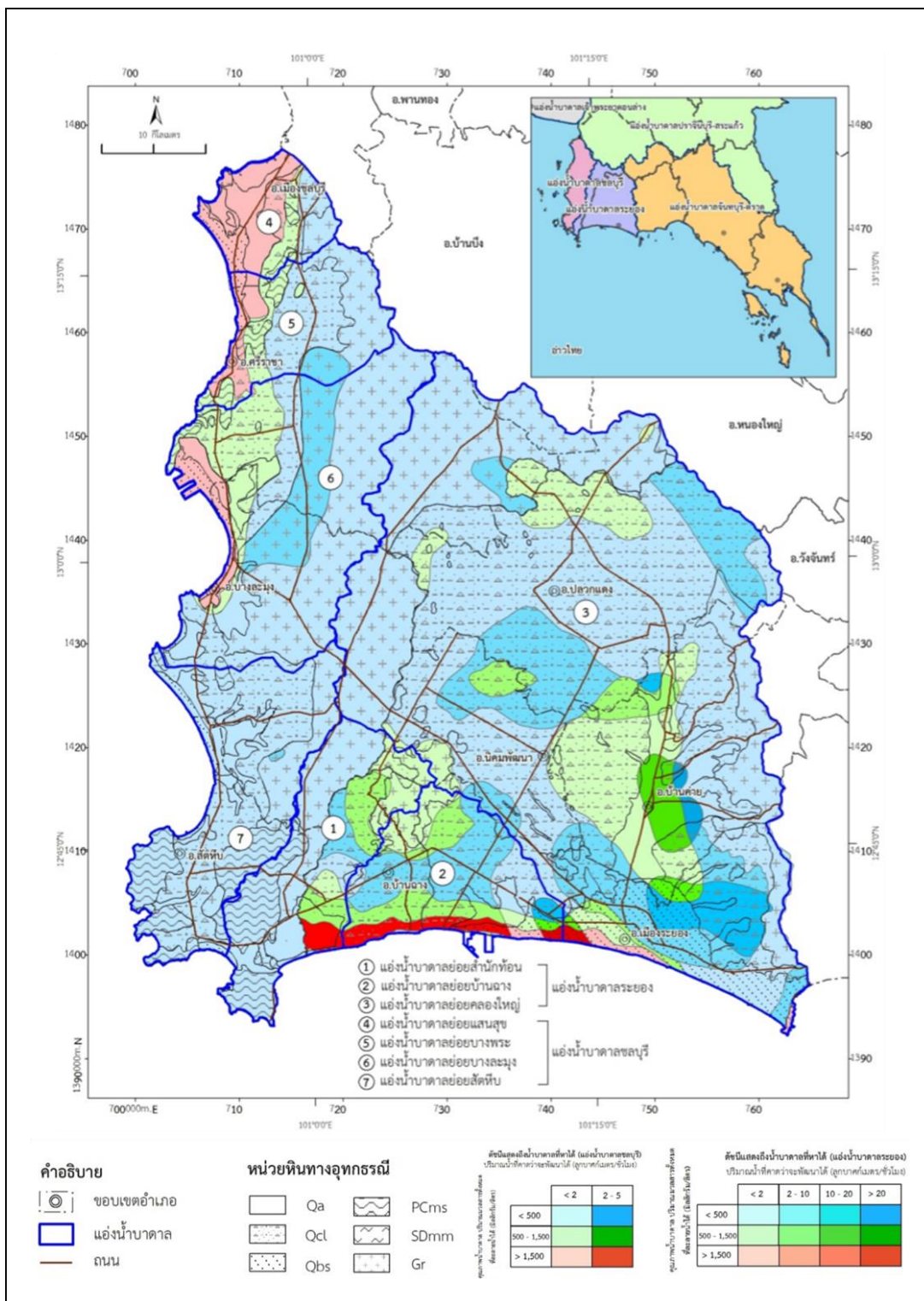
3) ตะกอนชายหาด (Beach aquifer: Obs) ประกอบด้วย ทราย เศษเปลือกหอย ที่สะสมจากกระแสนคลื่นตามชายหาด

4) หน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปร (Meta-sediment Aquifer: PCms) ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต หินปูนเนื้อดิน หินดินดานกึ่งฟิลไลต์ และหินแคล์ซิลิเกต ของยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน น้ำบาดาลอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อนและรอยต่อระหว่างชั้นหิน

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

6) หน่วยหินแกรนิต (Granitic-aquifer: Gr) ประกอบด้วย หินแกรนิตและหินไนส์ซิกแกรนิต ของยุคไทรแอสซิก น้ำบาดาลอยู่ในชั้นหินผุ และรอยแตก รอยเลื่อน

จากลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ทำให้สามารถแบ่งชั้นน้ำได้เป็น 2 ประเภทคือ ชั้นน้ำบาดาลในหินร่วน ซึ่งประกอบด้วย ชั้นน้ำตะกอนน้ำพา ชั้นน้ำตะกอนเศษหินเชิงเขา และชั้นน้ำตะกอนชายหาด และชั้นน้ำบาดาลในหินแข็ง ซึ่งประกอบด้วยชั้นน้ำหินตะกอนกึ่งหินแปร ชั้นน้ำหินแปร และชั้นน้ำหินแกรนิต



รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่น้ำบาดาลบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยะของและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี(กรมทรัพยากรธรณี, 2538 และกรมทรัพยากรธรณี, 2539)

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ประเภทของชั้นน้ำ

1. ชั้นน้ำไร้แรงดัน (unconfined aquifer) คือ ชั้นน้ำที่ไม่อยู่ภายใต้แรงดัน ไม่มีชั้นหินที่บดน้ำหรือชั้นหินดานน้ำปิดทับ เป็นชั้นน้ำที่อยู่ใกล้ผิวดินที่สุด โดยระดับน้ำสูงสุดเรียกว่า water table ซึ่งระดับน้ำสูงสุดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เนื่องจากปริมาณการเติมน้ำในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน

2. ชั้นน้ำมีแรงดัน (confined aquifer) คือ ชั้นน้ำที่มีชั้นที่บดน้ำปิดทับอยู่ด้านบนและด้านล่าง ซึ่งน้ำหนักที่กดทับจะทำให้เกิดแรงดันที่สูงกว่าแรงดันบรรยากาศ เมื่อทำการเจาะเข้าไปในชั้นน้ำ น้ำจึงพุ่งขึ้นสูงในท่อเนื่องจากแรงดันภายใน ซึ่งถ้าหากชั้นน้ำมีแรงดันสูงมากอาจเกิดน้ำพุหรือมีน้ำพุ่งขึ้นมาเองโดยไม่มีการสูบระดับน้ำสูงสุดในชั้นน้ำมีแรงดัน เรียกว่า ระดับแรงดันน้ำ (piezometric surface)

### 2.2.2 กฎของดาร์ซี (Darcy's Law)

เป็นการทดลองหาอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อทรงกระบอกที่บรรจุทรายไว้โดย เฮนรี ดาร์ซี (Henry Darcy) วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้รายงานผลการศึกษาดทดลองว่า อัตราการไหลของน้ำ ( $Q$ ) ผ่านพื้นที่หน้าตัด ( $A$ ) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของระดับน้ำ ( $h_2 - h_1$ ) แต่เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางการไหล ( $l_2 - l_1$ ) นอกจากนี้ปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน (Hydraulic conductivity,  $K$ ) จึงได้สูตรแสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายคือ  $Q = -KA(dh/dl)$

### 2.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, $K$ )

ความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำ คำนวณได้จากอัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย โดยมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลของน้ำภายใต้ลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย ส่วนมากเป็นค่าที่ได้มาจากการสูบทดสอบในภาคสนาม

เขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$K = Q/A(dh/dl)$$

โดยที่  $K$  คือ สัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน (LT)

$Q$  คือ อัตราการไหล (L/T)

$A$  คือ พื้นที่ ( $L^2$ )

$dh/dL$  คือ ลาดชลศาสตร์

**ตารางที่ 2.1** ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่าง ๆ (Domenico and Schwartz, 1990)

<b>Material</b>	<b>Hydraulic Conductivity (m/sec)</b>
Gravel	$3 \times 10^{-4}$ to $3 \times 10^{-2}$
Coarse sand	$9 \times 10^{-7}$ to $6 \times 10^{-3}$
Medium sand	$9 \times 10^{-7}$ to $5 \times 10^{-4}$
Fine sand	$2 \times 10^{-7}$ to $2 \times 10^{-4}$
Silt, loess	$1 \times 10^{-9}$ to $2 \times 10^{-5}$
Till	$1 \times 10^{-12}$ to $2 \times 10^{-6}$
Clay	$1 \times 10^{-11}$ to $4.7 \times 10^{-9}$
Unweathered marine clay	$8 \times 10^{-13}$ to $2 \times 10^{-9}$
Permeable basalt	$4 \times 10^{-7}$ to $2 \times 10^{-2}$
Fractured igneous and metamorphic rock	$8 \times 10^{-9}$ to $3 \times 10^{-4}$
Weathered granite	$3.3 \times 10^{-6}$ to $5.2 \times 10^{-5}$
Weathered gabbro	$5.5 \times 10^{-7}$ to $3.8 \times 10^{-6}$
Basalt	$2 \times 10^{-11}$ to $4.2 \times 10^{-7}$
Unfractured igneous and metamorphic rock	$3 \times 10^{-14}$ to $2 \times 10^{-7}$
Karst and reef limestone	$1 \times 10^{-6}$ to $2 \times 10^{-2}$
Limestone, Dolomite	$1 \times 10^{-9}$ to $6 \times 10^{-6}$
Sandstone	$3 \times 10^{-3}$ to $6 \times 10^{-6}$
Siltstone	$1 \times 10^{-11}$ to $1.4 \times 10^{-8}$
Salt	$1 \times 10^{-12}$ to $1 \times 10^{-10}$
Anhydrite	$4 \times 10^{-13}$ to $2 \times 10^{-8}$
Shale	$1 \times 10^{-13}$ to $2 \times 10^{-9}$

## 2.2.4 ความพรุน (Porosity, n)

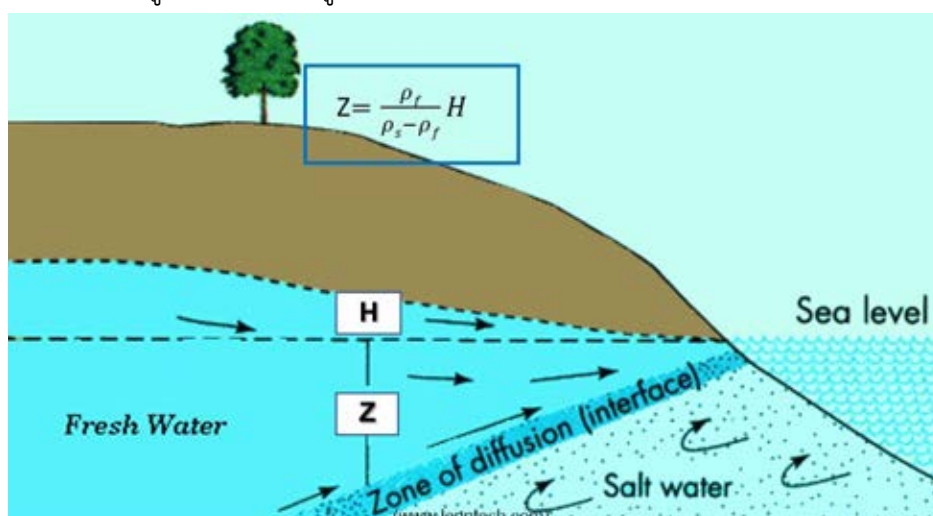
ความพรุน เป็นสัดส่วนของช่องว่างต่อปริมาณทั้งหมดของวัตถุ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละวัตถุ ความพรุนในชั้นหินถูกควบคุมโดยขนาด รูปร่าง และการคัดขนาดของเม็ดตะกอน สำหรับตะกอนทรายที่ได้จากการสะสมตัวของแร่ที่มีรูปร่างกลมมนและขนาดของเม็ดตะกอนใกล้เคียงกัน จะมีค่าความพรุนสูง แต่เมื่อตะกอนเหล่านี้แข็งตัวและมีสารเชื่อมประสานมาเชื่อมระหว่างเม็ดตะกอน จะทำให้มีความพรุนลดลง หรือในชั้นทรายที่มีการคัดขนาดไม่ดี คือมีตะกอนขนาดทรายแป้งหรือดินรวมอยู่ด้วย ตะกอนขนาดเหล่านี้จะไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดทราย ทำให้ค่าความพรุนลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามในหินแข็งก็อาจมีค่าความพรุนสูงได้ หากว่าชั้นหินนั้นเกิดรอยแตกกร้าว หรือส่วนประกอบบางส่วนสามารถละลายไปกับน้ำได้

## 2.2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersivity, Disp.)

เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของสารประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในแนวราบและแนวดิ่งโดยทั่วไปกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวดิ่งมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในแนวราบ

## 2.2.6 หลักการรูก้ำของน้ำทะเล

บริเวณแอ่งน้ำบาดาลที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลจะมี ลักษณะแนวเชื่อมต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเป็นรูปลิ้ม โดยน้ำบาดาลซึ่งเป็นน้ำจืดจะอยู่ด้านบนและน้ำเค็มจะอยู่ด้านล่าง เนื่องจากน้ำจืดและน้ำเค็มมีความหนาแน่นแตกต่างกัน นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจืดและน้ำเค็มที่อยู่ติดทะเล (จากรูปที่ 2.4) เป็นไปตามกฎของ Ghyben-Herzberg โดยตำแหน่งของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มจะเกี่ยวข้องกับ ความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำจืดและน้ำเค็มด้วย ซึ่งความลึกของรอยต่อ (Z) จะอยู่ที่ระดับน้ำทะเลประมาณ 40 เท่า ของความสูงของน้ำจืดที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล (H)

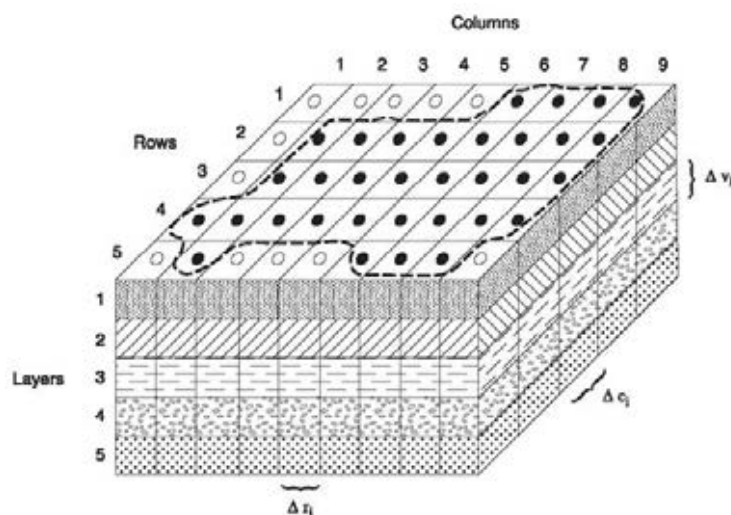


รูปที่ 2.4 แสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็ม (www.lenntech.com)

## 2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 2.3.1 Finite-difference method

Finite-difference method คือการแบ่งพื้นที่ของชั้นน้ำออกเป็นตารางย่อยเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่  
 2.5 เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยพื้นที่สี่เหลี่ยมหนึ่งช่องจะเป็นหนึ่งชุดข้อมูลที่ถูกรวบรวมในขั้นตอนการรัน  
 โปรแกรม Visual MODFLOW



รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งพื้นที่แบบ Finite-difference (www.usgs.gov)

### 2.3.2 SEAWAT code

SEAWAT เป็น Module ย่อยหนึ่งใน Visual MODFLOW มีลักษณะพิเศษคือ เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นใช้จำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของมวลสารในระบบ 3 มิติ เหมาะสำหรับใช้จำลองการรุกรานของน้ำเค็ม (Sea water intrusion) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์แนวเชื่อมต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม (Transitional zone) เมื่อเกิดการแพร่กระจาย (Dispersion) จากน้ำเค็มสู่น้ำจืด สำหรับการพัฒนา SEAWAT นั้นเป็นการรวม Module ระหว่าง MODFLOW กับ MT3DMS (Multi-Species Mass Transport 3D Mode) เข้าไว้ด้วยกัน



### 2.3.3 สมการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของมวลสาร (Variable Density Equation)

สมการการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของมวลสาร เป็นสมการแสดงถึงความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำจืดและน้ำเค็ม (Variable density) ที่มีผลต่อการจำลองนั้น ใน SEAWAT code ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\nabla \left\{ \rho k_f + \left[ \nabla h_f + \left( \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right) \nabla z \right] \right\} = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + n \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} - \bar{\rho} q_s$$

เมื่อ 
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot (D \cdot \nabla C) - \nabla \cdot (\bar{v}C) - \frac{q_s}{n} C_s$$

โดย

- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของมวลสาร (Fluid Density) ( $\text{ML}^{-3}$ )
- $\rho_f$  คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (Density of Freshwater) ( $\text{ML}^{-3}$ )
- $\bar{\rho}$  คือ ความหนาแน่นของน้ำที่ไหลเข้าหรือไหลออก ( $\text{ML}^{-3}$ )
- $h_f$  คือ ระดับน้ำจืด (Equivalent Freshwater Head) (L)
- $S_f$  คือ ปริมาณกักเก็บจำเพาะ (Specific Storage) ( $\text{L}^{-1}$ )
- $k_f$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Freshwater Hydraulic Conductivity) ( $\text{LT}^{-1}$ )
- $n$  คือ ค่าความพรุน (Porosity)
- $t$  คือ เวลา (Time) ( $\text{T}^{-1}$ )
- $\frac{\partial \rho}{\partial C}$  คือ มีค่าประมาณ 0.7143
- $\frac{\partial C}{\partial t}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมวลสารต่อหน่วยเวลา

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**อรุณ ลูกจันทร์ (2552)** ได้ทำการศึกษาการรुक้ำของน้ำเค็ม ในชั้นน้ำใต้ดินของแอ่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วย 3 ชั้นน้ำคือ ชั้นน้ำคองหงส์ ชั้นน้ำคูเต่า และชั้นน้ำหาดใหญ่ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลสังเกตการณ์ จำนวน 47 บ่อ เพื่อศึกษาการไหล สมดุลของน้ำบาดาล และการแพร่กระจายของคลอไรด์ ภายใต้ปริมาณการสูบน้ำในปัจจุบัน พบว่า การไหลของน้ำบาดาล เริ่มจากพื้นที่เติมน้ำ บริเวณตะวันออก ตะวันตก และทางใต้ของพื้นที่ ไปยังตอนกลางของพื้นที่แล้วไหลลงทะเลผ่านทะเลสาบสงขลา ส่วนการกระจายตัวของค่าคลอไรด์ที่สูงจะอยู่บริเวณขอบทะเลสาบสงขลา และริมฝั่งอ่าวไทย รวมทั้งปริมาณการสูบน้ำไม่ส่งผลให้เกิดการรुक้ำของน้ำบาดาลภายใต้สถานการณ์ปัจจุบันเท่ากับ 36 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

**Sindhu และคณะ (2012)** ได้ทำการสร้างแบบจำลองของชั้นน้ำบริเวณชายฝั่งของเมืองทริวันดัม (Trivandrum) ประเทศอินเดีย โดยใช้ SEAWAT Engine เพื่อประเมินการไหลและการเคลื่อนที่ของสารภายใต้สภาวะเปลี่ยนแปลง (Transient state) ตั้งแต่ปี 2011 ถึง 2020 และทำการประเมินผลของการสูบน้ำเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีการลดลงของระดับน้ำ รวมทั้งการขยายตัวของแนวการรुक้ำของน้ำทะเลมากขึ้น เมื่อเทียบกับบริเวณของบ่อสูบน้ำที่ไม่มีการเพิ่มอัตราการสูบน้ำ 1 เปอร์เซ็นต์

**Ding และคณะ (2014)** ได้ทำการสร้างแบบจำลองศึกษาการรुक้ำของน้ำทะเลบริเวณอ่าวเหลียวตง ประเทศจีน โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW เพื่อตรวจสอบและประเมินการรुक้ำของน้ำทะเลในอนาคต โดยเริ่มสร้างแบบจำลองในเดือนตุลาคม 2004 พร้อมทำการปรับเทียบข้อมูลโดยใช้ค่าระดับน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยใช้ข้อมูลจากบ่อสังเกตการณ์ช่วงเดือนเมษายน 2009 และใช้เงื่อนไขทางอุทกธรณีวิทยาเหมือนปี 2004 พร้อมประเมินผลการรुक้ำของน้ำทะเลในอีก 40 ปีข้างหน้า หรือตรงกับเดือนเมษายน 2049 พบว่า ชั้นน้ำบนสุด น้ำทะเลรุก้ำเข้าไป 6.2 กิโลเมตร และชั้นน้ำล่างสุดน้ำทะเลรุก้ำเข้าไป 4.3 กิโลเมตร และอัตราการรुक้ำสูงสุดเท่ากับ 62.2 เมตรต่อปี

**Dunlop และคณะ** (2018) ทำการสร้างแบบจำลองการรุกรานของน้ำทะเลโดยใช้ SEAWAT code บริเวณชั้นน้ำ Nagapattinam ทางตอนใต้ของอ่าว cauvery พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของคลอไรด์สามารถสื่อถึงการรุกรานของน้ำทะเล และการปนเปื้อนของน้ำบาดาลจากมลภาวะต่างๆ รวมทั้งใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 30 ปี ในการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ทั้งค่าระดับน้ำ และความเข้มข้นของคลอไรด์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( **Correlation coefficient** ) ของการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.751 ถึง 0.784 และการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของคลอไรด์อยู่ในช่วง 0.821 ถึง 0.827

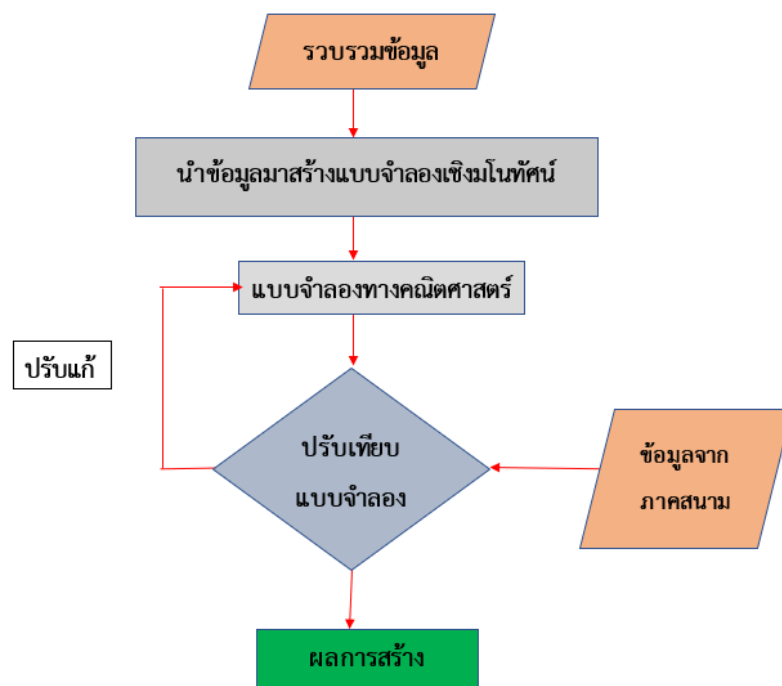
**Zeng และคณะ** (2017) ได้ศึกษาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อแบบจำลองการรุกรานของน้ำทะเล บริเวณลุ่มน้ำดาถู (Dagu river basin) อ่าว Jiaozhou ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบปัญหาการรุกรานของน้ำทะเลอย่างมาก ในประเทศจีน ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยปกติค่าขอบเขตและพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกกำหนดโดยผู้สร้างแบบจำลอง หรือข้อมูลอ้างอิงจากแบบจำลองก่อน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวครั้งนี้วิเคราะห์จากแบบจำลองที่ใช้ SEAWAT4 Engine โดยใช้วิธี stepwise regression และ mutual entropy พบว่า ปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อแบบจำลองคือ อัตราการตกตะกอน และอัตราการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่เกษตรกรรม

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา และการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW
2. เก็บรวบรวมข้อมูลของพื้นที่ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล
3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปที่3.1) ทำการใส่ข้อมูลกริด ข้อมูลขอบาดาลซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลบ่อสูบ และข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลคุณสมบัติชั้นน้ำ และข้อมูลสถานะขอบเขต จากนั้นปรับเทียบค่าระดับน้ำกับค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ได้จากแบบจำลองและบ่อสังเกตการณ์ แล้วดูค่า Normalized RMS และ Correlation Coefficient พอตัดสินใจว่าจะปรับแก้แบบจำลองหรือไม่



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4. วิเคราะห์และสรุปผล
5. เขียนรายงานวิจัย

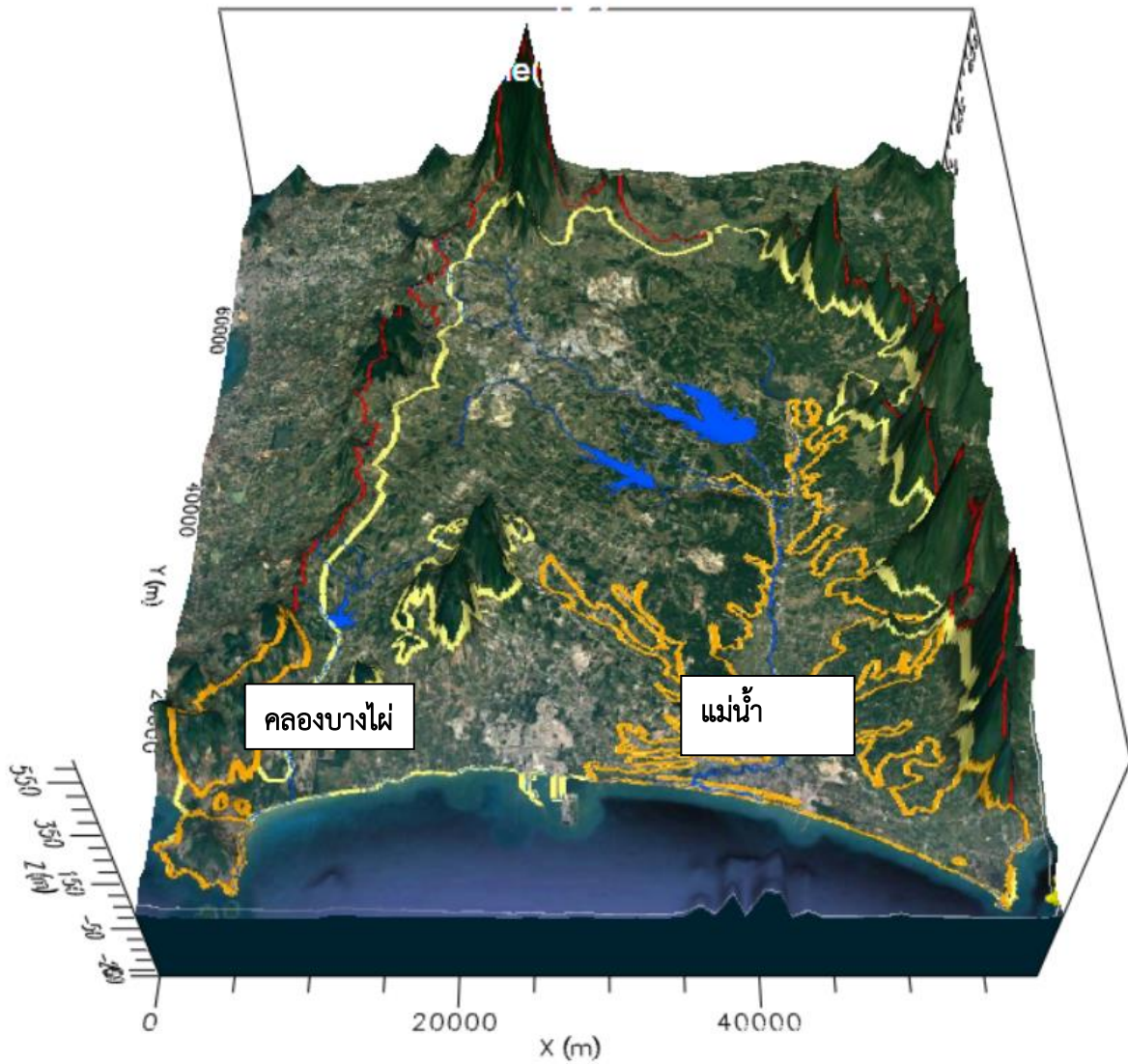
### 3.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลและแหล่งที่มาในแบบจำลอง

ลำดับ	ข้อมูลนำเข้า	ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เป็นข้อมูลนำเข้า	แหล่งที่มา
1	ขอบเขตพื้นที่ศึกษา	ภาพถ่ายดาวเทียม	GoogleEarth Pro
2	ระดับความสูงพื้นผิว	Digital Elevation Model (DEM) ความละเอียด 30 x 30 ตารางเมตร	USGS
4	อัตราการเติมน้ำฝน (Recharge)	ข้อมูลปริมาณฝนรายปี สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2552-2561	กรมอุตุนิยมวิทยา
5	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากการทดสอบ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
		ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุ	Domenico and Schwartz, ????
		ข้อมูลลักษณะอุทกธรณีวิทยาเพื่อแบ่งเขตหน่วยหินตามค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
6	บ่อสังเกตการณ์ (Observation well) ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6	บ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ (Head Observation Well ) 2 ช่วงเวลา ช่วงเดือนสิงหาคม 2554 และมกราคม 2555 จำนวน 148 บ่อ บ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ (Concentrate Observation Well ) 2 ช่วงเวลาเดือนสิงหาคม 2554 และเดือนมกราคม 2555 จำนวน 108 บ่อ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555
		บ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ (Concentrate Observation Well ) 1 ช่วงคือ เดือนพฤศจิกายน 2559 จำนวน 12 บ่อ	ธวัชรัตน์ พลสิทธิ์, 2559
7	บ่อสูบน้ำ (Pumping well)	บ่อสูบน้ำจำนวน 485 บ่อ แสดงในรูปที่ 3.3	กลุ่มระบบข้อมูลทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

### 3.3 แบบจำลองเชิงมนิทัศน์

แบบจำลองเชิงมนิทัศน์ดังรูปที่ 3.2 เป็นการทำความเข้าใจลักษณะของพื้นที่ ซึ่งนำไปสู่การกำหนดขอบเขตต่าง ๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยในแอ่งน้ำบาดาลระยองมีพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) อยู่บริเวณเข้าสู่รอบแอ่ง และน้ำบาดาลไหลจากภูเขารอบ ๆ แอ่งน้ำบาดาล ลงสู่อ่างเก็บน้ำ แล้วไหลลงทะเลผ่านคลองหรือแม่น้ำ โดยมีแม่น้ำสายหลักคือ แม่น้ำระยอง และคลองบางไผ่



รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองเชิงมนิทัศน์ของแอ่งน้ำบาดาลระยอง

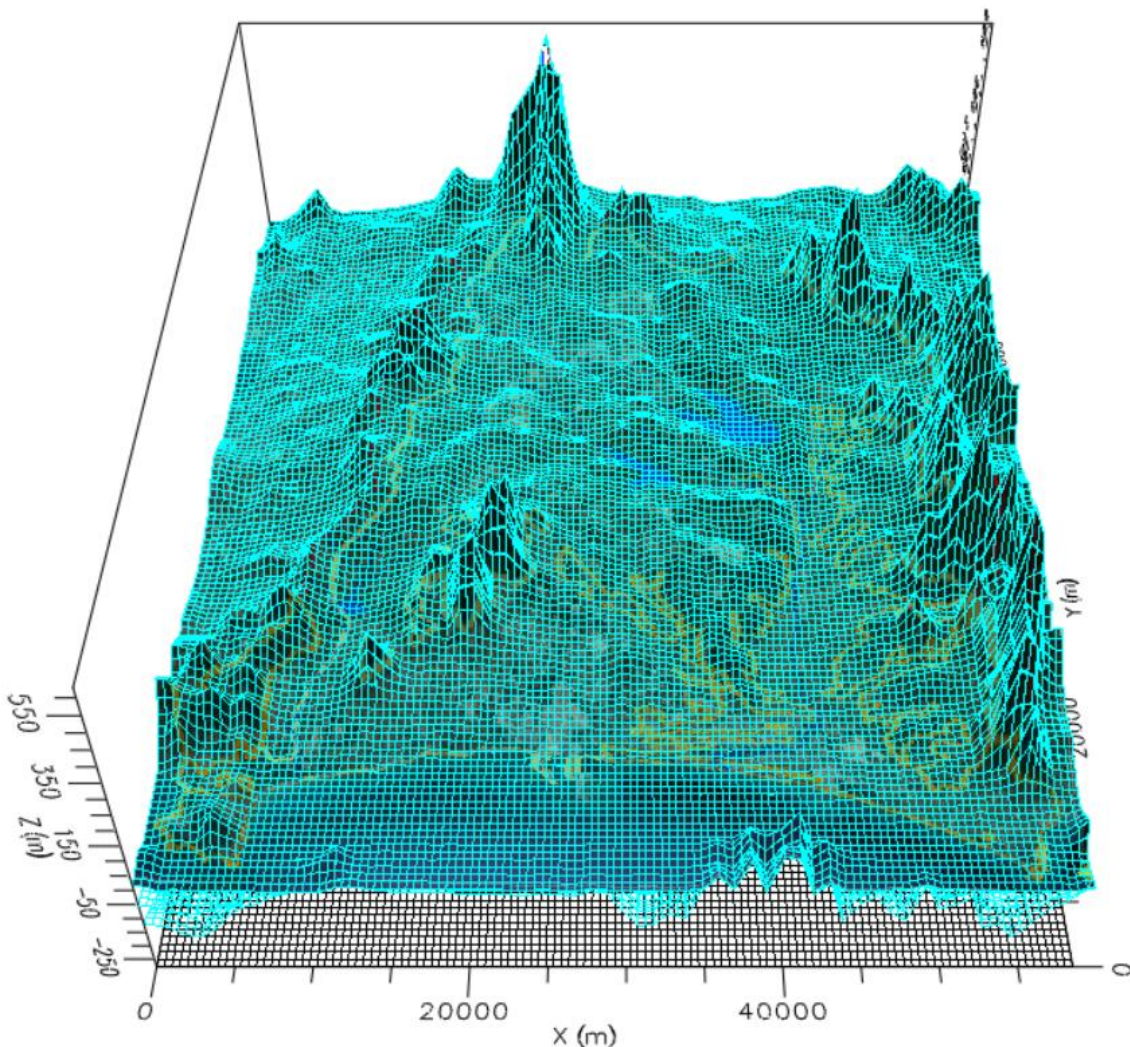


### 3.4 การสร้างแบบจำลอง (Model Development)

แบบจำลองการรุกค้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง เริ่มต้นแบบจำลองในวันที่ 1 เดือนมกราคม พ.ศ.2552 และดำเนินระยะเวลาแบบจำลองไปทั้งสิ้น 10,950 วัน หรือ 30 ปี ซึ่งแบบจำลองนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากภาคสนามในช่วง 10 ปีแรก จากนั้นในช่วง 20 ปี (ปี 2562 ถึงปี 2582) เป็นการพยากรณ์จากแบบจำลองเนื่องจากผลของการใช้สูบน้ำด้วยอัตราการใช้น้ำปัจจุบัน

#### 3.4.1. การออกแบบกริดและจำนวนชั้น (Grid and Layer)

การออกแบบกริดดังรูปที่ 3.3 จะเป็นการแบ่งกริดแบบ Finite-difference method ที่ได้ลักษณะกริดเป็นช่องสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้ในโปรแกรม Visual MODFLOW



รูปที่ 3.3 แสดงกริดที่ใช้ในแบบจำลอง

ในแบบจำลองนี้ได้ใช้ความละเอียดของกริดเท่ากับ 460 X 560 เมตร ทั้งสิ้น 43,200 กริดเซลล์ และจำนวนชั้นน้ำทั้งหมด 3 ชั้น ชั้นน้ำที่ 1 บนสุด ประกอบด้วย ตะกอนน้ำพา ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผออยู่กับที่ หน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปรและหน่วยหินแกรนิต ชั้นน้ำที่ 2 ระหว่างกลางชั้นน้ำที่ 1 และชั้นน้ำที่ 3 ประกอบด้วยตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผออยู่กับที่ หน่วยหินแกรนิต และหน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปร ส่วนชั้นน้ำที่ 3 ล่างสุด ประกอบด้วย หน่วยหินแกรนิต เพียงอย่างเดียว ดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** แสดงหน่วยหินที่ใช้ในแบบจำลอง (สุภค คลองสนั่น, 2560)

หน่วยหินทางอุทกธรณี	คำอธิบาย
Qa	ตะกอนน้ำพา (Quaternary alluvial )
Qcl	ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผออยู่กับที่ (Quaternary colluvial )
PCms	หน่วยหินตะกอนกึ่งหินแปร (Permian – Carboniferous meta-sediment)
Gr	หน่วยหินแกรนิต (Triassic granite)

### 3.4.2. การกำหนดข้อมูลบ่อบาดาลและบ่อสังเกตการณ์ (Wells)

ข้อมูลบ่อบาดาลมีการแยกตามระยะเวลาที่มีการเริ่มสูบและในส่วนของบ่อสังเกตการณ์มีการกำหนดช่วงที่ทำการตรวจวัดให้ตรงกับระยะเวลาในแบบจำลอง

#### 1) บ่อสูบ (Pumping Wells)

ปริมาณการสูบน้ำบาดาล จากโครงการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาล ศึกษากำหนดเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์และประเมินการใช้น้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) เพื่อการอุปโภคบริโภคทั้งหมดจากแหล่งน้ำบาดาลเท่ากับ 3.10 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี การใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุตสาหกรรมเท่ากับ 6.66 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ส่วนการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรกรรมเท่ากับ 9.51 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี รวมทั้งสิ้น 19.27 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี จากนั้นนำปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในปี 2554 มาเปรียบเทียบกับจำนวนบ่อสูบ พบว่าแต่ละบ่อใช้เวลาในการสูบ 15.47 ชั่วโมงต่อวัน และกำหนดให้บ่อสูบที่มีช่วงเวลาเริ่มสูบก่อนและหลังจากปี 2554 ใช้เวลาในการสูบต่อวันด้วยอัตราเดียวกันคือ 15.47 ชั่วโมง และสามารถระบุปริมาณการสูบน้ำบาดาลในแต่ละชั้น เมื่อกำหนดให้ปริมาณการสูบเท่ากับ 21.44 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังตารางที่ 3.3

ข้อมูลบ่อบาดาลที่ใช้ในแบบจำลองดังตารางที่ 3.4 ได้มาจากกลุ่มระบบข้อมูลทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล โดยในแบบจำลองนี้กำหนดให้บ่อน้ำบาดาลที่มีการเริ่มสูบก่อนปี พ.ศ.2552 มีช่วงเริ่มสูบพร้อมกับบ่อบาดาลในปี พ.ศ.2552 ซึ่งกำหนดให้วันเริ่มสูบของบ่อบาดาลคือ วันที่ 1 มกราคม ของแต่ละปี และการกระจายตัวของบ่อสูบน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองเป็นดังรูปที่ 3.4

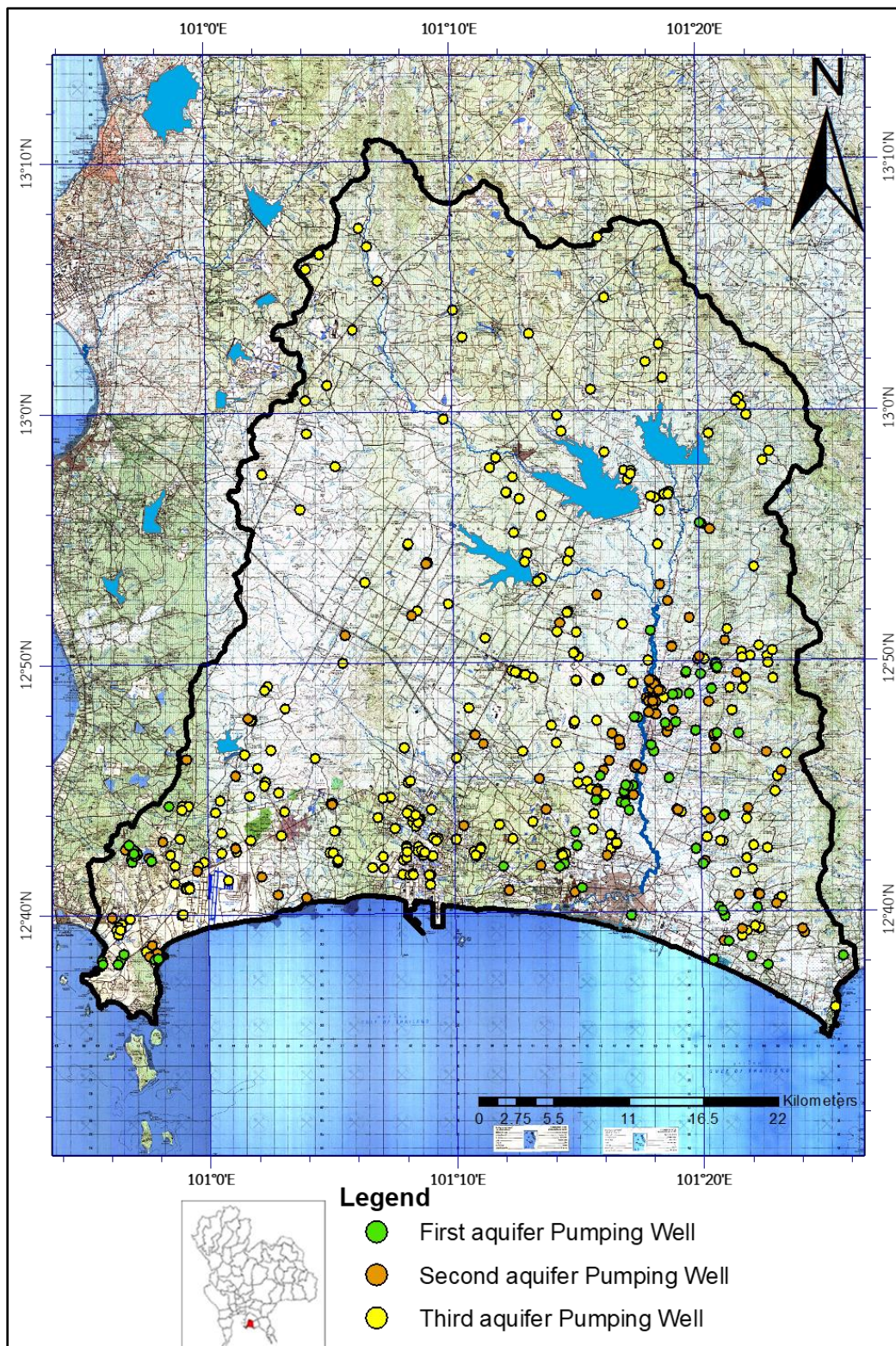
**ตารางที่ 3.3** แสดงปริมาณการสูบน้ำบาดาลในแต่ละชั้นน้ำหลังปี 2561

ชั้นน้ำ	จำนวนบ่อสูบ	ปริมาณการสูบต่อปี	ร้อยละของปริมาณการสูบต่อปี
1	75	2.89	13.5
2	117	6.22	29
3	293	12.33	57.5
รวม	485	21.44	100

**ตารางที่ 3.4** แสดงการเพิ่มขึ้นของบ่อสูบน้ำบาดาลตั้งแต่พ.ศ.2552-2561

ช่วงที่มีการ เริ่มสูบ (พ.ศ.)	จำนวนบ่อเพิ่มขึ้น ในแต่ละปี	อัตราการสูบน้ำที่ เพิ่มขึ้นต่อปี(ล้าน ลบ.ม.ต่อปี)	รวม
2552	369	18.39	18.39
2553	14	0.42	18.81
2554	16	0.47	19.28
2555	21	0.56	19.84
2556	11	0.20	20.04
2557	6	0.15	20.19
2558	13	0.30	20.49
2559	6	0.12	20.61
2560	24	0.65	21.26
2561	5	0.18	21.44
<b>รวม</b>	<b>485</b>	<b>21.44</b>	-





รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายตัวของบ่อสูบ (Pumping Wells)

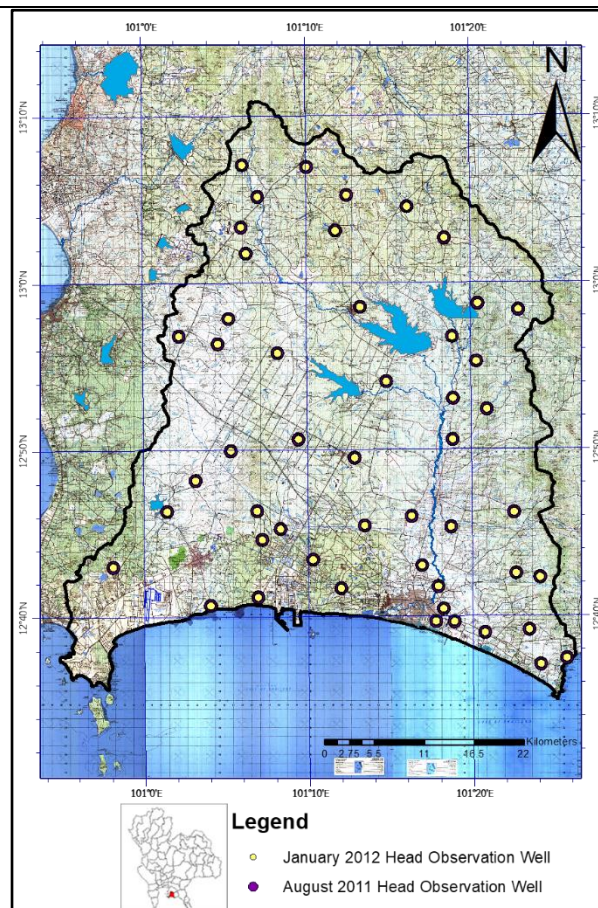


## 2) บ่อสังเกตการณ์ (Observation Wells)

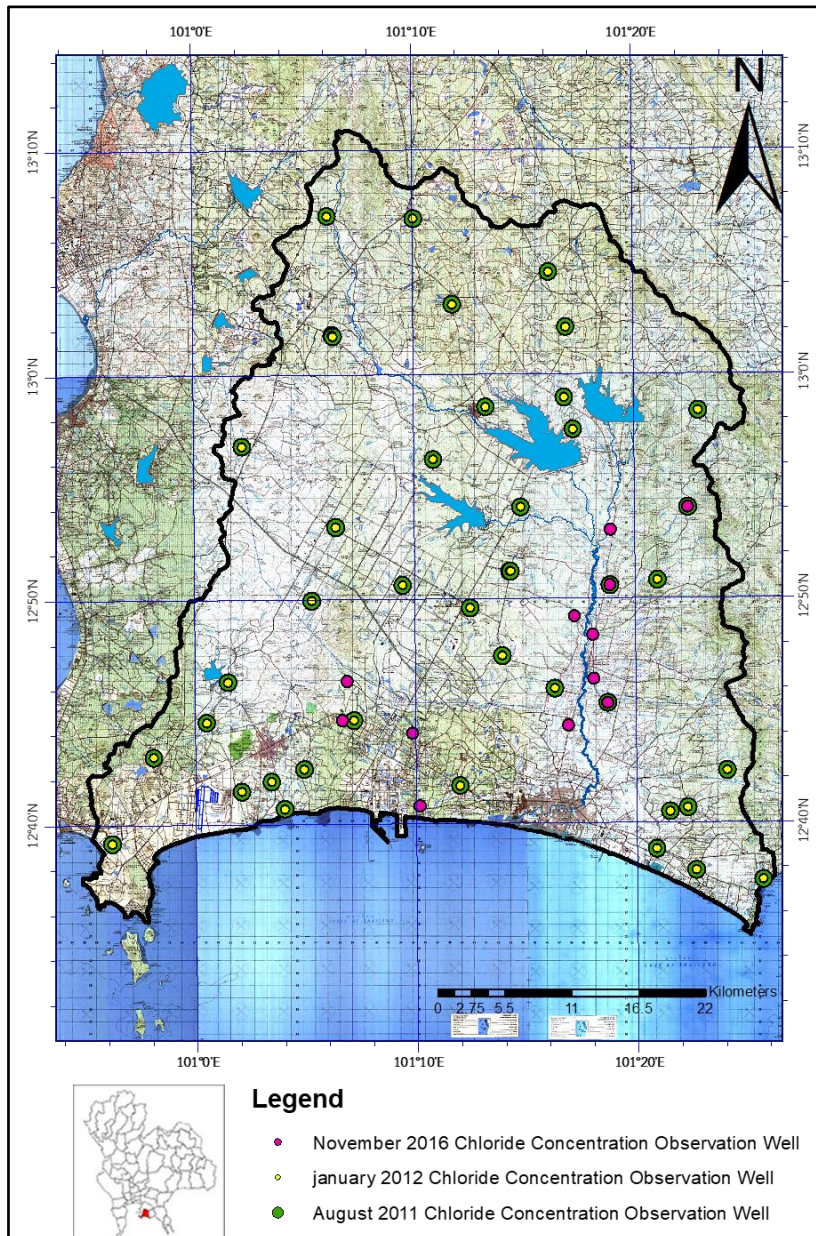
บ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ในแบบจำลองประกอบด้วยบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ (Head Observations Wells) และบ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ (Concentration Observation well) ดังตารางที่ 3.5 โดยการกระจายตัวของบ่อสังเกตการณ์เป็นไปดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 แสดงจำนวนบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง

ช่วงเวลา	จำนวน	
	บ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ	บ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้น
สิงหาคม 2554	74	54
มกราคม 2555	74	54
พฤศจิกายน 2559	ไม่มีข้อมูล	12
รวม	148	120



รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายตัวของบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำ (Head Observations Wells)



รูปที่ 3.6 แสดงการกระจายตัวของบ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์  
(Concentration Observation well)

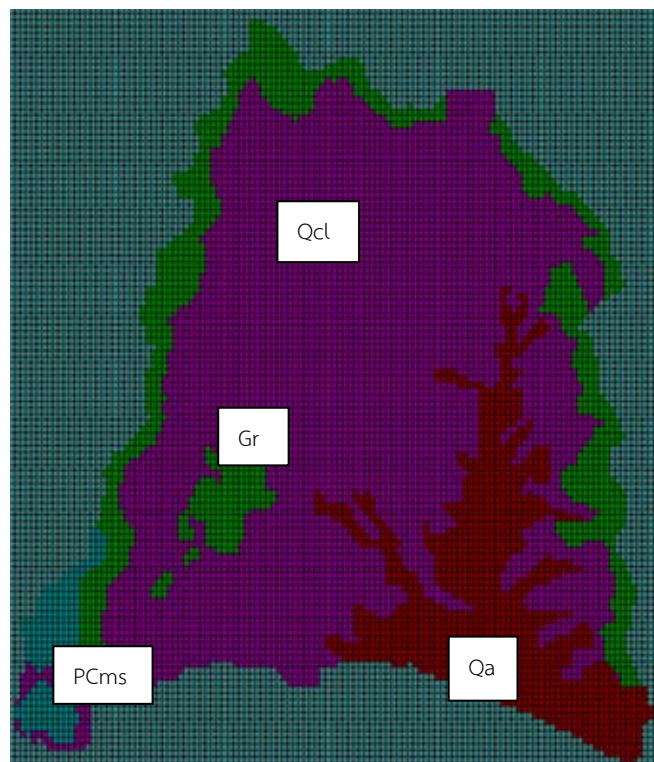
### 3.4.3. การกำหนดคุณสมบัติชั้นน้ำ (Hydraulic properties)

#### 1) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Conductivity, K)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่กำหนดในแบบจำลองดังรูปที่ 3.7 ถึง 3.9 ซึ่งส่งผลต่อปริมาณและการไหลของน้ำในแบบจำลอง โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ใช้ในแบบจำลองนี้แสดงดังตารางที่ 3.6 โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้มาจากแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง(สุภัค คลองสนั่น, 2560) ในสภาวะเปลี่ยนแปลง (Transient state) และมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ (Qcl)

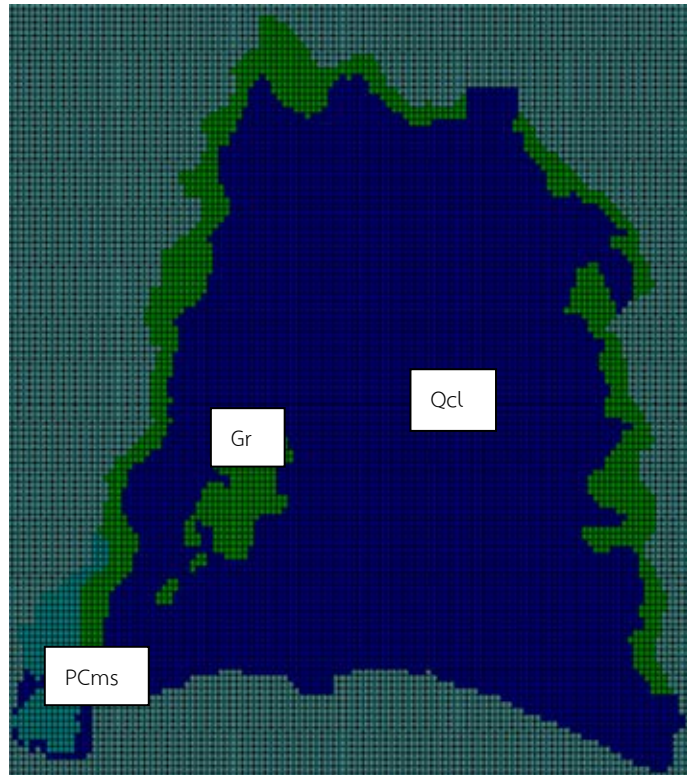
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ใช้ในแบบจำลอง

หน่วยหิน ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)		
	Kx	Ky	Kz
Qa	$5.162 \times 10^{-4}$	$5.162 \times 10^{-6}$	$2.58 \times 10^{-7}$
Qcl ชั้นน้ำที่ 1	$4.35 \times 10^{-4}$	$4.35 \times 10^{-6}$	$2.2 \times 10^{-7}$
Qcl ชั้นน้ำที่ 2	$6.53 \times 10^{-4}$	$6.53 \times 10^{-6}$	$2.7 \times 10^{-7}$
PCms	$6.296 \times 10^{-6}$	$6.296 \times 10^{-6}$	$3.148 \times 10^{-8}$
Gr	$1.447 \times 10^{-5}$	$1.447 \times 10^{-5}$	$7.234 \times 10^{-7}$



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 1





รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 2

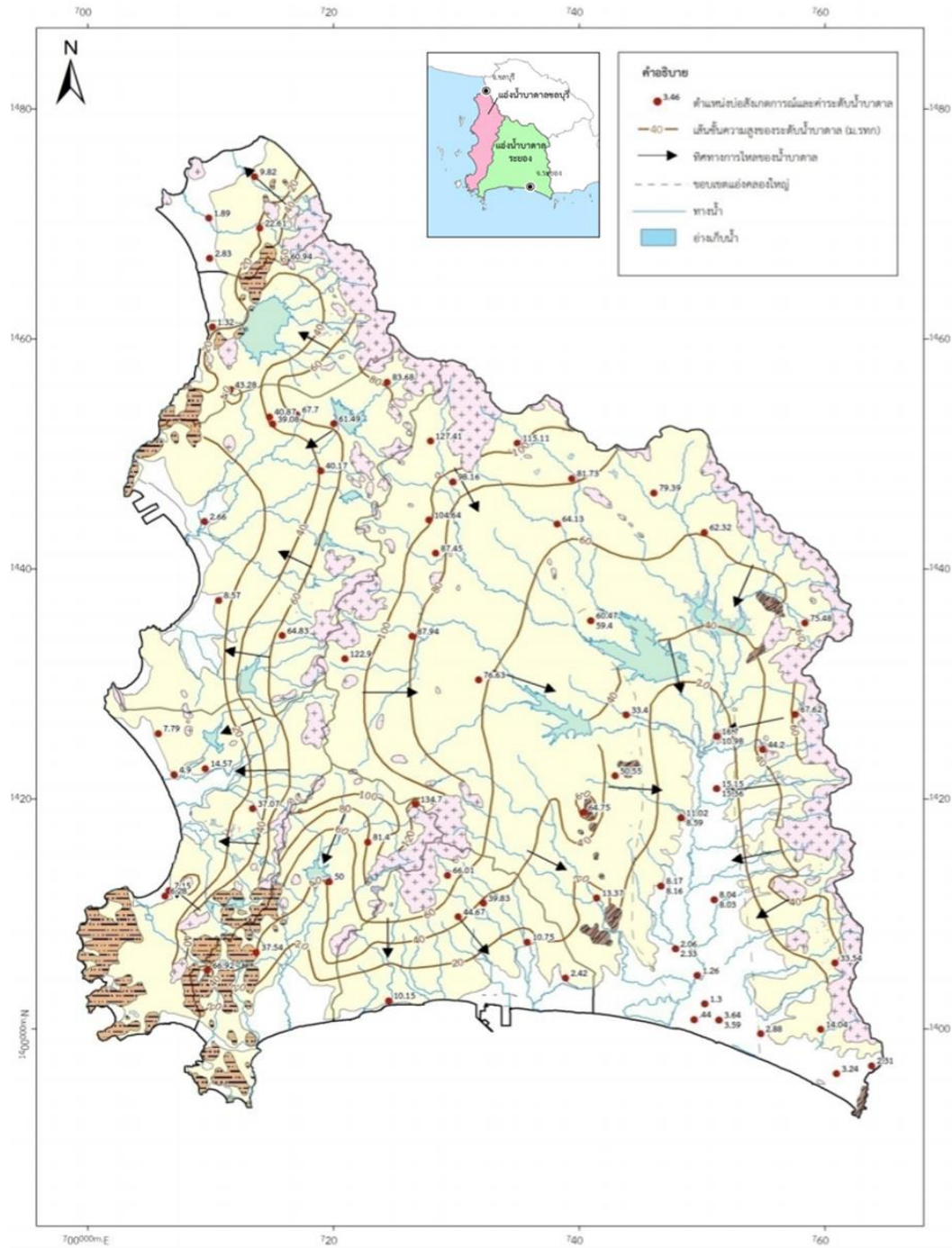


รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในชั้นน้ำที่ 3

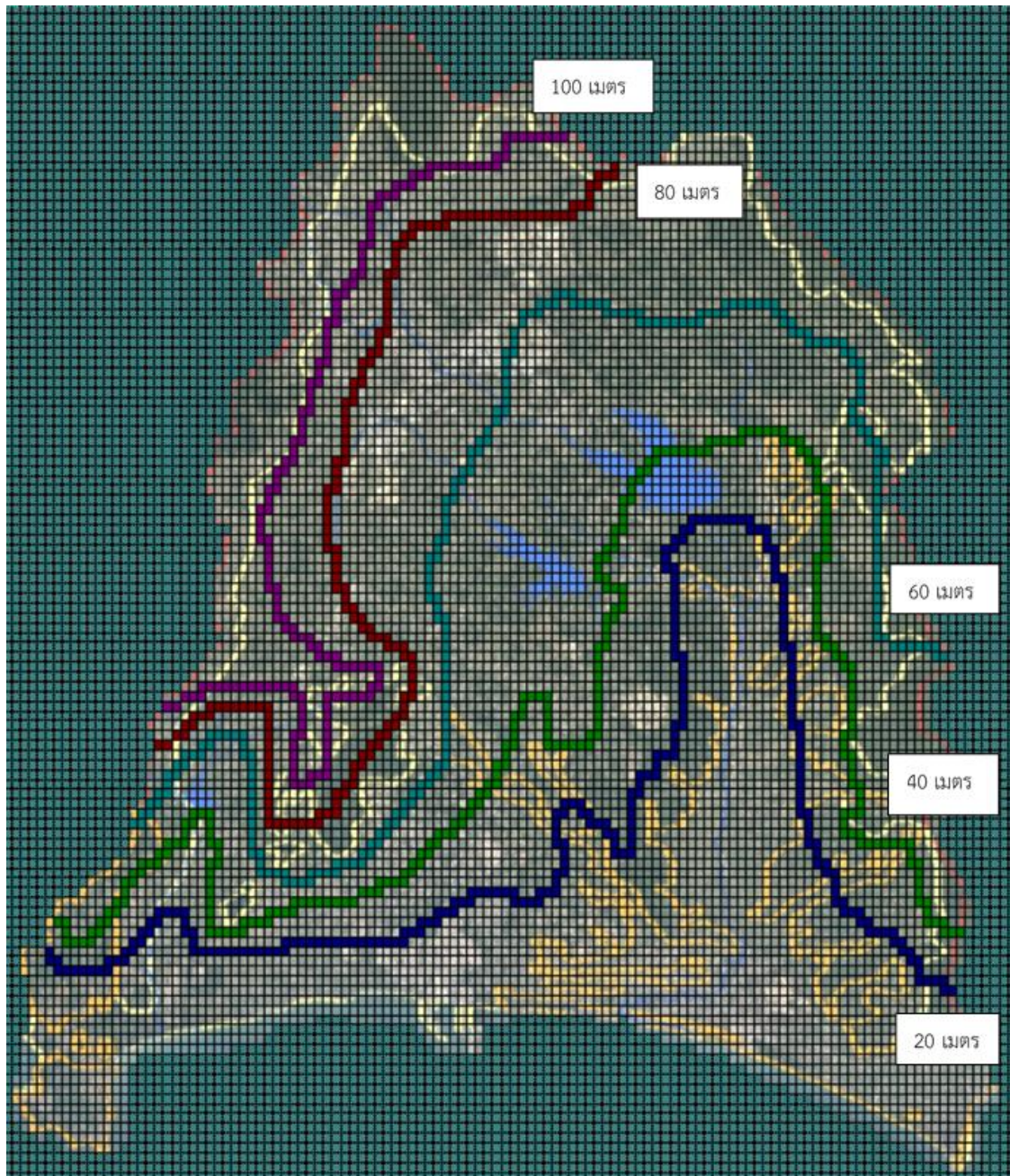


## 2) ค่าระดับน้ำเริ่มต้น (Initial Heads)

ระดับน้ำเริ่มต้นในแบบจำลองนี้ อาศัยข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่ตรวจวัดระหว่างวันที่ 11-19 ธันวาคม พ.ศ.2554 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นกำหนดค่าระดับน้ำเริ่มต้นตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แสดงระดับน้ำของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองและชลบุรี

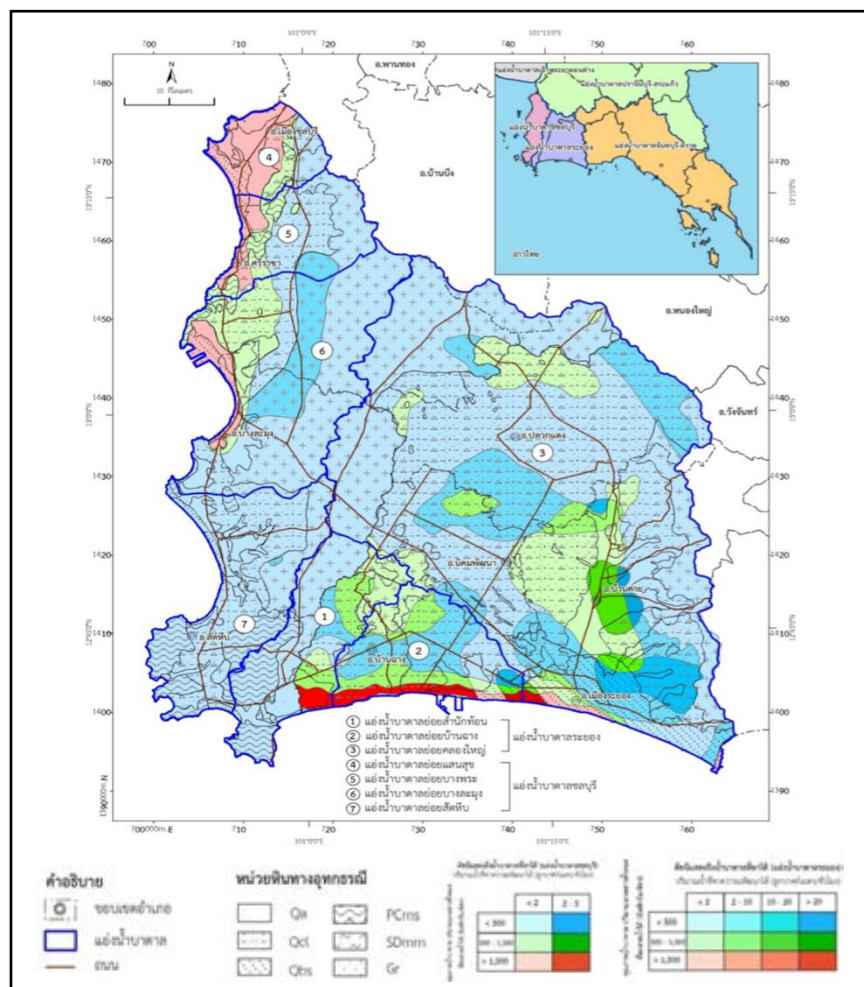


รูปที่ 3.11 แสดงค่าระดับน้ำเริ่มต้นในแบบจำลอง



### 3) ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (Initial Concentrations)

จากการที่ไม่มีขอบเขตการกระจายตัวของค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนการรุกรานของน้ำทะเลอย่างชัดเจน การกำหนดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแบบจำลองจึงอาศัยความเข้มข้นของคลอไรด์ที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ช่วงเดือนสิงหาคม 2554 ร่วมกับแผนที่น้ำบาดาลบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2538 และกรมทรัพยากรธรณี, 2539) ดังรูปที่ 3.12 นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ไม่ได้มาจากการรุกรานของน้ำทะเลด้วย เช่น ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่พบได้จากบ่อบาดาลที่เป็นบ่อสังเกตการณ์บริเวณหลุมฝังกลบขยะในพื้นที่ซึ่งมีตั้งแต่ช่วง 1,000 – 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555; ธวัชรัตน์ พลสิทธิ์, 2559) รวมถึงบ่อบาดาลที่พบปริมาณคลอไรด์น้อยแม้อยู่บริเวณชายฝั่งเนื่องจากเป็นบ่อบาดาลที่อยู่ในชั้นแกรนิต



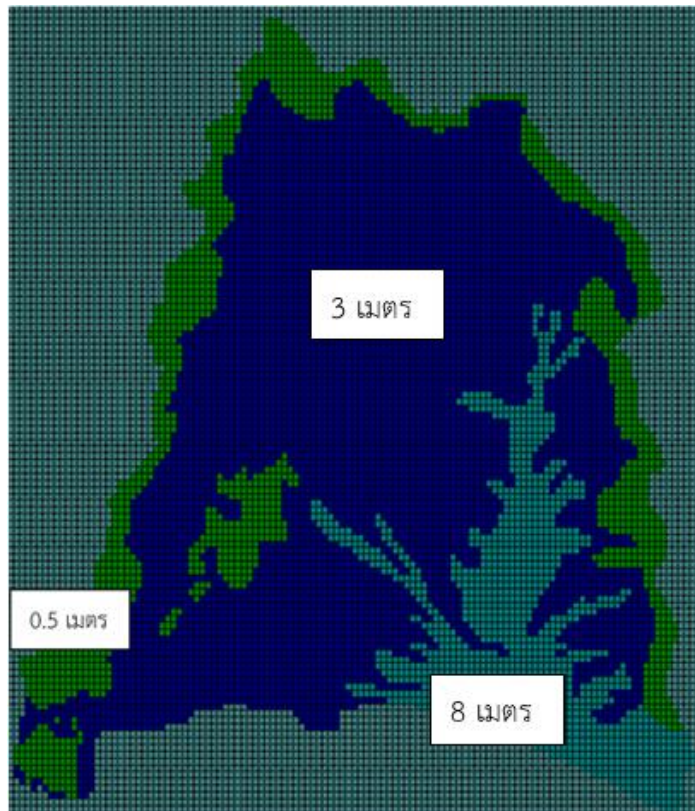
รูปที่ 3.12 แสดงแผนที่น้ำบาดาลบริเวณแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี(กรมทรัพยากรธรณี, 2538 และกรมทรัพยากรธรณี, 2539)

#### 4) ค่าสัมประสิทธิ์แพร่กระจาย (Dispersivity, D)

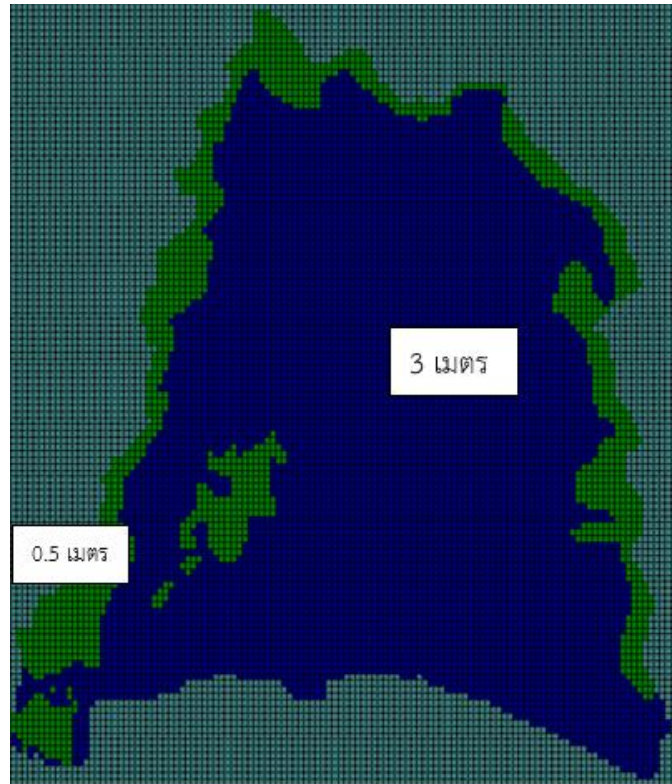
ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายแสดงถึงการแพร่กระจายตัวของมลสารด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวราบและแนวตั้งโดยทั่วไปกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายตัวในแนวตั้งมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายตัวในแนวราบ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายตัวที่ใช้ในแบบจำลองมีค่าดังตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.13-3.15

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายตามหน่วยหินทางธรณีวิทยา

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าสัมประสิทธิ์แพร่กระจาย (เมตร)	ที่มา
Qa	8	Roberts et al. 1981
Qcl	3	Roberts et al. 1981
PCms และ Gr	0.5	Dieulin 1981



รูปที่ 3.13 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของชั้นน้ำที่ 1



รูปที่ 3.14 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของชั้นน้ำที่ 2



รูปที่ 3.15 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของชั้นน้ำที่ 3

### 5) ค่าการกักเก็บ (Storage)

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าต่าง ๆ ของค่าการกักเก็บ ที่ได้ในแบบจำลอง

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	การกักเก็บจำเพาะ Specific storage (1/m)	ประสิทธิภาพการ จ่ายน้ำ Specific yield	ค่าความพรุน ประสิทธิผล Effective Porosity	ค่าความพรุนรวม Total porosity
Qa	0.00018	0.18	0.15	0.23
Qcl	0.00022	0.22	0.25	0.30
Gr และ PCms	1.00E-05	0.01	0.01	0.01

#### 3.4.4. การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundaries)

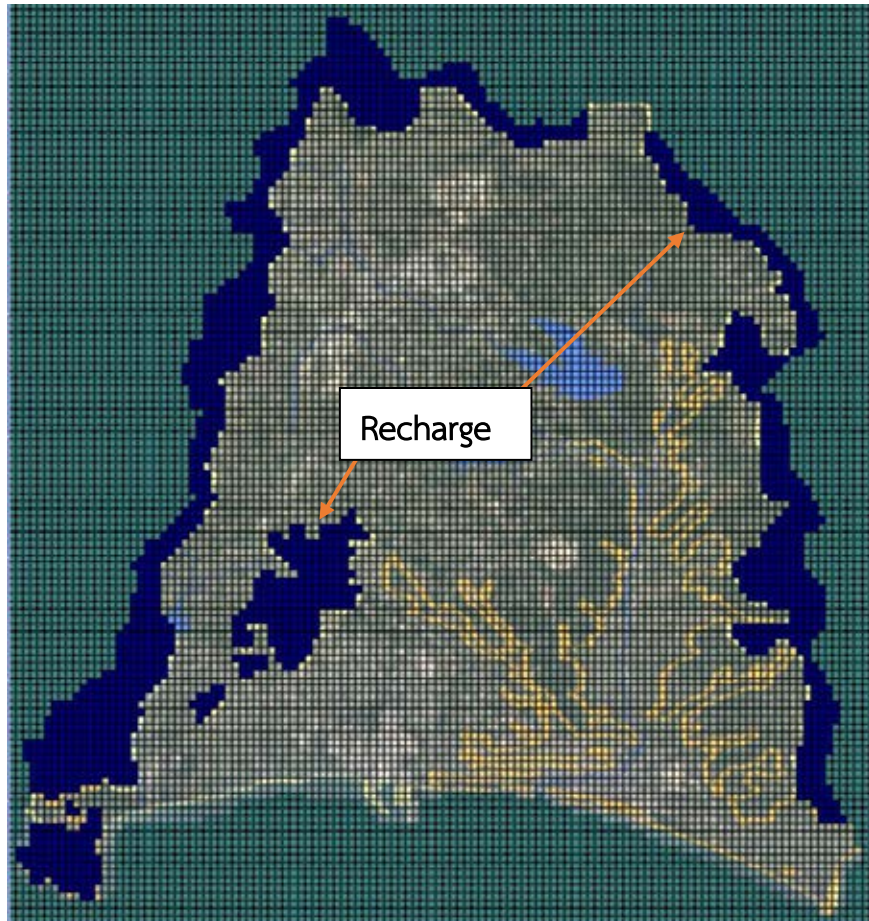
##### 1) การเติมน้ำ (Recharge)

แบบจำลองนี้กำหนดให้พื้นที่ซึ่งเป็นภูเขาเป็นพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) คือ บริเวณภูเขาแกรนิต (Gr) และบริเวณภูเขาหินตะกอนกึ่งหินแปร (PCms) ของขอบแอ่งน้ำบาดาลด้านล่างทางทิศตะวันตก ซึ่งเป็นบริเวณของพื้นที่สีน้ำเงิน ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งคิดอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นปริมาณร้อยละ 6.5 ของปริมาณฝนตกสะสมตลอดทั้งปี (ดังตารางที่ 3.9) และกำหนดปริมาณการเติมน้ำคงที่ในขนาดของแบบจำลองคือ 90 มิลลิเมตรต่อปี โดยเป็นค่าประมาณที่คิดจากฝนตกในแอ่งน้ำบาดาลระยองเท่ากับ 1,350 มิลลิเมตรต่อปี(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล,2555)

ตารางที่ 3.9 แสดงอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แอ่งน้ำบาดาลระยอง พ.ศ.2552-2561

ปี	อัตราการเติมน้ำ (Recharge) มิลลิเมตร/ปี
2552	99.29
2553	111.55
2554	107.27
2555	96.39
2556	113.34
2557	68.24
2558	94.23
2559	85.05
2560	107.8
2561	61.20





รูปที่ 3.16 แสดงพื้นที่เติมน้ำ(Recharge Area)

## 2) แม่น้ำและร่องน้ำ (River and Drain)

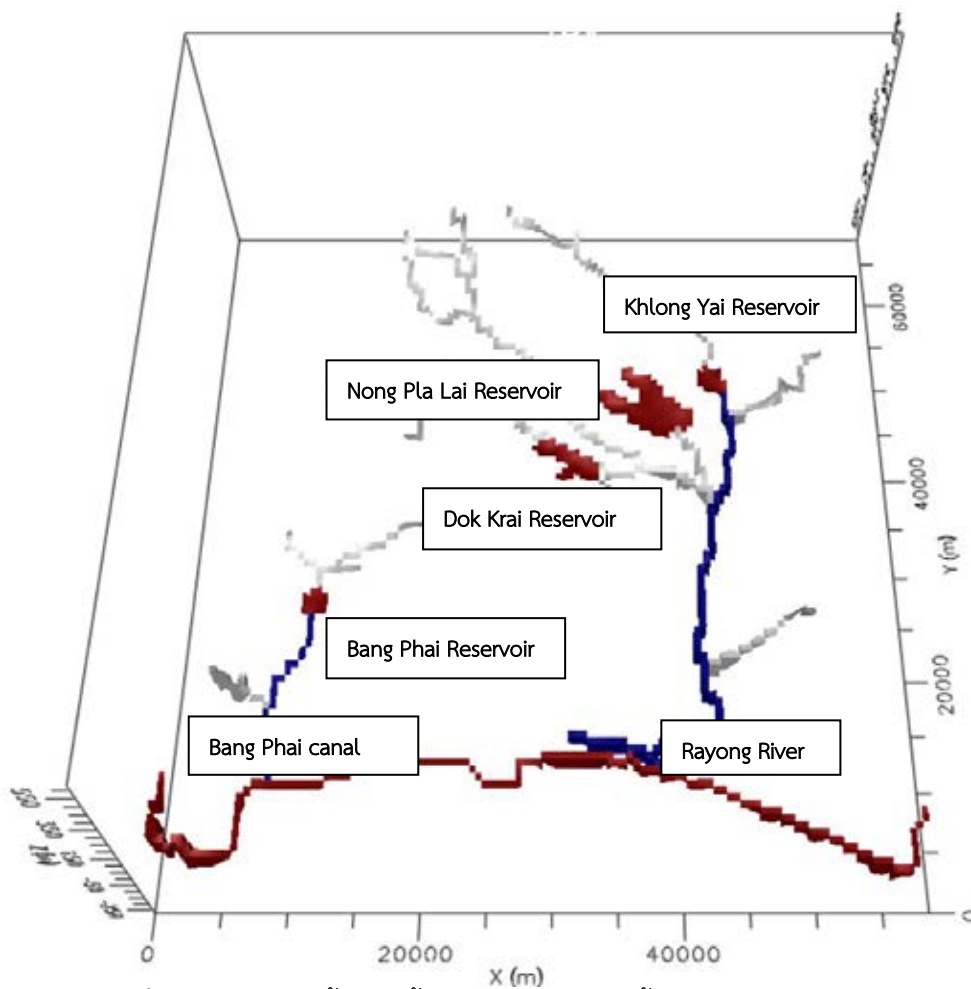
การกำหนดขอบเขตของแม่น้ำและร่องน้ำจะแยกจากกัน โดยกำหนดให้ทางน้ำที่มีส่วนเชื่อมต่อกับทะเลเป็นแม่น้ำ ซึ่งประกอบด้วยแม่น้ำสองสายคือ แม่น้ำระยองหรือแม่น้ำคลองใหญ่ มีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร มีความกว้างตั้งแต่ 20 ถึง 200 เมตร และคลองบางไผ่ที่เชื่อมจากอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ มีความยาวประมาณ 17 กิโลเมตร เป็นคลองเล็ก ๆ ที่มีความกว้างไม่เกิน 50 เมตร แต่จะมีความกว้างมากที่สุดในช่วงปากแม่น้ำประมาณ 20 เมตร แล้วกำหนดให้ทางน้ำอื่น ๆ เป็นทางน้ำย่อยซึ่งมีลักษณะการระบายน้ำตามแบบของลำธาร ดังรูปที่ 3.17

### 3) ค่าระดับน้ำคงที่ (Constant Head)

การกำหนดค่าระดับน้ำคงที่ จะกำหนดให้บริเวณที่อยู่ติดกับทะเลมีค่าเท่ากับ 0 เมตร ส่วนบริเวณที่เป็นอ่างเก็บน้ำจะกำหนดให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับระดับความสูงของพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำ ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าระดับน้ำคงที่ที่บริเวณอ่างเก็บน้ำในพื้นที่แบบจำลอง

ขอบเขตค่าระดับน้ำคงที่	ค่าระดับน้ำคงที่ในแบบจำลอง (เมตร)
อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล	60
อ่างเก็บน้ำดอกกราย	55
อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่	55
อ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่	60

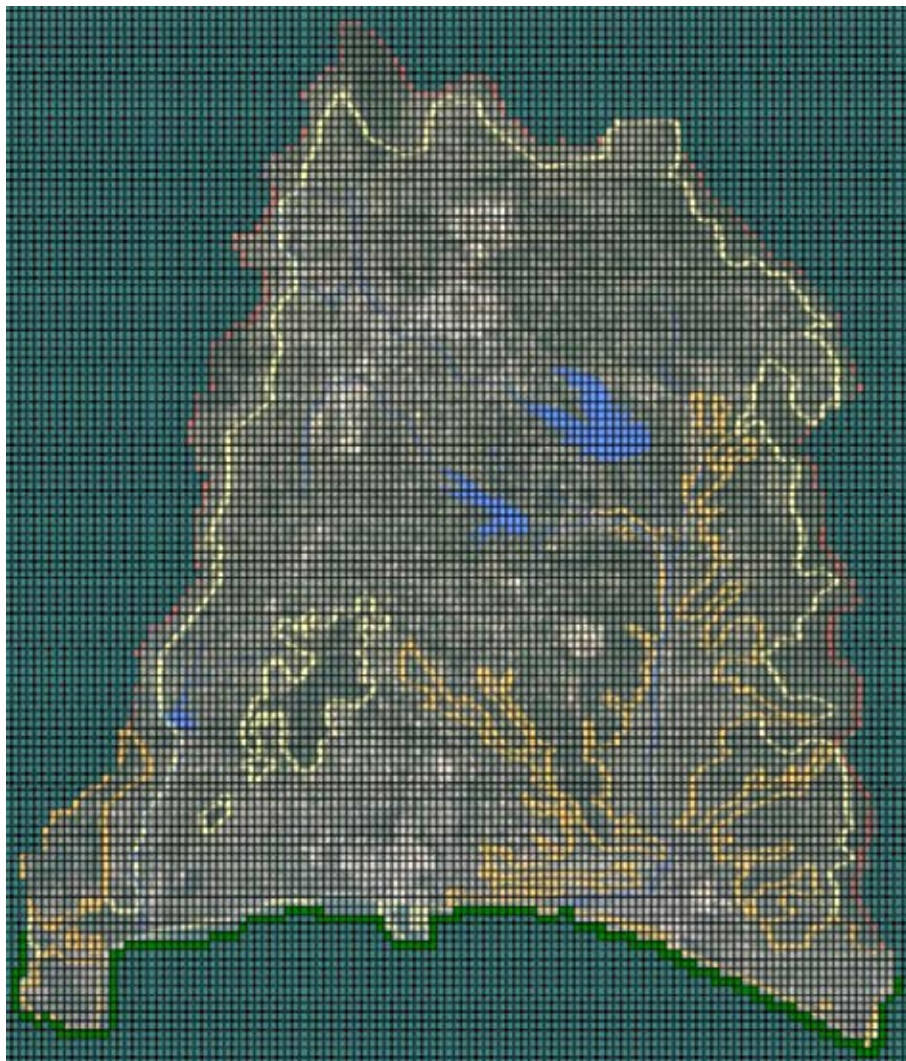


รูปที่ 3.17 แสดงแม่น้ำ ร่องน้ำ และบริเวณระดับน้ำคงที่ ในแบบจำลอง



#### 4) ค่าความเข้มข้นคงที่ (Constant Concentration)

บริเวณที่กำหนดให้มีความเข้มข้นคงที่จะเป็นบริเวณที่อยู่ติดกับทะเลทางด้านใต้ของแอ่งน้ำบาดาลระยองดังรูปที่ 3.18 ซึ่งค่าความเข้มข้นคงที่กำหนดให้เป็นค่าความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 3.18 แสดงบริเวณที่กำหนดขอบเขตความเข้มข้นคงที่บริเวณชายฝั่ง

## บทที่ 4

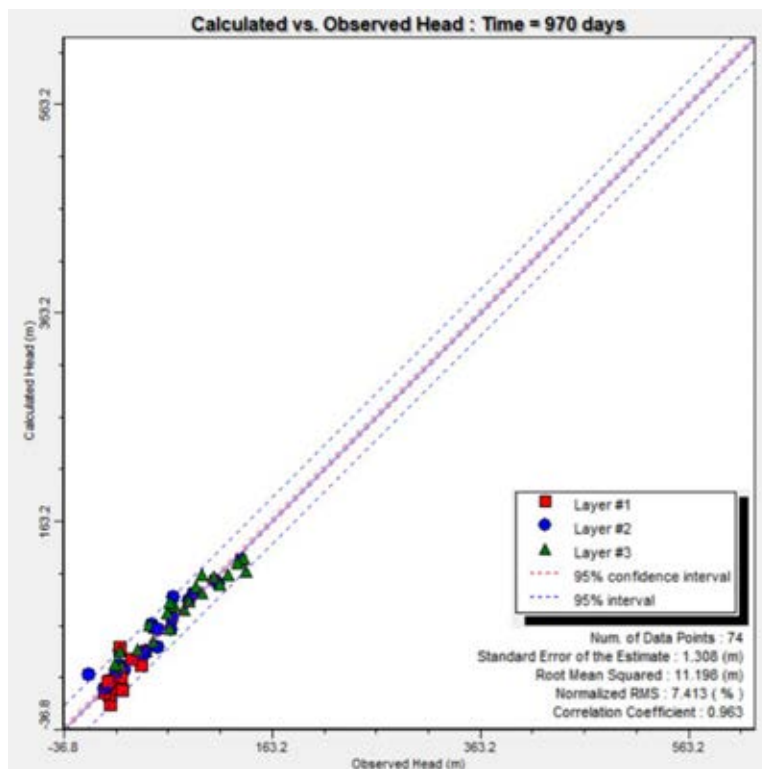
### ผลการศึกษาและอภิปรายผลศึกษา

#### 4.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

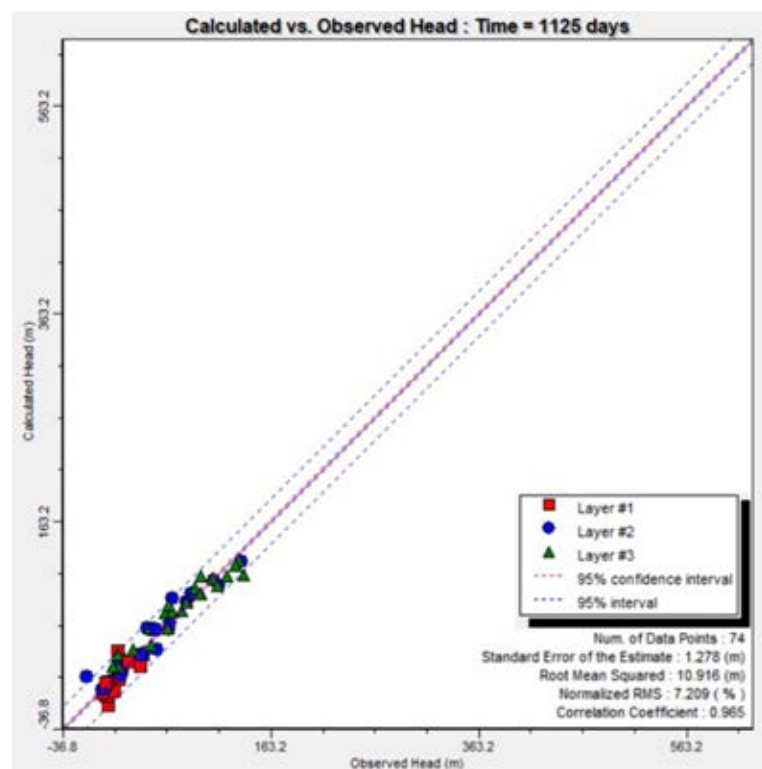
การสร้างแบบจำลองการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะของโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และ SEAWAT Engine เป็นเครื่องมือในการดำเนินการภายใต้สภาวะแบบไม่คงตัว (Transient state) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อมูลบ่งชี้เหตุการณ์ที่ได้จากภาคสนาม (Observation Well) กับข้อมูลบ่งชี้เหตุการณ์ที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง ได้หลายช่วงเวลา นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองภายใต้สภาวะแบบไม่คงตัวโดยใช้ SEAWAT Engine ยังสามารถแสดงข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาจากการคำนวณของแบบจำลองได้ ซึ่งแตกต่างกับการสร้างแบบจำลองภายใต้สภาวะแบบคงตัว (Steady state) ซึ่งเป็นการจำลองการไหลของน้ำบาดาลทั่วไปที่มีสมมติฐานว่าความหนาแน่นของน้ำบาดาลมีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และการสร้างแบบจำลองโดย SEAWAT Engine สามารถเปรียบเทียบได้ทั้งค่าระดับน้ำ (รูปที่ 4.1-4.2) และค่าความเข้มข้นของมลสาร (รูปที่ 4.3-4.5) ซึ่งการเปรียบเทียบนั้น เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ผลลัพธ์ซึ่งคือค่าระดับน้ำและค่าความเข้มข้นของสาร จากแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ตรวจวัดจากบ่อสังเกตการณ์ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มาจากภาคสนาม ทำให้เกิดลักษณะของความสัมพันธ์เชิงเส้นขึ้นมา โดยผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 และผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยระดับน้ำ

Obsevation time	Number of points	Standard	Root	Normalized RMS	Correlation Coefficient
		Error of the Estimate (m)	Squared Mean (m)		
สิงหาคม 2554	74	1.308	11.198	7.413	0.963
มกราคม 2555	74	1.278	10.916	7.209	0.965



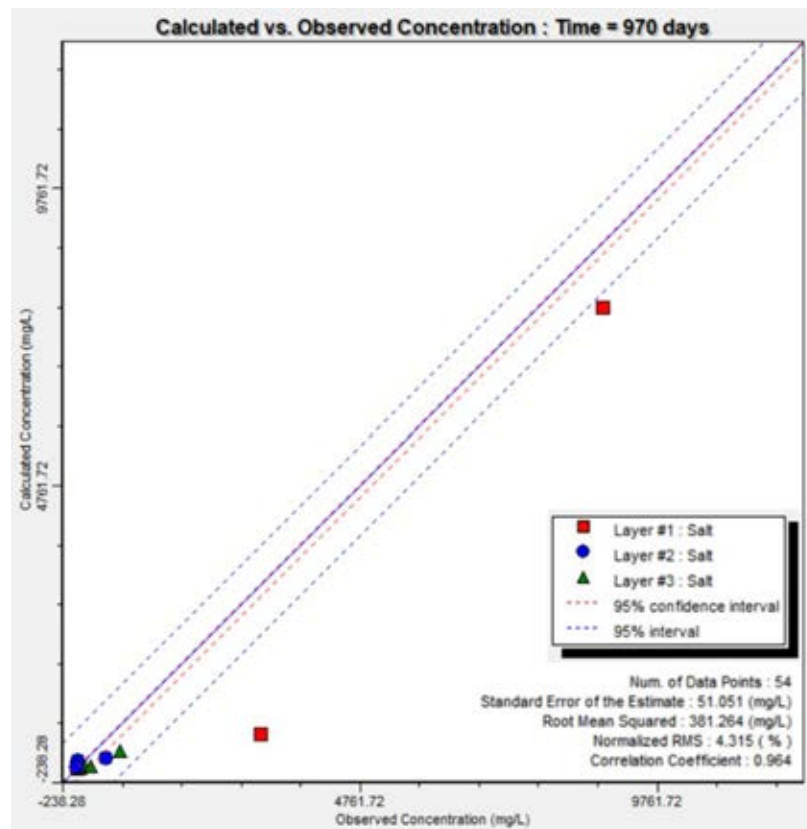
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟการปรับเทียบระดับน้ำ (Head calibration graph) ช่วงสิงหาคม 2554



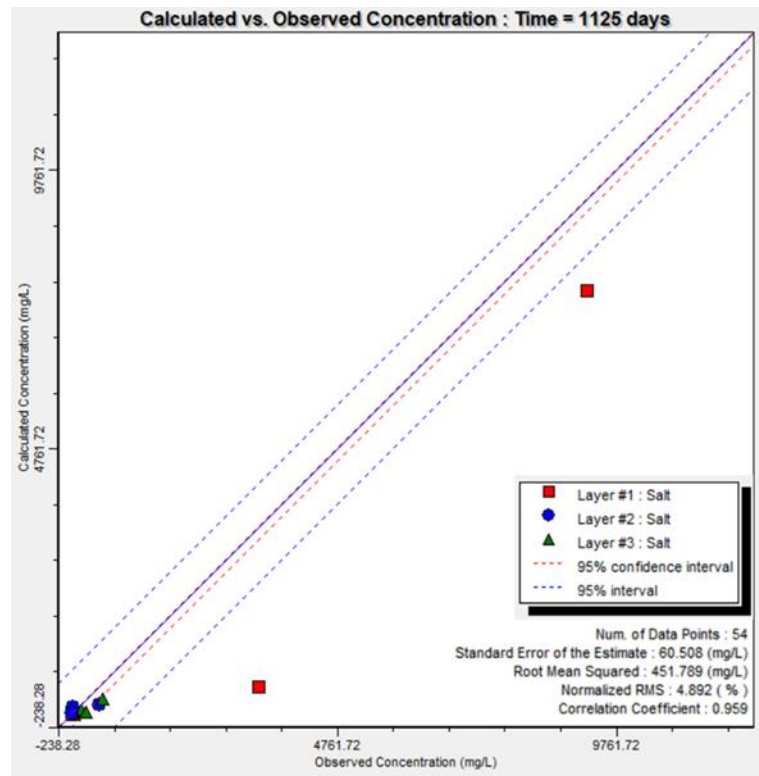
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟการปรับเทียบระดับน้ำ (Head calibration graph) ช่วงมกราคม 2555

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยค่าความเข้มข้น

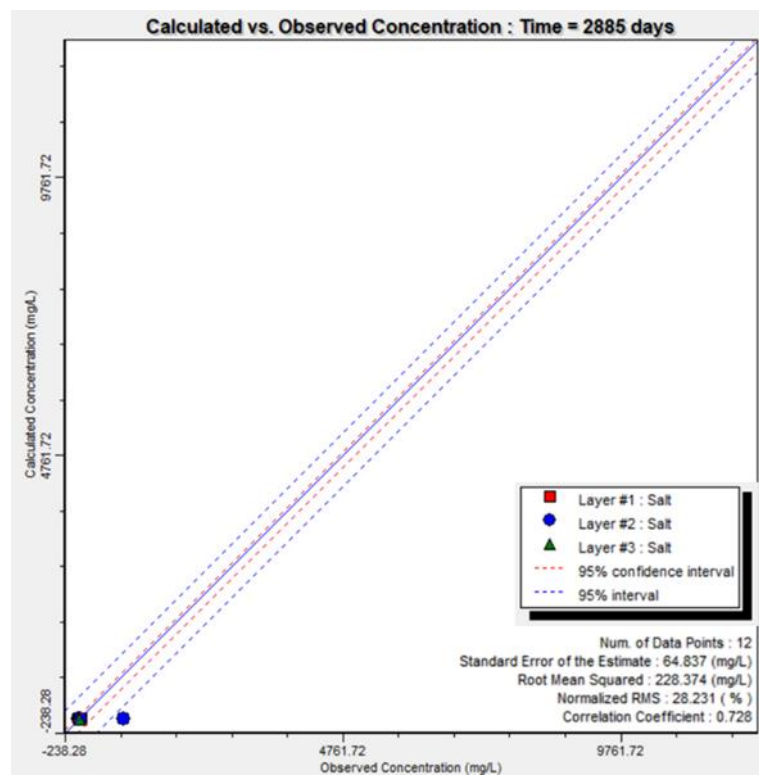
Obsevation time	Number of points	Standard Error of Root Mean Squared				Correlation Coefficient
		the Estimate (m)	(m)	Normalized RMS	(m)	
สิงหาคม 2554	54	51.051	381.26	4.315	0.964	
มกราคม 2555	54	60.508	451.789	4.892	0.959	
พฤศจิกายน 2559	12	64.837	228.374	28.231	0.728	



รูปที่ 4.3 กราฟการปรับเทียบค่าความเข้มข้น (Concentration calibration graph) ช่วงสิงหาคม 2554



รูปที่ 4.4 กราฟการปรับเทียบค่าความเข้มข้น (Concentration calibration graph) ช่วงมกราคม 2555

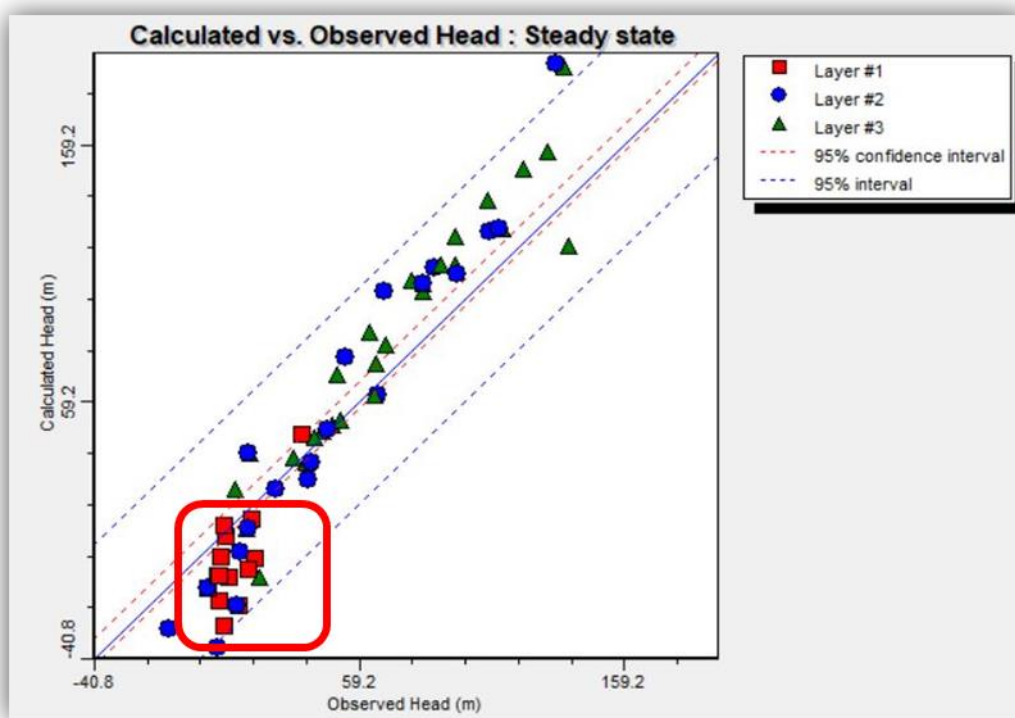


รูปที่ 4.5 กราฟการปรับเทียบค่าความเข้มข้น (Concentration calibration graph) พฤศจิกายน 2559

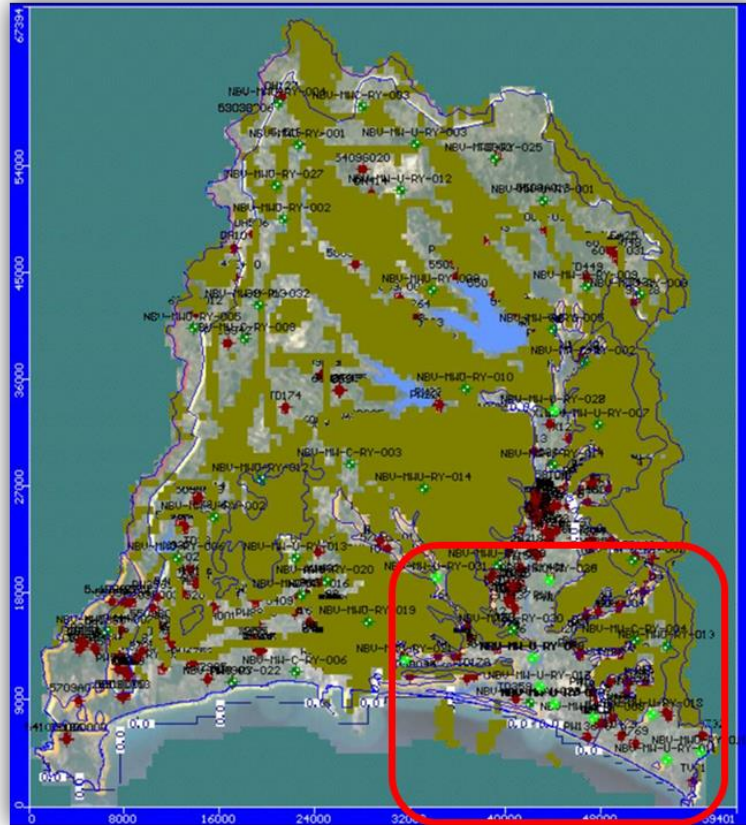


## 4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

การสร้างแบบจำลองการรุกค้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยใช้ SEAWAT Engine ที่คำนึงถึงผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเลและน้ำจืด ซึ่งน้ำที่มีความหนาแน่นที่แตกต่างกันส่งผลให้ระดับน้ำมีค่าแตกต่างกัน ในขณะที่การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง (สุภัก คลองสนั่น, 2560) ที่ใช้ MODFLOW 2000 Engine จำลองในสถานะคงที่ (Steady State) ซึ่งการศึกษา นั้นกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมีค่าคงที่จากกราฟการเปรียบเทียบระดับน้ำบาดาลของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง ดังรูปที่ 4.6 เห็นว่า ในชั้นน้ำที่ 1 ระดับน้ำที่แบบจำลองคำนวณส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าระดับน้ำที่ได้จากการสำรวจจากบ่อสังเกตการณ์ ซึ่งตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์เหล่านั้นจะอยู่บริเวณปากแม่น้ำระยอง ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นผลมาจากการรุกค้ำของน้ำทะเล เมื่อใช้ SEAWAT Engine ระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับระดับน้ำที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์มากกว่าการใช้ MODFLOW 2000 Engine



รูปที่ 4.6 กราฟการเปรียบเทียบระดับน้ำของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยใช้ MODFLOW 2000 Engine (สุภัก คลองสนั่น, 2560)



**รูปที่ 4.7** แสดงตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำในชั้นน้ำที่ 1 บริเวณปากแม่น้ำระยอง

อย่างไรก็ตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองที่ได้จากแบบจำลองการรุกคืบของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองโดยภาพรวมถือว่ามีความใกล้เคียงกับแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง โดยน้ำมีทิศทางการไหลจากขอบแอ่งซึ่งเป็นภูเขาสูง ลงไปยังทางน้ำเล็ก ๆ เข้าสู่อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำดอกกราย และอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ แล้วไหลลงสู่ทะเลผ่านแม่น้ำระยอง และคลองบางไผ่ ดังรูปที่ 4.8

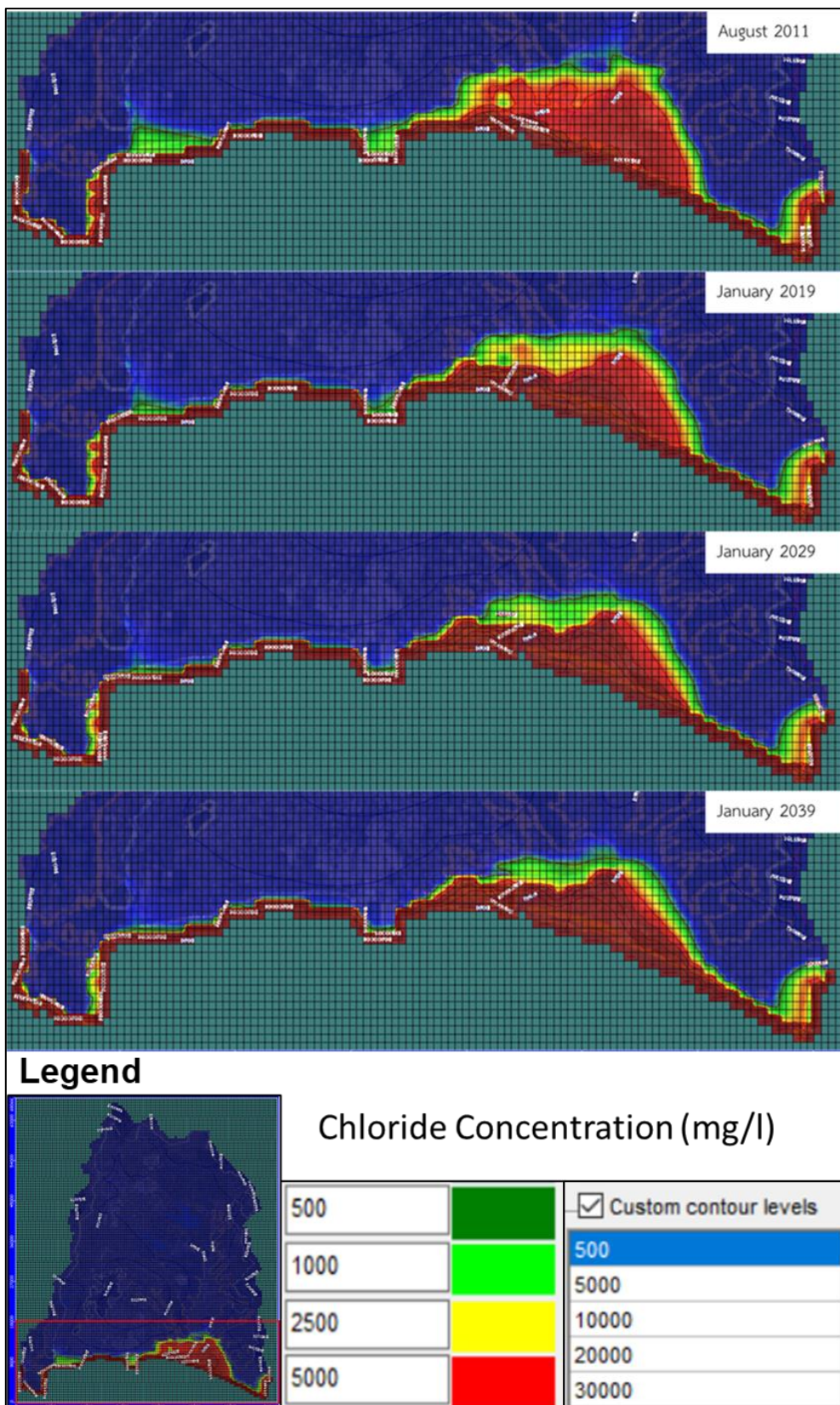


รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

#### 4.3 ภาพการรुकูล้ำของน้ำทะเล จากโปรแกรม Visual MODFLOW

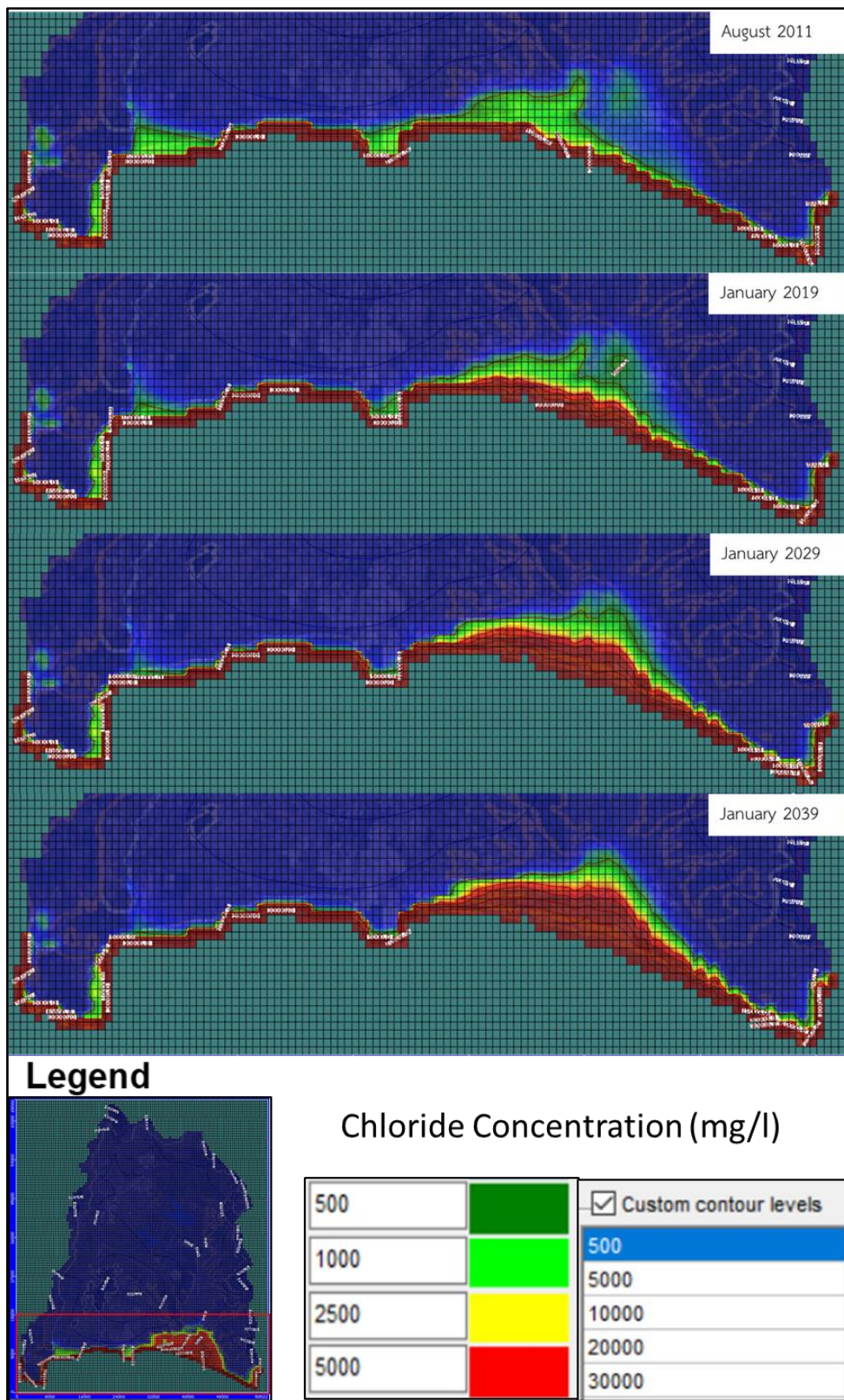
รูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.11 เป็นภาพผลลัพธ์ที่แสดงถึงการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าไปในแอ่งน้ำบาดาลระยอง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของแต่ละชั้นจากนั้นจะเลิกเส้การรुकูล้ำที่มีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรของแต่ละช่วงเวลา ไปสร้างเป็นแผนที่แสดงแนวการรुकูล้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองแต่ละชั้น





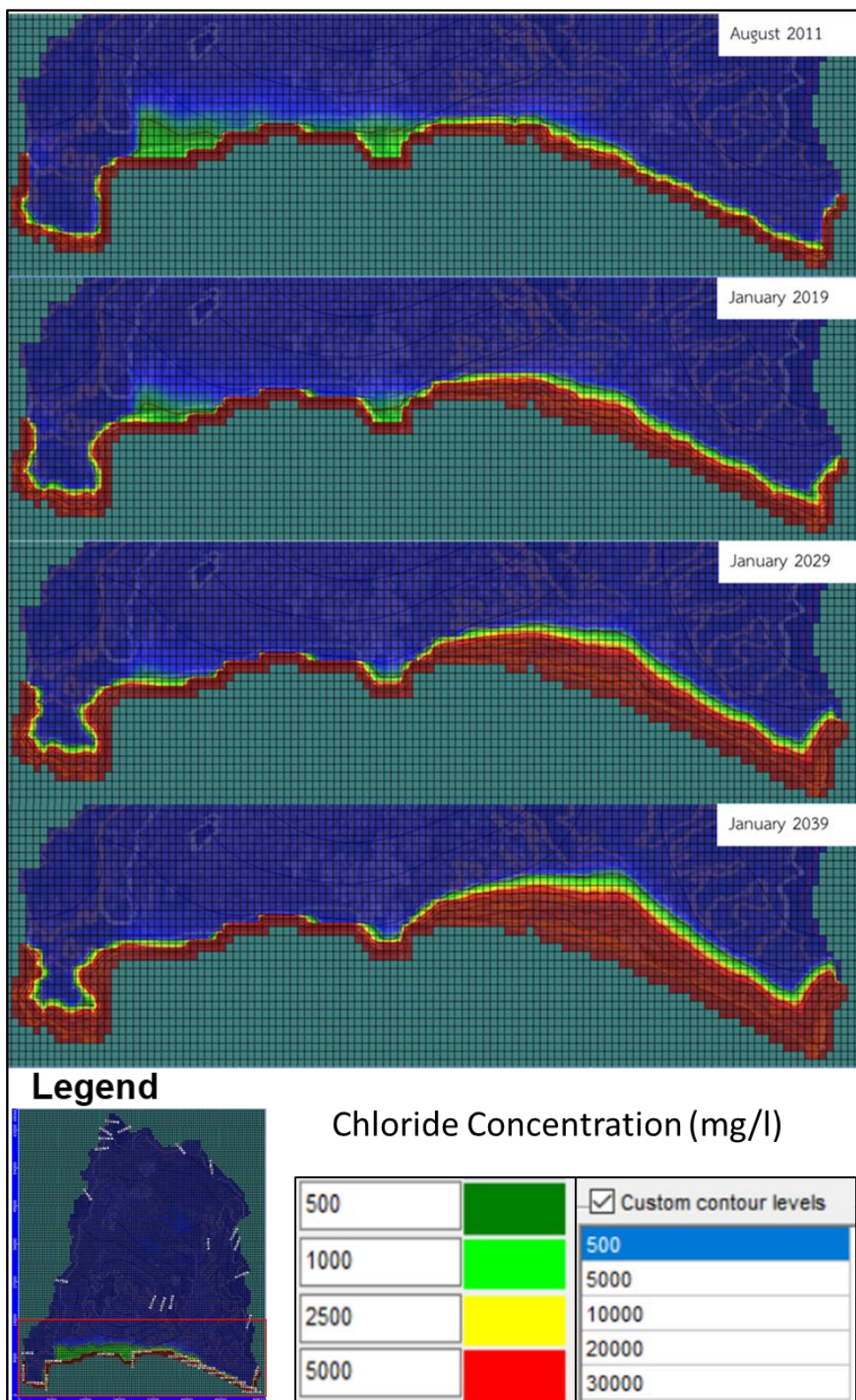
รูปที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกล้ำของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 1





รูปที่ 4.10 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกคืบของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 2

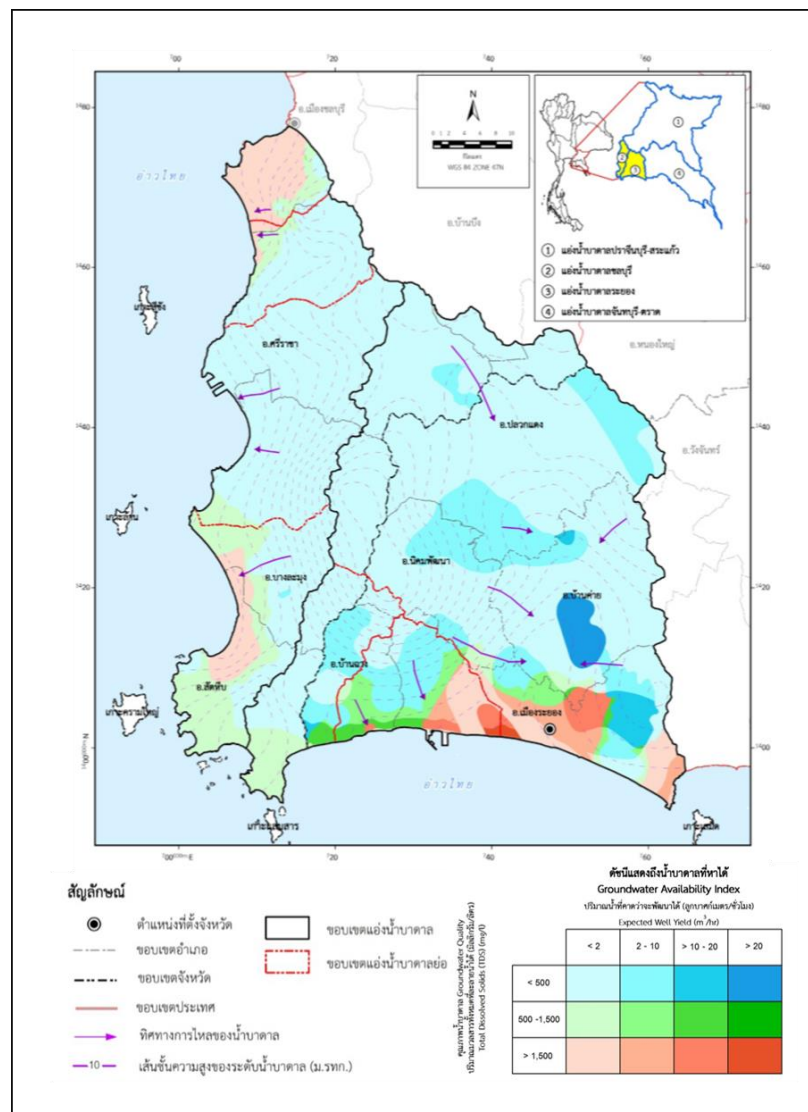




รูปที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual MODFLOW แสดงแนวการรุกคืบของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นที่ 3

#### 4.4 การรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

โดยทั่วไปแอ่งน้ำบาดาลที่อยู่ติดกับทะเลจะเกิดการรุกรานของน้ำทะเลที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจืดเข้าไปในลักษณะคล้ายรูปลิ้ม แบบจำลองการรุกรานของน้ำทะเลซึ่งใช้ SEAWAT Engine ในสภาวะแบบไม่คงที่ (transient state) สามารถแสดงการเคลื่อนที่ของสารได้หลายช่วงเวลา สำหรับแบบจำลองนี้ใช้ความเข้มข้นของคลอไรด์เป็นตัวแสดงถึงน้ำทะเลที่รุกรานเข้ามาในแอ่งน้ำบาดาลระยอง ซึ่งประกอบด้วย 3 ชั้นน้ำ โดยแนวการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 1 (รูปที่ 4.13) แนวการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 2 (รูปที่ 4.14) ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลหินร่วน และการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลหินแข็ง (รูปที่ 4.14) ทั้งสามชั้นมีลักษณะสอดคล้องกับขอบเขตปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในแอ่งน้ำบาดาลระยอง (รูปที่ 4.12) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2560)

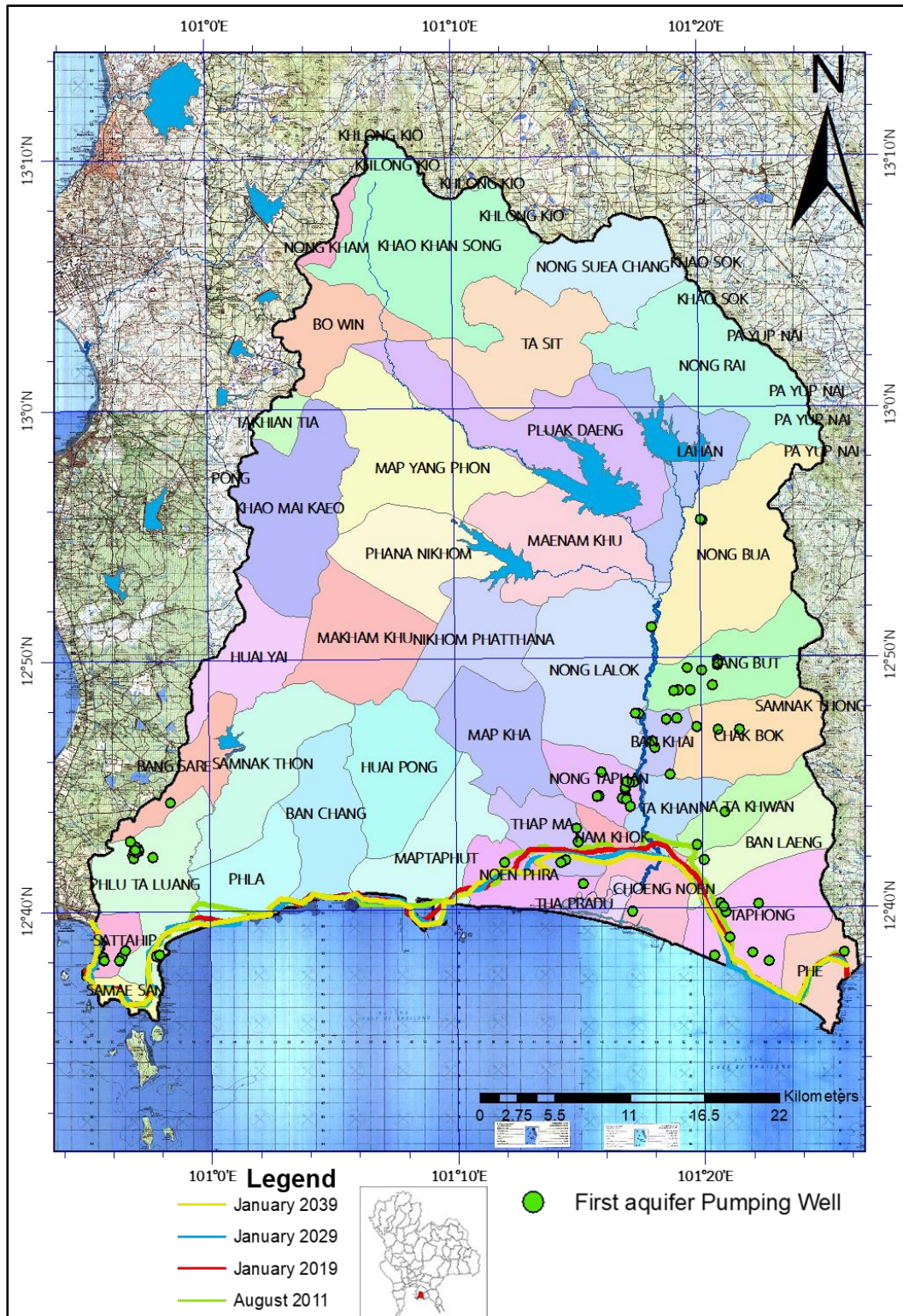


รูปที่ 4.12 แสดงขอบเขตปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในแอ่งน้ำบาดาลระยอง(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2560)

#### 4.4.1 แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลชั้นน้ำที่ 1

แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นน้ำที่ 1 ดังรูปที่ 4.10 ขึ้นอยู่กับปัจจัยของแม่น้ำ คลอง และปริมาณการเติมน้ำในแต่ละปี เนื่องจากในชั้นน้ำที่ 1 มีปริมาณบ่อสูบน้ำบาดาลน้อยที่สุดในช่วงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึง มกราคม พ.ศ. 2562 แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลถอยไปจากแอ่งน้ำบาดาลบริเวณที่เป็น ปากแม่น้ำระยอง เป็นระยะทางประมาณ 1.3 กิโลเมตร จากตำบลตาขัน อำเภอบ้านค่าย ไปยังตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ภายหลังจากช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2562 มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลปีละ 90 มิลลิเมตรต่อปีและมีบ่อสูบน้ำบาดาลจำนวน 75 บ่อ สูบน้ำปริมาณ 2.89 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือ 13.47 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการสูบทั้งหมด แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลได้เริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2572 ซึ่งเป็นภาวะที่ความดันจากน้ำจืดเท่ากับความดันจากน้ำเค็ม เนื่องจากแนวการรุกกล้าของน้ำทะเลไม่ มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบว่าบริเวณ ตำบลเนินพระ ตำบลทับมา ตำบลเชิงเนิน ตำบลตะพง ตำบลปากน้ำ ตำบล ท่าประดู่และตำบลน้ำคอก อำเภอเมือง จังหวัดระยอง มีความเสี่ยงในการรุกกล้าของน้ำทะเลเพิ่มเติมเข้าไปยัง แอ่งน้ำบาดาลชั้นที่ 1 พระยะทางในการรุกกล้าของน้ำทะเลเข้าไปจากชายฝั่งสูงสุดเท่ากับ 5.8 กิโลเมตร ที่ ตำบลเชิงเนิน หากในอนาคตเกิดภาวะแห้งแล้ง ปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำน้อยลง ปริมาณการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำ น้อยลงทำให้ความดันของน้ำจืดที่คอยผลักดันน้ำเค็มน้อยลง จะส่งผลให้น้ำทะเลรุกกล้าเข้ามาในพื้นที่บริเวณ ดังกล่าวมากขึ้นจำเป็นต้องมีบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อช่วยในการเฝ้าระวังและวางแผนในการบริหารจัดการน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวต่อไป



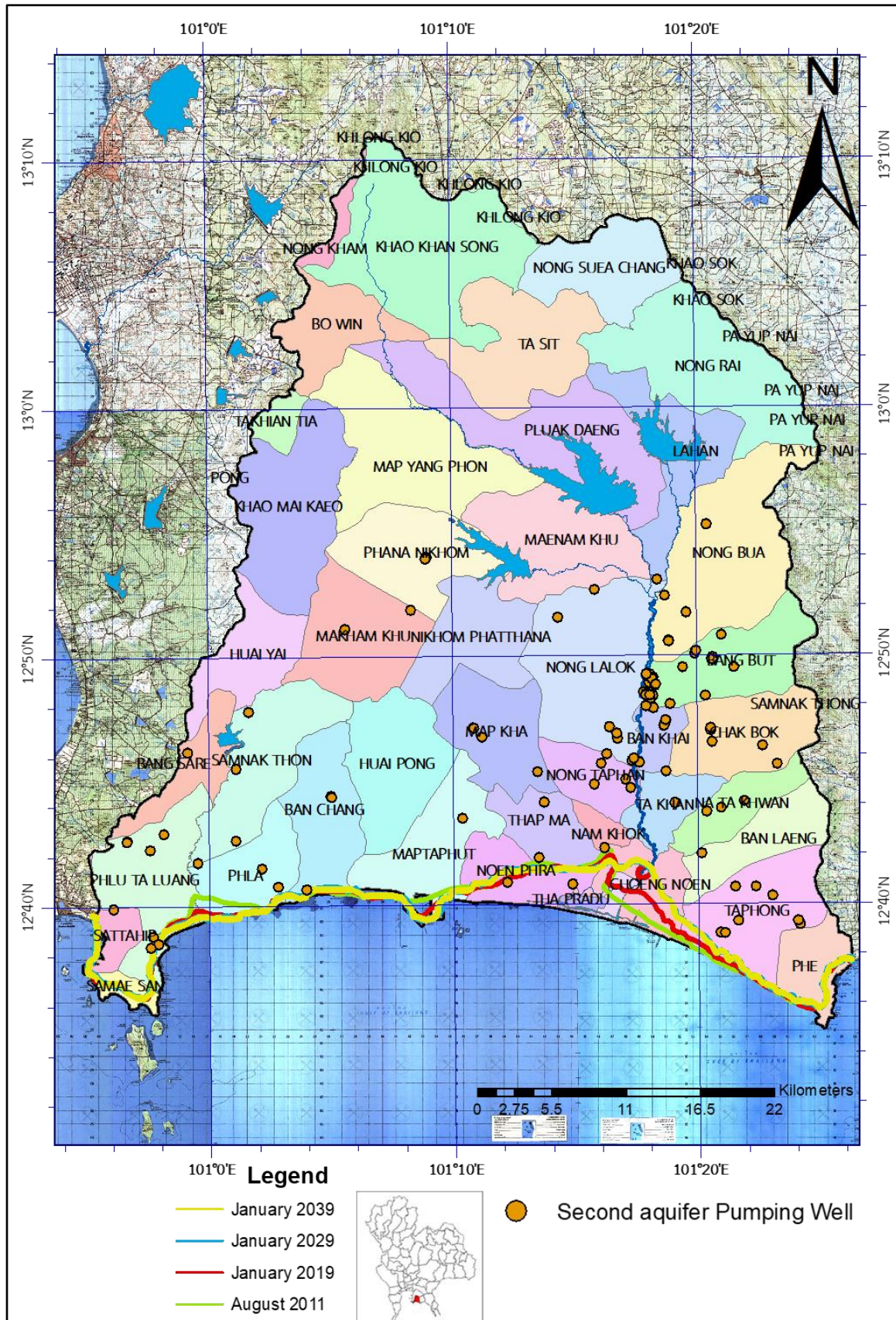


รูปที่ 4.13 แสดงแผนที่แนวการรุกตัวของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 1

### 4.3.2 แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลชั้นน้ำที่ 2

แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นน้ำที่ 2 ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีจำนวนบ่อสูบน้ำบาดาลจำนวน 117 บ่อ คิดเป็น 6.22 ล้านลบ.เมตร หรือ 29.0 เพอร์เซ็นต์ ของปริมาณการสูบทั้งหมดต่อปี โดยบ่อสูบน้ำส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำระยอง จากการจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ  $6.53 \times 10^{-4}$  เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 3.6) จึงมีศักยภาพในการให้น้ำมากกว่าชั้นน้ำที่ 1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ  $4.35 \times 10^{-4}$  เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 3.6) ในบริเวณนี้ซึ่งเป็นตะกอนกรวด ทราย สลับชั้นกับตะกอนทรายละเอียด หรือทรายแป้งปนดินเหนียว ดังนั้นแนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 2 จึงขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำบาดาล หรือจำนวนบ่อสูบน้ำบาดาล ตั้งแต่ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 จนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2582 พบว่าแนวโน้มของแนวการรุกกล้าของน้ำทะเลมีการเคลื่อนตัวเข้ามาสู่อ่างน้ำบาดาลมากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี เมื่อมีการสูบน้ำจืดออกไปจากชั้นน้ำบาดาลเป็นปริมาณมาก ๆ ทำให้มวลของน้ำจืดหายไป ส่งผลให้ความดันของน้ำจืดที่คอยผลักดันน้ำเค็มน้อยลง แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลจึงรุกกล้าเข้าสู่อ่างน้ำบาดาลได้มากขึ้น และไม่เห็นแนวโน้มที่แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลเข้าสู่ภาวะสมดุลเหมือนชั้นน้ำที่ 1 ถึงแม้จะกำหนดให้อัตราการสูบคงที่หลังช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ซึ่งในความเป็นจริงปริมาณการสูบน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองนั้นเพิ่มขึ้นทุกปีและมีโอกาสเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ดังนั้นแนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองในชั้นน้ำที่ 2 จะเพิ่มขึ้น โดยตำบลที่มีความเสี่ยงสูงในการประสบปัญหาการรุกกล้าของน้ำเค็มในแอ่งน้ำบาดาลสูง คือ ตำบลเนินพระ ตำบลทับมา ตำบลเชิงเนิน ตำบลตะพง ตำบลปากน้ำ ตำบลท่าประดู่ และตำบลน้ำคอก อำเภอเมือง จังหวัดระยอง พบระยะทางในการรุกกล้าของน้ำทะเลเข้าไปจากชายฝั่งสูงสุด 4.8 กิโลเมตร ที่ตำบลเชิงเนิน ดังแสดงในรูปที่ 4.14



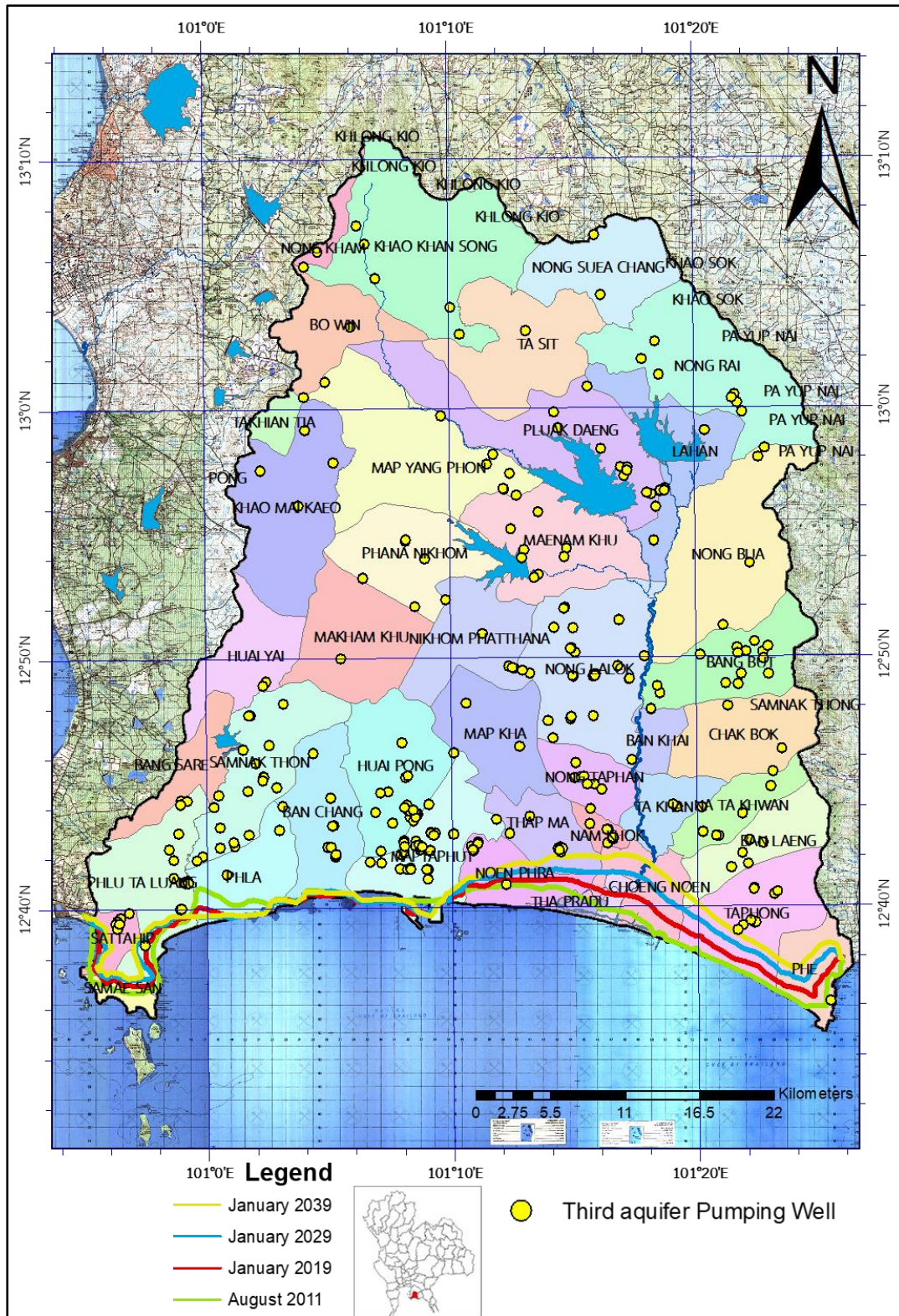


รูปที่ 4.14 แสดงแผนที่แนวการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 2



### 4.3.1 แนวการรุกรานของน้ำทะเลชั้นน้ำที่ 3

แนวการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองชั้นน้ำที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีจำนวนบ่อสูบน้ำบาดาลมากที่สุด จำนวน 293 บ่อ คิดเป็น 12.33 ล้านลบ.เมตร หรือ 57.5 เพอร์เซ็นต์ ของปริมาณการสูบน้ำทั้งหมดต่อปี โดยบ่อสูบน้ำส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่บริเวณด้านล่างของแอ่งน้ำบาดาลระยองและริมฝั่งแม่น้ำระยอง ชั้นน้ำบาดาลที่ 3 เป็นชั้นน้ำบาดาลหินแข็ง น้ำจะอยู่บริเวณหินผุ รอยแตก และรอยเลื่อน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ  $1.447 \times 10^{-5}$  เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 3.6) แต่เป็นชั้นที่มีอัตราการสูบน้ำต่อปีสูงสุด (ตารางที่ 3.3) ดังนั้นแนวการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 3 จึงขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำบาดาล หรือจำนวนบ่อสูบน้ำบาดาล ตั้งแต่ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 จนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2582 พบว่าแนวโน้มของแนวการรุกรานของน้ำทะเลมีการเคลื่อนตัวเข้ามาสู่อ่างน้ำบาดาลมากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี เมื่อมีการสูบน้ำจืดออกไปจากชั้นน้ำบาดาลเป็นปริมาณมาก ๆ ทำให้มวลของน้ำจืดหายไป ส่งผลให้ความดันของน้ำจืดที่คอยผลักดันน้ำเค็มน้อยลง แนวการรุกรานของน้ำทะเลจึงรุกรานเข้าสู่อ่างน้ำบาดาลได้มากขึ้นและไม่เห็นแนวโน้มที่แนวการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ภาวะสมดุลเหมือนชั้นน้ำที่ 1 ถึงแม้จะกำหนดให้อัตราการสูบน้ำที่หลังช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ซึ่งในความเป็นจริงปริมาณการสูบน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยองนั้นเพิ่มขึ้นทุกปี และมีโอกาสเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ดังนั้นแนวการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยองในชั้นน้ำที่ 3 จะเพิ่มขึ้น โดยตำบลที่มีความเสี่ยงสูงในการประสบปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มในแอ่งน้ำบาดาลสูง คือ ตำบลเนินพระ ตำบลทับมา ตำบลเชิงเนิน ตำบลตะพง ตำบลปากน้ำ ตำบลท่าประดู่ ตำบลเพ และตำบลน้ำคอก อำเภอเมือง จังหวัดระยอง พบระยะทางในการรุกรานของน้ำทะเลเข้าไปจากชายฝั่งสูงสุด 5.1 กิโลเมตร ที่ตำบลเชิงเนิน ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงแผนที่แนวการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ 3

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการสร้างแบบจำลองการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะองโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และ SEAWAT Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือในการดำเนินการภายใต้สภาวะแบบไม่คงตัว โดยสามารถแสดงผลได้ทั้งทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และแนวการรุกรานของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยะองทั้ง 3 ชั้นน้ำได้ผลดังนี้

##### 5.1.1) ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

น้ำจะไหลจากขอบแอ่งซึ่งเป็นภูเขาสูง ลงไปยังทางน้ำเล็ก ๆ เข้าสู่อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำดอกกราย และอ่างเก็บน้ำคลองบางไผ่ แล้วไหลลงสู่ทะเลผ่านแม่น้ำระยะอง และคลองบางไผ่

##### 5.1.2) ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการรุกรานของน้ำทะเล

ในการเปรียบเทียบแบบจำลองสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา กลุ่มตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ (Qcl) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง  $2.2 \times 10^{-7}$  ถึง  $6.53 \times 10^{-4}$  เมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์แพร่การกระจายเท่ากับ 3 เมตร ค่าการกักเก็บจำเพาะเท่ากับ 0.22 เมตร<sup>-1</sup> และประสิทธิภาพการจ่ายน้ำเท่ากับ 0.22 กลุ่มตะกอนน้ำพา(Qa) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง  $2.58 \times 10^{-7}$  ถึง  $5.162 \times 10^{-4}$  เมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์แพร่การกระจายเท่ากับ 8 เมตร ค่าการกักเก็บจำเพาะเท่ากับ 0.18 เมตร<sup>-1</sup> และประสิทธิภาพการจ่ายน้ำเท่ากับ 0.18 หน่วยหินแกรนิต (Gr) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง  $7.234 \times 10^{-7}$  ถึง  $1.447 \times 10^{-5}$  เมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์แพร่การกระจายเท่ากับ 0.5 เมตร ค่าการกักเก็บจำเพาะเท่ากับ 0.01 เมตร<sup>-1</sup> และประสิทธิภาพการจ่ายน้ำเท่ากับ 0.01 และหน่วยหินตะกอนกึ่งแปร (Gr) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ในช่วง  $3.148 \times 10^{-8}$  ถึง  $6.296 \times 10^{-6}$  เมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์แพร่การกระจายเท่ากับ 0.5 เมตร ค่าการกักเก็บจำเพาะเท่ากับ 0.01 เมตร<sup>-1</sup> และประสิทธิภาพการจ่ายน้ำเท่ากับ 0.01

### 5.1.2) แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง

จากผลการศึกษาพบว่าชั้นน้ำที่ 1 แนวการรุกกล้าของน้ำทะเลลดอยร่นลงมายังชายฝั่งในช่วงแรก ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 เป็นระยะทางประมาณ 1.3 กิโลเมตร จากตำบลตาขัน อำเภอบ้านค่าย ไปยังตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง จังหวัดระยอง และเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของแนวการรุกกล้าของน้ำทะเลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2572 โดยเข้าไปลึกสุดบริเวณตำบลเชิงเนินเป็นระยะทางประมาณ 5.8 กิโลเมตร

สำหรับชั้นน้ำที่ 2 พบว่ามีความเสี่ยงจากการรุกกล้าของน้ำทะเลในพื้นที่ที่อยู่บริเวณตำบลริมฝั่งแม่น้ำระยอง บริเวณตำบลเชิงเนิน ตำบลทับมา ตำบลน้ำคอก ตำบลเนินพระ ตำบลปากน้ำ ตำบลท่าประดู่และตำบลตะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง โดยเข้าไปลึกสุดบริเวณตำบลเชิงเนิน เป็นระยะทางประมาณ 4.8 กิโลเมตร

ส่วนชั้นน้ำที่ 3 พบว่ามีความเสี่ยงจากการรุกกล้าของน้ำทะเลในพื้นที่ที่อยู่บริเวณตำบลริมฝั่งแม่น้ำระยอง บริเวณตำบลเชิงเนิน ตำบลทับมา ตำบลน้ำคอก ตำบลเนินพระ ตำบลปากน้ำ ตำบลท่าประดู่ ตำบลเพ และตำบลตะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง โดยเข้าไปลึกมากที่สุดที่ตำบลเชิงเนิน เป็นระยะทางประมาณ 5.1 กิโลเมตร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.ควรเพิ่มเติมบ่อสังเกตการณ์ ค่าระดับน้ำและค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ ในพื้นที่เฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันชั้นน้ำให้เป็นแหล่งน้ำจืด
2. เก็บข้อมูลระดับน้ำและค่าความเข้มข้นของคลอไรด์อย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองให้มีความน่าเชื่อถือและทราบแนวโน้มที่ชัดเจนมากขึ้น

## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. 2538. แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดระยอง มาตรฐาน 1:100,000. กองน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2539. แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดชลบุรี มาตรฐาน 1:100,000. กองน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.2555. โครงการสำรวจและศึกษาค่าพื้นฐานโลหะหนักในน้ำบาดาลแอ่งน้ำบาดาลระยองและแอ่งน้ำบาดาลชลบุรี.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.2560. โครงการสำรวจและศึกษาค่าพื้นฐานโลหะหนักในน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางและตะวันออก.
- ธวัชรัตน์ พลสิทธิ์.2559. ลักษณะเฉพาะการปนเปื้อนของสารหนูในแอ่งน้ำบาดาลระยอง.โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.กรุงเทพฯ.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. 2561. แผนปฏิบัติการการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับการพัฒนาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก.
- สุภักดิ์ คลองสนั่น.2560. แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลระยอง.โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.กรุงเทพฯ.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณ ลูกจันทร์.2552.การศึกษาการรุกคืบของน้ำเค็มในชั้นน้ำใต้ดินในแอ่งหาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต.สงขลา.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Ding F., Yamashita T., Lee H.-S., and Pan J. 2014. "A Modelling Study of Seawater Intrusion in the Liao Dong Bay Coastal Plain, China." *Journal of Marine Science and Technology* 22, no.2 (2014) : 103–15.
- Dieulin. A. 1981. Lixiviation in situ d'un gisement d'uranium en milieu granitique. Draft Report LHM/RD/81/63. Ecole Natl. Super. des Mines de Paris. Fontanebleau. France.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W.1990. Physical and chemical hydrogeology. New York: John Wiley & Sons.
- Dunlop G., Palanichamy J., Kokkat A., EJ J., and Palani S. 2018. "Simulation of Saltwater Intrusion into Coastal Aquifer of Nagapattinam in the Lower Cauvery Basin Using SEAWAT." *Groundwater for Sustainable Development* 8 (04 2019): 294-301
- Hariharan V., and Shankar M. U. 2017. "A Review of Visual MODFLOW Applications in Groundwater Modelling." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 263 (11 2017): 032025.

Roberts. P. V. M., Reinhard. G. D., Hopkins. and R. S. Summer. 1981. Advection-dispersion-sorption models for simulating the transport organic contaminants. Paper presented at International Conference on Ground Water Quality Research. Rice Univ.. Houston. TX.

Sindhu G., Ashitha M., Jairaj PG. and Raghunath R. 2012. "Modelling of Coastal Aqifers of Trivandrum". Journal of Procedia Engineering.

Zeng X., Dong J., Wang D., Wu J., Zhu X., Xu S., Zheng X. and Xin J. 2017. "Identify key factors of the seawater intrusion model of Dagu river basin, Jiaozhou Bay". Journal of Environmental Research.



## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้เปรียบเทียบแบบจำลองประกอบด้วย

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำช่วงเดือนสิงหาคม 2554

Well_Name	X	Y	Depth(m)	Water Level (m)
NBV-MWU-RY-001	729603	1447630	10	2.6
NBV-MWU-RY-002	728320	1441365	17	2.25
NBV-MWU-RY-004	727893	1451135	14	4.19
NBV-MWU-RY-005	720929	1432189	10	1.87
NBV-MWU-RY-006	719651	1412817	26	5.6
NBV-MWU-RY-007	713721	1406653	24	6.22
NBV-MWU-RY-008	758375	1435300	18	5.2
NBV-MWU-RY-009	740945	1435498	20	3.87
NBV-MWU-RY-010	743826	1427310	8	3.43
NBV-MWU-RY-011	763789	1396797	9	1.42
NBV-MWU-RY-012	726667	1419538	14	4.2
NBV-MWU-RY-013	760812	1405741	8	2.19
NBV-MWU-RY-014	740344	1418824	10	5.15
NBV-MWU-RY-016	730156	1409758	27	4.92
NBV-MWU-RY-019	735762	1407555	18	7.18
NBV-MWU-RY-020	732184	1410937	16	2.24
NBV-MWU-RY-021	738885	1404416	12	1.87
NBV-MWU-RY-022	724485	1402445	16	2.44
NBV-MWU-RY-025	746080	1446617	16	5.61
NBV-MWU-RY-026	750981	1411238	24	1.45
NBV-MWU-RY-027	727781	1444261	12	7.7
NBV-MWU-RY-028	740945	1435498	46	4.89
NBV-MWU-RY-029	746649	1412420	102	33.5
NBV-MWU-RY-030	750981	1411238	98	2.05
NBV-MW-U-RY-001	750183	1443181	14	2.88
NBV-MW-U-RY-002	722804	1416244	29	1.63
NBV-MW-U-RY-003	739404	1447865	15	4.62
NBV-MW-U-RY-007	754943	1424284	12	2.02
NBV-MW-U-RY-008	754758	1399577	22	1.45
NBV-MW-U-RY-009	749609	1404656	50	1.84
NBV-MW-U-RY-010	749610	1404657	30	1.74
NBV-MW-U-RY-011	760940	1396102	18	1.95
NBV-MW-U-RY-012	738191	1443916	12	3.22
NBV-MW-U-RY-013	729606	1412940	21	2.6
NBV-MW-U-RY-014	751170	1420895	84	2.56
NBV-MW-U-RY-016	750206	1402185	60	1.33
NBV-MW-U-RY-017	750206	1402185	32	1.25

NBV-MW-U-RY-018	759656	1399954	10	2.27
NBV-MW-U-RY-019	751377	1400775	25	1.24
NBV-MW-U-RY-020	751377	1400775	54	1.22
NBV-MW-U-RY-023	749356	1400800	18	4.08
NBV-MW-U-RY-024	749356	1400800	78	4.08
NBV-MW-U-RY-027	751189	1425453	18	4.85
NBV-MW-U-RY-028	751189	1425453	84	10.43
NBV-MW-U-RY-030	747820	1406957	60	2.23
NBV-MW-U-RY-031	741470	1411330	0	2.5
NBV-MW-U-RY-032	726404	1434137	26	5.32
NBV-MWC-RY-001	729603	1447630	27	3.26
NBV-MWC-RY-002	728320	1441365	25	2.88
NBV-MWC-RY-003	734969	1450948	36	5.2
NBV-MWC-RY-004	727893	1451135	50	1.34
NBV-MWC-RY-005	720929	1432189	37	1.82
NBV-MWC-RY-006	719651	1412817	36	5.67
NBV-MWC-RY-007	713721	1406653	45	6.15
NBV-MWC-RY-008	758375	1435300	30	5.13
NBV-MWC-RY-010	743826	1427310	33	5.29
NBV-MWC-RY-011	763789	1396797	32	1.19
NBV-MWC-RY-012	726667	1419538	46	3.99
NBV-MWC-RY-013	760812	1405741	30	2
NBV-MWC-RY-016	730156	1409758	60	4.96
NBV-MWC-RY-019	735762	1407555	29	7.75
NBV-MWC-RY-020	732184	1410937	62	4.48
NBV-MWC-RY-021	738885	1404416	54	2.18
NBV-MWC-RY-022	724485	1402445	60	2.23
NBV-MWC-RY-025	746080	1446617	62	5.54
NBV-MWC-RY-027	727781	1444261	27	6.64
NBV-MW-C-RY-001	757947	1412916	37	4.5
NBV-MW-C-RY-002	753745	1429577	54	1.65
NBV-MW-C-RY-003	734139	1420843	50	3.37
NBV-MW-C-RY-004	758180	1406176	22	2.82
NBV-MW-C-RY-005	751062	1432306	22	6.37
NBV-MW-C-RY-006	729742	1403372	28	1.94
NBV-MW-C-RY-008	725213	1431356	32	2.1
NBV-MW-C-RY-009	753897	1435973	15	1.77

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำช่วงเดือนมกราคม 2555

Well_Name	X	Y	Depth (m)	Water Level (m)
NBV-MWU-RY-001	729603	1447630	10	2.6
NBV-MWU-RY-002	728320	1441365	17	2.4
NBV-MWU-RY-004	727893	1451135	14	2.66
NBV-MWU-RY-005	720929	1432189	10	3.14
NBV-MWU-RY-006	719651	1412817	26	6.6
NBV-MWU-RY-007	713721	1406653	24	6.22
NBV-MWU-RY-008	758375	1435300	18	6.43
NBV-MWU-RY-009	740945	1435498	20	5.22
NBV-MWU-RY-010	743826	1427310	8	5.97
NBV-MWU-RY-011	763789	1396797	9	1.79
NBV-MWU-RY-012	726667	1419538	14	5.17
NBV-MWU-RY-013	760812	1405741	8	3
NBV-MWU-RY-014	740344	1418824	10	6.25
NBV-MWU-RY-016	730156	1409758	27	6.37
NBV-MWU-RY-019	735762	1407555	18	7.78
NBV-MWU-RY-020	732184	1410937	16	5.26
NBV-MWU-RY-021	738885	1404416	12	3.31
NBV-MWU-RY-022	724485	1402445	16	3.41
NBV-MWU-RY-025	746080	1446617	16	6.39
NBV-MWU-RY-026	750981	1411238	24	2.98
NBV-MWU-RY-027	727781	1444261	12	6.64
NBV-MWU-RY-028	740945	1435498	46	6.23
NBV-MWU-RY-029	746649	1412420	102	34.93
NBV-MWU-RY-030	750981	1411238	98	3
NBV-MW-U-RY-001	750183	1443181	14	4
NBV-MW-U-RY-002	722804	1416244	29	2.77
NBV-MW-U-RY-003	739404	1447865	15	5.77
NBV-MW-U-RY-007	754943	1424284	12	2.02
NBV-MW-U-RY-008	754758	1399577	22	2.21
NBV-MW-U-RY-009	749609	1404656	50	3.03
NBV-MW-U-RY-010	749610	1404657	30	3.13
NBV-MW-U-RY-011	760940	1396102	18	2.15
NBV-MW-U-RY-012	738191	1443916	12	3.22
NBV-MW-U-RY-013	729606	1412940	21	3.71
NBV-MW-U-RY-014	751170	1420895	84	3.32
NBV-MW-U-RY-016	750206	1402185	60	2.67
NBV-MW-U-RY-017	750206	1402185	32	2
NBV-MW-U-RY-018	759656	1399954	10	3.66
NBV-MW-U-RY-019	751377	1400775	25	2.16
NBV-MW-U-RY-020	751377	1400775	54	2.16
NBV-MW-U-RY-023	749356	1400800	18	4.85
NBV-MW-U-RY-024	749356	1400800	78	5.28

NBV-MW-U-RY-027	751189	1425453	18	11.85
NBV-MW-U-RY-028	751189	1425453	84	5.7
NBV-MW-U-RY-030	747820	1406957	60	3.7
NBV-MW-U-RY-031	741470	1411330	0	3.62
NBV-MW-U-RY-032	726404	1434137	26	5.32
NBV-MWC-RY-001	729603	1447630	27	3.26
NBV-MWC-RY-002	728320	1441365	25	3.51
NBV-MWC-RY-003	734969	1450948	36	5.2
NBV-MWC-RY-004	727893	1451135	50	5.65
NBV-MWC-RY-005	720929	1432189	37	3.23
NBV-MWC-RY-006	719651	1412817	36	6.81
NBV-MWC-RY-007	713721	1406653	45	6.15
NBV-MWC-RY-008	758375	1435300	30	6.32
NBV-MWC-RY-010	743826	1427310	33	4.56
NBV-MWC-RY-011	763789	1396797	32	2.55
NBV-MWC-RY-012	726667	1419538	46	5.07
NBV-MWC-RY-013	760812	1405741	30	3.28
NBV-MWC-RY-016	730156	1409758	60	6.32
NBV-MWC-RY-019	735762	1407555	29	8.35
NBV-MWC-RY-020	732184	1410937	62	3.02
NBV-MWC-RY-021	738885	1404416	54	3.43
NBV-MWC-RY-022	724485	1402445	60	3.34
NBV-MWC-RY-025	746080	1446617	62	6.39
NBV-MWC-RY-027	727781	1444261	27	7.7
NBV-MW-C-RY-001	757947	1412916	37	5.66
NBV-MW-C-RY-002	753745	1429577	54	2.59
NBV-MW-C-RY-003	734139	1420843	50	4.15
NBV-MW-C-RY-004	758180	1406176	22	4.1
NBV-MW-C-RY-005	751062	1432306	22	9.89
NBV-MW-C-RY-006	729742	1403372	28	2.72
NBV-MW-C-RY-008	725213	1431356	32	2.1
NBV-MW-C-RY-009	753897	1435973	15	3.29

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ช่วงเดือนสิงหาคม 2554

Well_Name	X	Y	Depth (m)	Cl(mg/L)
NBV-MWU-RY-002	728320	1441365	25.00	19.00
NBV-MW-U-RY-012	738191	1443916	80.00	22.30
NBV-MWU-RY-025	746082	1446617	16.00	8.70
NBV-MWU-RY-012	726669	1419538	14.00	11.20
NBV-MW-U-RY-005	742918	1422002	8.00	23.20
NBV-MWU-RY-010	743828	1427310	8.00	24.60
NBV-MWU-RY-005	720928	1432186	10.00	21.90
NBV-MWU-RY-028	740945	1435498	46.00	5.13
NBV-MWU-RY-009	740947	1435498	20.00	5.80
บ่อน้ำตื้น	742999	1422022	8.00	17.00
NBV-MWU-RY-030	750981	1411238	98.00	5.31
NBV-MWU-RY-026	750983	1411238	24.00	5.97
NBV-MWU-RY-029	746649	1412420	102.00	4.04
NBV-MWU-RY-017	746651	1412420	18.00	10.30
NBV-MW-U-RY-014	751170	1420895	84.00	6.02
NBV-MW-U-RY-015	751172	1420895	16.00	6.47
NBV-MW-U-RY-004	757561	1427346	14.00	7.81
NBV-MWU-RY-008	758377	1435300	18.00	5.36
บ่อน้ำตื้น	748118	1433695	18.00	4.91
บ่อน้ำตื้น	747392	1436324	16.00	12.90
NBV-MWU-RY-007	713723	1406653	24.00	27.00
NBV-MWU-RY-016	730158	1409758	27.00	9.37
บ่อน้ำตื้น	718055	1409523	9.00	29.64
NBV-MWU-RY-013	760814	1405741	8.00	31.70
บ่อน้ำตื้น	758278	1397525	12.00	31.70
NBV-MWC-RY-002	728381	1441259	25.00	21.40
NBV-MWC-RY-003	734969	1450948	38.00	10.50
NBV-MWC-RY-004	727893	1451134	80.00	9.37
NBV-MWC-RY-025	746080	1446614	62.00	4.91
งจ3042	747496	1442090	180.00	10.30

NBV-MWC-RY-012	726667	1419538	46.00	22.30
NBV-MW-C-RY-003	734139	1420843	50.00	19.90
NBV-MWC-RY-010	743826	1427310	33.00	7.59
NBV-MWC-RY-005	720926	1432186	37.00	16.30
5809000000	719797	1412851	72.00	14.70
TD36	742334	1415087	30.00	14.30
TD386	739692	1419001	121.50	14.70
TD174	728641	1425583	73.00	15.60
งง2003	736658	1431183	200.00	9.29
NBV-MWC-RY-008	758375	1435300	30.00	4.46
TD16	755093	1421353	18.00	2.23
NBV-MWC-RY-007	713721	1406653	48.00	8.18
CB147	710311	1399559	50.00	500.00
NBV-MWC-RY-022	724485	1402445	60.00	725.00
NBV-MWC-RY-021	738885	1404416	54.00	3080.00
NBV-MWC-RY-016	730156	1409758	60.00	8.93
X854	720966	1403872	24.00	107.00
X855	726081	1405719	30.00	68.10
DCD23279	723406	1404701	32.00	225.00
NBV-MWC-RY-011	763789	1396797	32.00	8837.00
NBV-MWC-RY-013	760812	1405741	30.00	10.30
โรงเรียนวัดยายตา	757573	1402680	150.00	28.60
TD456	755042	1399272	121.00	22.30
TD389	756134	1402326	91.00	8.48



ตารางที่ ก.2 ข้อมูลเบื้องต้นการณาค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ช่วงเดือนมกราคม 2555

Well_Name	X	Y	Depth (m)	Cl(mg/L)
P-MW-B07/7	728320	1441365	25.00	21.90
P-MW-B07/8	738191	1443916	80.00	22.30
P-MW-C07/3	746082	1446617	16.00	8.93
P-MW-B08/3	726669	1419538	14.00	15.80
P-MW-B08/6	742918	1422002	8.00	31.20
P-MW-B08/7	743828	1427310	8.00	29.00
P-MW-B08/10	720928	1432186	10.00	23.20
P-MW-B08/12	740945	1435498	46.00	6.47
P-MW-B08/13	740947	1435498	20.00	8.93
SGW-B08/2	742999	1422022	8.30	17.60
P-MW-C08/1	750981	1411238	98.00	2.45
P-MW-C08/2	750983	1411238	24.00	6.69
P-MW-C08/3	746649	1412420	102.00	2.90
P-MW-C08/4	746651	1412420	18.00	10.90
P-MW-C08/5	751170	1420895	84.00	5.80
P-MW-C08/6	751172	1420895	16.00	5.36
P-MW-C08/7	757561	1427346	14.00	8.70
P-MW-C08/8	758377	1435300	18.00	5.80
SGW-C08/1	748118	1433695	18.00	8.48
SGW-C08/2	747392	1436324	15.80	9.37
P-MW-A09/2	713723	1406653	24.00	30.80
P-MW-B09/3	738887	1404416	12.00	3347.00
P-MW-B09/5	730158	1409758	27.00	13.40
SGW-B09/1	718055	1409523	9.00	31.20
P-MW-C09/5	760814	1405741	8.00	13.80
SGW-C09/1	758278	1397525	12.00	34.10
P-MW-B07/6	728381	1441259	17.00	18.30
P-MW-B07/10	734969	1450948	38.00	9.15
P-MW-B07/11	727893	1451134	80.00	11.20
P-MW-C07/4	746080	1446614	62.00	8.48

GW-C07/17	747496	1442090	180.00	9.37
P-MW-B08/4	726667	1419538	46.00	22.30
P-MW-B08/5	734139	1420843	50.00	15.60
P-MW-B08/8	743826	1427310	33.00	10.70
P-MW-B08/11	720926	1432186	37.00	18.30
GW-B08/1	719797	1412851	72.00	15.80
GW-B08/2	742334	1415087	30.00	14.70
GW-B08/3	739692	1419001	121.50	4.91
GW-B08/4	728641	1425583	73.50	20.80
GW-B08/6	736658	1431183	200.00	11.20
P-MW-C08/9	758375	1435300	30.00	4.69
GW-C08/3	755093	1421353	18.00	10.00
P-MW-A09/3	713721	1406653	48.00	9.82
GW-A09/3	710311	1399559	50.00	495.00
P-MW-B09/2	724485	1402445	60.00	549.00
P-MW-B09/6	730156	1409758	60.00	9.82
GW-B09/2	720966	1403872	24.00	179.00
GW-B09/3	726081	1405719	30.00	33.00
GW-B09/4	723406	1404701	32.00	248.00
P-MW-C09/2	763789	1396797	32.00	9238.00
P-MW-C09/6	760812	1405741	30.00	10.90
GW-C09/4	757573	1402680	150.00	27.40
GW-C09/5	755042	1399272	121.00	21.90
GW-C09/7	756134	1402326	91.00	7.52

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559

Well_Name	X	Y	Depth (m)	Cl(mg/L)
NBV-MW-U-RY-004	757559	1427343	24.00	9.90
NBV-MW-U-RY-027	751190	1425456	18.00	22.57
NBV-MW-U-RY-014	751168	1420902	85.00	7.39
NBV-MW-U-RY-025	748274	1418358	20.00	25.23
GW-RY-65	749780	1416856	93.00	27.15
GW-RY-62	749846	1413222	42.00	49.77
GW-RY-60	751004	1411222	98.00	7.05
GW-RY-58	747773	1409375	42.00	49.08
MW-RY-12	735552	1402735	9.00	816.00
GW-RY-46	734981	1408683	2.20	21.34
GW-RY-49	729209	1409750	7.10	32.57
NBV-MW-U-RY-013	729604	1412944	38.00	20.35

ข้อมูลปริมาณฝนที่ใช้ในแบบจำลอง

ตารางที่ ก.1 สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดระยอง พ.ศ.2552 - 2561

พ.ศ.	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	1527.6	1716.1	1650.4	1483	1743.8	1049.9	1449.7	1308.5	1659.2	941.6



