



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การประยุกต์ใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์เพื่อระบุขอบเขตการปนเปื้อน
บริเวณเหมืองดีบุกเก่า อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวสุจิตราพร โพธิ์ชัย

เลขประจำตัวนิสิต 5732755523

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

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

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

การประยุกต์ใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์เพื่อระบุขอบเขตการปนเปื้อน
บริเวณเหมืองดีบุกเก่า อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

นางสาวสุจิตราพร โพธิ์ชัย

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

APPLICATION OF GEOPHYSICAL TECHNIQUE TO DELINEATE
CONTAMINATED AREA AROUND THE OLD TIN MINE,
DAN CHANG DISTRICT, SUPHANBURI PROVINCE

Ms. Sujitraporn Pochai

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ

การประยุกต์ใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์เพื่อระบุ
ขอบเขตการปนเปื้อนบริเวณเหมืองดีบุกเก่า
อำเภอเด่นชัย จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวสุจิตราพร โพธิ์ชัย

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร

คุณเกียรติพงษ์ คำดี

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

สุจิตราพร โพธิ์ชัย : การประยุกต์ใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์เพื่อระบุขอบเขตการปนเปื้อนบริเวณเหมืองดีบุกเก่า อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี . (APPLICATION OF GEOPHYSICAL TECHNIQUE TO DELINEATE CONTAMINATED AREA AROUND THE OLD TIN MINE, DAN CHANG DISTRICT, SUPHANBURI PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร, 39 หน้า.

แร่ดีบุกที่เกิดในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้มาจากสินแร่แคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) เกิดอยู่ในสายแร่แบบน้ำร้อนที่แทรกในหินแกรนิตหรือหินตะกอนข้างเคียง สินแร่แคสซิเทอไรต์มักเกิดร่วมกับแร่อาร์ซิโนไฟไรต์ แร่ซาร์โคไฟไรต์และแร่อื่น ๆ เมื่อมีการทำเหมืองแร่ดีบุกจึงมีการทิ้งเพื่อนแร่เหล่านี้เป็นกากแร่ ทำให้สารหนูกระจายสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อแร่อาร์ซิโนไฟไรต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การศึกษาการปนเปื้อนในพื้นที่เหมืองดีบุกเก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรีประยุกต์ใช้การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้ากับการวิเคราะห์หุ้กธรณีเคมีของน้ำบาดาลและดินในพื้นที่เพื่อระบุขอบเขตการปนเปื้อนของมลสาร การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ใช้วิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ วางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) ทำการสำรวจทั้งหมด 12 จุด และนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม IPI2Win เพื่อสร้างภาพตัดขวางแสดงชั้นใต้ผิวดิน ซึ่งพบว่าพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้นใต้ผิวดิน 3 ชั้น ชั้นแรกเป็นดินเหนียว (Clay) ความลึกตั้งแต่ 0-10 เมตร ชั้นที่สองเป็นตะกอนหยาบ (Gravel) มีความลึก 10-25 เมตร และชั้นที่สามเป็นหินปูน มีความลึกมากกว่า 25 เมตร การวัดระดับน้ำจากบ่อบาดาลระดับตื้นและบ่อบาดาลระดับลึกบอกได้ว่า น้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เติมน้ำ (ภูเขา) ทางตะวันตกเฉียงเหนือไปยังพื้นที่ต่ำกว่าทางใต้ สำหรับการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เคมีทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลระดับตื้น 7 บ่อ น้ำบาดาลระดับลึก 7 บ่อและน้ำผิวดิน 1 จุด นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างดิน 6 จุด พบว่าน้ำบาดาลระดับตื้นมีความเข้มข้นของสารหนู 0.406-5.409 $\mu\text{g/L}$ บ่อที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดคือบ่อ w3 อยู่ห่างจากเหมืองดีบุกไปทางท้ายน้ำ 1.2 กิโลเมตร แต่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดไว้ที่ 10 $\mu\text{g/L}$ ในขณะที่น้ำผิวดินซึ่งเก็บตัวอย่างจากบ่อเก็บกากแร่เก่ามีความเข้มข้นของสารหนู 23.66 $\mu\text{g/L}$ ซึ่งเกินมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก สำหรับตัวอย่างดินพบว่ามีความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุดคือ 911.88 mg/kg ในจุดที่ห่างจากเหมือง 0.5 กิโลเมตร และดินที่มีความเข้มข้นของสารหนูน้อยที่สุดมีความเข้มข้น 10.29 mg/kg ห่างจากเหมืองดีบุกเก่าประมาณ 2.16 กิโลเมตร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์ของธรณีฟิสิกส์ไม่สามารถใช้ในการระบุขอบเขตการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบาดาลได้อย่างสมบูรณ์ แต่การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์สามารถใช้เพื่ออธิบายการไหลของน้ำบาดาลและใช้ร่วมกับข้อมูลหุ้กธรณีเคมีเพื่ออธิบายพื้นที่ปนเปื้อนที่เป็นไปได้

ภาควิชา.....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2560.....

5732755523 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : GEOPHYSICS / RESISTIVITY / CONTAMINATED AREA / OLD TIN MINE / SUPHANBURI
 SUJITRAPORN POCHAI : APPLICATION OF GEOPHYSICAL TECHNIQUE TO DELINEATE
 CONTAMINATED AREA AROUND THE OLD TIN MINE, DAN CHANG DISTRICT,
 SUPHANBURI PROVINCE. ADVISOR : ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, Ph.D.,
 CO – ADVISOR : ASST. PROF. THANOP THITIMAKORN, Ph.D., 39 pp.

In Thailand, most of tin ores are Cassiterite, occurring in hydrothermal veins in wall rocks which associated with granite. Arsenopyrite is the associated mineral generally found in tin mine tailings, which is dumped in tailings after the mining processes. Arsenic (As) is released to the surrounding environments when occurring oxidation of arsenopyrite mineral. This study applied the geophysical investigation combined with hydrogeochemical analysis of groundwater and soils to delineate contaminated areas around the old tin mine. Twelve vertical electrical sounding points were established in this study with Schlumberger array. Then, subsurface data were processed with IPI2Win to create pseudo-cross sections. This result revealed that this area has 3 layers: clay (0-10 m depth), gravel (10-25 m depth), and limestone (≥ 25 m depth). Groundwater levels were measured in both shallow and deep wells and found that groundwater flow from the recharge area in northwest to the discharge area in south of the study area. In this study, groundwater samples were collected from 7 shallow wells and 7 deep wells around the old tin mine. One surface water sample at the tailing pond of the old tin mine were collected for As analysis as well. Furthermore, six soil samples are also collected. The analysis reveals that As concentrations of shallow wells were in range of 0.406 and 5.409 $\mu\text{g/L}$. The highest concentration of shallow groundwater is located at well no. w3, the nearest well around 1.2 km in the downstream direction of the tin mine, not over the WHO standard of 10 $\mu\text{g/L}$. The surface water, located at the old tailing pond, has As concentration approx. 23.66 $\mu\text{g/L}$ exceeding the WHO standard. Moreover, the highest concentration of soil sample is 911.88 mg/kg, around 0.5 km downstream of the mine, while the lowest concentration is 10.29 mg/kg approx. 2.16 km downstream of the mine. In conclusion, the geophysical results cannot be successfully used delineating As-contaminated groundwater, but the geophysical investigation can be used to explain groundwater flow and used as an assistant tool combined with hydrogeochemical data to further explain the possible contaminated areas.

Department :Geology.....Student’s Signature.....
 Field of Study :Geology.....Advisor’s Signature.....
 Academic Year :2017.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางแก้ปัญหาในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณเกียรติพงษ์ คำดี และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร

ขอขอบคุณพี่บุคลากรที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้ห้องปฏิบัติการตะกอนวิทยา

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.พรินท์พิดา สนธิพันธ์ และผู้ร่วมเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและตัวอย่างดินทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการเก็บตัวอย่างรวมทั้งการส่งวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณนายณรงค์ศักดิ์ ราชูการ และนางสาวอาทิมา โคจิมะ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลธรณีฟิสิกส์และให้คำแนะนำในการแปลผลข้อมูล

ขอขอบคุณนางสาววัลลภา วิศิษฐ์ธรรมศรี ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรและให้ความช่วยเหลือจนงานสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	2
1.4 สมมติฐาน	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้า	3
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของสภาพด้านทานไฟฟ้า	8
2.1.3 ไอโซโทปเสถียร	10
2.1.4 อัตราส่วนของไอโซโทป	11
2.1.5 เส้นน้ำฝน	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
2.3 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	15
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	19
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
3.2 รวบรวมข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	19
3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	20
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้า	24
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน	26
บทที่ 4 ผลการศึกษา	27
4.1 ผลการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้า	27

เรื่อง	หน้า
4.2 ระดับน้ำบาดาล	31
4.3 ปริมาณสารหนูในน้ำและดิน	32
4.4 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร	37
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	39
5.1 อภิปรายผลการศึกษา	39
5.2 สรุปผลการศึกษา	39
5.3 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ดินเหนียว	9
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	20
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลธรณีฟิสิกส์เก็บในสนามระหว่างวันที่ 13-15 ตุลาคม 2560	21
ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม IPI2win	30
ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งบ่อบาดาลและระดับน้ำบาดาล	31
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน	33
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดิน	35
ตารางที่ 4.5 ค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา	37

สารบัญรูปลภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงขอบเขตเหมืองแร่ดีบุกเก่าและพื้นที่ศึกษา	2
รูปที่ 2.1 การวัดหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุตามกฎของโอห์ม	3
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ	4
รูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดินแบบ 2 จุด	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะของการวางขั้วกระแสไฟฟ้าและขั้ววัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.5 รูปแบบของการจัดวางอิเล็กโทรดแบบชรัมเบอร์เจอร์	7
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างไฮโดรเจนไอโซโทปซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร	10
รูปที่ 2.7 Rainout effect กับอัตราส่วนไอโซโทปของไฮโดรเจนและออกซิเจน	12
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีผลต่ออัตราส่วนไอโซโทปออกซิเจนและไฮโดรเจนในน้ำ	12
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของเส้นน้ำฝนจังหวัดกาญจนบุรี	13
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแผนภาพการกระจายตัวของสารหนู	15
รูปที่ 2.11 พื้นที่ศึกษา	16
รูปที่ 2.12 แผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	17
รูปที่ 2.13 แผนที่อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	18
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลธรณีฟิสิกส์	22
รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่าง	23
รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำและดิน รวมทั้งตำแหน่งสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า	24
รูปที่ 3.4 การจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array)	24
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างภาพตัดขวางของพื้นที่จากโปรแกรม IPI2win	25
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลในโปรแกรม IPI2win	26
รูปที่ 4.1 Sounding curve ของแต่ละจุดสำรวจ	27
รูปที่ 4.2 Pseudo cross-section ในแนว N-S	29
รูปที่ 4.3 Pseudo cross-section ในแนว NW-SE	29
รูปที่ 4.4 แผนที่การไหลของน้ำบาดาล	32
รูปที่ 4.5 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในบ่อบาดาลระดับตื้น	34
รูปที่ 4.6 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในน้ำบาดาลระดับลึก	35
รูปที่ 4.7 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในดิน	36
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$	37

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การกระจายของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อมเกิดได้จากธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดจากการผุพังของหิน กระบวนการ Hydrothermal หรือกระบวนการทางชีวภาพ แต่กิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักในการเพิ่มกระจายตัวของสารหนูมากขึ้น การทำเหมืองแร่เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญ ในอดีตประเทศไทยเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุกอย่างเฟื่องฟู แหล่งที่พบดีบุกในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันตกของประเทศติดชายแดนเมียนมาร์ แร่ดีบุกส่วนใหญ่ในประเทศไทยได้มาจากสินแร่ Cassiterite (SnO_2) ซึ่งสินแร่ Cassiterite มักเกิดร่วมกันกับแร่ Arsenopyrite (FeAsS) ทำให้ในการทำเหมืองดีบุกมีการทิ้งกากแร่ที่เป็น Arsenopyrite ออกมา และเมื่อแร่ Arsenopyrite สัมผัสกับน้ำและอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้สารประกอบของอาร์เซนิกที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้เกิดการแพร่กระจายลงสู่ชั้นดินและแหล่งน้ำ

การตรวจวัดสารหนูที่มีอยู่ในดินและแหล่งน้ำจะทำให้สามารถระบุขอบเขตการปนเปื้อนได้ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ และนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์มาก จึงมีการนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์มาใช้เนื่องจากใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ในอดีตมีการใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในการหาขอบเขตการปนเปื้อนของสารหนู ตัวอย่างเช่น การศึกษาพื้นที่การปนเปื้อนสารหนูในพื้นที่อำเภอรัตนบุรี จังหวัดนครศรีธรรมราช (Wattanasen et al., 2006) โดยใช้การสำรวจวัดสภาพต้านทางไฟฟ้าและการสำรวจวัดศักย์ไฟฟ้าในการหาการกระจายตัวของสารหนู

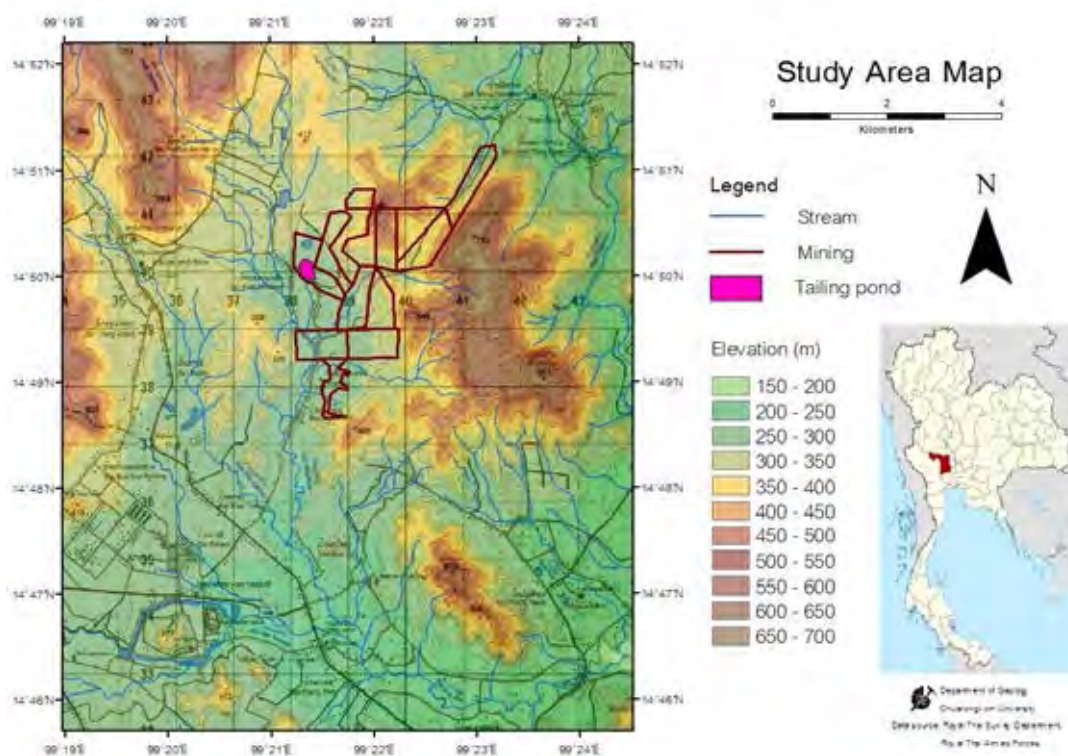
ในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้เคยมีการศึกษาปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ บริเวณเหมืองดีบุกเก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (Pansamut and Wattayakorn, 2010) พบว่ามีค่าตั้งแต่ 32-748 $\mu\text{g/L}$ ซึ่งมากกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ที่ 10 $\mu\text{g/L}$ (WHO, 2017) บริเวณนี้จึงเป็นบริเวณที่น่าสนใจในการทำการศึกษาด้วยวิธีการอื่น นั่นคือการใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ในการหาขอบเขตการปนเปื้อนของสารหนู เพื่อตรวจสอบและช่วยระบุขอบเขตการปนเปื้อน

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาขอบเขตการปนเปื้อนของมลสารโดยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์

1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณเหมืองดีบุกเก่าและบริเวณใกล้เคียง อยู่ในตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี และตำบลสมเด็จเจริญ อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50000 ลำดับชุด L7018 ระวัง 4838 I (บ้านวังยาว) และระวัง 4838 II (อำเภอหนองปรือ) มีความสูงประมาณ 180-720 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีทางน้ำสายเล็กไหลผ่าน ได้แก่ ห้วยมะขามและห้วยพุตะเคียน การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการทำเกษตรกรรม (ปลูกอ้อย) และมีบางส่วนเป็นพื้นที่ป่า ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงขอบเขตเหมืองแร่ดีบุกเก่าและพื้นที่ศึกษา

1.4 สมมติฐาน

วิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์สามารถระบุขอบเขตการปนเปื้อนของมลสารได้

1.5 ขอบเขตการศึกษา

สำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการสำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้าในบริเวณใกล้เคียงเหมืองดีบุกเก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและดินในบริเวณใกล้เคียงเหมืองดีบุกเก่าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารหนู

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบขอบเขตการปนเปื้อนของมลสารจากเหมืองดีบุกเก่า

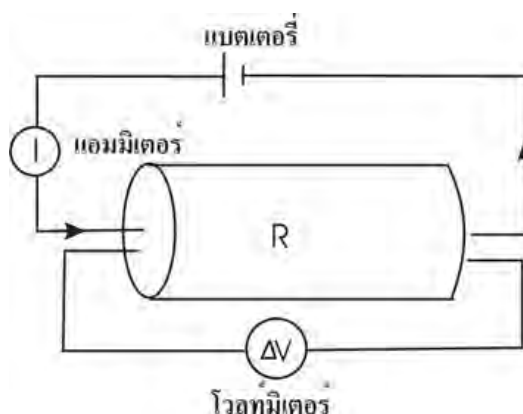
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

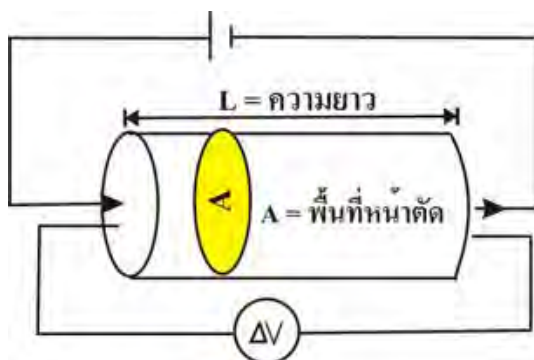
การประยุกต์ใช้การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าได้นั้น สภาพใต้ผิวดินต้องไม่เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยทั่วไปแร่ประกอบหินในเปลือกโลกมีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เนื่องจากเนื้อหินมีช่องว่าง เช่น รูพรุน รอยแตก ในช่องว่างนั้นจึงมีน้ำที่มีไอออนหรือประจุไฟฟ้าต่าง ๆ ปะปนอยู่ ไอออนหรือประจุไฟฟ้าในน้ำจะไหลภายในช่องว่าง กระแสไฟฟ้าจึงไหลใต้ผิวดิน การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity Survey) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของดินหรือหินใต้ผิวดิน เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไปดินด้วยแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรงหรือกระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำ

หลักการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ทำโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปตามเส้นลวดลงสู่ดิน กระแสไฟฟ้าจะไหลออกจากจุดปล่อย หากใต้ผิวดินเป็นตัวนำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่าน จะสามารถวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ เมื่อทราบค่าของกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไปและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จะสามารถหาค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ตามกฎของโอห์ม โดยกฎของโอห์ม (Ohm's law) กล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำหนึ่งมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น” เขียนเป็นสมการได้ว่า $\frac{V}{I} = R$



รูปที่ 2.1 การวัดหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุตามกฎของโอห์ม โดยมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เพียงตา สาดรักษ์, 2550)

ก)

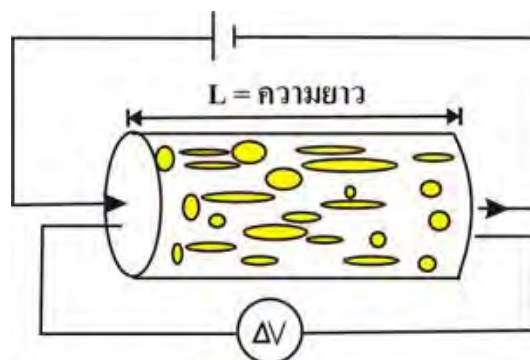


จากกฎของโอห์ม $V = IR$ และ $R = \rho \frac{L}{A}$

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

ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า

ข)



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

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

ρ_a = สภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของการหาสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงและปรากฏ (เพียงตา สাত্রักษ์, 2550)

ก) กรณีตัวกลางมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว จะได้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจริง

ข) กรณีตัวกลางมีเนื้อผสม ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ

ความต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับผลคูณของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวกลางกับค่าความยาวของตัวกลางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวกลาง ดังสมการ

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้เป็น} \quad \rho = R \frac{A}{L}$$

เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ หน่วย โอห์ม-เมตร ($\Omega\cdot\text{m}$)

R คือ ความต้านทาน หน่วย โวลต์

A คือ พื้นที่หน้าตัด หน่วย เมตร (m^2)

L คือ ความยาว หน่วย เมตร (m)

ความต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน-หินใต้ผิวดินในบริเวณที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและความยาวของระยะทางที่กระแสไฟฟ้าไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหล เมื่อกำหนดให้ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเท่ากันและระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน หากสภาพใต้ผิวดินมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากัน

สามารถแปลความได้ว่าสภาพใต้ผิวดินของทั้งสองบริเวณมีความคล้ายคลึงกัน แต่ถ้าค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้แตกต่างกัน แสดงว่าสภาพใต้ผิวดินแตกต่างกัน

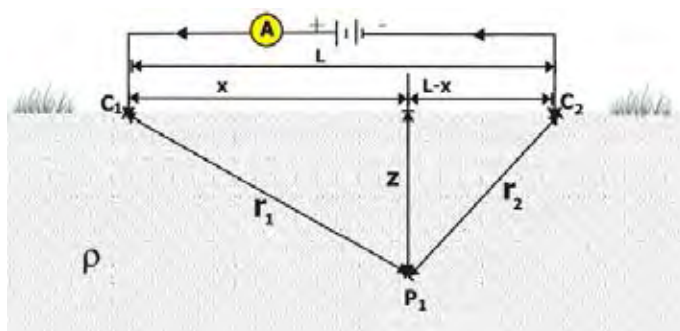
กรณีกระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดินแบบ 2 จุด กระแสไฟฟ้าวิ่งจากขั้วไฟฟ้าบวกไปขั้วไฟฟ้าลบ โดยมีแบตเตอรี่ต่ออยู่กับลวดที่ขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟ้าลบ และปักลงดินให้ปลายที่ต่อลงดินอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง L พิจารณาเฉพาะจุด P_1 ใด ๆ เพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าใต้ผิวดินที่ตำแหน่งนั้น ๆ โดยสมมติให้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินไม่เปลี่ยนแปลง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_2}$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของระยะทาง x และความลึก z ได้เป็น

$$V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{[x^2 + z^2]^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{[(L-x)^2 + z^2]^{\frac{1}{2}}} \right]$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P_1 ใด ๆ ขึ้นกับระยะห่างของขั้วที่ปล่อยกระแสไฟฟ้า ปริมาณของกระแสไฟฟ้า และค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดินแบบ 2 จุดที่จุด C_1 และ C_2 โดยมีจุด P_1 เป็นจุดที่ต้องการหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (เพียงตา สาทร์กซ์, 2550)

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อวัดหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณ 2 จุด สมมติให้วัดความต่างศักย์ที่ P_1 และ P_2 โดยปล่อยกระแสไฟฟ้าที่จุด C_1 และ C_2 จะได้

$$\text{ศักย์ไฟฟ้าที่จุด } P_1 \quad V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_2}$$

$$\text{ศักย์ไฟฟ้าที่จุด } P_2 \quad V_{P_2} = \frac{I\rho}{2\pi r_3} - \frac{I\rho}{2\pi r_4}$$

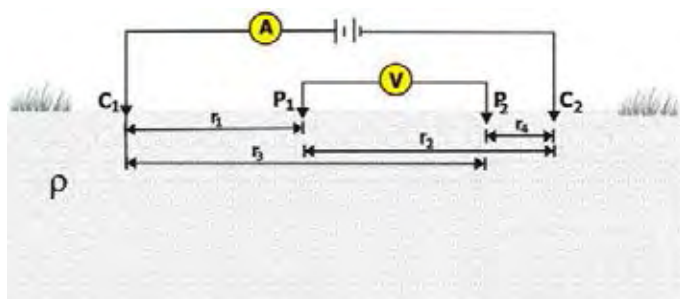
หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด P_1 และ P_2 ได้ดังนี้

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_2} \right) - \left(\frac{I\rho}{2\pi r_3} - \frac{I\rho}{2\pi r_4} \right)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

เราสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ และทราบระยะห่างของขั้วที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและขั้วที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการกำหนดระยะห่าง ดังนั้นสามารถหาค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ จากสมการ

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \right]$$



รูปที่ 2.4 ลักษณะของการวางขั้วกระแสไฟฟ้าและขั้ววัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป็นหลักในการ

สำรวจเบื้องต้นของการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสภาพใต้ผิวดิน (เพียงตา สาทร์กซ์, 2550)

จากสมการ $\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \right]$ กำหนดให้ค่าที่อยู่ในวงเล็บหรือ $\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}}$ เป็น

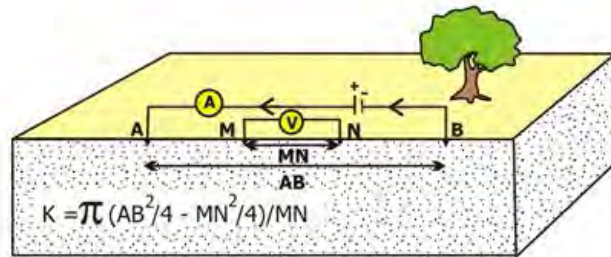
ค่าคงที่ของระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด ทำให้สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น $\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} K$

ถ้าสภาพใต้ผิวดินเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous and isotropic) ค่าของ ρ จะมีค่าคงที่ค่าเดียว แต่ถ้าสภาพใต้ผิวดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่าของ ρ ที่ได้จะเป็นค่า ρ_a (สภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ) ซึ่งในธรรมชาติส่วนใหญ่สภาพใต้ผิวดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จึงเป็นค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ

กรณีการวางรูปแบบการสำรวจแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) ดังรูปที่ 2.5 สามารถแทนค่าระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด r_1, r_2, r_3 และ r_4 ได้ดังนี้ $r_1 = r_4 = \frac{AB}{2} - \frac{MN}{2}$ และ $r_2 = r_3 = \frac{AB}{2} + \frac{MN}{2}$ และเพื่อให้ง่ายต่อการเขียนสมการจะกำหนดให้ $\frac{AB}{2} = L$ และ $\frac{MN}{2} = l$ ได้ $r_1 = r_4 = L - l$ และ $r_2 = r_3 = L + l$

ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ในสนาม จึงเป็นดังสมการนี้

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_1 - V_2 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + D \right] \\ &= \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} \right) - \left(\frac{1}{L+l} - \frac{1}{L-l} \right) + D \right] \\ D &= 2 \sum_{m=1}^{\infty} k^m \left\{ \frac{1}{\sqrt{r_1^2 + (2mz)^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_2^2 + (2mz)^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_3^2 + (2mz)^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{r_4^2 + (2mz)^2}} \right\} \\ &= 2 \sum_{m=1}^{\infty} k^m \left\{ \frac{1}{\sqrt{(L-l)^2 + (2mz)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(L+l)^2 + (2mz)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(L+l)^2 + (2mz)^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{(L-l)^2 + (2mz)^2}} \right\} \\ \frac{\Delta V}{I} &= \frac{\rho_1 2l}{\pi(L^2 - l^2)} [1 + D]\end{aligned}$$



รูปที่ 2.5 รูปแบบของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบชรั้มเบอร์เจอร์ (เพ็ญตา สาดรักษ์, 2550)

สำหรับสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบชรั้มเบอร์เจอร์คำนวณได้จากการ

แทนค่าระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด r_1 , r_2 , r_3 และ r_4 ลงในสมการ $\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left[\frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \right]$

จะได้

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left\{ \frac{1}{\frac{AB}{2} - \frac{MN}{2}} - \frac{1}{\frac{AB}{2} + \frac{MN}{2}} - \frac{1}{\frac{AB}{2} + \frac{MN}{2}} + \frac{1}{\frac{AB}{2} - \frac{MN}{2}} \right\}^{-1}$$

$$\rho_a = \frac{\pi}{MN} \left(\frac{(AB)^2}{4} - \frac{(MN)^2}{4} \right) \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

ดังนั้นค่าคงที่ของระยะห่างของการวางขั้วอิเล็กโทรดแบบชรั้มเบอร์เจอร์ คือ

$$K = \frac{\pi}{MN} \left(\frac{(AB)^2}{4} - \frac{(MN)^2}{4} \right)$$

แทนค่า $AB/2 = L$ และ $MN/2 = l$ จะได้ $\rho_a = \frac{\pi}{2l}(L^2 - l^2)\left(\frac{\Delta V}{I}\right)$

เมื่อแทนค่า $\frac{\Delta V}{I} = \frac{\rho_1 2l}{\pi(L^2 - l^2)} [1 + D]$ ลงในสมการ จะได้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าจริง คือ

$$\rho_a = \rho_1(1 + D)$$

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้า

1. ปริมาณของไอออนของสารละลายในของเหลวที่บรรจุอยู่ในรูพรุนของเนื้อดิน-หินและช่องว่าง ซึ่ง Archie (1942) ได้พบความสัมพันธ์และเกิดเป็นกฎของอาร์ชี ดังนี้

$$\frac{\rho_r}{\rho_e} = a\phi^{-m} = F$$

เมื่อ ρ_r คือ ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของหิน

ρ_e คือ ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของของเหลวที่มีไอออนของสารละลายปะปนอยู่ และของเหลวนั้นแทรกอยู่ในช่องว่างของเนื้อหิน (electrolyte in pores) บางครั้งเขียนสัญลักษณ์เป็น ρ_w

ϕ คือ ค่าความพรุน (porosity) หาได้จากอัตราส่วนของปริมาตรของช่องว่างในเนื้อหิน (V_v) ต่อปริมาตรของเนื้อหิน (V_r)

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการอิ่มตัว มีค่า 0.6-1.0 (saturation coefficient)

m คือ ค่าคงตัวของการเชื่อมประสานเนื้อหิน มีค่า 1.40-2.20 (cementation factor) ถ้าหินมีเนื้อแน่นค่า m สูง

F คือ อัตราส่วนของค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของหินต่อค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของของเหลวและไอออนในของเหลว เรียกว่า ปัจจัยจากลักษณะของเนื้อหิน หรือชนิดของหินและสารละลายในเนื้อหิน (formation factor)

2. ชนิดของแร่ดินเหนียวและปริมาณของแร่ดินเหนียว เนื่องจากแร่ดินเหนียวมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity) ถ้าหากมีความชื้นในหิน/ดิน แร่ดินเหนียวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ดินเหนียว (ที่มา Keller and Frischknecht, 1966)

แร่ดินเหนียว	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าบวก (meq/100g)
คาโอลิไนต์ (Kaolinite)	3-15
ฮาล์ลอยไซต์ กับ 2 น้ำในผลึก (Halloysite.2H ₂ O)	5-10
ฮาล์ลอยไซต์ กับ 4 น้ำในผลึก (Halloysite.4H ₂ O)	10-50
มอนท์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite)	80-150
อิลไลต์ (Illite)	10-40
เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)	100-500
คลอไรต์ (Chlorite)	10-40
แอตตาพูลไกต์ (Attapulgite)	20-30

(meq = milliequivalent)

3. เนื้อหิน หินที่มีการคัดขนาดของเม็ดตะกอนดีจะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าหินที่มีการคัดขนาดไม่ดีเนื่องจากหินตะกอนที่มีการคัดขนาดดีจะมีความมีรูพรุนสูงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี สำหรับหินอัคนี ถ้ามีรอยแตกหรือรอยแยกมาก ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าจะต่ำกว่าหินที่ไม่มีรอยแตกหรือรอยแยก

4. กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา กระบวนการผุกร่อน กระบวนการผุพังอยู่กับที่ การละลาย กระบวนการเลื่อนหรือการเฉือน ทำให้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของหินต่ำลง ในขณะที่กระบวนการที่ส่งผลให้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของหินสูงขึ้น คือ กระบวนการเชื่อมประสานและกระบวนการตกผลึก

5. ความอึดตัวด้วยน้ำของช่องว่าง หินที่มีน้ำในช่องว่างมากจะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าหินที่มีน้ำในช่องว่างน้อย เนื่องจากน้ำสามารถพาไอออนเคลื่อนที่ได้ดี นั่นคือสามารถนำไฟฟ้าได้ดี

6. ความซึมผ่านของน้ำ

7. อุณหภูมิ การที่น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเคลื่อนย้ายไอออนที่อยู่ในของเหลวเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ประจุไฟฟ้าจึงเคลื่อนที่ได้เร็ว ส่งผลให้ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำลง การเปลี่ยนแปลงค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิเป็นไปดังสมการ

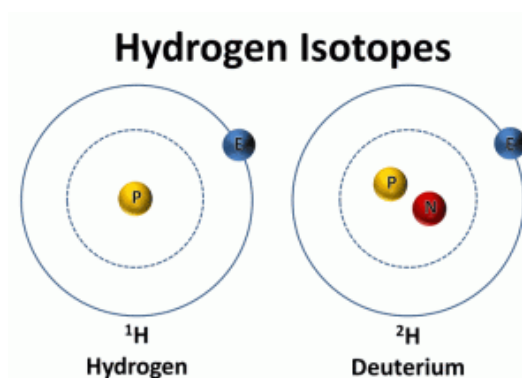
$$\rho_t = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha(t + 18)}$$

เมื่อ ρ_t คือ ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ t ใดๆ
 α คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่อค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้า มีค่า $0.025 / ^\circ\text{C}$
 ρ_{18} คือ ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $18\text{ }^\circ\text{C}$
 t คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็น $^\circ\text{C}$

2.1.3 ไอโซโทปเสถียร

ธาตุไอโซโทป หมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนนิวตรอนแตกต่างกัน ทำให้มวลต่างกัน เนื่องจากมวลของธาตุคือผลรวมของอนุภาคโปรตอนและอนุภาคนิวตรอน

ไอโซโทปเสถียร หมายถึง ไอโซโทปของธาตุที่มีความเสถียร ไม่มีการสลายตัวเป็นธาตุอื่น



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างไฮโดรเจนไอโซโทปซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร

(<http://www.ces.fau.edu/nasa/module-3/how-is-temperature-measured/isotopes.php>)

มีการใช้ไอโซโทปเสถียรของไฮโดรเจนและออกซิเจนเพื่อศึกษาแหล่งกำเนิดของน้ำและระบบอุทกวิทยาเนื่องจากไฮโดรเจนและออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลของน้ำ ไอโซโทปเสถียรของไฮโดรเจนประกอบด้วย โปรเทียม หรือ ^1H มีมวลอะตอมประมาณ 1.00794 พบในธรรมชาติร้อยละ 99.985 ของไอโซโทปไฮโดรเจนทั้งหมด และดิวเทอเรียม หรือ ^2H มีมวลอะตอมประมาณ 2.0141 พบในธรรมชาติร้อยละ 0.015 ของไอโซโทปไฮโดรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ไฮโดรเจนยังมีไอโซโทปกัมมันตรังสีด้วย นั่นคือทริเทียม หรือ ^3H มีมวลอะตอมประมาณ 3.016 มีครึ่งชีวิต 12.32 ปี สามารถ

สลายตัวให้รังสีบีต้า (β^-) ไอโซโทปของออกซิเจนมี 3 รูป ประกอบด้วย ^{16}O , ^{17}O และ ^{18}O โดย ^{16}O มีมวลอะตอมประมาณ 15.994 พบมากที่สุดในธรรมชาติ ร้อยละ 99.76 ของไอโซโทปออกซิเจนทั้งหมด ^{18}O มีมวลอะตอมประมาณ 17.999 พบร้อยละ 0.2 ของไอโซโทปออกซิเจนทั้งหมด และ ^{17}O มีมวลอะตอมประมาณ 16.999 พบร้อยละ 0.04 ของไอโซโทปออกซิเจนในธรรมชาติทั้งหมด

2.1.4 อัตราส่วนของไอโซโทป

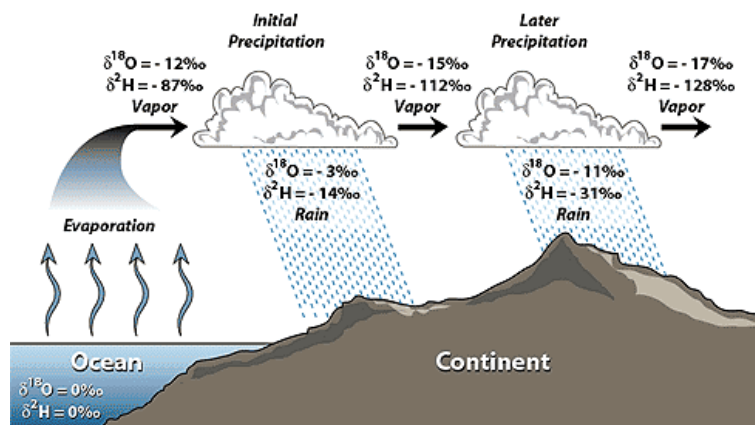
กระบวนการระเหยและควบแน่นของน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนไอโซโทปของน้ำ ไอโซโทปเบา (^{16}O , ^1H) จะระเหยได้ง่ายและมักอยู่ในสถานะแก๊ส ในขณะที่ไอโซโทปหนัก (^{18}O , ^2H) ระเหยได้ยากกว่าเนื่องจากมีมวลมากกว่าจึงมักอยู่ในสถานะของเหลว เกิดเป็นความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนของไอโซโทปซึ่งสามารถใช้ในการหาติดตามน้ำบาดาลได้โดยเปรียบเทียบกับ ^{18}O และ ^2H ของน้ำฝน การหาอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากน้ำต่าง ๆ แต่จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานสากล (International reference standard) ตามสมการด้านล่าง ค่าตัวอย่างอ้างอิงมาตรฐานใช้ตามมาตรฐานของ V-SMOW (Vienna standard mean ocean water) ความแตกต่างนี้มีหน่วยเป็น ส่วนในพัน (per mil, ‰) แสดงโดยอักษร δ (Delta)

$$\delta \text{ (in‰)} = \left(\frac{R_x}{R_s} - 1 \right) \times 1000$$

โดยที่ R_x คือ อัตราส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาของตัวอย่าง

R_s คือ อัตราส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาของสารมาตรฐาน

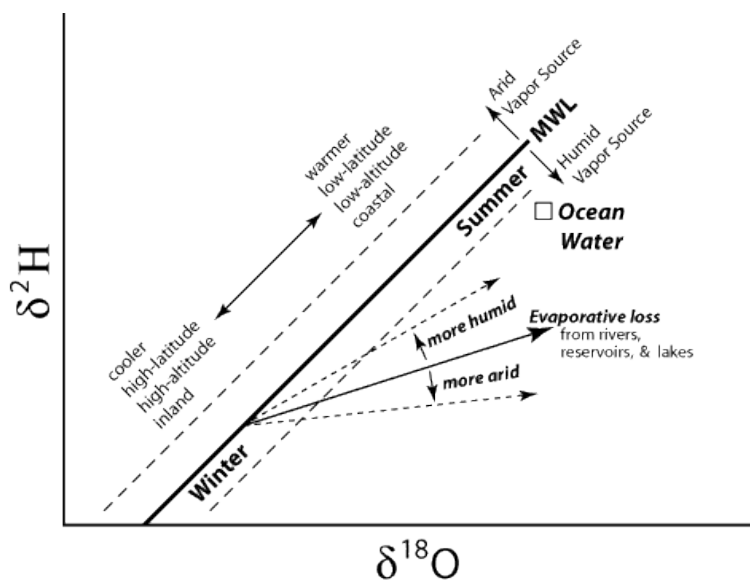
เนื่องจากน้ำในมหาสมุทรมีมากถึง 98% ของน้ำบนผิวโลกและค่อนข้างมีส่วนประกอบของไอโซโทปเหมือนกัน โดยทั่วไปค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ จะต่างกันในพื้นที่ต้นกำเนิดแตกต่างกัน ค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝนจะขึ้นอยู่กับสถานที่ที่น้ำฝนตกลงมา บริเวณที่น้ำฝนตกลงมาในแผ่นดินไกลจากมหาสมุทรและมีระดับความสูงของภูมิประเทศมาก จะมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ น้อยกว่าน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณใกล้ชายฝั่ง เนื่องจากเมื่อเมฆก่อตัวและตกลงมาเป็นฝน ไอโซโทปหนักในเมฆจะตกลงมาด้วย ไอโซโทปหนักในเมฆจึงลดลง เมื่อเมฆเคลื่อนที่ห่างออกจากชายฝั่งเข้าสู่แผ่นดินมากขึ้น ไอโซโทปหนักในเมฆจะลดลงเรื่อย ๆ ค่าอัตราส่วนไอโซโทปในน้ำฝนจึงมีค่าต่างกัน อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราส่วนไอโซโทปคืออุณหภูมิ อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการระเหยมากขึ้น ไอโซโทปหนักจึงอยู่ในรูปไอน้ำได้มากขึ้น ทำให้ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำเปลี่ยนแปลงไป



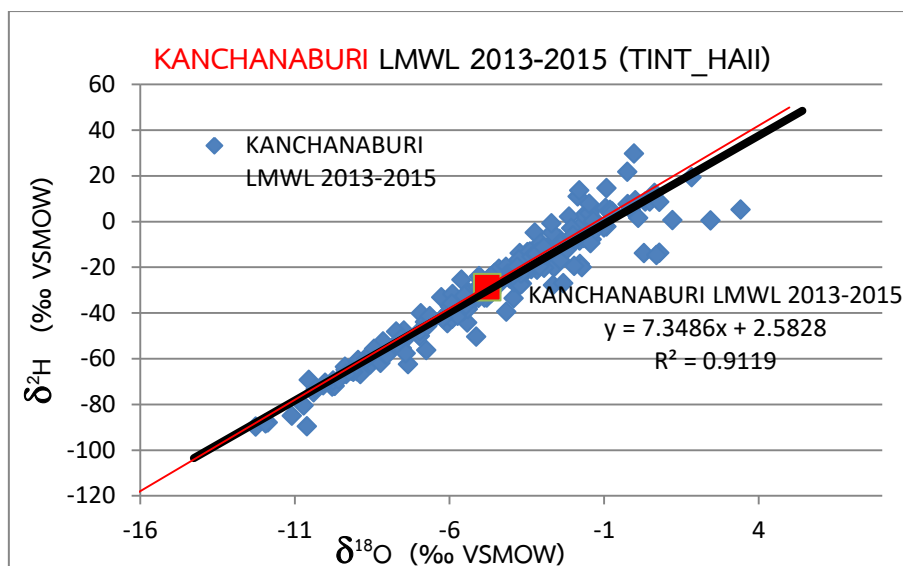
รูปที่ 2.7 Rainout effect กับอัตราส่วนไอโซโทปของไฮโดรเจนและออกซิเจน
 (<http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>)

2.1.5 เส้นน้ำฝน

เส้นน้ำฝนได้มาจากการการเก็บค่าไอโซโทปไฮโดรเจนและออกซิเจนจากน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ แล้วนำมาหาความสัมพันธ์แสดงออกมาในรูปกราฟเส้นตรง ในการศึกษานี้ใช้เส้นน้ำฝนจังหวัดกาญจนบุรีในการเปรียบเทียบเนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดสุพรรณบุรีมีระดับความสูงและระยะห่างจากทะเลต่างจากกาญจนบุรีเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อความแตกต่างของไอโซโทปมากนัก ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเส้นน้ำฝนกรุงเทพแสดงดังสมการ $\delta^{18}\text{O} = 7.3486\delta^2\text{H} + 2.5828$



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีผลต่ออัตราส่วนไอโซโทปออกซิเจนและไฮโดรเจนในน้ำ (<http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>)



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของเส้นน้ำฝนจังหวัดกาญจนบุรี

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายงานการศึกษาปริมาณสารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เหมืองแร่เก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2549 – 2550 ของสำนักบริหารสิ่งแวดล้อม (ไพชยนต์ เจริญไชยศรี, 2551) ได้เก็บตัวอย่างน้ำจากลำห้วยผิวดิน ได้แก่ ห้วยมะขาม ห้วยพุตะเคียน ห้วยมะขาม-พุตะเคียน น้ำบ่อตื้นและสระขุดในพื้นที่บ้านหนองมะเขือขึ้นและบ้านคอกช้าง ประปาผิวดินบ้านหนองมะเขือขึ้น และประปาบาดาลบ้านคอกช้าง มาทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม (Total arsenic) โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2549 เดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 พบว่า ในกลุ่มน้ำห้วยมะขาม ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.67-7.32 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินและมีปริมาณสารหนูปนเปื้อน 0.057 - 9.965 ppm สูงเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน (กำหนดให้ไม่เกินกว่า 0.05 ppm) แต่ปริมาณสารหนูจะลดลงอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน เมื่อลำห้วยไหลมารวมกัน คือ 0.019 - 0.047 ppm สำหรับห้วยพุตะเคียนมีปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูรวมอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของแหล่งน้ำผิวดิน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.004 -0.036 ppm ห้วยพุตะเคียนเมื่อไหลรวมกับห้วยมะขามแล้วพบว่ามีปริมาณสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอนุโลมสูงสุด คือ 0.017 ppm ในบ่อน้ำตื้นบริเวณบ้านคอกช้างมีค่าปริมาณสารหนูอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของมาตรฐานแหล่งน้ำใต้ดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.004-0.041 ppm แต่บ่อน้ำตื้นบ้านหนองมะเขือขึ้นมีปริมาณสารหนูเกินเกณฑ์ในบางช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง สำหรับประปาบาดาลบ้านคอกช้างมีปริมาณสารหนูปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของ

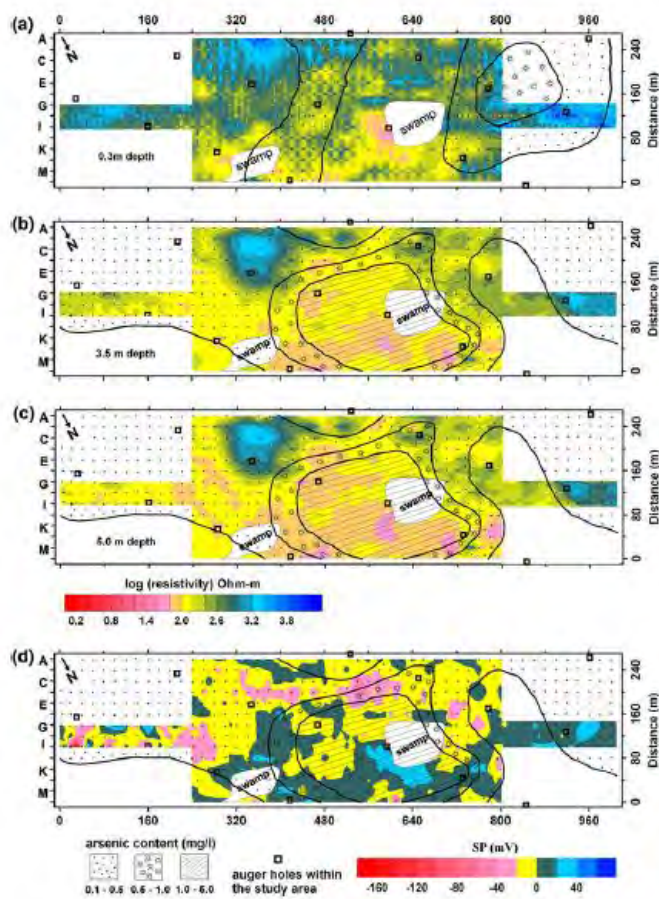
มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) มีค่าปริมาณสารหนู 0.002 ppm และ 0.003 ppm ส่วนประปาผิวดินบ้านหนองมะเขือขึ้นมีปริมาณสารหนูเกินมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใช้บริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 322 (พ.ศ. 2521) โดยมีค่าปริมาณสารหนูอยู่ระหว่าง 0.372 – 0.665 ppm

มีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำจากบ่อเหมืองแร่บริเวณโดยรอบเหมือง ตีบูกเก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (Pansamut and Wattayakorn, 2010) พบว่าปริมาณสารหนูมีค่าตั้งแต่ 76 – 748 $\mu\text{g/L}$ ในเดือนตุลาคม 2008, 54 – 530 $\mu\text{g/L}$ ในเดือนมกราคม 2009 และ 32 – 607 $\mu\text{g/L}$ ในเดือนมีนาคม 2009 โดยบริเวณที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุดคือบริเวณใกล้บ่อเหมือง

มีการศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้การประยุกต์ทางธรณีฟิสิกส์ ตัวอย่างเช่น การระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ของสารหนูโดยใช้การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าและแบบจำลองการไหลของน้ำจาก GIS การศึกษานี้มีการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 240 ตัวอย่างรอบเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู, ปริมาณเหล็ก, OC, CEC soil type และใช้การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าในการสร้างแบบจำลองได้ผิวดินรอบพื้นที่ที่มีปริมาณสารหนูสูง รวมทั้งจำลองการไหลของน้ำโดยใช้ GIS เพื่อช่วยในการระบุเส้นทางการปนเปื้อนของสารหนู (Weerasiri, Wirojanagud, and Srisatit, 2013)

พื้นที่เหมืองตีบูกเก่าในอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้มีการศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนสารหนูโดยการบูรณาการวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ (Wattanasen et al., 2006) โดยใช้การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistivity) และการสำรวจวัดค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Self-potential; SP) ในการกำหนดการกระจายตัวของบริเวณที่ปนเปื้อนสารหนูในน้ำบาดาล บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารหนูสูง (0.5-5.0 mg/l) ที่ความลึก 3.5-5.0 เมตร วัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้ต่ำประมาณ 25-100 Ωm และวัดค่า positive SP anomaly ได้ 66.0 mV นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลจากการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า, การสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือน, การสำรวจด้วยเรดาร์ (GPR) และการสำรวจวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงในการแปลความชั้นใต้ผิวดิน

นอกจากนี้มีการใช้การสำรวจธรณีฟิสิกส์ในการกำหนดบริเวณปนเปื้อนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในดินและน้ำบาดาล โดยทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์แบบ Electrical resistivity sounding และ Very low-frequency electromagnetic induction (VLF) รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อยืนยันผลการสำรวจ (Benson, Payne, and Stubben, 1997)

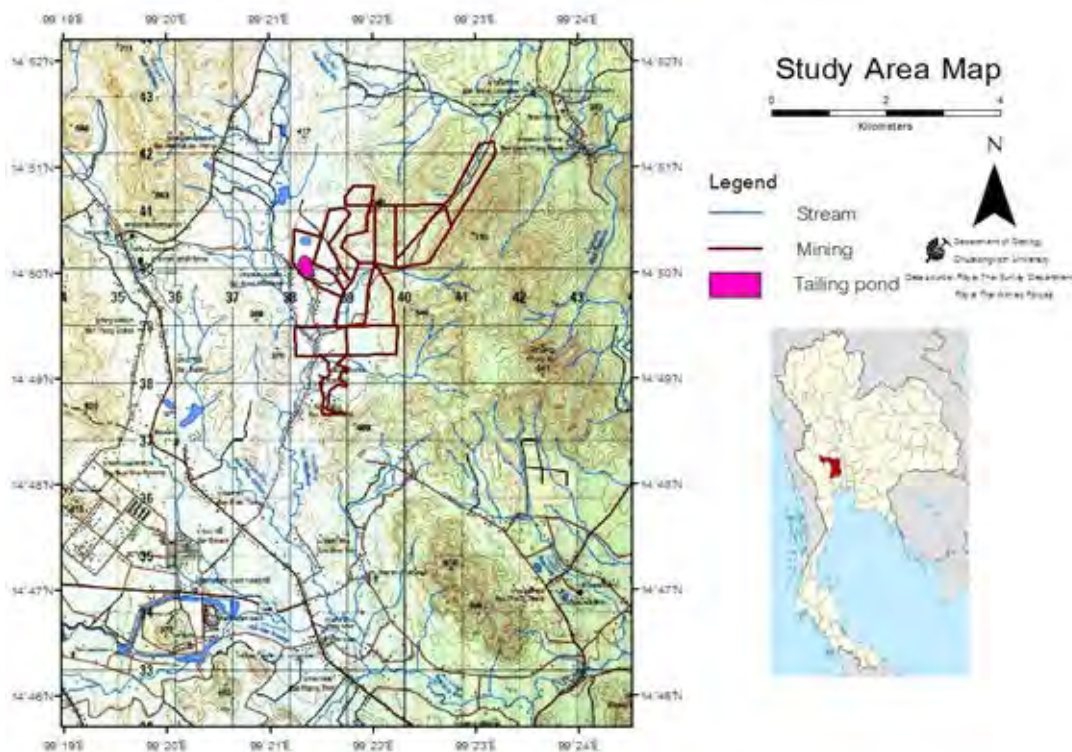


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแผนภาพการกระจายตัวของสารหนู a) การกระจายตัวของสารหนูในดินและสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ความลึก 0.3 เมตร b) และ c) การกระจายตัวของสารหนูใน auger water และสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ความลึก 3.5 เมตร และ 5.0 เมตร ตามลำดับ d) การกระจายตัวของสารหนูใน auger water ที่ความลึก <5.0 เมตร และค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษา (Wattanasen et al., 2006)

2.3 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (รูปที่ 2.11) ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี มีขอบเขตด้านทิศเหนือติดกับตำบลวังยาว อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ด้านทิศตะวันออกติดกับตำบลห้วยขมิ้น ตำบลนิคมกระเสี้ยวและตำบลด่านช้าง อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ด้านทิศตะวันตกติดกับตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี และด้านทิศใต้ติดกับตำบลสมเด็จเจริญ อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี อยู่ระหว่างละติจูด 14 องศา 45 ลิปดาเหนือ ถึง 14 องศา 52 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 99 องศา 19 ลิปดาตะวันออก ถึง 99 องศา 25 ลิปดาตะวันออก

สำหรับเหมืองดีบุกเก่า อยู่ในเขตบ้านคอกช้างและบ้านหนองมะเขือขึ้น เปิดทำเหมืองในปี ค.ศ. 1983 และปิดทำการในปี ค.ศ. 2004 มีทั้งหมด 13 ไซต์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 7 ตารางกิโลเมตร



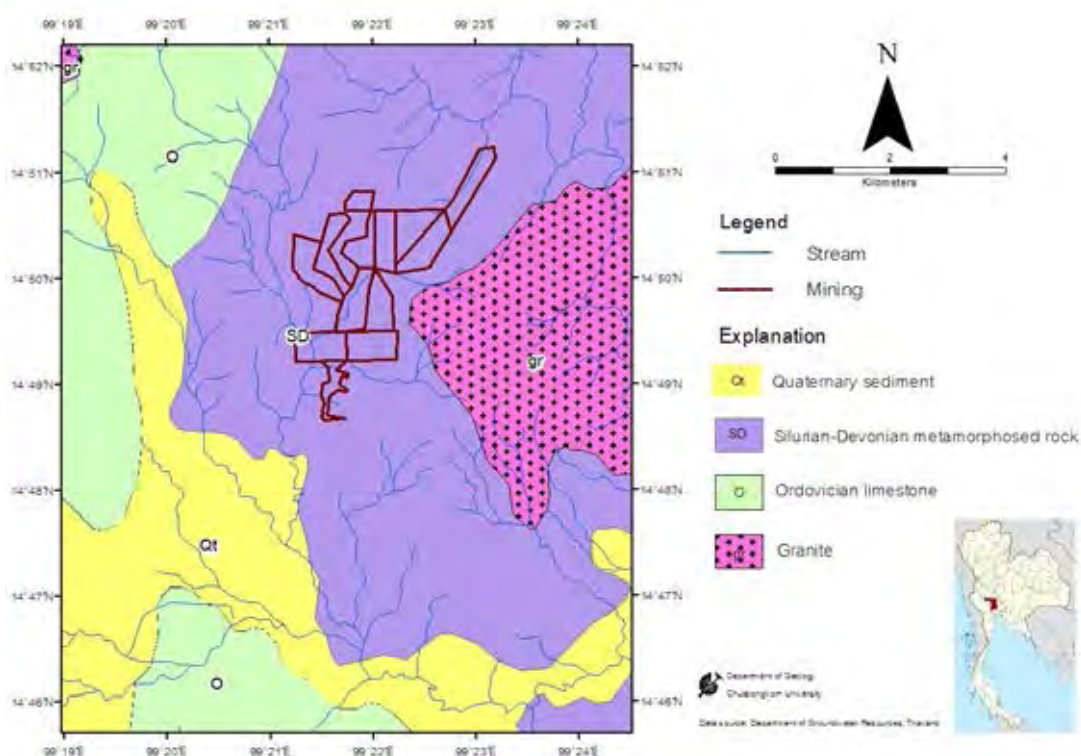
รูปที่ 2.11 พื้นที่ศึกษา

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาเป็นลูกคลื่นลอนลาดต่อมาจากเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกและตอนกลางของพื้นที่ เทือกเขาสูงชันเป็นแนวเขาที่ติดกับเทือกเขาตะนาวศรี มีความสูงประมาณ 400-600 เมตร มีลำน้ำขนาดเล็กที่มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาสูงไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้

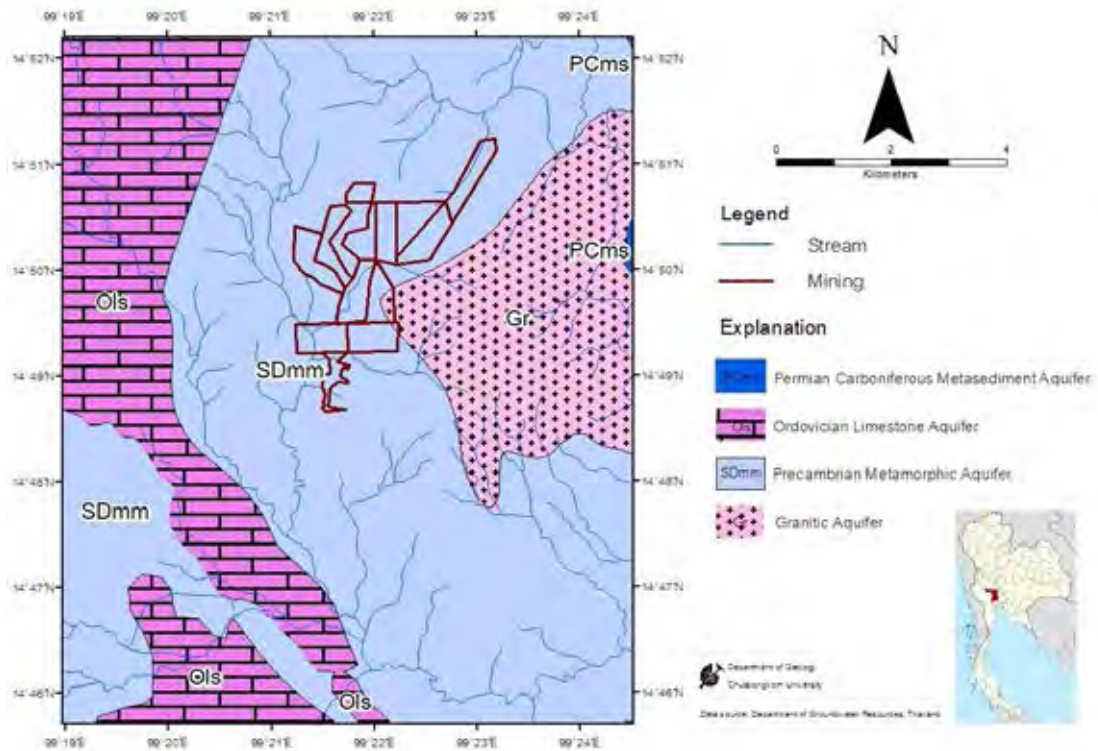
ลักษณะภูมิอากาศ พื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม ทำให้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน มีหย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุม ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ทำให้อากาศร้อนอบอ้าวโดยทั่วไป ฤดูฝน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดนำความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ทำให้อากาศชุ่มชื้นมีฝนตกโดยทั่วไป ฤดูหนาว ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่นำอากาศหนาวเย็นและแห้งลงมาปกคลุม ในช่วงเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้อากาศหนาวเย็นโดยทั่วไป (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560)

ลักษณะทางธรณีวิทยา พบตะกอนเศษหินเชิงเขา ตะกอนดินผุและตะกอนตะพักกลุ่มน้ำสี น้ำตาลแกมแดง ยุคควอเทอร์นารีวางตัวอยู่บนหินทรายเนื้อควอตซ์ หินทรายเนื้อดินที่แทรกสลับด้วย หินดินดานและหินทรายแป้ง บางแห่งถูกแปรสภาพเป็นหินควอร์ตไซต์ หินฟิลไลต์และหินชนวน และยังพบหินเชิร์ตและซากดึกดำบรรพ์ Tentaculites ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน บริเวณเทือกเขาด้าน ตะวันออกของบ้านคอกช้างพบหินแกรนิต หินไบโอไทต์ - มัสโคไวต์-แกรนิต ยุคโทรแอสซิก มีสายแร่ ควอตซ์และสายเพกมาไทต์ขนาดเล็กตัดแทรกอยู่ทั่วไป

ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่เป็นชั้นน้ำบาดาลในหินแข็ง พบชั้นหินให้น้ำ 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำหินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ที่พบเป็นหินนควอร์ตไซต์ หินฟิลไลต์ หินทรายและหินดินดาน โดยน้ำบาดาลมีความลึกระหว่าง 20-40 เมตร อีกชั้นน้ำหนึ่งคือ ชั้นหินให้น้ำจากหินแกรนิต โดยน้ำอยู่ในรอยแตกหรือรอยแยกของชั้นหิน ความลึกเฉลี่ยประมาณ 20-30 เมตร จากแผนที่น้ำบาดาล จังหวัดสุพรรณบุรี บ่งบอกว่าน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) <600 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในชั้นน้ำหินแปร ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน และน้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในหินแกรนิต



รูปที่ 2.12 แผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2.13 แผนที่อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษางานวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. รวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนในบริเวณเหมืองดีบุกเก่า ต.องค์พระ อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรีและพื้นที่ใกล้เคียง
2. รวบรวมข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลธรณีวิทยา ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลบ่อบาดาลของพื้นที่ศึกษา
3. ศึกษางานวิจัยเกี่ยวข้องกับการใช้ธรณีฟิสิกส์ในการหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม
4. ศึกษาหลักการและวิธีการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้า
5. ศึกษาการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน

3.1.2 เก็บข้อมูลภาคสนาม

1. เก็บข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าแบบ Vertical electrical sounding และวางขั้วไฟฟ้าแบบ Schlumberger
2. เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและดินในพื้นที่ศึกษา

3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูล

1. แปลผลข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม IPI2win
2. ส่งตัวอย่างน้ำบาดาลและดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารหนู
3. ส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร
4. จัดทำแผนที่การกระจายตัวของสารหนูในน้ำบาดาลและดิน

3.1.4 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

3.1.5 นำเสนอและจัดทำรายงาน

3.2 รวบรวมข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

รวบรวมข้อมูลดังตารางที่ 3.1 นำมาสร้างแผนที่ของพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม ArcMap เพื่อวางแผนการออกภาคสนาม

ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

รายการข้อมูล	ที่มา
ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8	USGS
ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM)	USGS
แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร
ข้อมูลหน่วยหินทางธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรธรณี
ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
แผนที่อุทกธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
แผนที่คุณภาพน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ขอบเขตเหมืองแร่เก่า	Tiankao (2014)

3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.3.1 เก็บข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้า

ออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าในวันที่ 13-15 ตุลาคม 2560 โดยกำหนดจุดเก็บข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในบริเวณร่องเขาต้านท้ายน้ำของบ่อเก็บกากแร่ ซึ่งเป็นที่ตั้งของบ้านหนองมะเขือขึ้นและบ้านคอกช้าง ทั้งหมด 12 จุดสำรวจ โดยเริ่มต้นจากบริเวณใกล้บ่อเก็บกากแร่ แล้วจึงสำรวจลงมาทางด้านทิศใต้ ในแต่ละจุดใช้การสำรวจแบบ 1 มิติ (Vertical electrical sounding) รูปแบบการวางขั้วอิเล็กโทรดแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array) เริ่มต้นโดยใช้ระยะจากจุดกึ่งกลางถึงขั้วอิเล็กโทรดใน (MN/2) เท่ากับ 0.5 เมตรและระยะจากจุดกึ่งกลางถึงขั้วอิเล็กโทรดนอก (AB/2) เท่ากับ 1, 1.5, 2 และ 3 เมตร หลังจากนั้นเปลี่ยนระยะ MN/2 เป็น 2 เมตร และเปลี่ยนระยะ AB/2 เป็น 3, 5, 7 และ 10 เมตรตามลำดับ เพิ่มระยะ MN/2 เป็น 5 เมตร และใช้ระยะ AB/2 เท่ากับ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เมตร และสุดท้ายใช้ระยะ MN/2 เท่ากับ 20 เมตร เปลี่ยนระยะ AB/2 เท่ากับ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เมตรตามลำดับ ในแต่ละระยะที่ทำการวัดจะทำการเก็บข้อมูล 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล มีดังนี้

1. เครื่องมือสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า SEUBSAK รุ่น SS08
2. แท่งโลหะสำหรับปล่อยกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 แท่ง และแท่งทองแดงสำหรับวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า จำนวน 2 แท่ง
3. สายไฟม้วนเก็บได้ ยาว 200 เมตร จำนวน 2 ชุด และยาว 50 เมตร จำนวน 2 ชุด
4. เทปวัดระยะ ยาว 50 เมตร จำนวน 2 อัน
5. สายไฟคืบ ยาว 1 เมตร จำนวน 2 เส้น
6. แบตเตอรี่ 12V และสายต่อแบตเตอรี่
7. เครื่อง GPS
8. ค้อน จำนวน 4 อัน
9. วิทยุสื่อสาร จำนวน 3 เครื่อง

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลธรณีฟิสิกส์เก็บในสนามระหว่างวันที่ 13-15 ตุลาคม 2560

AB/2	MN/2	K	I			I _{av}	V			V _{av}	Range	Resistivity
			I ₁	I ₂	I ₃		V ₁	V ₂	V ₃			
1	0.5	2.36	0.075	0.075	0.075	0.0750	1774	1761	1748	1.7610	0.001	55.4
1.5	0.5	6.29	0.028	0.027	0.027	0.0273	256	254	255	0.2550	0.001	58.7
2	0.5	11.79	0.026	0.026	0.026	0.0260	111	110	111	0.1107	0.001	50.2
3	0.5	27.5	0.047	0.046	0.046	0.0463	49	49	49	0.0490	0.001	29.1
3	2	3.93	0.047	0.046	0.046	0.0463	441	444	447	0.4440	0.001	37.7
5	2	16.5	0.039	0.038	0.038	0.0383	61	60	59	0.0600	0.001	25.8
7	2	35.36	0.076	0.075	0.075	0.0753	39	39	39	0.0390	0.001	18.3
10	2	75.43	0.112	0.111	0.11	0.1110	33	33	33	0.0330	0.001	22.4
10	5	23.57	0.11	0.109	0.109	0.1093	113	114	115	0.1140	0.001	24.6
15	5	62.86	0.067	0.067	0.066	0.0667	49	50	49	0.0493	0.001	46.5
20	5	117.86	0.071	0.07	0.07	0.0703	30	0	30	0.0200	0.001	33.5
25	5	188.57	0.071	0.071	0.071	0.0710	18	18	17	0.0177	0.001	46.9
30	5	275	0.042	0.042	0.041	0.0417	87	88	89	0.0088	0.0001	58.1
35	5	377.14	0.05	0.05	0.05	0.0500	93	93	93	0.0093	0.0001	70.1

AB/2	MN/2	K	I			I_{av}	V			V_{av}	Range	Resistivity
			I_1	I_2	I_3		V_1	V_2	V_3			
40	5	495	0.052	0.051	0.051	0.0513	74	75	74	0.0074	0.0001	71.7
45	5	628.57	0.039	0.039	0.039	0.0390	36	36	36	0.0036	0.0001	58.0
50	5	777.86	0.066	0.064	0.063	0.0643	55	54	54	0.0054	0.0001	65.7
50	20	165	0.064	0.064	0.063	0.0637	249	251	254	0.0251	0.0001	65.1
60	20	251.43	0.052	0.052	0.05	0.0513	119	119	117	0.0118	0.0001	58.0
70	20	353.57	0.066	0.063	0.063	0.0640	90	91	92	0.0091	0.0001	50.3
80	20	471.43	0.056	0.056	0.056	0.0560	66	67	68	0.0067	0.0001	56.4
90	20	605	0.037	0.036	0.037	0.0367	35	36	37	0.0036	0.0001	59.4
100	20	754.29	0.04	0.039	0.038	0.0390	32	32	31	0.0032	0.0001	61.2



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลธรณีฟิสิกส์

3.3.2 เก็บตัวอย่างน้ำและดิน

ออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำและดินในวันที่ 5-7 เมษายน 2561 โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลระดับตื้น 7 บ่อ บ่อบาดาลระดับลึก 7 บ่อ และน้ำผิวดิน 1 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารหนูจุดละ 2 ขวด และเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร 1 ขวด มีอุปกรณ์ดังนี้ 1.ขวดพลาสติก ขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวด 2.ขวดสีชา ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ขวด 3.เบลเลอร์ (Bailer) 4.ถังใส่น้ำ 5.ถุงมือยาง 6.พาราฟิล์ม (Parafilm) 7.ฟิลเตอร์ ขนาด 0.45 μm 8.กระบอกฉีดยา (Syringe) 9.หลอดหยด (Dropper)

สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลระดับตื้นใช้เบลเลอร์ (Bailer) ในการนำน้ำขึ้นมาจากบ่อ โดยตักน้ำในช่วงแรกทิ้งก่อน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติก 100 มิลลิลิตรโดยกรองผ่านฟिलเตอร์และไส้กรองไนตริก 1:1 จำนวน 0.5 มิลลิลิตรแล้วจึงปิดฝาและพันด้วยพาราฟิล์ม ในส่วนของบ่อบาดาลระดับลึกใช้การสูบน้ำจากปั๊มที่ยังไม่ผ่านการกรองโดยจะต้องปล่อยน้ำไหลทิ้งเป็นเวลา 5-10 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติกด้วยวิธีเดียวกันกับบ่อบาดาลระดับตื้น การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเก็บในขวดสีชา ในขณะที่เก็บต้องให้ภาชนะและอุปกรณ์ในการเก็บต้องอยู่ใต้น้ำทั้งหมดเพื่อไม่ให้มีฟองอากาศภายในขวดแล้วจึงพันฝาขวดด้วยพาราฟิล์ม นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาลด้วย

ตัวอย่างดินเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 จุด ที่ต้นน้ำ บริเวณเหมืองตึกเก่าและปลายน้ำ โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 15 เซนติเมตรจากผิวดินปริมาณ 0.5 กิโลกรัมใส่ในถุงซิปล็อค



ก



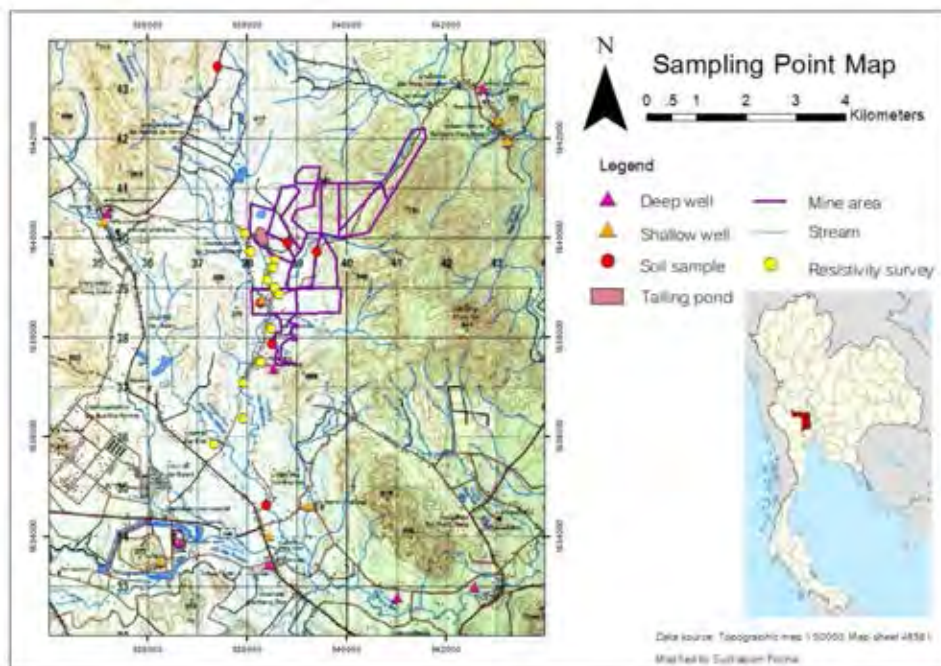
ข



ค

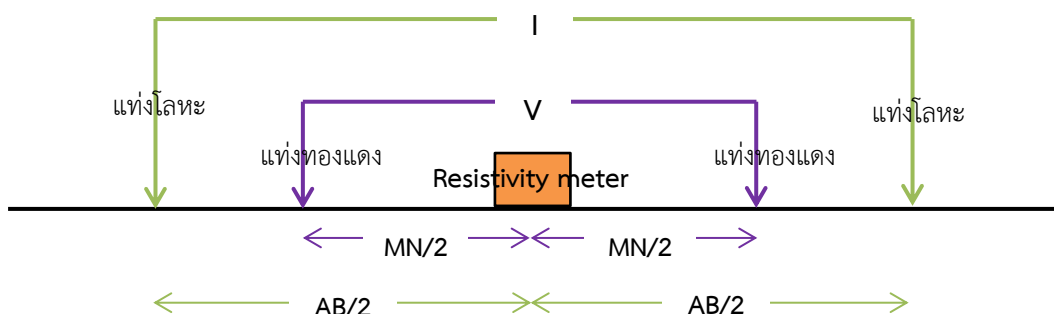
รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่าง

ก.การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลด้วยเบลเลอร์ ข.การเก็บตัวอย่างดิน ค.การวัดระดับน้ำบาดาล



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำและดิน รวมทั้งตำแหน่งสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้า



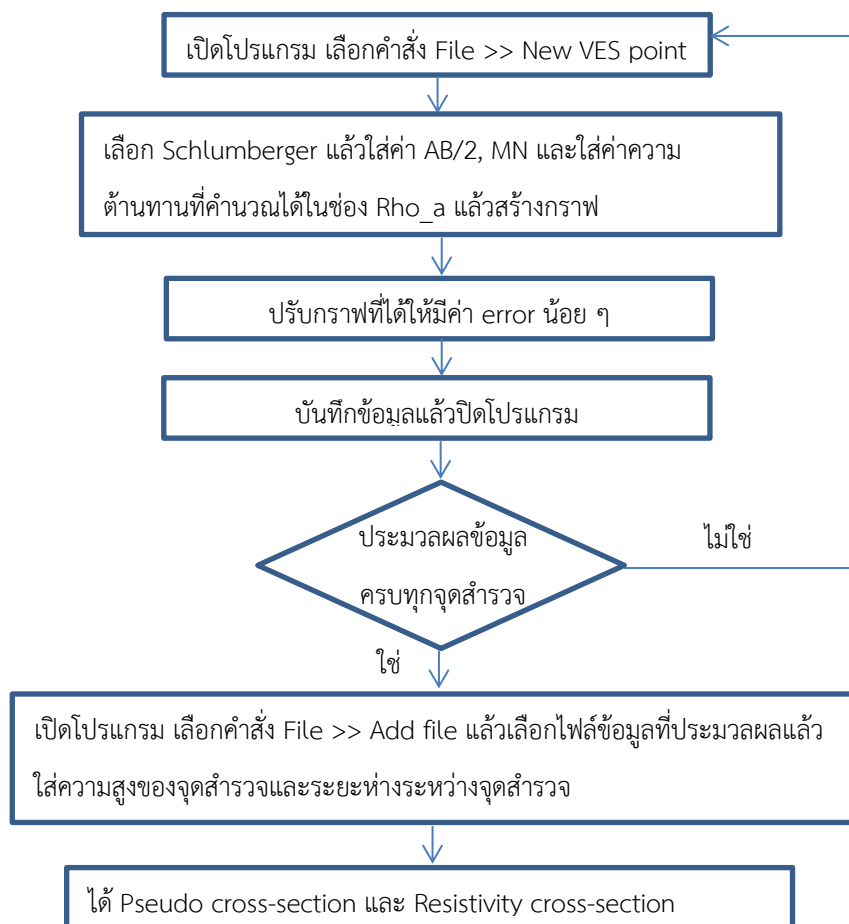
รูปที่ 3.4 การจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (Schlumberger array)

เนื่องจากกำหนดระยะห่างครึ่งหนึ่งของขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้า ($AB/2$) และระยะห่างครึ่งหนึ่งของขั้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ($MN/2$) ทำให้สามารถคำนวณค่าคงที่ของการวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์ (K) ได้จากสมการ
$$K = \frac{\pi}{MN} \left(\frac{(AB)^2}{4} - \frac{(MN)^2}{4} \right)$$

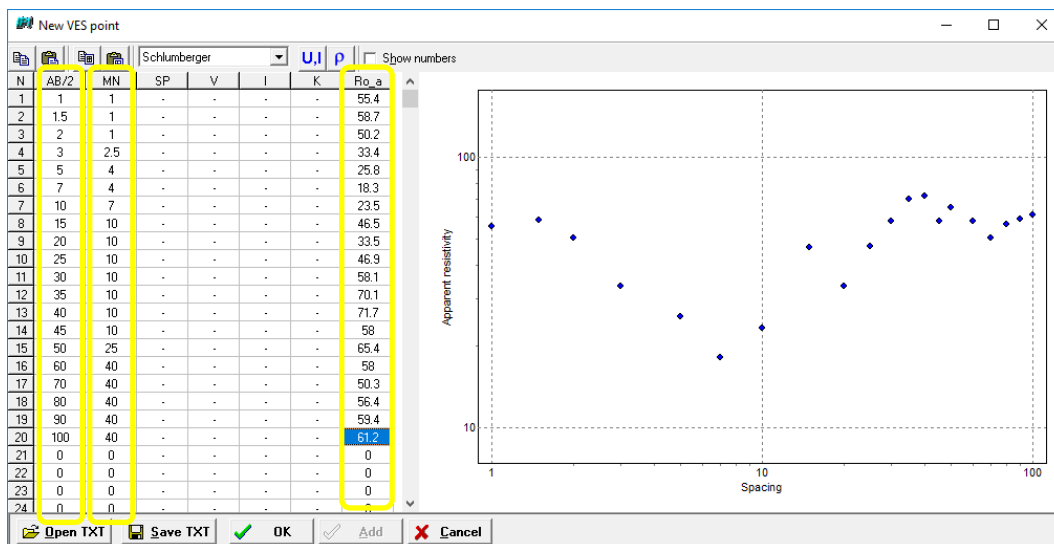
ในการสำรวจจะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากเครื่อง (I) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้ว (V) รวมทั้ง range นำค่าที่บันทึกได้แทนค่าในสมการด้านล่างเพื่อหาค่าความต้านทานไฟฟ้า ค่าความต้านทานไฟฟ้า (RES) =
$$\frac{V * Range * K}{I}$$

เมื่อ RES คือ ความต้านทานไฟฟ้า V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้า K คือ ค่าคงที่ของการวางขั้วไฟฟ้าแบบชรัมเบอร์เจอร์
 ประมวลผลค่าความต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณได้, ระยะ $AB/2$ และระยะ $MN/2$ โดยใช้
 โปรแกรม IPI2win เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพตัดขวางของพื้นที่ ซึ่งขั้นตอนการสร้างภาพตัดขวางของพื้นที่
 จากโปรแกรม IPI2win แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างภาพตัดขวางของพื้นที่จากโปรแกรม IPI2win



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลในโปรแกรม IPI2win

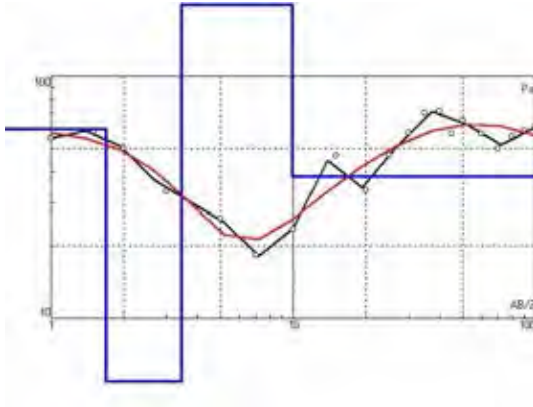
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน

หลังจากการเก็บตัวอย่างแล้ว ส่งตัวอย่างน้ำและดินสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารหนูไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด โดยใช้เครื่องมือ Inductive Coupled Plasma Spectrometer Mass Spectrometer (ICP-MS) กับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และใช้วิธีการ In-house method based on A handbook of soil analysis; chemical and physical methods, APSRDO, DOA: 1/2553 ชีตจำกัดของการตรวจวัด 300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน สำหรับตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรทำการกรองด้วยฟิลเตอร์ขนาด 0.22 μm แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Cavity Ringdown Spectrometer ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

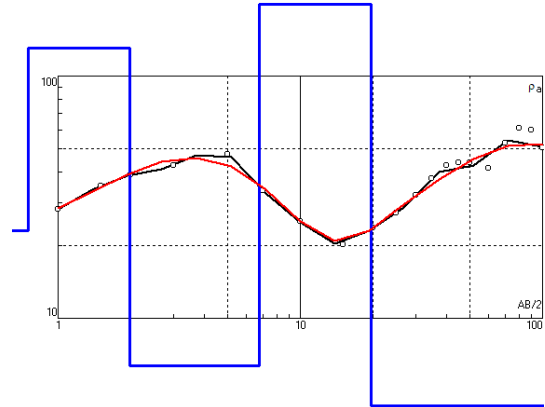
บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้า

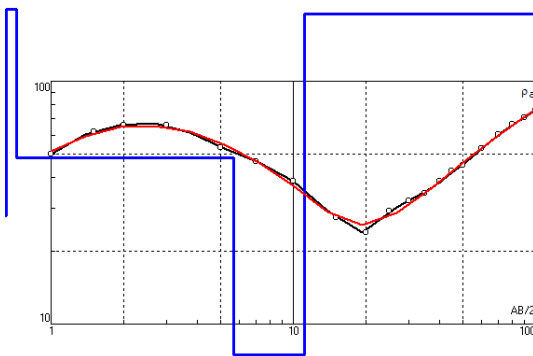
ผลการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าจำนวน 12 จุด บริเวณท้ายน้ำของบ่อกักเก็บกากแร่ที่ได้จากโปรแกรม IPI2win แสดงผลค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าแต่ละจุดดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1



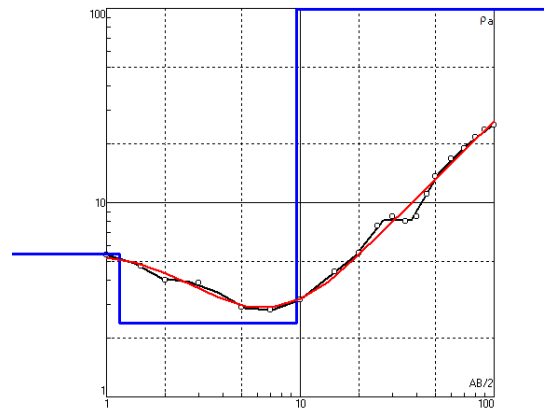
ก. จุดสำรวจที่ 1



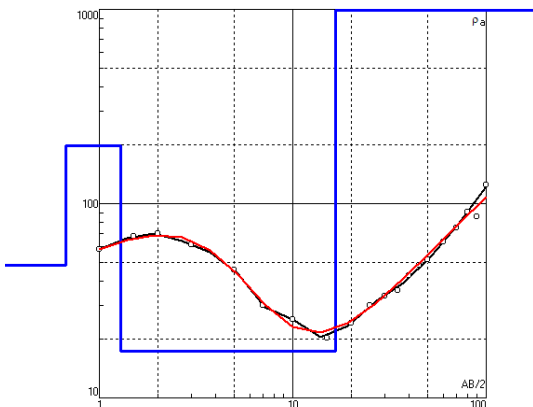
ข. จุดสำรวจที่ 2



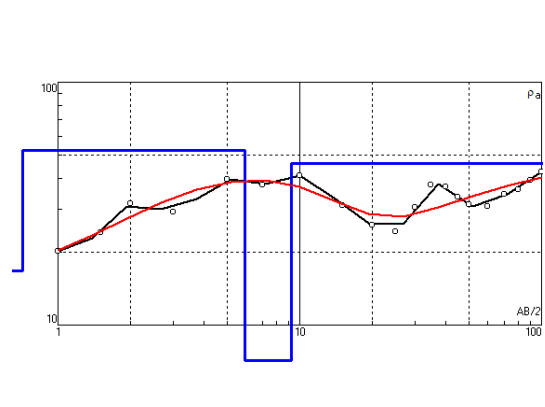
ค. จุดสำรวจที่ 3



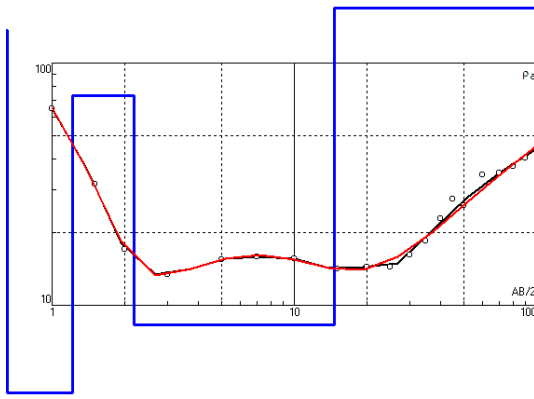
ง. จุดสำรวจที่ 4



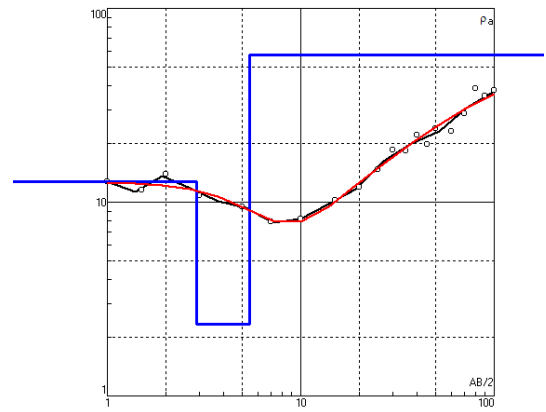
จ. จุดสำรวจที่ 5



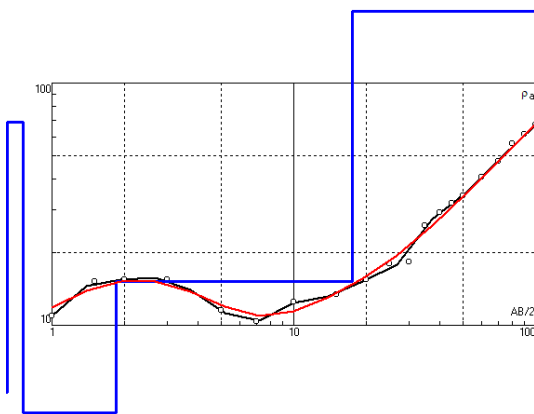
ฉ. จุดสำรวจที่ 6



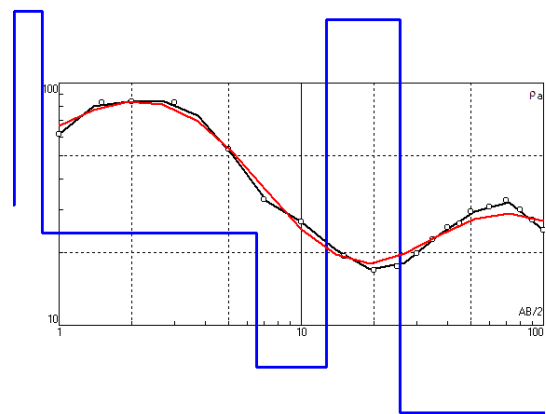
ช. จุดสำรวจที่ 7



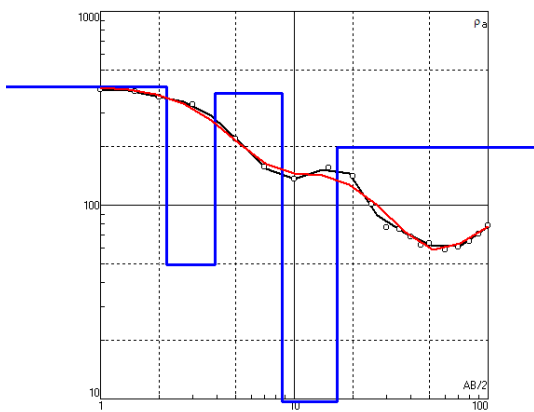
ซ. จุดสำรวจที่ 8



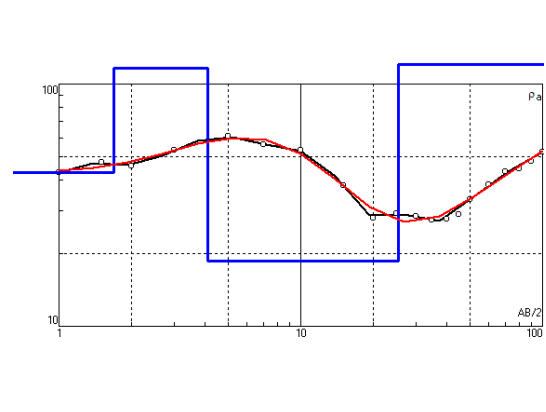
ฅ. จุดสำรวจที่ 9



ณ. จุดสำรวจที่ 10



ด. จุดสำรวจที่ 11

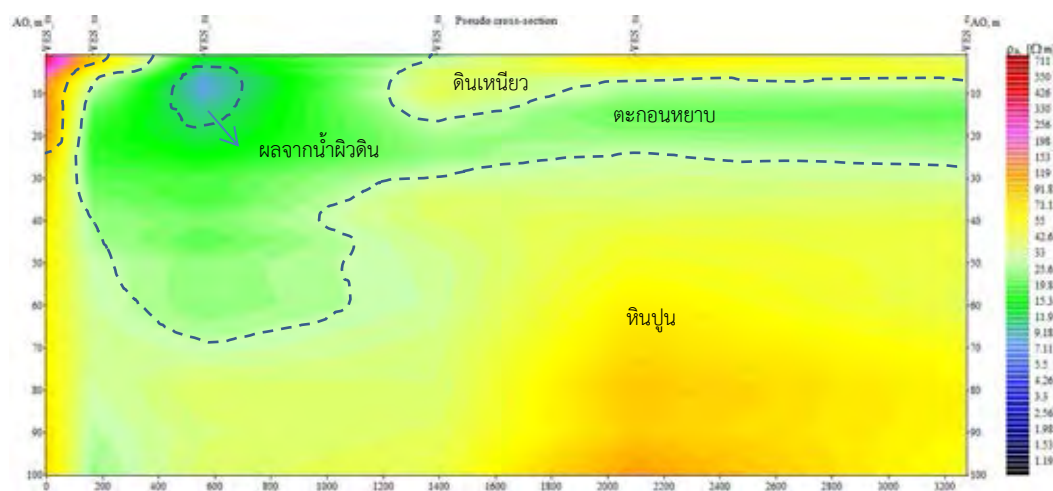


ณ. จุดสำรวจที่ 12

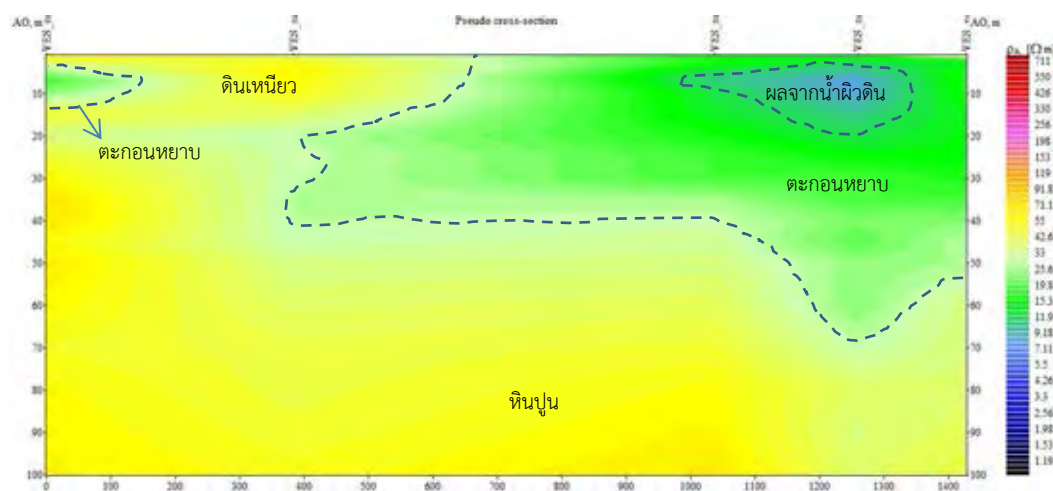
รูปที่ 4.1 Sounding curve ของแต่ละจุดสำรวจ

เมื่อสร้างภาพตัดขวาง (Pseudo cross-section) ในแนวเหนือ-ใต้จากข้อมูลจุดสำรวจที่ 1-2-5-6-7 และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้จากข้อมูลจุดสำรวจที่ 3-4-6-8-9-12 และเทียบกับข้อมูลจากหลุมเจาะในจุดใกล้เคียง เพื่อดูโครงสร้างและการวางตัวของชั้นใต้ผิวดิน สามารถแปล

ความได้ว่าในบริเวณที่ทำการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าสามารถแบ่งชั้นได้ผิวดินได้ 3 ชั้น ชั้นแรกเป็นดินเหนียว (Clay) มีความลึกจากผิวดินจนถึงความลึกประมาณ 0-10 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 40-70 โอห์ม-เมตร ชั้นที่สองเป็นตะกอนหยาบมีความลึกประมาณ 10-25 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 15-30 โอห์ม-เมตร ชั้นที่สามเป็นหินแข็ง (หินปูน) มีความลึกมากกว่า 25 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 30-150 โอห์ม-เมตร ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 ในบริเวณจุดสำรวจที่ 6 พบค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าบริเวณโดยรอบเนื่องจากจุดสำรวจนี้อยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำ ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการซึมของน้ำผิวดิน



รูปที่ 4.2 Pseudo cross-section ในแนว N-S



รูปที่ 4.3 Pseudo cross-section ในแนว NW-SE

ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม IPI2win

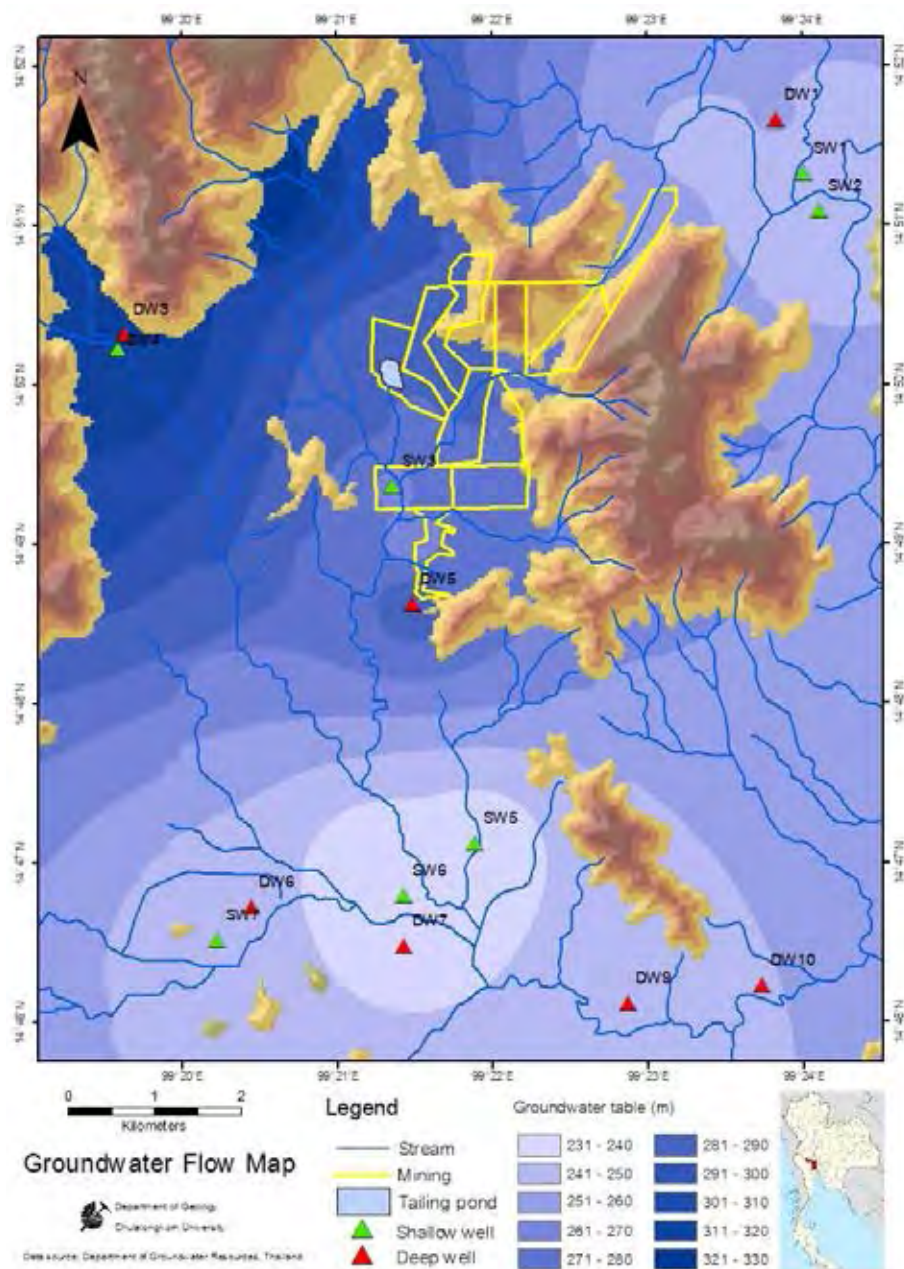
VES location	x	y	Number of resistivity of layers (Ωm)						Thickness of layers					Depth to bottom (m)				
			ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	h1	h2	h3	h4	h5	d1	d2	d3	d4	d5
1	537963	1640092	60.1	5.47	340	38.4			1.68	1.76	6.48			1.68	3.44	9.92		
2	538077	1639727	43	116	18.5	120			1.68	2.44	21.3			1.68	4.12	25.4		
3	538568	1639560	409	49.1	378	9.62	199		2.2	1.7	4.77	7.89		2.2	3.9	8.67	16.6	
4	538533	1639396	31.4	311	24	6.73	182	0.988	0.339	0.511	5.7	6.13	12..9	0.339	0.85	6.55	12.7	25.6
5	538405	1639162	5.27	68.8	3.02	15.1	8118		0.328	0.43	1.08	15.7		0.328	0.758	1.84	17.5	
6	538562	1639005	12.7	2.34	57.7				2.91	2.5				2.91	5.41			
7	538651	1638863	136	4.19	73.3	8.29	168		0.512	0.703	0.971	12.4		0.512	1.22	2.19	14.6	
8	538489	1638179	16.7	52.5	7.14	46.3			0.717	5.2	3.35			0.717	5.92	9.27		
9	538281	1637505	48.2	198	17.4	5221			0.67	0.613	15.4			0.67	1.28	16.7		
10	537929	1637095	5.42	2.4	807				1.17	8.39				1.17	9.56			
11	537350	1635860	27.9	223	48.5	7.44	189		0.379	0.342	4.96	5.48		0.379	0.721	5.68	11.2	
12	537926	1636378	22.9	130	6.35	427	2.21		0.756	1.23	4.76	12.8		0.756	1.99	6.75	19.5	

4.2 ระดับน้ำบาดาล

จากการเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาล สามารถเก็บข้อมูลได้ 8 บ่อ ดังตารางที่ 4.2 และสามารถสร้างเป็นแผนที่การไหลของน้ำบาดาลได้ดังรูปที่ จะเห็นว่าน้ำบาดาลมีการไหลจากบริเวณที่เป็นภูเขาทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งมีความสูงประมาณ 300-700 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลางและภูเขาด้านตะวันออกซึ่งน่าจะเป็นพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (Recharge area) ไปสู่ทางใต้ที่มีความสูงน้อยกว่าซึ่งน่าจะเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge area) ของพื้นที่ศึกษา จะเห็นว่าการไหลของน้ำบาดาลเป็นไปตามภูมิประเทศ

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งบ่อบาดาลและระดับน้ำบาดาล

ID	X	Y	Water table from surface (m)	Location
บ่อบาดาลระดับตื้น				
SW1	543060	1642365	3.5	-
SW2	543234	1641935	3.8	ที่ทำการผู้ใหญ่บ้าน หมู่ที่ 5 ต.วังยาว
SW3	538312	1638741	6	-
SW4	535135	1640337	3.9	-
SW5	539260	1634623	3.76	วัดเขาใหญ่
SW6	538438	1634009	3	-
SW7	536277	1633497	16	วัดถ้ำวังหิน
บ่อบาดาลระดับลึก				
DW1	542740	1642997	6.6	โรงเรียนชะว้างควาย
DW3	535212	1640502	วัดไม้ไผ่	โรงเรียนบ้านทุ่งมะกอก
DW5	538540	1637378	วัดไม้ไผ่	โรงเรียนวัดคอกช้าง
DW6	536673	1633873	วัดไม้ไผ่	โรงเรียนประชาวมงคล
DW7	538441	1633431	วัดไม้ไผ่	โรงเรียนป่าไม้อุทิศ
DW9	541026	1632769	วัดไม้ไผ่	ประปาบ้านเขาใหญ่02
DW10	542571	1632983	วัดไม้ไผ่	ประปาบ้านไผ่สีทอง
น้ำผิวดิน				
Surface water	538128	1640042	-	บ่อทิ้งกากแร่เก่า



รูปที่ 4.4 แผนที่การไหลของน้ำบาดาล

4.3 ปริมาณสารหนูในน้ำและดิน

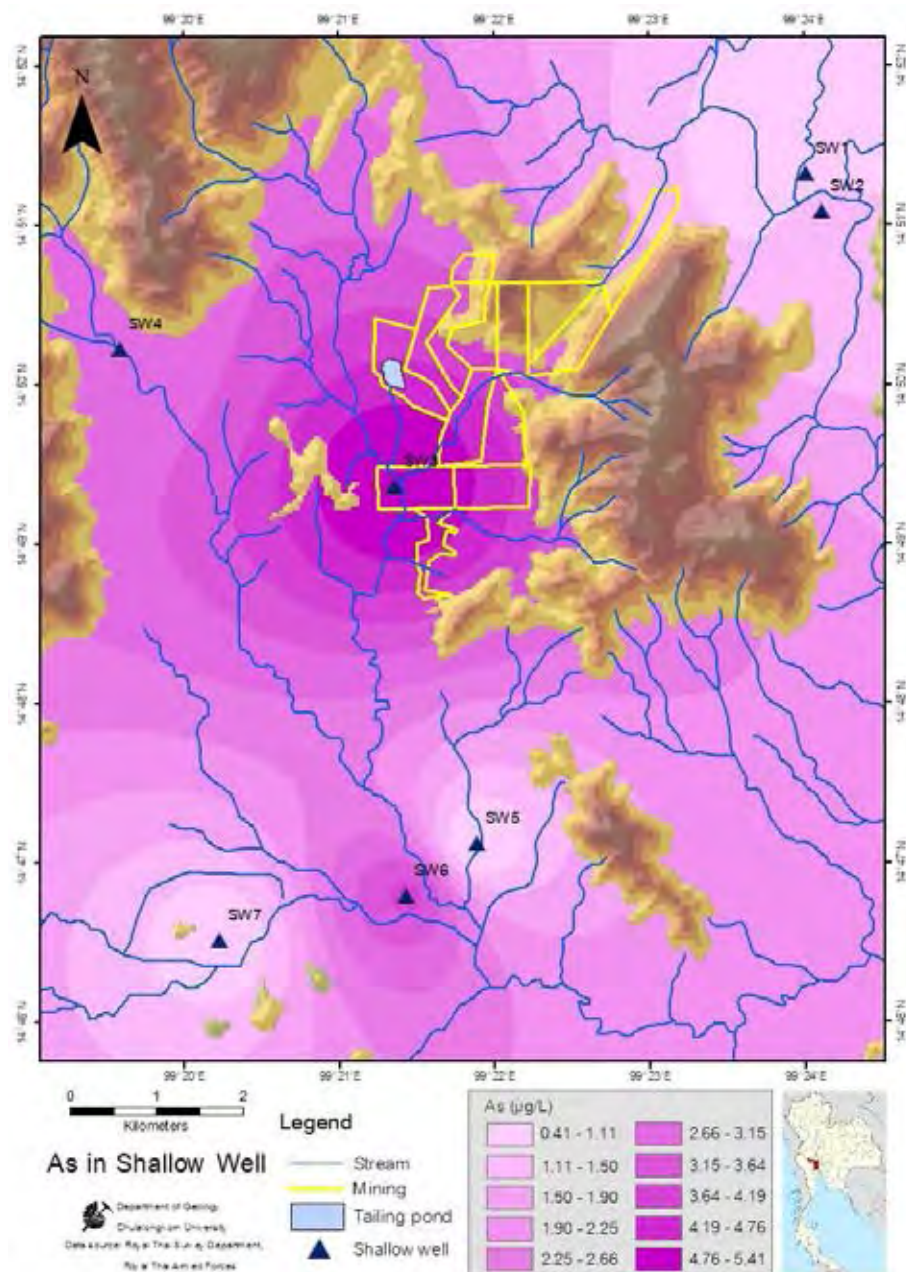
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในน้ำบาดาลและน้ำผิวดินแสดงดังตารางที่ 4.3 พิจารณาแยกระหว่างบ่อบาดาลระดับตื้นและบ่อบาดาลระดับลึก พบว่า บ่อบาดาลระดับตื้นที่มีความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุดคือ บ่อ SW3 มีความเข้มข้น 5.41 $\mu\text{g/L}$ อยู่ห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ที่มีความเข้มข้นของสารหนู 23.66 $\mu\text{g/L}$ ไปทางท้ายน้ำเป็นระยะทาง 1.2 กิโลเมตร และบ่อบาดาลระดับตื้นที่มีความเข้มข้นสารหนูน้อยที่สุดคือ บ่อ SW1 มีความเข้มข้น 0.41 $\mu\text{g/L}$ ในส่วนของบ่อบาดาลระดับลึกที่มีความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุดคือ บ่อ DW10 มีความเข้มข้น 9.13 $\mu\text{g/L}$ และบ่อบาดาลระดับลึก

ที่มีความเข้มข้นของสารหนูน้อยที่สุดคือ บ่อ DW3 มีความเข้มข้น 0.59 µg/L ซึ่งความเข้มข้นของสารหนูนี้สามารถสร้างเป็นแผนที่การกระจายตัวได้ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

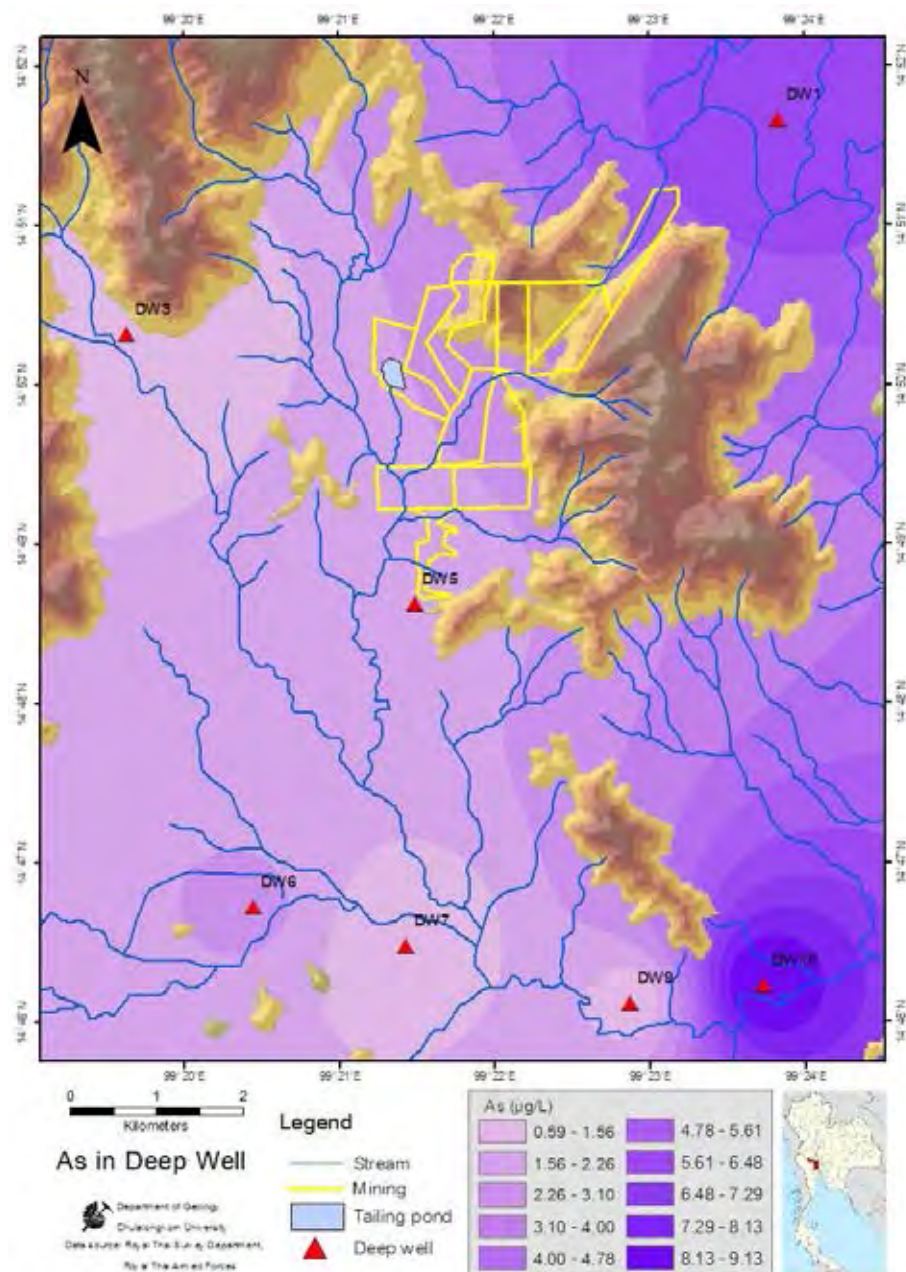
Sample name	Conc. (µg/L)	Sample name	Conc. (µg/L)
SW1	0.406	DW1	6.354
SW2	1.48	DW3	0.587
SW3	5.409	DW5	1.934
SW4	2.846	DW6	2.375
SW5	0.678	DW7	0.596
SW6	3.749	DW9	1.093
SW7	0.832	DW10	9.133
Surface water	23.66		

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าในบ่อบาดาลระดับต้น บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุดอยู่ในบริเวณเหมืองดีบุกเก่าและความเข้มข้นลดลงเมื่อไกลจากเหมืองมากขึ้น ในบริเวณบ่อ SW6 เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่าบ่อ SW5 และ SW7 ที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่การไหลของน้ำบาดาลในรูปที่ 4.4 จะพบว่าบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ระดับน้ำบาดาลต่ำ ทำให้น้ำไหลมารวมกันในบริเวณนี้จึงอาจมีการสะสมน้ำจากเหมืองที่มีสารหนูสูงกว่า



รูปที่ 4.5 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในบ่อบาดาลระดับตื้น

จากรูปที่ 4.6 บริเวณด้านตะวันตกเฉียงเหนือใกล้กับพื้นที่เพิ่มเติมน้ำมีปริมาณสารหนูน้อย และบริเวณเหมืองดีบุกเก่ามีความเข้มข้นของสารหนูน้อยเช่นเดียวกัน ในขณะที่ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษามีความเข้มข้นของสารหนูสูง การกระจายตัวของสารหนูในน้ำบาดาลระดับตื้นไม่สัมพันธ์กันกับการกระจายตัวของสารหนูในบ่อบาดาลระดับลึก จึงเป็นไปได้ว่าชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นและชั้นน้ำบาดาลระดับลึกไม่มีความสัมพันธ์กัน

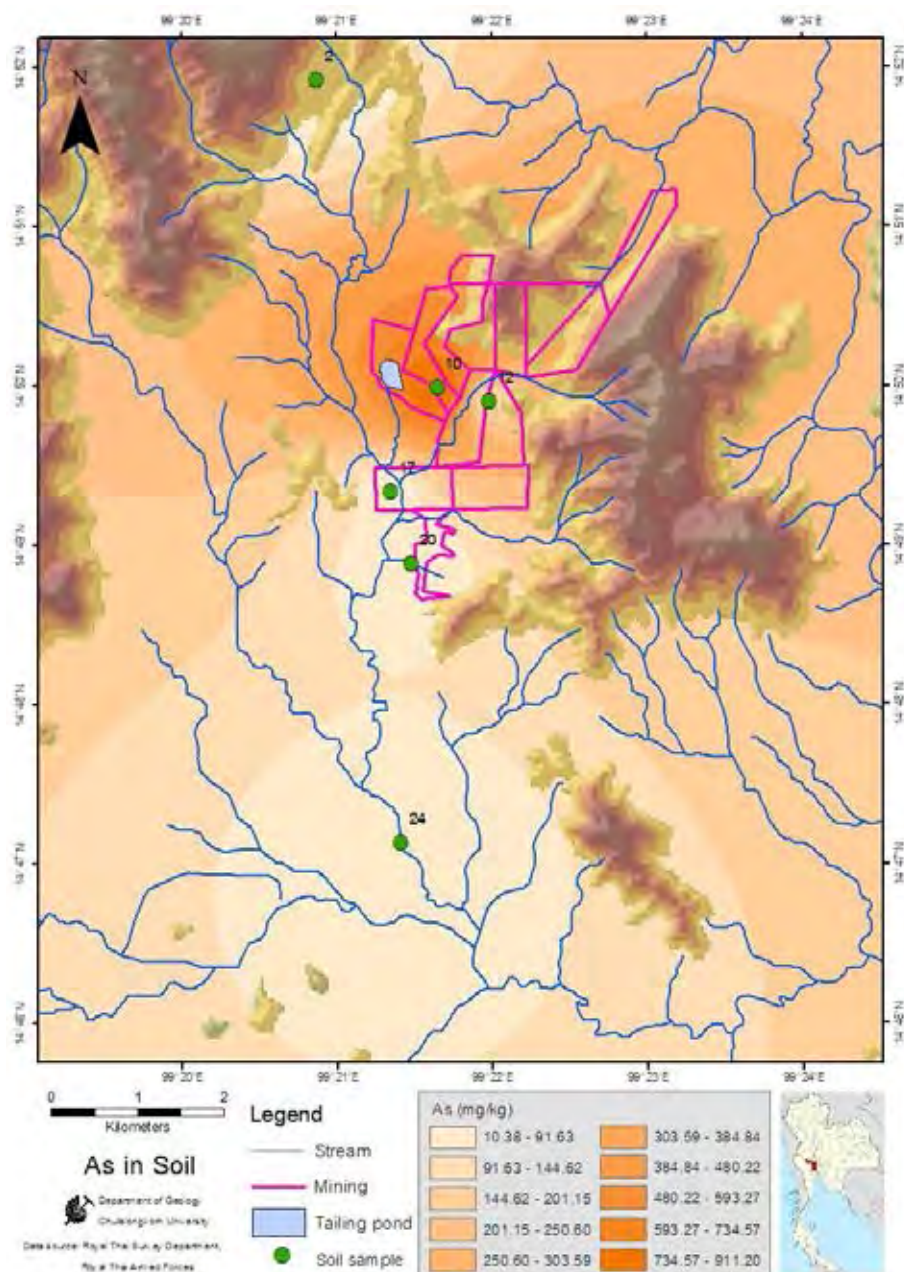


รูปที่ 4.6 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในน้ำบาดาลระดับลึก

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในดิน

Sample name	Weight (g)	Concentration (mg/kg)
soil2	0.5021	29.41
soil10	0.50165	911.88
soil12	0.5094	135.64
soil17	0.5007	52.17
soil20	0.5006	10.29
soil24	0.502	18.31

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในดินพบว่า ในบริเวณจุด Soil 10 มีความเข้มข้นของสารหนูมากที่สุด คือ 911.88 mg/kg และในจุด soil12 มีความเข้มข้นลดลงมาคือ 135.64 mg/kg สองจุดนี้อยู่ในบริเวณเหมืองดีบุกเก่าและใกล้กับภูเขาจึงเป็นไปได้ว่าสารหนูจากแหล่งกำเนิดปนเปื้อนลงสู่ดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



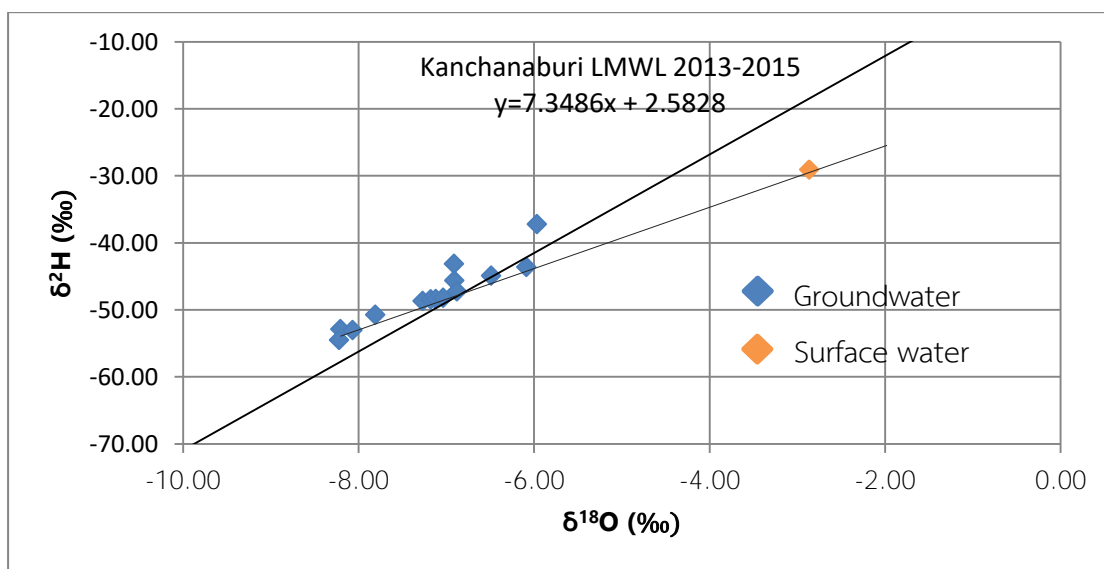
รูปที่ 4.7 แผนที่การกระจายตัวของสารหนูในดิน

4.4 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร

ผลการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดิน น้ำบาดาล และน้ำฝนได้ ซึ่งค่าไอโซโทปเสถียรที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา

Sample name	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Sample name	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
DW 1	-6.91	-43.15	SW 1	-6.91	-45.61
DW 3	-8.21	-52.90	SW 2	-5.97	-37.24
DW 5	-8.07	-53.02	SW 3	-6.88	-47.27
DW 6	-6.09	-43.63	SW 4	-7.81	-50.74
DW 7	-6.49	-44.93	SW 5	-7.18	-48.44
DW 9	-8.22	-54.53	SW 6	-7.12	-48.41
DW 10	-7.27	-48.67	SW 7	-7.03	-48.19
Surface water	-2.87	-29.06			



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$

ในน้ำบาดาล ผลของค่า $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าตั้งแต่ -8.22‰ ถึง -5.97‰ และค่า $\delta^2\text{H}$ มีค่าตั้งแต่ -54.53‰ ถึง -37.24‰ ในน้ำผิวดินซึ่งมีจุดเก็บตัวอย่างเพียงหนึ่งจุดมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ -2.87‰ และ $\delta^2\text{H}$ -29.06‰ เมื่อนำค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}$ กับ $\delta^{18}\text{O}$

พบว่าน้ำบาดาลจากทุกบ่อมีค่าอัตราส่วนอยู่ใกล้เคียงเส้นน้ำฝนกรุงเทพ ทำให้ทราบว่าบริเวณดังกล่าวมีการเติมของน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล สำหรับน้ำผิวดินซึ่งมีตัวอย่างเพียงจุดเดียวมีค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรไม่อยู่ในเส้นน้ำฝนกรุงเทพเนื่องจากมีการระเหยมาก ^{18}O จึงสามารถออกมาสู่บรรยากาศได้มากขึ้นส่งผลให้ $\delta^{18}\text{O}$ มากขึ้น

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นใต้ผิวดินสามารถแบ่งชั้นใต้ผิวดินได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นดินเหนียว ชั้นตะกอนหยาบ และหินปูนตามลำดับ ชั้นที่น่าจะเป็นชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นคือชั้นตะกอนหยาบเนื่องจากพบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าชั้นอื่น ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบาดาลระดับตื้นและน้ำบาดาลระดับลึกมีค่าไม่เกินค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนด ($10 \mu\text{g/L}$) แต่ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำผิวดินมีค่าเกินกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนด จากการทำแผนที่การกระจายตัวของสารหนูในดินและในน้ำบาดาลระดับตื้นพบว่า การกระจายตัวของสารหนูมีความสัมพันธ์กัน โดยมีความเข้มข้นมากในบริเวณเหมืองดีบุกเก่าและบริเวณใกล้กับบ่อกักเก็บกากแร่ และมีความเข้มข้นลดลงเมื่ออยู่ห่างจากเหมืองมากขึ้น การไหลของน้ำบาดาลที่ไหลจากพื้นที่เพิ่มเติม น้ำทางตะวันตกเฉียงเหนือไปสู่ทางใต้ผ่านเหมืองแร่ดีบุกเก่าอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นได้ สามารถพิจารณาได้จากไอโซโทปของน้ำบาดาลที่อยู่ในเส้นน้ำฝนซึ่งบ่งบอกว่าน้ำบาดาลได้รับน้ำมาจากน้ำฝน และอาจมีการพาสารหนูในดินลงมาในชั้นน้ำบาดาลพร้อมกับน้ำฝนที่เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น

5.2 สรุปผลการศึกษา

บริเวณที่อาจมีการปนเปื้อนสารหนูจากเหมืองดีบุกเก่าคือบริเวณชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นในชั้นตะกอนหยาบ โดยมีปริมาณสารหนูมากเมื่ออยู่ใกล้กับบ่อทิ้งกากแร่และในบริเวณเหมือง และมีความเข้มข้นสารหนูลดลงตามระยะทางที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าไม่สามารถระบุการปนเปื้อนได้ แต่สามารถระบุขอบเขตบริเวณที่น่าจะเป็นชั้นน้ำ จึงต้องนำมาพิจารณา ร่วมกับข้อมูลการวิเคราะห์เคมีของน้ำเพื่อระบุขอบเขตของการปนเปื้อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการสร้างเส้นตรงที่ตัวอย่างน้ำมีผลจากการระเหยในกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ จึงจะทำให้กราฟมีความถูกต้องมากขึ้น
2. ควรวิเคราะห์ไอออนอื่นเพิ่มเติมนอกเหนือจากอาร์เซนิก เนื่องจากในพื้นที่เหมืองแร่เก่าอาจมีการปนเปื้อนของแร่อื่นที่มาจากการทำเหมือง หากมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมจะทำให้การศึกษาการปนเปื้อนในพื้นที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2557. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดสุพรรณบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. ธรณีวิทยาประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 628.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2556. ธรณีวิทยาระวางจังหวัดสุพรรณบุรี (ND47-7) มาตรฐาน 1:250000 ประจำปี พ.ศ. 2556. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. 88.
- เพ็ญตา สาทรรักษ์. 2550. ธรณีฟิสิกส์เพื่อการสำรวจใต้ผิวดิน. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 223-352.
- ไพชยนต์ เจริญไชยศรี. 2551. รายงานการศึกษาปริมาณสารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เหมืองแร่เก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2550. สำนักบริหารสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- Benson, A. K., Payne, K. L., and Stubben, M. A. 1997. Mapping groundwater contamination using dc resistivity and VLF geophysical methods – A case study. *Geophysics* 62 (1): 80-86.
- Flora, S. 2015. Arsenic: Chemistry, Occurrence, and exposure. *Handbook of Arsenic Toxicology*. 1-49.
- Pansamut, S., and Wattayakorn, G. 2010. Arsenic contamination in water from Suphan buri province, Thailand. *Journal of Environmental Research and Development* 4 (3): 678-686.
- Stoecker, F., Babel, M. S., Gupta, A. D., Rivas, A. A., Evers, M., Kazama, F. et al. 2013. Hydrogeochemical and isotopic characterization of groundwater salinization in the Bangkok aquifer system, Thailand. *Environmental Earth Sciences* 68 (3): 749-763.

- Tiankao, W. 2014. Risk assessment of arsenic from contaminated soils to shallow groundwater in Ong Phra subdistrict Changwat Suphan Buri, Thailand. Master's Thesis. Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University.
- Wattanasen, K., Elming, S. Å., Lohawijarn, W., and Bhongsuwan, T. 2006. An integrated geophysical study of arsenic contaminated area in the peninsular Thailand. *Environmental geology* 51: 595-608.
- Weerasiri, T., Wirojanagud, W., and Srisatit, T. 2013. Identifying arsenic pathway using electrical resistivity survey with GIS based flow modeling. *International Journal of Electrochemical Science* 8: 12707-12718.
- World Health Organization. 2017. *Guidelines for Drinking Water Quality Recommendations*, 1, Forth Edition. WHO.

ภาคผนวก

ตารางแสดงข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

well no	easting	northing	elevation	depthfrom	depthto	rock	rock_description	depthdrill	thickness
MD457	537997	1639947	292	0	1.52439	clay	yellowish gray silty plastic.	8.689024	9
MD457	537997	1639947	292	1.52439	10.67073	gravel	yellowish gray very fine gravel to fine gravel angular moderately sorted composed of quartz chert.	8.689024	9
MD457	537997	1639947	292	10.67073	28.96341	limestone	gray calcareous brittle composed of calcite veins slightly weathered hard.	8.689024	9
TY104	538497	1638027	282	0	12.19512	laterite	laterite	11.58537	6
TY104	538497	1638027	282	12.19512	38.10976	rock	rock	11.58537	6
TY105	538518	1638108	279	0	3.04878	clay	clay	11.58537	6
TY105	538518	1638108	279	3.04878	38.10976	rock	rock	11.58537	6
TY106	537240	1635567	254	0	3.04878	rock	rock	15.2439	6
TY106	537240	1635567	254	3.04878	6.097561	clay	clay	15.2439	6
TY106	537240	1635567	254	6.097561	12.19512	limestone	limestone	15.2439	6
TY106	537240	1635567	254	12.19512	25.91463	clay	clay	15.2439	6

well no	easting	northing	elevation	depthfrom	depthto	rock	rock_description	depthdrill	thickness
TY106	537240	1635567	254	25.91463	30.4878	limestone	limestone	15.2439	6
TY106	537240	1635567	254	30.4878	36.58537	clay	clay	15.2439	6
TY106	537240	1635567	254	36.58537	50.30488	limestone	limestone	15.2439	6
TY113	538022	1637290	263	0	4.573171	clay	ดินร่วน	37.19512	-
TY113	538022	1637290	263	4.573171	15.2439	clay	ดินเหนียว	37.19512	-
TY113	538022	1637290	263	15.2439	18.29268	rock salt	หินผุ	37.19512	-
TY113	538022	1637290	263	18.29268	73.17073	rock salt	หินผุ	37.19512	-
TY113	538022	1637290	263	73.17073	122	rock salt	หินผุ	37.19512	-
TY42	539400	1638332	306	0	1.52439	clay	clay	27.88415	-
TY42	539400	1638332	306	1.52439	6.097561	laterite	laterite + clay	27.88415	-
TY42	539400	1638332	306	6.097561	15.2439	rock	rock	27.88415	-
TY42	539400	1638332	306	15.2439	54.87805	granite	granite	27.88415	-
TY42	539400	1638332	306	54.87805	91.46341	granite	granite	27.88415	-

