

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะใต้ผิวดิน ในพื้นที่ที่มีการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินกว้างขึ้นตามลำดับ

Factors Influencing Subsurface Resistivity Variation in Gradually Expanding Subsurface Cavity Areas

เพียงตา สาทรรักษ์ (Peangta Satarugsak)^{1*}

เด่นโชค มั่นใจ (Denchoke Marnjai)²

สุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์ (Suvijuk Meesawat)³

บทคัดย่อ

การประยุกต์สำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบ 2 มิติ เพื่อติดตามลักษณะการขยายตัวของหลุมยุบและโพรงใต้ผิวดินและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในบริเวณที่มีโพรงใต้ผิวดินขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ได้ทำการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพใต้ผิวดิน โดยมีแนวสำรวจยาว 380 เมตร บริเวณหลุมยุบบ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร แนวสำรวจได้วางใกล้กับหลุมยุบที่มีการขยายกว้างมากขึ้นตามลำดับ โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงเคลื่อนต่ำลงสู่ดินในระดับความลึกประมาณ 55 เมตรใต้ผิวดิน พร้อมกับวัดค่าความต่างศักย์เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ทำการวัดซ้ำที่เดิมจำนวน 7 ครั้ง ในระหว่างปี 2545-2549 โดยเว้นช่วงเวลาของการวัด ผลการศึกษาพบว่า (1) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดได้ตำแหน่งเดียวกัน 7 ครั้ง เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่คล้ายคลึงกันโดยใช้หลักสถิติ (Kruskal-Wallis test, $\alpha = 0.05$) ตรวจสอบ สามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยต่ำจำนวน 4 ครั้ง และกลุ่มที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงจำนวน 3 ครั้ง ลักษณะปรากฏของหลุมยุบที่จัดเข้าในกลุ่มที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำพบว่าขณะทำการสำรวจหลุมยุบมีน้ำขังในหลุม ส่วนกลุ่มที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง พบว่าขณะทำการสำรวจหลุมยุบไม่มีน้ำขัง การจัดกลุ่มของข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กับการขยายตัวของความกว้างของปากหลุมยุบหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมยุบที่ขยายกว้างเพิ่มขึ้นตามลำดับแต่อย่างใด ซึ่งแปลความหมายได้ว่าความกว้างของหลุมยุบไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญที่จะเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับขนาดความกว้างที่เพิ่มขึ้นของหลุมยุบอย่างมีนัยสำคัญ (2) ผิวนอกบนของเกลือหินใต้ตำแหน่งหลุมยุบมีการละลายและเว้าลึกลงเป็นแอ่งขยายมากขึ้นตามลำดับ สอดคล้องกับความกว้างของปากหลุมยุบที่ปรากฏที่ผิวดิน แสดงให้เห็นว่าเกลือหินใต้ผิวดินได้ละลายออกไปและหลุมยุบจะมีการขยายต่อไปในอนาคตอย่างต่อเนื่อง

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²นักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

³นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*corresponding author, e-mail: peangta@kku.ac.th

Abstract

A two-dimensional resistivity survey for mapping and monitoring subsurface cavity expansion was conducted to determine physical and geological factors that could cause lateral and vertical resistivity variations. Seven repeated measurements of 2D apparent resistivity data were acquired at different times from 2002–2006. The length of the 2D resistivity survey line was 380 meters and was located nearly across the sinkhole surface location at Ban Bo Dang, Amphoe Ban Muang, Changwat Sakon Nakorn. Results from the four-year measurements of subsurface cavity expansion revealed that (1) the means of seven repeated data could be divided into two groups by using the Krustal–Wallis test ($\alpha = 0.05$). Group I has four repeated data and they were measured while the sinkhole was filled with water whereas Group II has three repeated data and they were measured while the sinkhole was filled with air. Thus water in the cavity is a major significant factor causing vertical and lateral apparent resistivity variations. Gradual increase of cavity diameter together with near-surface soil collapsing into the cavity appear to be insignificant factors causing vertical and lateral apparent resistivity variations. (2) Dissolution of rock salt from a bowl shape located underneath the sinkhole location appears to correspond to the expansion of sinkhole diameter and the sinkhole will continue to collapse.

คำสำคัญ: การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะ โพรงใต้ผิวดิน เกลือหิน

Keywords: Resistivity survey, subsurface cavity, rock salt

บทนำ

แอ่งโคราชและแอ่งสกลนครครอบคลุมพื้นที่ประมาณหนึ่งในสามของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าใต้ผิวดินของทั้งสองแอ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงอันเกิดเนื่องจากการละลายออกไปของเกลือหิน โดยโพรงที่เกิดขึ้นอาจมีอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินยุบ หากชั้นเกลือหินที่อยู่ระดับตื้นมีการปูดเป็นรูปโดม โอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินยุบของพื้นที่บนยอดโดมย่อมเป็นไปได้สูงเมื่อมีการละลายออกของชั้นเกลือหินไปอย่างต่อเนื่องจะเกิดช่องว่างหรือโพรงขึ้น และเมื่อช่องว่างหรือโพรงมีขนาดกว้างประกอบกับน้ำหนักกดทับบนผิวดินโพรงด้านบนมีมาก เกินอัตราการรับน้ำหนักของดิน-หินบนผิวดิน จึงทำให้เกิดการยุบตัวของผิวดินด้านบน เกิดเป็นหลุมยุบขึ้น

ปัจจุบันแม้การเกิดแผ่นดินยุบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปรากฏให้เห็นประปราย เช่น

ที่บ้านวัง อำเภอนโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา บ้านโนนแสงและบ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร บ้านจำปาดง อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร เป็นต้น เมื่อปรากฏการณ์ของแผ่นดินยุบมีประปรายและยังไม่มี ความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนมากนัก ความสนใจในการตรวจหาโพรงเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่างๆ จึงยังไม่ได้มีความต้องการเร่งด่วนในการศึกษารายละเอียด แต่สำหรับประชาชนที่พบว่าตำแหน่งของหลุมยุบเกิดอยู่ใกล้กับที่อยู่อาศัยของตน ย่อมมีความวิตกกังวลในความไม่ปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สิน จึงต้องการทราบว่าบริเวณที่อยู่อาศัยของตนนั้นมีโพรงใต้ผิวดินที่อาจจะมีโอกาสเกิดการยุบตัวลงหรือไม่ เมื่อเป็นเช่นนี้หากสามารถตรวจหาโพรงใต้ผิวดินได้ด้วยวิธีการสำรวจที่ได้รวดเร็วและประหยัด ก็จะเป็นการช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากการยุบตัวของแผ่นดิน หรือบรรเทาความวิตกกังวลในเรื่องของแผ่นดินยุบได้

บทความนี้เป็นงานศึกษาวิจัยของ เพียงตา และคณะ (2544; 2545; 2546; 2547) ที่ได้ประยุกต์นำเอาการสำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบหาชั้นเกลือหินและโครงข่ายใต้ผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้ทำประยุกต์สำรวจด้วยคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเหและแบบสะท้อน วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ และวัดค่าความนำไฟฟ้า ผลของการศึกษาพบว่า การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบ 2 มิติ สามารถแปลความหมายหาสภาพโครงข่ายใต้ผิวดินได้ดีและประหยัดกว่าการสำรวจคลื่นสั้นสะท้อนและวัดค่านำไฟฟ้า (หรือดูเพิ่มเติมใน Nelson and Haigh, 1990; van Schoor, 2002)

บทความนี้เสนอผลการติดตามลักษณะการขยายตัวของโครงข่ายใต้ผิวดิน และผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในบริเวณที่มีการขยายตัวของโครงข่ายที่กว้างมากขึ้นตามลำดับ ช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในบทความวิจัยนี้เริ่มในเดือนธันวาคม 2545 สิ้นสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2549

วิธีการศึกษา

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

การเก็บข้อมูล ทำโดยวางขั้วแบบ Wenner เพราะให้ผลดีในการตรวจหาโครงข่าย (เพียงตา และคณะ, 2545; 2546; Satarugsa et al., 2005) ความกว้างของขั้วที่ปล่อยกระแสที่ระยะ $a=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$, และ 100 เมตร ตามลำดับ ทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะแบบสร้างภาพตัดขวางแนวสำรวจยาว 380 เมตร ในพื้นที่บ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร (รูปที่ 1) พื้นที่ศึกษามีสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินเป็นดินเหนียวปนทราย ดินเหนียว

หินดินเหนียว และเกลือหิน (รูปที่ 2) ได้ทำการสำรวจทับแนวเดิม 7 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน คือ ครั้งที่ 1 เดือนธันวาคม 2545 ครั้งที่ 2 เดือน มีนาคม 2546 ครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน 2546 ครั้งที่ 4 เดือนกุมภาพันธ์ 2547 ครั้งที่ 5 เดือนพฤษภาคม 2547 ครั้งที่ 6 เดือนกุมภาพันธ์ 2548 และ ครั้งที่ 7 เดือนกุมภาพันธ์ 2549 แปลความหมายข้อมูลดิบจากการสำรวจ โดยการสร้างภาพตัดขวางใต้ผิวดินเทียม (pseudosection) โดยใช้โปรแกรม RES2DINV (Loke, 1999) และ SPSS for window ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อตกลงที่ใช้เทียบเคียงในการแปลความหมายผลการศึกษานี้มี 3 ประการ คือ

(1) ภาพถ่ายของหลุมยุบที่บันทึกไว้ในปี 2545-2549 และกราฟ (รูปที่ 3) ที่พบการขยายตัวของหลุมยุบ จากรูปจะสังเกตเห็นการขยายตัวของหลุมยุบเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ซึ่งอัตราการขยายตัวของหลุมยุบใกล้เคียงกับการทำนายการขยายความกว้างของหลุมยุบ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ตามผลการศึกษาของ เพียงตา และคณะ (2547) ทั้งนี้หลุมยุบนี้ยังไม่มีมีการนำดินมาถม จึงทำให้ เพียงตา และคณะ (2547) สามารถคาดการณ์ขนาดความกว้างของหลุมยุบที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องล่วงหน้าได้ หรือทำนายได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการเส้นตรงที่ได้วิเคราะห์ขึ้นใหม่ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลเพิ่มเติม 2 ตำแหน่ง คือข้อมูลตรวจวัดในเดือนที่ 41 และ 53 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเทียบเคียงได้ว่า การขยายตัวของหลุมยุบจะบ่งบอกว่าโครงข่ายใต้ผิวดินมีการขยายตัวตามความกว้างของหลุมยุบเพิ่มขึ้น

(2) สภาพของหลุมยุบ เปรียบเทียบวันที่บันทึกภาพไว้เมื่อทำการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ พบว่าหลุมยุบบางครั้งมีน้ำขังและบางครั้งแห้ง แม้ว่าเป็นเดือนเดียวกันแต่ต่างปี นอกจากนี้ยังมีปริมาณน้ำในหลุมแตกต่างกันด้วย ดังนั้นเทียบเคียงได้ว่าการที่หลุมยุบมีน้ำขังแสดงว่าโครงข่ายใต้หลุมยุบมีน้ำขังอยู่ภายใน

(3) ผนังของหลุมยุบที่พบเป็นหินดินเหนียว ผุ สีน้ำตาลแดง และสีเทาของหมวดหินมหาสารคาม แสดงว่าลำดับชั้นของหินดินเหนียวจะเป็นชั้นเกลือหิน เมื่อเกลือหินละลายออกไปตรึงรอยต่อของหินดินเหนียวและชั้นเกลือหิน (รูปที่ 2) ทำให้เกิดเป็นโพรง และมีปรากฏของหลุมยุบนั่นเอง

ผลการศึกษา

1. ผลการตรวจสอบเชิงตัวเลขทางสถิติเพื่อแปลความหมายสภาพธรณีวิทยา

ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 4 เพื่อดูการกระจายของข้อมูลและลักษณะแนวโน้มสู่ศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกของข้อมูลสำรวจทั้ง 7 ครั้งพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมีการกระจายตัวมากที่สุดที่ระดับดินใกล้ผิวดิน หรือที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าสั้น ๆ และลดลง หรือที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้ากว้างมากขึ้นตามลำดับ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวของดินชั้นบนมีมากกว่าชั้นล่าง ทั้งนี้เพราะข้อมูลมีการกระจายตัวมาก พิจารณาเปรียบเทียบค่าแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยตามความลึก หรือเทียบได้กับตามระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ปล่อยกระแสพบว่าการวางขั้วไฟฟ้าที่ระยะห่าง 10 และ 20 เมตรให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่เหมือนกันมาจากกลุ่มเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตรวจสอบโดยใช้สถิติแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Kruskal-Wallis test)) และที่ระยะ 30 และ 40 เมตรให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่เหมือนกันมาจากกลุ่มเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะการวางขั้วไฟฟ้าที่ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามความลึกจากระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 10 - 100 เมตร หรือเทียบความลึกจาก 0 - 55 เมตร (Telford et al., 1990; Loke, 1999) พบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของสภาพใต้ผิวดินที่ช่วงระยะประมาณ 0-11 เมตร และ

ช่วงที่ความลึกประมาณ 0-22 เมตร หรือที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 10 และ 20 เมตร) มีความคล้ายคลึงกัน ส่วนที่ช่วงความลึกอื่นๆ เช่น 0-33, 0-44 หรือ 0-55 หรือที่ช่วงระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ 30, 40, 50, ...100 เมตร แตกต่างกัน ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มรวมกันได้ (หมายเหตุ: การแปลความหมายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่อ่านในสนาม (raw data) เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (apparent resistivity) ที่ยังไม่ได้ผ่านการแปลความหมายให้เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (true resistivity) หรือเรียกว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏจึงต้องพิจารณาจากผิวดินลงไป เพราะกระแสถูกปล่อยจากผิวดิน (Telford et al., 1990; Kearey and Brooks, 1991; Loke, 1999; เพียงตา, 2550)

ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 5 เพื่อดูการกระจายของข้อมูลและลักษณะแนวโน้มสู่ศูนย์กลางพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการวัด และผลการตรวจสอบความผิดปกติของค่ามากที่สุด-น้อยสุด (outlier) เชิงสถิติ พบว่าข้อมูลบางบริเวณมีค่ามากผิดปกติ (extreme value) ดังแสดงด้วยเครื่องหมาย “*” ในภาพ ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นไม่ได้ตัดค่าที่มากผิดปกติออกแต่อย่างใด เพราะค่าความผิดปกติพบคล้ายกันในทุกครั้งที่ทำการตรวจวัดจากค่าการกระจายค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะพบว่า ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2547 มีค่าการกระจายตัวสูงกว่าข้อมูลในเดือนอื่นๆ ส่วนในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546 มีการกระจายตัวน้อยที่สุด (ตารางที่ 2 และรูปที่ 5)

ค่าแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางและการกระจายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (รูปที่ 5) แตกต่างกันอย่างชัดเจน แม้ว่าเป็นแนวสำรวจเดิม ใช้อุปกรณ์และเทคนิคแบบเดียวกัน ความแตกต่างของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจึงอาจเกิดจากสภาพใต้ผิวดินและบนพื้นดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาอย่างต่อเนื่อง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีความไม่คงที่ของมวลสารในพื้นที่

ที่ศึกษา ส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดตำแหน่งเดียวกัน ที่มีระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากันมีค่าที่แตกต่างกัน จากผลการตรวจสอบสภาพลักษณะของการกระจายของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดในแต่ละครั้ง พบว่าเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ (non normal distribution) ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจึงใช้วิธีแบบไม่มีพารามิเตอร์ (non-parametric test, Mann-Whitney U test และ Kruskal-Wallis test ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$) เพราะวิธีการนี้ไม่ได้จำกัดรูปแบบของการกระจายของข้อมูล (เพียตนา, 2550)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการหาค่าแนวโน้มนำเข้าสู่ศูนย์กลางของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยในการสำรวจซ้ำแนวเดิมจำนวน 7 ครั้ง พบว่าสามารถแยกได้เป็นสองกลุ่ม (รูปที่ 6) โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มของข้อมูลที่เก็บในเดือนธันวาคม 2545 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.65 โอห์ม-เมตร) เดือนมีนาคม 2546 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.60 โอห์ม-เมตร) เดือนพฤศจิกายน 2546 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.59 โอห์ม-เมตร) และ เดือนกุมภาพันธ์ 2549 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.61 โอห์ม-เมตร) และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มของข้อมูลที่เก็บในเดือนกุมภาพันธ์ 2547 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.72 โอห์ม-เมตร) เดือนพฤษภาคม 2547 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.86 โอห์ม-เมตร) และเดือนกุมภาพันธ์ 2548 (ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย 1.76 โอห์ม-เมตร)

2. ผลการศึกษาด้วยการสร้างภาพจำลองเพื่อแปลความหมายธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

ผลการแปลความหมายธรณีวิทยาใต้ผิวดินจากค่าความต้านไฟฟ้าจำเพาะ (รูปที่ 6) ที่วัดได้ที่มีการวางระยะห่างของขั้วไฟฟ้าต่างระยะกันของข้อมูลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ (ข้อมูลดิบ (raw data) และลักษณะข้อมูลจำลองที่สร้างขึ้น (predicted resistivity data) ดูเพิ่มเติมจากรายงานวิจัยของ เพียตนา และคณะ (2548)) โดยรูปที่ 6 แสดงเฉพาะภาพที่แปลความหมายสมบูรณ์แล้ว และเป็นภาพตัดขวางเทียมของสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

ในขณะที่ทำการสำรวจแต่ละครั้งในแนวสำรวจเดิม เพื่อให้เห็นความแตกต่างของสภาพใต้ผิวดินที่วัดต่างช่วงเวลากัน สภาพใต้ผิวดินที่วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในเดือนเดียวกันแต่คนละปี (รูปที่ 7) พร้อมลักษณะสภาพบนผิวดินที่ดูได้จากภาพถ่ายของบริเวณที่ทำการสำรวจ จากผลของการสำรวจและแปลความหมาย (รูปที่ 6 และ 7) มีผลดังนี้

2.1 ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามแนวระนาบและแนวตั้ง (horizontal and vertical variation) โดยที่การเปลี่ยนแปลงในแนวระนาบที่ตำแหน่ง 160-320 เมตร ตามแนวสำรวจ และลึกจากผิวดินลงไป 10 เมตร พบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงอย่างเด่นชัดทั้ง 7 ครั้ง ส่วนที่ระยะ 0-160 เมตร ตามแนวสำรวจ และความลึกจากผิวดินถึงความลึก 10 เมตร ใต้ผิวดิน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในแนวระนาบสูงซึ่งแสดงความไม่เป็นเนื้อเดียวเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาของผิวดินและใต้ผิวดิน ที่ระยะ 320-380 เมตร ตามแนวสำรวจ และความลึกจากผิวดินถึง 10 เมตรใต้ผิวดิน พบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำมีการเปลี่ยนแปลงในแนวระนาบน้อย ที่ระยะ 0-180 เมตร และที่ระยะ 270- 80 เมตร ตามแนวสำรวจ เป็นพื้นที่ที่เคยมีการทำนาเกลือมาก่อน มีคราบเกลือตามผิวดินในส่วนที่ระยะ 190-260 เมตร ตามแนวสำรวจ เป็นดินที่มาจากหินดินเหนียวที่ขุดขึ้นมาจากหนองน้ำที่พบหลุมยุบดินเป็นหินดินเหนียวที่มีลักษณะแห้งกว่าบริเวณใกล้เคียงมาก แปลความหมายได้ว่าน่าจะเป็นส่วนที่ทำให้พบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะใกล้ผิวดินสูงกว่าบริเวณข้างเคียงอย่างเด่นชัด

2.2 ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงที่ความลึกตั้งแต่ 40 เมตรใต้ผิวดินลงไป มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวตั้งเพิ่มขึ้นตามลำดับ แปลความหมายได้ว่าน่าจะเป็นเกลือหินที่รองรับอยู่ด้านล่าง (รายละเอียดที่สนับสนุนว่าบริเวณที่ความลึกประมาณ 40 เมตรลงไปเป็นบริเวณหลุมยุบ เป็นเกลือหินดูจากผลการศึกษาภาพการวางตัวของเกลือหินรูปโดมของบ้านโนนแสงและบ้านบ่อแดงได้จากการศึกษาของ

เพียงตา และคณะ (2547)) จากรูปที่ 7 บ่งบอกว่า ในแนวระนาบผิวนของเกลื่อนหินมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเว้าลึกลงเรื่อย ๆ ตามกาลเวลา หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ผลของการสำรวจใต้ผิวดินบริเวณที่ปรากฏของชั้นเกลื่อนหิน จากปี พ.ศ. 2545 - 2549 (รูปที่ 7) พบการเว้าลึกของผิวนของเกลื่อนหินเป็นรูปแอ่งที่มีความลึกเพิ่มมากขึ้นตามขนาดความกว้างของหลุมยุบที่กว้างเพิ่มมากขึ้น

2.3 ลำดับชั้นหินที่ช่วงความลึกประมาณ 10 - 40 เมตร เป็นหินดินเหนียวที่มีน้ำแทรกตามรอยแตกและช่องว่าง พบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำสุด ซึ่งจากข้อมูลในการตรวจวัดในสนามพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ 2549 มีค่า 0.46 โอห์ม-เมตร เนื่องจากเป็นขอบเขตบริเวณใต้หลุมยุบ ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนของการเว้าลึกลงของผิวนของเกลื่อนหินที่วางตัวอยู่ใต้หินดินเหนียว การเว้าลึกลงเกิดจากการละลายของเกลื่อนหินในผิวนของ เนื่องจากเกลื่อนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมาก (Telford et al., 1990; เพียงตา และคณะ, 2546) เมื่อเกลื่อนละลายออกไปจากการที่มีน้ำไหลผ่านเข้า-ออก อันเป็นผลของการไหลของน้ำบาดาล หรือดินเหนียวที่อยู่ติดกับผิวนของเกลื่อนร่วงหล่นลงไปแทนที่ช่องว่างของเกลื่อนหินที่ละลายออกไป ทำให้พบ ช่วงการเปลี่ยน (transition) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ชั้นรอยต่อของเกลื่อนและหินดินเหนียว

วิจารณ์และเสนอแนะ

จากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน 7 ครั้ง สามารถจัดกลุ่มของข้อมูลได้สองกลุ่ม ตามผลของการเปลี่ยนแปลงค่าแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่สอดคล้องกัน ซึ่งบ่งบอกถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ทำการสำรวจมีผลต่อค่าความแตกต่างของความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โดยพิจารณาจากภาพถ่ายของสภาพของพื้นดินและหลุมยุบในระหว่างที่ทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะทุกครั้งที่ทำการสำรวจ พบว่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้ของกลุ่มแรก

พบสภาพธรณีวิทยาที่ผิวดินของบริเวณปากหลุมยุบมีน้ำขัง กลุ่มที่สองพบสภาพธรณีวิทยาที่ผิวดินของบริเวณปากหลุมไม่มีน้ำขัง การขยายตัวของความกว้างของหลุมยุบที่ขยายกว้างมากขึ้นตามลำดับไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญ เพราะการจัดกลุ่มของข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กับการขยายตัวของปากหลุมแต่อย่างใด ดังนั้น ผลของการศึกษาในครั้งนี้สรุปว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในบริเวณหลุมยุบ คือน้ำที่ขังอยู่ในหลุมยุบ แม้ปากของหลุมยุบหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมยุบจะกว้างขึ้นตามลำดับและดินในพื้นที่ได้มีการเคลื่อนย้ายมวลดิน (ดินจากผิวดินยุบลงไปในโพรงใต้ผิวดิน) ไม่ได้มีอิทธิพลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใดที่จะสามารถจัดกลุ่มได้ (ในการจัดกลุ่มได้ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้การเปรียบเทียบแบบไม่มีพารามิเตอร์)

จากภาพตัดขวางเทียมของสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินบริเวณหลุมยุบในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แปลความหมายได้ว่าผิวด้านบนของชั้นเกลื่อนหินได้ละลายและเว้าลึกเป็นรูปแอ่งลงในบริเวณที่เป็นหลุมยุบ การละลายบนผิวดินเกลื่อนบริเวณนี้มีเพิ่มขึ้นตามลำดับหลุมยุบจึงมีการขยายตัวเนื่องจากการละลายของเกลื่อนหินนี้ของเหลวหรือน้ำที่ปรากฏอยู่ในช่องหรือโพรงจะละลายเกลื่อนจนถึงจุดอิ่มตัวแล้วเกลื่อนจะไม่ละลายเพิ่มอีก แต่หากมีมวลน้ำเคลื่อนย้ายเข้า-ออก ตลอดเวลาเกลื่อนก็จะละลายมากขึ้น ปากหลุมยุบที่ขยายเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผิวนของเกลื่อนที่เว้าลึกลงเป็นรูปแอ่ง แสดงว่ามวลของเหลวหรือน้ำมีการเคลื่อนย้ายทำให้ผิวด้านบนเกลื่อนบริเวณใต้หลุมยุบละลายออกไป ดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดหลุมยุบขยายตัวกว้างขึ้นในอนาคต คือ ป้องกันไม่ให้มวลของเหลวหรือน้ำมีการเคลื่อนย้ายออกไปหรือเข้ามา จากการสำรวจพื้นที่ใกล้เคียงพบว่ามีการสูบน้ำเกลื่อนใต้ผิวดินขึ้นมาทำนาเกลือ อาจเป็นการเร่งให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลของเหลวหรือน้ำผ่านผิวด้านบนเกลื่อนหินในบริเวณนี้เร็วขึ้นกว่าการเกิดเองตามธรรมชาติ หลุมยุบนี้จึงมีแนวโน้มที่จะขยายตัวกว้างออกไปอย่างต่อเนื่อง

สรุปผลการศึกษา

ผลของการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อหาโครงข่ายและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในแนวดิ่งและในแนวระนาบในบริเวณข้างหลุมยุบที่พบการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลสำรวจซ้ำที่เดิมจำนวน 7 ครั้ง ระยะทางของแนวสำรวจ 380 เมตร เก็บข้อมูลลึกประมาณ 55 เมตรจากผิวดิน พบว่า (1) ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่งดังนี้ ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ระยะประมาณ 0 - 11 เมตร และที่ความลึกประมาณ 0 - 22 เมตร มีความคล้ายคลึงกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ส่วนที่ความลึกอื่นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มรวมกันได้ (2) จากการตรวจสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่คล้ายคลึงกัน สามารถจัดกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบไม่มีพารามิเตอร์ซึ่งจัดได้ 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งพบว่าขณะสำรวจหลุมยุบมีน้ำขังอยู่ภายใน ทำให้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยต่ำ ส่วนกลุ่มที่สองพบว่าหลุมยุบไม่มีน้ำขังทำให้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยสูง การขยายตัวของความกว้างของหลุมยุบไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญ (3) สภาพใต้ผิวดินใต้หลุมยุบบ้านบ่อแดง บ่งบอกผิวนของชั้นเกลือหินเกิดการละลายและเว้าลึกลงเป็นแอ่ง แสดงว่าการทำละลายของผิวนของเกลือหินบริเวณใต้หลุมยุบเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง หลุมยุบจึงเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น และบ่งบอกว่ามวลของเหลวหรือน้ำใต้ผิวดินในบริเวณหลุมยุบได้มีการเคลื่อนย้าย เกลือหินจึงละลาย หลุมยุบจึงขยายตัวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผิวนของเกลือที่เว้าลึกลง การที่จะป้องกันไม่ให้หลุมยุบขยายตัวกว้างขึ้นในอนาคต คือการป้องกันไม่ให้มวลของเหลวหรือน้ำมีการเคลื่อนย้าย เพราะหากของเหลวหรือน้ำเกลือถึงจุดอิ่มตัว เกลือหินจะไม่มีละลายอีกต่อไป หลุมยุบจะไม่ขยายกว้างขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เพียงตา สาตรักษ์ ฉลอง บัวผัน สุทาทัด ทองมี พูนจิตร ไชยทองศรี และชัยนา คำชา. 2544. รายงานการวิจัยเรื่อง การประเมินวิธีสำรวจโดยการประยุกต์ทางธรณีฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบโครงเกลือและชั้นเกลือหินใต้ผิวดิน อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เพียงตา สาตรักษ์ วินิจ ยังมี สุรัชย์ สมผดุง รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล อภิชาติ บุตรพิเศษ ประดิษฐ์ นูเล และณัด สร้อยชา. 2545. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาวิเคราะห์ และประเมินเทคนิคการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษา ตรวจสอบโครงเกลือและชั้นเกลือหินใต้ผิวดิน ได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และประหยัด. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เพียงตา สาตรักษ์ วินิจ ยังมี สุรัชย์ สมผดุง และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2546. รายงานการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อติดตามตรวจสอบโครงเกลือใต้ผิวดินที่เกิดจากการสูบน้ำเกลือ. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาทรักษ์ วินิจ ยังมี สุรัชชัย สมผดุง และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2547. รายงานการวิจัยเรื่อง การประยุกต์สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินและการประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่จะเกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือใต้ผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพียงตา สาทรักษ์. 2550. ธรณีฟิสิกส์เพื่อการสำรวจใต้ผิวดิน. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Kearey, P. and Brooks, M. 1991. *An introduction of geophysical exploration*. 2nd ed. Cambridge: Blackwell Scientific Publications.

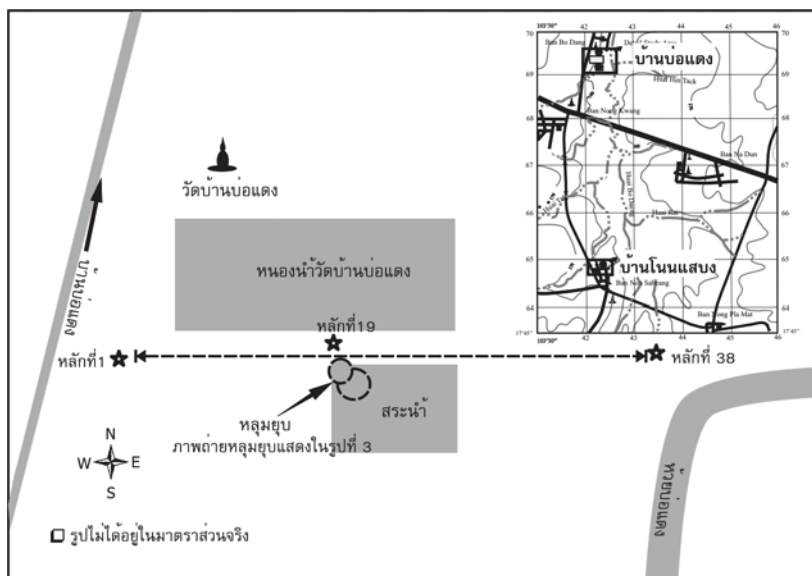
Loke, M.H. 1999. *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D survey*. San Jose: Geometrics, Inc.

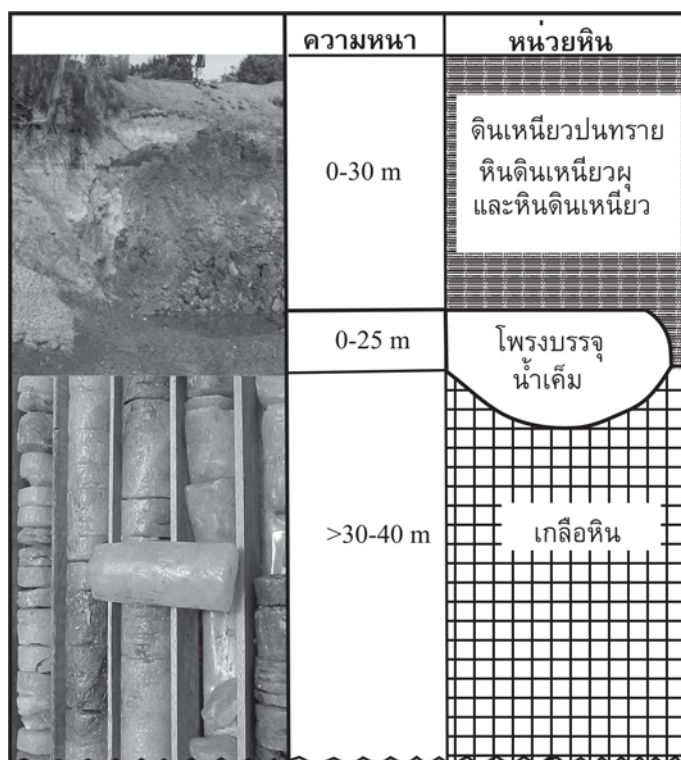
Nelson, R.G. and Haigh, J.H. 1990. Geophysical investigations of sinkholes in lateritic terrains. In: *Geotechnical and environmental geophysics*. S.H. Ward (Ed.), vol. III, pp. 133-155. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Satarugsa, P., Meesawat, N., Manjai, D., Yangsanpoo, S. and Arjwech, R. 2005. Man-made Cavity Imaging with 2D Resistivity Technique. In: *Proceedings International Conference on Applied Geophysics 2005*. S. Rieb, P. Wongpornchai and S. Chantraprasert (Eds.). Chiang Mai: Chiang Mai University.

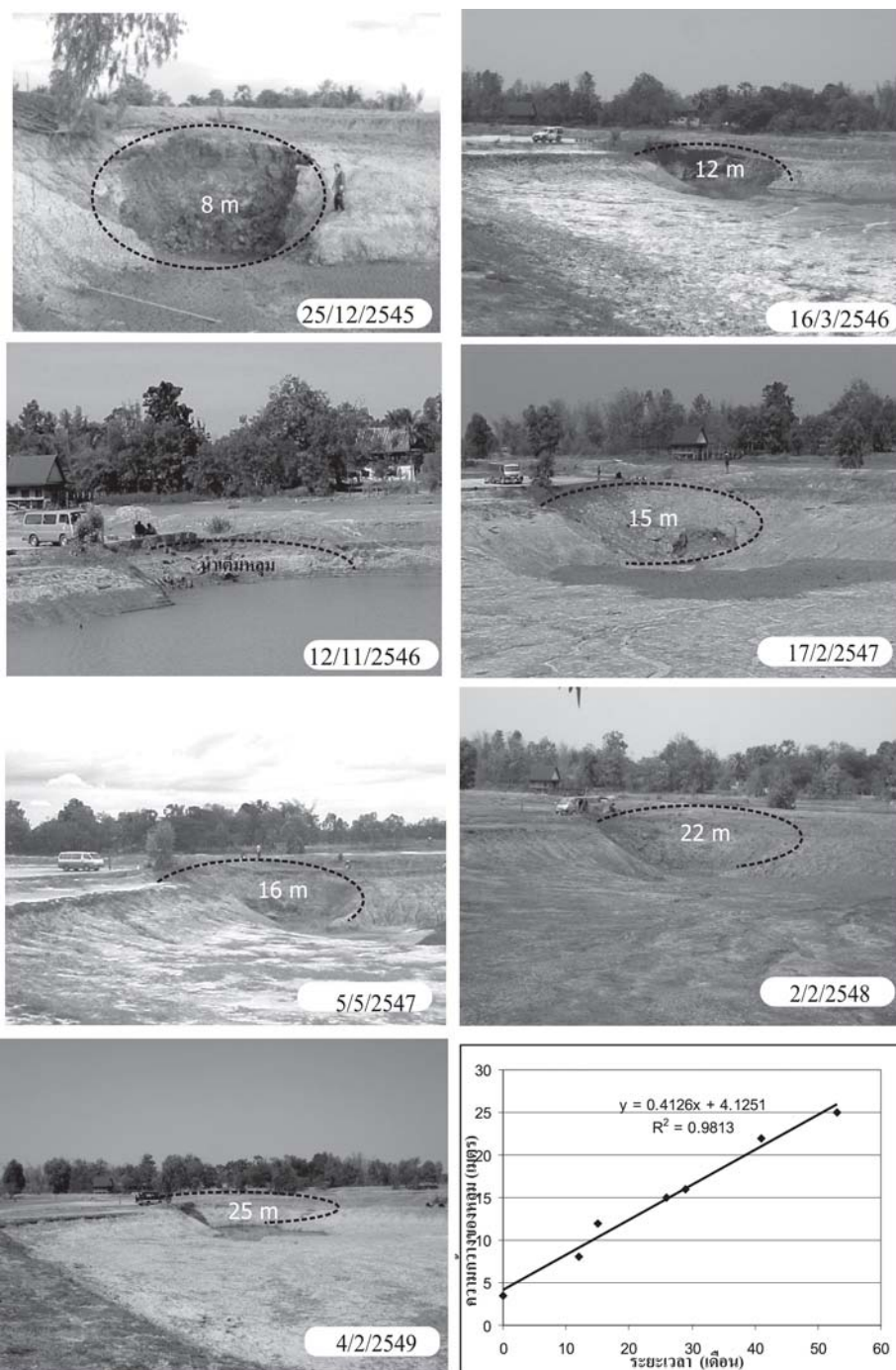
Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A. 1990. *Applied geophysics*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

van Schoor, M. 2002. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics* 50: 393-399.



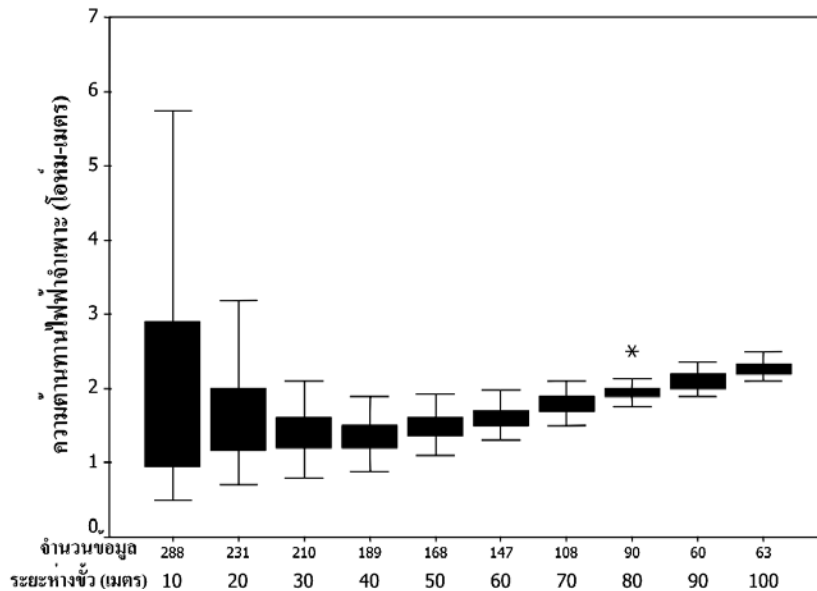


รูปที่ 2 ภาพตัวแทนลำดับชั้นดิน-หินของบริเวณหลุมยุบและพื้นที่ใกล้เคียง พบเป็นดินเหนียวปนทราย หินดินเหนียว และเกลือหินพบที่ระยะประมาณ 40 เมตร ความลึกของเกลือไม่แน่นอนเนื่องจากการปูดเป็นโดมเกลือ

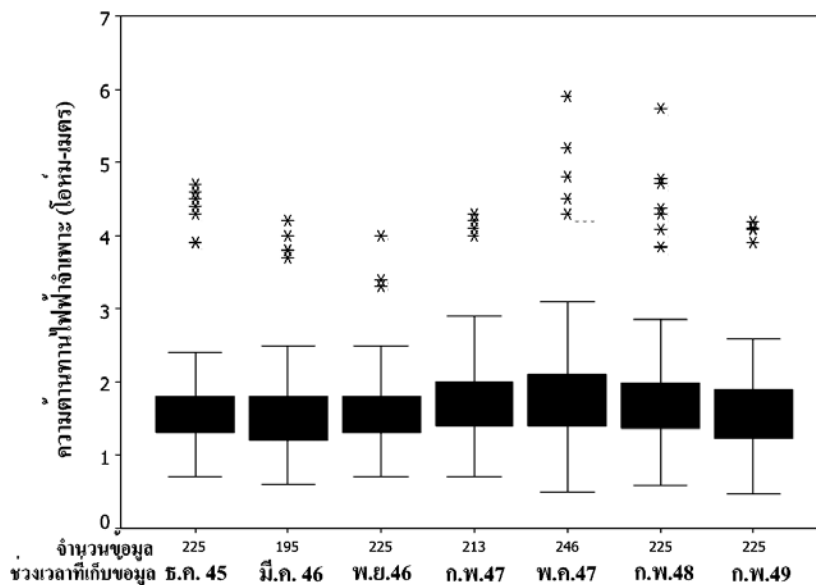


รูปที่ 3

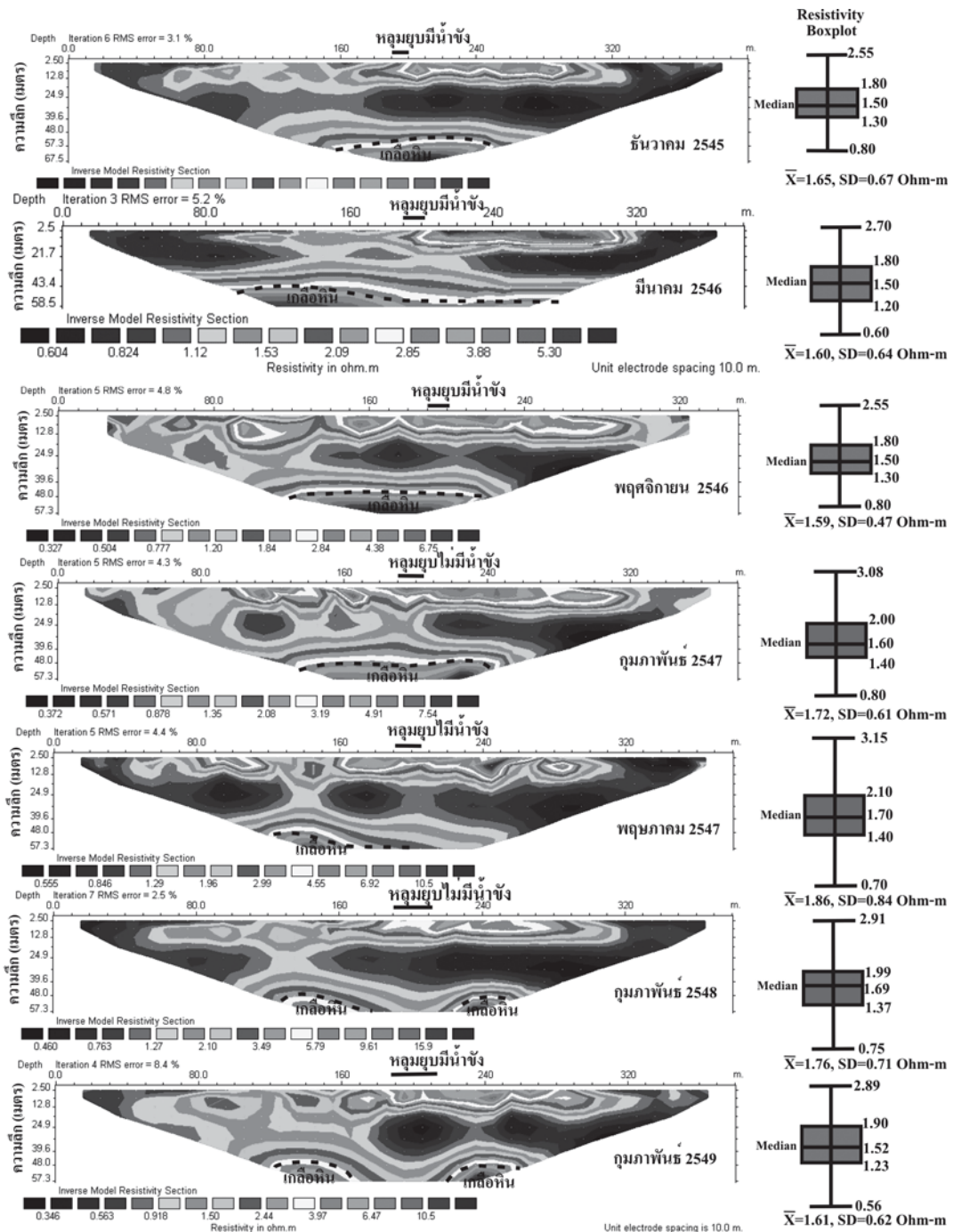
ภาพถ่ายหลุมยุบบริเวณบ้านบ่อแดง ถ่ายภาพในช่วงเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ปี 2545 - 2549 หลุมยุบมีการขยายตัวกว้างมากขึ้นตามลำดับ วันแสดงในภาพคือวันที่ทำการสำรวจ กราฟรูปล่างพล็อตระหว่างระยะเวลาและความกว้าง สมการเส้นตรงปรากฏในกราฟใช้สำหรับทำนายความกว้างของหลุมในอนาคต



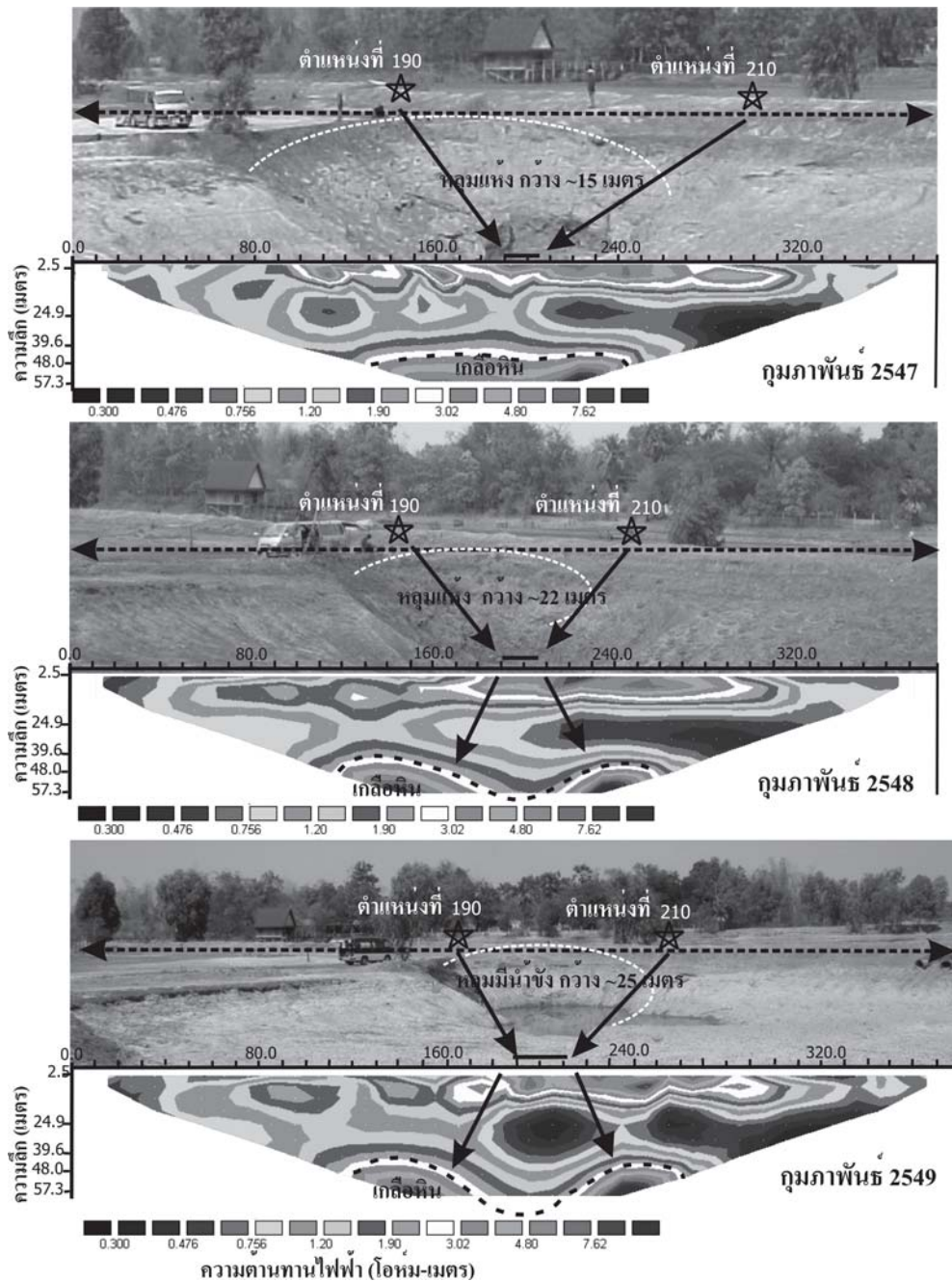
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเพื่อดูการกระจายของข้อมูลและค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง เครื่องหมาย * ในกราฟแสดงข้อมูลที่มีค่ามากอย่างผิดปกติ (outlier)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเพื่อดูการกระจายของข้อมูลและค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง พล็อตเปรียบเทียบช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เครื่องหมาย * ในกราฟแสดงข้อมูลที่มีค่ามากอย่างผิดปกติ (outlier)



รูปที่ 6 สภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินของแนวสำรวจจากรูปที่ 1 ของหลุมยุบบริเวณบ้านบ่อแดง แปลความหมายจากผลของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ทำการวัดในช่วงเวลาต่างกัน ผิวดินของเกลือหินลากด้วยเส้นประ และกราฟขวามือสุดแสดงค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง และการกระจายของข้อมูลที่เก็บในแต่ละครั้งซ้ำกัน 7 ครั้งในเวลาที่แตกต่างกัน ปากหลุมยุบมีขนาดกว้างต่างกัน



รูปที่ 7 สภาพผิวดินของแนวสำรวจที่ใกล้เคียงหลุมยุบและสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน แปลความหมายจากผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ทำการวัดในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2547, 2548 และ 2549 สังเกตผิวขอบบนของเกลือหินที่แสดงด้วยเส้นประ การเว้าลึกลงเป็นรูปแอ่งสอดคล้องกับการขยายของเส้นผ่าศูนย์กลางหลุมมากขึ้น

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางสถิติของการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ จากการวางขั้วไฟฟ้าที่ระยะห่างต่างกัน แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะน้อยสุด-มากที่สุด (R) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย (X) ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (COV) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (SD)

ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (a-spacing)(เมตร)	จำนวนข้อมูล	R (Ohm-m)	X (Ohm-m)	COV (Ohm-m)	SD (Ohm-m)
10	288	0.50-5.09	2.01	0.62	1.25
20	231	0.70-3.30	1.62	0.35	0.57
30	210	0.80-2.22	1.39	0.21	0.29
40	189	0.46-1.90	1.35	0.18	0.24
50	168	0.94-1.92	1.46	0.13	0.19
60	147	1.06-1.98	1.60	0.09	0.15
70	108	1.33-2.20	1.80	0.09	0.16
80	90	1.70-2.40	2.00	0.07	0.15
90	60	1.90-2.36	2.11	0.06	0.12
100	63	2.10-2.50	2.26	0.04	0.10

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางสถิติของการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจากการเก็บในช่วงเวลาที่ต่างกัน แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะน้อยสุด-มากที่สุด (R) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย (X) ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (COV) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (SD)

เดือน-พ.ศ. ที่สำรวจ	จำนวนข้อมูล	R(Ohm-m)	X(Ohm-m)	COV(Ohm-m)	SD(Ohm-m)
ธันวาคม 2544	225	0.70-4.70	1.65	0.41	0.67
มีนาคม 2546	195	0.60-4.20	1.60	0.40	0.64
พฤศจิกายน 2546	225	0.70-4.00	1.59	0.30	0.47
กุมภาพันธ์ 2547	213	0.70-4.30	1.72	0.35	0.61
พฤษภาคม 2547	246	0.50-5.90	1.86	0.45	0.84
กุมภาพันธ์ 2548	225	0.59-5.74	1.76	0.40	0.71
กุมภาพันธ์ 2549	225	0.46-4.19	1.61	0.39	0.62