

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นน้ำบาดาลเค็ม และโพรงใต้ผิวดิน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

True Resistivities of Saline Aquifers and Subsurface Cavity Filled with Saline Groundwater in the Northeastern Part of Thailand

เพียงตา สาทรรักษ์ (Peangta Satarugsa)^{1*}

วินิจ ย้งมี (Winit Youngmee)²

สุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์ (Suvijuk Meesawat)³

บทคัดย่อ

การนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อแก้ปัญหาภัยแล้งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มักประสบปัญหาจากการที่ได้ผิวดินมีเกลือหินรูปโดมกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้เกิดการละลายของเกลือหิน ก่อให้เกิดปัญหาของดินเค็ม น้ำผิวดินและน้ำบาดาลเค็ม ก่อนการเจาะบ่อน้ำบาดาล จึงควรมีการสำรวจเบื้องต้น เพื่อประเมินหาความเหมาะสมของชั้นน้ำบาดาล ดังนั้นการวิจัยนี้ได้นำเอาการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมาประยุกต์เพื่อสำรวจหาขอบเขตหรือช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ให้น้ำบาดาลเค็มและที่บ่งบอกโพรงใต้ผิวดินที่มีน้ำเค็มขัง โดยทำการประยุกต์วิธีการสำรวจวัดค่าความแตกต่างทางค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึก (1 มิติ) พบว่า (1) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยสุด-มากที่สุดของ ชั้นดิน-ชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดันที่มีน้ำเค็มแทรกในเนื้อดิน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงคาบเกี่ยวกัน ดินเหนียวปนทราย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.25-3.10 โอห์ม-เมตร ทรายปนดินเหนียว มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 1.30-7.80 โอห์ม-เมตร หินดินเหนียวผุไม่มีน้ำเค็มแทรกของหมวดหินมหาสารคาม มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 3.40-137.70 โอห์ม-เมตร และหินดินเหนียวผุที่มีน้ำเค็มแทรก มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.70-10.30 โอห์ม-เมตร ดังนั้นการประยุกต์วิธีสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบ 1 มิติ เพื่อหาน้ำบาดาลจืด หากพบว่าชั้นที่คาดว่าให้น้ำเป็นดินเหนียวปนทรายมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงที่ต่ำกว่า 3.10 โอห์ม-เมตร มีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาลเค็มสูง หากชั้นให้น้ำเป็นทรายปนดินเหนียวและพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 7.80 โอห์ม-เมตร มีโอกาสพบน้ำเค็มสูง และหากชั้นให้น้ำเป็นหินดินเหนียวผุ และพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 10.30 โอห์ม-เมตร โอกาสพบน้ำเค็มสูง (2) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเค็มที่สูบขึ้นมาเพื่อทำนาเกลือ พบว่าน้ำเกลือ 100 กรัม มีเกลืออยู่ประมาณ 28 กรัม มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงประมาณ 0.03 โอห์ม-เมตร ดังนั้นการประยุกต์วิธีสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อตรวจสอบโพรงในพื้นที่ที่มีเกลือหินรองรับ ถ้าหากพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงใต้ผิวดินช่วงนั้นน้อยกว่า 0.25 โอห์ม-เมตร โอกาสที่ได้ผิวดินจะมีโพรงหรือช่องว่างขนาดใหญ่และมีน้ำเค็มขังอยู่จึงมีความเป็นไปได้สูง

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น e-mail: peangta@kku.ac.th

²อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*corresponding author

Abstract

A serious problem for groundwater exploration, exploitation and management in the Northeastern region of Thailand is caused by near-surface salt-dome dissolution. The dissolution of the salt domes causes saline soil and saline groundwater in this region. Thus, the objective of this study was to apply 1D resistivity surveying for subsurface mapping of saline aquifers and subsurface cavities filled with saline groundwater. Results show that (1) an unconfined saline aquifer of sandy clay soil has true resistivities ranging from 0.25–3.10 Ohm-meters, an unconfined saline aquifer of clayey sand soil has true resistivities ranging from 1.30–7.80 Ohm-meters, an unconfined aquifer of weathered claystone has true resistivities ranging from 3.40–137.70 Ohm-meters, and an unconfined saline aquifer of weathered claystone has true resistivities ranging from 0.70–10.30 Ohm-meters. There is an overlapping zone of resistivity values between fresh-saline groundwater aquifers in various types of soil. Thus, the interpretation when having true resistivities located in the overlapping zone must be made with caution. (2) True resistivity value analyzed from the saline groundwater pumped from the saline weathered claystone aquifer is 0.03 Ohm-meters. Thus, when conducting 1D resistivity survey and its result shows true resistivities in near-surface layers of less than 0.25 Ohm-meters, it may indicate a subsurface cavity filled with saline groundwater.

คำสำคัญ: น้ำบาดาลเค็ม เกลือหิน โพรงใต้ผิวดิน การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

Keywords: saline water, rock salt, subsurface cavity, resistivity survey

บทนำ

ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีปัญหาภัยแล้งทุก ๆ ปี แนวทางหนึ่งของการแก้ปัญหา คือ การเจาะบ่อน้ำบาดาล แต่ผลของการเจาะบ่อน้ำบาดาล ถึงแม้พบน้ำปริมาณมาก ในหลายๆ พื้นที่ แต่น้ำที่ได้เป็นน้ำเค็ม ไม่สามารถใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร (รูปที่ 1) ทั้งนี้เพราะมีชั้นเกลือหินใต้ผิวดินรองรับอยู่ในแอ่งทั้งสอง ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของน้ำเค็มและดินเค็ม การสำรวจสภาพใต้ผิวดินเบื้องต้นก่อนที่จะลงมือเจาะหาชั้นน้ำบาดาลเพื่อตรวจสอบว่าจะมีโอกาสเป็นชั้นน้ำบาดาลเค็มหรือไม่ จึงเป็นสิ่งที่ควรทำ

การวิจัยนี้ได้ประยุกต์นำเอาหลักการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมาใช้ ในบริเวณที่ทราบสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินและมีหลุมเจาะสำรวจเปรียบเทียบ เพื่อแปลความหมายหาขอบเขตหรือช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุด ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-ชั้นหินที่ให้น้ำบาดาลเค็ม โดยทำการศึกษาชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) ที่เป็นชั้นน้ำในระดับตื้น เพราะการเจาะบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือนิยมเจาะหาน้ำในระดับตื้นแบบไม่มีแรงดันเป็นส่วนใหญ่

สภาพธรณีวิทยาภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร (รูปที่ 1) โดยทั่วไปพบเป็นทรายปนดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย หินดินเหนียว หินดินเหนียว และเกลือหิน ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นน้ำบาดาลเค็ม-ชั้นน้ำบาดาลจืดในทรายปนดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย หินดินเหนียว และหินดินเหนียว พบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะส่วนที่น้อยสุด-มากที่สุด คาบเกี่ยวกัน (Telford et al., 1990; Ward, 1990) การแยกความแตกต่างของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและการแปลความหมายหาสภาพใต้ผิวดินของชั้นน้ำ ที่อยู่ในช่วงคาบเกี่ยว จึงมีขีดจำกัด อีกทั้งค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-ชั้นหิน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังไม่มี การรวบรวมและวิเคราะห์เพื่อใช้อ้างอิงได้ ดังนั้นการ ศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการหาขอบเขตที่เหมาะสม (safe zone) ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-ชั้นหินที่ให้น้ำเค็มหรือน้ำเค็มในช่องว่างหรือในรูพรุน และขอบเขตหรือช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

ที่จะใช้ในการบ่งบอกช่องว่างใต้ผิวดินหรือโพรงใต้ผิวดิน
ที่มีน้ำเค็มแทรกอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา คือ ทำให้ทราบ
ขอบเขตหรือช่วงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของ
ทรายปนดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย และหินดิน
เหนียว ที่มีน้ำเค็มแทรก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแปล
ความหมายเปรียบเทียบในพื้นที่ที่ได้ทำการสำรวจใหม่
เพื่อพัฒนาน้ำบาดาลในการอุปโภคและบริโภค ในพื้นที่
แอ่งโคราชและแอ่งสกลนครของภาคตะวันออกเฉียง
เหนือในอนาคต

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามี 2 แห่ง พื้นที่แห่งแรกอยู่ในแอ่ง
สกลนคร บริเวณหมู่บ้านโนนแสงและหมู่บ้านบ่อแดง
อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีสภาพพื้นดิน
พบเป็นดินศิลาแลง (ดินลูกรัง) และดินเหนียวปนทราย
และทรายปนดินเหนียว หมู่บ้านทั้งสองอยู่สูงกว่าพื้นที่ที่
ทำนาเกลือประมาณ 2-3 เมตร บริเวณที่นาเป็นดิน
เหนียวปนทราย ต่อจากดินเหนียวปนทรายพบเป็นหิน
ดินเหนียว หินดินเหนียว และเกลือหิน หมู่บ้านโนน
แสงและหมู่บ้านบ่อแดงตั้งอยู่ในบริเวณที่เป็นโดมเกลือ
(เพียงตา และคณะ 2544-2547) พื้นที่แห่งที่สองอยู่
ในแอ่งโคราช ได้ศึกษาในบริเวณหนองโคตร แดงใหญ่
และบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเป็นการวัดค่า
ความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปในดิน
อย่างช้า ๆ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่มีผลต่อค่า
ความต่างศักย์ที่สามารถวัดได้ อาทิ ช่องว่างหรือรูพรุน
และของเหลวในช่องว่างหรือรูพรุนของดิน ชนิดของแร่
ดินเหนียว ค่าการซึมผ่าน อุณหภูมิ และองค์ประกอบ
ต่าง ๆ ของดินที่มีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้น
ผลจากการศึกษาจึงไม่สามารถกล่าวได้ว่าจะให้คำตอบ
ได้ถูกต้องแม่นยำ สมบูรณ์ เพราะเป็นการแปลความ
หมายจากค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดได้ใน
สนาม

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถ
คำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะได้ โดยใช้
สมการ Archie (1942) หากทราบค่าความพรุนในหิน
และค่าเฉพาะตัวของหินชนิดนั้น (F , m , a ดูเพิ่มเติม
ใน Archie, 1942) หรือ กรณีทราบค่าความพรุนและ
ของเหลวในรูพรุน (S_w , a , m , ϕ ดูเพิ่มเติมใน Archie,
1942) หรือสมการของ Keller and Frischknecht
(1966) หาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่เปลี่ยนแปลง
ตามอุณหภูมิ หรือสมการของ Simandoux (1963)
ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานไฟฟ้า
จำเพาะกับปริมาณดินเหนียวและน้ำที่แทรกในช่องว่าง
ในหิน เป็นต้น แต่ในทางกลับกันในทางปฏิบัติ การตรวจ
วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-ชั้นหินที่
ทำได้รวดเร็วและประหยัด สามารถนำไปแปลความ
หมายถึงค่า ความพรุน ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำในรูพรุน
และปริมาณดินเหนียวในเนื้อหิน

ดังนั้นการศึกษานี้ที่เน้นหาค่าความต้านทาน
ไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-ชั้นหินที่มีน้ำเค็มในรูพรุน โดย
ทำการตรวจวัดในสนาม เฉพาะในพื้นที่แอ่งโคราชและ
แอ่งสกลนคร ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่คล้ายคลึงกัน

วิธีการศึกษา

รายงานนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล
ที่ต่อเนื่องจากการศึกษาของ เพียงตา และคณะ 2544-
2547 พร้อมทั้งได้ทำการสำรวจเพิ่มเติม เพื่อยืนยัน
ติดตามผล และการใช้ข้อมูลของคณะสำรวจต่าง ๆ ที่เคย
ศึกษาในพื้นที่เดียวกัน ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้า
จำเพาะปรากฏ (apparent resistivity) สามารถนำมา
แปลความหมายหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง
(true resistivity) และความลึกของชั้นดิน-ชั้นหิน จาก
นั้นตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงที่สามารถ
แปลความหมายได้โดยแยกออกเป็นกลุ่มตามสภาพ
พื้นผิวดิน และใช้หลักสถิติช่วยตรวจสอบ ข้อมูลที่มีค่า
ผิดปกติ (outlier) และจัดกลุ่มของข้อมูล หลักสถิติที่
นำมาตรวจสอบพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (หรือ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95) โดยใช้การทดสอบเป็นแบบ

ไม่มีพารามิเตอร์ (non-parametric test) ทั้งนี้เพราะข้อมูลเหล่านี้แสดงการกระจายแบบไม่ปกติ (non normal distribution)

เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ประกอบด้วย เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity meter) รุ่น Syscal R1 Plus ขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าและขั้ววัดค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า สายไฟ และค้อนสำหรับตอกขั้วไฟฟ้าเมื่อมีการเคลื่อนย้าย

การเก็บข้อมูลมี 2 ลักษณะ คือ (1) เก็บข้อมูลระดับใกล้ผิวดินที่มีระดับน้ำใต้ผิวดินไม่เกิน 1 เมตร โดยสังเกตจากบ่อขุดข้างเคียงหรือหนองน้ำธรรมชาติ ใกล้เคียงพื้นที่ทำการสำรวจ ในการสำรวจลักษณะนี้ทำให้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง โดยไม่ผ่านกระบวนการแปลความหมาย เพราะเนื้อดินมีสภาพเป็นเนื้อเดียว (2) เก็บข้อมูลระดับลึกจากผิวดินถึงชั้นเกลือหิน ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่สำรวจในลักษณะนี้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏที่ต้องผ่านกระบวนการแปลความหมายหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของชั้นดิน-ชั้นหินของบริเวณที่สำรวจ

การเก็บข้อมูลระดับใกล้ผิวดิน โดยเลือกทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของ (1) ดินเหนียวปนทรายที่มีคาบเกลือปรากฏที่ผิวดิน ไม่มีต้นไม้ปกคลุม โดยเลือกพื้นที่ที่มีสภาพธรณีวิทยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น บริเวณบ้านโนนแสงและบ้านบ่อแดง (2) ทรายปนดินเหนียว ที่มีคาบเกลือปรากฏที่ผิวดิน ไม่มีต้นไม้ปกคลุม โดยเลือกพื้นที่ที่มีสภาพธรณีวิทยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น บริเวณหนองโคตร บ้านแดงใหญ่ และบ้านเป็ด และ (3) หินดินเหนียว ไม่มีต้นไม้ปกคลุม โดยเลือกพื้นที่ที่มีสภาพธรณีวิทยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น บริเวณบ้านโนนแสงและบ้านบ่อแดง ทั้ง 3 ลักษณะได้ทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะโดยวางขั้วไฟฟ้าแบบหยั่งลึก จัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner ทั้งนี้เพราะการวางขั้วแบบ Wenner จะให้ผลดีในการหาข้อมูลสภาพใต้ผิวดินระดับตื้น (ระยะ AB/2 น้อยกว่า

100 เมตร) การสำรวจทำได้รวดเร็ว ไม่ประสบปัญหาในการกำหนดช่วงระยะห่างของขั้วความต่างศักย์ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายขั้วกระแสทำให้เกิดความผิดพลาดที่จะเกิดในระหว่างการสำรวจมีน้อยกว่าวิธีวางขั้วแบบอื่น ความกว้างของขั้วที่ปล่อยกระแสที่ระยะ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, และ 6.0 เมตร พร้อมทั้งทำการเก็บดินที่ทำการสำรวจที่ระดับประมาณ 10-20 เซนติเมตรใต้ผิวดิน เพื่อนำมาหาค่าความชื้นของน้ำในดิน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำเค็มจากบ่อสูบเพื่อหาปริมาณของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ การเทียบหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเกลือในพื้นที่ที่ศึกษากับข้อมูลที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วในห้องปฏิบัติการ (Telford et al., 1990) ในกรณีของน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ด้วยในอัตราที่แตกต่างกัน

การเก็บข้อมูลในระดับลึกจากผิวดิน ในส่วนนี้ต้องการสำรวจหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของหินดินเหนียว และโพรงใต้ผิวดิน โดยทำการเก็บข้อมูลแบบหยั่งลึก ด้วยการจัดวางขั้วแบบ Schlumberger มีระยะของขั้วกระแส (AB/2) ตั้งแต่ 1 เมตร ขยายไปมากที่สุดระหว่าง 150 ถึง 500 เมตรแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพใต้ผิวดินและความลึกของเกลือหิน (การวางขั้วแบบนี้ทำได้รวดเร็วหากระยะห่างของการวางขั้วมากกว่า 100 เมตรขึ้นไป) โดยกำหนดจุดสำรวจทับกับแนวสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนที่เพียงตา และคณะ (2544, 2545) ที่ได้ทำการสำรวจไว้แล้ว และมีหลุมเจาะจากการศึกษาของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ที่ได้ทำการเจาะในปี 2546 (Jenkunawat, 2005)

สืบทัดดี และคณะ (2542) ได้ทำการสำรวจในพื้นที่บ้านโนนแสง ที่มีจุดสำรวจใกล้เคียงหรือทับกับแนวสำรวจของการศึกษานี้ ทั้งนี้ข้อมูลที่วัดได้เหมือนกันหรือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha=0.05$) ในการศึกษาส่วนนี้มีจุดสำรวจทั้งสิ้น 55 จุดสำรวจสามารถแปลความหมายได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียวปนทรายชั้นบน ดินศิลาแลง (ดินลูกรังชั้น) หินดินเหนียว และโพรง (ดูเพิ่มเติมในเพียงตา และคณะ, 2548)

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแบบหยั่งลึกหรือแบบ 1 มิติ ทำการแปลความหมายโดยใช้วิธีการสร้างรูปจำลองใต้ผิวดิน ทำนายค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏจากรูปจำลอง เปรียบเทียบความเหมือนหรือคล้ายคลึงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏจากรูปจำลองและจากข้อมูลที่วัดได้ในสนาม โดยยอมให้มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 20 (Root Mean Square error, (RMS error)) จากการวิเคราะห์พบร้อยละ 85 ของข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏที่แปลความหมายค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงและความลึกมีความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 10 (โดยทั่วไปจะยอมรับ RMS error ไม่เกินร้อยละ 10% แต่ในที่นี้เนื่องจากทราบสภาพใต้ผิวดินชัดเจนจึงยอมให้ ค่าที่เปลี่ยนแปลงได้คือค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏเท่านั้น ทำให้ RMS error บางครั้งสูงกว่าร้อยละ 10) สำหรับโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการแปลความหมายคือ RINVERT และใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาระดับใกล้ผิวดิน

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระดับใกล้ผิวดินและเก็บตัวอย่างดินจำนวน 30 พื้นที่พื้นที่ละ 11 ค่า จาก 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มของดินเค็มดินเหนียวปนทราย (2) กลุ่มของดินเค็มทรายปนดินเหนียว (3) กลุ่มของดินเหนียวของหมวดหินมหาสารคาม ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น (water content) ในห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 1) พื้นที่ทำการวัดตัวอย่างของกลุ่มที่ 1 มี 14 ตัวอย่าง จำนวน 154 ค่า กลุ่มที่ 2 มี 12 ตัวอย่าง จำนวน 132 ค่า กลุ่มที่ 3 มี 4 ตัวอย่าง จำนวน 44 ค่า กลุ่มที่ 3 พบค่อนข้างน้อย เพราะถูกปกคลุมด้วยตะกอนพัดพา จากนั้นนำมาหาค่าน้อยสุด-มากที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อให้เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของตัวแทนกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่นั้นๆ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1 ลักษณะการกระจายของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มดินแสดงในรูปที่ 2ก-2ค

ความสัมพันธ์ของค่าความชื้นของน้ำเค็มจัดที่อยู่ในช่องว่างของดินเหนียวปนทราย และทรายปนดินเหนียว และหินดินเหนียว พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวมาก ไม่สามารถหาความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้นหรือสมการรูปอื่นๆ ได้

เมื่อรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างดินเหนียวปนทรายและทรายปนดินเหนียว จำนวน 26 ค่า (รูปที่ 3ก) พร้อมตรวจสอบข้อมูลที่ออกนอกสูง-ต่ำอย่างผิดปกติ (outlier) และไม่นำมาวิเคราะห์ออกไป 1 ค่า (รูปที่ 3ข) เพราะมีค่าต่ำสุดผิดปกติของค่าความชื้นทำให้พบว่าค่าความชื้นในดินกับค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงของพื้นที่ดินเค็มมีความสัมพันธ์กันแบบสมการเส้นตรง (รูปที่ 3ข) และสมการยกกำลัง (รูปที่ 3ค) จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์แบบสมการเส้นตรงและสมการยกกำลังพบว่า ค่าความชื้นและค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงควรมีความสัมพันธ์แบบสมการยกกำลัง ($R^2=0.71$) เพราะสอดคล้องกับธรรมชาติมากกว่าสมการเส้นตรง เพราะหากเป็นสมการเส้นตรงค่าความชื้นในดินมีโอกาสเป็นศูนย์ แต่ในธรรมชาติพบว่าน้ำในชั้นดินมีค่าสูงกว่าศูนย์

2. การศึกษาระดับลึกจากผิวดิน

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏพล็อตเทียบกับระยะห่างของการวางขั้วกระแสไฟฟ้าหรือเทียบได้กับความลึกที่กระแสไฟฟ้าเคลื่อนลงลึกสุด แสดงในกราฟ รูปที่ 4ก ซึ่งข้อมูลของการสำรวจระดับลึกจากผิวดินทั้งหมด 55 จุดสำรวจ จากรูปสามารถแยกกลุ่มของแนวการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏตามความลึกจากผิวดินได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มบริเวณเกลือ มี 13 จุดสำรวจ (รูปที่ 4ข) กลุ่มบริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏสูงในหมู่บ้านและถนน มี 33 จุดสำรวจ (รูปที่ 4ค) และกลุ่มที่ข้อมูลผิดปกติที่ตัดออกมี 9 จุดสำรวจ (รูปที่ 4ง)

2.1. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียวปนทรายและหินดินเหนียว

การศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียวปนทรายและหินดินเหนียว ที่มีน้ำเค็มอยู่

ในรูปพรุนหรือช่องว่าง ทำการวัดค่าบริเวณนาเกลือจำนวน 13 จุดสำรวจ ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏรวมทั้งสิ้น 195 ค่าที่ระดับความลึกต่าง ๆ ตั้งแต่ 0-150 เมตร ไม่มีข้อมูลของค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะปรากฏที่ผิดปกติ ที่ต้องนำมาพิจารณาใหม่เพื่อจะตัดออกหรือคงไว้แต่อย่างใด จากค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏสามารถแปลความหมายหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของ 2 ชั้นแรก คือ ดินเหนียวปนทราย ชั้นบนและดินเหนียวชั้นถัดลงไป (ตารางที่ 2 และรูปที่ 4ข) มีรูปแบบของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏคล้ายคลึงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน (Kruskal-Wallis test, $=0.05$)

จากรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏในรูปที่ 4ข มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการลดลงของความเป็นดินเหนียวหรือเป็นดินเหนียวที่มีน้ำเค็มในรูปพรุน ไกลผิวดินย่อมผุกร่อนกว่าส่วนที่อยู่ลึกลงไป ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏเพิ่มขึ้นตามความลึก

จากตารางที่ 1 และ 2 บ่งบอกว่า ดินเหนียวปนทรายที่มีน้ำเค็มอยู่ในช่องว่าง มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.25-3.10 โอห์ม-เมตร ดินเหนียวมีค่า ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.70-1.60 โอห์ม-เมตร ถ้าไม่มีน้ำเค็มแทรกค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 3.40-137.70 โอห์ม-เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายไม่สามารถแยกออกจากกันได้ และหากได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นดินเหนียวน้อยกว่า 1.60 โอห์ม-เมตร จะมีโอกาสที่จะพบมีน้ำเค็มอยู่ในรูปพรุนค่อนข้างสูง

2.2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินศิลาแลงแห้ง-ชื้น และดินดินเหนียว

การศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินศิลาแลงแห้ง ดินศิลาแลงชื้นหรือดินชื้น และดินดินเหนียว จากข้อมูล 42 จุดสำรวจ หลังจากที่ยกกลุ่มที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏเพิ่มขึ้นตาม

ความลึกและอยู่ในนาเกลือ (รูปที่ 4ข) แล้ว พบว่าจุดสำรวจที่ให้ค่าที่ผิดปกติ (outlier) ที่ต้องตัดออก จำนวน 9 จุดสำรวจ (รูปที่ 4ง) ทั้งนี้เพราะสภาพใต้ผิวดินน่าจะปรากฏของชั้นแอนไฮไดรต์แทรกเป็นเลนที่ในระดับตื้นหรือมีชั้นน้ำจืดแทรก นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งของจุดสำรวจทั้ง 9 จุดสำรวจ เป็นที่สูง จึงทำให้ค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะปรากฏผิดปกติไปจากข้อมูลส่วนใหญ่ ผลการแปลความหมายหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของตัวแทนชั้นดิน-ชั้นหิน จำนวน 33 จุดสำรวจ (ตารางที่ 3) และ กราฟแท่งแสดงการกระจายของข้อมูลแยกเฉพาะชั้นดิน-ชั้นหิน (รูปที่ 5ก-5ค)

การวิเคราะห์หาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินดินเหนียว (ตารางที่ 2 และ 3) พบค่าความแตกต่างของการกระจายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในบริเวณหมู่บ้านและถนนระหว่างหมู่บ้านสูงมีค่ากระจายตัวสูงกว่าบริเวณนาเกลือค่อนข้างมาก เนื่องจากบริเวณหมู่บ้านและถนนเป็นที่สูง น้ำผิวดินที่แทรกพรุนอาจจะไม่ใช่ น้ำเค็มจืดและมีน้ำอยู่ในรูปพรุนน้อยกว่าบริเวณนาเกลือที่มักพบคาบเกลือบนผิวดิน และจากค่าสัมประสิทธิ์การผันแปร (ตารางที่ 3) บ่งบอกว่า ดินศิลาแลงมีค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงที่มีการกระจายตัวน้อยกว่าดินดินเหนียว

2.3. ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเค็ม

การศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเค็ม ใช้เทียบเคียงกับผลการศึกษาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเค็มที่มีเกลือของ Telford et al. (1990) ที่บ่งบอกว่าน้ำเค็มที่มีเกลืออยู่ 3 ส่วน จากน้ำ 97 ส่วน (เกลือ 3 กรัม จากน้ำ 97 กรัม) มีค่า 0.15 โอห์ม-เมตร และน้ำเค็มที่มีเกลืออยู่ 20 ส่วน จากน้ำ 80 ส่วน (เกลือ 20 กรัม จากน้ำ 80 กรัม) มีค่า 0.05 โอห์ม-เมตร โดยที่น้ำทะเลมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงประมาณ 0.15-0.20 โอห์ม-เมตร ผลของการนำน้ำเกลือที่สูบขึ้นมา เพื่อผลิตเกลือในบริเวณบ่อสูบบ้านโนนแสง จำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่า น้ำเกลือ 100 กรัม มีเกลืออยู่ 28 กรัม และน้ำจืด

72 กรัม แสดงว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของน้ำเกลือในบริเวณบ้านโนนแสง มีค่าประมาณ 0.03 โอห์ม-เมตร

2.4. การประยุกต์ในการสำรวจหาโพรง

เนื่องจากบริเวณบ้านโนนแสงมีการสูบน้ำเกลือขึ้นมาตากและต้ม จึงมีปรากฏการณ์ของหลุมยุบเกิดขึ้น จึงมีการนำเอาวิธีการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึกมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจในปี 2545 และจาก สืบศักดิ์ และคณะ (2542) (รูปที่ 6ก) ผลการแปลความหมายว่ามีโพรงใต้ผิวดินในบริเวณนี้มีการปรากฏของหลุมยุบเกิดขึ้นจริง (รูปที่ 6ข) สอดคล้องกับการแปลความหมายก่อนที่จะมีการยุบตัวของพื้นดิน (สืบศักดิ์ และคณะ 2542, เพียงตา และคณะ 2545)

รูปที่ 6 (ก) สามารถแปลความหมายถึงสภาพใต้ผิวดินได้น้อย 2 กรณี (รูปที่ 6ค-6ง) กรณีที่ 1 แสดงในรูปที่ 6ค แปลความใต้ผิวดินได้ 4 ชั้น ความลึกต่างกัน โดยมีชั้นที่ 3 อยู่ในระยะ 24.0-44.0 เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง 0.14 โอห์ม-เมตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก ไม่ใช่ค่าของความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียว หรือดินเหนียวลู (ตารางที่ 1-3) ส่วนกรณีที่ 2 (รูปที่ 6ง) ชั้นที่ 3 อยู่ในระยะ 30.0-37.5 เมตร ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง 0.07 โอห์ม-เมตร ซึ่งน้อยมาก ๆ และไม่ใช่ค่าของความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินเหนียว หรือดินเหนียวลู อีกเช่นกัน (ตารางที่ 1-3) จึงน่าจะหมายถึงโพรงที่มีน้ำเค็ม

ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางการประยุกต์หาน้ำบาดาลจืด

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 5 ทำให้ทราบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของ ดินเหนียวปนทรายหากเป็นชั้นน้ำใต้ผิวดินและมีน้ำเค็มแทรก ควรจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงระหว่าง 0.25-3.10 โอห์ม-เมตร ดินเหนียวลูซึ่งค่อนข้างพบมากในบริเวณที่ราบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หากมีน้ำเค็มอยู่ในรูปุนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงอยู่ระหว่าง 0.30-10.30 โอห์ม-เมตร ดังนั้นผลการศึกษาวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นดิน-ชั้นหินใต้ผิวดิน (1) หากพบว่าชั้นที่คาดว่าให้น้ำมีค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงที่ต่ำกว่า 3.10 โอห์ม-เมตร (กรณีดินเหนียวปนทรายเป็นชั้นให้น้ำ) น่าจะให้น้ำเค็มที่ใช้อุปโภคบริโภคไม่ได้ (2) หากชั้นให้น้ำคาดว่าเป็นทรายเป็นดินเหนียว และพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 7.80 โอห์ม-เมตร น่าจะให้น้ำเค็มที่ใช้อุปโภคบริโภคไม่ได้ และ (3) หากชั้นให้น้ำคาดว่าเป็นดินเหนียวลู และพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 10.30 โอห์ม-เมตร น่าจะให้น้ำเค็มที่ใช้อุปโภคบริโภคไม่ได้

2. แนวทางการประยุกต์ตรวจหาโพรง

จากผลของการศึกษาในหัวข้อ 5 บ่งบอกว่า หากพบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยกว่า 0.25 โอห์ม-เมตร ในพื้นที่ที่ทำการสำรวจใหม่ที่อยู่ภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครที่มีโดมเกลือระดับตื้น โอกาสที่ได้ผิวดินมีโพรงหรือช่องว่างขนาดกว้างและมีน้ำเค็มขังอยู่มีความเป็นไปได้ และจะยิ่งสูงมากขึ้นตามลำดับหากพบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 0.10 โอห์ม-เมตร ที่อยู่ใกล้ผิวดินที่พบเป็นขอบเขตหรือช่วงชั้นที่มีความกว้างค่อนข้างมาก

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาขอบเขตของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นน้ำบาดาลเค็ม โดยใช้วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีผู้เคยรายงานสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน พร้อมมีหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน-ชั้นหินเทียบเคียง ดังนั้นการประยุกต์สำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึกเพื่อหาน้ำบาดาลจืด-เค็ม หากพบว่าชั้นที่คาดว่าให้น้ำเป็นดินเหนียวปนทรายมีค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะจริงที่ต่ำกว่า 3.10 โอห์ม-เมตร มีโอกาสที่จะเจาะพบน้ำเค็มที่ใช้อุปโภคบริโภคไม่ได้สูง หากชั้นให้น้ำคาดว่าเป็นทรายเป็นดินเหนียวและมีค่า

ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 7.80 โอห์ม-เมตร มีโอกาสสูงที่จะเจอปูนน้ำเค็มซึ่งไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้ หากชั้นให้น้ำเค็มว่าเป็นหินดินเหนียว และพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงต่ำกว่า 10.30 โอห์ม-เมตร โอกาสสูงที่จะได้น้ำเค็มซึ่งไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้ ผลสรุปนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่ต่างๆ ในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ที่มีสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินต่อเนื่องจากตะกอนปัจจุบันเป็นหินดินเหนียวของหมวดหินมหาสารคาม การประยุกต์การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบหยั่งลึก เพื่อตรวจสอบโพรงในพื้นที่ที่มีเกลือหินรองรับ เมื่อแปลความหมายหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง หากพบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยกว่า 0.25 โอห์ม-เมตร โอกาสค่อนข้างสูงที่ใต้ผิวดินจะโพรงหรือช่องว่างขนาดใหญ่ และมีน้ำเค็มขัง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีธรณีที่มีส่วนช่วยโครงการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

เพียงตา สาตรักษ์, จุลอง บัวผัน, สุทนต์ ทองมี, พูนจิตร ไชยทองศรี และชัยนา คำชา. 2544. รายงานการวิจัยเรื่อง การประเมินวิธีสำรวจโดยการประยุกต์ทางธรณีฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบโพรงเกลือและชั้นเกลือหินใต้ผิวดิน อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยังมี, สุรัชย์ สมผดุง, รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล, อภิชาติ บุตรพิเศษ, ประดิษฐ์ นูเล และณัด สร้อยชา. 2545. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาวิเคราะห์ และประเมินเทคนิคการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษา ตรวจสอบโพรงเกลือและชั้นเกลือหินใต้ผิวดิน ได้อย่างมีรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และประหยัด. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยังมี, สุรัชย์ สมผดุง และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2546. รายงานการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อติดตามตรวจสอบโพรงเกลือใต้ผิวดินที่เกิดจากการสูบน้ำเกลือ. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยังมี, สุรัชย์ สมผดุง และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2547. รายงานการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินและการประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่จะเกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือใต้ผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาตรักษ์, วินิจ ยังมี และสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์. 2548. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาขอบเขตรอยต่อน้ำบาดาลจืด-น้ำบาดาลเค็ม และโพรงใต้ผิวดินโดยใช้วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยไฟฟ้า. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สืบศักดิ์ ศลโกสม, กัมปนาท แผลมพูลทรัพย์ และอุทร ปรีชาลักษณ์. 2542. รายงานการสำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบโพรงใต้ดินที่เกิดจากการทำนาเกลือ บริเวณบ้านโนนแสง ตำบลหนองกวาง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร. กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพมหานคร:

- Archie, G.E. 1942. The electrical resistivity logs as an aid in determining some reservoir characteristics: **Trans. American Institute Mineral, Metal and Petroleum Engineering**. 54-62
- Jenkunawat, P. 2005. **Results of drilling to study occurrence of salt cavities and surfacee subsidence Ban Non Sabaeng and Ban Nong Kwang, Amphoe Ban Muang, Sakon Nakhon.**, In: Wannakao, L, Youngmee, W., Sirsuk, K., and Lertsirivorakul, R. (eds), Proceedings on International Conference on Geology Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005), 28-30 November 2005: Khon Kaen, Thailand. 259-267.
- Keller, G.V., and Frischknecht, F. C. 1966. **Electrical methods in geophysical prospecting.** Pergamon Press.
- Satarugsa, P., Youngmee, W., and Meesawat, S. 2005. **New regional boundary of Maha Sarakham Formation in the Northern Thailand: Results from 2D seismic mapping.** In: Wannakao, L, Youngmee, W., Sirsuk, K., and Lertsirivorakul, R. (eds), Proceedings on International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005), 28-30 November 2005: Khon Kaen, Thailand. 212-220.
- Simandoux, P. 1963. **Mesures dielectrique en milloux poreux, application a mesure des saturation en eaux, etude du comportement des massifs argileux:** Rev. de l'institut Francais du Petrole, Supplementary issue. (cited by Ward, 1990)
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A. 1990. **Applied Geophysics.** 2nd ed, Cambridge University Press.
- Ward, S.H. 1990. Resistivity and induced polarization methods. In: Ward, S.H. (ed.), **Geotechnical and environmental geophysics:** Tulsa: Society of Exploration Geophysicists. 147-189.

ตารางที่ 1 กลุ่มดินตัวอย่าง จำนวนของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงทั้งหมดที่วัดจากกลุ่มดินตัวอย่าง (N) ค่าความชื้นเฉลี่ย ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยสุด-มากที่สุด (R) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงเฉลี่ย (X) ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (COV) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (SD)

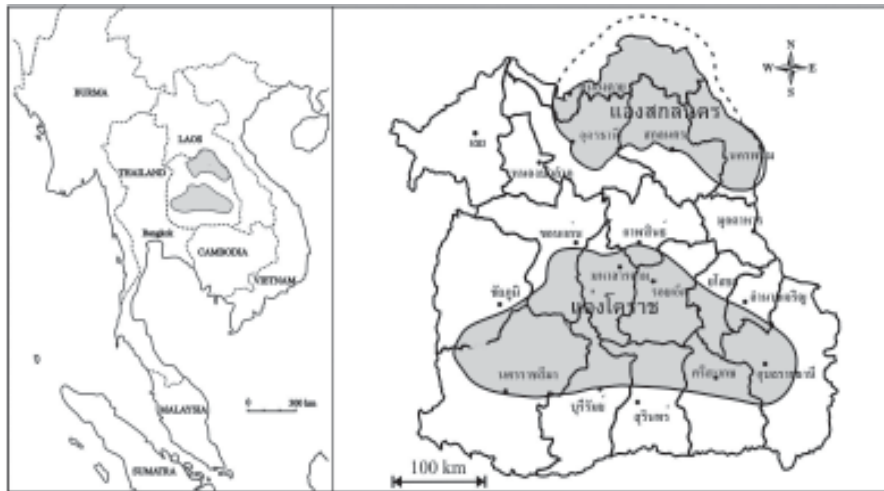
กลุ่มดินตัวอย่าง	N	ค่าความชื้นเฉลี่ย (%)	R (Ω -m)	X (Ω -m)	COV (Ω -m)	SD (Ω -m)
ดินเหนียวปนทราย มีคาบเกลือ คลุมพื้นที่ ไม่มีต้นไม้	154	18.00	0.30-3.10	0.83	0.66	0.55
ทรายปนดินเหนียว มีคาบเกลือ คลุมพื้นที่ ไม่มีต้นไม้	132	9.31	1.30-7.80	3.73	0.37	1.44
หินดินเหนียวผุ ไม่คาบเกลือและ ต้นไม้	44	8.63	3.40-137.70	27.42	1.19	32.71

ตารางที่ 2 จำนวนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (N) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยสุด-มากที่สุด (R) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงเฉลี่ย (X) ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (COV) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (SD) จากผลของการสำรวจแบบหยั่งลึก

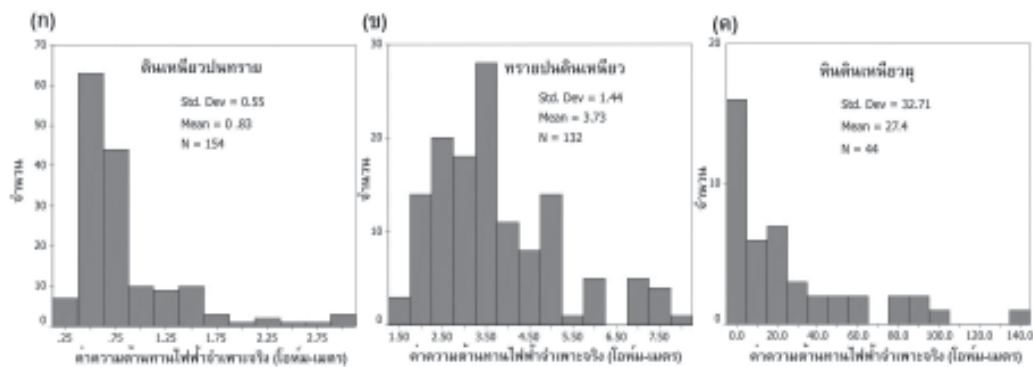
กลุ่มตัวอย่าง	N	R (Ω -m)	X (Ω -m)	COV (Ω -m)	SD (Ω -m)
ดินเหนียวปนทราย ชั้นบนมีคาบเกลือ	13	0.25-1.80	0.87	0.55	0.48
หินดินเหนียวผุ ชั้นถัดลงไป มีน้ำเค็มในรูพรุน	13	0.70-1.60	1.15	0.24	0.28

ตารางที่ 3 จำนวนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (N) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงน้อยสุด-มากที่สุด (R) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงเฉลี่ย (X) ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (COV) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (SD) จากผลของการสำรวจแบบหยั่งลึก

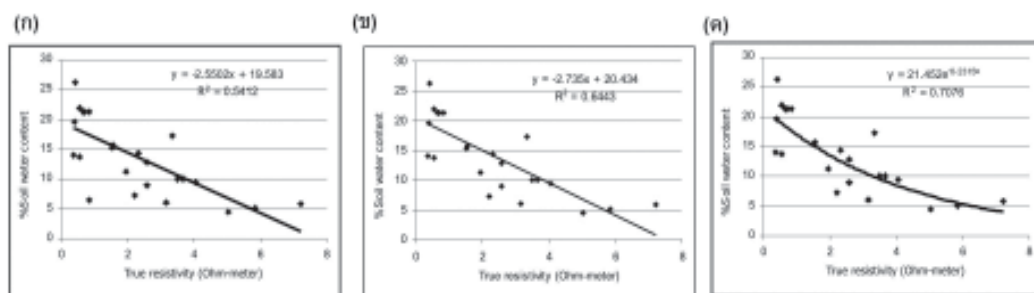
กลุ่มตัวอย่าง	N	R (Ω -m)	X (Ω -m)	COV (Ω -m)	SD (Ω -m)
ดินศิลาแลงแห้ง	33	5.90-1500.00	379.6	0.93	355.15
ดินศิลาแลงชื้นหรือดินชั้น	33	1.50-89.00	19.14	1.28	24.52
หินดินเหนียวผุ	33	0.30-10.30	2.14	1.06	2.26



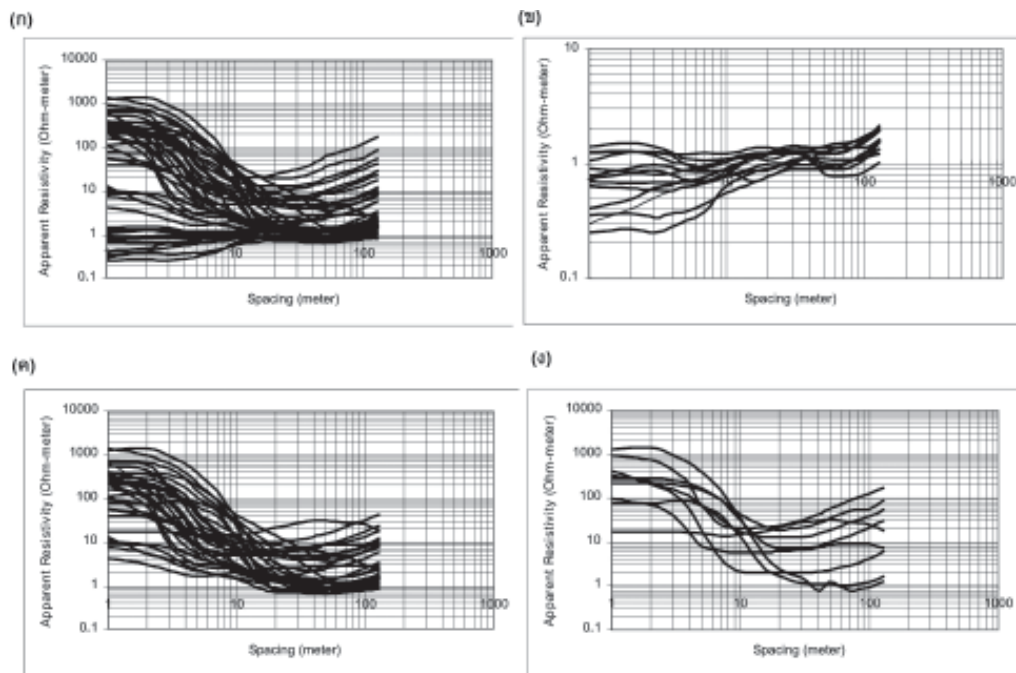
รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (รูปซ้ายมือ) และรูปขวามือเป็นแผนที่แสดงขอบเขตจังหวัดและขอบเขตแอ่งที่มีเกลือหินใต้ผิวดิน (Sataugsa et al., 2005)



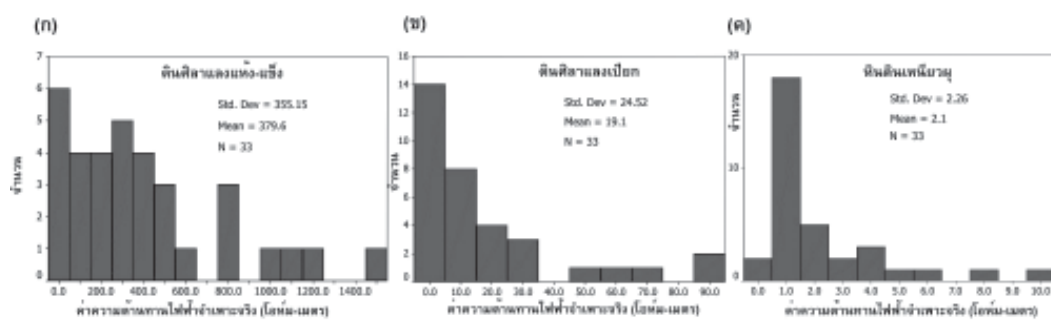
รูปที่ 2 กราฟแท่งแสดงรูปแบบการกระจายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงใกล้ผิวดิน (ก) กลุ่มดินเหนียวปนทราย (ข) กลุ่มทรายปนดินเหนียว (ค) กลุ่มหินดินเหนียว



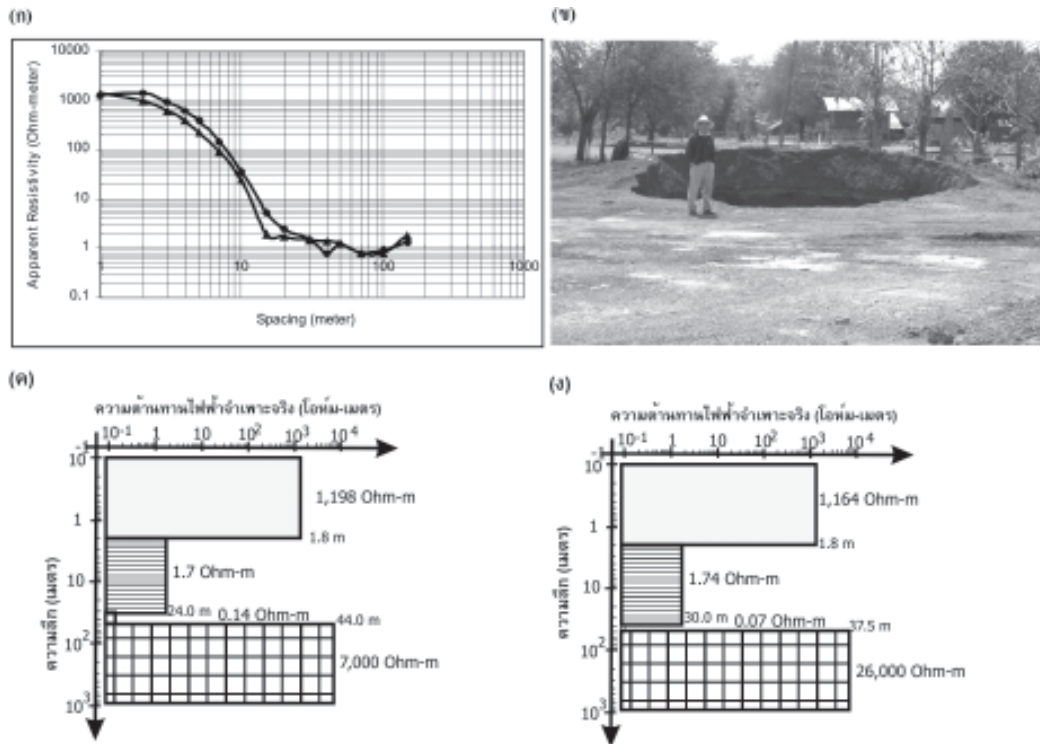
รูปที่ 3 กราฟระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงและความชื้นในดินในระดับตื้นใกล้ผิวดินของกลุ่มตัวอย่างดินเหนียวปนทรายและทรายปนดินเหนียว (ก) ข้อมูล 26 ตัวอย่าง (ข) ข้อมูล 25 ตัวอย่าง (ตัดออก 1 ตัวอย่าง) และแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบสมการเส้นตรง (ค) ข้อมูล 25 ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบสมการยกกำลัง



รูปที่ 4 กราฟระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏและระยะห่างของขั้วกระแสไฟฟ้าของการสำรวจระดับลึก (ก) จำนวน 55 จุดสำรวจที่ไม่ได้แยกกลุ่ม (ข) กลุ่มที่มีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏต่ำและมีแนวโน้มสูงมากขึ้นตามความลึก จำนวน 13 จุดสำรวจ (ค) กลุ่มที่มีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏสูงที่ระดับใกล้ผิวดินน้อยระดับกลางและสูงระดับลึกจากผิวดิน (ง) กลุ่มที่มีลักษณะผิดปกติไม่สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่ม (ข) และ (ค)



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงรูปแบบการกระจายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงที่วัดได้ในสามระดับลึกจากผิวดินจำนวน 33 จุดสำรวจ แปลความหมายหาชั้นดิน-ชั้นหินตามความลึกจากผิวดินถึงหินดินเหนียว (ก) กราฟแท่งของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของดินศิลาแลงแดง (ข) ดินศิลาแลงเปือกที่อยู่ต่อดินศิลาแลงแดง (ค) กลุ่มหินดินเหนียว



รูปที่ 6 (ก) กราฟระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏและระยะห่างของขั้วกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 จุดสำรวจที่สำรวจใกล้เคียงกัน สัญลักษณ์วงกลมข้อมูลในปี 2542 สัญลักษณ์สามเหลี่ยมข้อมูลในปี 2545 (ข) หลุมยุบที่ข้อมูลจากจุดสำรวจในรูป (ก) ได้ตรวจวัดก่อนมีการยุบ (ค) ผลการแปลความหมายใต้ผิวดิน พบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงที่ระยะ 24.0-44.0 เมตร มีค่า 0.14 โอห์ม-เมตร (ง) การแปลความหมายใต้ผิวดินที่ระยะ 30.0-37.5 เมตร มีค่า 0.07 โอห์ม-เมตร