การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

นายกิตติภพ กวางทอง

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557

EXPLORATION OF GROUNDWATER USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD IN AMPHOE KAENG KHOI, CHANGWAT SARABURI

Mr. Kittipob Kwangtong

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of the Bachelor of Science in Geology

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2014

วันที่ส่ง

_____/_____/_____

วันที่อนุมัติ

_____/_____/_____

ลงชื่อ_____

(_____)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้องานวิจัย: การสำรวจน้ำบาดาลด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายกิตติภพ กวางทอง
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร
ปีการศึกษา: 2557

บทคัดย่อ

จากปัญหาการเพิ่มขึ้นของประชากรในพื้นที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ทำให้เกิดมีความต้องการในการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้นจนมีปัญหาการขาดแคลนน้ำไว้ใช้ในการอุปโภคและบริโภค จึงทำให้มีความต้องการที่จะมีการพัฒนาบ่อบาดาลเพื่อนำมาใช้เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ งานวิจัยนี้มุ่งทำการสำรวจหาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ด้วยการประยุกต์วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก(Vertical Electrical Sounding, VES) โดยการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger array เพื่อศึกษาศักยภาพน้ำบาดาล(Groundwater Potential)ในพื้นที่ดังกล่าว โดยมีความลึกในการสำรวจ 100 เมตร ซึ่งหลังจากเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า และแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ จากการเปรียบเทียบข้อมูลบ่อบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ข้อสรุปว่าในพื้นที่ศึกษามีลักษณะทางธรณีวิทยาทั้งหมด 3 ชั้น ได้แก่ ชั้น Top Soil, ชั้น Sand และ Fractured volcanic rock โดยชั้นที่เป็นชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่นี้มี 2 ชั้นได้แก่ชั้น Sand และ Fractured volcanic rock ซึ่งพบได้ที่ความลึกประมาณ 25 - 65 เมตรและ ที่ความลึกมากกว่า 65 เมตร โดยเฉลี่ยในพื้นที่นี้ ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบ่อบาดาล

คำสำคัญ: อุทกธรณีวิทยา, การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์, ความต้านทานไฟฟ้า, VES, ศักยภาพน้ำบาดาล, อำเภอแก่งคอย, จังหวัดสระบุรี

Project title: EXPLORATION OF GROUNDWATER USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD IN AMPHOE KAENG KHOI, CHANGWAT SARABURI
Researcher: Mr. Kittipob Kwangtong
Department: Geology
Advisor: Professor Assistant Dr. Thanop Thitimakorn
Academic Year: 2557

ABSTRACT

An increasing of population in Amphoe Kaeng Khoi, Changwat Saruburi caused high demand of water resources. Finally, there will be a shortage of water resources for consumption. It needs to be developed artesian well to reduce the problem water scarcity in this area. This research aims to survey the aquifer characteristic in Chulalongkorn University land development project, Amphoe Kaeng Khoi, Changwat Saraburi area. With the application of geophysical methods called Vertical Electrical Sounding(VES) by using Wenner-Schlumberger array, the groundwater potential in this area can be characterized and evaluated. The in-depth survey of 100 meters could be achieved using this technique. After data collection, the pseudo cross section of the resistivity data and conceptual model were developed. By comparing the data from the Department of water resources and this study, it was concluded that in the study area three geological units can be identified. There were top soil layer, sand layer, and fractured volcanic rock layer. Sand unit and fractured volcanic rock unit are considered to be potential aquifers of the area. They were found at a depth of about 25 - 65 meters and at a depth of over 65 meters respectively.

KEYWORDS: Aquifer characteristic, Geophysical survey, Resistivity, VES, Groundwater potential, Amphoe Kaeng Khoi, Changwat Saraburi

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานวิจัยในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐานบ ธิติมากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่สอนเรื่องของการเรียนและการทำงานต่างๆ คอยให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาทางด้านวิชาการ ชี้แจงข้อบกพร่องรวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างที่จัดทำโครงงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ร่วมออกภาคสนามด้วยกันทุกคนไม่ว่าจะเป็นรุ่นพี่ นาย ณรงค์ศักดิ์ ราชูการ (พี่ไผ่) เพื่อน GEO รุ่น 55 นายพงศธร ธัญญวัชรกุล (หมิง), นายอนพัช มีมั่งคั่ง (แบมบู) รุ่นน้อง GEO รุ่น 56 นายชนะกานต์ คุ้มฉาย (โมเมนตัม), น.ส.ธนัชชา กิติรัตน์ตระการ (นัดแจ๋ว), รุ่นน้อง GEO รุ่น 57 นายปฏิพัทธ์ ลาพิมล (แม็ค), นายวฤธ สิริวิภาส (ดิวอี้), น.ส.พงษ์ลดา นิยมพงษ์ (คุ้กกี้), น.ส.จุฑามาศ เจริญสุข(อิง) และพี่บุคลากร นายลูกเพชร สุวรรณไตร (พี่ลูกเพชร) ที่ร่วมกันเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทำโครงงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะอาจารย์และบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยสอนให้ผมมีวิชาความรู้และให้การสนับสนุนในการทำโครงงานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ฌ
สารบัญสมการ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดพื้นฐาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 นิยามปัญหา	3
1.5 สมมติฐาน	3
1.6 วิธีสำรวจ	3
1.7 พื้นที่ศึกษา	3
1.8 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	5
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ	
2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการวิธีสำรวจความต้านทานไฟฟ้า	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	24
3.2 กำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา	24
3.3 เก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่กำหนด	24
3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก จัดทำภาพตัดขวางและแผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ	30
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล	
4.1 ภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก	31
4.2 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา	44
4.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	

หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 56
เอกสารอ้างอิง 57
ภาคผนวก 58

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาใน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี	1
รูปที่ 1.2	แผนที่แสดงภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาใน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี	2
รูปที่ 1.3	พื้นที่ศึกษาแสดงในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ระวางที่ 5137I(AMPHOE NONG KHAE), 5237IV(AMPHOE BAN NA), 5138II(CHANGWAT SARABURI), 5238III(AMPHOE MUAK LEK) พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 216 ตารางกิโลเมตร	4
รูปที่ 1.4	แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสระบุรี(Geological Map) โดยกรมทรัพยากรธรณี 2550	6
รูปที่ 2.1	ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า (เพียงตา, 2550)	11
รูปที่ 2.2	การเคลื่อนของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง	12
รูปที่ 2.3	การวัดหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุ ตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า และโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เพียงตา, 2550)	13
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ (เพียงตา, 2550)	14
รูปที่ 2.5	หลักการประยุกต์สำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า และโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และมีแท่งโลหะ(แท่งอิเล็กโตรด) สำหรับปักลงดินเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน (เพียงตา, 2550)	15
รูปที่ 2.6	รูปแบบของการจัดวางอิเล็กโตรด (เพียงตา, 2550)	17
รูปที่ 2.7	รูปแบบการจัดวางอิเล็กโตรดแบบชรัมเบอร์แจร์ (Schlumberger array) แสดงเส้นกระแสสมมติ (Line of electric flow field) ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential line) (www.biharaqua.org)	19
รูปที่ 2.8	ช่วงค่าความต้านทานไฟฟ้าของตะกอนหรือหินต่างๆ (Palacky, 1987)	20
รูปที่ 2.9	แบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบย้อนกลับตามแนวการสำรวจที่ 1-3 (Muchingami และคณะ, 2012)	21

หน้า

รูปที่ 2.10	แผนที่แสดงเส้นชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่เท่ากันของชั้นน้ำบาดาลหลักของพื้นที่ศึกษา (Atwia และคณะ, 2012)	22
รูปที่ 2.11	ภาพตัดขวางแสดงธรณีวิทยาจากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนว D-D' (Atwia และคณะ, 2012)	22
รูปที่ 3.1	ตำแหน่งจุดที่ทำการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธี VES	24
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์การออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)	26
รูปที่ 3.3	หลักการการจัดวางแท่งโลหะ และแท่งทองแดง แบบ Wenner-Schlumberger array	27
รูปที่ 3.4	ตารางบันทึกข้อมูล Voltage (V), Current (I), และ range ที่อ่านได้จากเครื่อง SUEBSAK รุ่น SS08 และระยะทาง AB/2 และ MN/2 ที่เป็นตัวกำหนดระยะของการวางขั้วโลหะและขั้วทองแดงตามลำดับขณะทำการสำรวจ	28
รูปที่ 3.5	รูปแบบโปรแกรม IPI2WIN หลังทำการกรอกข้อมูล	29
รูปที่ 3.6	แสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าโดยโปรแกรม IPI2WIN	30
รูปที่ 4.1	จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558	32
รูปที่ 4.2	ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่าง วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558	33
รูปที่ 4.3	จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558	34
รูปที่ 4.4	ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่าง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558	35
รูปที่ 4.5	จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 18 - 19 เมษายน 2558	36
รูปที่ 4.6	ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่าง วันที่ 18 - 19 เมษายน 2558	37
รูปที่ 4.7	ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2, 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1	38

หน้า

รูปที่ 4.8	ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2	39
รูปที่ 4.9	ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 3-1, 3-2, 5-2 และ 4-3	40
รูปที่ 4.10	การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2, 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1	41
รูปที่ 4.11	การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2	42
รูปที่ 4.12	การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2	43
รูปที่ 4.13	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 5 เมตร	44
รูปที่ 4.14	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 20 เมตร	45
รูปที่ 4.15	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 30 เมตร	46
รูปที่ 4.16	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 40 เมตร	47
รูปที่ 4.17	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 60 เมตร	48
รูปที่ 4.18	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 80 เมตร	49
รูปที่ 4.19	แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 100 เมตร	50
รูปที่ 4.20	ภาพตัดขวางในแนว A - A' พร้อมทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	53
รูปที่ 4.21	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา	54

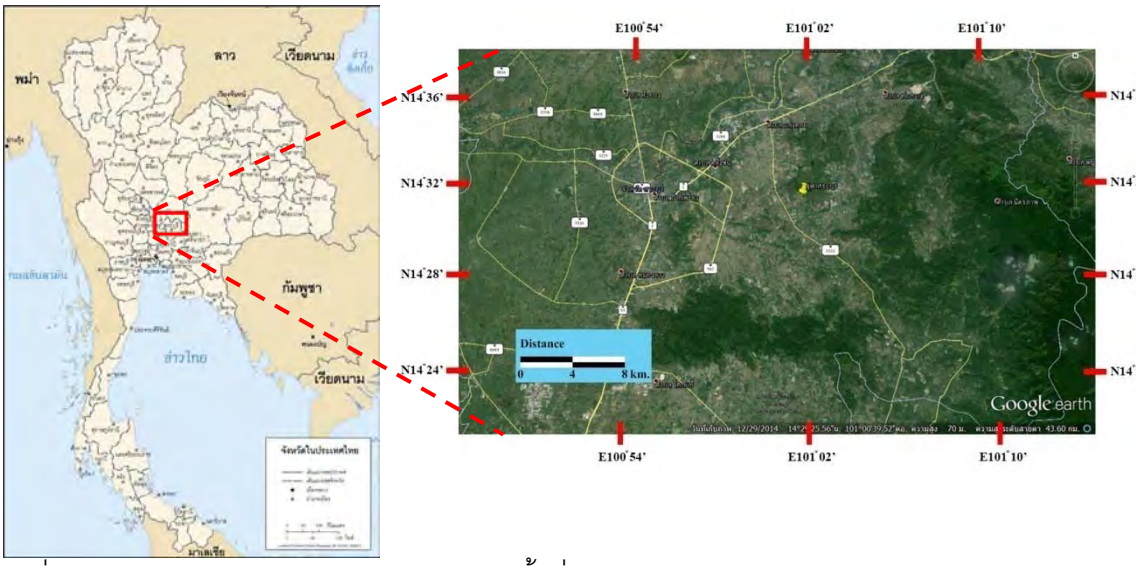
สารบัญสมการ

		หน้า
สมการที่ 2.1	สมการความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้า พลังงานศักย์ไฟฟ้า และประจุไฟฟ้า	11
สมการที่ 2.2	สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ประจุไฟฟ้า และเวลา	12
สมการที่ 2.3	กฎของโอห์ม (Ohm's Law)	13
สมการที่ 2.4	สมการความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า พื้นที่หน้าตัด และความยาว	14

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดพื้นฐาน

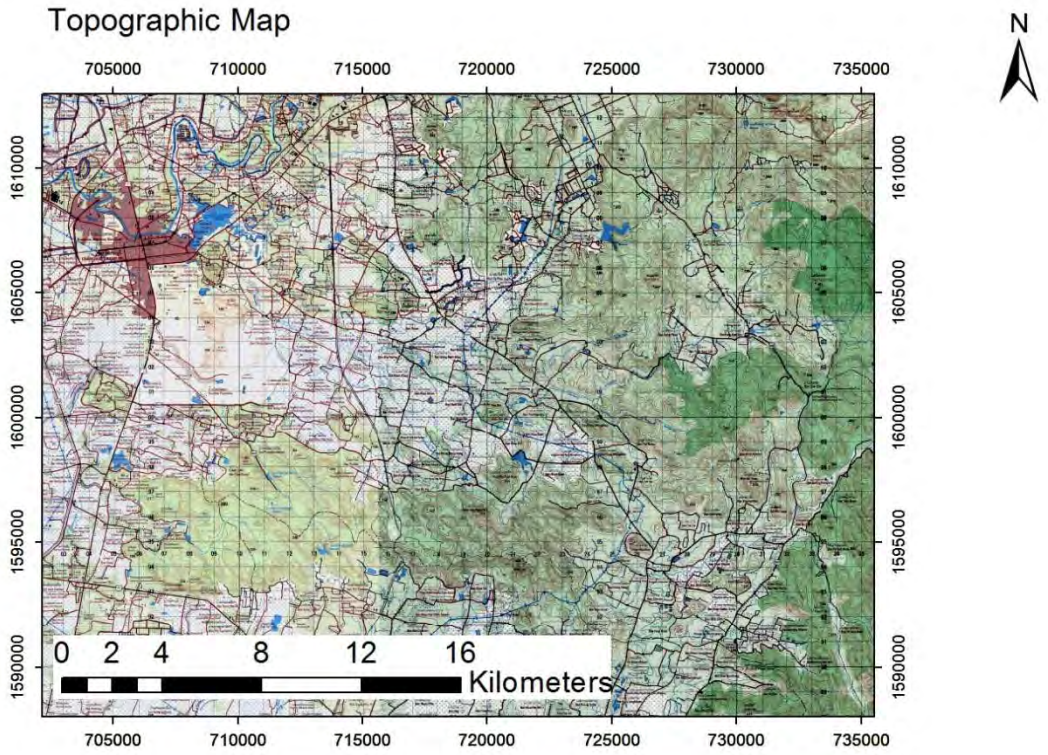
อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรีเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่จำนวนมาก มีการทำการเกษตรอย่างกว้างขวางในพื้นที่ รวมถึงมีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมากมายในพื้นที่ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้น้ำจืดในการอุปโภคและบริโภค จนทำให้เกิดความต้องการในการใช้น้ำจืดเพิ่มสูงขึ้นจนอาจจะเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำจืดในอนาคตอันเนื่องมาจากสาเหตุหลายปัจจัยด้วยกันเช่น การเพิ่มขึ้นของประชากรรวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ดังกล่าว การเกิดฤดูแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ เป็นต้น ดังนั้นการใช้น้ำจืดแต่เฉพาะน้ำผิวดินจึงอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ จนนำมาสู่การพัฒนาบ่อบาดาลเพื่อใช้น้ำจืดในชั้นน้ำใต้ดินภายในพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงลักษณะของน้ำบาดาลของพื้นที่ดังกล่าว เพื่อศึกษาพื้นที่ที่จะพัฒนาเป็นบ่อบาดาลและกำหนดความลึกในการวางท่อเปิดรับน้ำ (Screen) และนำน้ำที่อยู่ในชั้นน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 1.1 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาใน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการสำรวจชั้นน้ำบาดาลในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 1.1 และ 1.2) โดยจะเน้นการสำรวจจะเน้นในบริเวณโดยรอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรเป็นปริมาณมาก โดยวิธีการศึกษาใช้วิธีวัดค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (Vertical Electrical Sounding; VES) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสำรวจหาน้ำบาดาล โดยรูปแบบในการวางขั้วที่จะใช้ในการศึกษาหาค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าจะใช้รูปแบบผสมระหว่าง Wenner-Schlumberger การวางขั้วแบบนี้

จะทำให้ข้อมูลที่ได้ครอบคลุมทั้งในแนวราบและแนวดิ่งที่มากกว่าการวางขั้วแบบ Wenner ธรรมดาประมาณ 15% (Loke, 2000)



รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาใน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย

เพื่อสำรวจหาค่าเพื่อศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ร่วมกับข้อมูลหลุมเจาะและข้อมูลธรณีวิทยา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (Vertical Electrical Sounding, VES) โดยการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger array เพื่อศึกษาศักยภาพน้ำบาดาล(Groundwater Potential)ในพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

1.4 นิยามปัญหา

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) จะสามารถใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงถึงลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรีได้

1.5 สมมติฐาน

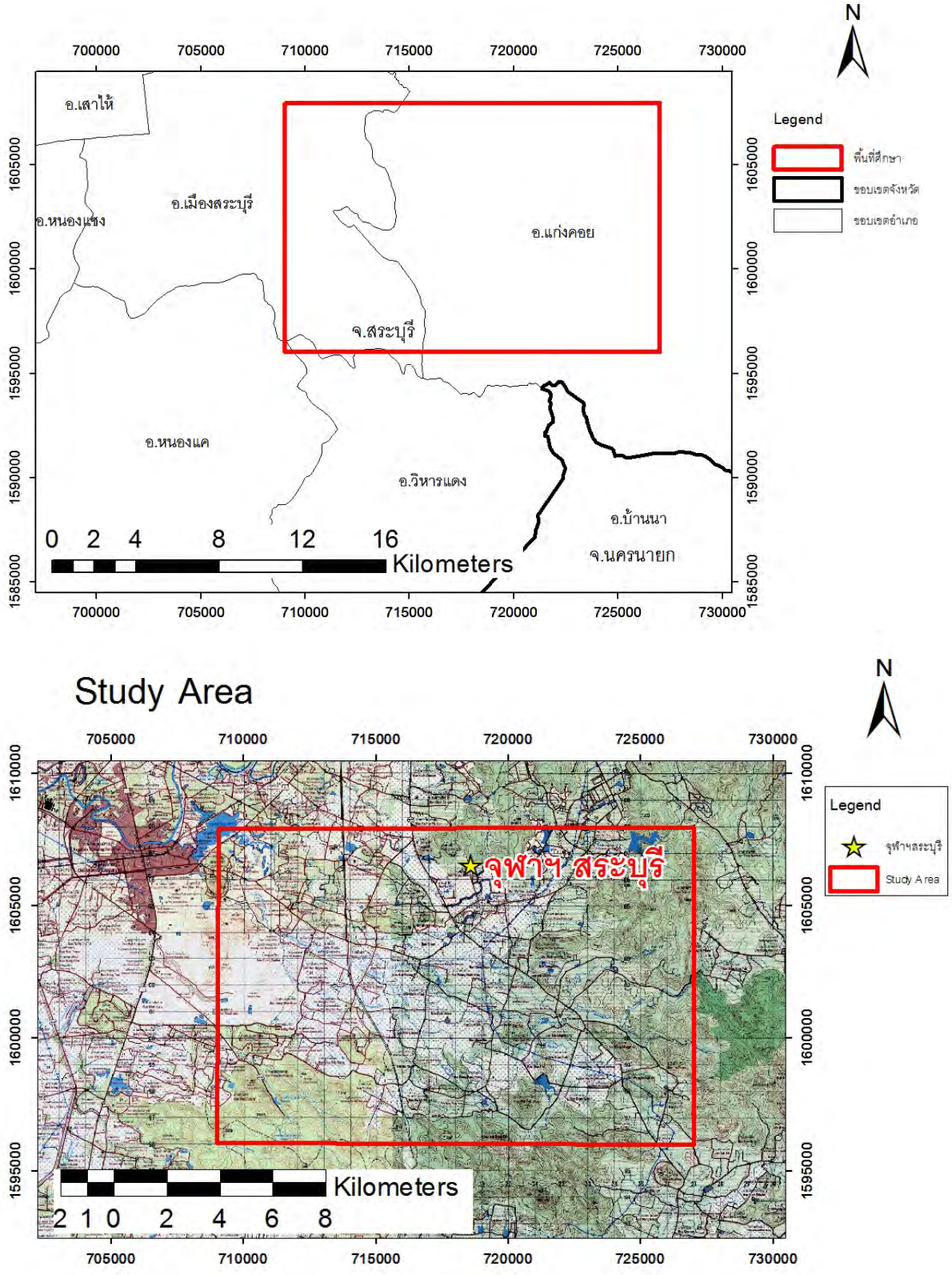
การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก(VES) จะสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่ออธิบายลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรีได้

1.6 วิธีสำรวจ

สำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก (VES) โดยการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger array

1.7 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณภาคกลางของประเทศไทย ตั้งอยู่ภายในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ระวางที่ 5137 I(AMPHOE NONG KHAE), 5237IV(AMPHOE BAN NA), 5138II(CHANGWAT SARABURI), 5238III(AMPHOE MUAK LEK) พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 216 ตารางกิโลเมตร(รูปที่ 1.3) บริเวณละติจูดที่ 14°24' N ถึง 14°36' N ลองจิจูดที่ 100°46' E ถึง 101°10' E (รูปที่1.1) ในพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีทั้งโรงงานอุตสาหกรรมและพื้นที่ทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำการเกษตรทั้งปีเลยส่งผลทำให้ในพื้นที่ดังกล่าวมีความต้องการในการใช้น้ำเป็นอย่างมาก

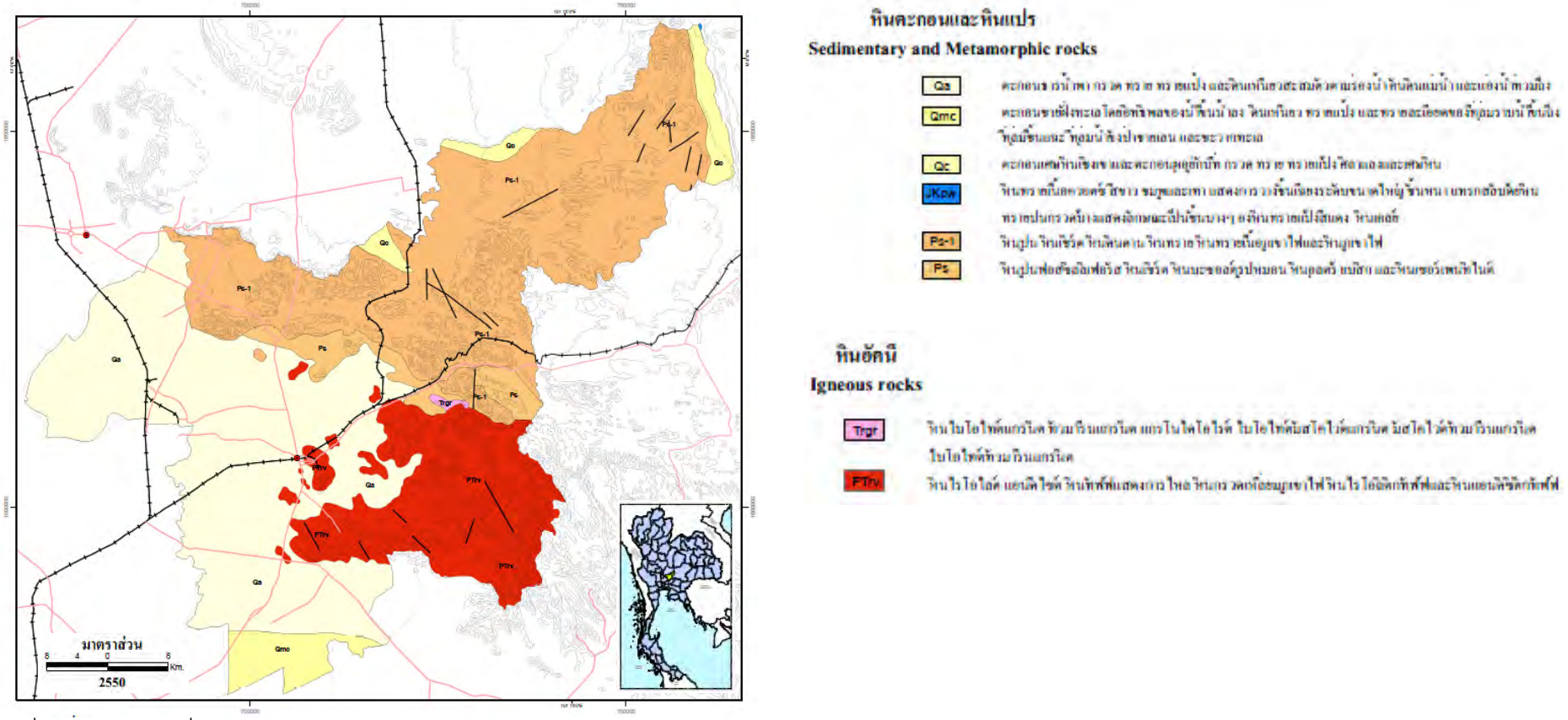


รูปที่ 1.3 พื้นที่ศึกษาแสดงในแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ระวางที่ 5137 I(AMPHOE NONG KHAE), 5237IV(AMPHOE BAN NA), 5138II(CHANGWAT SARABURI), 5238III(AMPHOE MUAK LEK)พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 216 ตารางกิโลเมตร

1.8 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

กรมทรัพยากรธรณีวิทยา (2550) ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสระบุรี ทางตอนใต้ตะวันออก และตะวันตกของจังหวัดเป็นที่ราบ มีระดับความสูงจากน้ำทะเลประมาณ 2 เมตร พื้นที่จะค่อยๆ ลาดสูงขึ้นไปทางตอนกลาง ซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบสลับเนินเขา มีระดับความสูงจากน้ำทะเลประมาณ 8-10 เมตร และสูงขึ้นไปจนถึงพื้นที่ราบสูงและภูเขาทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ มีแม่น้ำป่าสักไหลผ่านพื้นที่ทางตอนเหนือ ลงมาสู่พื้นที่ราบสลับเนินเขาทางตอนกลางและที่ราบทางตะวันตก

ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยหนังสือการจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดสระบุรีของกรมทรัพยากรธรณี(2550) กล่าวไว้ว่า ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดสระบุรีเป็นภูเขาสูงทางด้านเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด แนวภูเขาทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนหนึ่งของขอบที่ราบสูงโคราช ส่วนด้านตะวันตกและตะวันออกของจังหวัดเป็นที่ราบ พื้นที่จังหวัดรองรับด้วยหินแข็งอายุตั้งแต่ 286 ล้านปีจนถึงตะกอนปัจจุบัน เป็นหินตะกอน หินแปร หินอัคนี และตะกอนร่วน โดย พื้นที่จังหวัดสระบุรีร้อยละ 80 รองรับด้วยตะกอนร่วนและหินตะกอน เกิดจากการสะสมและตกตะกอนทับถมของเศษหิน ดิน ทราย ที่แตกหลุดหรือถูกชะละลายออกมาจากหินเดิมโดยตัวการตามธรรมชาติ เช่น น้ำ ลม ธารน้ำแข็ง น้ำทะเล พัดพาตะกอนไปทับถมในแอ่งสะสมตัว ตะกอนที่สะสมตัวมากขึ้นมีการกดทับอัดตัวกันแน่น การเชื่อมประสานและกลายเป็นหินในที่สุด หินตะกอนบางประเภทเกิดจากการตกตะกอนโดยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น หินปูน หินโดโลไมต์ เป็นต้น



รูปที่ 1.4 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสระบุรี(Geological Map) โดยกรมทรัพยากรธรณี 2550

1.หน่วยหินตะกอนและหินแปร (Sedimentary rock and Metamorphic rock)

1.1 หน่วยหิน Ps เป็นหินในยุค Permian มีอายุระหว่าง 250-290 ปี มีลักษณะเป็นหินปูน ฟอสซิลลิเฟอรัส หินเชิร์ต หินบะซอลต์รูปหมอน หินอุลตร้าเบสิก และหินเซอร์เพนทิไนต์

1.2 หน่วยหิน Ps-1 เป็นหินในยุค Permian มีอายุระหว่าง 270-290 ปี มีลักษณะเป็นหินปูน หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย หินทรายเนื้อภูเขาไฟและหินภูเขาไฟ

1.3 หน่วยหิน JKpw เป็นหินในยุค Jurassic-Cretaceous มีอายุระหว่าง 135-150 ปี มีลักษณะเป็นหินทรายเนื้อควอตซ์ สีขาว ชมพูและเทา แสดงการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ ชั้นหนำ แทรกสลับด้วยหินทรายปนกรวดบ้างแสดงลักษณะเป็นชั้นบางๆ ของหินทรายแป้งสีแดง หินเคลย์

1.4 หน่วยตะกอน Qc เป็นตะกอนในยุค Quaternary มีอายุระหว่าง 0.01-1.8 ปี มีลักษณะเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ กรวด ทราย ทรายแป้ง ศิลาแลงและเศษหิน

1.5 หน่วยตะกอน Qmc เป็นตะกอนในยุค Quaternary มีอายุระหว่าง ปัจจุบัน-0.01 ปี มีลักษณะเป็นตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายละเอียดของที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง ที่ลุ่มชื้นแฉะ ที่ลุ่มน้ำขังป่าชายเลน และชะวากทะเล

1.6 หน่วยตะกอน Qa เป็นตะกอนในยุค Quaternary มีอายุระหว่าง ปัจจุบัน-0.01 ปี มีลักษณะเป็นตะกอนธารน้ำพา กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตัวตามร่องน้ำ คันดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง

2.หน่วยหินอัคนี (Igneous rock)

2.1 หน่วยหิน PTrv เป็นหินในยุค Permian-Triassic มีอายุระหว่าง 240-265 ปี มีลักษณะเป็นหินไรโอไลต์ แอนดีไซต์ หินทัฟฟ์แสดงการไหล หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์และหินแอนดิซิติกทัฟฟ์

2.2 หน่วยหิน Trgr เป็นหินในยุค Triassic มีอายุระหว่าง 200-250 ปี มีลักษณะเป็นหินไบโอไทต์แกรนิต ทัวมารีนแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไบโอไทต์มัสโคไวต์แกรนิต มัสโคไวต์ทัวมารีนแกรนิต ไบโอไทต์ทัวมารีนแกรนิต

ธรณีวิทยาโครงสร้าง

การวางตัวของชั้นหิน ชั้นหินปูนมีการวางตัวใน 2 ทิศทางหลัก คือ บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และบริเวณตอนกลางของจังหวัดจะวางตัวในแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก

รอยคดโค้ง หินปูนของกลุ่มหินสระบุรีมีการคดโค้งรูปประทุนมากมาย ส่วนใหญ่จะมีแนวแกน
อยู่ในทิศทางเกือบตะวันออก-ตะวันตก

รอยเลื่อน พบรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหมวดหินภูเพกับหมวดหินซับบอน

รอยแตก พบรอยแตกใน 2 แนวหลัก คือ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นตะกอนและชั้นหิน ของพื้นที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

2.ใช้เป็นข้อมูลประกอบในการเลือกพื้นที่ในการพัฒนาบ่อบาดาลในพื้นที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

บทที่ 2 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ

2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการวิธีสำรวจความต้านทานไฟฟ้า

2.1.1 บทนำ

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey) หรืออีกชื่อหนึ่งที่นิยมเรียก คือ การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ปัจจุบันนิยมทำการสำรวจแพร่หลายในระดับตื้นเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่ประยุกต์สำรวจที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 กิโลเมตร แม้ว่าการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าสามารถประยุกต์สำรวจได้ที่ความลึกมากสุดประมาณ 10-15 กิโลเมตรก็ตาม การประยุกต์สำรวจธรณีวิทยาใต้ผิวดินด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า อาศัยเงื่อนไขของสภาพใต้ผิวดิน คือ สภาพใต้ผิวดินต้องไม่เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีว่าแร่ประกอบหินในเปลือกโลกมีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เนื่องจากเนื้อหินมีช่องว่างอันประกอบด้วย รูพรุน รอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน โดยที่ในช่องว่างมีน้ำที่มีไอออนหรือประจุไฟฟ้าต่างๆ ที่ปะปนอยู่ ไอออนหรือประจุไฟฟ้าในน้ำจะเคลื่อนไหลระหว่างช่องว่างต่อช่องว่าง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลใต้ผิวดิน ช่องว่างที่เกิดจาก รูพรุนรอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน ในเนื้อหินในเปลือกโลกลึกลงไปประมาณ 10-15 กิโลเมตร จะปิดเพราะอยู่ในสภาพการกดอัดจากน้ำหนักที่อยู่ด้านบนประกอบกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นตามความลึกช่องว่างในเนื้อหินจึงลดลงตามลำดับตามความลึกและปิดในที่สุด เมื่อช่องว่างและของเหลวในช่องว่างหายไป สภาพการนำไฟฟ้าของหินใต้ผิวดินหมดไป ขีดจำกัดของการสำรวจจึงอยู่ที่ความเป็นฉนวนหรือไม่เป็นฉนวนของสภาพใต้ผิวดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ สภาพของการยอมให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านนั่นเอง ดังนั้นหากสภาพใต้ผิวดินลึกกว่า 10-15 กิโลเมตรลงไปมีช่องว่าง รอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตกเฉือน และมีของเหลวแทรกอยู่ในช่องว่าง จะสามารถสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ โดยปกติทั่วไปการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและการแปลความหมายทำได้รวดเร็ว ความน่าเชื่อถือของการแปลความหมายอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้เพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้านั้น มีมากกว่าการสำรวจด้วยวิธีวัดค่าความเร่งโน้มถ่วง หรือค่าสนามแม่เหล็ก

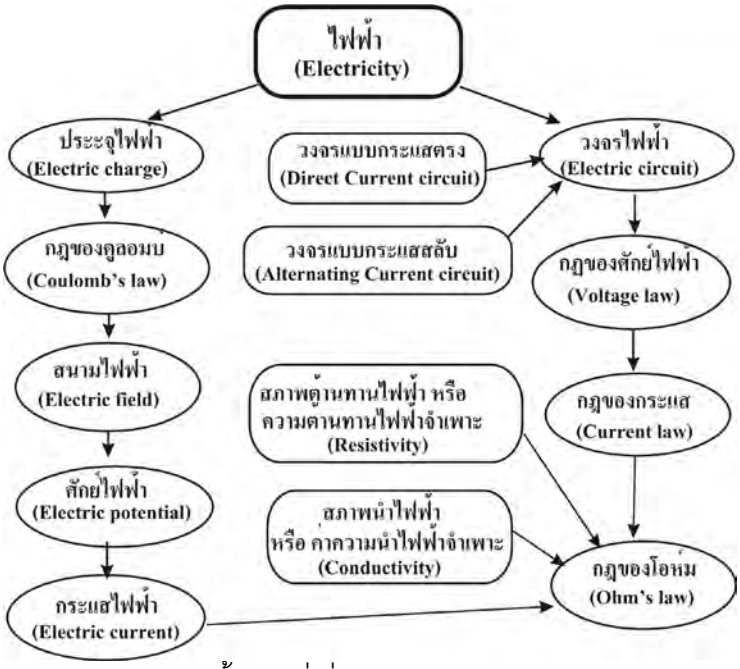
วิธีการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าจัดรวมอยู่ในประเภทการสำรวจด้วยไฟฟ้า (Electrical survey) ที่ประยุกต์นำเอาหลักทฤษฎีทางไฟฟ้ามาตรวจวัดสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน ซึ่งการสำรวจด้วยไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (1) กลุ่มที่ต้องปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน นั่นคือ ต้องมีตัวกำเนิดไฟฟ้าที่ผิวดิน และ (2) กลุ่มที่ไม่ต้องปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน นั่นคือ อาศัยกระแสไฟฟ้าใต้ผิวดินที่เกิดเองตามธรรมชาติ

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity Survey หรือภาษาอังกฤษบางทีเรียกว่า DC-Resistivity Survey) เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน

ด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current, DC) หรือใช้กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้าๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และทางเดินของกระแสไฟฟ้า คือ คุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วย แร่ องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน วิธีการสำรวจนี้นิยมทำกันแพร่หลายกว่าวิธีอื่นๆในประเภทของการสำรวจด้วยไฟฟ้า

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อ หาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน เช่นเดียวกับวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์วิธีอื่นๆ ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า คือ ทราบสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน โดยที่การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าอาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวทางไฟฟ้าของสภาพดิน-หินใต้ผิวดิน หากสภาพใต้ผิวดินไม่มีความแตกต่างทางกายภาพในด้านไฟฟ้า การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าไม่สามารถนำมาประยุกต์สำรวจได้ ลักษณะสภาพธรณีวิทยาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์สำรวจด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ได้แก่ ใช้หาชั้นดิน-หินที่มีองค์ประกอบของแร่ รูพรุน และค่าการซึมผ่านแตกต่างกัน ใช้หาชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นน้ำบาดาลใช้หาขอบเขตการแทรกตัวของชั้นน้ำเค็ม ใช้หาขอบเขตรอยเลื่อนหรือรอยเฉือน ใช้หาโพรงใต้ผิวดินใช้ตรวจสภาพการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ผิวดิน เป็นต้น

2.1.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีด้านไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า
ที่มา: เพียงตา(2550)

ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential or Voltage)

วัตถุที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิงมีพลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเข้าสู่ศูนย์กลาง หรือที่เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง สำหรับไฟฟ้ามีหลักการเช่นเดียวกัน คือ เมื่อมีประจุไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์เนื่องจากแรงทางไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น โดยที่ประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ที่มีสนามไฟฟ้าจะมีพลังงานศักย์ เรียกว่า พลังงานศักย์ไฟฟ้า (Wp) ประจุไฟฟ้าบวกเคลื่อนจากตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำ นิยามของศักย์ไฟฟ้า (V) คือ อัตราส่วนของพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุไฟฟ้า ดังสมการที่ 2.1

$$V = \frac{W_p}{q} \qquad \frac{Joule}{Coulomb} \text{ หรือ } Volt$$ สมการที่ 2.1

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้า (Volt)

Wp คือ พลังงานศักย์ไฟฟ้า (Joule)

q คือ ประจุไฟฟ้า (Coulomb)

กระแสไฟฟ้า (Electric Current)

เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 กล่าวได้ว่า มีกระแสไฟฟ้าในตัวนำนั้น นิยามของกระแสไฟฟ้า กล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ จะเท่ากับประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางนั้นๆ ในแนวตั้งฉากในหนึ่งหน่วยเวลา” จากรูปที่ 2.2 สมมุติในเวลา t ใดๆ มีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจำนวน n เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง ถ้าอนุภาคมีประจุไฟฟ้า q สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.2

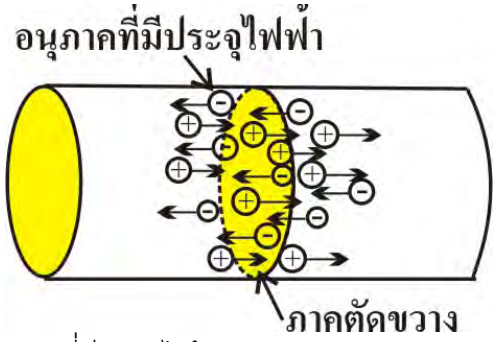
$$I = \frac{nq}{t} \qquad \frac{Coulomb}{Second} \text{ หรือ } Ampere$$ สมการที่ 2.2

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้า

q คือ ประจุไฟฟ้าในแต่ละตัว

n คือ จำนวนประจุไฟฟ้า

t คือ เวลา



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง

ที่มา: เพียงตา(2550)

กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

กฎของโอห์ม (Ohm's law) กล่าวว่า "กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำหนึ่งมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น " สรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ออกมาได้ดังสมการที่ 2.3

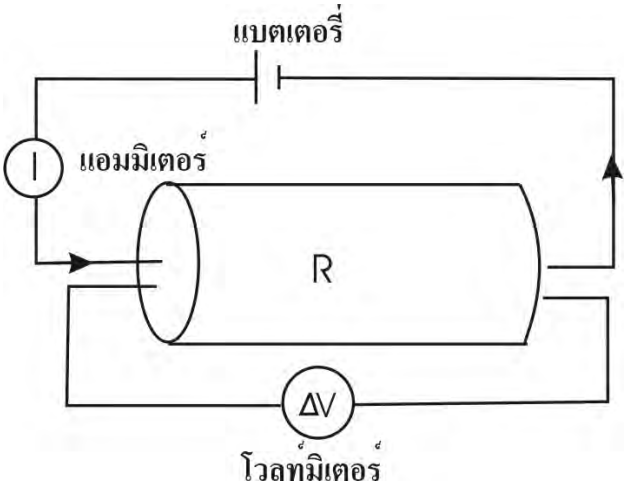
$$\frac{V}{I} = R$$ สมการที่ 2.3

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์

I คือ กระแสไฟฟ้า

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า

ซึ่งจากสูตรความสัมพันธ์ดังกล่าว เราจึงนำไปประยุกต์ในการหาค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 การวัดหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุ ตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ที่มา: เพียงตา(2550)

ซึ่งเมื่อพิจารณาทรงกระบอกในรูปที่ 2.3 แล้วจะพบว่าความต้านทานไฟฟ้า (R) นั้นเมื่อนำไปคิดความสัมพันธ์ร่วมกันกับความยาว (L) และ พื้นที่หน้าตัด (A) จะทำให้สามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ(สภาพต้านทานไฟฟ้า)ได้จากสมการที่ 2.4

$$\rho = R\frac{A}{L}$$ สมการที่ 2.4

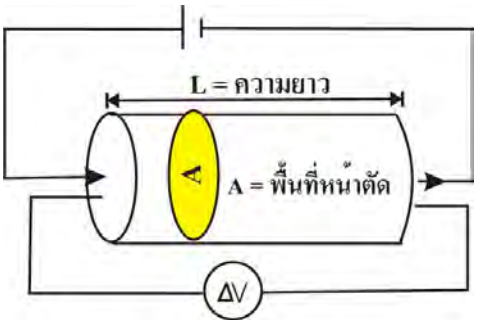
เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า หรืออีกชื่อหนึ่งที่นิยมเรียกคือ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ มีหน่วยเป็น โอห์ม-เมตร (Ω-m)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์

A คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น เมตร

L คือ ความยาว มีหน่วยเป็น เมตร

(ก)

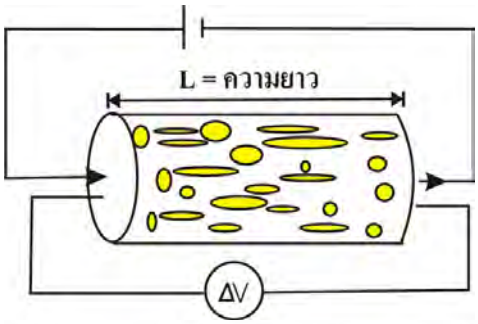


จากกฎของโอห์ม $V = IR$ และ $R = \rho\frac{L}{A}$

ดังนั้น $\rho = \frac{\Delta VA}{IL}$

ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า

(ข)



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

ดังนั้น $\rho_a = \frac{\Delta VA}{IL}$

ρ_a = สภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ

(ก) กรณีตัวกลางมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจริง (true resistivity) หรือเรียกสั้นๆว่า ความต้านทานไฟฟ้า

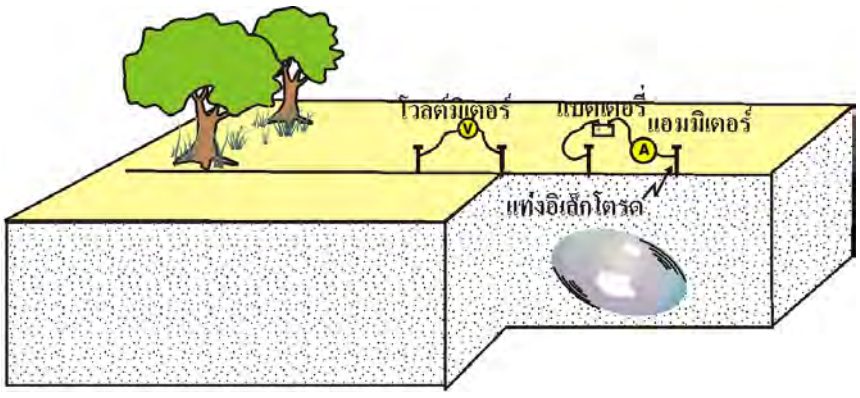
(ข) กรณีตัวกลางมีเนื้อผสม จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นค่าของความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (apparent resistivity)

สภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)

ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity, ρ) ของวัตถุ หรือความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของวัตถุ เป็นค่าที่แสดงคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ ที่บอกให้ทราบว่าวัตถุนั้นต้านทานไฟฟ้า หรือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกลับกับค่าของสภาพนำไฟฟ้า

2.1.3 วิธีการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

การสำรวจหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ สามารถทำได้โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปตามเส้นลวดลงสู่ดิน กระแสไฟฟ้าจะไหลออกไปจากจุดที่ปล่อย (รูปที่ 2.5) หากใต้ผิวดินเป็นตัวนำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ย่อมสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และเมื่อทราบค่าของกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไป และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ย่อมสามารถหาค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ตามกฎของโอห์ม และจากความต้านทานไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน -หินใต้ผิวดิน ในบริเวณที่ปล่อยกระแสไฟฟ้า และความยาวของระยะทางที่กระแสไฟฟ้าไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหล เมื่อนำหลักการนี้มาสำรวจในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งโดยกำหนดให้ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเท่ากัน และระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน หากสภาพใต้ผิวดินมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากัน ผลคือได้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าย่อมเท่ากัน แปลความหมายได้ว่าสภาพใต้ผิวดินของทั้งสองบริเวณมีความคล้ายคลึงกันหรือเหมือนกัน แต่ถ้าสภาพใต้ผิวดินแตกต่างกันผลคือค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดย่อมแตกต่างกัน

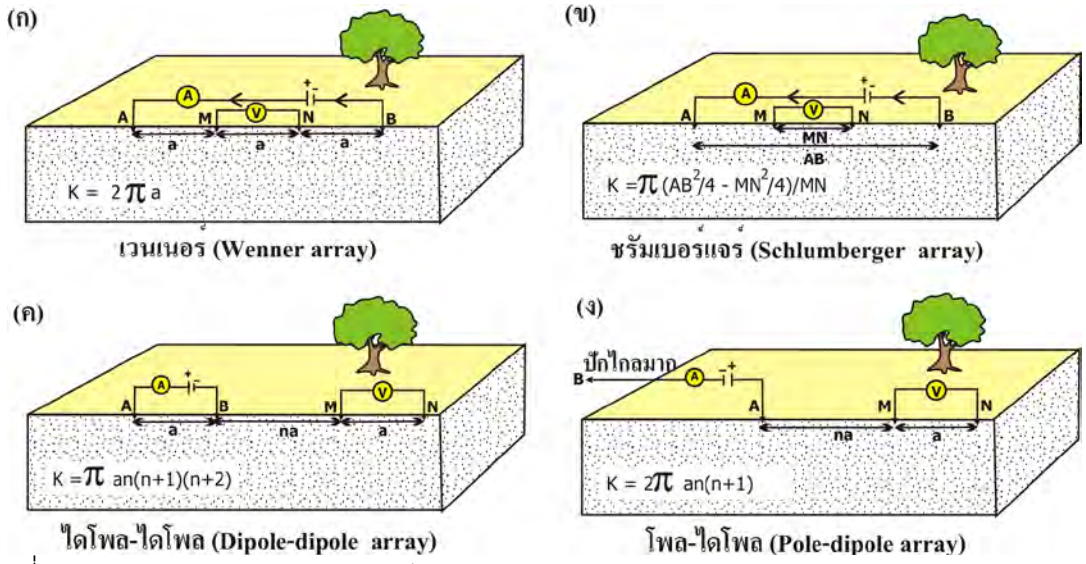


รูปที่ 2.5 หลักการประยุกต์สำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และมีแท่งโลหะ (แท่งอิเล็กโตรด) สำหรับปักลงดินเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน

ที่มา : เพียงตา (2550)

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าปัจจุบันมีรูปแบบการสำรวจตั้งแต่ 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ และ 4 มิติ โดยที่การสำรวจแบบ 1 มิติ เป็นการสำรวจแบบหยั่งลึก (sounding) เพื่อให้ได้สภาพใต้ผิวดินในแนวดิ่ง ส่วนการสำรวจแบบ 2 มิติ เป็นการสำรวจสร้างภาพตัดขวางสภาพใต้ผิวดิน (profiling) ในรูปแนวดิ่งและแนวนอน การสำรวจแบบ 3 มิติ เป็นการสำรวจแบบสร้างสภาพใต้ผิวดินเสมือนเป็นแท่งสี่เหลี่ยมที่ขนาดกว้าง ยาวและลึก จึงสามารถสร้างภาพตัดขวางได้ในทุกๆ แนว ไม่ว่าจะเป็นแนวตรงแนวหักมุม หรือแนวคดโค้ง และทุกๆ ความลึกของการสำรวจ สามารถแสดงสภาพการเปลี่ยนแปลงของค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ทุกระดับความลึก ส่วนการสำรวจแบบ 4 มิติ เป็นการสำรวจในลักษณะของการเพิ่มแกนการพิจารณาขึ้นมาอีกหนึ่งแกน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแกนของเวลา เพื่อใช้เปรียบเทียบสภาพการเปลี่ยนแปลงใต้ผิวดินเมื่อเวลาผ่านไป การสำรวจแบบ 4 มิติ ยังมีการสำรวจไม่แพร่หลายนัก เป็นการศึกษาทดลอง เช่น ใช้ติดตามดูการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดิน เป็นต้น

การจัดวางขั้วอิเล็กโตรด (Electrode Array) ในการสำรวจไม่ว่าจะทำการสำรวจแบบ 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ หรือ 4 มิติ สิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือรูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโตรด ซึ่งรูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโตรดมีหลายรูปแบบ มีข้อเด่นข้อด้อยแตกต่างกัน แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มที่จัดวางแบบแนวเส้นตรง (linear array)และ (2) กลุ่มที่จัดวางแบบไม่เป็นเส้นตรง (non-linear array) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม กลุ่มที่ทำกันแพร่หลาย คือกลุ่มที่จัดวางแบบเส้นตรง และในกลุ่มที่จัดวางแบบแนวเส้นตรง มี 4 รูปแบบที่เป็นที่นิยม (รูปที่ 4.33)คือ (1) แบบเวนเนอร์ (Wenner array) (2) แบบ ชรัมเบอร์แจร์ (Schlumburger array) (3) แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole array) และ (4) แบบโพล-ไดโพล (Pole-dipole array) จากรูปที่ 2.6 ใช้สัญลักษณ์ของขั้วที่ปล่อยกระแสเป็น AB แทน C1C2 หรือใช้ MN แทน P1P2 แตกต่างจากภาพที่ได้แสดงผ่านๆ มาทั้งนี้เพราะ A, B, M, N เขียนได้ง่ายและเห็นชัดเจนกว่าการเขียนติดด้วยตัวห้อย C1, C2, P1, P2 (ซึ่ง C คือCurrent และ P คือ Potential) และเมื่อลงมือปฏิบัติ ส่วนใหญ่เรียกเป็น A, B, M, N กรณีของการสำรวจแบบ 1 มิติ หรือแบบหยั่งลึก รูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโตรดจะเป็นแบบเวนเนอร์ และชรัมเบอร์แจร์ โดยจุดกึ่งกลางระหว่าง AB และ MN ไม่มีการเคลื่อนย้าย การย้ายจะย้ายอิเล็กโตรดออกจากจุดกึ่งกลางขยายออกไป และหากขยายออกไปได้กว้างมากเท่าใด แสดงว่าได้ผลสำรวจที่ความลึกเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับความกว้างของระยะขั้วอิเล็กโตรด ที่ใช้ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 รูปแบบของการจัดวางอิเล็กโตรด

(ก) แบบเวนเนอร์ (Wenner array)

(ข) แบบ ชรัมเบอร์แจร์(Schlumburger array)

(ค) แบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole array)

(ง) แบบโพล-ไดโพล (Pole-dipole array)

ที่มา: เพียงตา (2550)

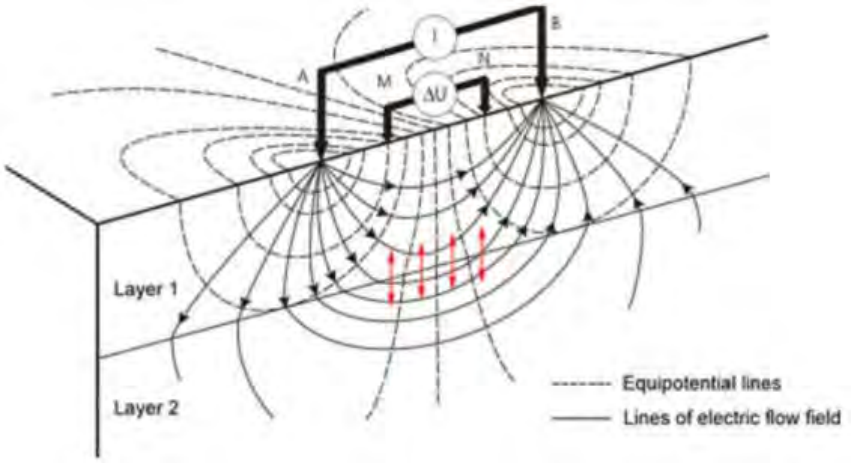
ข้อเด่นและข้อด้อยของการจัดวางอิเล็กโตรดดังรูปแบบที่แสดงในรูปที่ 2.6 จากผลการศึกษาเปรียบเทียบของ เอ็ม. เฮส. โลค (Loke, 1999) มีดังนี้

รูปแบบการจัดวางอิเล็กโตรด	จุดเด่น	จุดด้อย
1. เวนเนอร์ (Wenner Array)	-สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวดิ่งได้ดี นั่นคือเหมาะสำหรับในการหาชั้นหินวางตัวแนวราบ (horizontal structure) -อัตราส่วนของสัญญาณ (signal) ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ต่อสิ่งรบกวน (noise) ค่าอื่นๆ ที่มีผลต่อสัญญาณ หรือ Signal-to-Noise ratio (S/N) ของการจัดวางอิเล็กโตรดแบบเวนเนอร์สูงมากกว่ารูปแบบอื่นๆ (S/N สูงที่สุด)	-ไม่เหมาะในการตรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาแนวดิ่ง เช่น โพรง พนัง (dike) หรือแหล่งสะสมตัวของแร่ (ore body)

รูปแบบการจัดวางอิเล็กโตรด	จุดเด่น	จุดด้อย
	-ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.52 a	
2. ไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole Array)	-สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวราบได้ดี นั่นคือเหมาะสำหรับในการตรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาแนวดิ่ง เช่น โพรง พนังของหินอัคนี รอยเลื่อน หรือแหล่งสะสมตัวของแร่ -ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.22L เมื่อ L คือความยาวมากสุดของระยะห่างอิเล็กโตรด และในกรณีที่ค่า n มีค่าตั้งแต่ 4 ขึ้นไป	-ไม่เหมาะในการหาชั้นหินวางตัวแนวราบ -อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) ต่ำมากกว่าการจัดวางอิเล็กโตรดรูปแบบอื่นๆ (S/N ต่ำที่สุด)
3. ชรัมเบอร์แจร์ (Schlumberger Array)	-สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวดิ่งและแนวนอนได้ปานกลาง เหมาะสำหรับสภาพธรณีวิทยาที่มีโครงสร้างการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน -ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.64 AB	-อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) น้อยกว่ารูปแบบเวนเนอร์ แต่ดีกว่ารูปแบบโพล-ไดโพล และ ไดโพล-ไดโพล ความลึกที่สำรวจได้ กรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 0.64 AB
4. โพล-ไดโพล (Pole-Dipole Array)	-สามารถตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแนวราบได้ดี นั่นคือเหมาะในการตรวจหาโครงสร้างทาง	-อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) สูงกว่ารูปแบบไดโพล-ไดโพล แต่ต่ำกว่ารูปแบบเวนเนอร์ และชรัมเบอร์แจร์

รูปแบบการจัดวางอิเล็กโตรด	จุดเด่น	จุดด้อย
	ธรณีวิทยาแนวดิ่ง เช่นเดียวกับแบบไดโพล-ไดโพล -กระแสไหลได้ครอบคลุมพื้นที่ในแนวราบ (horizontal coverage) ได้กว้างมากกว่า การวางรูปแบบนี้เหมาะในการสำรวจแบบ 3 มิติ -ความลึกที่สำรวจได้ในกรณีเนื้อดิน-หินเป็นเนื้อเดียวประมาณ 2.1a และในกรณีที่ค่า n มีค่าตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ในการสำรวจค่าของ n ไม่ควรเกิน 8-10 เพราะสัญญาณจะลดลงตามสัดส่วนของ $\sqrt{n}$	-การวางระยะห่างของขั้วที่ปล่อยกระแสที่ถือว่าเป็นระยะอนันต์ (ขั้ว B) แสดงว่ากระแสไหลลงในพื้นดินได้ระยะทางมากกว่าการสำรวจแบบอื่นๆ

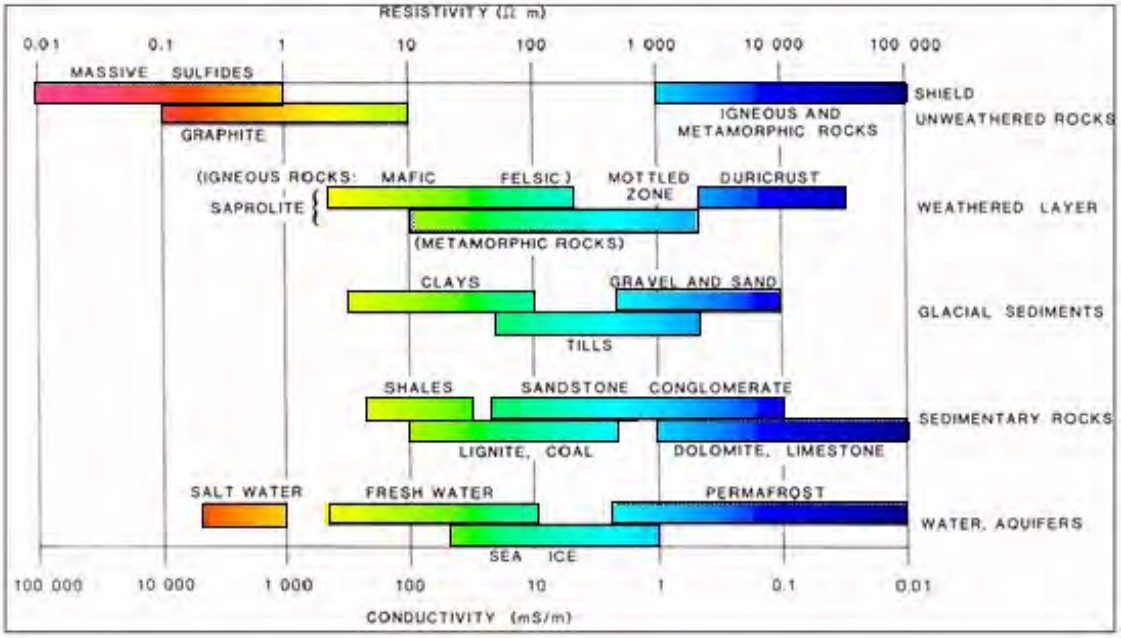
ดังนั้นการพิจารณาความเหมาะสมว่าจะเลือกจัดวางอิเล็กโตรดในรูปแบบใด หลักในการพิจารณาจึงต้องคำนึงโดยสรุป คือ (1) สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ (sensitivity of arrays to vertical orhorizontal changes) (2) ความลึกที่ต้องการศึกษา (3) อัตราส่วนของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) ของรูปแบบการสำรวจ และ (4) ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ



รูปที่ 2.7 รูปแบบการจัดวางอิเล็กโตรดแบบชรัมเบอร์แจร์ (Schlumberger array) แสดงเส้นกระแสสมมติ (Line of electric flow field) ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดเส้นศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential line)

ที่มา: www.biharaqua.org

ค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นหินหรือชั้นตะกอนนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าได้แก่ ปริมาณของไอออนของสารละลายในของเหลวที่บรรจุอยู่รูพรุนของเนื้อดิน-หินและช่องว่าง (Porosity and Electrolyte in Porosity),ชนิดของแร่ดินเหนียวและปริมาณของแร่ดินเหนียว (Clay type and Clay Content),เนื้อหิน (Texture),กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา (Geological Process),ความอิ่มตัวด้วยน้ำของช่องว่าง (Saturation),ความซึมผ่านของน้ำ (Permeability),อุณหภูมิ (Temperature) เป็นต้น ซึ่งจากปัจจัยสำคัญที่กล่าวมานั้นทำให้ชั้นหินและชั้นดินต่างๆ จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าหลากหลายค่าทำให้เกิดเป็นช่วงขึ้นมา ซึ่งลักษณะทางธรณีวิทยาที่ต่างกันจะทำให้ได้ช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่างกัน

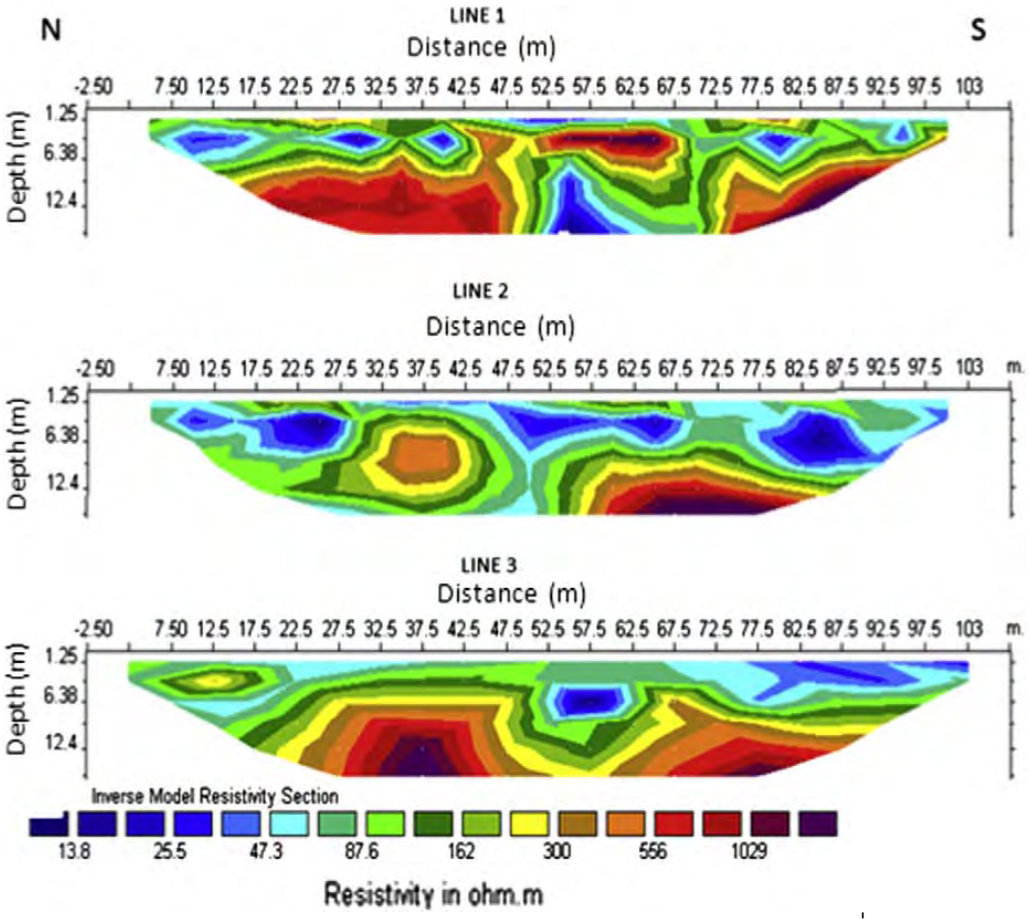


รูปที่ 2.8 ช่วงค่าความต้านทานไฟฟ้าของตะกอนหรือหินต่างๆ
ที่มา: Palacky (1987)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

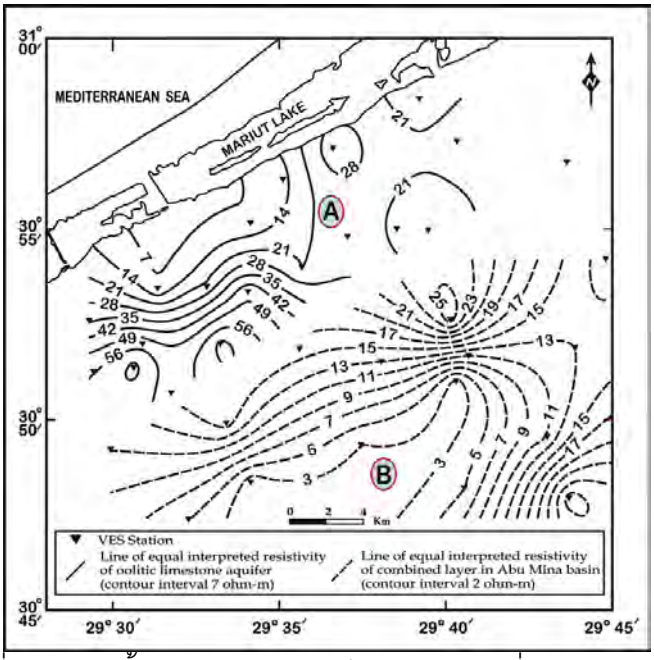
Muchingami (2012) และคณะ ได้ทำการสำรวจน้ำบาดาลในชั้นน้ำใน basaltic-greenstone Formation ในเมือง Bulawayo ประเทศ Zimbabwe ด้วยวิธีการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะโดยการสำรวจทั้ง 1 มิติ (VES) และ 2 มิติ พบว่าการสำรวจ 1 มิติ (VES) ด้วยการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger นั้นสามารถใช้แยกชั้นลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ออกเป็น 3 ชั้นได้แก่ top soil, regolith และ bedrock ซึ่งผลจากการสำรวจนั้นสามารถแปลผล

ออกมาได้เป็นค่าความหนาและค่าความต้านทานจำเพาะ โดยในชั้นที่เป็นชั้นน้ำนั้นจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะลดลง จากการเปรียบเทียบข้อมูลหลุมเจาะทำให้ทราบว่าชั้นน้ำนั้นน่าจะอยู่ในชั้น regolith และ fractured zone ของหิน bedrock และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่เพื่อใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาบ่อบาดาล



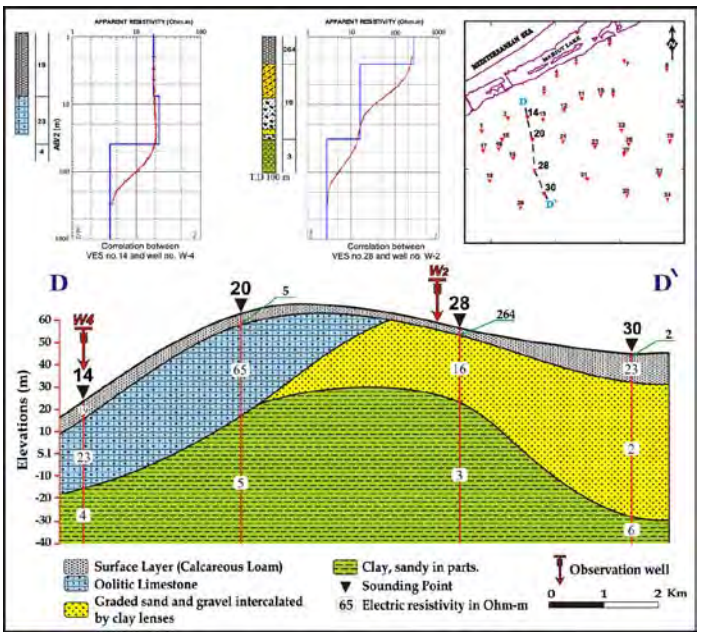
รูปที่ 2.9 แบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบย้อนกลับตามแนวการสำรวจที่ 1-3
ที่มา: Muchingami (2012) และคณะ

Atwia(2012) และคณะ ได้ทำการการสำรวจหาน้ำบาดาลด้วยการเก็บข้อมูลทางด้านเคมีของน้ำบาดาลและการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจหาความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ 1 มิติ (VES) ในพื้นที่บริเวณ Burg El-Arab ชายฝั่งทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอียิปต์ โดยการสำรวจหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะนั้นใช้การวางขั้วแบบ Schlumberger จากผลการศึกษาสรุปว่าในพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยชั้นน้ำ 2 ชั้นคือชั้นน้ำที่เป็น oolitic limestone aquifer และ clastic aquifer ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่างกันซึ่งสามารถแสดงข้อมูลทางธรณีวิทยาออกมาได้โดยการเปรียบเทียบข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะกับข้อมูลหลุมเจาะ ซึ่งทำให้ได้แบบจำลองทางธรณีวิทยาออกมา



รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงเส้นชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่เท่ากันของชั้นน้ำบาดาลหลักของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: Atwia(2012) และคณะ



รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางแสดงธรณีวิทยาจากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนว D-D'

ที่มา: Atwia(2012) และคณะ

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

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

3.1 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

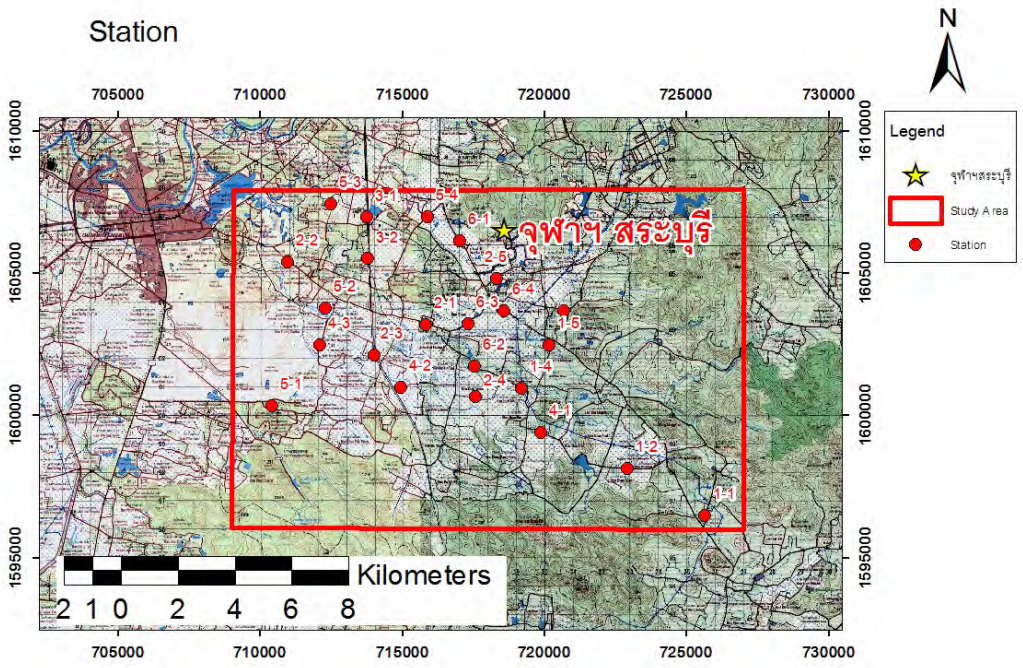
รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นหรือมีประโยชน์ในการทำวิจัยเช่น ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา ข้อมูล แผนที่อุทกธรณีวิทยา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1มิติ และ 2 มิติในชั้นน้ำบาดาล ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษารวมทั้ง ข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล

3.2 เลือกและกำหนดขอบเขตการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

ทำการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (VES) ด้วยวิธีการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger array เพื่อใช้ในการศึกษาศักยภาพน้ำบาดาล (Groundwater Potential) ในพื้นที่รอบโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

3.3 เก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่กำหนด

ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลจะทำการวางตำแหน่งในการเก็บข้อมูลกระจายไปตามลักษณะของแนวพื้นที่ราบของพื้นที่ศึกษาซึ่งวางตัวไปในแนว NW-SE เป็นหลัก (รูปที่ 3.1) การกระจายจุดสำรวจที่มากพอและครอบคลุมจะทำให้ได้ข้อมูลที่ดีและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วย



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งจุดที่ทำการเก็บข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธี VES

การสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึก(VES) ด้วยวิธีการวางขั้วแบบ Wenner-Schlumberger array ซึ่งทำให้สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าทั้งในแนวดิ่งและแนวราบได้ดี โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะเป็นข้อมูลแบบ 1 มิติ ซึ่งหากต้องการจะต้องทำภาพตัดขวางจะต้องทำหลายจุดแล้วนำข้อมูลมาเชื่อมกัน เพื่อให้ได้ภาพตัดขวางที่มีความถูกต้องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น โดยใช้โปรแกรม IPI2win ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อนำมาสร้างภาพตัดขวางต่อไป ซึ่งขั้นตอนในการเก็บข้อมูลภาคสนามมีดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกภาคสนาม (รูปที่ 3.2) และซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 เครื่องมือสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า SUEBSAK รุ่น 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 สายไฟคีบแบบสั้น ยาว 1 เมตร จำนวน 2 เส้น

1.7 แบตเตอรี่ 12Vและสายต่อแบตเตอรี่

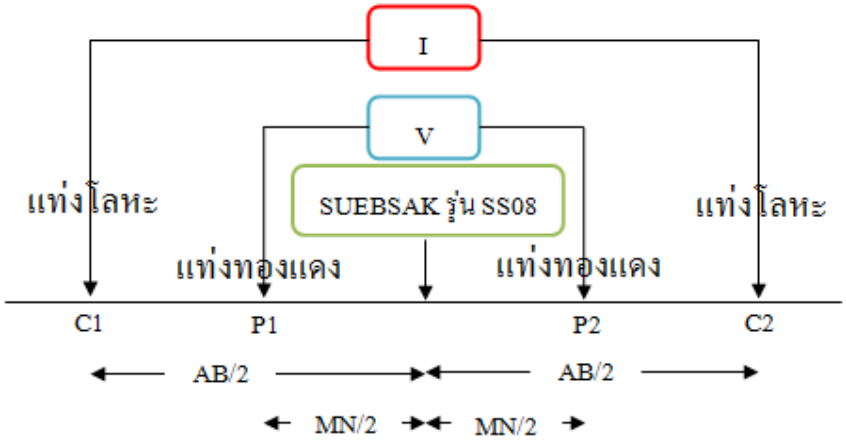
1.8 ค้อนจำนวน 4 อัน

1.9 ถุงมือผ้า เก้าอี้สนาม และวิทยุสื่อสาร จำนวน 3 เครื่อง

1.10 โปรแกรมประมวลผล IPI2WIN

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)

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



รูปที่ 3.3 หลักการการจัดวางแท่งโลหะ และแท่งทองแดง แบบ Wenner-Schlumberger array

3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก และจัดทำภาพตัดขวาง

AB/2 คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้ว ของการปล่อยกระแสไฟฟ้า (Current electrodes) ที่เป็นแท่งโลหะ(แท่งอิเล็กโตรด) ที่ต่อสายมาจากขั้ว C1 และ C2 ของเครื่องมือ(r)

MN/2 คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้ว รับสัญญาณไฟฟ้า (Potential electrodes) ที่เป็นแท่งทองแดง ที่ต่อสายมาจากขั้ว P1 และ P2 ของเครื่อง มือ(m) ซึ่งค่า k คำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$k = \frac{\pi(r^2 - m^2)}{2m}$$ สมการที่ 3.1

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเนื่องจากเครื่องมือ

r คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้ว ของการปล่อยกระแสไฟฟ้า (Current electrodes)

m คือ ระยะห่างครึ่งหนึ่งของระยะของขั้ว รับสัญญาณไฟฟ้า (Potential electrodes)

และทำการขยับขั้ว โลหะและขั้ว ทองแดงเป็น ระยะ AB/2 และระยะ MN/2 ตามลำดับตามตารางในรูป 3.4 แล้วทำการบันทึกข้อมูล Voltage (V) , Current (I) และ range ลงในตารางบันทึกผลข้อมูล(ตารางในรูปที่ 3.4) โดยจะทำการเก็บข้อมูลในแต่ละจุดเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ

UTM: E..... N..... Location.....

จุดสำรวจที่.....วันที่.....

AB/2	MN/2	k	Range	I1	I2	I3	V1	V2	V3	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								

รูปที่ 3.4 ตารางบันทึกข้อมูล Voltage (V), Current (I), และ range ที่อ่านได้จากเครื่อง SUEBSAK รุ่น SS08 และระยะทาง AB/2 และ MN/2 ที่เป็นตัวกำหนดระยะของการวางขั้วโลหะและขั้วทองแดงตามลำดับขณะทำการสำรวจ

3. เมื่อบันทึกข้อมูล Voltage, Current และ range ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า SUEBSAK รุ่น SS08 แล้ว นำไปคำนวนหาค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยนำค่า V ที่อ่านได้มาคูณกับ range ที่ตั้ง ไว้ขณะทำการอ่าน แล้วนำไปคูณกับค่า k จากนั้น นำค่าที่ได้หารด้วยค่า I ตามสมการที่ 3.2

ค่าความต้านทานไฟฟ้า $(\text{Re}sistivity, RES) = \frac{V * Range * K}{I}$ สมการที่ 3.2

เมื่อ RES คือ ความต้านทานไฟฟ้า

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

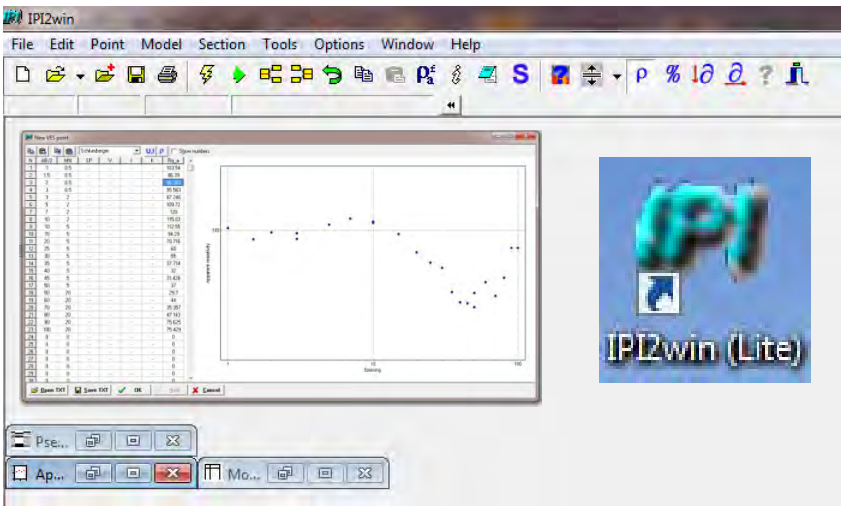
I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้า

K คือ ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเนื่องจากเครื่องมือ

Range คือ

4. เมื่อได้ค่า Resistivity แล้ว นำไปพล็อตลงในกราฟ AB/2 และ MN/2 เพื่อตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ โดยหากมีข้อมูลบางค่าที่น่าจะผิดปกติหรือมีค่าห่างจากข้อมูลด้านข้างอย่างมากจะทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้นใหม่อีกครั้งเพื่อความมั่นใจ

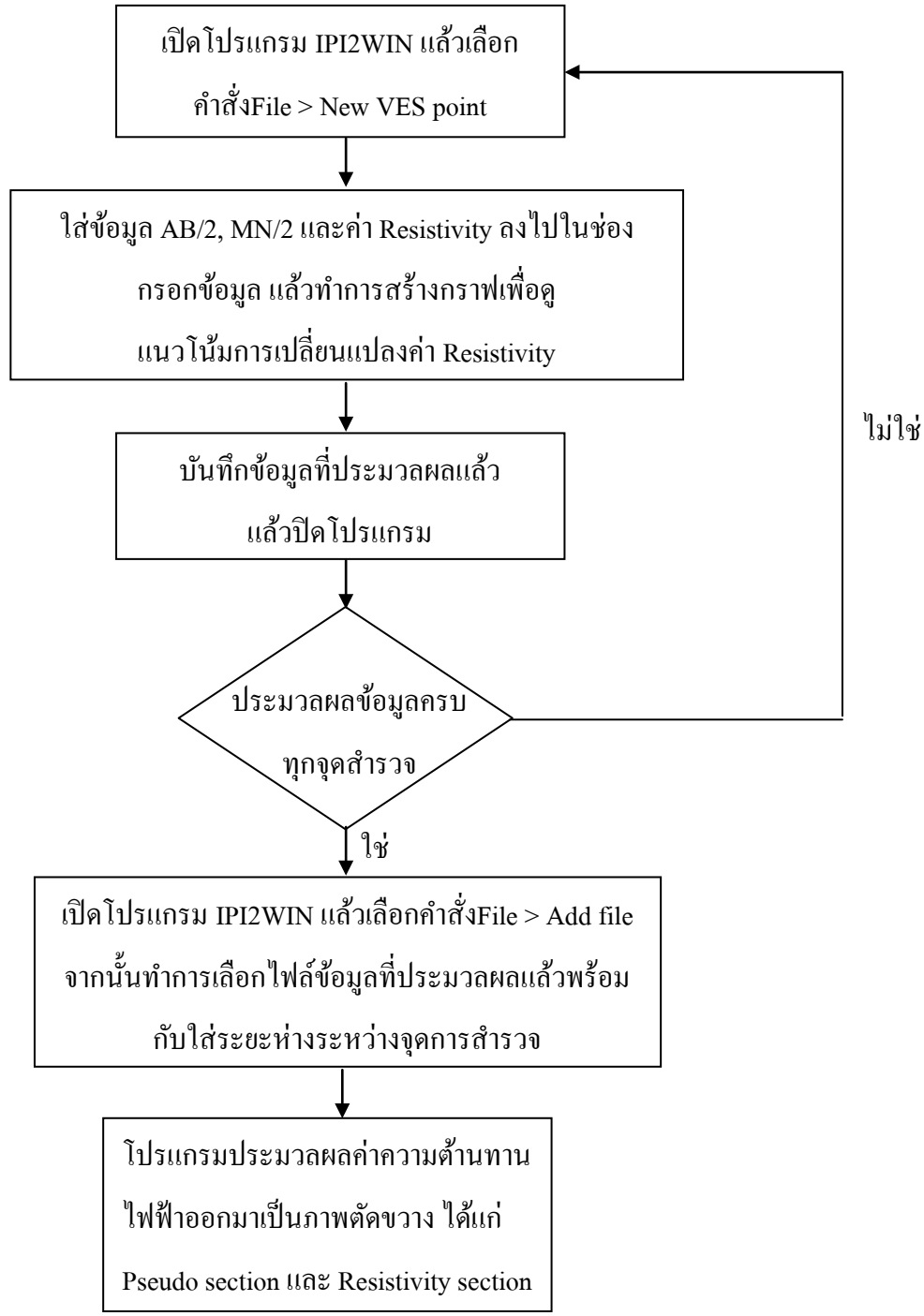
5. จากนั้นนำข้อมูลระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรด AB/2 และ MN/2 และข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า(Resistivity) มาประมวลผลด้วยโปรแกรม IP2WIN (รูปที่ 3.5) แล้วจัดทำภาพตัดขวาง



รูปที่ 3.5 รูปแบบโปรแกรม IPI2WIN หลังทำการกรอกข้อมูล

3.4 แปลผลข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบการหยั่งลึก จัดทำภาพตัดขวาง และแผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามจะถูกนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม IPI2WIN ซึ่งจะทำให้สามารถดูกราฟเพื่อประเมินแนวโน้มแล้วนำไปสร้างแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.6



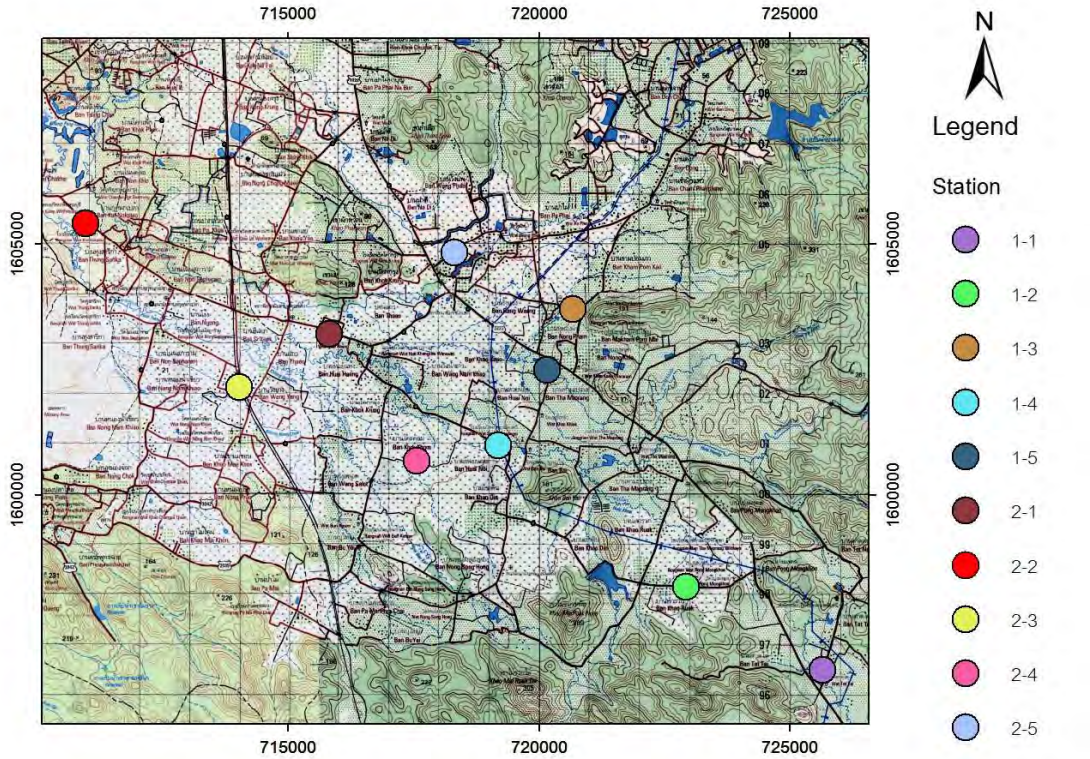
รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าโดยโปรแกรม IPI2WIN

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 ภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าแบบความต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึก

การเก็บข้อมูลนั้นได้ทำการออกสำรวจทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 วัน ในวันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558, วันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558 และวันที่ 18-19 เมษายน 2558 โดยทำการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษาให้มากที่สุด โดยจะเน้นแนวในการเก็บข้อมูลมากที่สุดอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) ซึ่งเป็นทิศทางการวางตัวของพื้นที่ราบในพื้นที่ศึกษาและมีข้อมูลบ่อบาดาลอยู่ในละแวกใกล้เคียงกันที่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะทางธรณีวิทยาระหว่างข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้ากับข้อมูลหลุมเจาะได้

ในการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558 นั้น ได้จำนวนข้อมูลมาทั้งหมด 10 จุดข้อมูล คือจุดสำรวจที่ 1-1 , 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 และ 2-5 (รูปที่ 4.1) โดยในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2558 ได้มีฝนตกลงมาก่อนที่จะทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยบริเวณผิวดินของพื้นที่ศึกษามีค่าลดลง



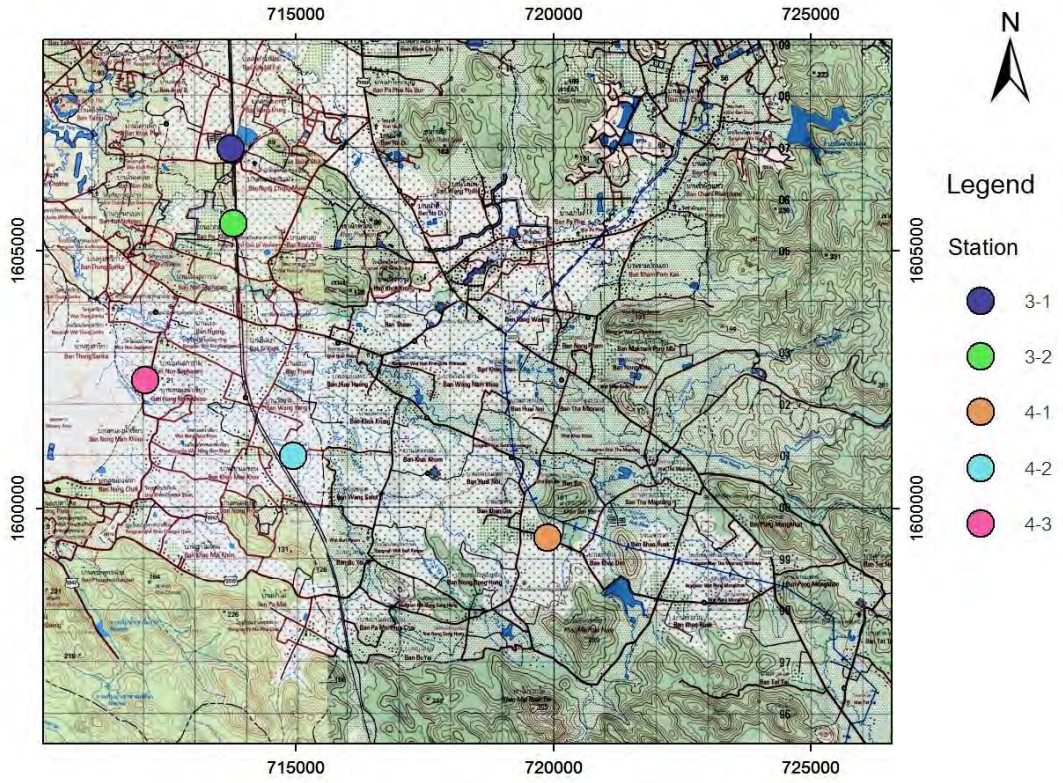
รูปที่ 4.1 จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558

รูปที่ 4.2 ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่างวันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2558

ภาพบน: แนวการสำรวจจุดที่ 1-4

ภาพล่าง: แนวการสำรวจจุดที่ 2-3

ในการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558 นั้น ได้จำนวนข้อมูลมาทั้งหมด 5 จุดข้อมูล คือจุดสำรวจที่ 3-1 , 3-2, 4-1, 4-2 และ 4-3 (รูปที่ 4.3) สภาพอากาศโดยทั่วไปในช่วงเช้าของวันที่28 กุมภาพันธ์ 2558 อากาศแห้งในช่วงเช้า แต่มีฝนตกในตอนบ่ายจึงทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยบริเวณผิวดินของพื้นที่ศึกษามีค่าลดลง



รูปที่ 4.3 จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558

รูปที่ 4.4 ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 2558

ภาพบน: แนวการสำรวจจุดที่ 3-1

ภาพล่าง: แนวการสำรวจจุดที่ 4-3

ในการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 18 - 19 เมษายน 2558 นั้น ได้จำนวนข้อมูลมาทั้งหมด 8 จุดข้อมูล คือจุดสำรวจที่ 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 6-1, 6-2, 6-3 และ 6-4 (รูปที่ 4.5) สภาพอากาศโดยทั่วไปของทั้งสองวันนั้นแห้งและร้อน ไม่มีฝนตกในช่วง 2 สัปดาห์ก่อนหน้าการสำรวจ เกิดไฟฟ้าป่าในบางพื้นที่ศึกษาส่งผลกระทบทำให้บริเวณหน้าดินในพื้นที่มีลักษณะแห้งมาก

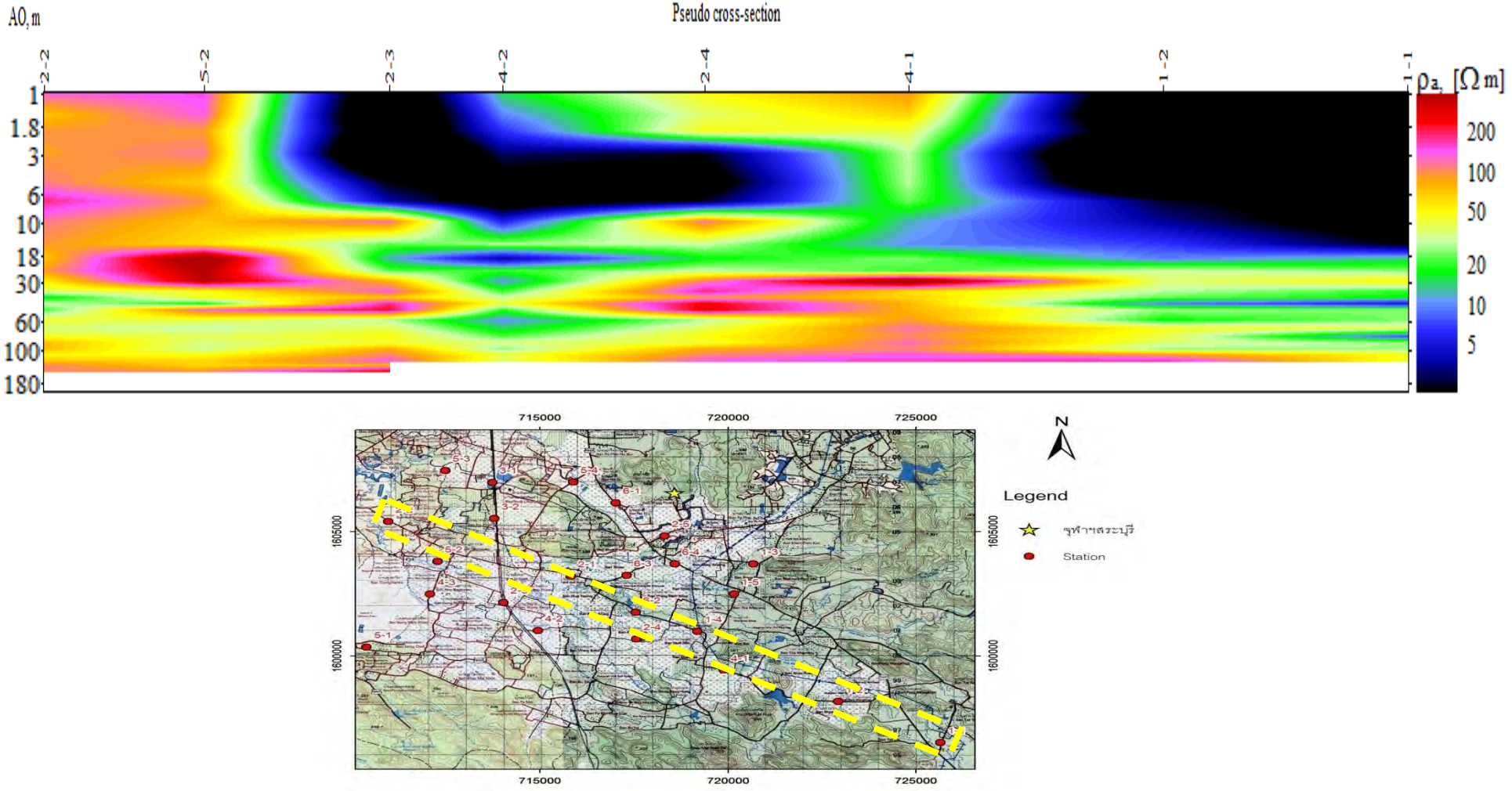
รูปที่ 4.5 จุดที่ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) วันที่ 18 - 19 เมษายน 2558

หลังจากที่ได้ทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำภาพตัดขวางโดยใช้โปรแกรม IPI2WIN ทั้งหมด 3 ภาพ ดังรูปที่ 4. 1 ใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2 , 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1 รูปที่ 4. 3 ใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5 , 6-3 และ 4-2 รูปที่ 4.5 ใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 3-1, 3-2, 5-2 และ 4-3

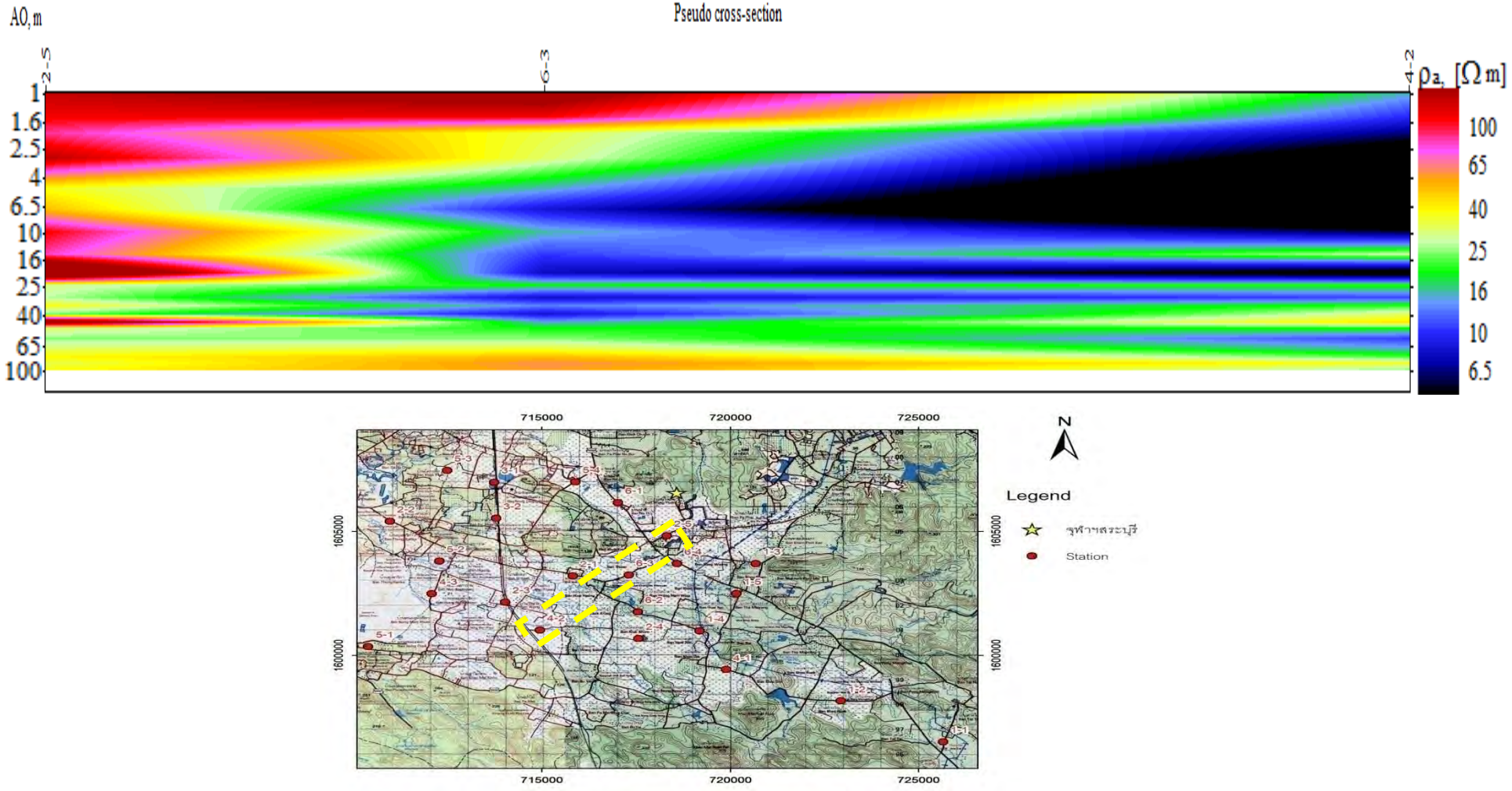
รูปที่ 4.6 ภาพการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในระหว่างวันที่ 18 - 19 เมษายน 2558

ภาพบน: แนวการสำรวจจุดที่ 5-2ภาพ

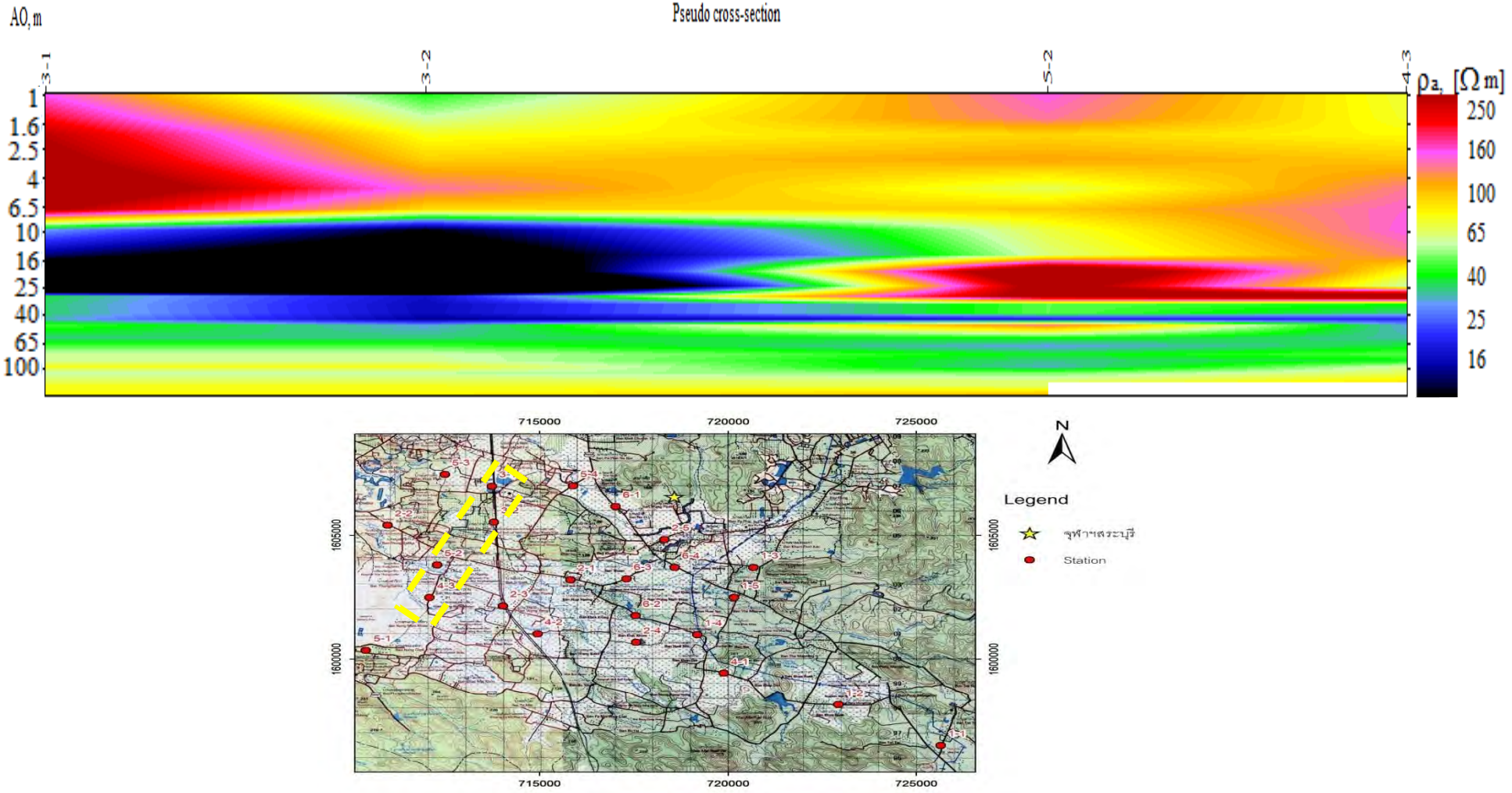
ล่าง: แนวการสำรวจจุดที่ 6-1



รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2, 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1

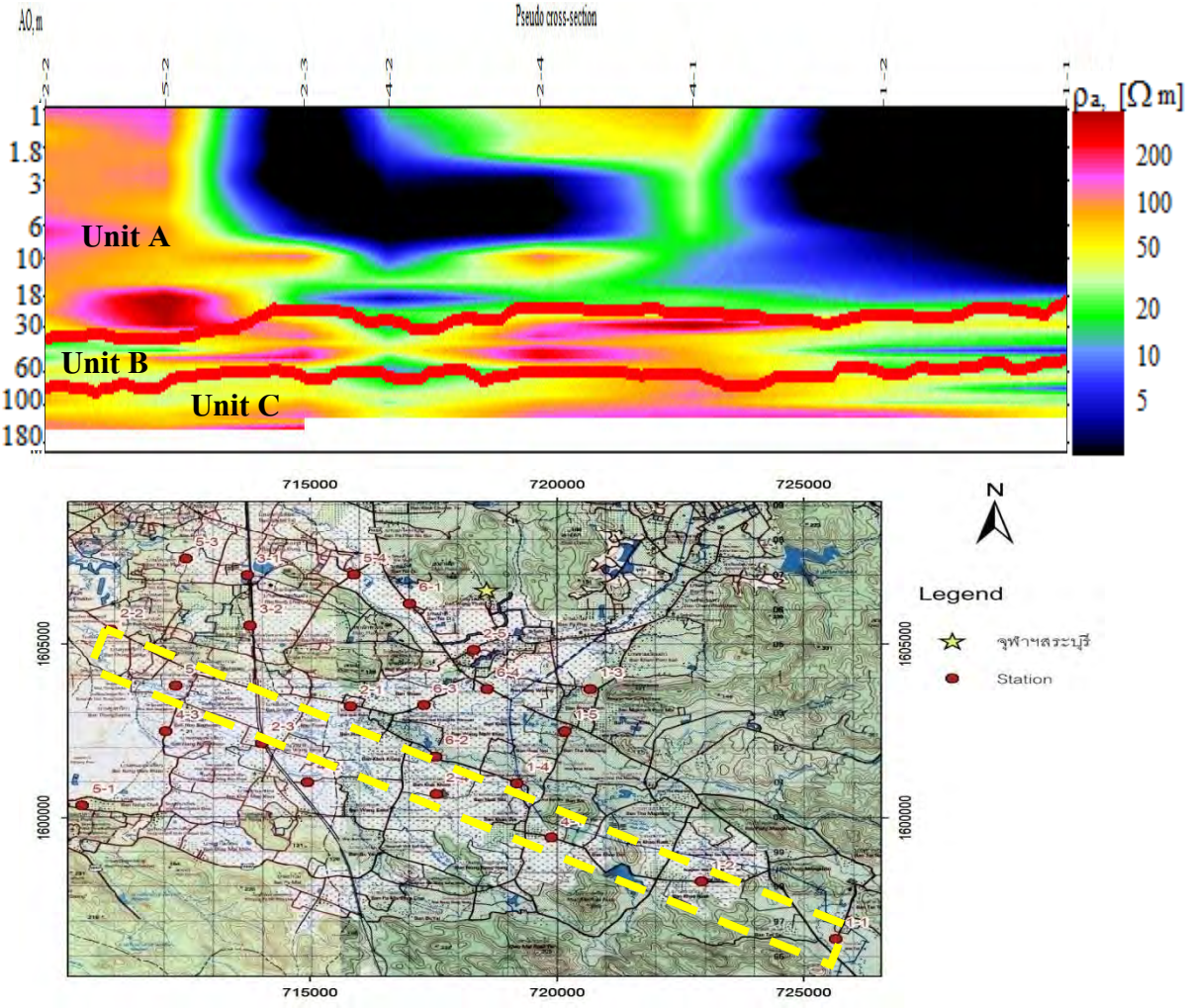


รูปที่ 4.8 ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2



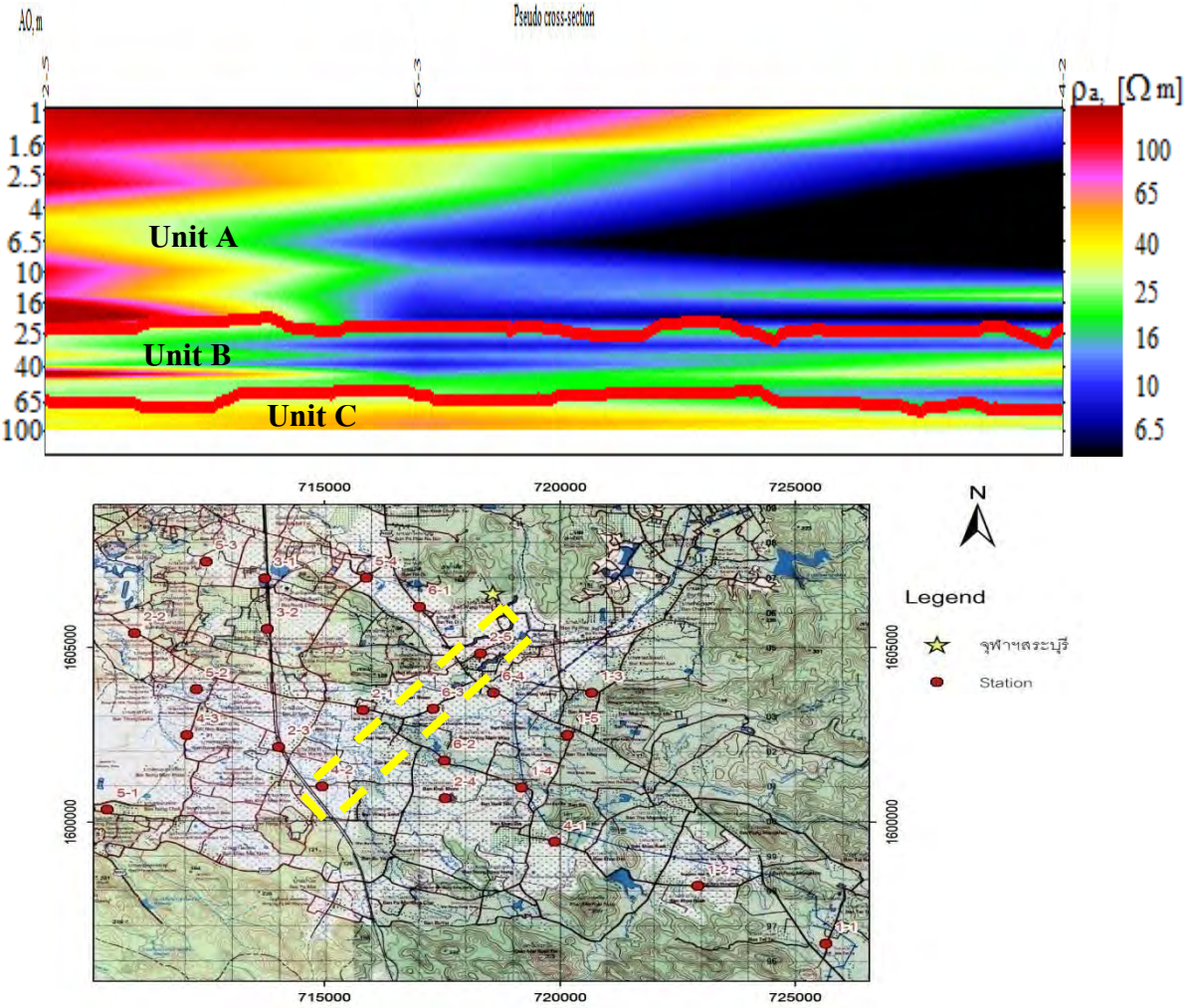
รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 3-1, 3-2, 5-2 และ 4-3

ภาพตัดขวางรูปที่ 4. 7 ซึ่งใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2 , 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Unit A, Unit B และ Unit C ซึ่งใช้หลักเกณฑ์การแบ่งตามช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้า Unit A: ส่วนมากมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 0 - 25 โอห์ม-เมตร แต่บางส่วนมีค่าความต้านทานสูงถึง 50 - 120 โอห์ม-เมตร เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นในดินเนื่องจากการที่มีฝนตกในพื้นที่ในวันที่ทำการสำรวจทำให้ค่าความต้านไฟฟ้ามีค่าลดลงในบางจุดสำรวจที่ได้รับผลกระทบ มีความหนาประมาณ 20 - 30 เมตร Unit B: มีความต้านทานไฟฟ้าปานกลางประมาณ 35 - 150 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ30 - 45 เมตร และ Unit C: มีความต้านทานไฟฟ้าสูงประมาณ 50 - 200 โอห์ม-เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความหนาของแต่ละ Unit จะพบว่า Unit A จะมีความหนาเพิ่มขึ้นจากทางตะวันออกเฉียงใต้ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (SE-NW)



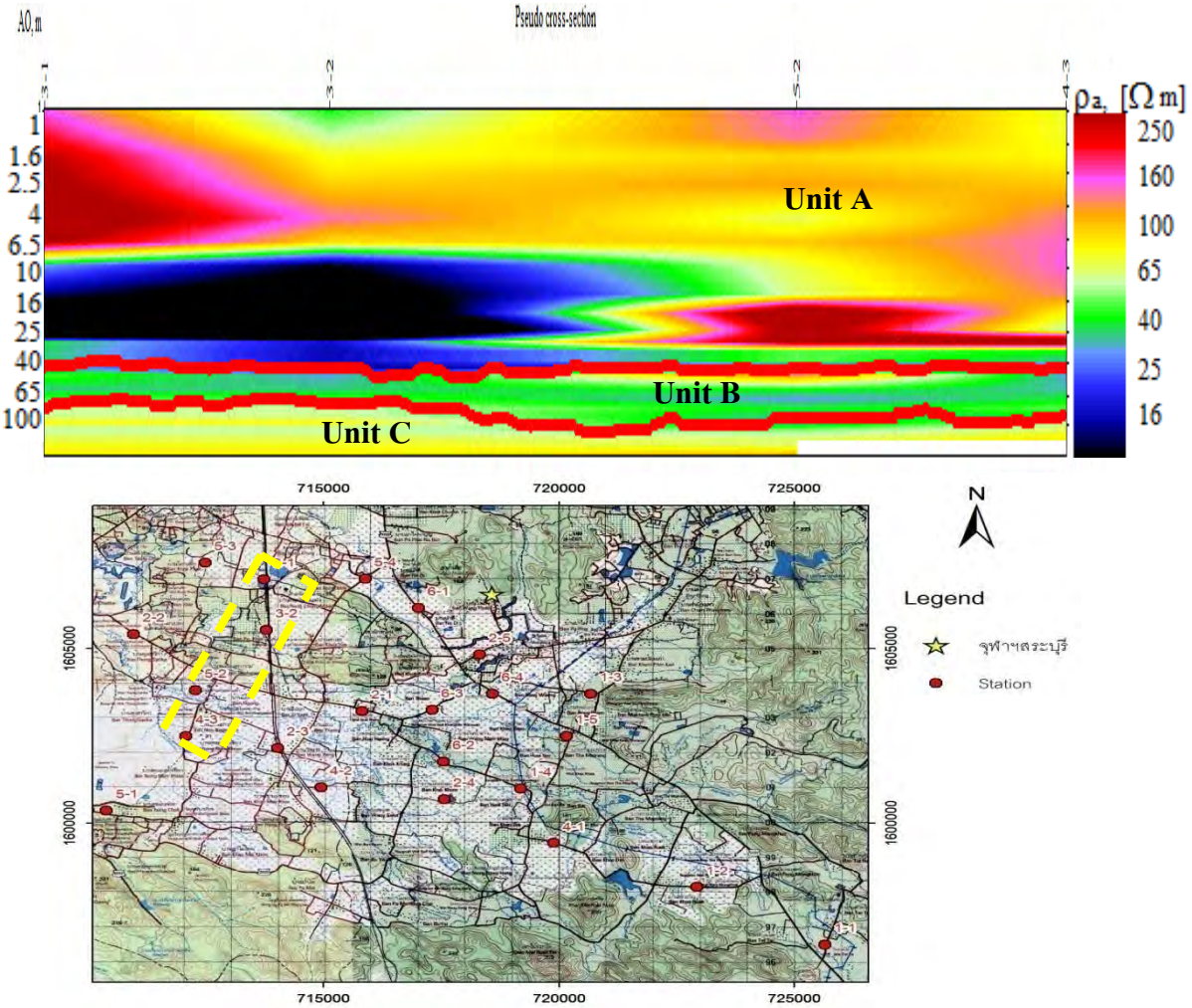
รูปที่ 4.10 การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-2, 5-2, 2-3, 4-2, 2-4, 4-1, 1-2 และ 1-1

ภาพตัดขวางรูปที่ 4.12 ซึ่งใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5 , 6-3 และ 4-2 ซึ่งสามารถกลุ่มตามช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Unit A: มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสองช่วงคือประมาณ 0 - 25 โอห์ม-เมตร และ 50 - 120 โอห์ม-เมตร เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นในดินเนื่องจากการที่มีฝนตกในพื้นที่ในวันที่ทำการสำรวจทำให้ค่าความต้านไฟฟ้ามีค่าลดลงในบางจุดสำรวจที่ได้รับผลกระทบ มีความหนาประมาณ 25 เมตร Unit B: มีความต้านทานไฟฟ้าปานกลางประมาณ 15 - 35 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 40 เมตร และ Unit C: มีความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 50 - 200 โอห์ม-เมตร



รูปที่ 4.11 การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2

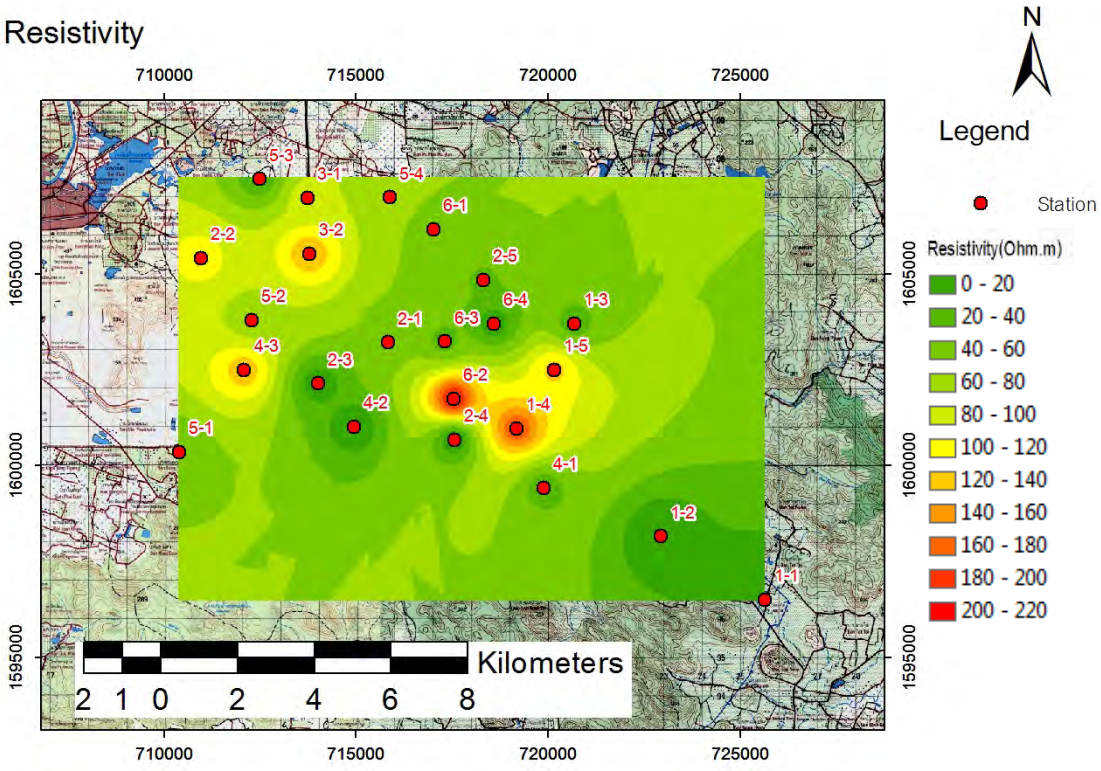
ภาพตัดขวางรูปที่ 4.13 ซึ่งใช้ข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5 , 6-3 และ 4-2 ซึ่งสามารถกลุ่มตามช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Unit A: ส่วนมากมีความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 70 - 150 โอห์ม-เมตร และบางส่วนมีค่าต่ำประมาณ 5 - 50 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 40 เมตร Unit B: มีความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 30 - 50 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 25 เมตร และUnit C: มีความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 70 - 125 โอห์ม-เมตร



รูปที่ 4.12 การแบ่งกลุ่มค่าความต้านทานของภาพตัดขวางจากข้อมูลจุดสำรวจที่ 2-5, 6-3 และ 4-2

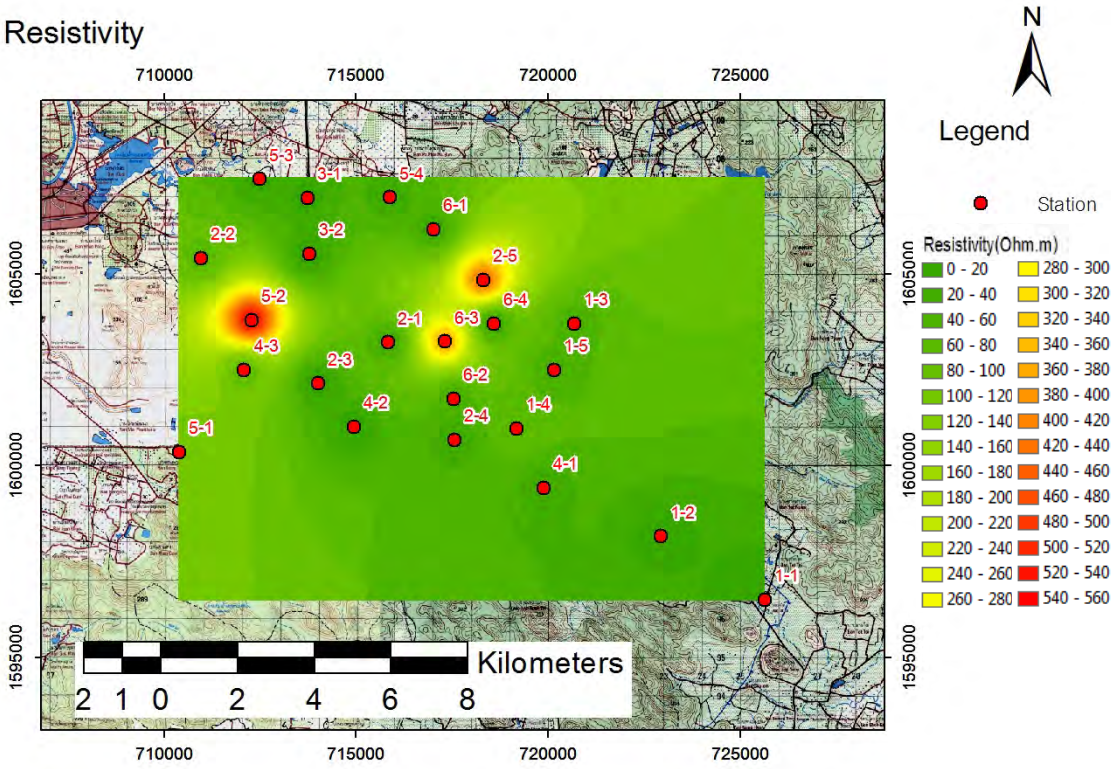
4.2 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา

ภายหลังจากการเก็บข้อมูลความต้านไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา แล้วทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมด้วยโปรแกรม IPI2WIN เสร็จแล้ว นำค่าของข้อมูลที่ได้มาทำเป็นแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษาโดยใช้คำสั่ง idw โดยโปรแกรม Arcmap โดยแยกออกมาเป็นแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าแยกแต่ละความลึก 5 , 20, 30, 60, 80, 100 เมตร การทำแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าจะทำให้สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่ในภาพรวมเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจหากจะพัฒนาบ่อบาดาลภายในพื้นที่ศึกษา



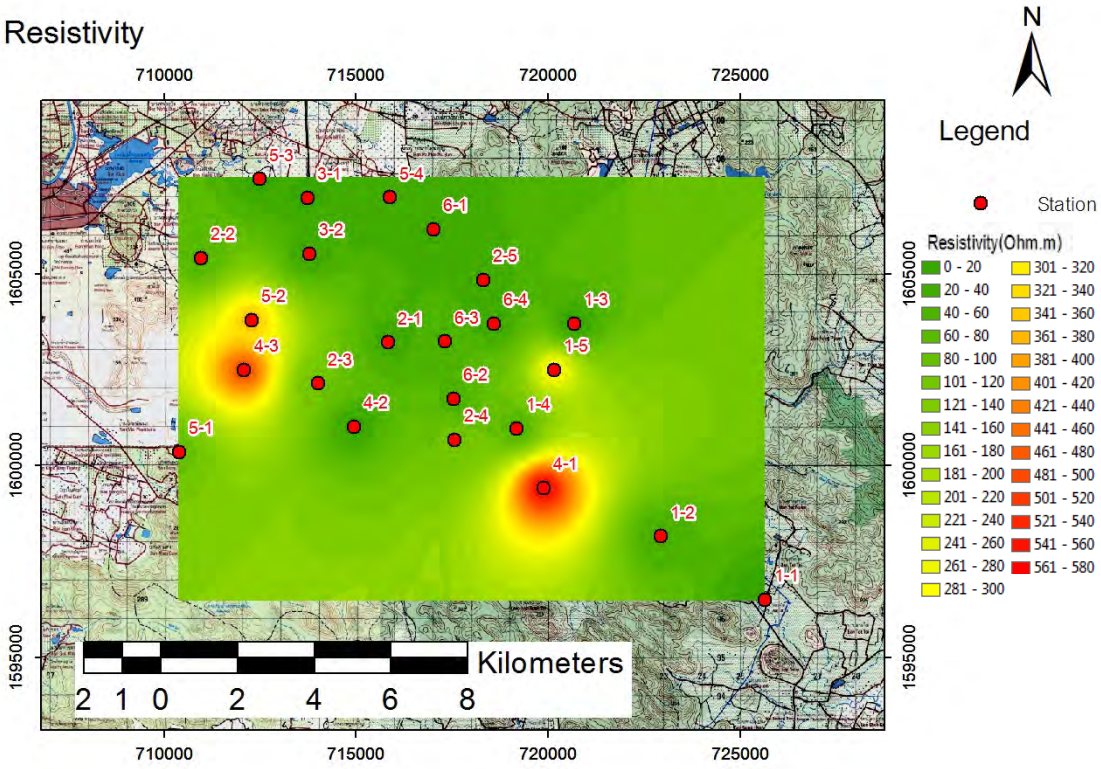
รูปที่ 4.13 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 5 เมตร

ที่ความลึก 5 เมตรค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยรวมของพื้นที่มีค่าค่อนข้างต่ำประมาณไม่เกิน 100 โอห์ม-เมตร ยกเว้นบางบริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 100 - 220 โอห์ม-เมตร เกิดจากความชื้นบริเวณผิวดินที่แตกต่างกันเพราะช่วงเวลาที่ไปทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้านั้นมีปริมาณฝนตกที่แตกต่างกัน ซึ่งที่ความลึกนี้เป็นชั้น Top Soil ทั้งหมด



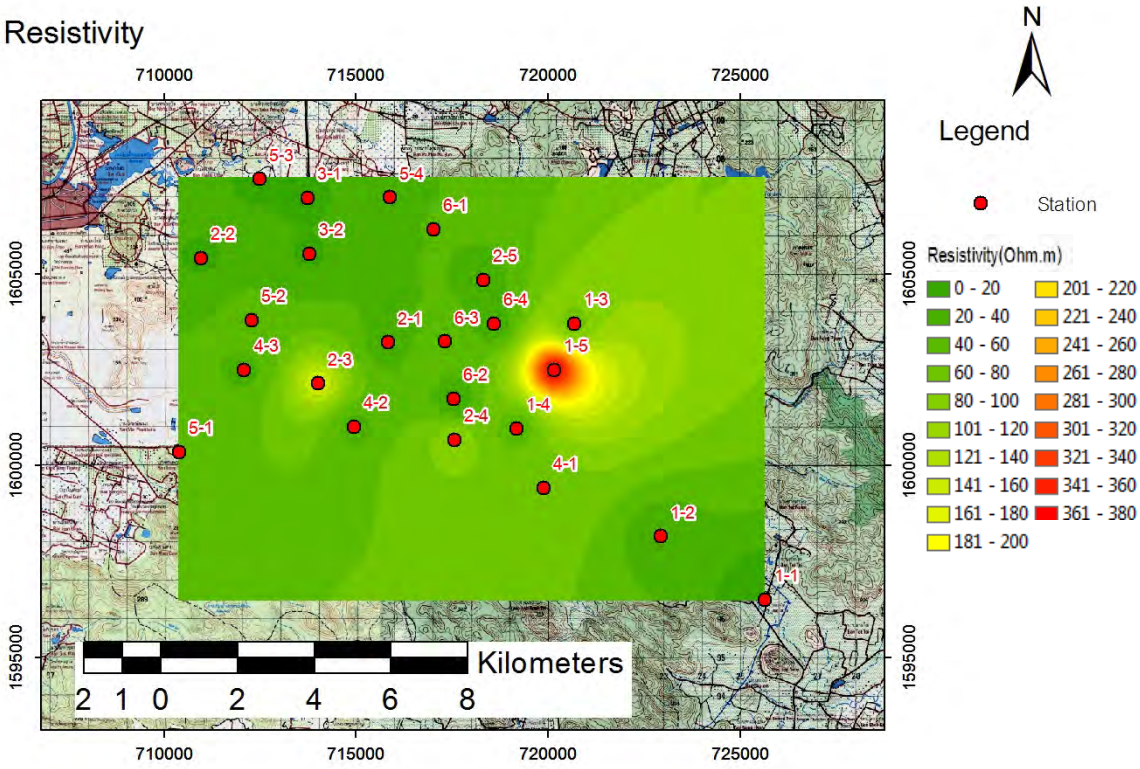
รูปที่ 4.14 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 20 เมตร

ที่ความลึก 20 เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมของพื้นที่อยู่ในช่วง 20 - 180 โอห์ม-เมตร ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากที่ความลึก 5 เมตร จากข้อมูลบ่อบาดาล พบว่าที่ระดับความลึก 20 เมตร เป็นชั้นที่มีตะกอนส่วนใหญ่เป็นทราย ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มสูงมากขึ้นกว่าบริเวณที่ความลึก 5 เมตร ที่เป็นชั้นดินเหนียวปนทราย แต่ยังคงเป็นชั้น Top Soil อยู่



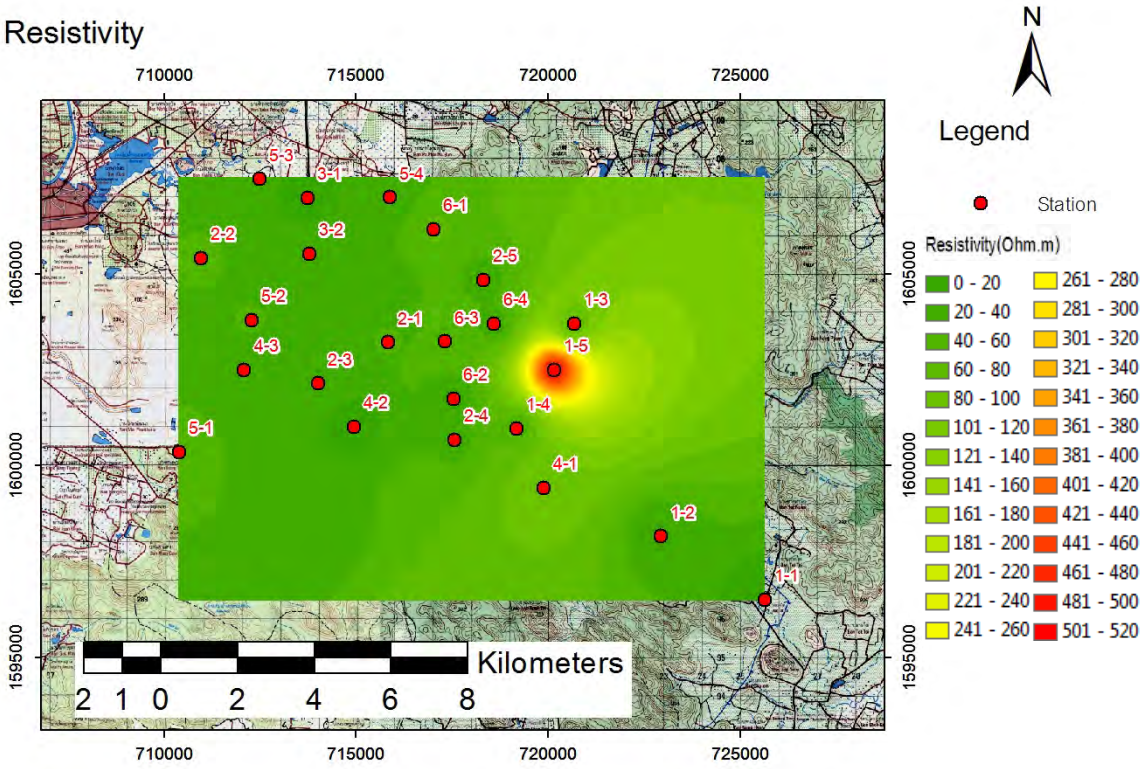
รูปที่ 4.15 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 30 เมตร

ที่ความลึก 30 เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 40 - 200 โอห์ม-เมตร ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าใกล้เคียงกับที่ความลึก 20 เมตร แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางธรณีวิทยายังไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก



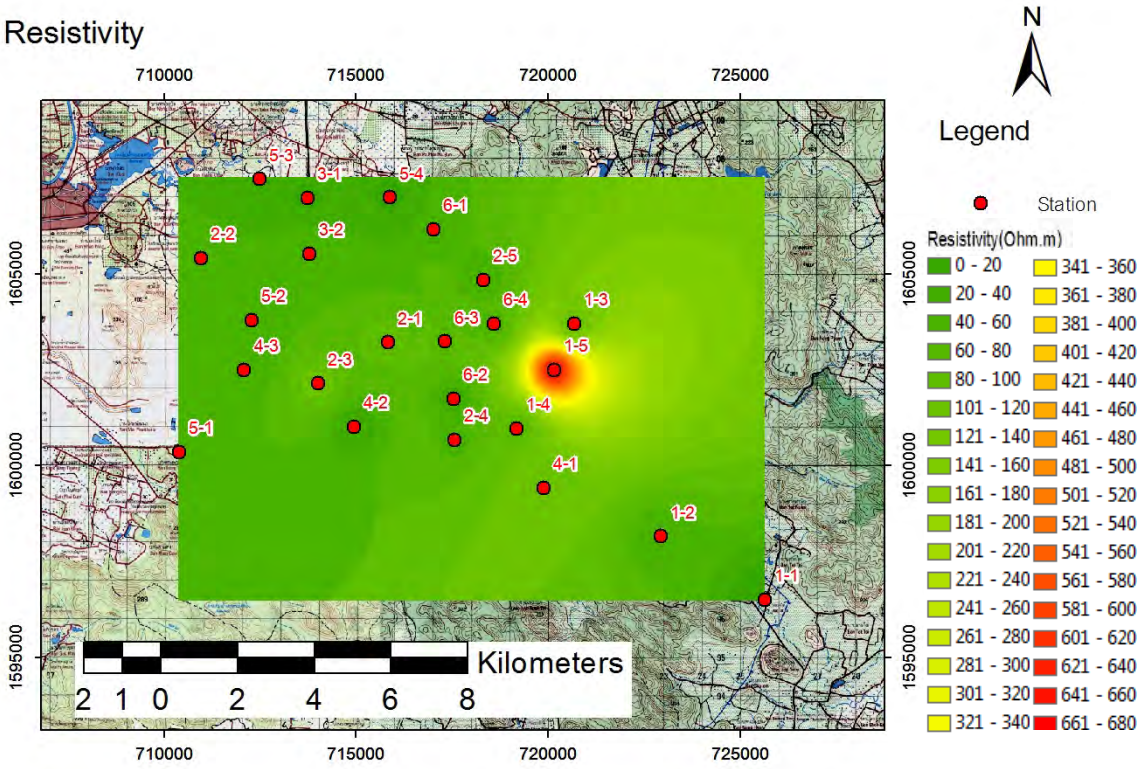
รูปที่ 4.16 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 40 เมตร

ที่ความลึก 40 เมตร ค่าความต่านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 20 - 120 โอห์ม-เมตร ซึ่งลดลงไปจากที่ความลึก 30 เมตร ซึ่งบ่งบอกว่าน่าจะพบชั้นน้ำบาดาล และจากข้อมูลบ่อบาดาลพบว่าที่ความลึกนี้มีลักษณะเป็นตะกอนทราย จึงคาดการณ์ได้ว่าโดยส่วนมากของพื้นที่จะพบชั้น Sand ที่เป็นชั้นน้ำบาดาล(Aquifer) ที่ความลึก 40 เมตร



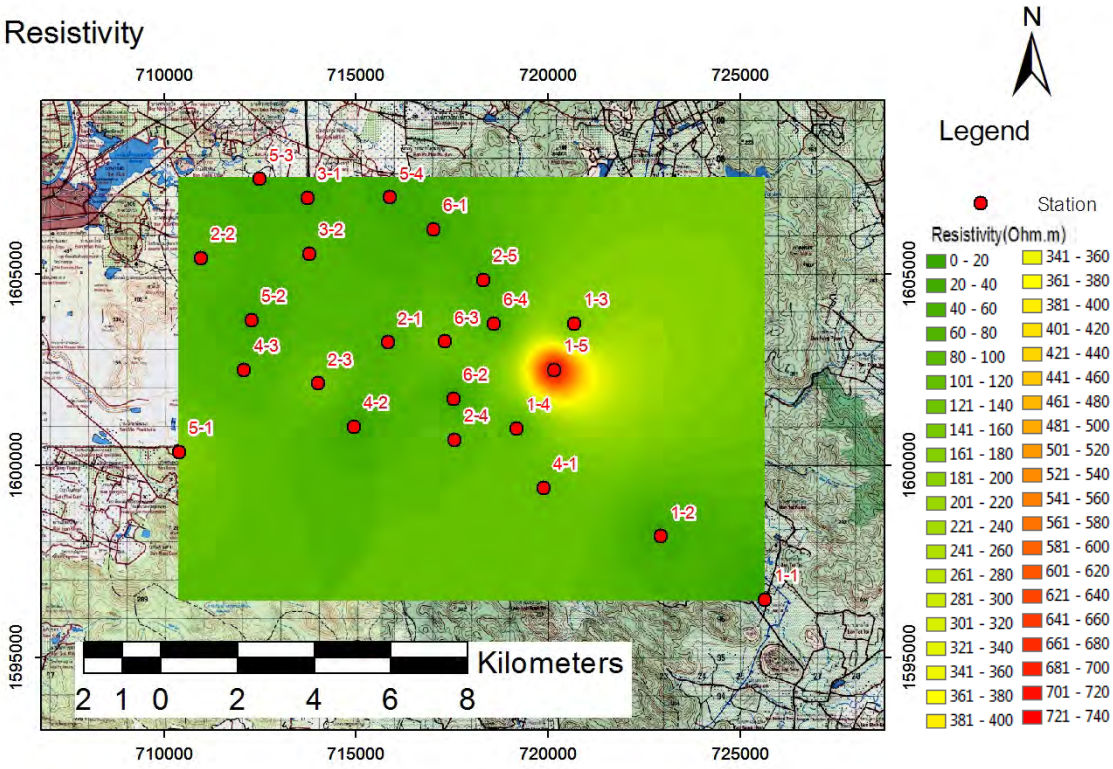
รูปที่ 4.17 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 60 เมตร

ที่ความลึก 60 เมตร ค่าความต่านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 20 - 100 โอห์ม-เมตร ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าใกล้เคียงกับที่ความลึก 40 เมตร แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรณีวิทยาไม่มากนัก



รูปที่ 4.18 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 80 เมตร

ที่ความลึก 80 เมตร ค่าความต่านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 80 - 240 โอห์ม-เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากที่ความลึก 60 เมตร และจากข้อมูลบ่อบาดาลพบว่าที่ความลึกนี้พบหินอัคนี เช่น หินไรโอไลต์ เป็นต้น และจากการเทียบเคียงตารางค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของความลึกนี้มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านไฟฟ้าของหินอัคนีปกติ ทำให้ทราบว่าเป็นชั้นหินอัคนีที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (Aquifer) หรือเรียกชั้นนี้ว่าเป็นชั้น Fractured volcanic rock



รูปที่ 4.19 แผนที่ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity map) ที่ความลึก 100 เมตร

ที่ความลึก 100 เมตร ค่าความต่านทานไฟฟ้าของพื้นที่โดยรวมอยู่ที่ 100 - 260 โอห์ม-เมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ความลึก 80 เมตร ทำให้ทราบว่าที่ความลึกต่ำกว่า 80 เมตรเป็นต้นไป จะพบหินอัคนีที่เป็นชั้นน้ำบาดาล(Fractured volcanic rock)

4.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

จากการวิเคราะห์ภาพตัดขวางที่สร้างจากการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษา พบว่าสามารถแบ่งแยกชั้นตามความต้านทานไฟฟ้าออกได้เป็น 3 ชั้นได้แก่

Unit A: เป็นชั้นที่อยู่ตื้นที่สุด เป็นชั้นที่โดยส่วนมากมีค่าความต้านไฟฟ้าอยู่ในช่วงประมาณ10 - 50 โอห์ม-เมตร แต่ในบางพื้นที่อาจจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงถึง 120 โอห์ม-เมตร ค่าที่ได้จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในชั้นนี้มีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก เนื่องจากปริมาณความชื้นในดินมีความหลากหลายซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาก่อนหน้าจะทำการสำรวจ ซึ่งหากก่อนหน้าการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้ามีฝนตกลงมาจะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดลง และสภาพอากาศในพื้นที่สระบุรีในช่วงเวลาดังกล่าว (เดือนเมษายน) ซึ่งเป็นฤดูร้อนทำให้เกิดการระเหยของความชื้นในดินออกไปค่อนข้างมาก ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น มีความหนาของชั้นนี้ตั้งแต่ 10 - 40 เมตร โดยความหนาจะเพิ่มขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่

Unit B: เป็นชั้นที่อยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่โดยส่วนมากมีค่าความต้านไฟฟ้าต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 20 - 50 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นที่มีการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ค่อนข้างคงที่อยู่ในวงจำกัด อาจมีบางจุดสำรวจที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นนี้สูง อาจจะด้วยเรื่องความชื้นในดินต่ำทำให้กระแสไฟฟ้าที่ลงไปยังใต้ดินนั้นสามารถลงไปได้น้อย ทำให้ได้ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากจุดสำรวจอื่นที่กระแสไฟฟ้าสามารถลงไปยังใต้ดินได้ดีกว่า มีความหนาของชั้นนี่ประมาณ 25 - 40 เมตร

Unit C: เป็นชั้นที่อยู่ด้านล่างสุด เป็นชั้นที่มีค่าความต้านทานสูงเมื่อเทียบกับทั้งสองชั้นที่อยู่ด้านบน โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 70-740 โอห์ม-เมตร ชั้นนี้พบที่ความลึกตั้งแต่ 45 - 80 เมตร โดยชั้นนี้จะพบที่ความลึกมากขึ้นเมื่อไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่

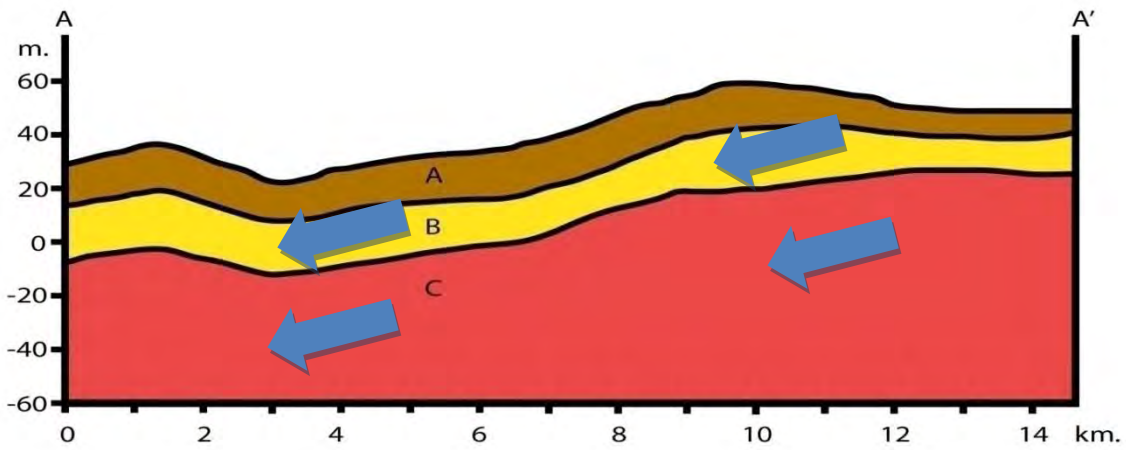
ซึ่งจากการเทียบข้อมูลหลุมเจาะบ่อบาดาลจากฐานข้อมูลพสุธาราของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล จึงทำให้สามารถเทียบเคียงลักษณะทางธรณีวิทยากับค่าความต้านทานไฟฟ้าได้เป็นดังนี้

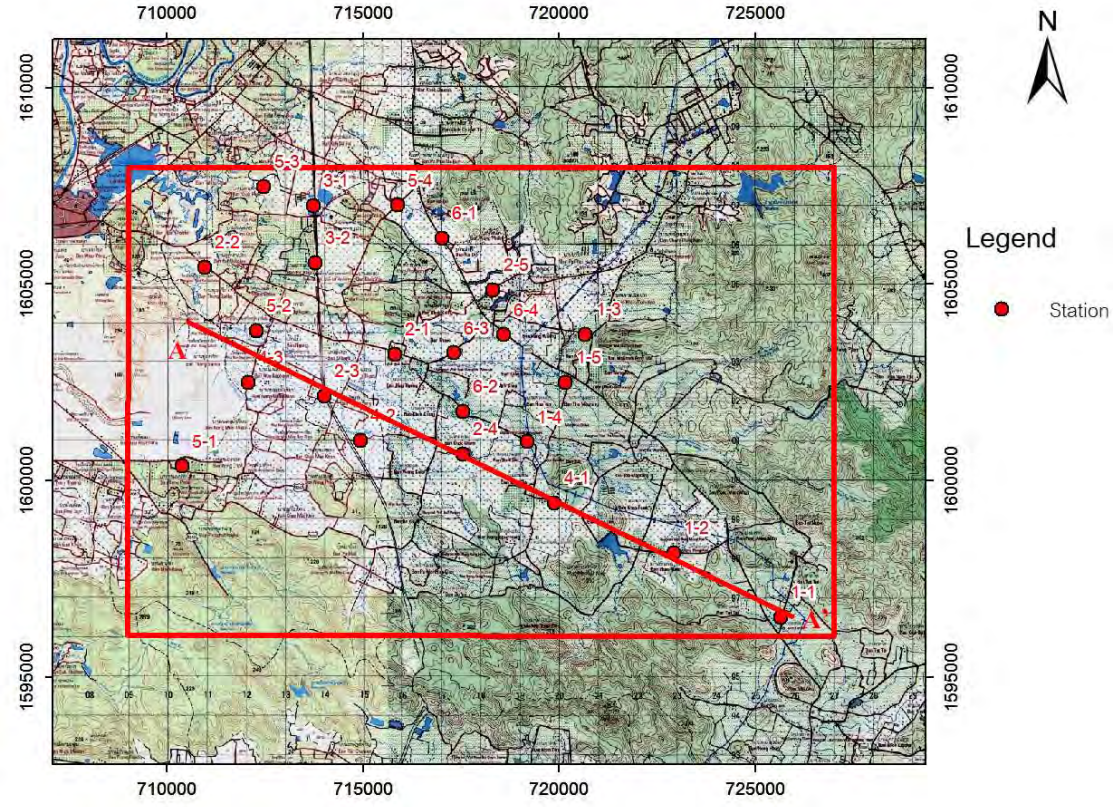
Unit A เทียบได้กับชั้น Top Soil ประกอบด้วยดินเหนียว ทรายแป้ง และทราย เป็นชั้นดินที่ปกคุลมอยู่ด้านบนทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาซึ่งในแต่ละท้องที่จะมีปริมาณขนาดของแต่ละเม็ดตะกอนแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่เช่น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อ่างเก็บน้ำ พื้นที่หมู่บ้าน เป็นต้น ซึ่ง

ในบางพื้นที่มีการอัดพื้นทำเป็นเส้นทางในการคมนาคมเช่น ถนน หรือ รางรถไฟ เป็นต้น จะทำให้ได้ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ไม่ใช่ลักษณะธรณีวิทยาดั้งเดิมของพื้นที่ และเนื่องจากชั้นนี้เป็นชั้นที่อยู่ด้านบนสุดซึ่งจะได้รับผลกระทบจากน้ำฝนและสภาพอากาศในพื้นที่ที่ค่อนข้างร้อนทำให้มีการสูญเสียความชื้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวทำให้มีการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้าในชั้นนี้ค่อนข้างมาก

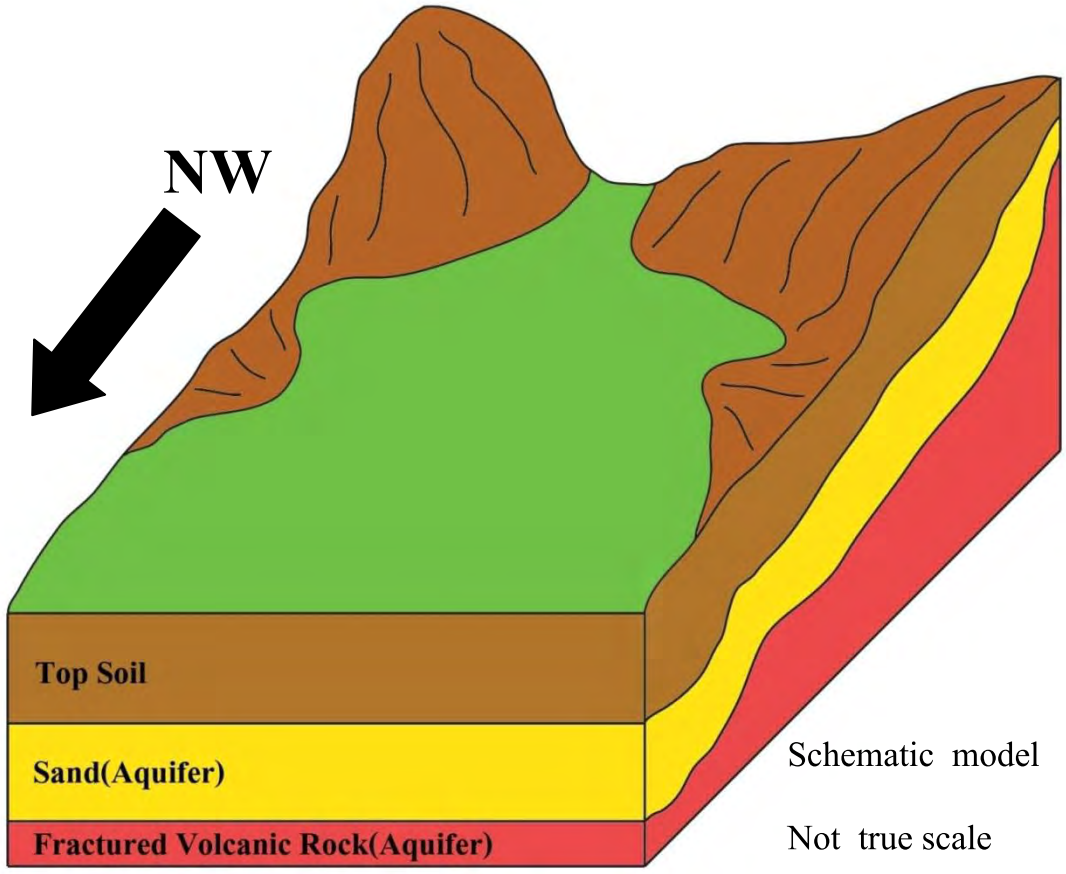
Unit B เทียบได้กับชั้น Sand ในชั้นนี้จะประกอบด้วยตะกอนขนาดทรายเป็นหลักและมีน้ำอยู่ในชั้นนี้จึงจัดว่าเป็นชั้นน้ำบาดาล(Aquifer) ซึ่งทำให้มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำและมีการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งตะกอนทรายในชั้นดังกล่าวนี้ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นทรายที่มาจากการผุพังของชั้นหินฐานหรือเป็นทรายที่เกิดจากการพัดพามาจากแม่น้ำในอดีตหรือเป็นทั้งสองอย่าง เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอ โดยทิศทางการไหลของน้ำคาดว่าน่าจะไหลจากทางทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก

Unit C เทียบได้กับชั้น Fractured Volcanic Rock ในชั้นนี้จะประกอบไปด้วยหินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นหินฐานของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าพบว่าในชั้นหินนี้มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าปกติของหินอัคนี ทำให้ทราบว่าในชั้นนี้มีน้ำไหลมาสะสมตัวอยู่ในชั้นนี้ตรงบริเวณช่องว่างของรอยแตก (Fracture) ของหินอัคนีทำให้ชั้นหินดังกล่าวเป็นชั้นน้ำบาดาล (Aquifer) แต่ไม่สามารถทราบได้ว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะการแตกของหิน (Fracture) เป็นอย่างไรซึ่งปริมาณการให้น้ำของชั้นนี้อยู่ที่ 5 - 15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยทิศทางการไหลของน้ำคาดว่าน่าจะไหลจากทางทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก





รูปที่ 4.20 ภาพตัดขวางในแนว A - A' พร้อมทิศทางการไหลของน้ำบาดาล



รูปที่ 4.21 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจ วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ผิว ดินภาย ในบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาคุณลักษณะของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ ซึ่งภายหลังจากที่ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และเปรียบเทียบจากข้อมูลการศึกษาเก่าของพื้นที่ พบว่าในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะประกอบด้วยชั้นน้ำบาดาล 2 ชั้นคือ

1)ชั้น Sand เป็นชั้นที่ประกอบด้วยตะกอนทรายเป็นหลัก มีค่าความต้านทานอยู่ในช่วง 20 - 50 โอห์ม-เมตร มีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 25 - 40 เมตร พบได้ตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา พบที่ความลึกประมาณ 30 - 50 เมตร น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บและไหลไปตามช่องว่างระหว่างเป็นตะกอนทรายเป็นชั้นน้ำบาดาลแบบไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) ทิศทางการไหลของน้ำเป็นไปในทางทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

2)ชั้น Fractured volcanic rock เป็นชั้นที่ประกอบด้วยหินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ เป็นส่วนใหญ่อยู่ถัดลงมาจากชั้น Sand มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 70 - 740 โอห์ม-เมตร พบได้ตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา พบที่ความลึกตั้งแต่ ประมาณ 70 เมตรเป็นต้นไป น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บในช่องว่างของรอยแตก รอยแยก ภายในของชั้นหิน แต่ไม่สามารถทราบได้ว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะการแตกของหิน (Fracture) เป็นมีทิศทางหลักเป็นอย่างไรซึ่งปริมาณการให้น้ำของชั้นนี้อยู่ที่ 5 - 15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำเป็นน้ำจืดโดยทิศทางการไหลของน้ำคาดว่าน่าจะไหลจากทางทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (2D Resistivity) ควบคู่ไปด้วยเนื่องจากการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติจะทำให้ได้ภาพตัดขวางที่สร้างจากข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าที่มีความละเอียดและถูกต้องของข้อมูลมากกว่าการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ

2.ควรทำการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน(Seismic Reflection Survey) ร่วมด้วยเพื่อสำรวจลักษณะของรอยแตกในหินอัคนี เนื่องจากการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าไม่สามารถสร้างแผนที่รอยแตกของหินอัคนีได้

3.หากต้องการข้อมูลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นควรจะใช้เครื่องมือที่มีความผิดพลาด (Error) ต่ำ และควรทำการสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าในวันที่มีสภาพอากาศใกล้เคียงกันเพื่อลดปัญหาความแตกต่างของความชื้นในดิน

4.ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าระหว่างการสร้างอ่างเก็บน้ำเพิ่มเติมกับการพัฒนาบ่อบาดาลในพื้นที่การทำแบบไหนจะทำให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำให้เพียงพอและงบประมาณ

เอกสารอ้างอิง

Atwia, M.G., Abu-Heleika, M.M., and El-Horiny, M.M. 2012. Hydrogeochemical and vertical electrical soundings for groundwater investigations, Burg El-Arab area, Northwestern Coast of Egypt. Journal of African Earth Sciences 80: pp.8-20.

Loke, M.H., 2000. Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2D and 3D Surveys. pp.15-17

Muchingami, I., Hlatywayo, D.J., Nel, J.M., and Chuma, C. Electrical resistivity survey for groundwater investigations and shallow subsurface evaluation of the basaltic-greenstone formation of the urban Bulawayo aquifer. Physics and Chemistry of the Earth 50–52: pp.44-51

Palacky, G.W., 1987. Resistivity characteristics of geologic targets. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics 1. pp.52-129

เพียงตา สาตรักษ์. การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า(Resistivity Survey). ใน; ธรณีฟิสิกส์เพื่อการสำรวจใต้ผิวดิน(Exploration Geophysics). พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น; ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2550. หน้า 223-352.

ภาคผนวก

ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละจุดสำรวจ(เฉพาะที่ใช้ในการทำภาพตัดขวาง)

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 1-1

UTM Easting: 725651 Northing: 1596505 Station: 1-1 Date: 14/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.0001	0.004	0.0008	0.472
1.5	0.5	6.29	0.0001	0.049	0.0009	0.115531
2	0.5	11.79	0.0001	0.035	0.001	0.336857
3	0.5	27.5	0.0001	0.04	0.0016	1.1
3	2	3.93	0.0001	0.041	0.0002	0.019171
5	2	16.5	0.0001	0.035	0.0013	0.612857
7	2	35.36	0.0001	0.049	0.002	1.443265
10	2	75.43	0.0001	0.031	0.0011	2.676548
10	5	23.57	0.0001	0.032	0.001	0.736563
15	5	62.86	0.0001	0.022	0.0008	2.285818
20	5	117.86	0.0001	0.018	0.0022	14.40511
25	5	188.57	0.0001	0.017	0.0023	25.51241
30	5	275	0.0001	0.012	0.0023	52.70833
35	5	377.14	0.0001	0.022	0.0012	20.57127
40	5	495	0.0001	0.031	0.0011	17.56452
45	5	628.57	0.0001	0.059	0.0005	5.326864
50	5	777.86	0.0001	0.022	0.0012	42.42873
50	20	165	0.0001	0.034	0.003	14.55882
60	20	251.43	0.0001	0.026	0.0026	25.143
70	20	353.57	0.0001	0.024	0.0027	39.77663
80	20	471.43	0.0001	0.042	0.0007	7.857167
90	20	605	0.0001	0.027	0.0012	26.88889
100	20	754.29	0.0001	0.03	0.0011	27.6573
110	20	919.29	0.0001	0.021	0.0011	48.15329
125	20	1196.25	0.0001	0.024	0.0009	44.85938

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 1-2

UTM Easting: 722929 Northing: 1598153 Station: 1-2 Date: 14/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.0001	0.031	0.0079	0.601419
1.5	0.5	6.29	0.0001	0.031	0.0022	0.446387
2	0.5	11.79	0.0001	0.018	0.0012	0.786
3	0.5	27.5	0.0001	0.025	0.0007	0.77
3	2	3.93	0.0001	0.025	0.0005	0.0786
5	2	16.5	0.0001	0.028	0.0008	0.471429

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
7	2	35.36	0.0001	0.021	0.0016	2.694095
10	2	75.43	0.0001	0.021	0.0018	6.465429
10	5	23.57	0.0001	0.021	0.0019	2.132524
15	5	62.86	0.0001	0.017	0.0019	7.025529
20	5	117.86	0.0001	0.017	0.0014	9.706118
25	5	188.57	0.0001	0.011	0.0019	32.57118
30	5	275	0.0001	0.013	0.0017	35.96154
35	5	377.14	0.0001	0.014	0.0011	29.63243
40	5	495	0.0001	0.017	0.0008	23.29412
45	5	628.57	0.0001	0.031	0.0005	10.13823
50	5	777.86	0.0001	0.018	0.0013	56.17878
50	20	165	0.0001	0.017	0.0013	12.61765
60	20	251.43	0.0001	0.018	0.0013	18.15883
70	20	353.57	0.0001	0.012	0.0016	47.14267
80	20	471.43	0.0001	0.018	0.0016	41.90489
90	20	605	0.0001	0.018	0.0011	36.97222
100	20	754.29	0.0001	0.022	0.0008	27.42873
110	20	919.29	0.0001	0.015	0.0016	98.0576
125	20	1196.25	0.0001	0.011	0.0016	174
135	20	135	0.0001	0.011	0.0018	229.1793
150	20	150	0.0001	0.009	0.0014	270.1113
160	20	160	0.0001	0.009	0.0004	88

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 2-2

UTM Easting: 710961 Northing: 1605414 Station: 2-2 Date: 15/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.0001	0.003	0.1727	135.8573
1.5	0.5	6.29	0.0001	0.004	0.0461	72.49225
2	0.5	11.79	0.0001	0.004	0.0327	96.38325
3	0.5	27.5	0.0001	0.004	0.0139	95.5625
3	2	3.93	0.0001	0.004	0.0888	87.246
5	2	16.5	0.0001	0.004	0.0266	109.725
7	2	35.36	0.0001	0.002	0.0104	183.872
10	2	75.43	0.0001	0.008	0.0122	115.0308
10	5	23.57	0.0001	0.008	0.0382	112.5468
15	5	62.86	0.0001	0.004	0.006	94.29
20	5	117.86	0.0001	0.004	0.0024	70.716
25	5	188.57	0.0001	0.001	0.0005	94.285
30	5	275	0.0001	0.002	0.0004	55

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
35	5	377.14	0.0001	0.004	0.0004	37.714
40	5	495	0.0001	0.003	0.0001	16.5
45	5	628.57	0.0001	0.002	0.0001	31.4285
50	5	777.86	0.0001	0.005	0.0001	15.5572
50	20	165	0.0001	0.005	0.0009	29.7
60	20	251.43	0.0001	0.004	0.0007	44.00025
70	20	353.57	0.0001	0.003	0.0003	35.357
80	20	471.43	0.0001	0.004	0.0004	47.143
90	20	605	0.0001	0.004	0.0005	75.625
100	20	754.29	0.0001	0.004	0.0004	75.429

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 2-3

UTM Easting: 714014 Northing: 1602145 Station: 2-3 Date: 15/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	RR	0.004	0.0335	19.765
1.5	0.5	6.29	0.0001	0.003	0.0082	17.19267
2	0.5	11.79	0.0001	0.001	0.0022	25.938
3	0.5	27.5	0.0001	0.003	0.0007	6.416667
3	2	3.93	0.0001	0.002	0.009	17.685
5	2	16.5	0.0001	0.003	0.0013	7.15
7	2	35.36	0.0001	0.006	0.0006	3.536
10	2	75.43	0.0001	0.007	0.0003	3.232714
10	5	23.57	0.0001	0.001	0.0004	9.428
15	5	62.86	0.0001	0.008	0.0005	3.92875
20	5	117.86	0.0001	0.005	0.0002	4.7144
25	5	188.57	0.0001	0.003	0.0015	94.285
30	5	275	0.0001	0.007	0.0025	98.21429
35	5	377.14	0.0001	0.006	0.0019	119.4277
40	5	495	0.0001	0.006	0.0019	156.75
45	5	628.57	0.0001	0.009	0.0024	167.6187
50	5	777.86	0.0001	0.004	0.0013	252.8045
50	20	165	0.0001	0.004	0.0018	74.25
60	20	251.43	0.0001	0.009	0.0008	22.34933
70	20	353.57	0.0001	0.008	0.0011	48.61588
80	20	471.43	0.0001	0.007	0.0017	114.4901
90	20	605	0.0001	0.009	0.0012	80.66667
100	20	754.29	0.0001	0.004	0.0007	132.0008

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 2-4

UTM Easting: 717555 Northing: 1600670 Station: 2-4 Date: 15/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.0001	0.003	0.0634	49.87467
1.5	0.5	6.29	0.0001	0.003	0.0179	37.53033
2	0.5	11.79	0.0001	0.001	0.0042	49.518
3	0.5	27.5	0.0001	0.013	0.0119	25.17308
3	2	3.93	0.0001	0.014	0.0009	0.252643
5	2	16.5	0.0001	0.014	0.0013	1.532143
7	2	35.36	0.0001	0.004	0.0003	2.652
10	2	75.43	0.0001	0.002	0.0021	79.2015
10	5	23.57	0.0001	0.003	0.0213	167.347
15	5	62.86	0.0001	0.002	0.001	31.43
20	5	117.86	0.0001	0.006	0.0009	17.679
25	5	188.57	0.0001	0.003	0.0005	31.42833
30	5	275	0.0001	0.001	0.0004	110
35	5	377.14	0.0001	0.001	0.0005	188.57
40	5	495	0.0001	0.002	0.0004	99
45	5	628.57	0.0001	0.001	0.0004	251.428
50	5	777.86	0.0001	0.001	0.0004	311.144
50	20	165	0.0001	0.006	0.0082	225.5
60	20	251.43	0.0001	0.012	0.0014	29.3335
70	20	353.57	0.0001	0.007	0.0008	40.408
80	20	471.43	0.0001	0.017	0.0018	49.91612
90	20	605	0.0001	0.011	0.0008	44
100	20	754.29	0.0001	0.009	0.001	83.81
110	20	919.29	0.0001	0.006	0.0007	107.2505
125	20	1196.25	0.0001	0.007	0.0008	136.7143
135	20	1400.54	0.0001	0.014	0.0008	80.03086

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 2-5

UTM Easting: 718318 Northing: 1604836 Station: 2-5 Date: 15/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.011	0.634	136.0218
1.5	0.5	6.29	0.001	0.007	0.124	111.4229
2	0.5	11.79	0.001	0.007	0.052	87.58286
3	0.5	27.5	0.001	0.009	0.025	76.38889
3	2	3.93	0.001	0.003	0.192	251.52
5	2	16.5	0.001	0.007	0.016	37.71429
7	2	35.36	0.001	0.012	0.017	50.09333

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
10	2	75.43	0.001	0.005	0.006	90.516
10	5	23.57	0.001	0.003	0.017	133.5633
15	5	62.86	0.001	0.003	0.004	83.81333
20	5	117.86	0.001	0.003	0.011	432.1533
25	5	188.57	0.0001	0.005	0.0008	30.1712
30	5	275	0.0001	0.007	0.0007	27.5
35	5	377.14	0.0001	0.003	0.0003	37.714
40	5	495	0.0001	0.004	0.0002	24.75
45	5	628.57	0.0001	0	0	#DIV/0!
50	5	777.86	0.0001	0.006	0.0003	38.893
50	20	165	0.0001	0.007	0.0011	25.92857
60	20	251.43	0.0001	0.004	0.0004	25.143
70	20	353.57	0.0001	0.011	0.001	32.14273
80	20	471.43	0.0001	0.012	0.001	39.28583
90	20	605	0.0001	0.009	0.0005	33.61111
100	20	754.29	0.0001	0.006	0.0003	37.7145

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 3-1

UTM Easting: 713732 Northing: 1606984 Station: 3-1 Date: 28/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.004	0.39	230.1
1.5	0.5	6.29	0.001	0.005	0.216	271.728
2	0.5	11.79	0.001	0.01	0.197	232.263
3	0.5	27.5	0.001	0.007	0.044	172.8571
3	2	3.93	0.001	0.006	0.385	252.175
5	2	16.5	0.001	0.006	0.032	88
7	2	35.36	0.001	0.009	0.006	23.57333
10	2	75.43	0.0001	0.01	0.002	15.086
10	5	23.57	0.0001	0.01	0.0064	15.0848
15	5	62.86	0.0001	0.013	0.0018	8.703692
20	5	117.86	0.0001	0.012	0.0009	8.8395
25	5	188.57	0.0001	0.006	0.0003	9.4285
30	5	275	0.0001	0.003	0.0001	9.166667
35	5	377.14	0.0001	0.011	0.0002	6.857091
40	5	495	0.0001	0.011	0.0003	13.5
45	5	628.57	0.0001	0.007	0.0002	17.95914
50	5	777.86	0.0001	0.007	0.0002	22.22457
50	20	165	0.0001	0.021	0.0024	18.85714
60	20	251.43	0.0001	0.009	0.0001	2.793667

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
70	20	353.57	0.0001	0.004	0.0004	35.357
80	20	471.43	0.0001	0.003	0.0001	15.71433
90	20	605	0.0001	0.007	0.0004	34.57143
100	20	754.29	0.0001	0.005	0.0002	30.1716

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 3-2

UTM Easting: 713780 Northing: 1605530 Station: 3-2 Date: 28/2/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.024	0.428	42.08667
1.5	0.5	6.29	0.001	0.037	0.344	58.48
2	0.5	11.79	0.001	0.031	0.201	76.44484
3	0.5	27.5	0.001	0.015	0.05	91.66667
3	2	3.93	0.001	0.015	0.377	98.774
5	2	16.5	0.001	0.022	0.185	138.75
7	2	35.36	0.001	0.019	0.049	91.19158
10	2	75.43	0.0001	0.005	0.0006	9.0516
10	5	23.57	0.0001	0.006	0.0035	13.74917
15	5	62.86	0.0001	0.012	0.0012	6.286
20	5	117.86	0.0001	0.012	0.0003	2.9465
25	5	188.57	0.0001	0.024	0.0001	0.785708
30	5	275	0.0001	0.016	0.001	17.1875
35	5	377.14	0.0001	0.023	0.001	16.39739
40	5	495	0.0001	0.012	0.0004	16.5
45	5	628.57	0.0001	0.017	0.0004	14.78988
50	5	777.86	0.0001	0.015	0.0004	20.74293
50	20	165	0.0001	0.004	0.0011	45.375
60	20	251.43	0.0001	0.017	0.0024	35.496
70	20	353.57	0.0001	0.01	0.0013	45.9641
80	20	471.43	0.0001	0.004	0.0005	58.92875
90	20	605	0.0001	0.005	0.0005	60.5
100	20	754.29	0.0001	0.004	0.0004	75.429

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 4-1

UTM Easting: 719883 Northing: 1599416 Station: 4-1 Date: 1/3/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.007	0.286	96.42286
1.5	0.5	6.29	0.001	0.01	0.105	66.045
2	0.5	11.79	0.001	0.008	0.028	41.265
3	0.5	27.5	0.001	0.01	0.006	16.5
3	2	3.93	0.001	0.014	0.195	54.73929

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
5	2	16.5	0.001	0.013	0.023	29.19231
7	2	35.36	0.001	0.012	0.008	23.57333
10	2	75.43	0.001	0.011	0.001	6.857273
10	5	23.57	0.001	0.012	0.012	23.57
15	5	62.86	0.001	0.012	0.002	10.47667
20	5	117.86	0.001	0.014	0.003	25.25571
25	5	188.57	0.001	0.009	0.001	20.95222
30	5	275	0.001	0.011	0.023	575
35	5	377.14	0.0001	0.006	0.001	62.85667
40	5	495	0.0001	0.012	0.0016	66
45	5	628.57	0.0001	0.012	0.0015	78.57125
50	5	777.86	0.0001	0.012	0.0012	77.786
50	20	165	0.0001	0.011	0.0055	82.5
60	20	251.43	0.0001	0.016	0.006	94.28625
70	20	353.57	0.0001	0.01	0.0034	120.2138
80	20	471.43	0.0001	0.021	0.0046	103.2656
90	20	605	0.0001	0.014	0.0029	125.3214
100	20	754.29	0.0001	0.012	0.0017	106.8578

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 4-2

UTM Easting: 714943 Northing: 1601014 Station: 4-2 Date: 1/3/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.023	0.154	15.80174
1.5	0.5	6.29	0.001	0.022	0.035	10.00682
2	0.5	11.79	0.001	0.025	0.014	6.6024
3	0.5	27.5	0.001	0.016	0.001	1.71875
3	2	3.93	0.001	0.016	0.024	5.895
5	2	16.5	0.001	0.037	0.004	1.783784
7	2	35.36	0.001	0.025	0.001	1.4144
10	2	75.43	0.001	0.036	0.005	10.47639
10	5	23.57	0.001	0.036	0.005	3.273611
15	5	62.86	0.001	0.022	0.01	28.57273
20	5	117.86	0.001	0.029	0.001	4.064138
25	5	188.57	0.001	0.027	0.003	20.95222
30	5	275	0.001	0.073	0.003	11.30137
35	5	377.14	0.0001	0.032	0.0018	21.21413
40	5	495	0.0001	0.031	0.002	31.93548
45	5	628.57	0.0001	0.022	0.0015	42.85705
50	5	777.86	0.0001	0.021	0.0014	51.85733

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
50	20	165	0.0001	0.021	0.001	7.857143
60	20	251.43	0.0001	0.035	0.0015	10.77557
70	20	353.57	0.0001	0.014	0.0006	15.153
80	20	471.43	0.0001	0.021	0.001	22.44905
90	20	605	0.0001	0.024	0.0014	35.29167
100	20	754.29	0.0001	0.026	0.0009	26.11004

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 4-3

UTM Easting: 712078 Northing: 1602490 Station: 4-3 Date: 1/3/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.012	0.365	71.78333
1.5	0.5	6.29	0.001	0.013	0.153	74.02846
2	0.5	11.79	0.001	0.01	0.068	80.172
3	0.5	27.5	0.001	0.017	0.059	95.44118
3	2	3.93	0.001	0.017	0.441	101.9488
5	2	16.5	0.001	0.011	0.089	133.5
7	2	35.36	0.001	0.009	0.037	145.3689
10	2	75.43	0.001	0.013	0.025	145.0577
10	5	23.57	0.001	0.013	0.086	155.9246
15	5	62.86	0.001	0.015	0.031	129.9107
20	5	117.86	0.001	0.012	0.008	78.57333
25	5	188.57	0.001	0.013	0.004	58.02154
30	5	275	0.001	0.013	0.023	486.5385
35	5	377.14	0.0001	0.01	0.0011	41.4854
40	5	495	0.0001	0.017	0.0012	34.94118
45	5	628.57	0.0001	0.012	0.0004	20.95233
50	5	777.86	0.0001	0.024	0.0009	29.16975
50	20	165	0.0001	0.024	0.0048	33
60	20	251.43	0.0001	0.009	0.0012	33.524
70	20	353.57	0.0001	0.02	0.0022	38.8927
80	20	471.43	0.0001	0.021	0.0021	47.143
90	20	605	0.0001	0.015	0.001	40.33333
100	20	754.29	0.0001	0.015	0.0012	60.3432

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 5-2

UTM Easting: 712273 Northing: 1603801 Station: 5-2 Date: 18/4/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.01	0.02	1.28	151.04
1.5	0.5	6.29	0.01	0.019	0.41	135.7316

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
2	0.5	11.79	0.01	0.019	0.15	93.07895
3	0.5	27.5	0.01	0.019	16	23157.89
3	2	3.93	0.01	0.022	0.83	148.2682
5	2	16.5	0.01	0.022	0.09	67.5
7	2	35.36	0.01	0.022	0.06	96.43636
10	2	75.43	0.01	0.022	0.03	102.8591
10	5	23.57	0.01	0.029	0.06	48.76552
15	5	62.86	0.01	0.03	0.03	62.86
20	5	117.86	0.01	0.03	0.14	550.0133
25	5	188.57	0.01	0.03	0.06	377.14
30	5	275	0.01	0.031	0.04	354.8387
35	5	377.14	0.0001	0.03	0.0038	47.77107
40	5	495	0.0001	0.03	0.0029	47.85
45	5	628.57	0.001	0.102	0.003	18.48735
50	5	777.86	0.0001	0.03	0.0013	33.70727
50	20	165	0.001	0.036	0.107	490.4167
60	20	251.43	0.001	0.036	0.006	41.905
70	20	353.57	0.001	0.035	0.003	30.306
80	20	471.43	0.001	0.036	0.003	39.28583
90	20	605	0.001	0.035	0.002	34.57143
100	20	754.29	0.001	0.07	0.003	32.32671
110	20	919.29	0.001	0.037	0.002	49.69135
125	20	1196.25	0.001	0.037	0.002	64.66216
135	20	1400.54	0.0001	0.037	0.0017	64.34914
150	20	1736.43	0.0001	0.037	0.0021	98.55414

ตารางบันทึกผลข้อมูลจุดสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าแนวที่ 6-3

UTM Easting: 717308 Northing: 1603237 Station: 6-3 Date: 19/4/2015

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
1	0.5	2.36	0.001	0.001	0.173	408.28
1.5	0.5	6.29	0.001	0.001	0.044	276.76
2	0.5	11.79	0.001	0.001	0.016	188.64
3	0.5	27.5	0.001	0.002	0.003	41.25
3	2	3.93	0.001	0.002	0.063	123.795
5	2	16.5	0.001	0.002	0.004	33
7	2	35.36	0.001	0.011	0.005	16.07273
10	2	75.43	0.0001	0.006	0.0019	23.88617
10	5	23.57	0.0001	0.001	0.0027	63.639
15	5	62.86	0.0001	0.001	0.0014	88.004

AB/2	MN/2	k	Range	I(av)	V(av)	Res
20	5	117.86	0.0001	0.001	0.0032	377.152
25	5	188.57	0.0001	0.011	0.0024	41.14255
30	5	275	0.0001	0.012	0.0024	55
35	5	377.14	0.0001	0.014	0.0018	48.48943
40	5	495	0.0001	0.016	0.0015	46.40625
45	5	628.57	0.0001	0.017	0.003	110.9241
50	5	777.86	0.0001	0.017	0.0011	50.33212
50	20	165	0.0001	0.017	0.0048	46.58824
60	20	251.43	0.0001	0.019	0.0035	46.31605
70	20	353.57	0.0001	0.02	0.0012	21.2142
80	20	471.43	0.0001	0.012	0.002	78.57167
90	20	605	0.001	0.012	0.002	100.8333
100	20	754.29	0.001	0.012	0.002	125.715