

การประยุกต์เทคนิคการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อประเมิน  
การรูก้ำของน้ำทะเล ในชั้นน้ำไร้แรงดัน อ่าเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี  
นางสาวปาริชาติ ศรีเสน

ธรณีวิทยา

2556

การประยุกต์เทคนิคการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อประเมินการรูกูล้ำของน้ำทะเล

ในชั้นน้ำไร้แรงดัน อ่าวอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

นางสาวปาริชาติ ศรีเสน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

APPLICATION OF RESISTIVITY SURVEY TECHNIQUE FOR EVALUATING SALRWATER INTRUSION  
IN SHALLOW UNCONFINED COASTAL AQUIFERS AT AMPHOE CHA AM,  
CHANGWAT PHETCHABURI.

MISS PARICHAT SRISEN

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF THE BACHERLOR OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2013

วันที่ส่ง ...../...../.....  
วันที่อนุมัติ ...../...../.....

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์)  
อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(อาจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร)  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

# การประยุกต์เทคนิคการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อประเมินการรุกคืบของน้ำทะเล ในชั้นน้ำใต้แรงดัน อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี

นางสาวปาริชาติ ศรีเสนา

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 08-4694-3025, อีเมลล์: Parichat\_101@hotmail.com

## บทคัดย่อ

แหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ใต้ผิวดินที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต ซึ่งน้ำบาดาลถูกนำขึ้นมาใช้ตั้งแต่ภาคครัวเรือน ภาคเกษตรกรรม ตลอดจนภาคอุตสาหกรรมด้วย ดังนั้นความต้องการใช้น้ำบาดาลจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ในพื้นที่ใกล้ชายฝั่งทะเลน้ำบาดาลมักประสบปัญหาการปนเปื้อนของน้ำเค็มในปริมาณสูงจนไม่สามารถนำขึ้นมาใช้งานได้ เนื่องจากน้ำทะเลมีค่าความดันทางชลศาสตร์ (Hydraulic pressure) สูงกว่าน้ำจืด จึงทำให้น้ำทะเลแพร่เข้าไปผสมกับน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) เป็นลักษณะรูปลิ้ม เรียกบริเวณที่น้ำทะเลและน้ำบาดาลผสมกันว่า Transitional zone นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การสูบน้ำบาดาลในปริมาณมาก การสร้างคลองระบายน้ำ หรือคลองชลประทาน ยังเป็นปัจจัยกระตุ้นที่ทำให้ น้ำทะเลแพร่เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินขอบเขตของการรุกคืบของน้ำทะเล เข้าไปในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (beach sand aquifer, Qbs) ด้วยเทคนิควัดความต้านทานไฟฟ้า (resistivity survey) แบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (vertical electrical sounding, VES) โดยพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่ ตำบลชะอำ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งพื้นที่ศึกษาอยู่ติดชายฝั่งทะเลอ่าวไทย มีคลองขุดสำหรับขนส่งสินค้าทางเรือ ลึกประมาณ 10 เมตร กว้าง 45 เมตร ยาว 3.5 กิโลเมตร และคลองธรรมชาติ ลึกประมาณ 1-2 เมตร กว้าง 25 เมตร ทั้งสองคลองมีปากแม่น้ำไหลออกสู่ทะเล จากการศึกษาระดับน้ำตะกอนทรายชายหาดที่มีความลึกตั้งแต่ 1-15 เมตร พบว่ามีมวลน้ำเค็มขนาดใหญ่แพร่เข้าไปในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาดตั้งแต่หน้าหาดลึกเข้าไปในแผ่นดินจนกระทั่งถึงจุดสำรวจแล้ว ซึ่งเกิดจากอิทธิพลการรุกคืบของน้ำทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน ทำให้บริเวณที่ทำการสำรวจไม่เห็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลกับน้ำบาดาลอย่างที่คาดการณ์ไว้ สำหรับขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากปัจจัยของโครงสร้างทางชลศาสตร์ อันได้แก่ คลองขุดและคลองธรรมชาตินั้น ไม่สามารถบอกได้ เนื่องจากน้ำทะเลได้รุกคืบเข้ามาในชั้นทรายชายหาดเกินกว่าบริเวณที่ทำการสำรวจแล้ว ดังนั้นเราจึงไม่สามารถเปรียบเทียบขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากอิทธิพลของคลองขุดและคลองธรรมชาตินี้ได้ ดังนั้นจึงบอกได้เพียงว่าในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลการรุกคืบของน้ำทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดินมากกว่าอิทธิพลจากโครงสร้างทางชลศาสตร์ จนเกิดการปนเปื้อนของน้ำทะเลทั่วทั้งชั้นน้ำแล้ว

**คำสำคัญ :** ชั้นน้ำใต้แรงดัน, การรุกคืบของน้ำทะเล, ความต้านทานไฟฟ้า, ชะอำ

# **Application of resistivity survey technique for evaluating saltwater intrusion in shallow unconfined coastal aquifers at Amphoe Cha-Am, Changwat Phetchaburi.**

Parichat Srisen

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University;  
Tel: 08-4694-3025, e-mail: Parichat\_101@hotmail.com

Groundwater is a large source of freshwater subsurface which important to living in delay rainfall area or lack of freshwater surface. Groundwater is used in household sector, agriculture sector and industrial sector. Consequently, the demand of fresh groundwater has increased continuously. But people in closely coastal areas have confronted a problem about highly saltwater contaminate in groundwater. So it in this area cannot be used for consume. Because of hydraulic pressure of seawater highly than groundwater, seawater will diffuse into aquifer like a wedge shape that is called “Transitional zone”. Moreover, activities of people which are the factor are also stimulate for increasing saltwater diffusion such as pumping groundwater , create a water distribution canal.

The object of this research is to evaluate the boundary of saltwater intrusion into beach sand aquifer ( $Q_{bs}$ ) by using vertical electrical sounding (VES) resistivity survey technique. The study area is located in Amphoe Cha-am, Changwat Phetchaburi where is adjacent to coast of Gulf of Thailand. This area has 2 canals, consisting of the construction canal which is used for transport goods with 45 m wide, 10 m deep and distance of 3.5 km and the natural canal width 25 m. Both canals flow into the Gulf of Thailand. The results of this study reveal that a bulk resistivity in beach sand aquifer ( $Q_{bs}$ ) is lower than 10  $\Omega$ m. This implies that saltwater mass totally intrude into  $Q_{bs}$  of 1-15 m thick, and the interface between saltwater and groundwater cannot identified. Moreover, the interface of saltwater intrusion, influenced from construction canal and natural canal, cannot be distinguished because saltwater extend beyond the survey line. Therefore, we can conclude that  $Q_{bs}$  in this study area has been contaminated by saltwater intrusion.

**Keywords:** Saltwater intrusion, Resistivity Survey, Transitional zone, Cha-Am

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม อาจารย์ ดร.ฐานบ ฐิติมากร ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ ร่วมถึงให้คำแนะนำ คำติชม และโอกาสในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์สาทิชาความรู้ ตลอดจนให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ตลอดจนการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่บุคคลากรทุกท่าน พี่แตงโม และพี่เบิ้ล ที่สละเวลามาคอยช่วยออกภาคสนาม และสอนเก็บข้อมูลน้ำบาดาลจากบ่อบาดาล

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่น 54 55 และ 56 สำหรับทุกความช่วยเหลือ และทุกกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายเจ๊ะอัสนัน เจ๊ะโม่ง นายสหพล พงเพียรสกุล นายปภณ รักษาธรรม นายณัฐพล รำพึงกิจ นายนภดล อยู่แจ่ม และนางสาวอัษฎาณี เกษโกวิทย์ สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และคอยช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณค่ะ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดพื้นฐาน (General Statement)	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย (Objectives)	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of work)	4
1.4 นิยามปัญหา (Problem defined)	4
1.5 สมมติฐาน (Hypothesis)	4
1.6 วิธีสำรวจ (Survey method)	4
1.7 พื้นที่ศึกษา (Study area)	5
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)	12
บทที่ 2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ	14
2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาล	15
2.1.1 บทนำ	15
2.1.2 การรुकูล้ำของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาล	17
2.1.3 การรुकูล้ำของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากคลองระบายน้ำ หรือระบบชลประทาน	17
2.2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการวิธีสำรวจความต้านทานไฟฟ้า	19
2.2.1 บทนำ	19
2.2.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีทางด้านไฟฟ้า	22
2.2.3 วิธีการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า	23



	หน้า
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	29
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	<b>33</b>
3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	35
3.2 กำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา	35
3.2 เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลและเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ในพื้นที่ศึกษา และบริเวณข้างเคียง	35
3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก และจัดทำภาพตัดขวาง	42
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล</b>	<b>43</b>
4.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง	44
4.2 ภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (vertical electrical sounding, VES)	47
4.3 วิเคราะห์ผลและแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model)	56
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>61</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย (Conclusion)	62
5.2 ข้อเสนอแนะ (Recommendations)	63
<b>ภาคผนวก</b>	<b>64</b>
1. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	65
2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าแต่ละแนวสำรวจ	66
3. ขั้นตอนการแปลผลการสำรวจ	77
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>81</b>

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพดาวเทียมบริเวณพื้นที่ศึกษาการรุกค้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด บริเวณชายหาดชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี จากGoogle Earth วันที่ 1 พฤศจิกายน 2551	3
รูปที่ 1.2 พื้นที่ศึกษาแสดงในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ราวที่ 4931 I ชื่อแผนที่ อำเภอท่ายาง ลำดับที่ L018 ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร	6
รูปที่ 1.3 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี(Geological map) โดยกรมทรัพยากรธรณี (2555) และธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยตะกอนทรายหาด (Qb) และ ตะกอนสันทรายเก่า (Qbo) หนาประมาณ 10-15 กิโลเมตร	8
รูปที่ 1.5 แผนที่อุทกธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี (Hydrogeological map) โดยคู่มือการใช้แผนที่ น้ำบาดาลจังหวัดเพชรบุรี, 2544 และชั้นหินให้น้ำ (Aquifer) ในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยตะกอนทรายหาด (Qbs) ลึกประมาณ 5-8 กิโลเมตร	13
รูปที่ 2.1 ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head) ในบ่อบาดาลที่ 1 สูงกว่า บ่อบาดาลที่ 2 น้ำบาดาลจึงไหลจาก บ่อบาดาลที่ 1 ไปบ่อบาดาลที่ 2	16
รูปที่ 2.2 บริเวณที่น้ำบาดาลผสมกับน้ำทะเล เรียกว่า Transitional zone หรือ Interface	16
รูปที่ 2.3 ทะเลสาบซาปี บริเวณปากอ่าวแม่โขง มีทางน้ำขนาดใหญ่ต่อเชื่อมระหว่างทะเลสาบกับมหาสมุทร ทำให้น้ำทะเลเคลื่อนที่เข้าสู่แม่น้ำและทะเลสาบด้วย	18
รูปที่ 2.4 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า	20
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง	22
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ	23
รูปที่ 2.7 หลักการประยุกต์สำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และมีแท่งโลหะ (แท่งอิเล็กโทรด) สำหรับปักลงดินเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน	24

รูปที่ 2.8	รูปแบบของการจัดวางอิเล็กโทรด ก)แบบเวนเนอร์ (Wenner array) ข)แบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) ค)แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole array) ง)แบบโพล-ไดโพล (Pole-dipole array)	25
รูปที่ 2.9	รูปแบบการจัดวางอิเล็กโทรดแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) แสดงเส้นกระแสสมมติ (Line of electric flow field) ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential line)	28
รูปที่ 2.10	ค่าความต้านทานไฟฟ้าในชั้นหินชั้นดินชนิดต่างๆ	29
รูปที่ 2.11	ภาพตัดขวางของการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 แนวสำรวจที่ Rarangi MHT คือ ระดับน้ำชั้นสูงสุดเฉลี่ย เส้นปะด้านบนแสดงถึงระดับน้ำบาดาล เส้นปะด้านล่างแสดงขอบเขตล่างของชั้นตะกอนอุ้มน้ำ (Rarangi Shallow Aquifer) (Ingham และคณะ ,2006)	31
รูปที่ 3.1	ตำแหน่งการวางแนวสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า และลำดับการเก็บข้อมูล	36
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์การออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)	38
รูปที่ 3.3	หลักการการจัดวางแท่งโลหะ และแท่งทองแดง แบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array)	38
รูปที่ 3.4	ตารางบันทึกข้อมูล Voltage (V) , Current (I) และ range ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า SS08 และระยะทาง AB/2 และ MN/2 สำหรับการขยับขั้วโลหะและขั้วทองแดงตามลำดับขณะทำการสำรวจ	40
รูปที่ 3.5	รูปแบบโปรแกรม IPI2WIN หลังทำการกรอกข้อมูล	41
รูปที่ 3.6	แสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าโดยโปรแกรม IPI2WIN	42
รูปที่ 4.1	ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล	44
รูปที่ 4.2	ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในภาพดาวเทียม จาก Google Earth วันที่ 1 พฤศจิกายน 2556	44
รูปที่ 4.3	ภาพการเก็บข้อมูลน้ำบาดาลในระหว่างวันที่ 10-12 สิงหาคม 2556	45

รูปที่ 4.4	แนวสำรวจและลำดับการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey) ในพื้นที่ศึกษา	47
รูปที่ 4.5	ภาพการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าในระหว่างวันที่ 24-25 พฤศจิกายน 2556	48
รูปที่ 4.6	ภาพการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 11 ธันวาคม 2556	49
รูปที่ 4.7	ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3	50
รูปที่ 4.8	ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-5-6	50
รูปที่ 4.9	ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-7-3	51
รูปที่ 4.10	ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 8-9-10-11	51
รูปที่ 4.11	ภาพตัดขวางภาพที่ 1 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3	52
รูปที่ 4.12	ภาพตัดขวางภาพที่ 2 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-5-6	53
รูปที่ 4.13	ภาพตัดขวางภาพที่ 3 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-7-3	54
รูปที่ 4.14	ภาพตัดขวางภาพที่ 4 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 8-9-10-11	55
รูปที่ 4.15	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำใต้ผิวดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา	56
รูปที่ 4.16	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำใต้ผิวดินเทียบกับยูนิตต่างๆของค่าความต้านทานไฟฟ้า และแนวสร้าง ภาพตัดขวาง A-A' (ตั้งฉากกับหน้าหาด) และ B-B' (ขนานกับหน้าหาด)	57
รูปที่ 4.17	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในแนวตัดขวาง A-A' (ตั้งฉากกับหน้าหาด) ชั้นทรายชายหาด (Qbs) มีการคัดขนาดและปริมาณช่องว่างดีกว่าชั้นกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว (Qfd) แต่ชั้นทรายชายหาดมีความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head) ต่ำกว่าชั้นกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว	58
รูปที่ 4.18	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในแนวตัดขวาง B-B' (ขนานกับหน้าหาด แต่ตั้งฉากกับคลองขุด และคลองธรรมชาติ) เป็นแบบจำลองมวลน้ำทะเลที่รุกเข้ามาในชั้นทรายชายหาดขณะตั้งสมมติฐานก่อนการสำรวจจริง	59
รูปที่ 4.19	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในแนวตัดขวาง B-B' (ขนานกับหน้าหาด แต่ตั้งฉากกับคลองขุด และคลองธรรมชาติ) เป็นแบบจำลองการรุกคืบของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นทรายชายหาด หลังทำการสำรวจ	60

# บทที่ 1 บทนำ

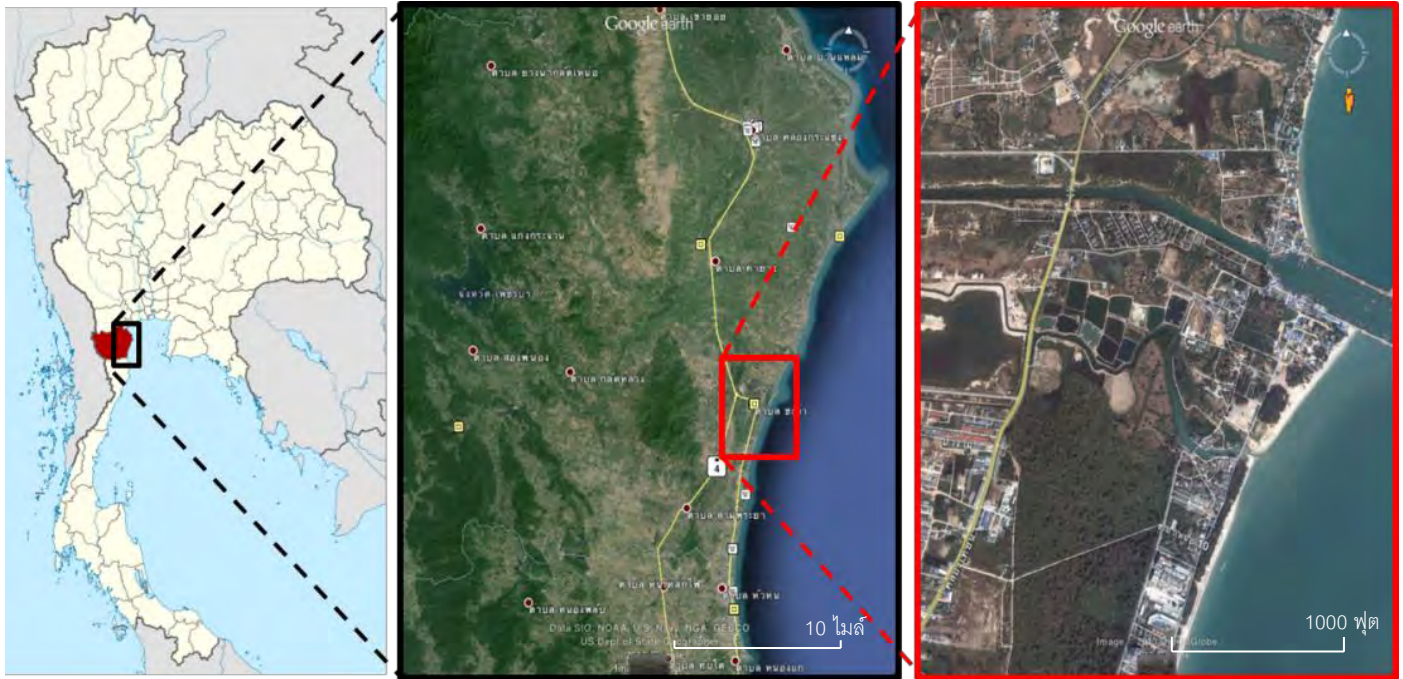
- 1.1 แนวคิดพื้นฐาน (General Statement)
- 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย (Objectives)
- 1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of work)
- 1.4 นิยามปัญหา (Problem defined)
- 1.5 สมมติฐาน (Hypothesis)
- 1.6 วิธีสำรวจ (Survey method)
- 1.7 พื้นที่ศึกษา (Study area)
- 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

# บทที่ 1 บทนำ (Introduction)

## 1.1 แนวคิดพื้นฐาน (General statement)

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งการใช้น้ำในปัจจุบันได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินกิจการด้วย เนื่องจากแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ที่สำคัญ คือ แหล่งน้ำบาดาล เพราะฉะนั้นน้ำบาดาลจึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค หรือแม้แต่ในภาคการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพื้นที่ที่ขาดแคลนแหล่งน้ำผิวดินเข้าถึง หรือพื้นที่แห้งแล้งซึ่งอาจเนื่องจากฝนตกทิ้งช่วง โดยธรรมชาติแล้วน้ำบาดาลจะต้องไหลจากพื้นที่เพิ่มเติมน้ำซึ่งเป็นพื้นที่สูงไปสู่พื้นที่รับน้ำและไหลออกสู่ทะเลในที่สุด ส่งผลให้ลักษณะชั้นน้ำบาดาลบริเวณชายฝั่งมีลักษณะพิเศษที่เกิดเป็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดจากแผ่นดินและน้ำเค็มจากทะเล (Werner และคณะ, 2013) และปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุมชนเมือง และการท่องเที่ยวมากขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทำให้มีแนวโน้มการนำน้ำบาดาลมาใช้ในปริมาณที่สูงขึ้น (Werner และคณะ, 2013) ดังนั้นพื้นที่บริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลนั้นมักจะประสบปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลที่มีความเค็มเกินกว่าที่จะนำมาอุปโภค หรือบริโภคได้ อันเนื่องมาจากปัญหา การรุกคืบของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล (saltwater intrusion)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจศึกษาการรุกคืบของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (beach sand aquifer, Qbs) ในพื้นที่ที่มีการขุดคลองเชื่อมต่อกับทะเล และในพื้นที่คลองธรรมชาติ บริเวณชายหาดชะอำ อ.ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (รูปที่ 1.1) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลทั้งในภาคประชาชนและภาคอุตสาหกรรม และเพื่อประเมินแนวรอยต่อของการรุกคืบของน้ำทะเลในสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยวิธีการศึกษานั้นได้เลือกใช้วิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity method) ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันว่าสามารถนำมาใช้ประเมินการรุกคืบของน้ำทะเลได้ดี (Werner และคณะ, 2013) อันเนื่องมาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำจืดและน้ำเค็มมีความแตกต่างกันชัดเจน ทั้งยังสะดวกรวดเร็ว อีกด้วย ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงในการเจาะบ่อบาดาลในบริเวณพื้นที่ศึกษา และเป็นข้อเสนอแนะเพื่อวางแผนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลและการสร้างโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่างๆ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต



รูปที่ 1.1 ภาพดาวเทียมบริเวณพื้นที่ศึกษาการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด บริเวณชายหาดชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี จาก Google Earth วันที่ 1 พฤศจิกายน 2551

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย (Objective)

เพื่อประเมินขอบเขตของการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (beach sand aquifer, Qbs) ด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (vertical electrical sounding, VES)

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of work)

การวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เอาการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) โดยการวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) มาใช้ตรวจสอบการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (Qbs) และศึกษาขอบเขตของการรุกรานของน้ำทะเลที่มีปัจจัยมาจากคลองขุดกับคลองธรรมชาติ บริเวณ ต.ชะอำ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี

## 1.4 นิยามปัญหา (Problem defined)

ข้อมูลที่ได้จากการทำสำรวจด้วยธรณีฟิสิกส์แบบการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าจะสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อประเมินขอบเขตในการรุกรานของน้ำทะเล ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ในสภาพพื้นที่ที่ต่างกันระหว่างคลองขุดและคลองธรรมชาติได้ดีเพียงใด

## 1.5 สมมติฐาน (Hypothesis)

ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) สามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินการรุกรานของน้ำทะเลได้ดี และการสร้างคลองขุดในพื้นที่ชายฝั่งส่งผลกระทบต่อการเพิ่มพื้นที่การรุกรานของน้ำทะเลมากกว่าที่มีปัจจัยมาจากคลองธรรมชาติ

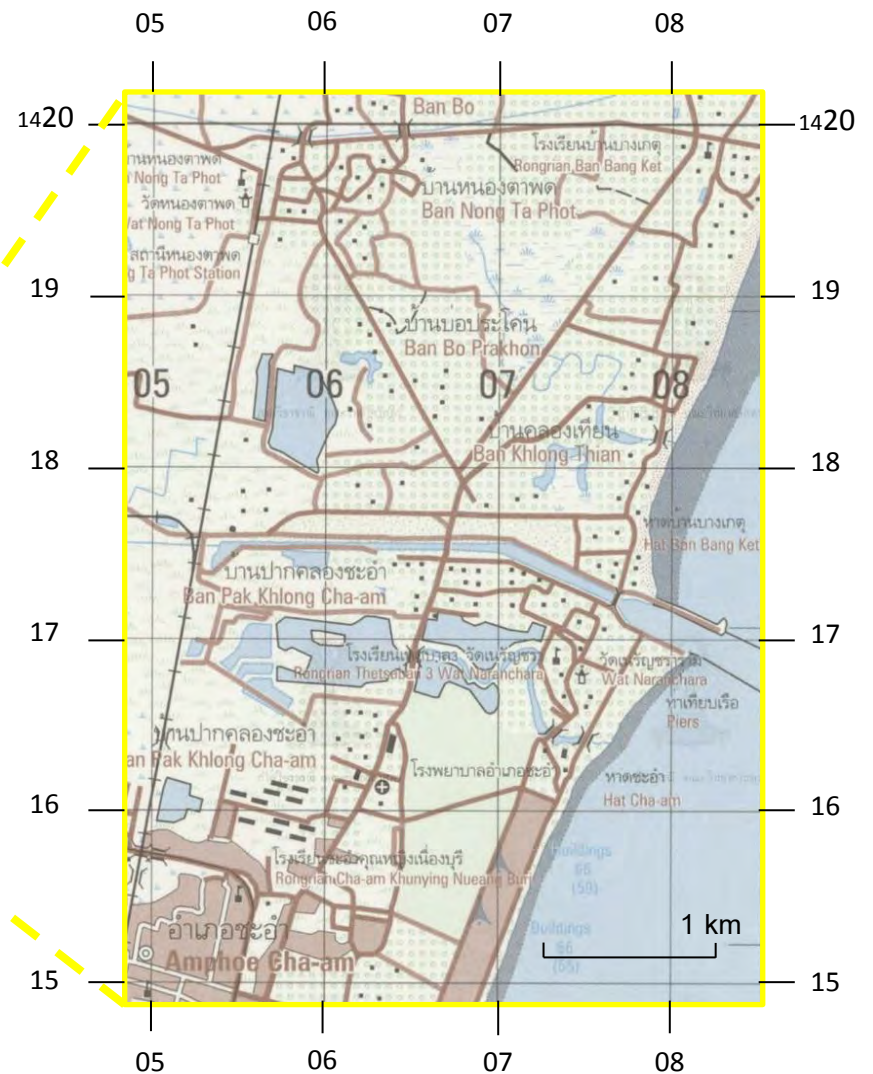
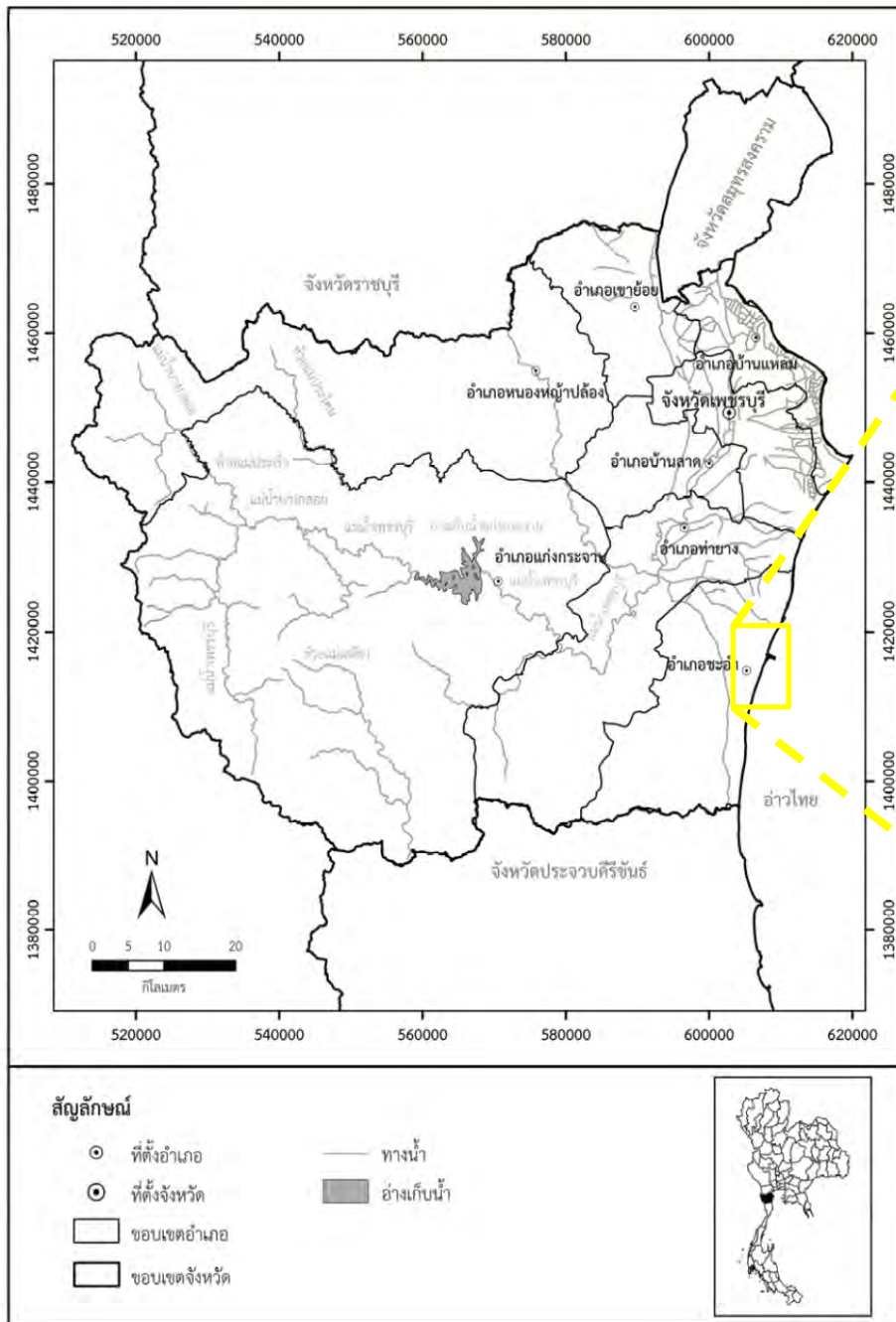
## 1.6 วิธีสำรวจ (Survey method)

วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) โดยการวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array)



## 1.7 พื้นที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่ศึกษาดังอยู่ที่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย ตั้งอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ระวังที่ 4934 I ชื่อแผนที่ อำเภอท่ายาง ลำดับชุด L7018 พื้นที่ศึกษารอบคลุมพื้นที่ประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 1.2) โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบติดชายฝั่งอ่าวไทย บริเวณละติจูดที่  $12^{\circ}48'33.48''$  N -  $12^{\circ}49'40.19''$  N และ ลองจิจูดที่  $99^{\circ}58'38.57''$  E -  $100^{\circ}0'5.00''$  E (รูปที่ 1.1) ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษามีทั้งคลองขุดที่ออกสู่ทะเล และคลองธรรมชาติ โดยคลองขุดมีจุดประสงค์เพื่อเป็นคลองขนส่งวัสดุดิบเข้า-ออกสำหรับโรงงาน ชลประทานซีเมนต์ จำกัดมหาชน สาขาชะอำ มีความลึกประมาณ 10 เมตร กว้างประมาณ 45 เมตร ยาวประมาณ 3.5 กิโลเมตร ส่วนคลองธรรมชาติ อยู่ทางทิศใต้ของคลองขุด กว้างประมาณ 25 เมตร ปัจจุบันบริเวณนี้มีการพัฒนาชุมชน และภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการทำเป็นแหล่งท่องเที่ยวจำนวนมาก รวมถึงยังมีการสร้างบ่อเลี้ยงกุ้งบริเวณด้านข้างของคลองชะอำอีกด้วย ทำให้มีโอกาสที่จะนำน้ำบาดาลบริเวณชายฝั่งทะเลขึ้นมาใช้มากขึ้น และส่งผลต่อการรุกคืบของน้ำทะเลในพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง



รูปที่ 1.2 พื้นที่ศึกษาแสดงในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ราววันที่ 4931 / ชื่อแผนที่ อำเภอท่ายาง ลำดับที่ L018 ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร

กรมทรัพยากรธรณี (2555) ศึกษาสภาพภูมิประเทศและภูมิฐานแบบต่างๆ ในจังหวัดเพชรบุรี ได้ว่า จังหวัดเพชรบุรีมีสภาพภูมิประเทศ ประกอบไปด้วยพื้นที่ที่ราบสูงและสูงชันบริเวณทางด้านทิศตะวันตกในเขตอำเภอแก่งกระจานและอำเภอหนองหญ้าปล้อง แล้วค่อยๆ ลาดต่ำลงมาทางทิศตะวันออกเกิดเป็นสันปันน้ำแบ่งน้ำส่วนหนึ่งให้ไหลลงสู่สหภาพพม่า และอีกส่วนหนึ่งไหลมาทางทิศตะวันออก เป็นต้นน้ำของแม่น้ำเพชรบุรี

ลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี โดยคู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาล จังหวัดเพชรบุรี (2544) กล่าวว่าพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีตั้งอยู่บนอนุทวีปฉานไทย ประกอบด้วยหินที่มีอายุตั้งแต่เพอร์เมียน จนถึงตะกอนของยุคควอเทอร์นารีในปัจจุบัน โดยเทือกเขาด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวัดตลอดแนวจากเหนือจรดใต้ และเนินเขาเตี้ยบริเวณอำเภอชะอำ อำเภอท่ายาง และอำเภอบ้านแหลม ประกอบด้วย หินตะกอน และหินตะกอนกึ่งแปรของยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส เป็นส่วนใหญ่ โดยมีหินปูนเนื้อโดโลไมต์ยุคเพอร์เมียนกระจายแทรกสลับอยู่ หินเหล่านี้ถูกแทรกดัน โดยหินแกรนิตยุคครีเทเชียส ซึ่งปรากฏเป็นเทือกเขาบริเวณด้านทิศตะวันตกของจังหวัด เป็นพรมแดนกั้นประเทศไทย กับประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า ในเขตอำเภอชะอำ อำเภอเมืองเพชรบุรี อำเภอบ้านลาด และอำเภอบ้านแหลม และเทือกเขาในบริเวณตอนกลางของอำเภอเมืองเพชรบุรี และอำเภอเขาย้อย ต่อเนื่องเข้าไปในเขตอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี มีชั้นกรวดทรายและดินเหนียวจากแม่น้ำ และตะกอนทรายชายหาดจากทะเลยุคควอเทอร์นารี ปิดทับอยู่บริเวณตอนกลางตามลำน้ำระหว่างภูเขา และเชิงเขา รวมทั้งตามแนวชายหาด แนวแตก และรอยเลื่อนส่วนใหญ่ อยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ รวมทั้งแนวแกนของรอยคดโค้งในชั้นหินตะกอนกึ่งแปรยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัสด้วย กรมทรัพยากรธรณี (2555) กล่าวว่า จังหวัดเพชรบุรีสามารถพบหินครบทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร (รูปที่ 1.3) มีอายุตั้งแต่ยุคไซลูเรียนถึงยุคควอเทอร์นารี (Silurian-Quaternary) โดยเรียงลำดับจากหินอายุเก่าแก่ที่สุดในเขตจังหวัดเพชรบุรี ไปหาหินที่มีอายุน้อยกว่าตามลำดับได้แก่



## 1. หินตะกอนและหินแปร (Sedimentary rock and Metamorphic rock)

1.1 ยุคไซลูเรียนถึงดีโวเนียน (SD) ประกอบด้วย หินทรายเนื้อควอตซ์ หินทรายเนื้อดิน หินดินดานสลับ หินทรายแป้ง บางแห่งถูกเปลี่ยนสภาพเป็นหินควอตไซต์ หินฟิลไลต์ และหินชนวน พบกระจายตัวทางทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณตำบลห้วยทรายเหนือ อำเภอชะอำ

1.2 ยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน (CP) ประกอบด้วย กลุ่มหินแก่งกระจาน แบ่งเป็น 2 หมวดหิน คือ หมวดหินเขาพระ ( $CP_{kp}$ ) ประกอบด้วย หินทรายเกรย์แวก หินดินดาน หินทรายอาร์โคส หินฮอร์นเฟลส์ พบกระจายตัวบริเวณด้านทิศตะวันออกเกือบทั้งหมดของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณด้านทิศตะวันตกของ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ตำบลแก่งกระจาน ตำบลห้วยแม่เพรียง และตำบลป่าเต็ง อำเภอแก่งกระจาน อำเภอ เขาย้อย และอำเภอเขาหลวงป่าปล้อง และหมวดหินเขาเจ้า ( $CP_{kc}$ ) ประกอบด้วย หินทรายอาร์โคส หินโคลน พบกระจายตัวบริเวณตอนกลางของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณด้านทิศตะวันออกของอ่างเก็บน้ำแก่ง กระจาน ตำบลแก่งกระจาน ตำบลสองพี่น้อง อำเภอแก่งกระจาน และบ้านท่าไม้รวก ตำบลไม้รวก อำเภอท่า ยาง

1.3 ยุคเพอร์เมียน (P) กลุ่มหินราชบุรี มีการวางตัวแบบเรียงลำดับอยู่บนชุดหินแก่งกระจาน ประกอบด้วย หินปูน หินเชิร์ตเป็นกระเปาะ หินปูนเนื้อโดโลไมต์ พบหินทรายและหินดินดานบ้าง โดยพบกระจายตัวบริเวณเขาสามยอด เขาตะเมาะใหญ่ เขาหินลาด เขาต่างใหญ่ เขาลำดิน ตำบลป่าเต็ง อำเภอแก่ง กระจาน และบ้านโค้งเขาใหญ่ อำเภอชะอำ ด้านทิศตะวันตกครอบคลุมบริเวณบางส่วนของตำบลห้วยแม่ เพรียง ส่วนทิศเหนือครอบคลุมบริเวณเขาอิปิต ตำบลหนองชุมพลเหนือ อำเภอเขาย้อย

1.4 ยุคเทอร์เชียรี (T) ประกอบด้วย หินทราย สลับด้วยหินทรายแป้ง หินโคลน หินเคลย์ และชั้นถ่าน พบกระจายตัวบริเวณทิศเหนือของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณบ้านหนองชุมพล อำเภอเขาย้อย บ้าน หนองหญ้าปล้อง บ้านท่าตะคล้อ ตำบลหนองหญ้าปล้อง ตำบลท่าตะคล้อ และตำบลท่าช้าง อำเภอหนองหญ้า ปล้อง

1.5 ยุคควอเทอร์นารี (Q) จำแนกเขตตะกอนร่วนในพื้นที่โดยอาศัยชนิดของตะกอนและสภาวะแวดล้อมของการตกตะกอนออกเป็น 9 หน่วยตะกอน คือ

1.5.1 ตะกอนเศษหินเชิงเขา และตะกอนผุพังอยู่กับที่ ( $Q_c$ ) เศษหินประกอบด้วย หินควอร์ตไซต์ หินทราย หินทรายแป้ง หินแกรนิต ทราย และทรายแป้ง พบการกระจายตัวส่วนมากบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณตำบลกลัดหลวง ตำบลท่าไม้รวก ตำบลเขากระปุก ตำบลห้วยทรายเหนือ ตำบลชะอำ ตำบลเขาใหญ่ ตำบลสามพระยา และตำบลไร่ไหมพัฒนา อำเภอชะอำ ตำบลสองพี่น้อง ตำบลพุทธสวรรค์ อำเภอแก่งกระจาน และตำบลวังไคร้ อำเภอท่ายาง

1.5.2 ตะกอนตะพัก ( $Q_s$ ) ประกอบด้วย กรวดและทราย พบกระจายตัวบริเวณตอนกลางและทิศเหนือของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณรอบๆอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ตำบลแก่งกระจาน อำเภอแก่งกระจาน บ้านยางน้ำกลัดเหนือ บ้านท่าตะคล้อ อำเภอหนองหญ้าปล้อง และบ้านหนองชุมพล อำเภอเขาย้อย

1.5.3 ตะกอนสันทรายเก่า ( $Q_{so}$ ) ประกอบด้วย ทรายเนื้อปานกลางถึงหยาบ การคัดขนาดปานกลาง ความกลมมนดี พบการกระจายตัวส่วนมากบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรี และทิศตะวันออกของทางหลวงหมายเลข 4 ครอบคลุมบริเวณอำเภอเมืองเพชรบุรี และบ้านหนองศาลา บ้านบางเกต บ้านสามพระยา อำเภอชะอำ

1.5.4 ตะกอนน้ำพา ( $Q_a$ ) ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว พบกระจายตัวบริเวณตัวบริเวณด้านทิศตะวันออกของจังหวัดเพชรบุรี และทิศตะวันตกของทางหลวงหมายเลข 4 ครอบคลุมบริเวณอำเภอเขาย้อย อำเภอบ้านลาด อำเภอแก่งกระจาน และอำเภอชะอำ

1.5.5 ตะกอนที่ลุ่มราบแม่น้ำ ( $Q_m$ ) ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว พบกระจายตัวบริเวณด้านทิศตะวันออกของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณตำบลโรงเข้ ตำบลห้วยลึก อำเภอบ้านลาด และอำเภอท่ายาง

1.5.6 ตะกอนที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง มีป่าชายเลนปกคลุม ( $Q_{tm}$ ) ประกอบด้วย พีต ดินเหนียวปนพีต ทราวยเม็ดละเอียด ทราวยเม็ดละเอียด ดินเหนียวเนื้อปนทรายแป้ง พบการกระจายตัวบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณบ้านแหลม อำเภอบ้านแหลม และบ้านปากทะเล บ้านบางแก้ว อำเภอเมืองเมืองเพชรบุรี

1.5.7 ตะกอนที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง ( $Q_{tr}$ ) ประกอบด้วย ดินเหนียว สีเทาชั้นหนา มีชั้นทราวยละเอียดและชั้นพีตแทรกสลับ พบการกระจายตัวบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และด้านทิศตะวันออกของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างบริเวณอำเภอเมืองเพชรบุรี และบางส่วนของอำเภอชะอำ

1.5.8 ตะกอนลาถูก ( $Q_g$ ) ประกอบด้วย ดินโคลน และดินเหนียว มีทรายเป็นเลนสีเทาถึงสีขาว การคัดขนาดปานกลาง เม็ดกึ่งมน พบกระจายตัวด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณตำบลชะอม และตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ

1.5.9 ตะกอนชายหาด ( $Q_c$ ) ประกอบด้วย ทราย กรวด ทรายแป้ง มีเปลือกหอย เศษปะการัง และเศษซากพืช พบกระจายตัวบริเวณขอบด้านทิศตะวันออกของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณบ้านแหลม ฝักเบี้ย บ้านหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมืองเพชรบุรี บ้านปึกเตียน อำเภอท่ายาง และบ้านบางเกด บ้านสามพระยา อำเภอชะอำ

2. หินอัคนีที่พบในจังหวัดเพชรบุรีมี 2 หน่วยหิน เรียงอายุจากเก่าก่อนได้

2.1 ยุคคาร์บอนิเฟอรัส ( $C_{gr}$ ) ประกอบด้วย หินแกรนิตที่มีการเรียงตัวของเม็ดแร่ เม็ดปานกลางถึงหยาบ เป็นการเรียงตัวค่อนข้างดีของผลึกแร่เฟลด์สปาร์ขนาดใหญ่ พบกระจายตัวบริเวณขอบด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณเขาช่องม่วง บ้านสามพระยา ตำบลท่าไม้รวก ตำบลสันทรายเหนือ และตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ

2.2 ยุคครีเทเชียส ( $K_{gr}$ ) ประกอบด้วย หินแกรนิตสีจาง เนื้อปานกลางถึงหยาบ ส่วนมากเนื้อสม่ำเสมอ และหินแอพลิตแกรนิต เนื้อละเอียดถึงเนื้อขนาดปานกลาง พบกระจายตัวบริเวณขอบด้านทิศตะวันตกและด้านทิศเหนือของจังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมบริเวณตำบลห้วยแม่เพ็ริ่ง และตำบลป่าเต็ง ตัดพรมแดนไทย-พม่า อำเภอแก่งกระจาน เขาพะเนินทุ่ง เขาพุพุก อำเภอหนองหญ้าปล้อง และเขาไร่ เขาลูกสูง อำเภอบ้านลาด

โดยธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วย ตะกอนชายหาด ( $Q_b$ ) และ ตะกอนสันทรายเก่า ( $Q_{bo}$ ) หนาประมาณ 10-15 กิโลเมตร ส่วนข้อมูลอุทกธรณี (Hydrogeological map) จากคู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาล จังหวัดเพชรบุรี (2544) แสดงในรูปที่ 1.5 พบว่าบริเวณอำเภอยะอำรองรับด้วยชั้นให้น้ำ (aquifer) ทั้งที่เป็น ตะกอนหินร่วนและหินแข็ง โดยมากกว่า 60% ของพื้นที่รองรับด้วยชั้นให้น้ำที่เป็นตะกอนหินร่วน ซึ่ง ประกอบด้วย ชั้นน้ำทรายชายหาด และชั้นน้ำที่ราบลุ่มน้ำหลากและตะกอนเศษหินเชิงเขา ส่วนชั้นหินให้น้ำที่เป็นหินแข็งประกอบด้วย ชั้นน้ำหินปูนอายุเพอร์เมียน ชั้นน้ำหินตะกอนกึ่งแปรรูปอายุเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส และชั้นน้ำหินแกรนิตอายุครีเทเชียส (ตารางที่ 1.4) ซึ่งในการศึกษาคครั้งนี้เราสนใจการรुक้าของน้ำทะเลในชั้น ตะกอนทรายชายหาด (beach sand aquifer,  $Q_{bs}$ ) เท่านั้น

#### ตารางที่ 1.4 ศักยภาพน้ำบาดาลของอำเภอยะอำ

อำเภอ/กิ่งอำเภอ	ชนิดของหินกักเก็บน้ำบาดาล	ความลึกเฉลี่ย(เมตร)	ระดับน้ำปกติโดยเฉลี่ย(เมตร)
ชะอำ	1. ทรายชายหาด ( $Q_{bs}$ )	5-8	1-2
	2. กรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว	25-45	3-8
	3. หินปูนเนื้อแน่น	ไม่มีการพัฒนาน้ำบาดาล	-
	4. หินโคลนปนกรวด หินดินดาน หินทราย และหินควอร์ตไซต์	30-40	2-4
	5. แกรนิต	25-45	6-9

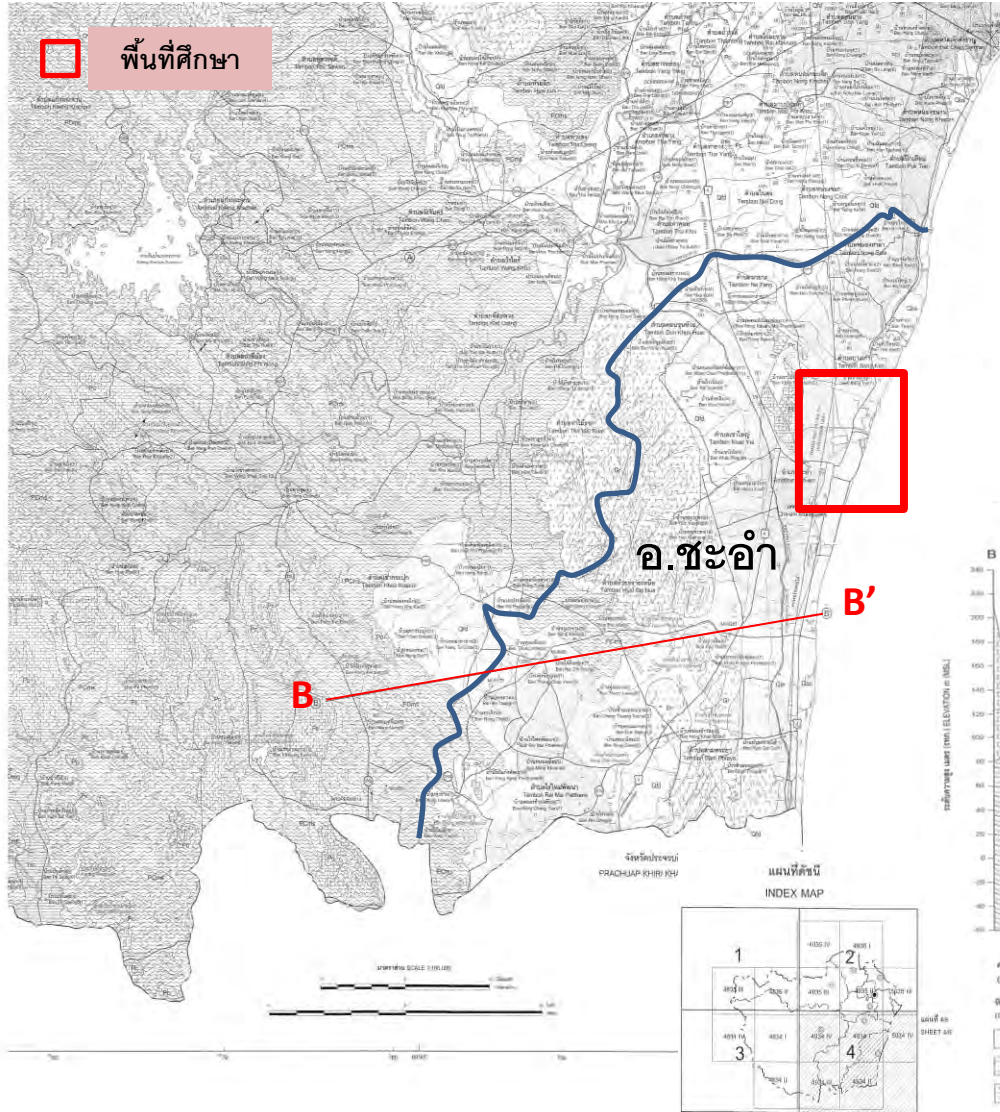
ตารางศักยภาพน้ำบาดาลของอำเภอยะอำ จังหวัดเพชรบุรี แสดงชั้นให้น้ำบาดาล (Aquifers) และระดับน้ำบาดาล

#### 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

1. ทราบขอบเขตการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลในชั้นทรายชายฝั่งทะเล บริเวณหาดชะอำ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีได้
2. ข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจในการเจาะบ่อบาดาล หรือวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลในอนาคต

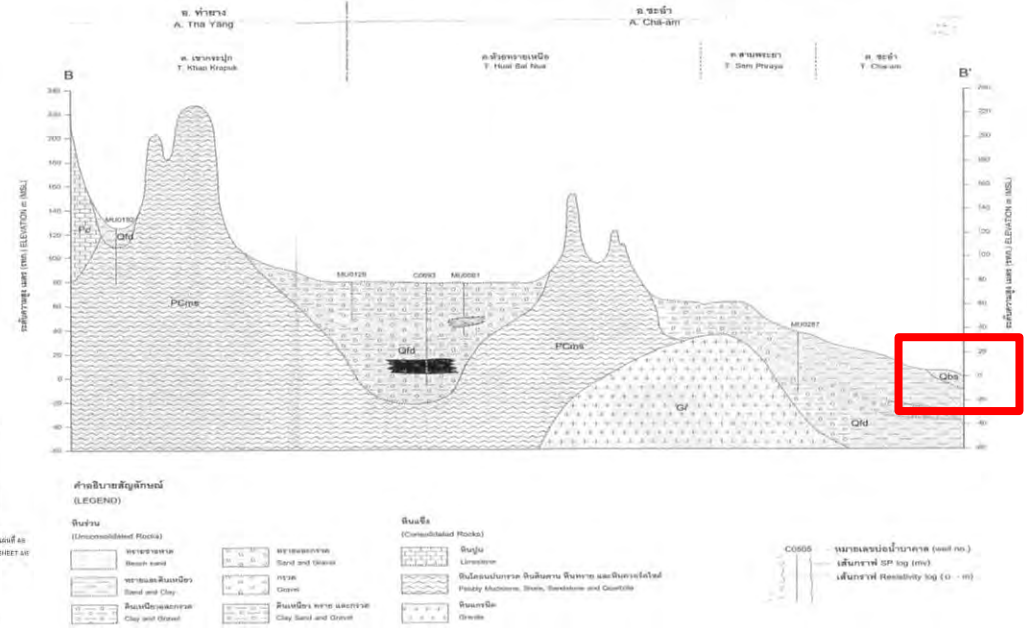


### ศักยภาพน้ำบาดาลของอำเภอชะอำ



อำเภอ/กิ่งอำเภอ	ชนิดของหินกักเก็บน้ำบาดาล	ความลึกเฉลี่ย(เมตร)	ระดับน้ำปกติโดยเฉลี่ย(เมตร)
ชะอำ	1. ทรายขาดหาด (Qbs)	5-8	1-2
	2. กรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว	25-45	3-8
	3. หินปูนเนื้อแน่น	ไม่มีการพัฒนาหน้าบาดาล	-
	4. หินโคลนปนกรวด หินดินดาน หินทราย และหินควอร์ตไซต์	30-40	2-4
	5. แกรนิต	25-45	6-9

ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาแนว B - B' อำเภอท่ายาง - อำเภอชะอำ  
Hydrogeologic Cross - section along B - B' Line, Amphoe Tha Yang - Amphoe Cha-am



รูปที่ 1.5 แผนที่อุทกธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี (Hydrogeological map) โดยคู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดเพชรบุรี, 2544 และชั้นหินให้น้ำ (Aquifer) ในพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยตะกอนชายหาด (Qbs) ลึกประมาณ 5-8 กิโลเมตร

# บทที่ 2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ

2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการการรุกคืบของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาล (Saltwater intrusion)

2.1.1 บทนำ

2.1.2 การรุกคืบของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาล

2.1.3 การรุกคืบของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากคลองระบายน้ำ หรือระบบชลประทาน

2.2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการวิธีสำรวจความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey)

2.2.1 บทนำ

2.2.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีทางด้านไฟฟ้า

2.2.3 วิธีการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

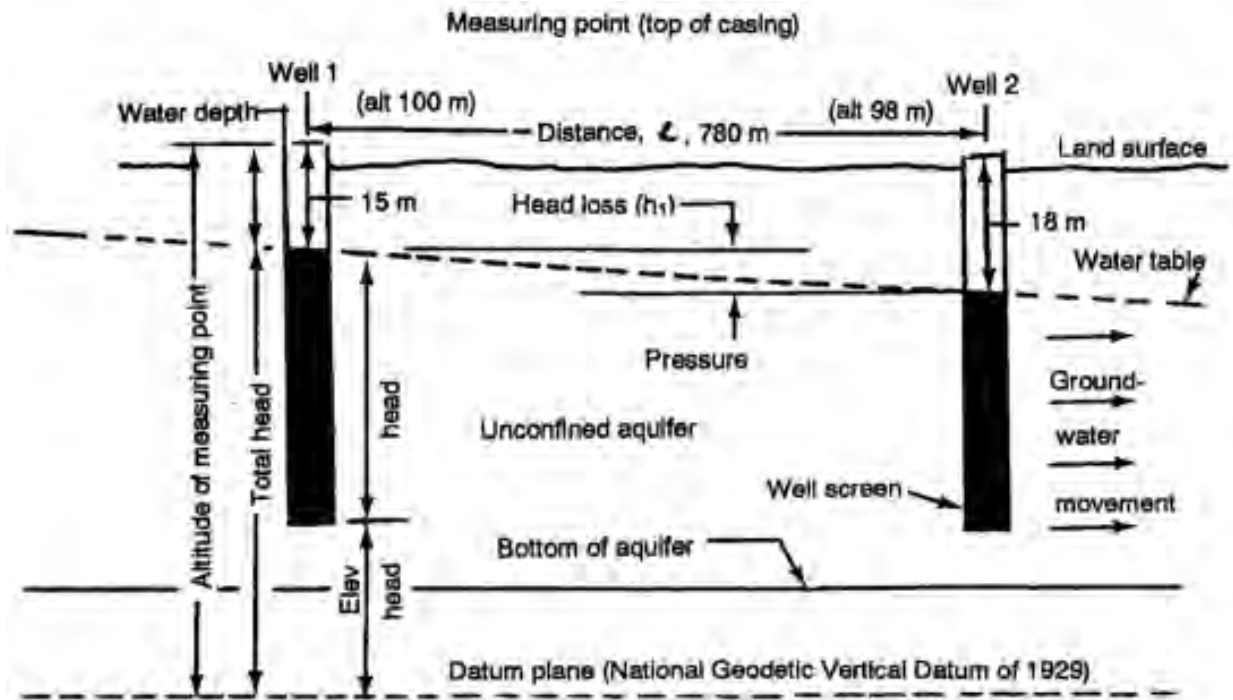
## บทที่ 2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ

### 2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการของการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาล

#### 2.1.1 บทนำ

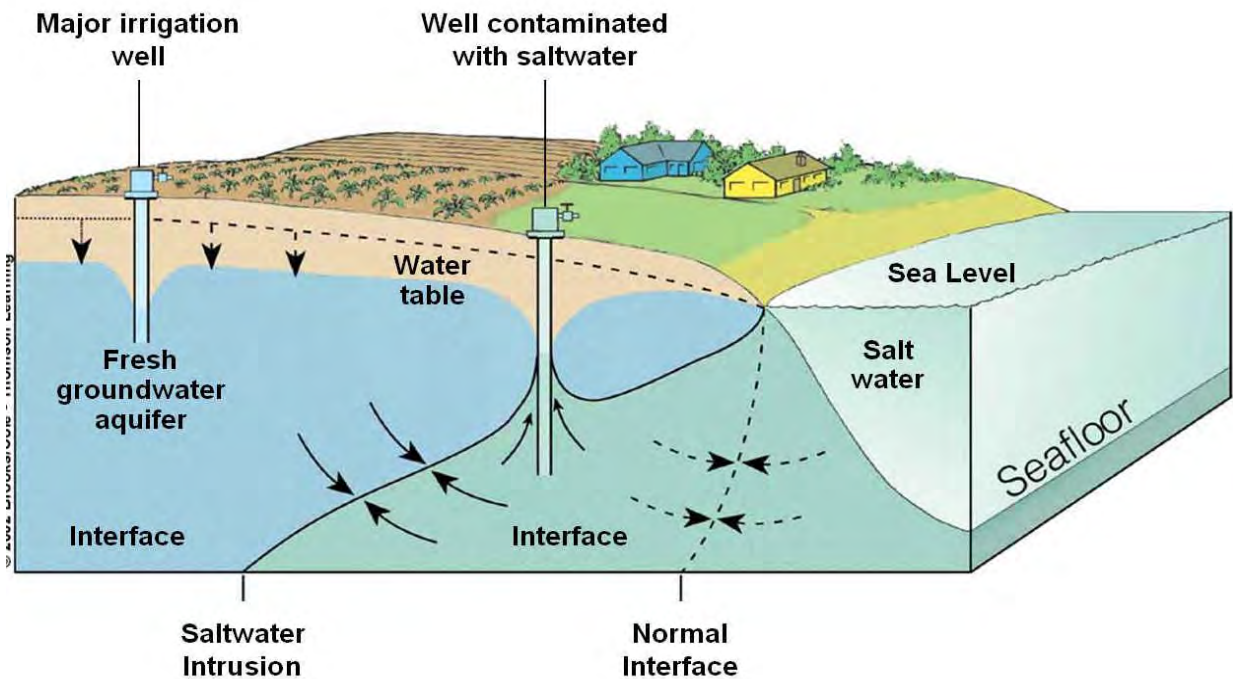
การรुकูล้ำของน้ำทะเล คือการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำ ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเค็มในแหล่งน้ำจืดและผลกระทบอื่นๆ การรुकูล้ำของน้ำทะเลสามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีความแตกต่างของแรงดันชลศาสตร์ระหว่างน้ำบาดาลกับน้ำทะเล โดยเฉพาะในชั้นน้ำใกล้ชายฝั่งทะเล น้ำทะเลประกอบด้วยธาตุไอออนมากกว่าน้ำจืด จึงทำให้น้ำทะเลมีความหนาแน่นและแรงดันชลศาสตร์ที่สูงกว่าน้ำจืด เป็นผลให้น้ำทะเลสามารถแทรกดันตัวเข้าไปใต้น้ำจืดที่อยู่ในแผ่นดินได้ นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์บางอย่าง อาทิ คลองสำหรับการเดินเรือ คลองสำหรับการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสูบน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลใกล้ชายฝั่งทะเลยังเป็นตัวเร่งให้น้ำเค็มรुकูล้ำเข้ามาชั้นน้ำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลทำให้ระดับน้ำบาดาลและความดันของน้ำจืดลดลง ทำให้น้ำทะเลแทรกตัวเข้ามาในชั้นน้ำบาดาลได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การรुकูล้ำของน้ำทะเลยังอาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล คลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge)

โดยปกติบริเวณขอบชายฝั่งทะเล น้ำบาดาลจะไหลจากแผ่นดินลงสู่น้ำเค็มในมหาสมุทร แต่ในบริเวณนี้ยังมีการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นหินอุ้มน้ำเป็นรูปลิ้มด้วย เพราะน้ำทะเลมีองค์ประกอบของสารละลายเกลือและแร่ธาตุมากกว่าน้ำบาดาล ดังนั้นน้ำทะเลจึงมีความหนาแน่นและความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head) สูงกว่าน้ำบาดาล สำหรับความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head) ใช้ในการอธิบายลักษณะการไหลของน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยบ่อบาดาลที่มีค่าความดันทางชลศาสตร์สูง (well 1) จะไหลไปสู่อบ่อบาดาลที่มีค่าความดันทางชลศาสตร์ต่ำกว่า (well 2) บริเวณที่มีการแพร่ของน้ำบาดาลและน้ำทะเลมาผสมกัน เรียกว่า Transitional Zone (รูปที่ 2.2) โดยปกติลิ้มของน้ำทะเลจะถูกจำกัดโดยระดับน้ำบาดาล โดยปกติระดับน้ำบาดาลจะสูงขึ้นตามระดับความสูงของภูมิประเทศทำให้พื้นที่ที่สูงขึ้นจะมีความดันชลศาสตร์สูงมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.1 ความดันศาสตร์ (Hydraulic head) ในบ่อน้ำบาดาลที่ 1 สูงกว่า บ่อน้ำบาดาลที่ 2  
น้ำบาดาลจึงไหลจาก บ่อน้ำบาดาลที่ 1 ไปบ่อน้ำบาดาลที่ 2

ที่มา : <http://www.globalsecurity.org/>



รูปที่ 2.2 บริเวณที่น้ำบาดาลผสมกับน้ำทะเล เรียกว่า *Transitional zone* หรือ *Interface*

ที่มา : [www.geo.hunter.cuny.edu](http://www.geo.hunter.cuny.edu)

### 2.1.2 การรุกค้ำของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาล

การสูบน้ำบาดาลเป็นสาเหตุหลักของการรุกค้ำของน้ำเค็ม น้ำบาดาลมักใช้เป็นแหล่งน้ำดื่มหลักในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและสูบขึ้นมาใช้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป (รูปที่ 2.2) ภายใต้เงื่อนไขพื้นฐานการรุกค้ำของน้ำเค็มจะถูกจำกัดด้วยความดันไฮดรอสแตติกของน้ำบาดาลที่สูงขึ้น การสูบน้ำบาดาลปริมาณมาก ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดต่ำกว่าระดับน้ำบาดาลปกติ ทำให้ความดันไฮดรอสแตติกของน้ำบาดาลลดลง เป็นผลให้น้ำทะเลสามารถรุกค้ำเข้ามาได้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น ใน เคปเมย์ มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ การสูบน้ำบาดาลตั้งแต่ปี 1940 ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลลดลงต่ำกว่าระดับน้ำบาดาล 30 เมตร ทำให้เกิดการรุกค้ำของน้ำทะเลอย่างกว้างขวาง และเกิดการปนเปื้อนของน้ำเค็มในบ่อบาดาล (Aharmouch และ Larabi 2001) ฉะนั้นการสูบน้ำบาดาลในปริมาณมากนำไปสู่การปนเปื้อนของน้ำเค็มในชั้นน้ำระดับลึกด้วย และบ่อบาดาลที่ตั้งอยู่ใกล้กับลิมของน้ำเค็มมีโอกาสที่จะสูบได้น้ำที่มีการปนเปื้อนของน้ำเค็มได้มาก

### 2.1.3 การรุกค้ำของน้ำทะเลอันเนื่องมาจากคลองระบายน้ำ หรือระบบชลประทาน

การก่อสร้างคลองระบายน้ำ หรือระบบชลประทาน (Drainage networks) สามารถนำไปสู่การรุกค้ำของน้ำทะเลได้ คลองต่างๆ เหมือนท่อที่เป็นตัวนำน้ำทะเลเข้ามาสู่แผ่นดิน ยิ่งคลองลึกมากน้ำทะเลยิ่งมีโอกาสเข้ามาได้สูง เช่น บริเวณทะเลสาบซาบี ปากอ่าวแม็กซิโก มีทางน้ำขนาดใหญ่ต่อเชื่อมระหว่างทะเลสาบและมหาสมุทร ส่งผลให้น้ำทะเลเคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบและแม่น้ำที่เป็นต้นน้ำของทะเลสาบด้วย [http://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater\\_intrusion](http://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater_intrusion) ส่วนการก่อสร้างระบบการระบายน้ำเพื่อระบายน้ำในพื้นที่ชายฝั่งทะเลก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งของการรุกค้ำของน้ำทะเล เช่น บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐฟลอริดา มีการสร้างระบบคลองชลประทานระหว่างปี ค.ศ. 1903 ถึง 1980 เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาการเกษตรและชุมชนเมือง ทำให้เกิดการรุกค้ำของน้ำทะเลเป็นบริเวณกว้าง เนื่องจากคลองชลประทานเปรียบเสมือนคลองขนส่งน้ำทะเลเข้ามาในแผ่นดิน



รูปที่ 2.3 ทะเลสาปซาบิ บริเวณปากอ่าวเม็กซิโก มีทางน้ำขนาดใหญ่ต่อเชื่อมระหว่างทะเลสาปกับมหาสมุทร  
ทำให้น้ำทะเลเคลื่อนที่เข้าสู่แม่น้ำและทะเลสาปด้วย

ที่มา : [en.wikipedia.org/wiki/Sabine\\_Lake](https://en.wikipedia.org/wiki/Sabine_Lake)

## 2.2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการวิธีสำรวจความต้านทานไฟฟ้า

### 2.2.1 บทนำ

การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า หรืออีกชื่อหนึ่งที่นิยมเรียก คือ การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ปัจจุบันนิยมทำการสำรวจแพร่หลายในระดับต้นเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้สำรวจที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 กิโลเมตร แม้ว่าการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าสามารถประยุกต์สำรวจได้ที่ความลึกมากที่สุดประมาณ 10-15 กิโลเมตรก็ตาม การประยุกต์สำรวจธรณีวิทยาใต้ผิวดินด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าอาศัยเงื่อนไขของสภาพใต้ผิวดิน คือ สภาพใต้ผิวดินต้องไม่เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีว่าแร่ประกอบหินในเปลือกโลกมีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เนื่องจากเนื้อหินมีช่องว่างอันประกอบด้วย รูพรุน รอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน โดยที่ในช่องว่างมีน้ำที่มีไอออนหรือประจุไฟฟ้าต่างๆ ที่ปะปนอยู่ ไอออนหรือประจุไฟฟ้าในน้ำจะเคลื่อนไหลระหว่างช่องว่างต่อช่องว่าง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลใต้ผิวดิน ช่องว่างที่เกิดจากรูพรุน รอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน ในเนื้อหินในเปลือกโลกลึกลงไปประมาณ 10-15 กิโลเมตร จะปิดเพราะอยู่ในสภาพการกดอัดจากน้ำหนักที่อยู่ด้านบน ประกอบกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นตามความลึกช่องว่างในเนื้อหินจึงลดลงตามลำดับตามความลึกและปิดในที่สุด เมื่อช่องว่างและช่องไหลในช่องว่างหายไป สภาพการนำไฟฟ้าของหินใต้ผิวดินหมดไป ขีดจำกัดของการสำรวจจึงอยู่ที่ความเป็นฉนวนหรือไม่เป็นฉนวนของสภาพใต้ผิวดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ สภาพของการยอมให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านนั่นเอง ดังนั้นหากสภาพใต้ผิวดินลึกกว่า 10-15 กิโลเมตรลงไปมีช่องว่าง รอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน และมีช่องไหลแทรกอยู่ในช่องว่าง จะสามารถสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ โดยปกติทั่วไปการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและการแปลความหมายทำได้รวดเร็ว ความน่าเชื่อถือของการแปลความหมายอยู่ในระดับปานกลาง

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ภาษาอังกฤษบางที่เรียกว่า DC-Resistivity Survey) เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง หรือใช้กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้าๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และทางเดินของกระแสไฟฟ้า คือ คุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วย แร่องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน ซึ่งวิธีการสำรวจนี้นิยมทำกันแพร่หลายกว่าวิธีอื่นๆ

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อ หาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินเช่นเดียวกับวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์วิธีอื่นๆ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า คือ ทราบสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน โดยที่การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าอาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสภาพดิน-หินใต้ผิวดิน หากสภาพใต้ผิวดินไม่มีความแตกต่างทางกายภาพในด้านไฟฟ้า การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าไม่สามารถนำมาประยุกต์สำรวจได้ ลักษณะสภาพธรณีวิทยาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์สำรวจด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ได้แก่ ใช้หาชั้นดิน-หินที่มีองค์ประกอบของแร่ รูพรุน และค่าการซึมผ่านแตกต่างกัน ใช้หาชั้นน้ำบาดาลและใช้หาขอบเขตการแทรกตัวของชั้นน้ำเค็ม ใช้หาขอบเขตรอยเลื่อนหรือรอยเฉือน ใช้หาโพรงใต้ผิวดิน ใช้ตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ผิวดิน เป็นต้น

## 2.2.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีทางด้านไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า

ที่มา : เพียงดา (2550)



- **ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential or Voltage)**

วัตถุที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิงมีพลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเข้าสู่ศูนย์กลาง หรือที่เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง สำหรับไฟฟ้ามีหลักการเช่นเดียวกัน คือ เมื่อมีประจุไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์เนื่องจากแรงทางไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น โดยที่ประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์ เรียกว่า พลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $W_p$ ) ประจุไฟฟ้าบวกเคลื่อนจากตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำ นิยามของศักย์ไฟฟ้า (V) คือ อัตราส่วนของพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุไฟฟ้า เขียนสมการได้ว่า

$$V = \frac{W_p}{q} \quad \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}} \text{ หรือ } \text{Volt}$$

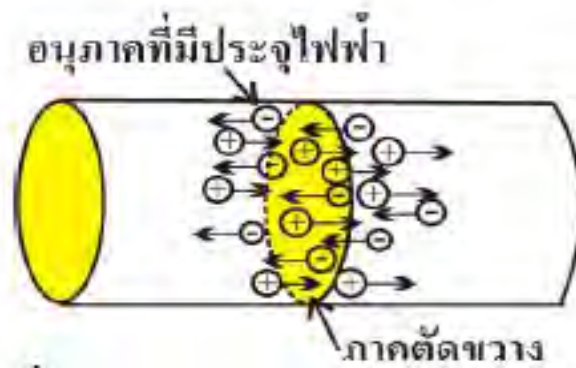
เมื่อ	V	คือ	ศักย์ไฟฟ้า (Volt)
	$W_p$	คือ	พลังงานศักย์ไฟฟ้า (Joule)
	q	คือ	ประจุไฟฟ้า (Coulomb)

- **กระแสไฟฟ้า (Electric Current)**

เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 กล่าวได้ว่า มีกระแสไฟฟ้าในตัวนำนั้น นิยามของกระแสไฟฟ้า กล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ จะเท่ากับประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางนั้นๆ ในแนวตั้งฉากในหนึ่งหน่วยเวลา” จากรูปที่ 2.5 สมมติในเวลา t ใดๆ มีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจำนวน n เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง ถ้าอนุภาคมีประจุไฟฟ้า q เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$I = \frac{nq}{t} \quad \frac{\text{Coulomb}}{\text{Second}} \text{ หรือ } \text{Ampere}$$

เมื่อ	I	คือ	กระแสไฟฟ้า (Ampere)	n	คือ	จำนวนประจุไฟฟ้า
	q	คือ	ประจุไฟฟ้าในแต่ละตัว (Coulomb)	t	คือ	เวลา (Second)



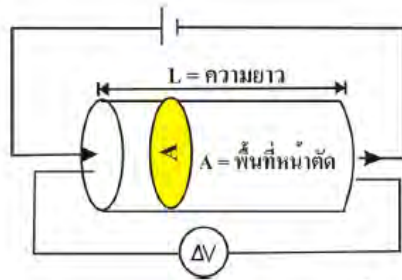
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง

- กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

กฎของโอห์มอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (resistance,  $R$ ) ของตัวต้านทาน กระแสไฟฟ้า (current,  $I$ ) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (potential difference,  $V$ ) ดังสมการ  $V=IR$  จะเห็นได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำหนึ่งมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวนำนั้น

เมื่อพิจารณาตัวนำไฟฟ้าทรงกระบอกที่มีความต้านทาน (resistance,  $R$ ) ความยาวกับ  $L$  และ พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ  $A$  จะได้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (resistivity,  $\rho$ ) มีค่าเท่ากับ  $\rho = \frac{RA}{L}$  จะเห็นว่า ความต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ผลคูณของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวกลางกับค่าความยาวของตัวกลางที่ กระแสไหลผ่านหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวกลาง โดยความต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โอห์ม-เมตร ( $\Omega\cdot m$ ) (ดัง แสดงในรูป 2.6 )

(ก)

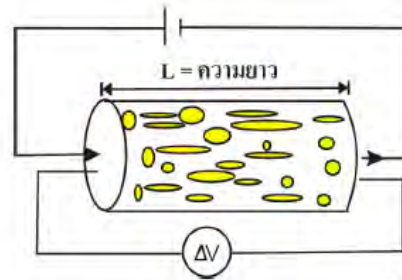


จากกฎของโอห์ม  $V = IR$  และ  $R = \rho \frac{L}{A}$

ดังนั้น 
$$\rho = \frac{\Delta V A}{IL}$$

$\rho$  = สภาพต้านทานไฟฟ้า

(ข)



จากกฎของโอห์ม  $V = IR$  และ  $R = \rho_a \frac{L}{A}$

ดังนั้น 
$$\rho_a = \frac{\Delta V A}{IL}$$

$\rho_a$  = สภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ

ก) กรณีตัวกลางมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจริง (true resistivity)

หรือเรียกสั้นๆว่า ความต้านทานไฟฟ้า

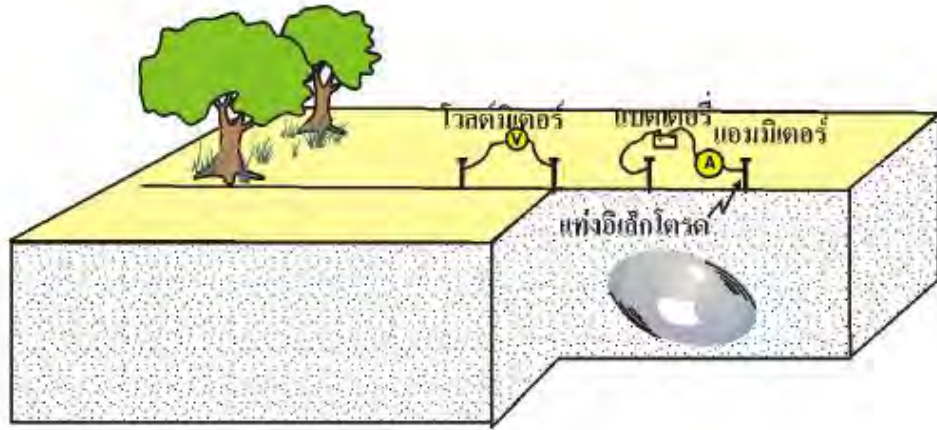
ข) กรณีตัวกลางมีเนื้อผสม จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นค่าของ

ความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (apparent resistivity)

### 2.1.3 วิธีการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า

วิธีการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า ทำโดยปล่อยกระแสไฟฟ้าไปตามเส้นลวดลงสู่ดิน กระแสไฟฟ้าจะไหลออกไปจากจุดที่ปล่อย (รูปที่ 2.7) หากได้ผิวดินเป็นตัวนำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ย่อมสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และเมื่อทราบค่าของกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไป และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ย่อมสามารถหาค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ตามกฎของโอห์ม และจากความต้านทานไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน-หินใต้ผิวดิน ในบริเวณที่ปล่อยกระแสไฟฟ้า และความยาวของระยะทางที่กระแสไฟฟ้าไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหล เมื่อนำหลักการนี้มาสำรวจในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งโดยกำหนดให้ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเท่ากัน และระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน หากสภาพใต้ผิวดินมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากัน ผลคือได้ค่าของความต้านทานไฟฟ้าย่อมเท่ากัน แปลความหมายได้ว่าสภาพใต้ผิวดิน

ของทั้งสองบริเวณมีความคล้ายคลึงกันหรือเหมือนกัน แต่ถ้าสภาพใต้ผิวดินแตกต่างกันผลคือค่าของความต้านทานไฟฟ้าที่วัดย่อมแตกต่างกัน

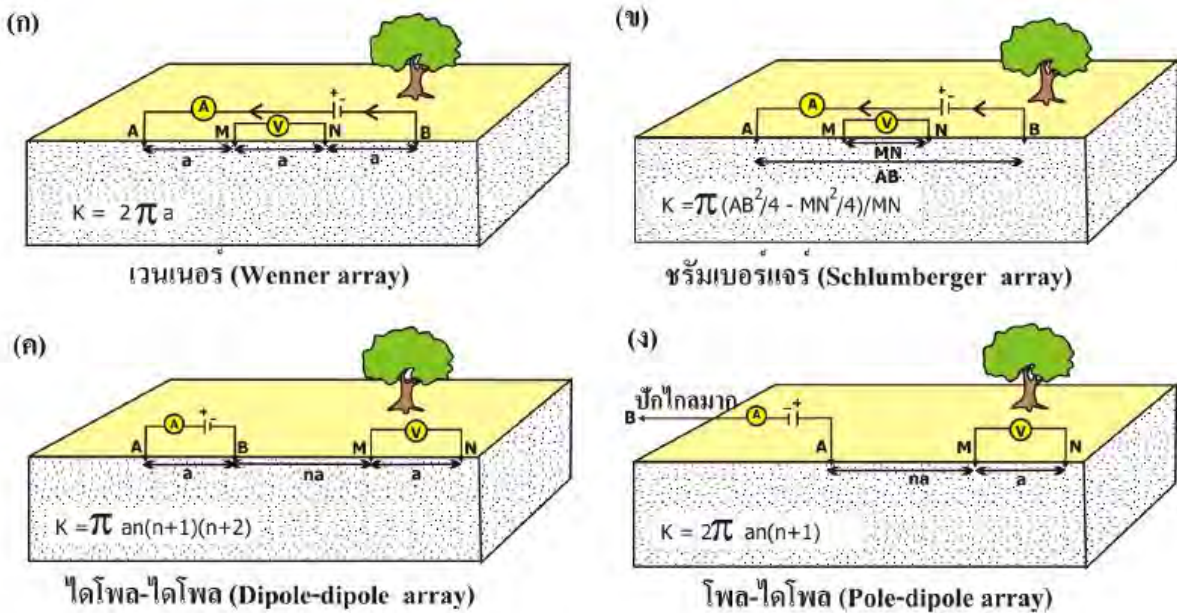


รูปที่ 2.7 หลักการประยุกต์สำหรับวัดความต้านทานไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม โดยมีเบรกเกอร์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และมีแท่งโลหะ (แท่งอิเล็กโทรด) สำหรับปักลงดินเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน  
ที่มา : เพียงตา (2550)

การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าปัจจุบันมีรูปแบบการสำรวจตั้งแต่ 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ และ 4 มิติ โดยที่การสำรวจแบบ 1 มิติ เป็นการสำรวจแบบหยั่งลึก (sounding) เพื่อให้ได้สภาพใต้ผิวดินในแนวตั้ง ส่วนการสำรวจแบบ 2 มิติ เป็นการสำรวจสร้างภาพตัดขวางสภาพใต้ผิวดิน (profiling) ในรูปแนวตั้งและแนวนอน การสำรวจแบบ 3 มิติ เป็นการสำรวจแบบสร้างสภาพใต้ผิวดินเสมือนเป็นแท่งสี่เหลี่ยมที่ขนาดกว้าง ยาวและลึก จึงสามารถสร้างภาพตัดขวางได้ในทุกๆ แนว ไม่ว่าจะเป็นแนวตรงแนวหักมุม หรือแนวคดโค้ง และทุกๆ ความลึกของการสำรวจ สามารถแสดงสภาพการเปลี่ยนแปลงของค่าของความต้านทานไฟฟ้าได้ทุกระดับความลึก ส่วนการสำรวจแบบ 4 มิติ เป็นการสำรวจในลักษณะของการเพิ่มแกนการพิจารณาขึ้นมาอีกหนึ่งแกน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแกนของเวลา เพื่อให้เปรียบเทียบสภาพการเปลี่ยนแปลงใต้ผิวดินเมื่อเวลาผ่านไป การสำรวจแบบ 4 มิติ ยังมีการสำรวจไม่แพร่หลายนัก เป็นการศึกษาทดลอง เช่น ใช้ติดตามดูการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดิน เป็นต้น

การจัดวางขั้วอิเล็กโทรด (Electrod Array) ในการสำรวจ ซึ่งไม่ว่าจะทำการสำรวจแบบ 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ หรือ 4 มิติ สิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ รูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งรูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดมีหลายรูปแบบ มีข้อเด่นข้อด้อยแตกต่างกัน แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มที่จัดวางแบบแนวเส้นตรง (linear array) และ (2) กลุ่มที่จัดวางแบบไม่เป็นเส้นตรง (non-linear array) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มกลุ่มที่ทำการแพร่หลาย คือ กลุ่มที่จัดวางแบบเส้นตรง และในกลุ่มที่จัดวางแบบแนวเส้นตรง มี 4 รูปแบบที่เป็นที่นิยม (รูปที่ 2.8) คือ (1) แบบเวนเนอร์ (Wenner array) (2) แบบ ชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) (3) แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole array) และ (4) แบบโพล-ไดโพล (Pole-dipole array) จากรูปที่ 2.7 ใช้สัญลักษณ์ของขั้วที่ปล่อยกระแสเป็น AB แทน C1C2 หรือใช้ MN แทน P1P2

กรณีของการสำรวจแบบ 1 มิติ หรือแบบหยั่งลึก รูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดจะเป็นแบบเวนเนอร์ และชรัมเบอร์เจอร์ โดยจุดกึ่งกลางระหว่าง AB และ MN ไม่มีการเคลื่อนย้าย การย้ายจะย้ายอิเล็กโทรดออกจากจุดกึ่งกลางขยายออกไป และหากขยายออกไปได้กว้างมากเท่าใด แสดงว่าได้ผลสำรวจที่ความลึกเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับความกว้างของระยะขั้วอิเล็กโทรด ที่ใช้ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า



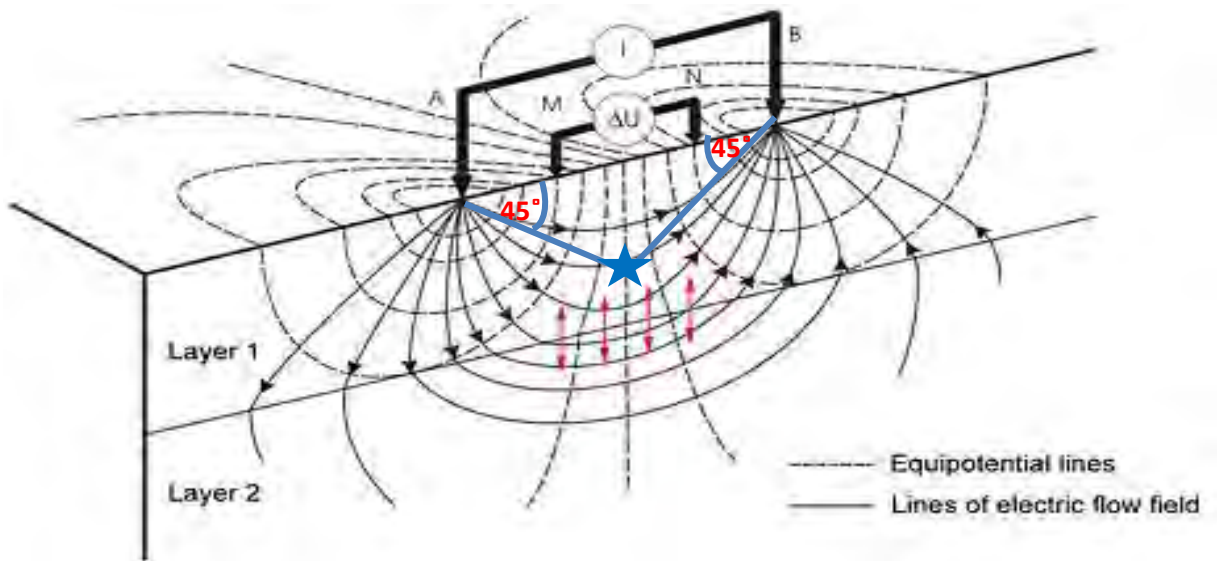
รูปที่ 2.8 รูปแบบของการจัดวางอิเล็กโทรด ก)แบบเวนเนอร์ (Wenner array) ข)แบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) ค)แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole array) ง)แบบโพล-ไดโพล (Pole-dipole array)

ข้อเด่นและข้อด้อยของการจัดวางอิเล็กโทรดแบบต่างๆ จากการศึกษาการเปรียบเทียบของ เอ็ม.เอส.

โลค (Loke, 1999) ตามตารางดังต่อไปนี้

รูปแบบการจัดวาง อิเล็กโทรด	ข้อเด่น	ข้อด้อย
1.แบบเวนเนอร์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวตั้งได้ดี นั่นคือเหมาะสำหรับการหาชั้นหินวางตัวแนวราบ (horizontal structure)</li> <li>- Signal-to-Noise ratio (S/N) ของการจัดวางอิเล็กโทรดแบบเวนเนอร์สูงมากกว่ารูปแบบอื่นๆ (S/N สูงที่สุด)</li> <li>- ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.52 a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะในการตรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาแนวตั้ง เช่น โฟรง พนัง (dike) หรือแหล่งสะสมตัวของแร่ (ore body)</li> </ul>
2. แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole array)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถ ตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวราบได้ดี นั่นคือเหมาะสำหรับการตรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาแนวตั้ง เช่น โฟรง พนังของหินอัคนี รอยเลื่อน หรือแหล่งสะสมตัวของแร่</li> <li>- ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.22L เมื่อ L คือความยาวมากสุดของระยะห่างอิเล็กโทรด และในกรณีที่ค่า n มีค่าตั้งแต่ 4 ขึ้นไป</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะในการหาชั้นหินวางตัวแนวราบ</li> <li>- อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) ต่ำมากกว่าการจัดวางอิเล็กโทรดรูปแบบอื่นๆ (S/N ต่ำที่สุด)</li> </ul>

<p>3. แบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger Array) (รูปที่ 2.9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวตั้งและแนวนอนได้ปานกลาง เหมาะสำหรับสภาพธรณีวิทยาที่มีโครงสร้างการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวตั้งและแนวนอน</li> <li>- ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.64 AB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) น้อยกว่ารูปแบบเวเนเนอร์ แต่ดีกว่ารูปแบบโพล-ไดโพล และ ไดโพล-ไดโพล</li> </ul>
<p>4. แบบโพล-ไดโพล (Pole-Dipole Array)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวราบได้ดี นั่นคือเหมาะในการตรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาแนวตั้ง เช่นเดียวกับแบบไดโพล-ไดโพล</li> <li>- กระแสไหลลงในพื้นดินได้ระยะทางมากกว่าการสำรวจแบบอื่นๆ กระแสไหลได้ และครอบคลุมพื้นที่ในแนวราบ (horizontal coverage) ได้กว้างมากกว่า</li> <li>- การวางรูปแบบนี้เหมาะในการสำรวจแบบ 3 มิติ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) สูงกว่ารูปแบบไดโพล-ไดโพล แต่ต่ำกว่ารูปแบบเวเนเนอร์ และชรัมเบอร์เจอร์</li> <li>- การวางระยะห่างของขั้วที่ปล่อยกระแสต้องไกลมาก จึงต้องใช้สายไฟยาวมาก</li> <li>- รูปแบบการไหลของกระแสไฟฟ้าไม่สมมาตร อาจส่งผลให้การแปลความหมาย โดยเฉพาะการแปลความหมายในลักษณะที่เป็นการแปลความหมายแบบย้อนกลับ (inverse modeling) อาจมีความผิดพลาดได้มาก</li> </ul>

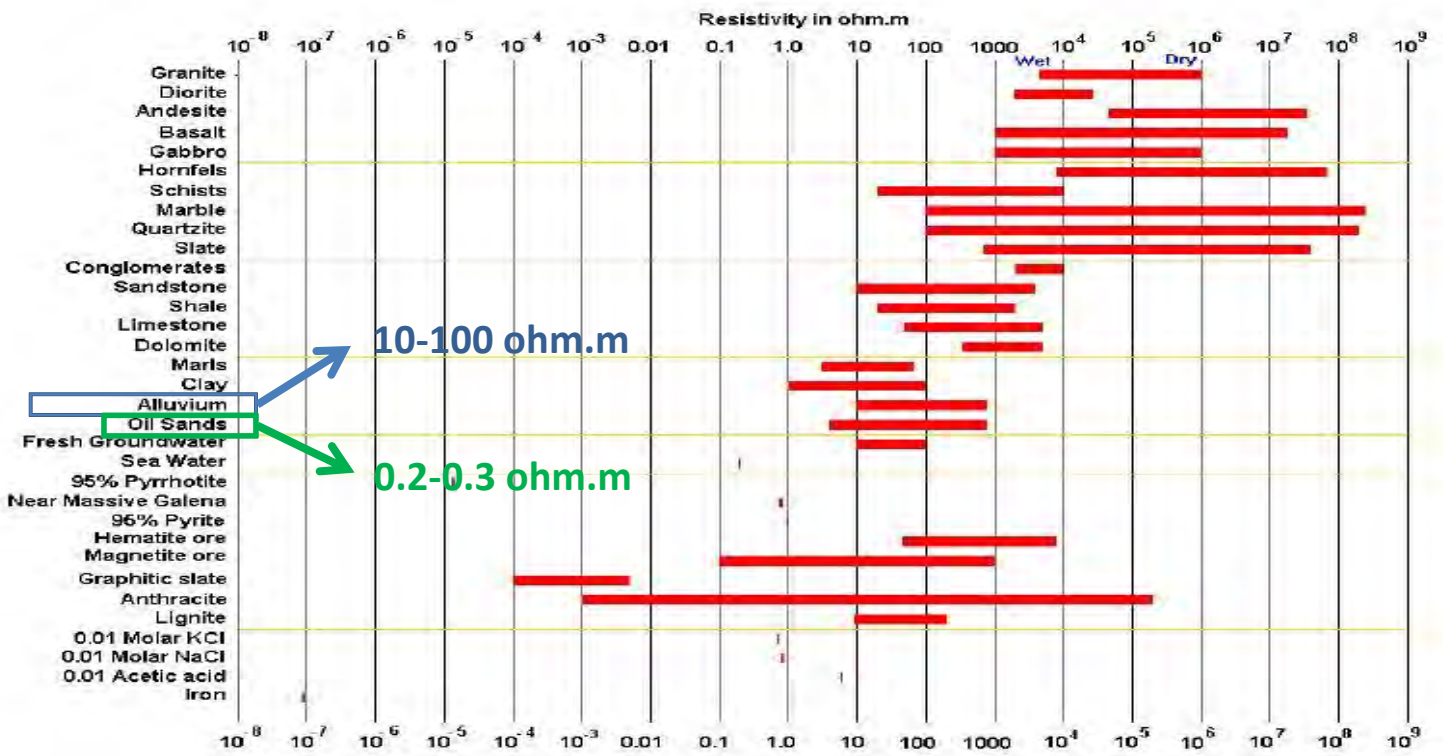


รูปที่ 2.9 รูปแบบการจัดวางอิเล็กโทรดแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) แสดงเส้นกระแสสมมติ (Line of electric flow field) ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential line) ตำแหน่งสัญลักษณ์ดาว คือ ตำแหน่งข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่ได้

ที่มา : [www.arctic-geophysics.com/methods\\_resistivity](http://www.arctic-geophysics.com/methods_resistivity)

ค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นหินหรือชั้นดินในแต่ละชั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วย แร่องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน เนื่องด้วยน้ำทะเลมีปริมาณธาตุไอออนสูงกว่าในน้ำบาดาล ดังนั้นน้ำทะเลจึงมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำบาดาล จากรูปที่ 2.10 พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำทะเลจะต่ำมากอยู่ที่ประมาณ 0.2-0.3 ohm.m ส่วนน้ำบาดาลอยู่ที่ประมาณ 10-100 ohm.m





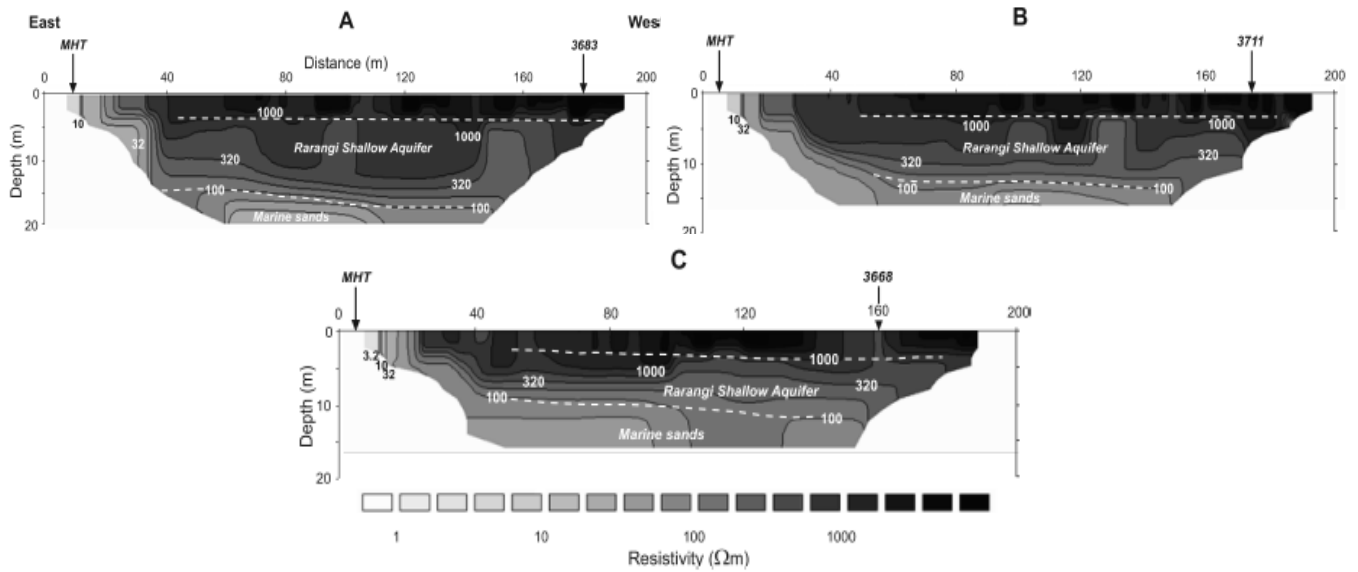
รูปที่ 2.10 ค่าความต้านทานไฟฟ้าในชั้นหินชั้นดินชนิดต่างๆ

ที่มา : [www.cas.umt.edu/geosciences](http://www.cas.umt.edu/geosciences)

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

Choudhury และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาการรูก้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล บริเวณตะกอนน้ำพัดพาชายหาด (alluvial coastal) ใน Digha ของประเทศอินเดีย โดยทำการศึกษาจากวิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) ควบคู่ไปกับการวัดคลื่นไหวสะเทือนหักเหระดับตื้น (shallow seismic refraction) ทั้ง 2 วิธีสามารถวิเคราะห์โซนที่มีน้ำเค็มสูงไปจนถึงโซนที่มีน้ำเค็มเข้าไปผสมน้อยได้ จากการสำรวจใน Digha พบชั้นเคลย์ที่หนาและต่อยาวลงไปถึงใต้ทะเล และอยู่ลึกลงไปใต้ผิวดินประมาณ 60 เมตร โดยชั้นเคลย์นี้มีน้ำทะเลแทรกซึมเข้ามาแล้วไม่กี่แห่ง ฉะนั้นยังมีอีกหลายบริเวณที่น้ำบาดาลสามารถสูบขึ้นมาใช้งานได้ จากข้อมูลการสำรวจทั้งหมดสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าวิธีการธรณีฟิสิกส์สามารถใช้หาการรูก้ำของน้ำทะเลในชั้นเคลย์ชายหาดได้ดี

Ingham และคณะ (2006) ทำการศึกษาการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในประเทศนิวซีแลนด์ และพื้นที่อื่นๆรอบโลก ในอดีตการศึกษาการรุกรานของน้ำทะเลมักใช้ข้อมูลเป็นจุดตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลแล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางเคมี แต่ในปัจจุบันมีความต้องการที่จะติดตามการรุกรานของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้วิธีที่มีความสะดวกและรวดเร็วกว่า ได้แก่ การประยุกต์เทคนิค Resistivity traverses ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของ 2 หรือ 3 มิติ งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับพื้นที่ 3 แห่ง คือ Waikanae Beach, Rarangi และ Te Horo โดยใช้เทคนิค Resistivity traverses และประมวลผลออกเป็นภาพ 2 มิติในการเก็บข้อมูลการรุกรานของน้ำทะเล (รูปที่ 2.11) ซึ่งข้อมูลที่ได้บ่งบอกถึงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของแต่ละตำแหน่ง ถ้าเป็นบริเวณที่มีน้ำเค็มค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะต่ำมาก เนื่องจากมีไอออนของคลอไรด์ในปริมาณสูง ส่วนบริเวณที่น้ำทะเลผสมกับน้ำบาดาล (mixing zone) ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าสูงกว่าน้ำเค็ม เนื่องจากมีไอออนของคลอไรด์ปะปนอยู่น้อยกว่า และถ้าเป็นบริเวณน้ำจืด จะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณที่เป็นน้ำเค็มและบริเวณที่น้ำทะเลผสมกับน้ำบาดาล จากภาพสภาพต้านทานไฟฟ้า 2 มิติ อย่างไรก็ตามอาจไม่สามารถแบ่งแยกขอบเขตที่ชัดเจน (sharp contact) ระหว่างน้ำจืด น้ำเค็ม และบริเวณที่น้ำจืดกับน้ำเค็มผสมกันได้ อย่างชัดเจน แต่สามารถระบุระยะการรุกรานของน้ำทะเลได้โดยประมาณเท่านั้น และจากการรวบรวมข้อมูลการรุกรานของน้ำทะเลพบว่ามีปัจจัยหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับการรุกรานของน้ำทะเล อาทิ ความลาดชัน (hydraulic gradient) บริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล ความหนาของชั้นน้ำ (aquifer) และความแตกต่างของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวตั้ง เป็นต้น ฉะนั้นพื้นที่ในแต่ละพื้นที่จึงให้ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมของพื้นที่นั้นๆ ด้วย



รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางของการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 แนวสำรวจที่ Rarangi MHT คือ ระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เส้นปะด้านบนแสดงถึงระดับน้ำบาดาล เส้นปะด้านล่างแสดงขอบเขตล่างของชั้นตะกอนอุ้มน้ำ (Rarangi Shallow Aquifer)  
ที่มา : Ingham และคณะ (2006)

Al-Sayed (2007) และคณะ ได้ทำการศึกษาการรุกรานของน้ำทะเลโดยใช้วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและวัดค่าแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วคราวในบริเวณ fan of Wadi Feiran, Sinai ประเทศอียิปต์ โดยได้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ คือ วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธี Schlumberger array) โดยศึกษาทั้ง 1 มิติ และ 2 มิติ เพื่อศึกษาชั้นน้ำและระดับน้ำทะเลที่รุกรานเข้ามาในชั้นน้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนในจุดเจาะน้ำบาดาลต่อไป จากการศึกษาพบว่าในพื้นที่ที่ศึกษาสามารถแบ่งชั้นน้ำได้เป็น 3 ชั้น คือ ตะกอนน้ำพัดพา (alluvial and gravel deposits) ตะกอนทรายที่มีดินเหนียว (clayed sand) และดินเหนียวที่มีตะกอนทรายปนอยู่สูง (sandy clay) ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ และมีน้ำทะเลรุกรานเข้ามาอยู่ในชั้นของตะกอนทรายที่มีเหนียวผสม (clayed sand)

Adepelumi (2008) ได้ทำการศึกษาการรุกคืบของน้ำเค็มเข้าสู่แหล่งน้ำจืดในเมืองเพนินซูล่า (Peninsula) ประเทศไนจีเรีย โดยได้ใช้การวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (VES) โดยมีการวางขั้วอิเล็กโทรดแบบซัลล์เบอร์เจ โดยได้วางการสำรวจทั้งหมด 29 จุด เป็นแนวสำรวจ 3 แนว คือ A, B และ C และนำข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้มาเทียบเคียงกับข้อมูลหลุมเจาะ โดยพบว่าชั้นบนสุดเป็นชั้นตะกอนทรายแห้งที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 125-1028 โอห์ม-เมตร ถัดลงมาเป็นชั้นน้ำบาดาลในดินมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 32-256 โอห์ม-เมตร ชั้นดินเหนียวที่มีน้ำทะเลผสมกับน้ำบาดาล (mixing zone) จะแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 4-32 โอห์ม-เมตร และชั้นล่างสุด คือ ชั้นเคลย์ที่มีตะกอนทรายผสมอยู่ แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก น้อยกว่า 4 โอห์ม-เมตร เมื่อเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะ พบว่าชั้นล่างสุดนี้มีน้ำเค็มแทรกเข้ามาเต็มทั้งชั้น ดังนั้นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจึงต่ำมาก และการจากวิเคราะห์ข้อมูลการรุกคืบของน้ำทะเลในพื้นที่พบว่ามี 2 ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการรุกคืบของน้ำทะเลเข้ามา คือ การสูบน้ำบาดาลที่มากเกินไป และความลาดชันของชั้นน้ำบาดาลลดลง

Werner และคณะ (2013) เนื่องจากเศรษฐกิจขยายตัวสูงขึ้น ประชากรเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีการรุกคืบของน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความต้องการใช้น้ำบาดาลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (coastal aquifer) เพิ่มขึ้นมากในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมเทคนิคการประเมินและจัดการการรุกคืบของน้ำทะเลมากกว่า 50 ปี โดยวิธีหลักในการประเมินการรุกคืบของน้ำทะเล สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีหลัก คือ 1) Head measurement เป็นการวัดระดับความดันชลศาสตร์เหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลานานในการวัด และจะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อทราบความลึกของบ่อที่แท้จริง รวมถึงทราบการเปลี่ยนแปลงความเค็มภายในบ่อบาดาล 2) การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เป็นการสำรวจด้วยสภาพต้านทานไฟฟ้า โดยน้ำเค็มจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 0.2 โอห์ม-เมตร ส่วนน้ำจืดจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามากกว่า 5 โอห์ม-เมตร สามารถทำการสำรวจได้ทั้งแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ การสำรวจด้วยวิธีนี้สามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว เหมาะกับการสำรวจในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด ในบริเวณกว้าง และ 3) Environmental tracer เป็นวิธีการติดตามการรุกคืบของน้ำทะเลด้วยการวัดปริมาณธาตุไอโซโทป เช่น ออกซิเจน-18 ไฮโดรเจน-2 ไฮโดรเจน-3 และอัตราส่วนสตรอนเชียม-87ต่อสตรอนเชียม-86 เป็นต้น โดยเทคนิคต่างๆ ในงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์อย่างมากกับการประเมินการรุกคืบของน้ำทะเลในพื้นที่จริง

# บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

- 3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 กำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา
- 3.3 เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลและเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ในพื้นที่ศึกษา และบริเวณข้างเคียง
- 3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก และจัดทำภาพตัดขวาง

# บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. เลือกและกำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา
3. เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้าง และกำหนดตำแหน่งและทำการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่กำหนด
4. แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก และจัดทำภาพตัดขวาง
5. อภิปราย และสรุปผลการศึกษา
6. เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์และนำเสนอผลงาน



### 3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาแล้วและรวบรวมข้อมูลพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่อุทกธรณีวิทยา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ และ 2 มิติในชั้นน้ำบาดาล ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา รวมทั้งข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล

### 3.2 เลือกและกำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

การประยุกต์เอาการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) โดยการวางขั้วแบบซลัมเบอร์เจ มาใช้ตรวจสอบการรูก้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (Qbs) และศึกษาขอบเขตของการรูก้ำของน้ำทะเลที่มีปัจจัยมาจากคลองขุดกับคลองธรรมชาติ บริเวณ ต.ชะอำ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี

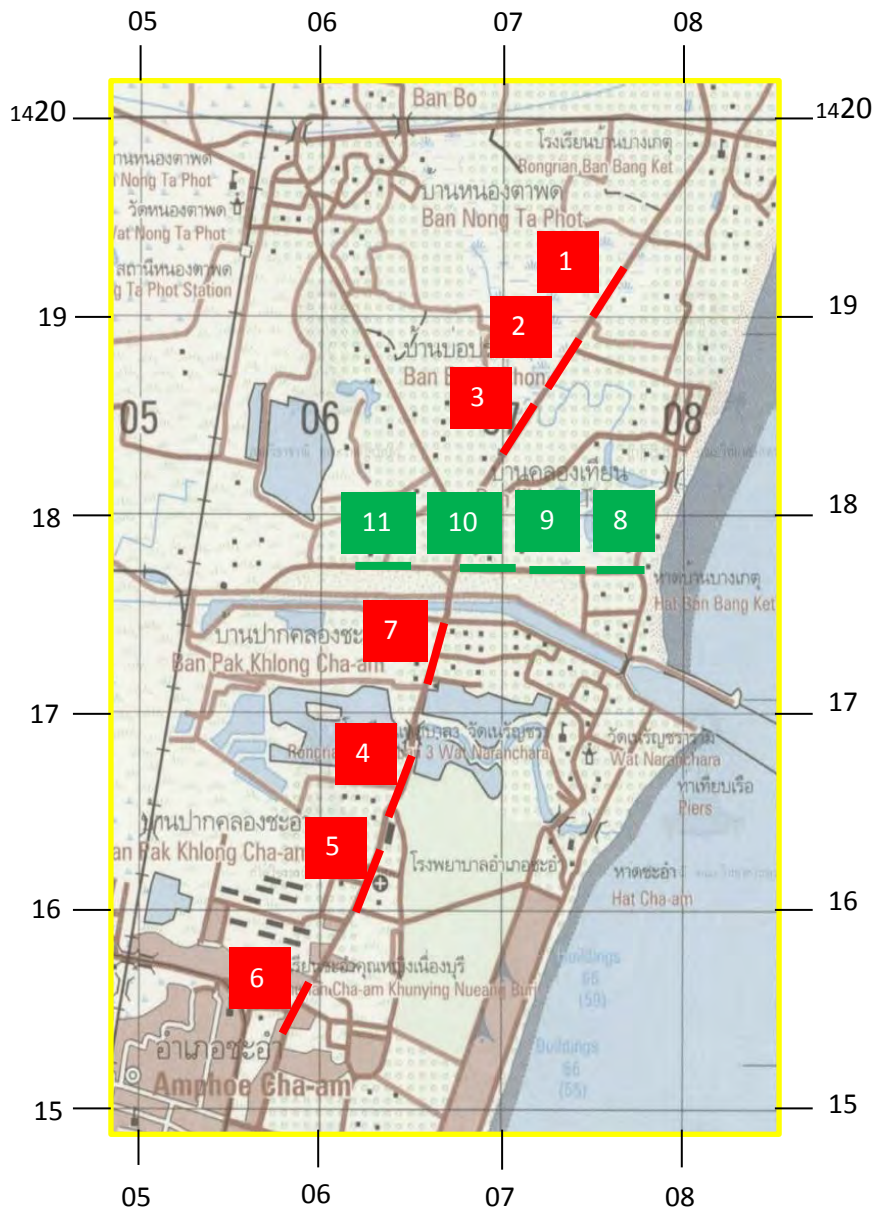
### 3.3 เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลและเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

#### 3.3.1 เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

จากการศึกษาตำแหน่งบ่อบาดาลในจังหวัดเพชรบุรี จากเว็บไซต์ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พบว่ามีบ่อบาดาลจำนวน 2 บ่อที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ 1.บ่อบาดาลในบริเวณวัดเนรัญชนาราม 2. บ่อบาดาลบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่า ดังนั้นจึงทำการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลค่าความเค็ม (Salinity) และค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids, TDS) ของน้ำจากบ่อบาดาล ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในระหว่างวันที่ 10-12 สิงหาคม 2556

### 3.3.2 กำหนดตำแหน่งและทำการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่กำหนด

สำหรับตำแหน่งในการเก็บข้อมูล จะทำการวางแผนสำรวจในทิศตะวันออก-ตะวันตก 5 แนว (ลำดับ 9-13) เพื่อประเมินการรุกรานของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นทรายชายหาดจากหน้าหาด และทำการวางแผนสำรวจในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ 8 แนว (ลำดับ 1-8) เพื่อเปรียบเทียบการรุกรานของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นทรายชายฝั่ง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของคลองขุดและคลองธรรมชาติ (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการวางแผนสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า และลำดับการเก็บข้อมูล



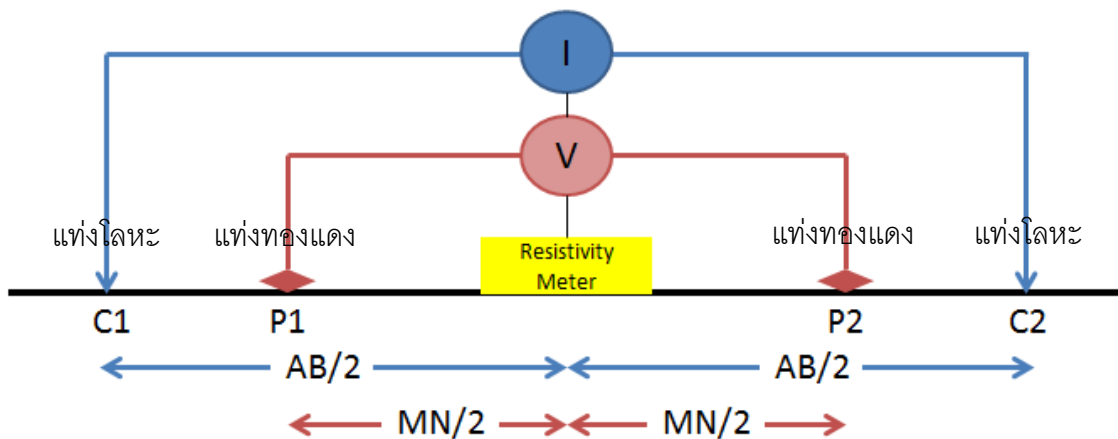
การเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าในภาคสนามเป็นการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) โดยการวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ เนื่องจากการวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์นี้สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีใต้ผิวดินในแนวตั้งและแนวนอนได้ดี ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจนั้นเป็นแบบ 1 มิติ นั่นคือข้อมูลในแนวตั้ง ดังนั้นถ้าต้องการจัดทำภาพตัดขวางจึงต้องทำการสำรวจหลายแนว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต่อเนื่อง จากนั้นจึงนำข้อมูลมาประมวลผลในโปรแกรม IP2WIN เพื่อจัดทำภาพตัดขวาง โดยขั้นตอนในการเก็บข้อมูลภาคสนาม มีดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกภาคสนาม (รูปที่ 3.2) และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้
  - 1.1 เครื่องมือสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า SS08
  - 1.2 แท่งโลหะสำหรับปล่อยกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 แท่ง และแท่งทองแดงสำหรับวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า จำนวน 2 แท่ง
  - 1.3 สายไฟฟ้าม้วนเก็บได้ ยาว 200 เมตร จำนวน 2 ชุด และ ยาว 50 เมตร จำนวน 2 ชุด
  - 1.4 เทปวัดระยะ ยาว 50 เมตร จำนวน 2 อัน
  - 1.5 เครื่อง GPS และเข็มทิศ
  - 1.6 สายไฟคืบแบบสั้น ยาว 1 เมตร จำนวน 2 เส้น
  - 1.7 แบตเตอรี่ 12V และสายต่อแบตเตอรี่
  - 1.8 ค้อนจำนวน 3 อัน
  - 1.9 ถุงมือผ้า แก้วใส่น้ำ และวิทยุสื่อสาร จำนวน 4 เครื่อง
  - 1.10 โปรแกรมประมวลผล IPI2WIN



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)

2. ออกภาคสนามเพื่อวัดความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) โดยจัดวางแท่งโลหะเป็นระยะ  $AB/2$  และแท่งทองแดงเป็นระยะ  $MN/2$  ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการการจัดวางแท่งโลหะ และแท่งทองแดง แบบชลัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array)

AB/2 คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้วของการปล่อยกระแสไฟฟ้า (Current electrodes) ที่เป็นหลัก stainless steel ที่ต่อสายมาจากขั้ว C1 และ C2 ของเครื่องมือ (r)

MN/2 คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Potential electrodes) ที่ต่อสายมาจากขั้ว P1 และ P2 ของเครื่องมือ (m)

ค่า k คำนวณได้จากสูตร 
$$k = \frac{\pi(r^2 - m^2)}{2m}$$

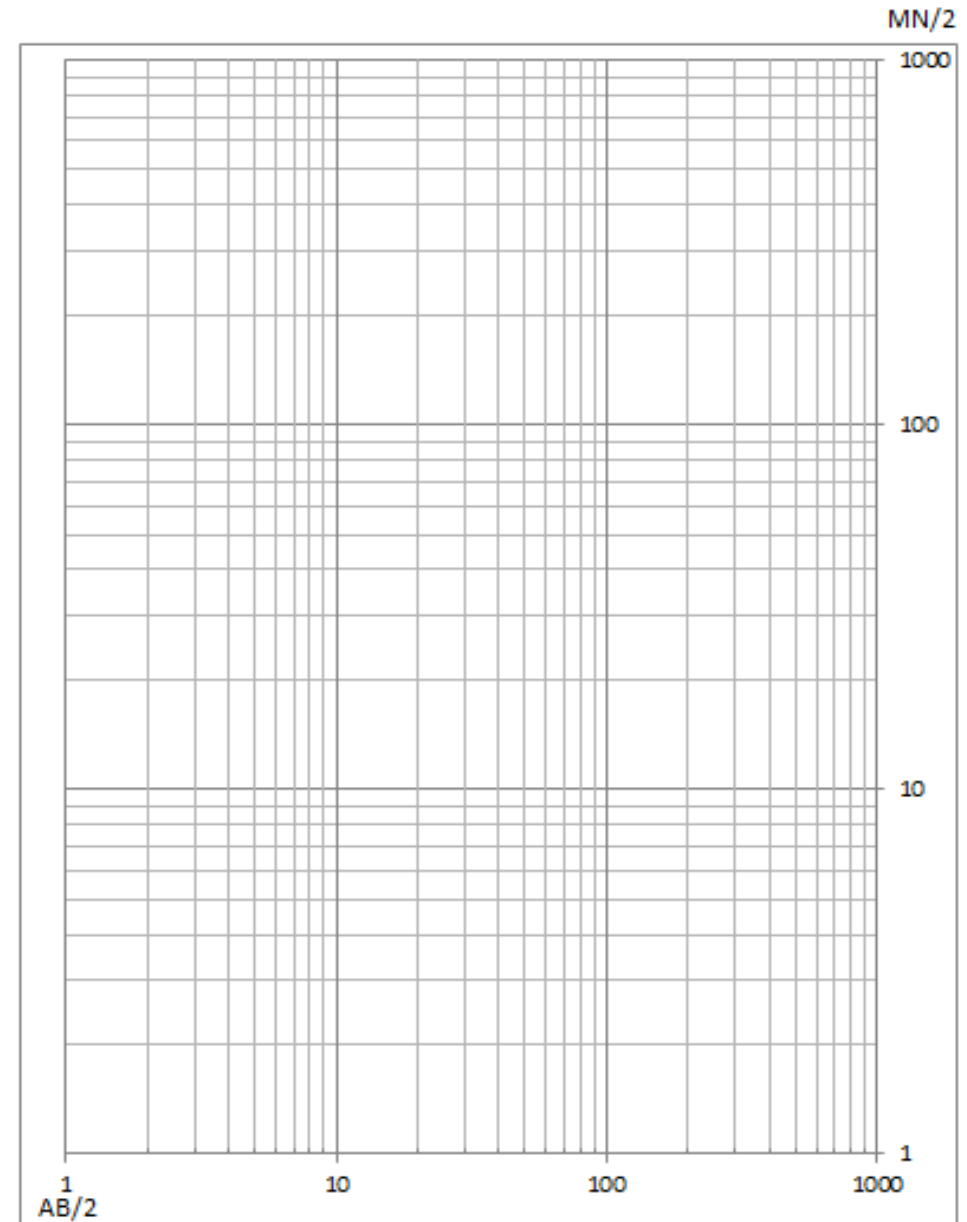
และทำการขยับขั้วโลหะและขั้วทองแดงเป็น ระยะ AB/2 และระยะ MN/2 ตามลำดับ ตามตารางในรูป 3.4 แล้วทำการบันทึกข้อมูล Voltage (V) , Current (I) และ range ลงในตารางบันทึกผลข้อมูล(ตารางที่ 3.6) โดยจะทำการเก็บข้อมูลในแต่ละจุดเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ

Line bearing.....UTM.....

Location.....

จุดสำรวจที่.....วันที่.....

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36								
1.5	0.5	6.29								
2	0.5	11.79								
3	0.5	27.50								
3	2.0	3.93								
5	2.0	16.50								
7	2.0	35.36								
10	2.0	75.43								
10	5.0	23.57								
15	5.0	62.86								
20	5.0	117.86								
25	5.0	188.57								
30	5.0	275.00								
35	5.0	377.14								
40	5.0	495.00								
45	5.0	628.57								
50	5.0	777.86								
50	20.0	165.00								
60	20.0	251.43								
70	20.0	353.57								
80	20.0	471.43								
90	20.0	605.00								
100	20.0	754.29								
110	20.0	919.29								
125	20.0	1196.25								
135	20.0	1400.54								
150	20.0	1736.43								



รูปที่ 3.4 ตารางบันทึกข้อมูล Voltage (V) , Current (I) และ range ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า SS08

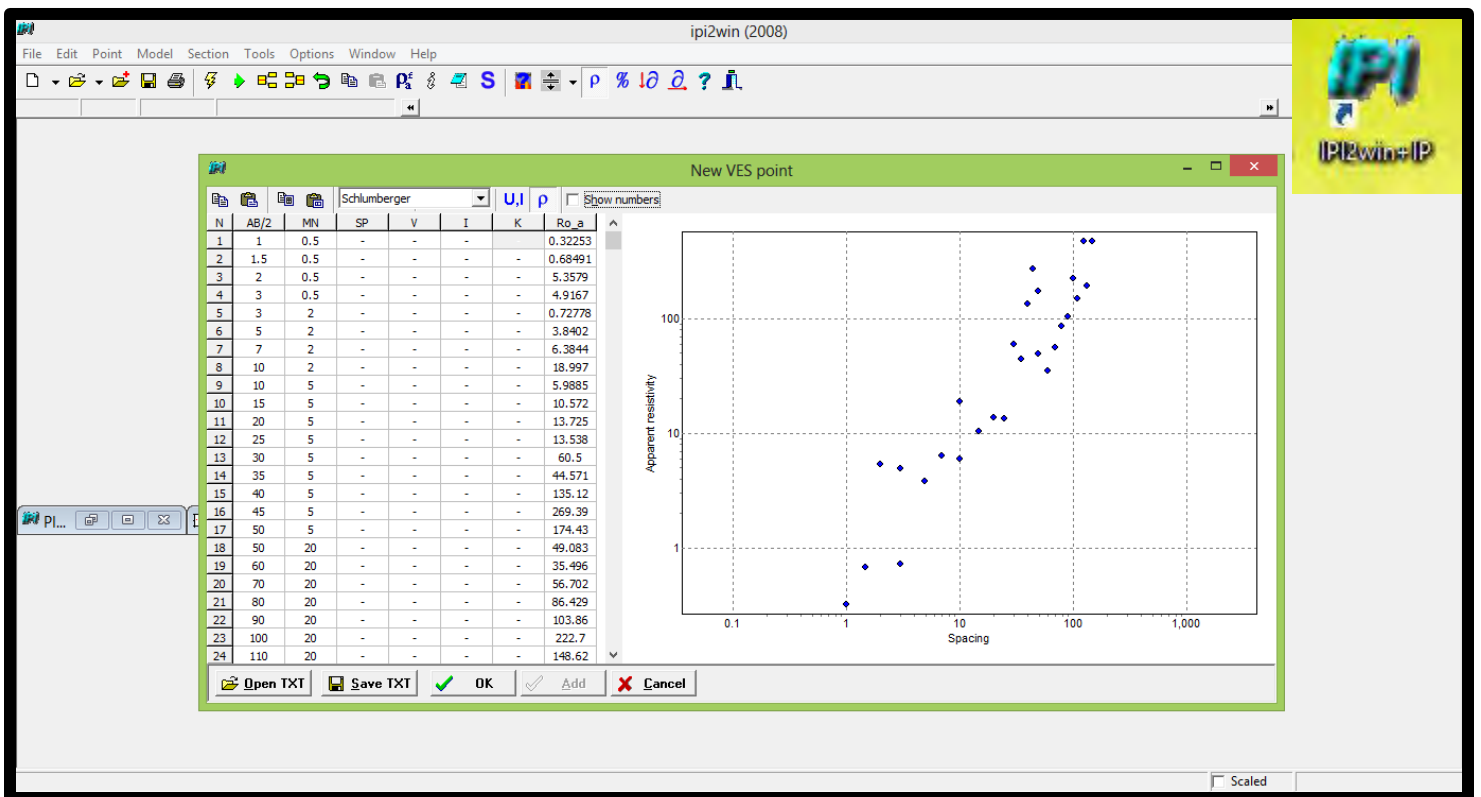
และระยะทาง AB/2 และ MN/2 สำหรับการขยับขั้วโลหะและขั้วทองแดงตามลำดับขณะทำการสำรวจ

3. เมื่อบันทึกข้อมูล Voltage, Current และ range ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า SUESAK SS08 แล้ว นำไปคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยนำค่า V ที่อ่านได้มาคูณกับ range ที่ตั้งไว้ ขณะทำการอ่าน แล้วนำไปคูณกับค่า k จากนั้นนำค่าที่ได้หารด้วยค่า I

$$\text{ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity, Res)} = \frac{V * \text{range} * k}{I}$$

4. เมื่อได้ค่า Resistivity แล้ว นำไปพล็อตลงในกราฟ AB/2 และ MN/2 เพื่อตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ โดยหากข้อมูลกระโดดออกจากแนวโน้มของเส้นกราฟไปมาก ให้ทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ จุดนั้นใหม่อีกครั้ง

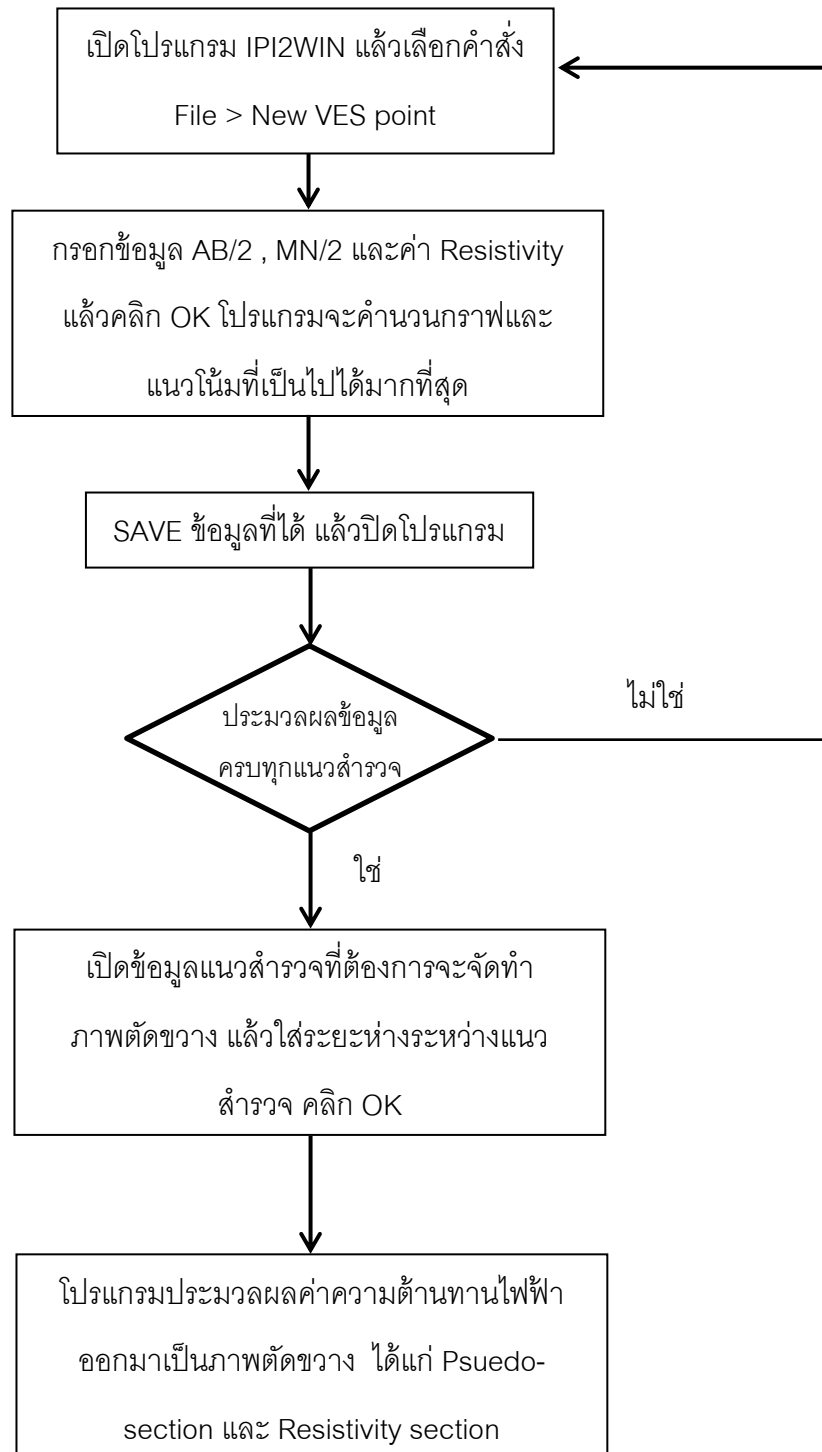
5. จากนั้นนำข้อมูลระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด AB/2 และ MN/2 และข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) มาประมวลผลด้วยโปรแกรม IP2WIN (รูปที่ 3.5) แล้วจัดทำภาพตัดขวาง



รูปที่ 3.5 รูปแบบโปรแกรม IP2WIN หลังทำการกรอกข้อมูล

### 3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก และจัดทำภาพตัดขวาง

การประมวลผลข้อมูลใช้ซอฟต์แวร์ IPI2WIN โดยโปรแกรมจะคำนวณกราฟและแนวโน้มที่เป็นไปได้มากที่สุด เพื่อให้ภาพจำลองมีความถูกต้องมากที่สุด มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าโดยโปรแกรม IPI2WIN



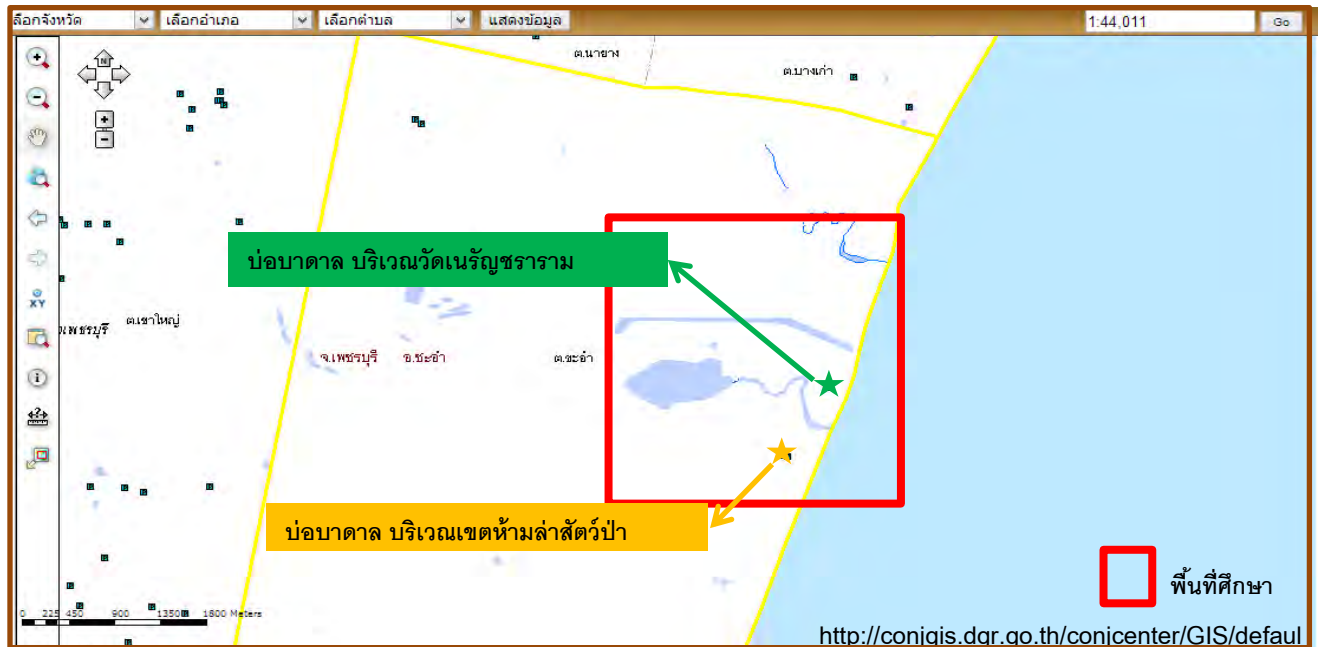
## บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

- 4.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง
- 4.2 ภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้ายังลึก (vertical electrical sounding, VES)
- 4.3 วิเคราะห์ผลและแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model)



# บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล (Result and Data analysis)

## 4.1 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งบ่อบาดาลในภาพถ่ายดาวเทียม จาก Google Earth วันที่ 1 พฤศจิกายน 2556



รูปที่ 4.3 ภาพการเก็บข้อมูลน้ำบาดาลในระหว่างวันที่ 10-12 สิงหาคม 2556

ภาพซ้ายบน : แท็งค์เก็บน้ำของบ่อบาดาลวัดเนรัญชราราม

ภาพขวาบน : น้ำบาดาลจากบ่อบาดาลวัดเนรัญชราราม

ภาพซ้ายล่าง : ขณะกำลังวัดระดับน้ำบาดาลภายในบ่อบาดาลในเขตห้ามล่าสัตว์ป่า

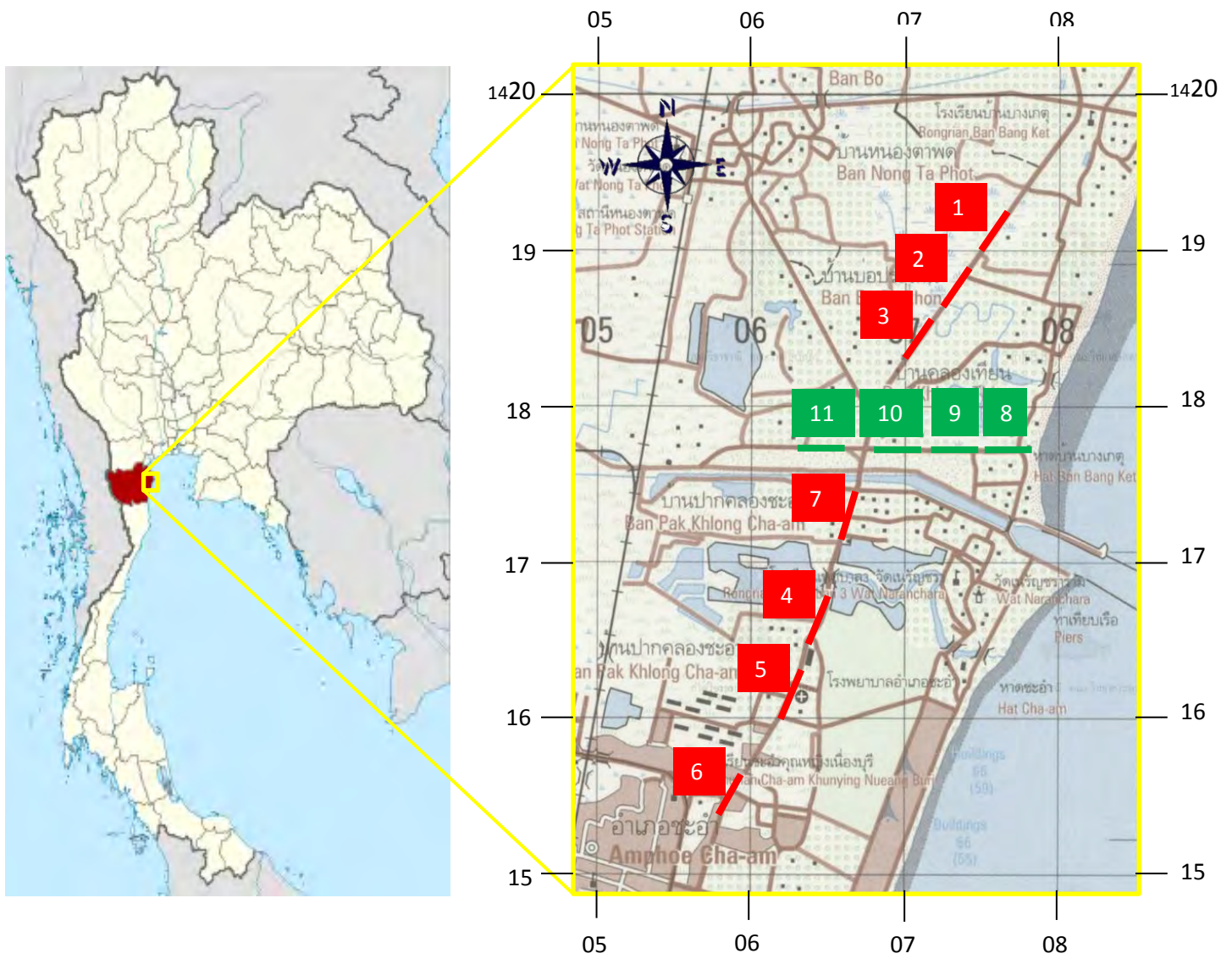
ภาพขวาล่าง : ลักษณะภายนอกของบ่อบาดาลในเขตห้ามล่าสัตว์ป่า

## ตารางบันทึกข้อมูลบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง

No.	Name	X	Y	Depth (m)	Water Level (m)	EC (ms/cm)	Salt (ppt)	TDS (g/L)	pH	Temp (°C)	Remark
1	วัดเนรัญชราราม (จ.86)	0607489	1416828	~ 40	-	2.72	1.4	2.71	7.43	31.8	ยังสามารถทำการสูบน้ำ ขึ้นมาใช้ได้
2	เขตห้ามล่าสัตว์ ป่า (จ.88)	0607095	1416142	114	10.15	4.18	2.2	4.17	7.64	29.6	ขณะไปตรวจวัดไม่ได้ทำการ สูบน้ำ เนื่องจากน้ำฝนมี ปริมาณเพียงพอต่อการใช้

ค่าความเค็มที่ทำการวัด สามารถบ่งบอกถึงน้ำทะเลที่เข้ามาผสมกับน้ำบาดาลมีอย่างน้อยเพียงใด โดยหากวัดค่าความเค็มได้สูงอาจเป็นไปได้ว่าน้ำบาดาลนั้นถูกปนเปื้อนด้วยน้ำทะเลปริมาณสูง จากข้อมูลบ่อบาดาลที่ทำการสำรวจพบว่า ทั้งสองบ่อน้ำจะไม่ได้ใช้น้ำบาดาลจากชั้นตะกอนทรายชายหาด (Qbs) เนื่องจากความลึกของบ่อทั้งสองลึกกว่า 15 เมตร ซึ่งคาดการณ์ได้ว่าน้ำบาดาลที่วัดเนรัญชราราม (จ.86) มาจากชั้นน้ำที่เป็นชั้นโคลนปนกรวด หินดินดาน เศษหิน และดินเหนียว (Qfd) ส่วนน้ำบาดาลที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่า (จ.88) คาดว่าสูบจากชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแกรนิต (Gr) ดังนั้นค่าความเค็ม (Salt) ที่วัดได้ไม่อาจสามารถสื่อถึงน้ำทะเลที่รุกกล้าเข้ามาในชั้นตะกอนทรายชายหาด (Qbs) ได้ และโดยทั่วไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้บริโภคได้จากประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 นั้น กล่าวว่าค่าความเค็ม (Salt) และค่าปริมาณสารละลายทั้งหมด (Total dissolved solids, TDS) ควรอยู่ในช่วง 250-600 มก./ล. และ 600-1200 มก./ล. ตามลำดับ แสดงว่าชั้นน้ำที่บ่อบาดาลทั้ง 2 บ่อ สูบน้ำมาใช้นั้นมีค่าความเค็มและปริมาณสารละลายทั้งหมดเกินมาตรฐาน

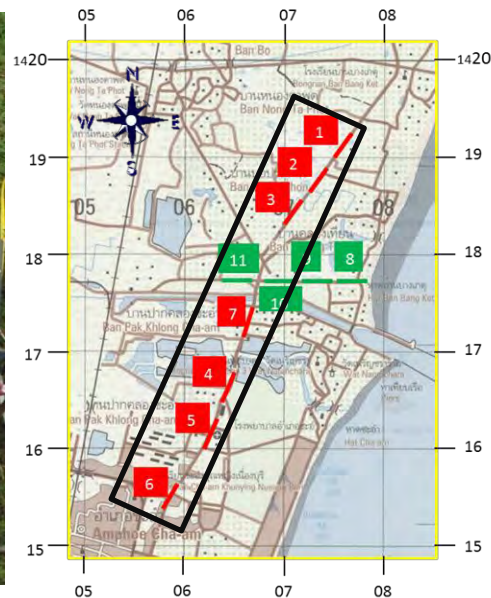
## 4.2 ภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้ายังลึก (VES)



รูปที่ 4.4 แนวสำรวจและลำดับการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey) ในพื้นที่ศึกษา

การเก็บข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าในภาคสนามทั้งหมด แบ่งออกเป็น 2 ครั้ง ได้แก่ วันที่ 23-24 พฤศจิกายน 2556 ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในแนวสำรวจทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) และวันที่ 11 ธันวาคม 2556 ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในแนวสำรวจทิศตะวันออก-ตะวันตก (E-W)

ในการออกสำรวจภาพสนามเพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ในระหว่างวันที่ 23-24 พฤศจิกายน 2556 สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 6 แนวสำรวจ (แนวที่ 1-2-3-4-5-6) ซึ่งเป็นแนว NE-SW เพื่อเปรียบเทียบการรูก ล้ำของน้ำทะเลจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติ ส่วนสภาพอากาศก่อนทำการสำรวจมีฝนตกหนัก ในช่วงเช้าของวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556 ส่วนช่วงทำการสำรวจอากาศโปร่งใสไม่มีฝน สำหรับระดับน้ำทะเล ขึ้นสูงสุดของวันที่ 23 และ 24 พฤศจิกายน 2556 คือ 4.07 และ 4.08 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ภาพการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าในระหว่างวันที่ 24-25 พฤศจิกายน 2556

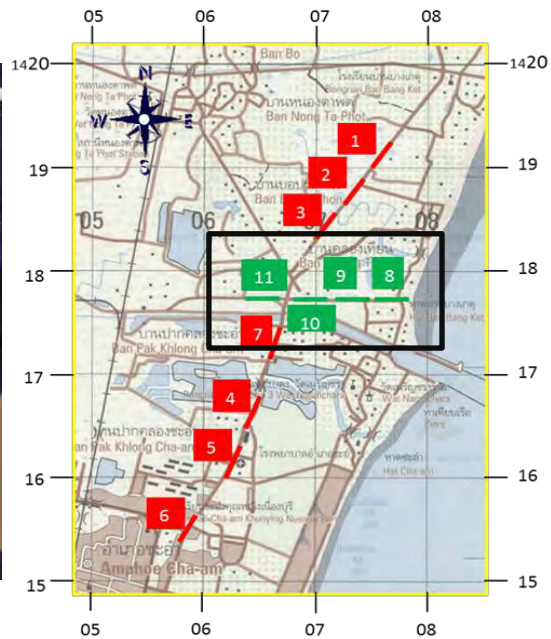
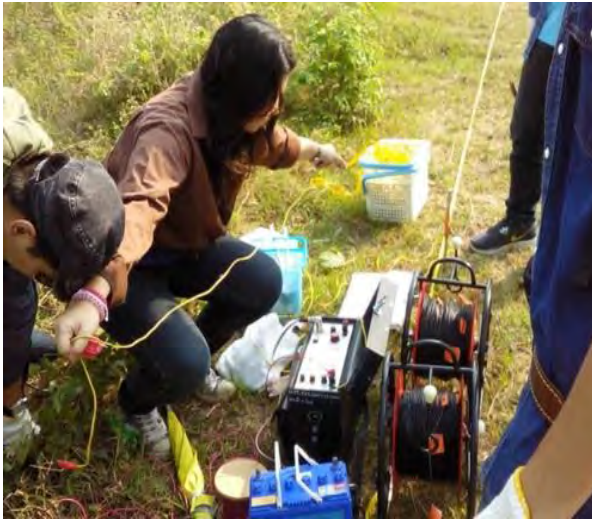
ภาพซ้ายบน : การสำรวจแนวที่ 1 (ขนานชายฝั่ง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของคลองขุด)

ภาพขวาบน : การสำรวจแนวที่ 6 (ขนานชายฝั่ง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ของคลองธรรมชาติ)

ภาพซ้ายล่าง : บันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องสปีดคัท SS09

ภาพขวาล่าง : แผนที่แนวการสำรวจในทิศ NE-SW ทั้งหมด 6 แนว (แนว1-2-3-4-5-6)

ส่วนการออกสำรวจภาพสนามเพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ในวันที่ 11 ธันวาคม 2556 สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 5 แนวสำรวจ ได้แก่ แนวที่ 7-8-9-10-11 ซึ่งเป็นแนวตะวันออก-ตะวันตก (E-W) เพื่อประเมินขอบเขตการรุกรานของน้ำทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน สภาพอากาศโปร่งใสไม่มีฝน สำหรับระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดของวันที่ 11 ธันวาคม 2556 คือ 3.96 เมตร



รูปที่ 4.6 ภาพการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 11 ธันวาคม 2556

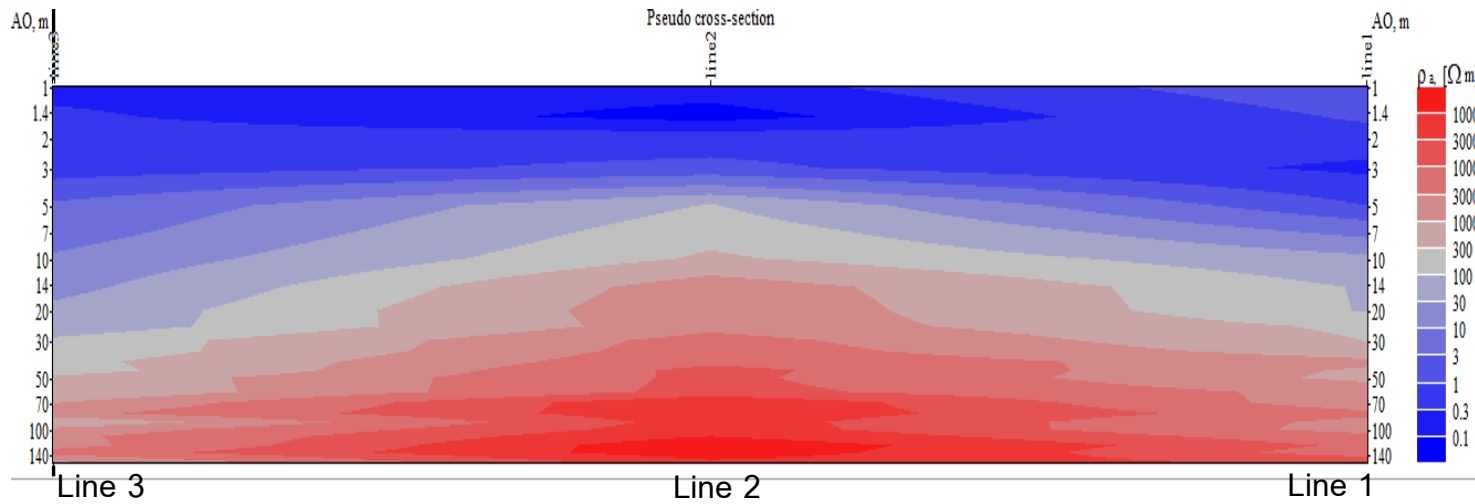
ภาพซ้ายบน : การสำรวจแนวที่ 8 (ตั้งฉากชายฝั่ง ใกล้ชายฝั่งมากที่สุด)

ภาพขวาบน : แผนที่แนวการสำรวจในทิศ E-W ทั้งหมด 5 แนว (แนว 7-8-9-10-11)

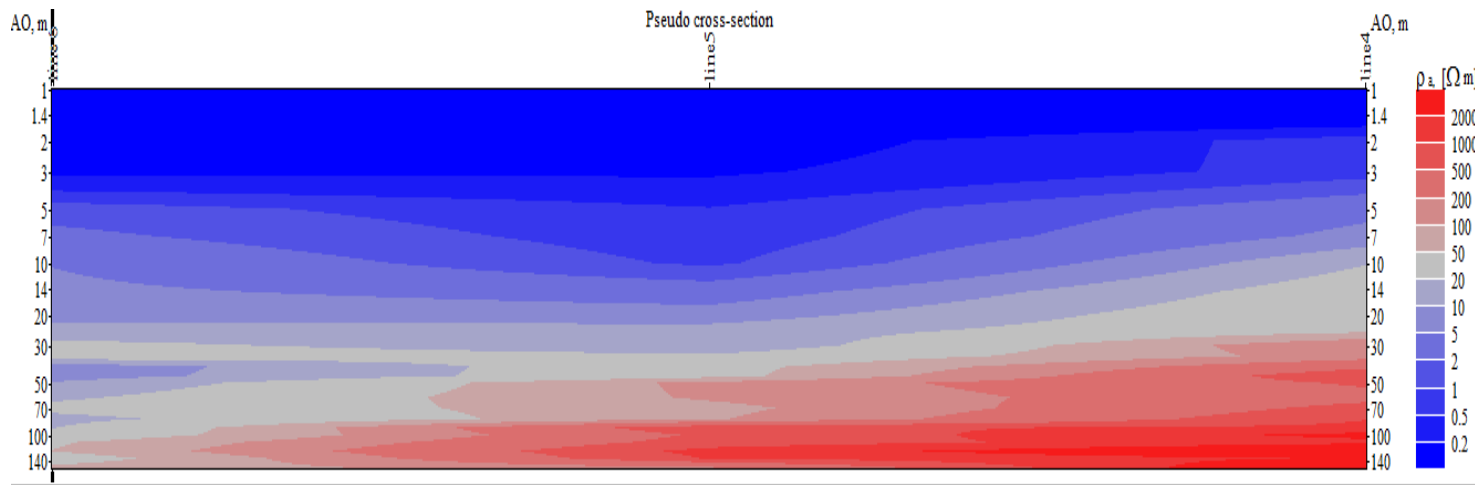
ภาพซ้ายล่าง : การสำรวจแนวที่ 9 (ตั้งฉากชายฝั่ง)

ภาพขวาล่าง : การสำรวจแนวที่ 10 (ตั้งฉากชายฝั่ง)

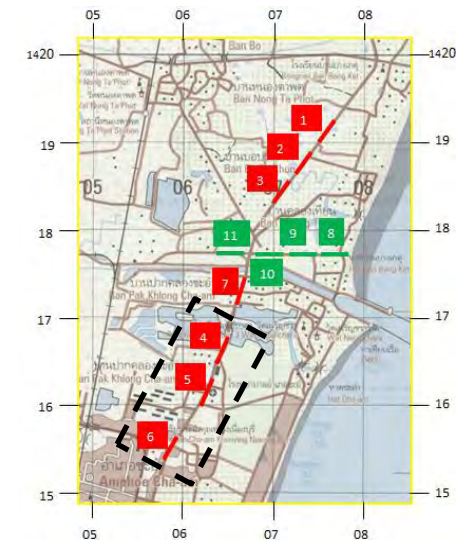
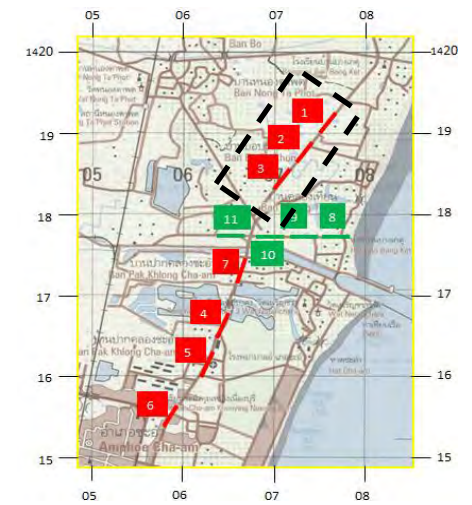
หลังจากได้ข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าแต่ละแนวสำรวจแล้ว จึงนำข้อมูลนั้นมาจัดทำภาพตัดขวาง โดยจัดทำภาพตัดขวางทั้งหมด 4 ภาพ ดังนี้ รูปที่ 4.7 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3 รูปที่ 4.8 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจ 4-5-6 รูปที่ 4.9 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจ 4-7-3 และรูปที่ 4.10 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจ 8-9-10-11

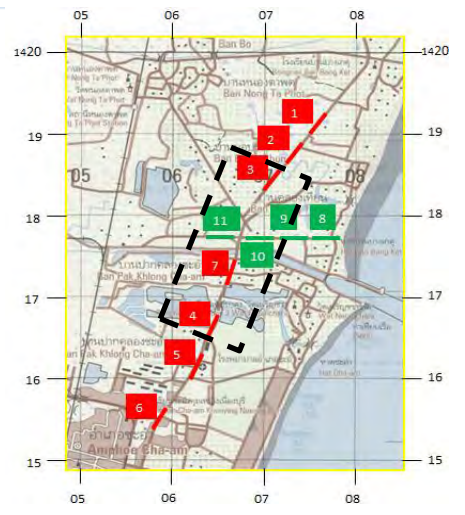
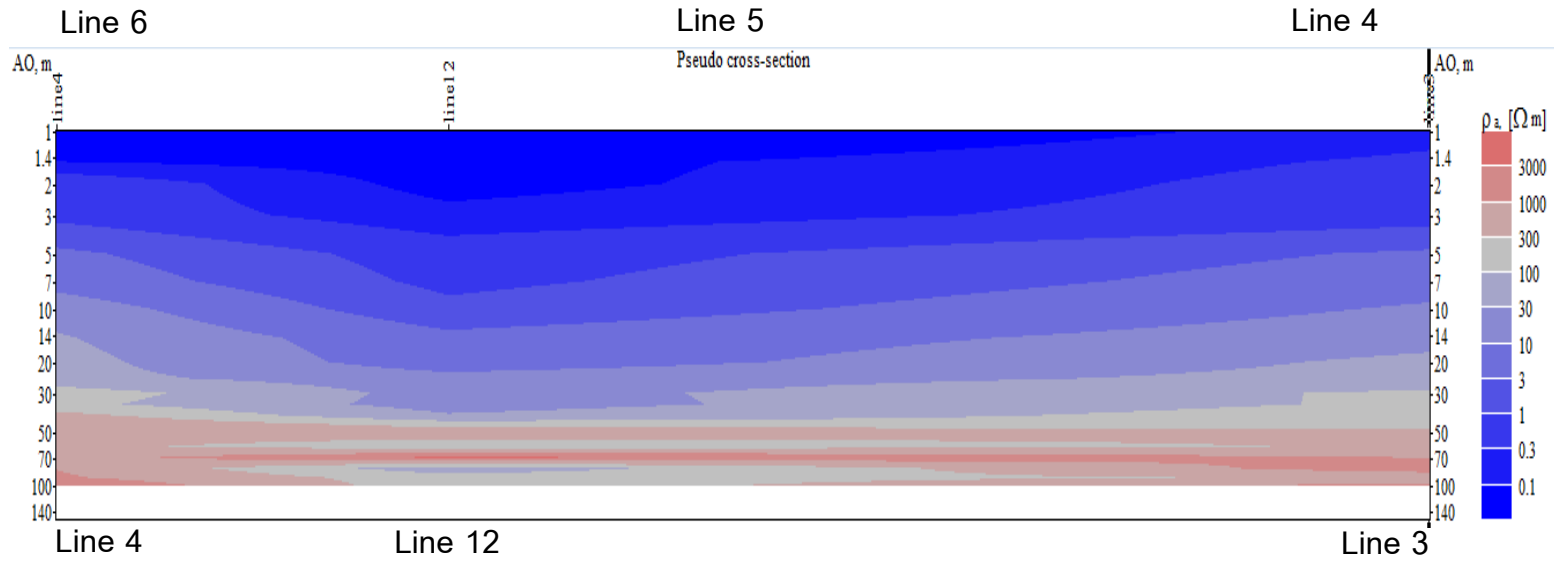


รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3

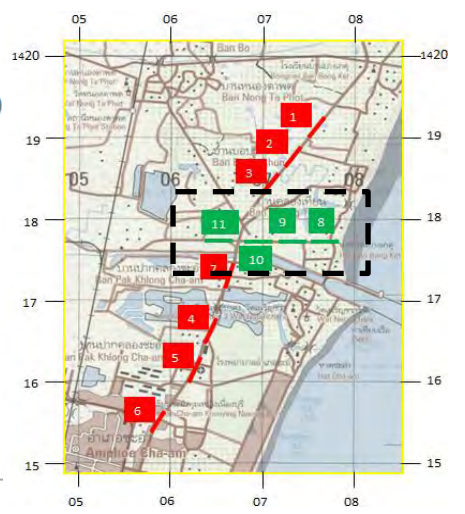
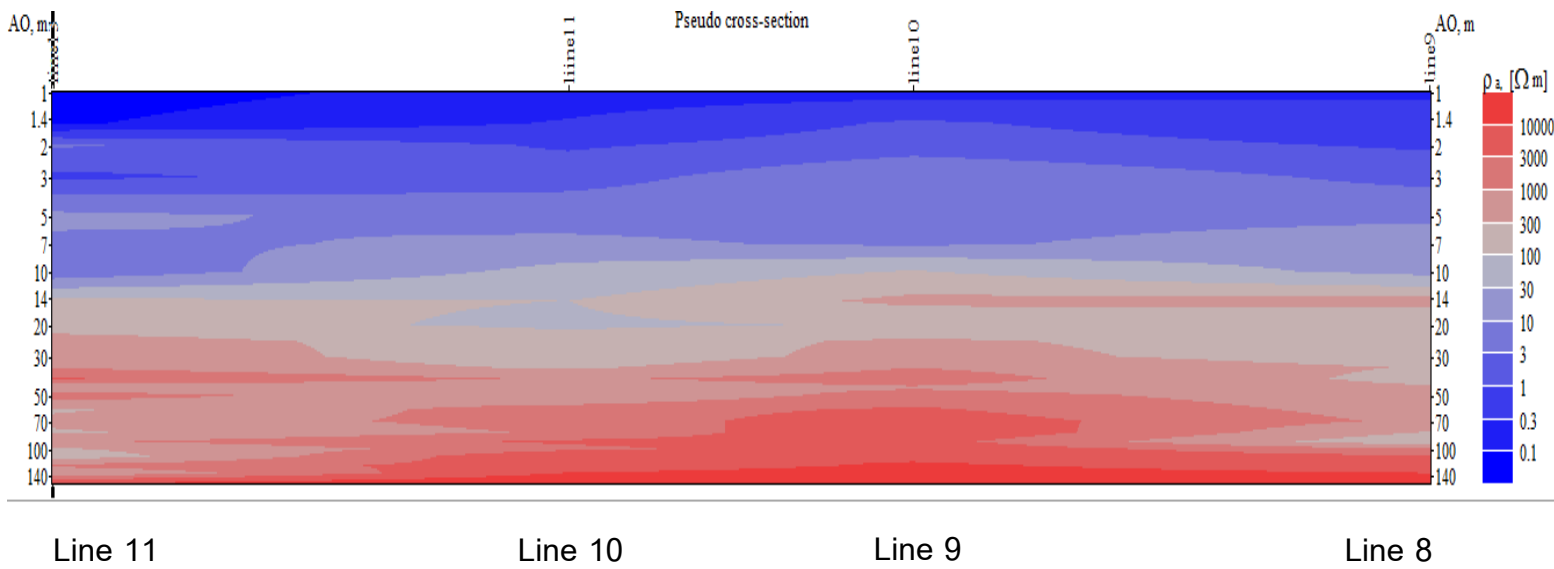


รูปที่ 4.8 ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-5-6





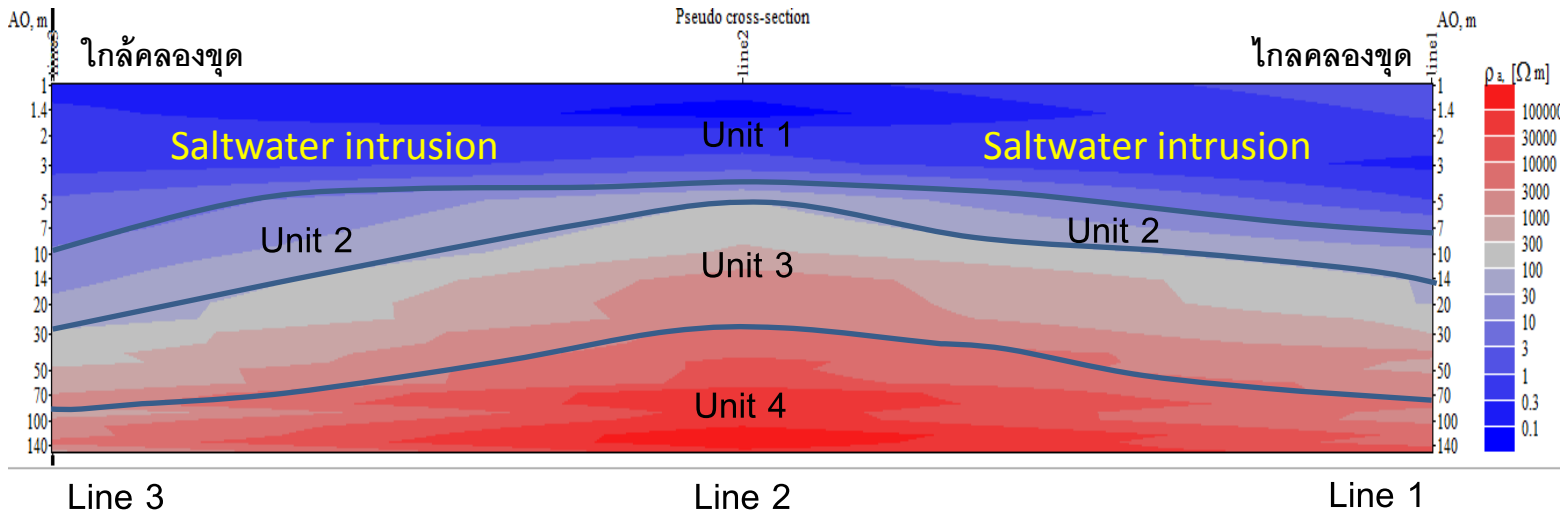
รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-7-3



รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน โดยใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 8-9-10-11



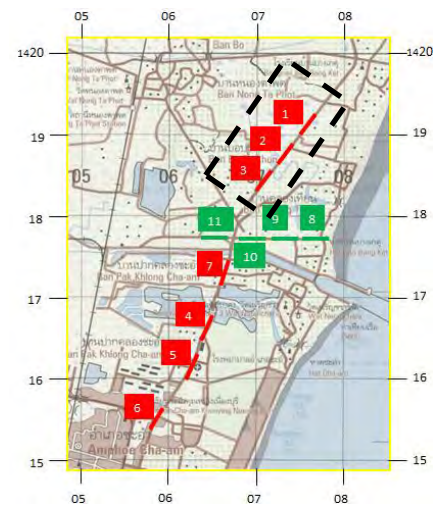
ภาพตัดขวาง รูปที่ 4.11 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3 มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการรุกคืบของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นตะกอนทรายชายหาด จากปัจจัยของคลองขุดที่มีความลึกประมาณ 10 เมตร กว้าง 45 เมตร โดยแนวสำรวจที่ 3 เป็นแนวสำรวจที่อยู่ไกลคลองขุดมากที่สุด ซึ่งห่างจากคลองขุดประมาณ 1 กิโลเมตร ส่วนแนวสำรวจที่ 2 ห่างจากแนวสำรวจที่ 3 ประมาณ 250 เมตร และแนวสำรวจสุดท้าย คือ แนวสำรวจที่ 1 เป็นแนวสำรวจที่ไกลคลองขุดมากที่สุด โดยห่างจากแนวสำรวจที่ 2 ประมาณ 500 เมตร



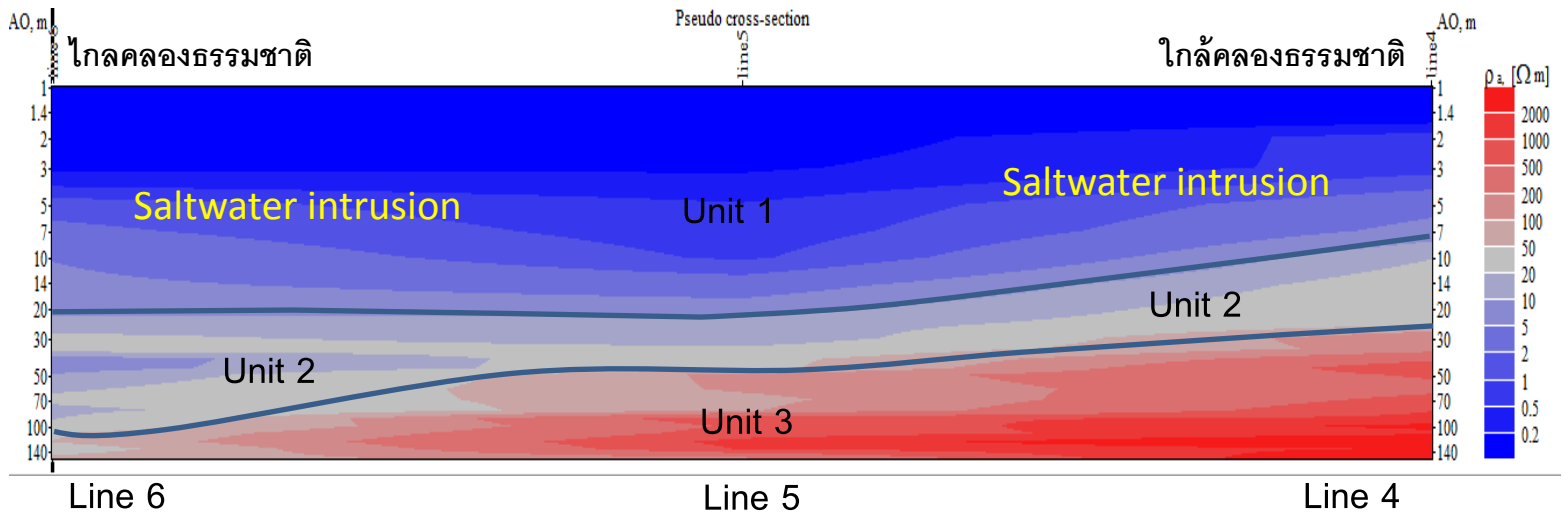
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางภาพที่ 1 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 1-2-3

จากภาพตัดขวางที่ได้สามารถแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 4 ยูนิต โดยจำแนกตามช่วงความต้านทานไฟฟ้า โดยเริ่มตั้งแต่ความลึก 1 เมตร ถึง ประมาณ 8 เมตร จัดเป็น ยูนิตที่ 1 (Unit 1) มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก (very low resistivity) อยู่ในชว่นน้อยกว่า 0.1-10 โอห์ม-เมตร ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นบริเวณที่น้ำทะเลรุกคืบเข้ามาแล้วเนื่องจากมีความต้านทานต่ำมาก ต่อมาด้านล่างของยูนิต 1 ตั้งแต่ความลึกประมาณ 8 เมตร ถึงประมาณ 25

เมตร มีความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ (low resistivity) อยู่ในชว่น 10-80 โอห์ม-เมตร จัดเป็น ยูนิตที่ 2 (Unit 2) ส่วนยูนิตที่ 3 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (medium-high resistivity) อยู่ในชว่น 80-3000 โอห์ม-เมตร ลึกตั้งแต่ 25-70 เมตร และด้านล่างสุดจัดเป็นยูนิต 4 (Unit 4) ซึ่งเป็นยูนิตที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก (high resistivity) นั่นคือมากกว่า 3000 โอห์ม-เมตร

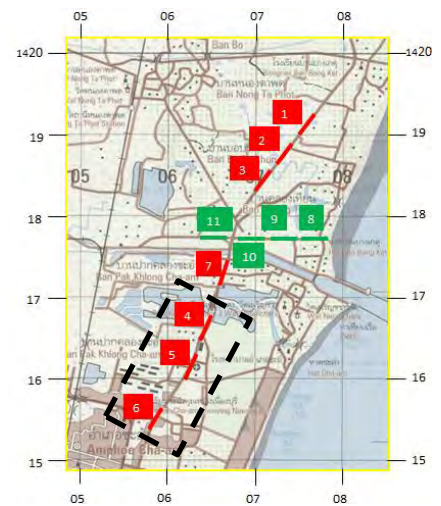


ภาพตัดขวาง รูปที่ 4.12 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-5-6 มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการรุกคืบของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาด จากปัจจัยของคลองธรรมชาติ ที่ลึก 1-2 เมตร และกว้าง 25 เมตร โดยแนวสำรวจที่ 4 เป็นแนวสำรวจที่ใกล้คลองธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งห่างจากคลองธรรมชาติประมาณ 250 เมตร และจากแนวสำรวจที่ 5 ประมาณ 625 เมตร ส่วนแนวสำรวจที่ 6 เป็นแนวสำรวจที่ไกลคลองธรรมชาติมากที่สุด และห่างจากแนวสำรวจที่ 5 ประมาณ 750 เมตร

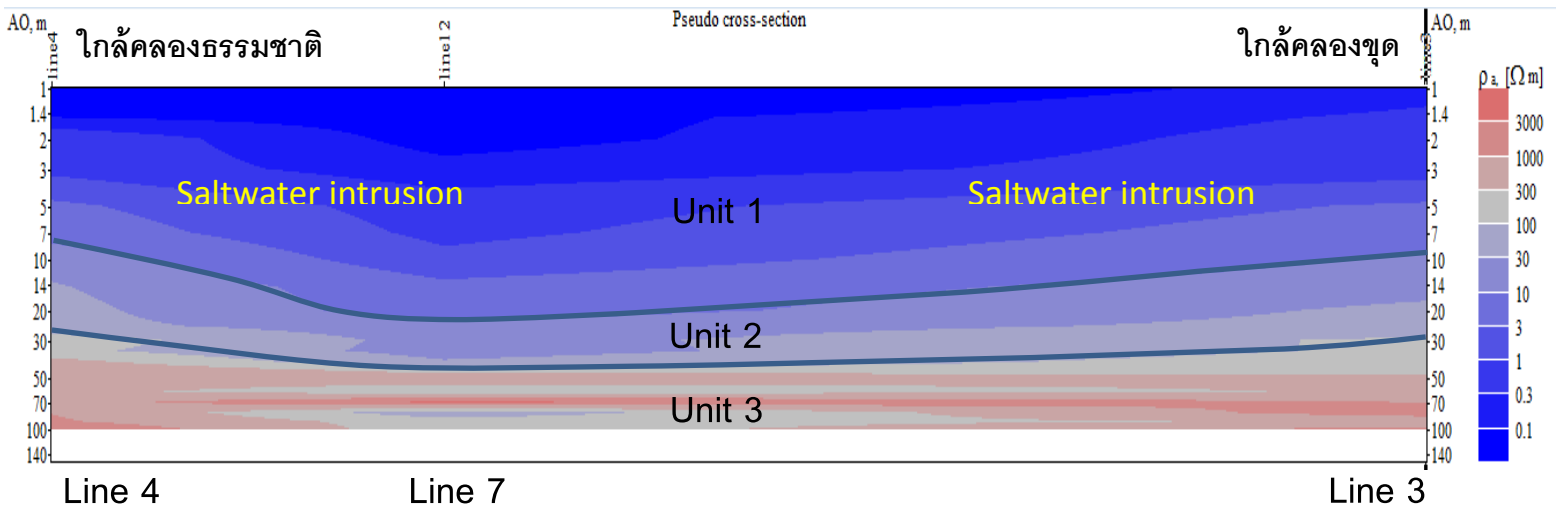


รูปที่ 4.12 ภาพตัดขวางภาพที่ 2 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-5-6

จากภาพตัดขวางของแนวสำรวจ 4-5-6 สามารถแบ่งช่วงความต้านทานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 3 ยูนิต ดังนี้ ยูนิตที่ 1 (Unit 1) มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก (very low resistivity) น้อยกว่า 0.1-10 โอห์ม-เมตร โดยด้านใกล้คลองธรรมชาติมีความลึกตั้งแต่ 1-7 เมตร ส่วนด้านไกลคลองธรรมชาติมีความลึกตั้งแต่ 1-20 เมตร ซึ่งคาดการณ์ว่าเป็นบริเวณที่มีน้ำทะเลรุกคืบเข้ามา ส่วนยูนิตที่ 2 (Unit 2) มีความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ (low resistivity) ประมาณ 10-80 โอห์ม-เมตร มีความหนาของชั้นประมาณ 25-80 เมตร (หนา 80 เมตรทางด้านไกลคลองธรรมชาติ) และด้านล่างสุดเป็นยูนิตที่ 3 (Unit 3) มีค่าความต้านทานไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (medium-high resistivity) 80-3000 โอห์ม-เมตร โดยขอบเขตบนของยูนิตที่ 3 ทางด้านใกล้คลองธรรมชาติจะอยู่ตื้นกว่าขอบเขตบนของยูนิตที่ 3 ด้านไกลคลองธรรมชาติ

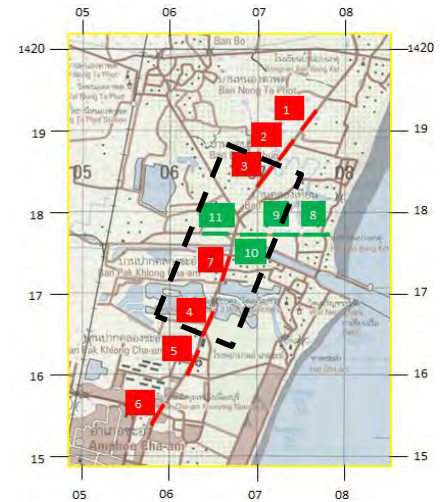


ภาพตัดขวาง รูปที่ 4.13 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-7-3 มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการรุกคืบของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาด จากปัจจัยของคลองธรรมชาติและคลองขุดร่วมกัน โดยแนวสำรวจที่ 4 เป็นแนวสำรวจที่อยู่ใกล้คลองธรรมชาติ และห่างกับแนวสำรวจที่ 7 ประมาณ 250 เมตร ส่วนแนวสำรวจที่ 3 เป็นแนวสำรวจที่อยู่ใกล้คลองขุด แต่ห่างกับแนวสำรวจที่ 7 ประมาณ 1.5 กิโลเมตร

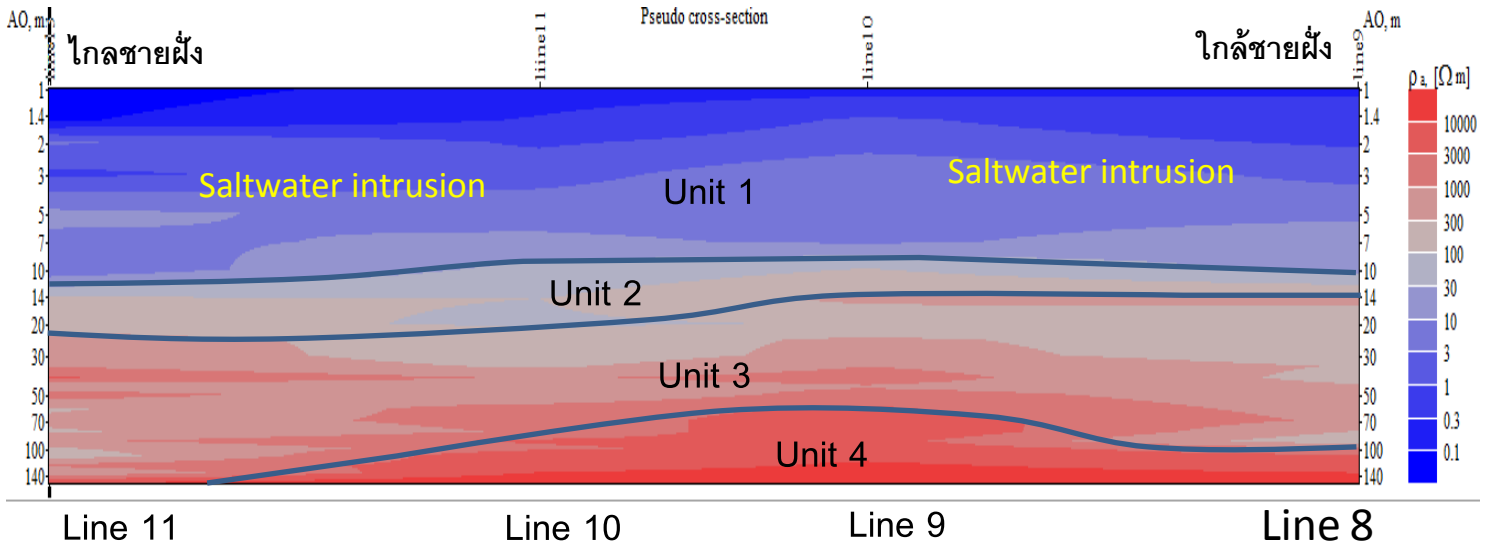


รูปที่ 4.13 ภาพตัดขวางภาพที่ 3 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 4-7-3

ภาพตัดขวางของแนวสำรวจ 4-7-3 สามารถแบ่งช่วงความต้านทานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 3 ยูนิต โดยยูนิตที่ 1 (Unit 1) มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก (very low resistivity) น้อยกว่า 0.1-10 โอห์ม-เมตร หนาประมาณ 10-15 เมตร ยูนิตที่ 2 (Unit 2) มีความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ (low resistivity) 10-80 โอห์ม-เมตร โดยมีความหนาประมาณ 20 เมตร และยูนิตล่างสุด คือ ยูนิตที่ 3 (Unit 3) มีความต้านทานไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (medium-high resistivity) 80-3000 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 70 เมตร แต่ในแนวสำรวจที่ 7 ไม่สามารถวางขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าได้สมบูรณ์ เนื่องจากมีความไม่สะดวกในการเข้าถึงจุดปล่อยกระแสไฟฟ้า ฉะนั้นจึงขาดข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ความลึกตั้งแต่ 100 เมตร ถึง 140 เมตร ส่งผลให้ภาพตัดขวางของความต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจที่ 4-7-3 มีความลึกมากที่สุดเพียง 100 เมตร

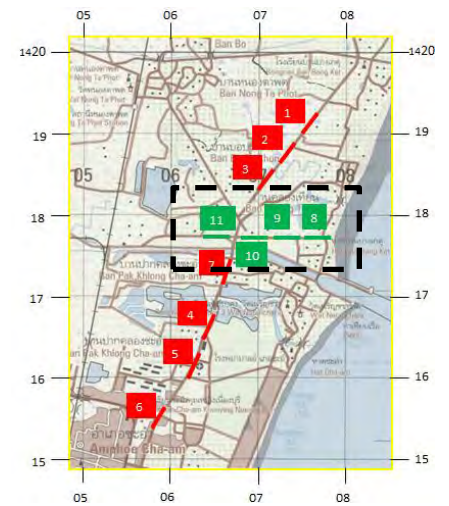


ภาพตัดขวาง รูปที่ 4.14 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 8-9-10-11 มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการรุกค้ำของน้ำทะเลที่เข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาด จากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน โดยแนวสำรวจที่ 8 ห่างจากชายฝั่งเข้ามาในแผ่นดินประมาณ 500 เมตร แนวสำรวจที่ 8 ห่างกับแนวสำรวจที่ 9 เป็นระยะทาง 375 เมตร และแนวสำรวจที่ 9 ห่างกับแนวสำรวจที่ 10 เป็นระยะทาง 250 เมตร และแนวที่ไกลจากชายฝั่งที่สุด คือ แนวสำรวจที่ 11 ซึ่งห่างจากแนวสำรวจที่ 10 เป็นระยะทาง 500 เมตร แต่ห่างจากชายฝั่งเข้ามาในแผ่นดินประมาณ 1.8 กิโลเมตร



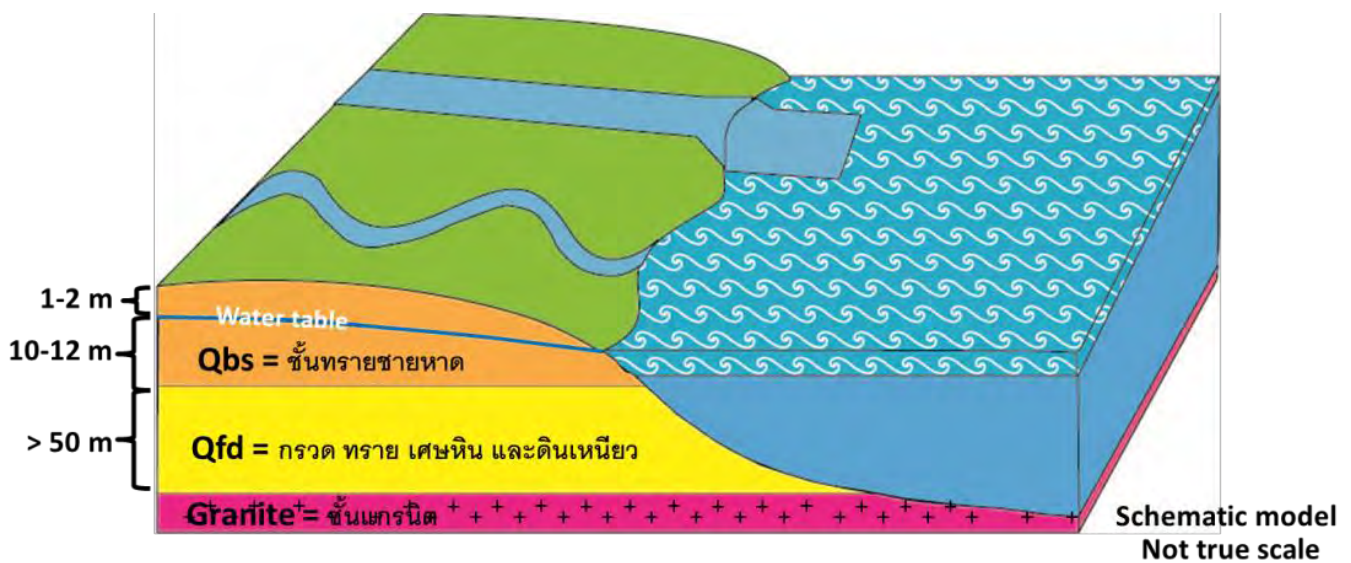
รูปที่ 4.14 ภาพตัดขวางภาพที่ 4 ใช้ข้อมูลแนวสำรวจที่ 8-9-10-11

ภาพตัดขวางของแนวสำรวจ 8-9-10-11 สามารถแบ่งช่วงความต้านทานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 4 หน่วย โดยหน่วยที่ 1 (Unit 1) มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก (very low resistivity) น้อยกว่า 0.1-10 โอห์ม-เมตร หนาประมาณ 10 เมตร หน่วยที่ 2 (Unit 2) มีความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ (low resistivity) 10-80 โอห์ม-เมตร โดยมีความหนาประมาณ 7-10 เมตร หน่วยที่ 3 (Unit 3) มีความต้านทานไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (medium-high resistivity) 80-3000 โอห์ม-เมตร โดยด้านใกล้ชายฝั่งทะเลมีความหนาของหน่วยที่ 3 ประมาณ 75-80 เมตร แต่ด้านไกลชายฝั่งทะเลมีน่าจะมีความหนามากกว่า 120 เมตร และยูนิตล่างสุด คือ หน่วยที่ 4 (Unit 4) มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก (high resistivity) มากกว่า 3000 โอห์ม-เมตร ซึ่งอยู่ลึกกว่าผิวดินประมาณ 100 เมตร



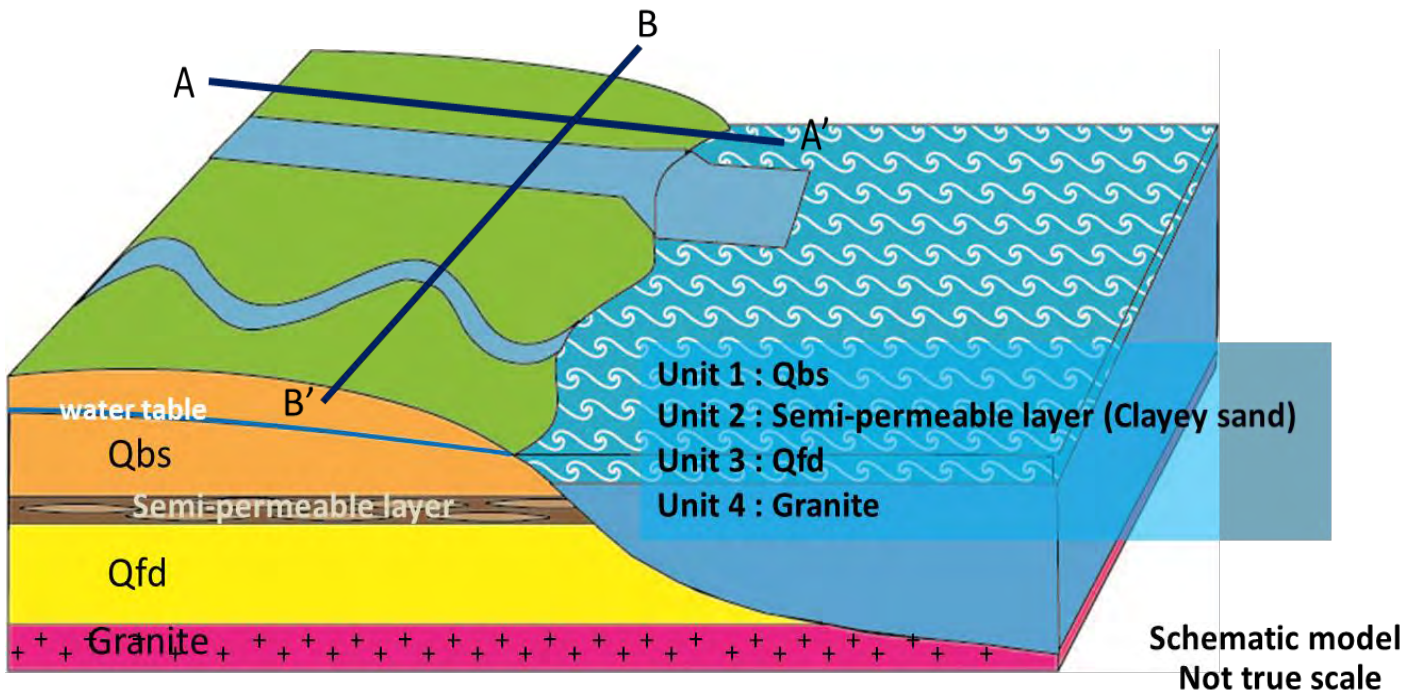
### 4.3 วิเคราะห์ผล และแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

จากการวิเคราะห์ภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดินในบริเวณที่ทำการสำรวจ พบว่าเราสามารถแบ่งช่วงความต้านทานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 4 หน่วย ดังนี้ หน่วยที่ 1 (Unit 1) มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก (very low resistivity) ตั้งแต่ น้อยกว่า 0.1 ถึง 10 โอห์ม-เมตร หน่วยที่ 2 (Unit 2) มีความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ (low resistivity) ตั้งแต่ 10 ถึง 80 โอห์ม-เมตร หน่วยที่ 3 (Unit 3) มีความต้านทานไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (medium-high resistivity) ตั้งแต่ 80 ถึง 3000 โอห์ม-เมตร และหน่วยที่ 4 (Unit 4) มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก (high resistivity) มากกว่า 3000 โอห์ม-เมตร สำหรับค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 0.2-0.3 โอห์ม-เมตร เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำทะเล ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำจืดประมาณ 10-100 โอห์ม-เมตร ความต้านทานไฟฟ้าของดินเหนียว 1-100 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าของทรายประมาณ 10-3000 โอห์ม-เมตร และค่าความต้านทานไฟฟ้าของหินแกรนิตมากกว่า 5000 โอห์ม-เมตร เมื่อศึกษาข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาในจังหวัดเพชรบุรี ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในจังหวัดเพชรบุรี และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของจังหวัดเพชรบุรี ในบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าในพื้นที่ศึกษามีชั้นน้ำทั้งหมด 3 ชั้น โดยเรียงจากชั้นบนสุดไปจนถึงล่างสุด ได้แก่ 1) ชั้นน้ำทรายชายหาด (Qbs) มีความหนาประมาณ 10-12 เมตร มีระดับน้ำปกติโดยเฉลี่ย 1-2 เมตร 2) ชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว มีความหนามากกว่า 50 เมตร มีระดับน้ำปกติโดยเฉลี่ย 3-8 เมตร 3) ชั้นน้ำแกรนิต อยู่ลึกกว่าชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว มีระดับน้ำปกติอยู่โดยเฉลี่ย 6-9 เมตร จากข้อมูลดังกล่าวจึงสามารถสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ได้ผิวดินได้ดังรูปที่ 4.15



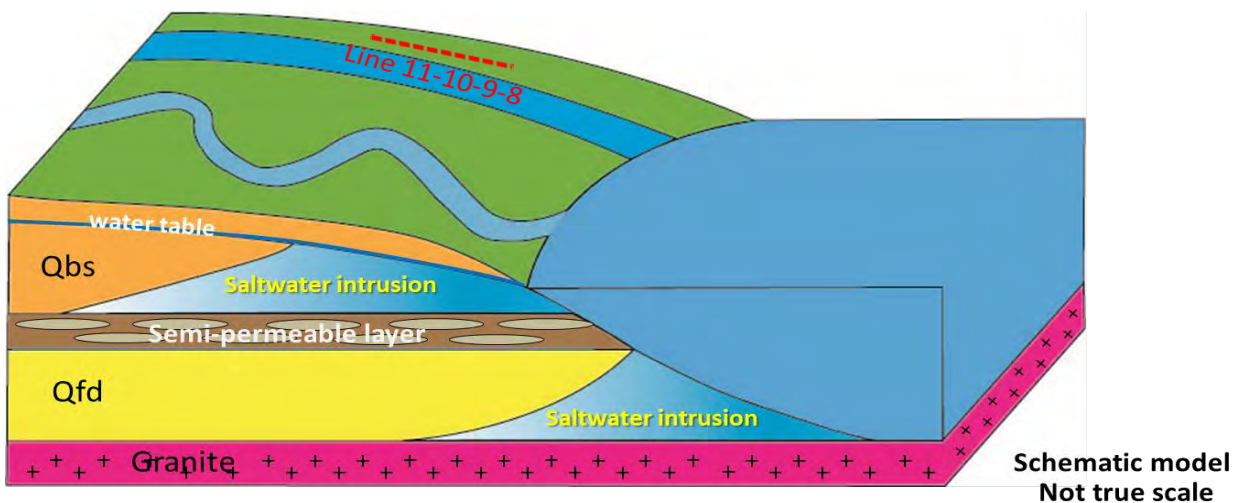
รูปที่ 4.15 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำใต้ผิวดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

เมื่อนำข้อมูลชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษามาเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ จึงคาดการณ์ว่า ยูนิตที่ 1 สามารถเทียบได้กับชั้นน้ำทรายชายหาด (Qbs) เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำมากเป็นไปได้ว่ามีน้ำทะเลรุกเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดมาแล้วจึงให้ข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำมาก และความหนาของยูนิตนี้กับความหนาของชั้นน้ำยังค่อนข้างใกล้เคียงกันอีกด้วย ส่วนยูนิตที่ 2 สามารถเทียบได้กับชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว (Qfd) แต่เป็นช่วงที่ตะกอนทรายมีดินเหนียวผสมอยู่ในปริมาณมาก (Clayey sand) เนื่องจากมีค่าความต้านทานค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วงค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินเหนียว และคาดว่าเป็นชั้นกึ่งที่บ่งน้ำ (Semi-permeable layer) จึงไม่แสดงโน้มนั้ที่อุทกธรณีวิทยา ส่วนยูนิตที่ 3 สามารถเทียบเคียงได้กับชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว (Qfd) เนื่องจากเป็นยูนิตที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วงกว้างคล้ายกับความต้านทานไฟฟ้าในตะกอนทราย และยูนิตที่ 4 เป็นยูนิตที่อยู่ด้านล่างสุด มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก จึงน่าจะเทียบได้กับชั้นน้ำแกรนิตที่อยู่ค่อนข้างลึก



รูปที่ 4.16 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำใต้ผิวดินเทียบกับยูนิตต่างๆของค่าความต้านทานไฟฟ้า และแนวสร้างภาพตัดขวาง A-A' (ตั้งฉากกับหน้าหาด) และ B-B' (ขนานกับหน้าหาด)

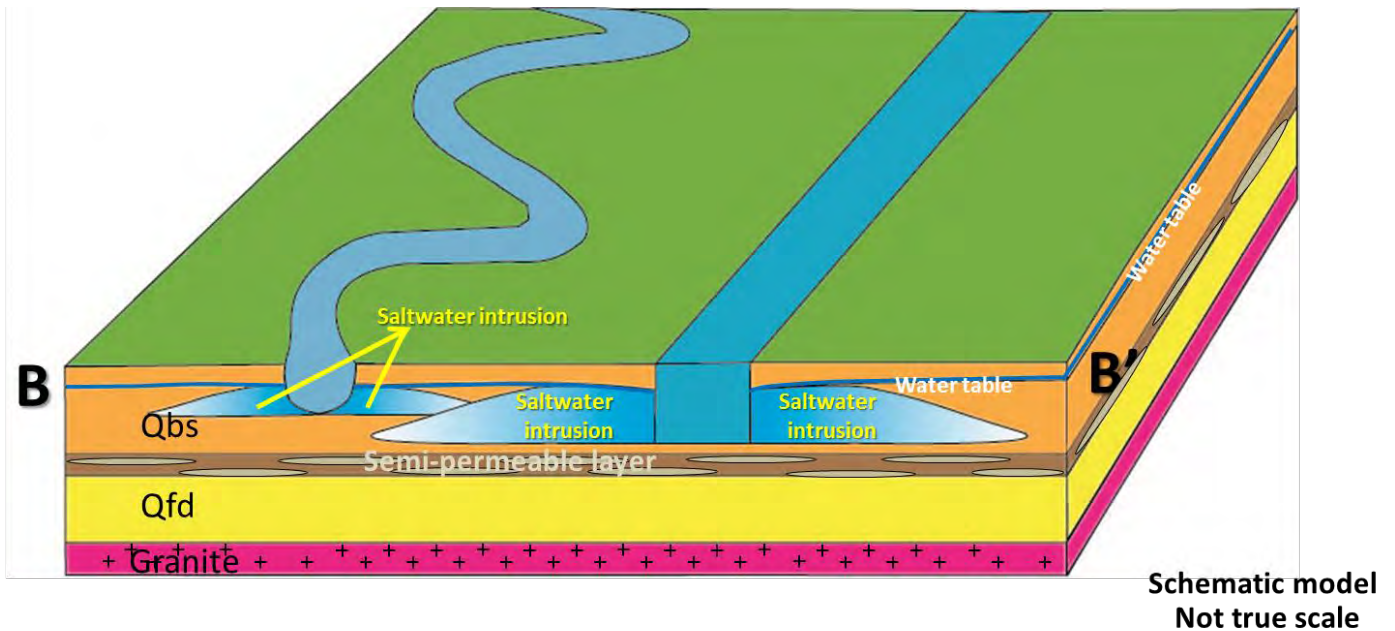
ในการวิเคราะห์การรุกค้ำของทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน สามารถแสดงได้จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในรูปที่ 4.17 (ภาพตัดขวางแนว A-A' ในรูปที่ 4.16) โดยจากแนวสำรวจที่ 8-9-10-11 สามารถคาดการณ์ได้ว่าน้ำทะเลได้รุกค้ำเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดในตำแหน่งที่ทำการสำรวจแล้ว ฉะนั้นเราจึงไม่เห็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลกับน้ำบาดาล ส่วนในชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียวและชั้นน้ำหินแกรนิต ณ บริเวณที่ทำการสำรวจ ไม่พบค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำมากในทั้ง 2 ชั้น จึงเป็นไปได้ว่าทั้ง 2 ชั้น ณ บริเวณที่ทำการสำรวจ ไม่มีการรุกค้ำของน้ำทะเลเข้ามา น่าจะเป็นเพราะชั้นน้ำทั้ง 2 ชั้นนี้ถูกกักทับด้วยชั้นน้ำทรายชายหาด และชั้นกึ่งทึบน้ำ (Semi-permeable layer) ส่งผลให้ความดันทางชลศาสตร์ (Hydraulic head) ของชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว และชั้นน้ำหินแกรนิต มีค่าสูงกว่าความดันทางชลศาสตร์ (Hydraulic head) ของชั้นน้ำทรายชายหาด ดังนั้นน้ำทะเลจึงรุกค้ำเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดได้มากกว่าชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว และชั้นน้ำหินแกรนิต นอกจากเหตุผลจากความดันทางชลศาสตร์แล้วยังมีเหตุผลของปริมาณช่องว่าง (Porosity) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยจะเห็นว่าชั้นน้ำหินแกรนิตเป็นชั้นที่เป็นหินแข็ง ปริมาณช่องว่างจึงค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับชั้นของตะกอน ฉะนั้นน้ำทะเลจึงน่าจะรุกค้ำเข้ามาในชั้นน้ำหินแกรนิตได้น้อยที่สุด ส่วนชั้นตะกอนกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว น่าจะปริมาณช่องว่างน้อยกว่าชั้นน้ำทรายชายหาด เนื่องจากชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว มีตะกอนหลายขนาดปะปนกัน (Poorly sorted) ทำให้ตะกอนขนาดเล็กเข้ามาแทรกในช่องว่างระหว่างตะกอนขนาดใหญ่ จึงทำให้ปริมาณช่องว่างลดน้อยลง ต่างกับชั้นน้ำทรายชายหาดที่มีการคัดขนาดของตะกอน (Sorting) ค่อนข้างดี เนื่องจากตัวกลางที่พัดพาตะกอนมา คือ น้ำทะเล ซึ่งมีพลังงานค่อนข้างสูงที่จะพัดพาตะกอนขนาดใกล้เคียงกันมาสะสมตัว



รูปที่ 4.17 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในแนวตัดขวาง A-A' (ตั้งฉากกับหน้าหาด)

ชั้นทรายชายหาด (Qbs) มีการคัดขนาดและปริมาณช่องว่างดีกว่าชั้นกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว (Qfd) 58 แต่ชั้นทรายชายหาดมีความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head) ต่ำกว่าชั้นกรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว

สำหรับการวิเคราะห์การรุกคืบของน้ำทะเลที่มีปัจจัยมาจากคลองขุดและคลองธรรมชาติมีดังนี้ ในช่วงออกแบบการสำรวจมีพื้นฐานมาจากสมมติฐานที่คาดว่าคลองขุดที่มีความลึกมากจะส่งผลให้น้ำทะเลรุกคืบเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดมากกว่าคลองธรรมชาติที่มีความลึกน้อยกว่า ซึ่งผลการสำรวจที่ได้ น่าจะแสดงให้เห็นมวลของน้ำทะเลที่รุกคืบเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดในบริเวณใกล้คลองขุดใหญ่กว่ามวลของน้ำทะเลในบริเวณใกล้คลองธรรมชาติ โดยสามารถแสดงได้จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในรูปที่ 4.18

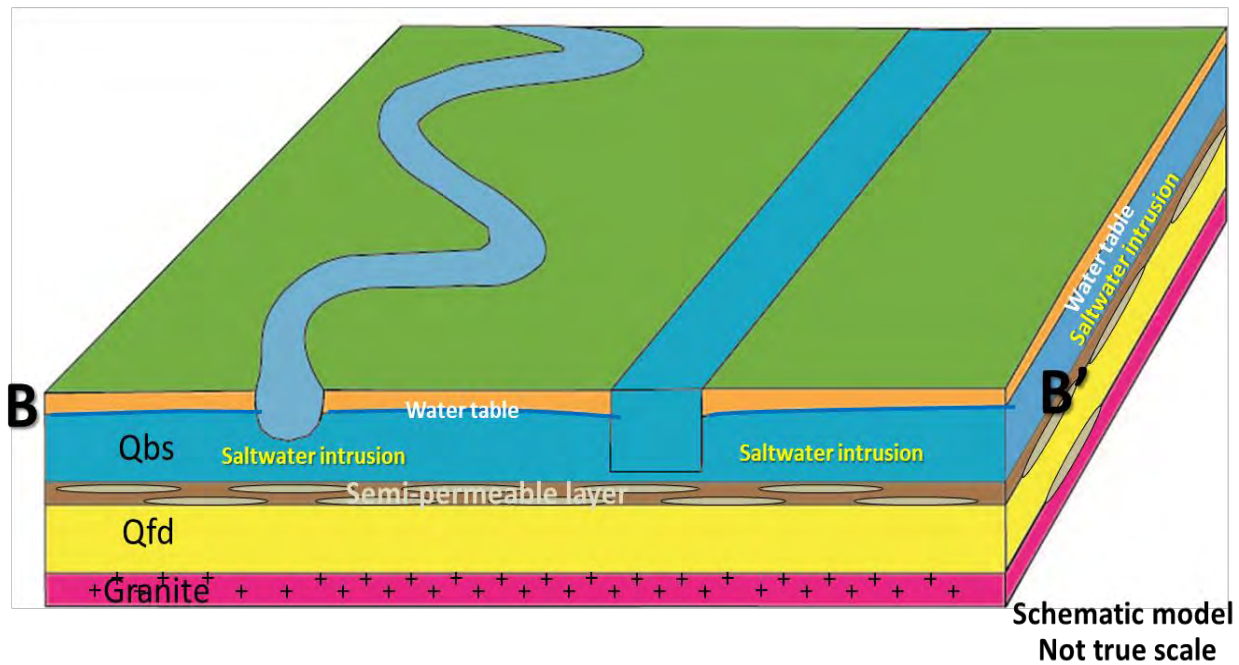


รูปที่ 4.18 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในแนวตัดขวาง B-B' (ขนานกับหน้าหาด แต่ตั้งฉากกับคลองขุดและคลองธรรมชาติ) เป็นแบบจำลองมวลน้ำทะเลที่รุกคืบเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดขณะตั้งสมมติฐานก่อนการสำรวจจริง

แต่จากการแปลผลข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าหลังจากสำรวจ พบว่าข้อมูลที่ได้จากแนวสำรวจใกล้คลองขุด (แนวสำรวจที่ 1-2-3) และแนวสำรวจใกล้คลองธรรมชาติ (แนวสำรวจที่ 4-5-6) ไม่สามารถแยกแยะขอบเขตมวลน้ำทะเลที่รุกคืบเข้ามาในชั้นน้ำทรายชายหาดเนื่องจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติได้ เพราะจากข้อมูลที่ได้พบว่าทั้งชั้นตะกอนทรายชายหาด ณ บริเวณที่ทำการสำรวจ มีน้ำทะเลรุกคืบเข้ามาหมดแล้วจากอิทธิพลการรุกคืบของน้ำทะเลของหน้าหาด ทำให้เราไม่สามารถแยกแยะขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลที่มาจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติได้ โดยแสดงให้เห็นจากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในรูปที่

4.19





รูปที่ 4.19 แบบจำลองเชิงโมโนโทคในแนวตัดขวาง B-B' (ขนานกับหน้าหาด แต่ตั้งฉากกับคลองขุดและคลองธรรมชาติ) เป็นแบบจำลองการรุกค้ำของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นทรายชายหาดหลังทำการสำรวจ พบว่าในบริเวณที่ทำการสำรวจมีน้ำทะเลรุกค้ำเข้ามาในชั้นทรายชายหาดทั่วแล้ว เนื่องจากอิทธิพลการรุกค้ำของน้ำทะเลจากหน้าหาด ส่งผลให้ไม่สามารถแยกแยะขอบเขตการรุกค้ำของน้ำทะเลจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติได้

# บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

5.2 ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

## 5.1 สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน เพื่อประเมินขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน และเปรียบเทียบขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากอิทธิพลของคลองขุดและคลองธรรมชาติ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์และตีความข้อมูลที่ได้แล้วนั้น พบว่าน้ำทะเลน่าจะรุกคืบจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดินในชั้นทรายชายหาดเกินกว่าตำแหน่งที่ทำการสำรวจแล้ว ดังนั้นจึงไม่พบแนวรอยต่อของน้ำบาดาลกับน้ำทะเลในชั้นทรายชายหาดในพื้นที่ที่ทำการสำรวจ โดยคาดการณ์ว่าน้ำทะเลน่าจะรุกคืบเข้ามาในชั้นทรายชายหาดเกินกว่า 1.5 กิโลเมตรแล้ว ฉะนั้นถ้าทำการสำรวจในพื้นที่ที่ไกลชายฝั่งมากกว่านี้ น่าจะพบแนวรอยต่อของน้ำบาดาลกับน้ำทะเล ส่วนขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากอิทธิพลของคลองขุดกับคลองธรรมชาตินั้น ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ เนื่องจากชั้นตะกอนทรายชายหาด (Qbs) ในบริเวณที่ทำการสำรวจมีการรุกคืบของน้ำทะเลเข้ามาทั่วทั้งชั้นแล้วจากอิทธิพลการรุกคืบของหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน ดังนั้นจึงสามารถสรุปความได้ว่าในบริเวณที่ทำการสำรวจได้รับอิทธิพลการรุกคืบของน้ำทะเลจากหน้าหาดเข้ามาในแผ่นดิน มากกว่าอิทธิพลจากคลองขุดและคลองธรรมชาติแล้ว จึงไม่สามารถระบุขอบเขตการรุกคืบของน้ำทะเลจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติได้ชัดเจน แต่จากการคาดการณ์ คาดว่าอิทธิพลจากคลองขุดและคลองธรรมชาติน่าจะมีส่วนช่วยให้มีการรุกคืบของน้ำทะเลในชั้นทรายชายหาดเพิ่มมากขึ้นด้วย

นอกจากนี้จากการสำรวจยังสามารถตีความได้ถึงชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว (Qfd) อีกด้วย โดยจากการวิเคราะห์เราคาดว่าน้ำทะเลที่รุกคืบเข้ามาในชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว (Qfd) น่าจะยังรุกคืบเข้ามาได้ไม่ถึงในบริเวณที่ทำการสำรวจ ฉะนั้นน้ำบาดาลของชั้นน้ำนี้ในบริเวณที่ทำการสำรวจน่าจะยังสามารถสูบขึ้นมาใช้งานเพื่อการบริโภค และอุปโภคได้อยู่ ซึ่งอาจเป็นเหตุผลจากชั้นน้ำนี้เป็นชั้นน้ำมีแรงดัน ส่งผลให้มีค่าความดันทางชลศาสตร์สูง ประกอบกับเป็นชั้นตะกอนที่มีการคัดขนาดตะกอนค่อนข้างต่ำจึงมีปริมาณช่องว่างน้อย ดังนั้นน้ำทะเลที่รุกคืบเข้ามาจากหน้าหาดในชั้นน้ำกรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว น่าจะน้อยกว่าในชั้นน้ำทรายชายหาด เพราะชั้นน้ำทรายชายหาดเป็นชั้นน้ำไร้แรงดัน จึงมีค่าความดันทางชลศาสตร์ต่ำ และยังมีการคัดขนาดตะกอนที่ค่อนข้างดี ทำให้มีปริมาณช่องว่างค่อนข้างมาก จึงยังผลให้น้ำทะเลน่าจะสามารถรุกคืบเข้ามาในชั้นทรายชายหาดได้ดีกว่าอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

1. ควรทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบสองมิติ (2D resistivity) ความถี่ไปด้วย เนื่องจาก การสำรวจแบบ 2 มิติ จะให้ข้อมูลที่มีความละเอียดและชัดเจนมากยิ่งขึ้น ทำให้ประเมินขอบเขตการรูก้ำของน้ำทะเลและหาแนวรอยต่อของน้ำทะเลกับน้ำบาดาล ได้ง่ายยิ่งขึ้น
2. ถ้าหากต้องการเปรียบเทียบขอบเขตการรูก้ำของน้ำทะเลจากปัจจัยของคลองขุดและคลองธรรมชาติ ควรเลือกพื้นที่ห่างจากชายฝั่งมากกว่านี้ เพราะเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการรูก้ำของน้ำทะเลจากหน้าชายหาดน้อยลง ทำให้สามารถประเมินขอบเขตการรูก้ำของน้ำทะเลจากปัจจัยของโครงสร้างทางชลศาสตร์ได้ชัดเจน
3. หากทำให้พื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น น่าจะสามารถประเมินขอบเขตของน้ำบาดาลที่เปลี่ยนไปเป็นน้ำกร่อย และน้ำทะเลได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น
4. ควรหาพื้นที่ที่มีข้อมูลหลุมเจาะ เพื่อตรวจสอบลักษณะชั้นดิน ชั้นตะกอน และชั้นหิน ให้ชัดเจน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตีความร่วมกับข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า
5. ควรทำการเจาะเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์เชิงเคมีเพิ่มเติม เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ ข้อมูลจากความต้านทานไฟฟ้า เพื่อให้การแปลความมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## ภาคผนวก

1. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค
2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าแต่ละแนวสำรวจ
3. การใช้โปรแกรมในการแปลผลข้อมูล

## 1. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 29 ง ลงวันที่ 13 เมษายน 2542

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางเคมี	4.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	5.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	6.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 1.0	1.5
	7.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 5.0	15.0
	8.ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	9.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 250	600
	10.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.7	1.0
	11.ไนเตรด (NO <sub>3</sub> )	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 45	45
	12.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as CaCO <sub>3</sub> )	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 300	500
	13.ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as CaCO <sub>3</sub> )	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	14.ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids, TDS)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200

## 2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าแต่ละแนวสำรวจ

### ตารางที่ 2.1 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 1

จุดสำรวจที่ 1 Location : ป้ายโอเทล เดอลาแปร์ 300 m ถนน 4033 (NE ของคลองซุด)

วันที่ 23-11-56 Grid ref. 0607498 1419001 EV. 4 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.001	259	260	260	0.016	0.017	0.017	36.79691176
1.5	0.5	6.29	0.001	60	60	59	0.023	0.022	0.022	16.81062582
2	0.5	11.79	0.001	18	18	18	0.027	0.026	0.025	8.170369231
3	0.5	27.5	0.0001	28	30	32	0.026	0.026	0.026	3.173076923
3	2	3.93	0.0001	16	16	15	0.027	0.027	0.026	0.230836182
5	2	16.5	0.0001	22	22	24	0.037	0.037	0.037	1.010810811
7	2	35.36	0.0001	43	44	43	0.022	0.022	0.021	7.074551227
10	2	75.43	0.0001	95	99	103	0.019	0.019	0.019	39.303
10	5	23.57	0.0001	33	31	41	0.019	0.019	0.019	4.341842105
15	5	62.86	0.0001	22	26	14	0.013	0.013	0.013	9.993128205
20	5	117.86	0.0001	11	12	11	0.013	0.013	0.013	10.27497436
25	5	188.57	0.0001	12	12	13	0.009	0.009	0.009	25.84107407
30	5	275	0.0001	21	21	23	0.019	0.018	0.018	32.53898635
35	5	377.14	0.0001	28	29	27	0.019	0.018	0.018	57.63699025
40	5	495	0.0001	21	18	19	0.007	0.007	0.006	144.1785714
45	5	628.57	0.0001	30	31	31	0.021	0.021	0.021	91.7911746
50	5	777.86	0.0001	21	20	20	0.019	0.019	0.019	83.24466667
50	20	165	0.0001	20	20	17	0.018	0.018	0.018	17.41666667
60	20	251.43	0.0001	32	31	33	0.018	0.017	0.017	46.45155556
70	20	353.57	0.0001	33	33	36	0.036	0.036	0.036	33.39272222
80	20	471.43	0.0001	43	42	41	0.023	0.022	0.022	88.66486495
90	20	605	0.0001	18	20	21	0.025	0.024	0.025	48.26555556
100	20	754.29	0.0001	36	40	35	0.064	0.064	0.063	43.82564583
110	20	919.29	0.0001	39	36	38	0.037	0.037	0.037	93.58537838
125	20	1196.25	0.0001	35	37	35	0.024	0.024	0.024	177.7760417
135	20	1400.54	0.0001	30	30	32	0.034	0.034	0.034	126.3232157
150	20	1736.43	0.0001	10	10	11	0.004	0.004	0.004	448.57775

## ตารางที่ 2.2 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 2

จุดสำรวจที่ 2                      Location : หน้าโรงแรมที่มีห้อง ถนน 4033      (NE ของคลองซุด)

วันที่ 23-11-56                      Grid reff. 0607112    1418462    EV. 10 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	10	7	10	0.012	0.012	0.012	0.177
1.5	0.5	6.29	0.0001	3	4	4	0.037	0.037	0.037	0.062333333
2	0.5	11.79	0.0001	17	20	19	0.038	0.038	0.038	0.579157895
3	0.5	27.5	0.0001	17	18	18	0.036	0.036	0.036	1.349537037
3	2	3.93	0.0001	1	1	3	0.036	0.036	0.036	0.018194444
5	2	16.5	0.0001	26	29	29	0.032	0.033	0.032	1.428645833
7	2	35.36	0.0001	13	13	11	0.016	0.015	0.016	2.789511111
10	2	75.43	0.0001	17	16	17	0.026	0.026	0.026	4.83525641
10	5	23.57	0.0001	17	17	17	0.026	0.026	0.025	1.56166359
15	5	62.86	0.0001	26	22	22	0.017	0.017	0.017	8.627843137
20	5	117.86	0.0001	19	18	20	0.021	0.021	0.021	10.66352381
25	5	188.57	0.0001	6	5	5	0.012	0.011	0.01	9.142787879
30	5	275	0.0001	9	11	9	0.013	0.013	0.013	20.44871795
35	5	377.14	0.0001	3	3	3	0.005	0.005	0.004	24.5141
40	5	495	0.0001	8	9	7	0.012	0.012	0.011	33.875
45	5	628.57	0.0001	5	5	5	0.005	0.005	0.005	62.857
50	5	777.86	0.0001	17	18	14	0.022	0.022	0.021	58.53592929
50	20	165	0.0001	15	13	14	0.023	0.023	0.022	10.19565217
60	20	251.43	0.0001	10	10	10	0.022	0.022	0.021	11.61004329
70	20	353.57	0.0001	26	23	23	0.013	0.013	0.012	67.01209188
80	20	471.43	0.0001	8	9	8	0.007	0.007	0.006	59.1158254
90	20	605	0.0001	5	4	5	0.007	0.007	0.007	40.33333333
100	20	754.29	0.0001	20	20	21	0.034	0.034	0.033	45.58009091
110	20	919.29	0.0001	16	16	15	0.019	0.018	0.019	77.23469591
125	20	1196.25	0.0001	45	40	43	0.025	0.025	0.025	204.16
135	20	1400.54	0.0001	38	36	39	0.03	0.029	0.029	179.870118
150	20	1736.43	0.0001	6	5	5	0.015	0.015	0.014	63.11785238



### ตารางที่ 2.3 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 3

จุดสำรวจที่ 3

Location : .ใกล้กับหัวโค้ง ตอกบนยางมะตอย ถนน 4033 (NE ของคลองซุด)

วันที่ 23-11-56

Grid reff. 0606936 1418221 EV. 3 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	18	19	18	0.003	0.004	0.003	1.317666667
1.5	0.5	6.29	0.0001	20	20	20	0.005	0.005	0.005	2.516
2	0.5	11.79	0.0001	40	39	41	0.013	0.013	0.013	3.627692308
3	0.5	27.5	0.0001	27	26	26	0.019	0.018	0.018	3.950779727
3	2	3.93	0.0001	25	29	29	0.018	0.018	0.019	0.592947368
5	2	16.5	0.0001	28	28	29	0.013	0.013	0.013	3.596153846
7	2	35.36	0.0001	36	33	36	0.021	0.021	0.021	5.893333333
10	2	75.43	0.0001	24	24	26	0.016	0.016	0.016	11.62879167
10	5	23.57	0.0001	25	25	23	0.016	0.016	0.016	3.584604167
15	5	62.86	0.0001	18	19	17	0.018	0.018	0.018	6.286
20	5	117.86	0.0001	10	9	9	0.011	0.009	0.008	11.91993182
25	5	188.57	0.0001	24	25	24	0.034	0.033	0.034	13.63575104
30	5	275	0.0001	25	29	26	0.019	0.019	0.018	39.29337232
35	5	377.14	0.0001	55	55	60	0.053	0.054	0.054	39.81800722
40	5	495	0.0001	47	44	42	0.035	0.035	0.034	63.28235294
45	5	628.57	0.0001	34	32	32	0.041	0.04	0.04	50.89883902
50	5	777.86	0.0001	28	26	26	0.018	0.018	0.017	117.4416078
50	20	165	0.0001	25	26	25	0.018	0.018	0.018	23.22222222
60	20	251.43	0.0001	23	25	23	0.029	0.028	0.028	21.01442857
70	20	353.57	0.0001	63	62	64	0.038	0.038	0.039	58.10922155
80	20	471.43	0.0001	51	52	54	0.02	0.02	0.02	123.3575167
90	20	605	0.0001	17	17	16	0.045	0.044	0.044	22.74351852
100	20	754.29	0.0001	48	49	52	0.046	0.046	0.046	81.44145652
110	20	919.29	0.0001	43	39	40	0.028	0.027	0.027	136.718041
125	20	1196.25	0.0001	32	31	32	0.033	0.032	0.032	117.1705729
135	20	1400.54	0.0001	67	65	65	0.036	0.036	0.036	255.4688704
150	20	1736.43	0.0001	24	25	23	0.076	0.075	0.075	55.32205053

**ตารางที่ 2.4 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 4**

จุดสำรวจที่ 4 Location : ป้ายโฆษณา Cerebration ถนนคลองเตย (SSW ของคลองธรรมชาติ)

วันที่ 23-11-56 Grid ref. 0606502 1416775 EV. 11 m +/- 3m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	15	13	13	0.01	0.01	0.01	0.322533333
1.5	0.5	6.29	0.0001	16	17	16	0.015	0.015	0.015	0.684911111
2	0.5	11.79	0.0001	23	23	26	0.005	0.006	0.005	5.3579
3	0.5	27.5	0.0001	21	19	19	0.011	0.011	0.011	4.916666667
3	2	3.93	0.0001	18	16	16	0.009	0.009	0.009	0.727777778
5	2	16.5	0.0001	17	17	17	0.008	0.007	0.007	3.840178571
7	2	35.36	0.0001	22	22	21	0.012	0.012	0.012	6.384444444
10	2	75.43	0.0001	22	22	24	0.009	0.009	0.009	18.99718519
10	5	23.57	0.0001	23	24	24	0.009	0.01	0.009	5.988525926
15	5	62.86	0.0001	19	17	16	0.01	0.011	0.01	10.57190909
20	5	117.86	0.0001	14	15	14	0.013	0.012	0.012	13.72514957
25	5	188.57	0.0001	9	9	10	0.013	0.013	0.013	13.53835897
30	5	275	0.0001	21	23	22	0.01	0.01	0.01	60.5
35	5	377.14	0.0001	27	26	25	0.022	0.022	0.022	44.57109091
40	5	495	0.0001	26	27	26	0.009	0.01	0.01	135.1166667
45	5	628.57	0.0001	29	31	30	0.007	0.007	0.007	269.3871429
50	5	777.86	0.0001	25	24	25	0.011	0.011	0.011	174.4292121
50	20	165	0.0001	34	35	32	0.012	0.011	0.011	49.08333333
60	20	251.43	0.0001	22	26	24	0.017	0.017	0.017	35.496
70	20	353.57	0.0001	17	14	14	0.01	0.009	0.009	56.70215185
80	20	471.43	0.0001	25	28	24	0.014	0.014	0.014	86.42883333
90	20	605	0.0001	35	35	33	0.02	0.02	0.02	103.8583333
100	20	754.29	0.0001	40	40	44	0.014	0.014	0.014	222.6951429
110	20	919.29	0.0001	32	32	33	0.02	0.02	0.02	148.61855
125	20	1196.25	0.0001	37	43	38	0.01	0.01	0.01	470.525
135	20	1400.54	0.0001	20	21	21	0.015	0.015	0.015	192.9632889
150	20	1736.43	0.0001	49	48	51	0.017	0.019	0.018	477.0553215

**ตารางที่ 2.5 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 5**

จุดสำรวจที่ 5

Location : โรงพยาบาลชะอำ ตรงข้าม 7-11 ถนนคลองเทียน (SSW ของคลองธรรมชาติ)

วันที่ 23-11-56

Grid reff. 0606281 1416190 EV. 13 m +- 3 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	24	25	23	0.012	0.012	0.012	0.472
1.5	0.5	6.29	0.0001	16	15	14	0.029	0.03	0.03	0.318355939
2	0.5	11.79	0.0001	19	21	20	0.033	0.033	0.032	0.721988636
3	0.5	27.5	0.0001	18	18	17	0.044	0.043	0.043	1.121124031
3	2	3.93	0.0001	18	19	18	0.043	0.043	0.043	0.16755814
5	2	16.5	0.0001	21	18	18	0.06	0.06	0.059	0.52529661
7	2	35.36	0.0001	13	12	12	0.068	0.068	0.068	0.641333333
10	2	75.43	0.0001	9	8	8	0.073	0.073	0.073	0.861073059
10	5	23.57	0.0001	8	8	9	0.073	0.073	0.073	0.269063927
15	5	62.86	0.0001	14	12	14	0.085	0.083	0.083	1.001483203
20	5	117.86	0.0001	14	12	13	0.072	0.07	0.07	2.167002646
25	5	188.57	0.0001	10	9	9	0.043	0.043	0.042	4.124316168
30	5	275	0.0001	8	9	9	0.069	0.067	0.066	3.544145216
35	5	377.14	0.0001	3	4	3	0.018	0.017	0.018	7.148405229
40	5	495	0.0001	5	5	5	0.021	0.021	0.021	11.78571429
45	5	628.57	0.0001	20	18	20	0.102	0.101	0.101	11.99135676
50	5	777.86	0.0001	12	12	11	0.024	0.024	0.024	37.81263889
50	20	165	0.0001	14	12	12	0.023	0.023	0.023	9.086956522
60	20	251.43	0.0001	18	18	16	0.053	0.052	0.052	8.326261974
70	20	353.57	0.0001	5	5	5	0.029	0.029	0.029	6.096034483
80	20	471.43	0.0001	6	6	5	0.039	0.038	0.038	6.966475709
90	20	605	0.0001	22	23	24	0.022	0.022	0.021	64.29761905
100	20	754.29	0.0001	23	21	21	0.039	0.038	0.037	42.99309022
110	20	919.29	0.0001	19	19	18	0.033	0.033	0.034	51.50864349
125	20	1196.25	0.0001	22	23	20	0.028	0.027	0.028	93.78009259
135	20	1400.54	0.0001	21	20	21	0.038	0.036	0.036	78.9680692
150	20	1736.43	0.0001	10	11	11	0.13	0.125	0.124	14.68051745

**ตารางที่ 2.6 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 6**

จุดสำรวจที่ 6 Location : ตรงข้ามหมู่บ้านชะอำสปอร์ต วิลเลจ ถนนคลองเทียน (SSW ของคลองธรรมชาติ)

วันที่ 23-11-56 Grid reff. 0605771 1415294 EV. 8 m +/- 3 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	11	11	10	0.024	0.024	0.024	0.104888889
1.5	0.5	6.29	0.0001	14	13	12	0.02	0.019	0.02	0.416022807
2	0.5	11.79	0.0001	14	14	14	0.013	0.013	0.013	1.269692308
3	0.5	27.5	0.0001	13	13	15	0.034	0.033	0.033	1.128267974
3	2	3.93	0.0001	13	13	14	0.033	0.033	0.033	0.158787879
5	2	16.5	0.0001	19	18	18	0.021	0.021	0.021	1.44047619
7	2	35.36	0.0001	11	12	11	0.016	0.017	0.016	2.452666667
10	2	75.43	0.0001	13	13	13	0.02	0.021	0.02	4.825125397
10	5	23.57	0.0001	13	14	14	0.021	0.021	0.021	1.533920635
15	5	62.86	0.0001	13	12	11	0.039	0.04	0.04	1.903261111
20	5	117.86	0.0001	9	8	7	0.035	0.035	0.035	2.693942857
25	5	188.57	0.0001	9	9	9	0.044	0.044	0.044	3.857113636
30	5	275	0.0001	7	7	7	0.024	0.024	0.023	8.137077295
35	5	377.14	0.0001	5	6	5	0.019	0.019	0.019	10.58638596
40	5	495	0.0001	2	2	2	0.048	0.047	0.046	2.107018964
45	5	628.57	0.0001	1	1	1	0.028	0.028	0.028	2.244892857
50	5	777.86	0.0001	2	2	2	0.047	0.046	0.045	3.383066036
50	20	165	0.0001	2	2	2	0.045	0.044	0.043	0.750258398
60	20	251.43	0.0001	2	2	2	0.042	0.041	0.041	1.216753775
70	20	353.57	0.0001	4	3	3	0.068	0.068	0.067	1.74094681
80	20	471.43	0.0001	3	3	3	0.128	0.127	0.127	1.110714136
90	20	605	0.0001	5	6	7	0.264	0.264	0.263	1.377033164
100	20	754.29	0.0001	6	6	5	0.247	0.243	0.24	1.755388448
110	20	919.29	0.0001	6	6	6	0.175	0.174	0.173	3.170035321
125	20	1196.25	0.0001	7	6	6	0.217	0.215	0.204	3.571875138
135	20	1400.54	0.0001	4	4	4	0.25	0.248	0.248	2.252911656
150	20	1736.43	0.0001	5	4	4	0.185	0.181	0.179	4.13691964

**ตารางที่ 2.7 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 7**

จุดสำรวจที่ 7                      Location : เสาสัญญาณมือถือ AIS (ระหว่างคลองขุดกับคลองธรรมชาติ) พื้นดินขึ้นและ

วันที่ 11-12-56                      Grid reff. 0606952 1416711 EV. 10 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	11	12	11	0.225	0.236	0.235	0.011528195
1.5	0.5	6.29	0.0001	19	17	19	0.192	0.192	0.189	0.060390101
2	0.5	11.79	0.0001	13	12	11	0.226	0.229	0.227	0.062244134
3	0.5	27.5	0.0001	9	8	8	0.161	0.16	0.159	0.143197163
3	2	3.93	0.0001	11	13	7	0.165	0.165	0.162	0.024715039
5	2	16.5	0.0001	9	10	11	0.174	0.166	0.167	0.097808351
7	2	35.36	0.0001	16	15	14	0.414	0.409	0.406	0.129423397
10	2	75.43	0.0001	8	8	9	0.282	0.279	0.281	0.223954434
10	5	23.57	0.0001	9	9	9	0.282	0.278	0.275	0.076222447
15	5	62.86	0.0001	14	14	12	0.349	0.348	0.342	0.241868973
20	5	117.86	0.0001	6	6	6	0.235	0.23	0.228	0.306179304
25	5	188.57	0.0001	2	3	2	0.051	0.05	0.049	0.880194555
30	5	275	0.0001	7	7	9	0.193	0.189	0.188	1.110805736
35	5	377.14	0.0001	7	7	7	0.253	0.25	0.25	1.051818119
40	5	495	0.0001	14	16	17	0.399	0.401	0.4	1.938551483
45	5	628.57	0.0001	37	21	23	0.153	0.152	0.15	11.17432551
50	5	777.86	0.0001	26	24	25	0.053	0.053	0.053	36.69150943
50	20	165	0.0001	23	23	26	0.053	0.053	0.052	7.523584906
60	20	251.43	0.0001	10	9	10	0.14	0.138	0.138	1.752548654
70	20	353.57	0.0001	23	26	23	0.021	0.02	0.02	41.78299444
80	20	471.43	0.0001	6	6	5	0.432	0.438	0.44	0.61209144
90	20	605	0.0001	13	14	13	0.421	0.413	0.418	1.933532475
100	20	754.29	0.0001	4	3	3	0.15	0.131	0.127	1.840203027
110	20	919.29	0.0001							
125	20	1196.25	0.0001							
135	20	1400.54	0.0001							
150	20	1736.43	0.0001							

**ตารางที่ 2.8 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 8**

จุดสำรวจที่ 8 Location : หมู่บ้านคลองเตียน (แนวขนานกับคลองขุด ใกล้กับปากคลองที่สุด)

วันที่ 11-12-56 Grid reff. 0607873 1417413 EV. 10 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	8	7	8	0.001	0.001	0.001	1.809333333
1.5	0.5	6.29	0.0001	17	16	16	0.004	0.004	0.004	2.568416667
2	0.5	11.79	0.0001	18	21	18	0.004	0.004	0.004	5.60025
3	0.5	27.5	0.0001	5	5	5	0.001	0.001	0.001	13.75
3	2	3.93	0.0001	6	5	5	0.001	0.001	0.001	2.096
5	2	16.5	0.0001	14	14	14	0.003	0.003	0.003	7.7
7	2	35.36	0.0001	17	19	16	0.003	0.003	0.003	20.43022222
10	2	75.43	0.0001	12	11	10	0.004	0.005	0.004	19.36036667
10	5	23.57	0.0001	11	11	10	0.004	0.004	0.004	6.285333333
15	5	62.86	0.0001	24	23	22	0.001	0.001	0.001	144.578
20	5	117.86	0.0001	14	14	15	0.005	0.005	0.005	33.78653333
25	5	188.57	0.0001	3	3	3	0.001	0.001	0.002	47.1425
30	5	275	0.0001	19	18	18	0.011	0.011	0.012	44.58333333
35	5	377.14	0.0001	12	12	11	0.005	0.005	0.005	87.99933333
40	5	495	0.0001	13	12	11	0.009	0.01	0.009	63.8
45	5	628.57	0.0001	11	10	10	0.006	0.005	0.006	115.2378333
50	5	777.86	0.0001	9	9	10	0.005	0.005	0.005	145.2005333
50	20	165	0.0001	10	10	9	0.005	0.005	0.004	34.375
60	20	251.43								
70	20	353.57	0.001	1	1	1	0.006	0.006	0.006	58.92833333
80	20	471.43								
90	20	605	0.0001	9	9	10	0.065	0.063	0.064	8.82430174
100	20	754.29	0.0001	26	26	26	0.025	0.025	0.025	78.44616
110	20	919.29	0.0001	56	60	53	0.02	0.02	0.02	258.93335
125	20	1196.25	0.0001	57	51	48	0.015	0.016	0.016	398.2515625
135	20	1400.54	0.0001	52	58	53	0.01	0.01	0.01	760.9600667
150	20	1736.43	0.0001	32	32	31	0.006	0.006	0.006	916.4491667

**ตารางที่ 2.9 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 9**

จุดสำรวจที่ 9                      Location : หมู่บ้านคลองเตย (แนวขนานกับคลองขุด)

วันที่ 11-12-56                      Grid reff. 0607526 1417408 EV. 9 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	35	32	31	0.006	0.006	0.006	1.284888889
1.5	0.5	6.29	0.0001	41	38	36	0.003	0.003	0.003	8.037222222
2	0.5	11.79	0.0001	49	49	55	0.005	0.005	0.005	12.0258
3	0.5	27.5	0.0001	53	53	49	0.003	0.003	0.002	54.84722222
3	2	3.93	0.0001	46	46	47	0.002	0.003	0.002	8.100166667
5	2	16.5	0.0001	23	23	22	0.006	0.006	0.006	6.233333333
7	2	35.36	0.0001	23	20	20	0.009	0.01	0.009	7.988740741
10	2	75.43	0.0001	52	49	49	0.004	0.004	0.003	104.5543611
10	5	23.57	0.0001	50	54	50	0.003	0.003	0.003	40.33088889
15	5	62.86	0.0001	47	50	50	0.002	0.002	0.002	154.007
20	5	117.86	0.0001	23	21	22	0.006	0.006	0.006	43.21533333
25	5	188.57	0.0001	43	46	42	0.006	0.006	0.005	146.0369889
30	5	275	0.0001	34	35	36	0.005	0.005	0.005	192.5
35	5	377.14	0.0001	52	52	52	0.002	0.002	0.001	1307.418667
40	5	495	0.0001	40	44	40	0.003	0.003	0.003	682
45	5	628.57	0.0001	35	34	33	0.007	0.006	0.006	338.7293889
50	5	777.86	0.0001	36	37	37	0.004	0.004	0.005	665.0703
50	20	165	0.0001	31	30	35	0.004	0.005	0.005	114.125
60	20	251.43	0.0001	42	36	36	0.004	0.004	0.004	238.8585
70	20	353.57	0.0001	46	43	41	0.004	0.004	0.004	383.0341667
80	20	471.43	0.0001	39	42	44	0.003	0.004	0.003	599.7637222
90	20	605	0.0001	25	23	24	0.005	0.005	0.004	314.6
100	20	754.29	0.0001	34	36	37	0.007	0.006	0.006	428.0296429
110	20	919.29	0.0001	39	39	39	0.007	0.007	0.007	512.1758571
125	20	1196.25	0.0001	5	5	5	0.014	0.013	0.012	46.19219322
135	20	1400.54	0.0001	40	35	35	0.005	0.005	0.005	1027.062667
150	20	1736.43	0.0001	22	25	22	0.005	0.005	0.005	798.7578

**ตารางที่ 2.10 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 10**

จุดสำรวจที่ 10

Location : หมู่บ้านคลองเตียน (แนวขนานกับคลองซุด)

วันที่ 11-12-56

Grid reff. 0607382 1417415 EV. 10 m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	29	29	29	0.007	0.006	0.006	1.086349206
1.5	0.5	6.29	0.0001	26	28	28	0.008	0.008	0.008	2.149083333
2	0.5	11.79	0.0001	23	26	23	0.005	0.005	0.005	5.6592
3	0.5	27.5	0.0001	23	23	21	0.005	0.005	0.005	12.28333333
3	2	3.93	0.0001	25	24	23	0.005	0.005	0.005	1.8864
5	2	16.5	0.0001	25	23	22	0.006	0.006	0.006	6.416666667
7	2	35.36	0.0001	24	24	23	0.006	0.007	0.007	12.62857143
10	2	75.43	0.0001	33	30	24	0.005	0.005	0.005	43.7494
10	5	23.57	0.0001	30	28	30	0.005	0.005	0.005	13.82773333
15	5	62.86	0.0001	13	14	12	0.003	0.003	0.002	31.43
20	5	117.86	0.0001	6	7	7	0.003	0.003	0.003	26.19111111
25	5	188.57	0.0001	14	13	12	0.005	0.005	0.005	49.0282
30	5	275	0.0001	4	5	4	0.003	0.003	0.003	39.72222222
35	5	377.14	0.0001	12	13	12	0.006	0.006	0.006	77.52322222
40	5	495	0.0001	6	5	5	0.001	0.001	0.001	264
45	5	628.57	0.0001	12	12	12	0.005	0.004	0.004	175.9996
50	5	777.86	0.0001	15	13	14	0.011	0.011	0.011	99.00036364
50	20	165	0.0001	14	13	14	0.011	0.012	0.011	19.95833333
60	20	251.43	0.0001	26	23	26	0.006	0.005	0.005	118.4514667
70	20	353.57	0.0001	16	14	17	0.005	0.005	0.005	110.7852667
80	20	471.43	0.0001	10	10	9	0.006	0.006	0.006	75.95261111
90	20	605	0.0001	25	26	30	0.007	0.007	0.007	233.3571429
100	20	754.29	0.0001	5	5	5	0.003	0.002	0.003	146.6675
110	20	919.29	0.0001	20	20	24	0.004	0.004	0.003	551.574
125	20	1196.25	0.0001	13	16	13	0.005	0.005	0.005	334.95
135	20	1400.54	0.0001							
150	20	1736.43	0.0001	29	29	29	0.003	0.003	0.003	1678.549



**ตารางที่ 2.11 ตารางบันทึกผลข้อมูลแนวสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 11**

จุดสำรวจที่ 11                      Location : ถนนเข้าโรงปูน (แนวขนานกับคลองขุด)

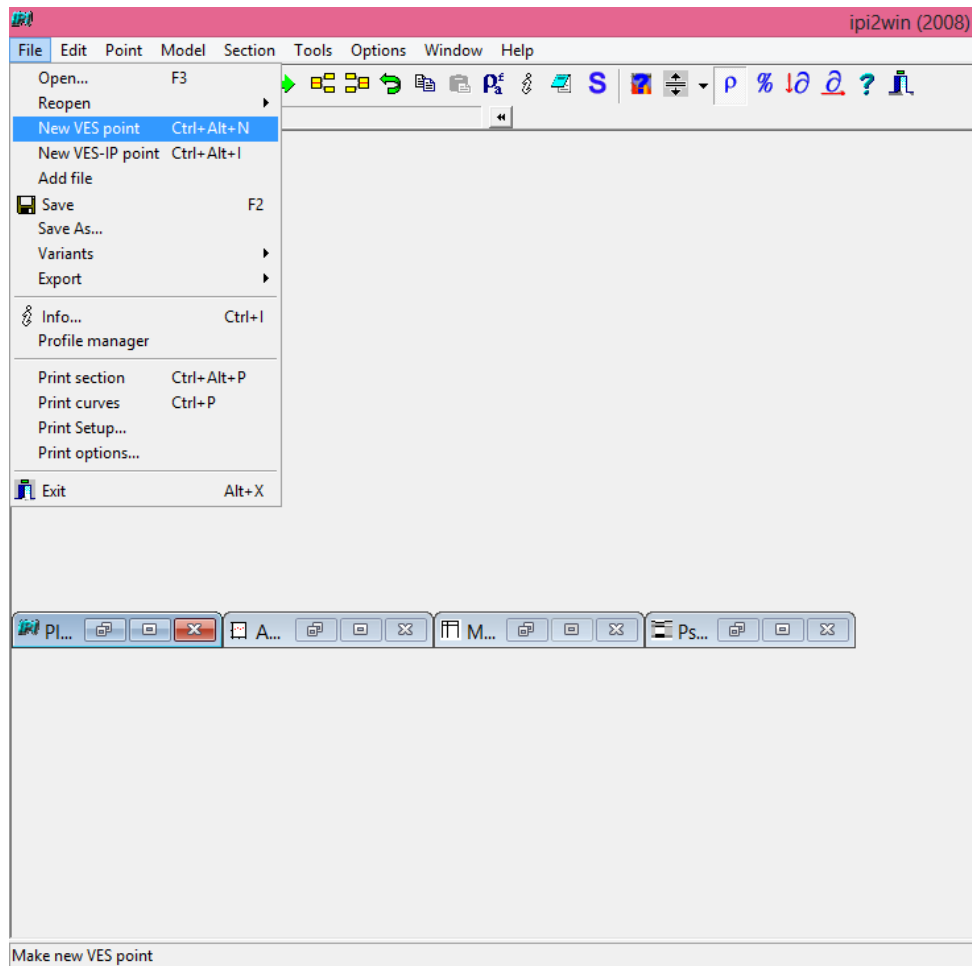
วันที่ 11-12-56                      Grid reff. 0606729 1417424 EV. - m

AB/2	MN/2	k	range	V1	V2	V3	I1	I2	I3	Res
1	0.5	2.36	0.0001	23	23	23	0.012	0.011	0.011	0.479747475
1.5	0.5	6.29	0.0001	17	19	18	0.016	0.015	0.015	0.739948611
2	0.5	11.79	0.0001	29	102	102	0.001	0.004	0.005	29.4357
3	0.5	27.5	0.0001	63	55	52	0.024	0.023	0.023	6.670742754
3	2	3.93	0.0001	50	61	50	0.027	0.027	0.027	0.781148148
5	2	16.5	0.0001	82	82	77	0.01	0.01	0.01	13.255
7	2	35.36	0.0001	47	46	58	0.022	0.023	0.023	7.847683794
10	2	75.43	0.0001	9	10	9	0.018	0.016	0.016	4.2429375
10	5	23.57	0.0001	11	14	8	0.02	0.019	0.018	1.360214133
15	5	62.86	0.0001	60	45	50	0.008	0.008	0.008	40.59708333
20	5	117.86	0.0001	14	16	11	0.004	0.003	0.003	49.10833333
25	5	188.57	0.0001	44	50	45	0.005	0.005	0.005	174.7415333
30	5	275	0.0001	21	20	22	0.002	0.002	0.003	255.1388889
35	5	377.14	0.0001	28	28	24	0.004	0.003	0.003	305.9024444
40	5	495	0.0001	29	26	23	0.002	0.001	0.001	1047.75
45	5	628.57	0.0001	19	18	23	0.011	0.01	0.01	122.0949606
50	5	777.86	0.0001	83	85	95	0.001	0.001	0.001	6819.239333
50	20	165	0.0001	78	77	72	0.003	0.003	0.003	416.1666667
60	20	251.43	0.0001	37	42	49	0.02	0.019	0.018	56.8462155
70	20	353.57	0.0001	26	33	25	0.011	0.011	0.011	89.99963636
80	20	471.43	0.0001	28	26	25	0.022	0.022	0.022	56.42874242
90	20	605	0.0001	69	56	53	0.021	0.021	0.02	173.4813492
100	20	754.29	0.0001	31	28	25	0.036	0.036	0.036	58.667
110	20	919.29	0.0001	8	11	10	0.029	0.029	0.029	30.643
125	20	1196.25	0.0001	29	29	30	0.013	0.012	0.012	285.0040064
135	20	1400.54	0.0001	27	23	20	0.044	0.044	0.044	74.27106061
150	20	1736.43	0.0001	64	65	70	0.007	0.007	0.007	1645.474143

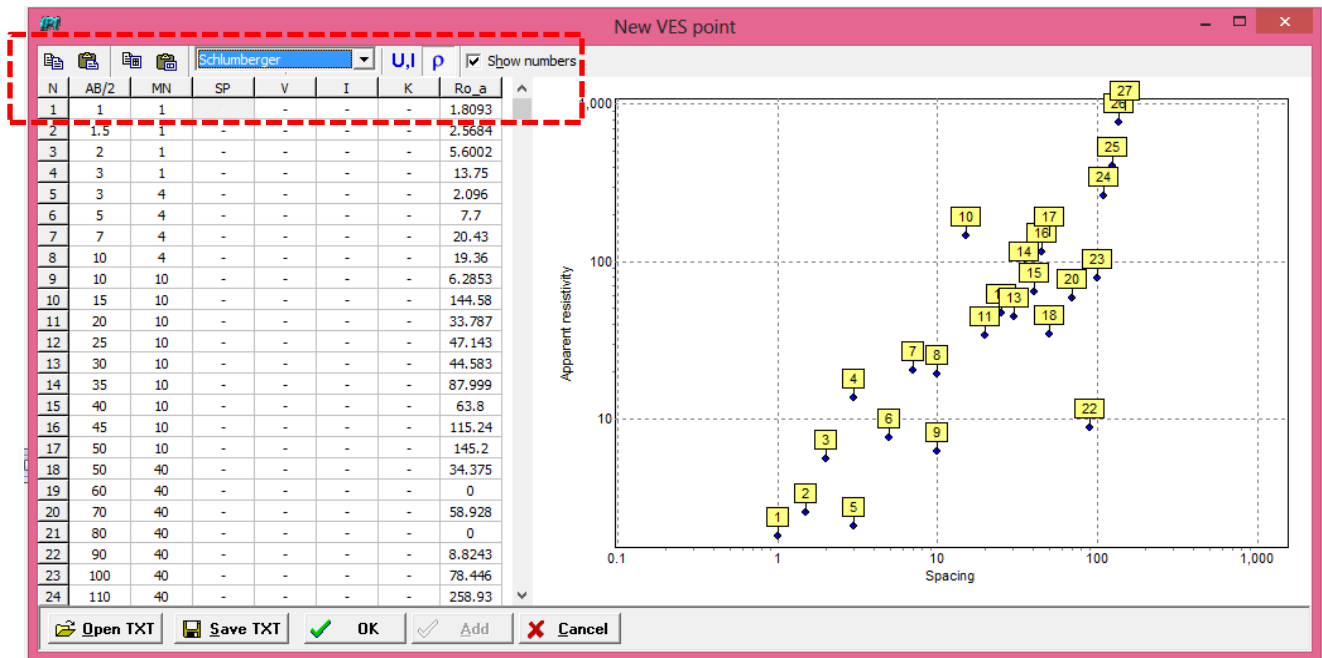
### 3. การใช้โปรแกรมในการแปลผลข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าครบถ้วน นำข้อมูลที่ได้มาเข้าโปรแกรม IPI2WIN ตามขั้นตอนดังนี้

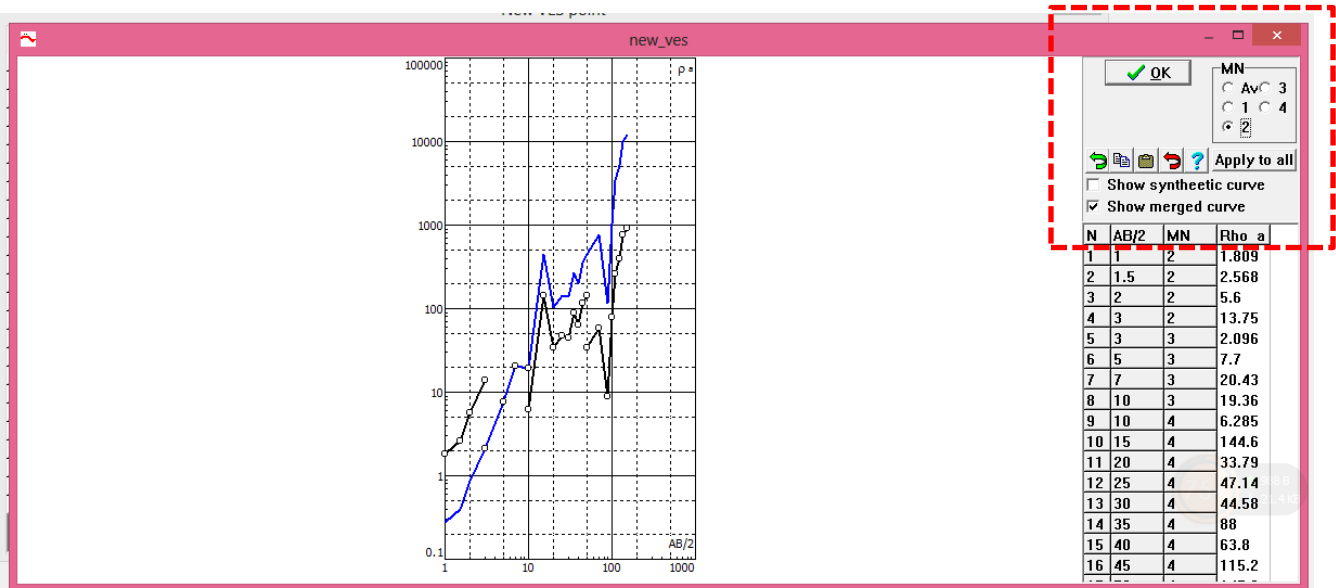
- 1) เปิดโปรแกรม IPI2WIN แล้วไปที่ file คลิกเลือก New VES point แล้วจะปรากฏหน้าต่าง New VES point



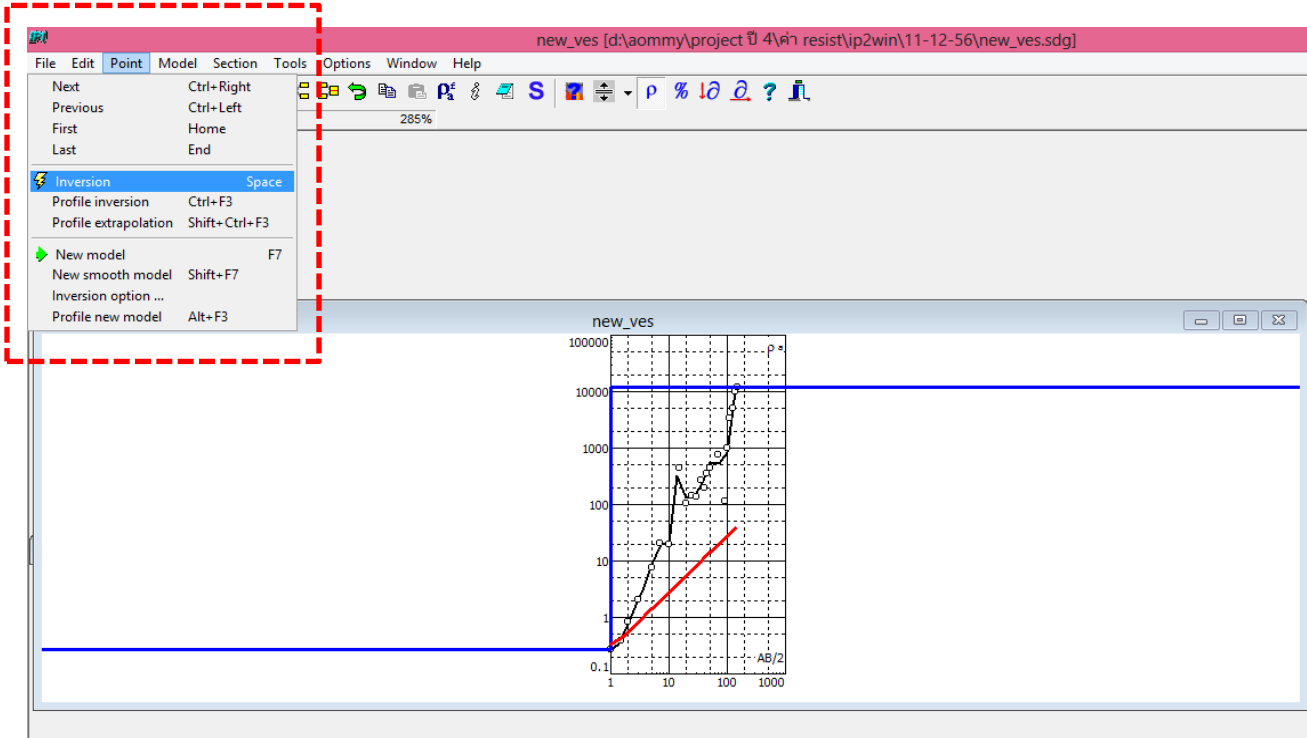
2) ในหน้าต่าง New VES point เลือกรูปแบบการวางขั้วแบบ Schlumberger แล้วกรอกข้อมูล AB/2, MN และกรอกค่า Res ในช่อง Ro\_a แล้วคลิก OK จากนั้นตั้งชื่อไฟล์แล้วกด Save



3) ทำการเลือก Show merge curve แล้วเลือกค่า MN ที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด จากนั้นคลิก OK

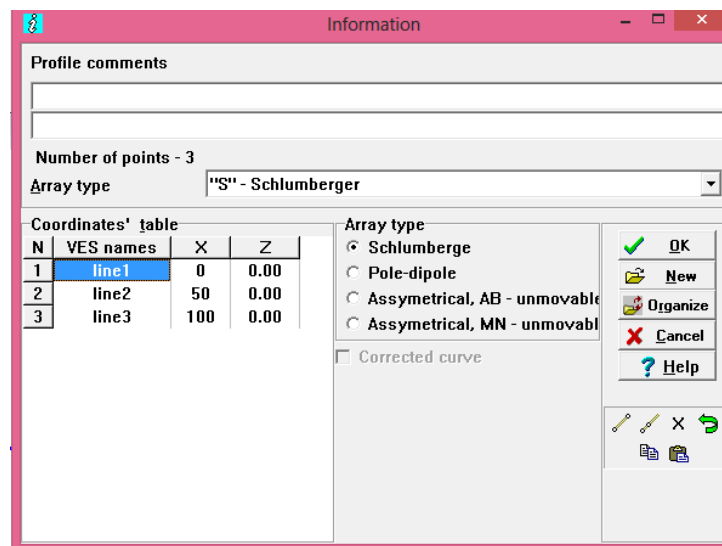


4) เมื่อกดคลิก OK แล้วจะปรากฏหน้าต่างค่าความต้านทานไฟฟ้า แล้วไปที่เมนู Point เลือก Inversion โปรแกรมจะปรับ Calibration curve ใหม่ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Error จะลดน้อยลง) จากนั้นกด SAVE แล้วกดปิดโปรแกรม

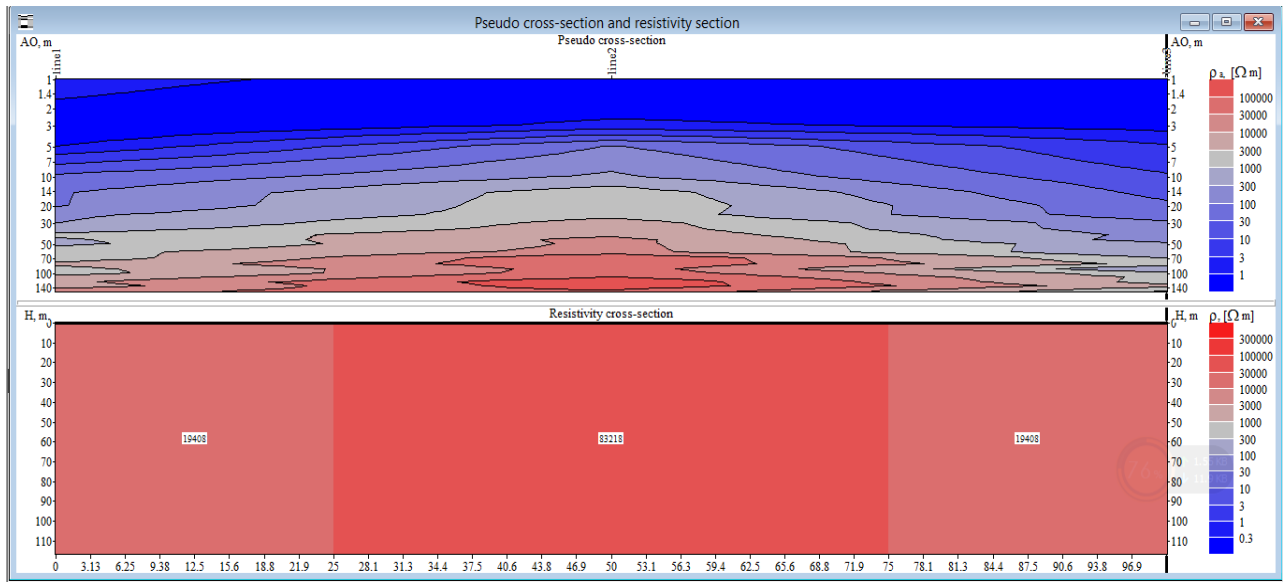


5) ประมวลผลด้วยโปรแกรมทุกแนวสำรวจ โดยทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 4 ใหม่อีกครั้ง

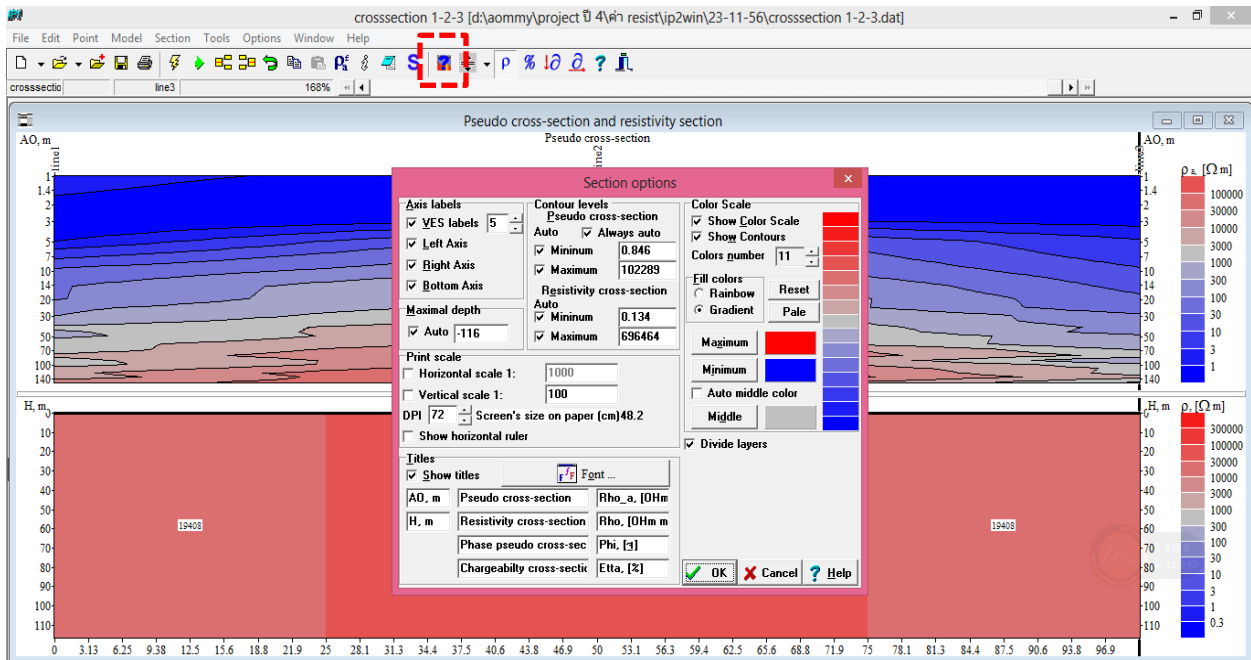
6) จากนั้นเปิดหน้าต่างโปรแกรมขึ้นมาใหม่ ไปที่ File แล้วคลิก Open แล้วเลือกแนวสำรวจที่ต้องการจะทำ Cross section เช่น ต้องการสร้างภาพ Cross section แนว 1-2-3 ให้เลือก Open ไฟล์แนวสำรวจที่ 1 ก่อน แล้วจากนั้นไปที่ File อีกครั้ง แล้วคลิกที่ Add เพื่อเลือกแนวสำรวจที่เหลือ



7) ในหัวข้อ Array type เลือกแบบ Schlumberger แล้วคลิก OK โปรแกรมจะสร้าง Pseudo cross-section และ resistivity cross-section อย่างที่เห็นในภาพด้านล่าง



8) สามารถเปลี่ยนสเกลความถี่ช่วงความต้านทานไฟฟ้า และสเกลอื่นๆได้ โดยคลิก Section option



## เอกสารอ้างอิง

- Aharmouch A., Larabi A., 2001, Numerical Modeling of Saltwater Interface Upconing in Coastal aquifers, First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers–Monitoring, Modeling, and Management.,1-12
- Choudhury K., Saha D.K. and Chakraborty P., 2001, Geophysical study for saline water intrusion in a coastal alluvial terrain, Journal of Applied Geophysics 46, 1-12
- Ingham M., McConchie J.A., Wilson S.R. and Cozens N., 2006, Measuring and Monitoring saltwater intrusion in shallow unconfined coastal aquifers using direct current resistivity traverses, Journal of Hydrology (NZ) 45 (2), 1-14.
- Al-Sayed E.A. and El-Qady G., 2007, Evaluation of Sea Water Intrusion using the Electrical Resistivity and Transient Electromagnetic Survey: Case Study at Fan of Wadi Feiran, Sinai, Egypt, EGM 2007 International Workshop, 1-4
- Adepelumi A., 2008, Delineation of Saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria, The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments (2008) and the 1st Arab Water Forum, 1-15.
- Werner A., Bakker M., Post V., Vandenbohede A., Lu C., Ataie - Ashtiani B., Simmons C. and Barry D.A., 2013, Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges, Advances in Water Resources 51, 1-24
- คู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดเพชรบุรี (เอกสารประกอบการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดเพชรบุรี มาตราส่วน 1:100,000) โดย บริษัท จีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น จำกัด กรุงเทพฯ: กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี , 2544 , 53 หน้า : 16 ภาพประกอบ : 4 ตาราง
- กิ่งดาว เคลือบทอง และนิมิตร ศรีคลัง, ทรัพยากรธรณีจังหวัดเพชรบุรี/ โดย กิ่งดาว เคลือบทอง และนิมิตร ศรีคลัง.--กรุงเทพฯ : สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี, 2555, 75 หน้า : ภาพประกอบ : แผนที่ : ตาราง ; 30 ซม.
- เพียงตา สาตวรรษ, ธรณีฟิสิกส์เพื่อการสำรวจใต้ผิวดิน = Exploration geophysics / เพียงตา สาตวรรษ. – [ขอนแก่น] : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550. 663 หน้า : ภาพประกอบ 4 ภาพ