



## การเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของหลุมยุบ และโพรงใต้ผิวดิน: กรณีศึกษาที่บ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร

# Comparison of Rates for Expansion of Surface and Subsurface Sinkholes: a Case Study at Ban Bo Deang Amphoe Ban Muang Changwat Sakon Nakhon

เพ็ญตา สาทรรักษ์\* และ สาคร แสงชมภู

Peangta Satarugsa\* and Sakorn Sangchumpoo

ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*Correspondent author: [peangta@kku.ac.th](mailto:peangta@kku.ac.th)

Received April 20, 2010

Accepted August 29, 2011

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ติดตาม การขยายตัวของหลุมยุบ ที่ปรากฏให้เห็นบริเวณผิวดิน และโพรงใต้ผิวดิน หลุมยุบที่ทำการเฝ้าติดตาม เป็นหลุมยุบที่เกิดในบริเวณที่มีเกลือหินอยู่ระดับตื้น โดยที่ผิวบนของเกลือหินถูกทำลายออกไป ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงบริเวณรอยต่อระหว่างเกลือหิน และชั้นดิน-หิน เมื่อชั้นดิน-หินที่ปิดทับโพรงรับน้ำหนักไม่ได้เนื่องจากโพรงขยายกว้างมากขึ้น จึงเกิดการยุบตัวปรากฏให้เห็นที่ผิวดิน การศึกษานี้ได้ทำการเฝ้าติดตามและตรวจวัด การขยายตัวของหลุมยุบที่ผิวดินและใต้ผิวดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2554 รวมระยะเวลาของการศึกษา ติดตาม 10 ปี หลุมยุบที่ปรากฏบนผิวดิน ได้ทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของการขยายตัว พร้อมบันทึกภาพ และได้ทำการสำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ในแนวที่ใกล้กับหลุมยุบ ทำการวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า ซ้ำแนวสำรวจเดิมจำนวน 10 ครั้ง ได้แก่ แนวสำรวจที่ตรวจวัดในเดือนธันวาคม 2545 เดือนมีนาคม 2546 เดือนพฤศจิกายน 2546 เดือนกุมภาพันธ์ 2547 เดือนพฤษภาคม 2547 เดือนกุมภาพันธ์ 2548 เดือนกุมภาพันธ์ 2549 เดือนกุมภาพันธ์ 2550 เดือนกุมภาพันธ์ 2553 และเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ผลการศึกษาพบว่า การวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า เพื่อแปลความหมายหาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน สามารถนำมาใช้ติดตาม การขยายตัวของโพรงที่เกิดจากการละลายออกไปของเกลือใต้ผิวดินได้ โดยจะพบเป็นขอบเขตของค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าต่ำ มีลักษณะการขยายกว้างมากขึ้นตามลำดับ ในช่วง 3 ปีแรก (พ.ศ. 2545-2547) ของการเฝ้า ติดตาม พบผิวบนของเกลือหินอยู่ที่ความลึกตื้นสุดประมาณ 44 เมตร หลังจากนั้น พบผิวบนของเกลือหินเว้าลึกลงเป็นแอ่งลึก อันเนื่องจากผลของเกลือหินถูกทำลายและขยายตัวกว้างมากขึ้นๆ พบระดับผิวบนของเกลือหินในบริเวณใกล้เคียงลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด ในปี พ.ศ. 2554 พบความลึกของผิวบนของเกลือหินในระดับตื้นสุดประมาณ 50 เมตร พบอัตราการขยายตัวของความกว้างบริเวณเว้าลึกหรือแอ่ง เป็นไปตามสมการเส้นตรง (ความกว้าง =  $0.532 \times \text{เดือน} + 93.14$  เมตร;  $R^2 = 0.967$ ) เช่นเดียวกับอัตราการขยายตัวของหลุมยุบที่ปรากฏบนดิน (ความกว้าง =  $0.406 \times \text{เดือน} + 4.44$  เมตร;  $R^2 = 0.976$ ) และอัตราการขยายตัวโพรงใต้ผิวดินมีค่ามากกว่าอัตราการขยายตัวของหลุมยุบบนดิน 1.3 เท่า

(ความกว้าง =  $0.406 \times \text{เดือน} + 4.44$  เมตร;  $R^2 = 0.976$ ) และอัตราการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินมีค่ามากกว่าอัตราการขยายตัวของหลุมยุบบนดิน 1.3 เท่า

### Abstract

The present study was aimed to measure the rate of expansion of surface and subsurface sinkholes which were formed as the result dissolution of near surface rock salt body or salt dome. Sinkholes' diameters were repeatedly measured and a series of photographs were taken between 2001 and 2011. The measurements of 2-D apparent resistivity profiles of near surface sinkhole's expansion were repeated 10 times between 2002 and 2011; December 2002, March, 2003, November 2003, February 2004, May 2004, February 2005, February 2006, February 2006, February 2007, February 2010, and February 2011. Every time the apparent resistivities were collected, the expansion of sinkhole's diameter at surface was measured. Data from those ten measurements together with the expansion of sinkholes' diameters indicated that a resistivity survey can indeed detect subsurface deformation that occurs through time. Subsurface resistivity images have revealed a body of low resistivity zone that can be interpreted as a subsurface cavity. Further, the presence of a blow shape can be identified and measured as evidence of rock salt incised. The subsurface resistivity images obtained between 2002 and 2004 revealed a minimum depth to rock salt to be about 44 meter below the surface, whereas the data obtained in 2011 revealed a minimum depth to rock salt to be 50 meter below the surface. Rate of expansion in subsurface cavity was clearly evident after 2004 and onwards, reflected by an increase in the length from a series of a blow shape. A rate of sinkhole expansion follows an equation of  $0.406x \text{ month} + 4.44$  meters ( $R^2 = 0.976$ ). A rate of subsurface cavity expansion follows an equation of  $0.532 \times \text{month} + 93.14$  meters ( $R^2 = 0.967$ ). The rate of expansion of subsurface sinkhole was approximately 1.3 times ( $0.532/0.406$ ) greater than that of a surface sinkhole.

**คำสำคัญ:** หลุมยุบ การสำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า เกลือหิน

**Keywords:** sinkhole, resistivity survey, rock salt

### 1. บทนำ

หลุมยุบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากเกิดภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร เกิดจากการละลายออกไปของเกลือหินที่อยู่ใต้ผิวดิน เพราะภายใต้แอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร มีเกลือหินรองรับอยู่ใต้ผิวดิน ความลึกของเกลือหินใต้ผิวดินภายในแอ่งมีระดับแตกต่างกัน เนื่องจากชั้นเกลือหินภายหลังจากการตกสะสมตัว ถูกแรงบีบอัดทางด้านข้าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง

ธรณีวิทยา ชั้นเกลือหินจากเดิมที่เคยวางตัวในแนวราบเป็นชั้นๆ แทรกสลับกับหินดินเหนียว เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางตัวจากเดิมที่เป็นชั้นๆ ด้วยการเคลื่อนไหล-คดโค้ง-บิดเบี้ยว ฟูคเป็นรูปโดม หรือขาดหายไปเป็นช่วงๆ ส่งผลให้ความลึกของเกลือหินใต้ผิวดิน ในแต่ละพื้นที่ภายในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนครแตกต่างกัน (1)

เกลือหินสามารถถูกทำลายได้โดยน้ำ

ดังนั้นเมื่อเกลือหินใต้ผิวดินถูกทำลายโดยน้ำที่อยู่ใต้ผิวดินอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดเป็นช่องว่างหรือโพรง หากโพรงมีขนาดกว้างและชั้นดิน-หินที่อยู่เหนือโพรงรับน้ำหนักไม่ได้ จะเกิดการยุบตัวเป็นหลุมยุบ ดังภาพตัวอย่างในรูปที่ 1

หลุมยุบที่ปรากฏในแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่ที่มีการสูบน้ำเกลือจากใต้ผิวดินขึ้นมาทำนาเกลือสินเธาว์ และพื้นที่ใกล้เคียงนาเกลือสินเธาว์ กรณีที่เกิดหลุมยุบในพื้นที่นาเกลือ มักไม่เป็นที่เปิดเผย แต่หากเกิดในพื้นที่ใกล้เคียง โดยเฉพาะใกล้แหล่งชุมชนหรือที่อยู่อาศัย จะปรากฏให้เห็นเป็นข่าว การปรากฏของหลุมยุบ ได้สร้างความหวาดกลัวต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง ส่วนใหญ่หลุมยุบเมื่อเกิดขึ้นแล้ว มักมีการนำดินมาถม แต่ไม่ช้าไม่นาน จะเกิดการยุบตัวพร้อมขยายวงกว้างขึ้นอีก ต้องนำดินมาถมอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะการนำดินมาถม ไม่ใช่การแก้ปัญหาที่แท้จริงของการเกิดหลุมยุบ

บทความวิจัยนี้เป็นบทความวิจัยต่อเนื่องของโครงการการสำรวจธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ศึกษา เพื่อหาสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดินและแก้ปัญหาทางธรณีวิทยา ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (2-7) บทความนี้นำเสนอ (1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2544-2554) ของการติดตามลักษณะการขยายตัวของหลุมยุบที่ปรากฏที่ผิวดิน (รูปที่ 1) บริเวณบ้านบ่อแดง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร และ (2) ผลการวิเคราะห์ติดตาม สภาพใต้ผิวดินของหลุมยุบ (รูปที่ 1)

## 2. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการเก็บข้อมูลหลุมยุบที่ผิวดิน ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2554 โดยทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมยุบ พร้อมบันทึกภาพส่วนการเก็บข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน บริเวณหลุมยุบ ได้ทำการสำรวจโดยจัดวางขั้วอิเล็กโตรดแบบเวนเนอร์ เพราะสามารถตรวจหา

ความผิดปกติ (anomaly) ในแนวนอนได้ดีกว่าการจัดวางด้วยวิธีอื่น (8-10) ความยาวของแนวสำรวจ 380 เมตร เก็บข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าจากผิวดินถึงความลึกประมาณ 60 เมตรใต้ผิวดิน โดยใช้เครื่องมือ Resistivity meter รุ่น Syscal R1 Plus กำหนดระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าและเพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะ 10, 20, 30, 40, 50 และ 120 เมตร ระยะห่างของสถานี 10 เมตร ทำการแปลความหมาย ด้วยโปรแกรม RES2-DINV (11) ทำการสำรวจทับแนวสำรวจเดิมรวมทั้งสิ้น 10 ครั้ง ได้แก่ แนวสำรวจที่ตรวจวัดในเดือนธันวาคม 2545 เดือนมีนาคม 2546 เดือนพฤศจิกายน 2546 เดือนกุมภาพันธ์ 2547 เดือนพฤษภาคม 2547 เดือนกุมภาพันธ์ 2548 เดือนกุมภาพันธ์ 2549 เดือนกุมภาพันธ์ 2550 เดือนกุมภาพันธ์ 2553 และเดือนกุมภาพันธ์ 2554

## 3. ผลการศึกษา

### 3.1 หลุมยุบที่ปรากฏให้เห็นที่ผิวดิน

ภาพถ่ายของหลุมยุบผลของการเฝ้าติดตามการขยายตัว แสดงในรูปที่ 1 หลุมยุบนี้ในอดีตเคยอยู่ในพื้นที่นาเกลือมาก่อน ในปี พ.ศ. 2544 ซึ่งเป็นปีที่คณะผู้วิจัยได้เข้าไปสำรวจ พบว่าการทำนาเกลือในบริเวณหลุมยุบได้หยุดกิจการไปแล้ว แต่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงยังมีการทำนาเกลืออยู่อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามหลุมยุบนี้พบว่ามีความกว้างตามลำดับ มีอัตราการขยายตัวดังกราฟรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะในช่วง 6 ปีแรก (พ.ศ. 2544-2550) ของการเฝ้าติดตาม [รูปที่ 2 (ก)] พบอัตราการขยายตัวของหลุมยุบค่อนข้างคงที่ และสามารถทำนายหรือคาดการณ์ได้ด้วยสมการเส้นตรง (ความกว้าง =  $0.406 \times \text{เดือน} + 4.44$  เมตร) มีค่าความสัมพันธ์สูงมาก ( $R^2 = 0.976$ ) ภายหลังจากที่มีการนำดินมาถม (พ.ศ. 2552-2553) ทำให้ในระยะแรกๆ ไม่สามารถเห็นการยุบตัวของผิวดิน ไม่สามารถวัดการขยายตัวของหลุมยุบที่ผิวดินได้ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2554 ดินที่นำมาถมมี

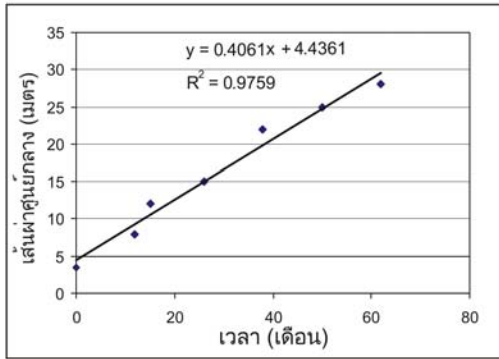


รูปที่ 1. ตัวอย่างภาพถ่ายหลุมขุดที่ทำการศึกษา ติดตามดูการขยายตัวของหลุมขุด พบการขยายตัวกว้างขึ้นตามลำดับ เมื่อช่วงฤดูน้ำมาก หลุมขุดจะมีน้ำขัง ภาพขวามือสุดท้ายหลุมขุด ถูกถมด้วยดิน ทำให้สภาพการขุดตัวปรากฏไม่ชัดเจนเช่นภาพอื่นๆ

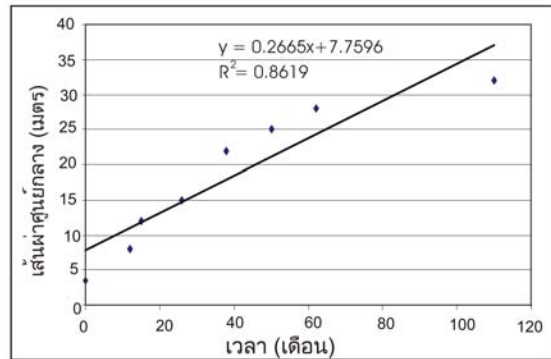
การขุดตัวและพบรอยร้าว สามารถมองเห็นขอบเขตของหลุมขุดได้คร่าวๆ ซึ่งเมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของความกว้างของหลุมขุดเทียบกับระยะเวลา พบอัตราการขยายเปลี่ยนแปลงไป ค่าความสัมพันธ์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด [เปรียบเทียบรูปที่ 3 (ก) และ (ข)] ทั้งนี้

เนื่องจากผลของการนำดินมาถม อย่างไรก็ตาม แม้มีการนำดินมาถมหลุมขุด ความกว้างของหลุมขุดที่ผิวดินอาจไม่ปรากฏชัดเจนในช่วงแรกๆ และถ้าหากไม่มีการถมดินเพิ่มเติมอีกต่อไป ความกว้างของหลุมขุดที่พื้นดินจะขยายตัวกว้างขึ้นตามลำดับเช่นเดิม

(ก)



(ข)



รูปที่ 2. กราฟเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมยุบ และระยะเวลา (ก) กราฟเขียนแสดงข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2544-2550 และ (ข) กราฟเขียนแสดงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2554

### 3.2 โพรงใต้ผิวดิน

รูปที่ 3 และ 4 แสดงภาพตัวอย่างผลการสำรวจการวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า ที่สามารถวิเคราะห์และแปลความหมาย สภาพโพรงใต้ผิวดินได้ดังนี้ ในช่วง 3 ปีแรก (ปี พ.ศ. 2545-2547) ของการติดตามการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินตามแนวสำรวจ พบผิวบนของเกลือหินอยู่ที่ความลึกประมาณ 44 เมตร [รูปที่ 3 (ก)] หลังจากนั้น พบผิวบนของเกลือหินเว้าลึกลงเป็นรูปแอ่ง (รูปที่ 3 (ข) และ (ค) และรูปที่ 4) อันเนื่องจากผลของเกลือหินถูกทำลายและขยายตัวกว้างมากขึ้นๆ พบระดับผิวบนของเกลือหินในบริเวณใกล้เคียงลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด ในปี พ.ศ. 2554 พบความลึกของผิวบนของเกลือหินในระดับตื้นสุดประมาณ 50 เมตร (รูปที่ 3 (ค) และรูปที่ 4)

ภาพตัดขวางของสภาพใต้ผิวดิน จากผลการแปลความหมายค่าความแตกต่างทางสภาพด้านทานไฟฟ้า ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2547-2550 และ 2554 แสดงในรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นผิวบนของชั้นเกลือหินที่อยู่ความลึกประมาณ 44 เมตรใต้ผิวดิน ผิวบนของเกลือหินจากการละลายยังปรากฏไม่ชัดเจนในพื้นที่ที่แนวสำรวจตัดผ่าน แต่หลังจากนั้น อีก 1 ปี (พ.ศ. 2548), 2 ปี (พ.ศ. 2548), 3 ปี (พ.ศ. 2548), 6 ปี (พ.ศ. 2553), และ 7 ปี (พ.ศ. 2548) ต่อมา ผิวบนชั้นเกลือหินมี

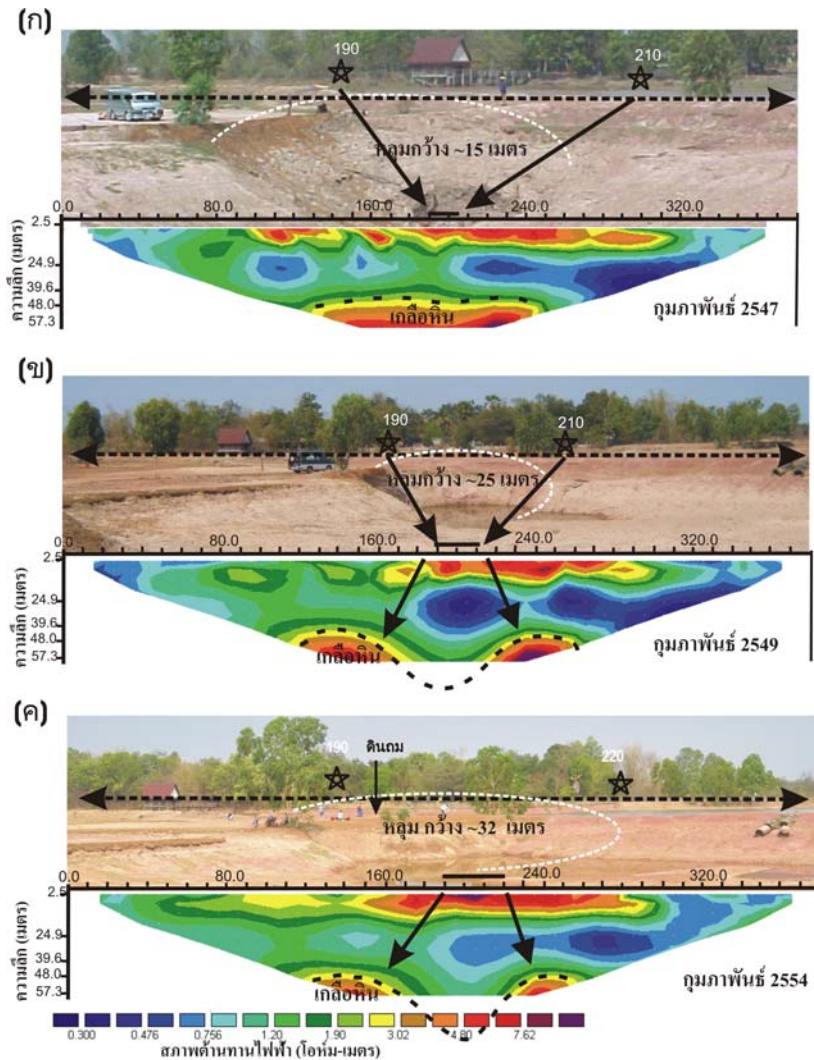
การเว้าลึกลงไป บ่งบอกถึงการละลายออกไปของเกลือหินใต้ผิวดินในแนวคิ่งอย่างชัดเจน

รูปที่ 5 แสดงอัตราการขยายตัวของโพรงที่เกิดจากการละลายออกไปของเกลือหิน พบความกว้างของโพรงมากขึ้นตามลำดับแบบสมการเส้นตรง (ความกว้าง =  $0.532 \times \text{เดือน} + 93.14$  เมตร) มีความสัมพันธ์สูงมาก ( $R^2 = 0.967$ ) และแม้จะมีการนำดินมาถม ยังไม่ปรากฏชัดเจนว่าทำให้เกิดแนวโน้มของอัตราการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินลดลง เช่นเดียวกับกรณีของการขยายตัวของหลุมยุบที่ผิวดิน

### 4. อภิปรายผล (Discussions)

#### 4.1 อภิปรายผลเกี่ยวกับการประยุกต์สำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ

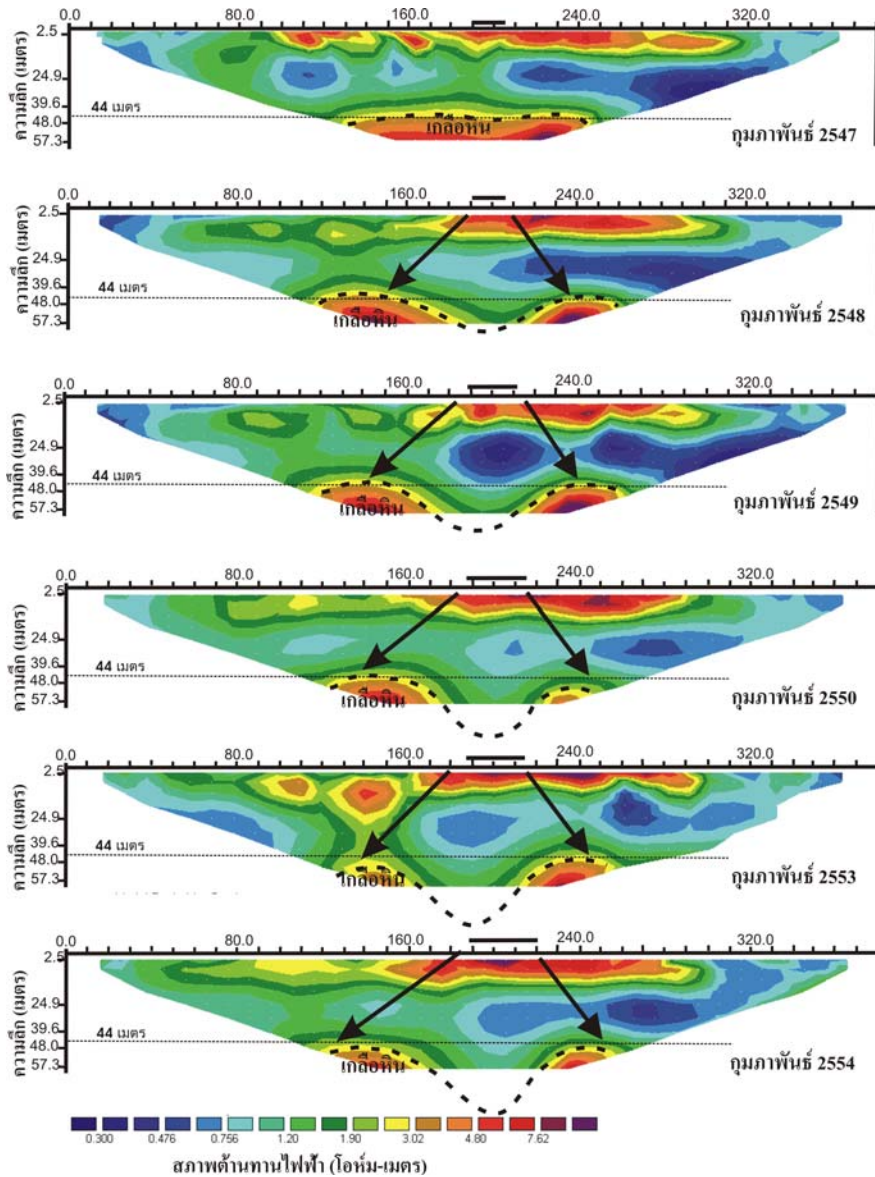
เนื่องจากการศึกษาในบทความนี้ เป็นการเสนอข้อมูลเพิ่มเติม ต่อจากบทความวิจัยของ เพ็ญตา และคณะ (12, 13, 14) ซึ่งได้ทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยาของบริเวณหลุมยุบและพื้นที่ใกล้เคียง (รูปที่ 1) และพบว่าในพื้นที่ที่ศึกษา ที่ผิวดินเป็นดินที่เกิดจากหินดินเหนียว ต่อจากหินดินเหนียว คือ หินดินเหนียว และเกลือหิน ความลึกของเกลือหินไม่คงที่ ความลึกอยู่ระหว่าง 20-60 เมตร ใต้ผิวดิน รูปที่ 6 แสดงแนวการสำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า ในพื้นที่ที่ปรากฏของหลุมยุบ บริเวณบ้านโนนแสวง อำเภอบ้านม่วง จังหวัด



รูปที่ 3. ภาพตัวอย่างของภาพถ่ายหลุมขุด และได้ภาพถ่ายแสดงภาพตัดขวางใต้ผิวดิน ที่แปลความหมาย จากข้อมูลการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ก) ข้อมูลที่บันทึกในเดือนกุมภาพันธ์ 2547 (ข) ข้อมูลที่บันทึกในเดือนกุมภาพันธ์ 2549 และ (ค) ข้อมูลที่บันทึกในเดือนกุมภาพันธ์ 2554

สกลนคร หมู่บ้านนี้อยู่ติดกับบ้านบ่อแดง แนวการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้านี้ ผ่านตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจเก็บแท่งตัวอย่าง ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (15) เมื่อนำข้อมูลหลุมเจาะ มาทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสภาพใต้ผิวดินจากผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (รูปที่ 6) ทำให้สรุปได้ว่า พบโพรงเกิดในช่วงรอยต่อของเกลือหินและชั้นหินดินเหนียว โดยพบการแตกหักของชั้นหินดินเหนียวที่อยู่เหนือโพรงค่อนข้างมาก ไม่สามารถเก็บแท่ง

ตัวอย่างได้สมบูรณ์ (100% core recovery) บริเวณที่เก็บตัวอย่างหินดินเหนียวไม่ได้สมบูรณ์ คือ บริเวณที่เป็นโพรง พบขอบเขตของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (low resistivity zone) และสภาพค่าความต้านทานไฟฟ้าเมื่อผ่านเข้าไปในเกลือหิน พบค่าสูงมากขึ้นตามลำดับ จากผลการศึกษาและแปลความหมายของรูปที่ 6 สามารถนำมาอธิบายหรือแปลความหมายลักษณะใต้ผิวดินที่แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ได้ กล่าวคือ โพรงเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างเกลือหินและชั้นหินดิน

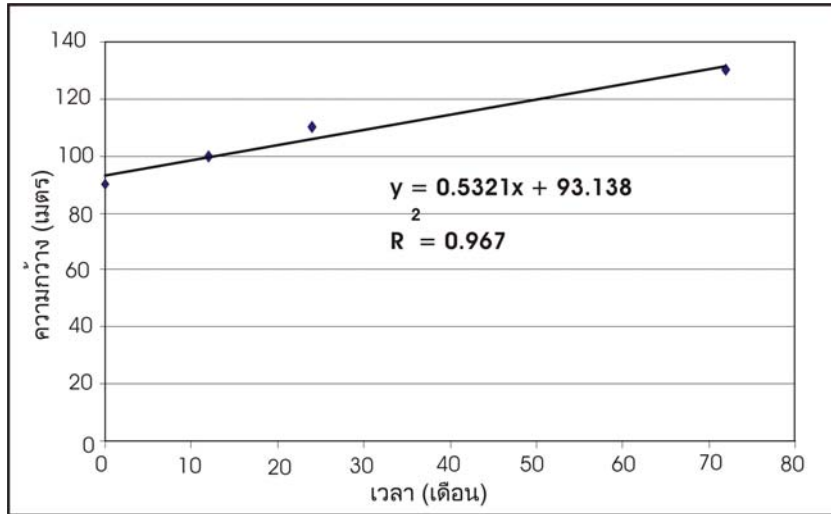


รูปที่ 4. ภาพตัวอย่างของหลุมยุบที่ปรากฏให้เห็นที่ผิวดิน และภาพตัดขวางแสดงสภาพใต้ผิวดิน จากการแปลความหมายด้วยข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้า

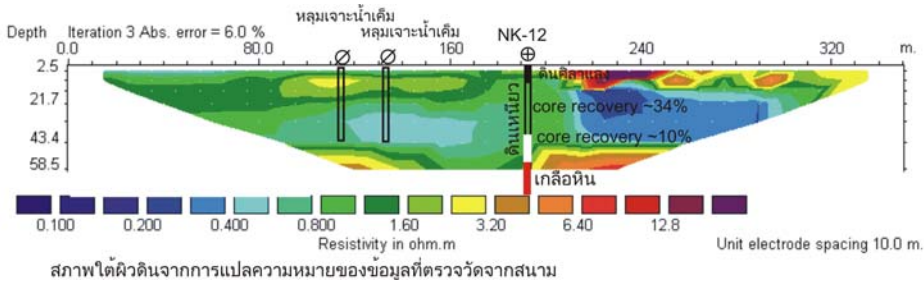
เหนียว เศษแตกหักของหินดินเหนียวยุบลงไป แทนตำแหน่งของเกลือที่ถูกละลายออกไป การแตกหักและยุบตัวของหินดินเหนียวเริ่มที่บริเวณรอยต่อระหว่างเกลือหินและชั้นหินดินเหนียว จากนั้นขยายขึ้นสู่ผิวดิน ทำให้เกิดปรากฏของหลุมยุบที่ผิวดิน และเนื่องจากเกลือหินถูกละลายออกไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลุมยุบที่ผิวดินขยายวงกว้างมากขึ้นๆ ดังปรากฏในรูปที่ 1

**4.2 อภิปรายผลเกี่ยวกับการขยายตัวของหลุมยุบและแนวสำรวจ**

หลุมยุบที่เลือกทำการศึกษา เป็นหลุมยุบที่พิจารณาแล้วว่า สามารถทำการศึกษาติดตามได้อย่างต่อเนื่อง เพราะเป็นพื้นที่ที่ได้เลิกกิจการการทำนาเกลือ ไปแล้ว คงไม่มีการนำดินมาถม เช่นเดียวกับหลุมยุบอื่นๆ ที่ปรากฏอยู่ใกล้เคียงแหล่งชุมชน แต่ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ เพราะ



รูปที่ 5. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของบริเวณเว้าลึกหรือแอ่ง และระยะเวลา



รูปที่ 6. ภาพตัดขวางแสดงสภาพใต้ผิวดิน จากผลการแปลความหมายสภาพต้านทานไฟฟ้า และข้อมูลหลุมเจาะเก็บแท่งตัวอย่าง ที่ทำการเจาะใกล้เคียงกับแนวสำรวจ พบขอบเขตของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (low resistivity zone) ในบริเวณช่วงรอยต่อระหว่างหินดินเหนียวและเกลือหิน แท่งหินดินเหนียว ในบริเวณขอบเขตสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ มีการแตกหักสูง และเก็บแท่งตัวอย่างได้ไม่สมบูรณ์ เก็บได้ร้อยละ 10-34 (10-34 % core recovery) ช่วงที่เก็บแท่งตัวอย่างได้ต่ำสุด พบอยู่ใกล้กับผิวบนของเกลือหิน นั่นคือ ตำแหน่งของโพรงใต้ผิวดิน

ดินได้ถูกนำมาถมในบริเวณหลุมยุบ ทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการขยายตัวของหลุมยุบเปลี่ยนไป (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม จากผลของการติดตามในระยะ 10 ปี ทำให้ทราบว่า ในกรณีที่ไม่มีกรนำดินมาถมหลุมยุบ อัตราการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินสูงกว่าการขยายตัวของหลุมยุบบนดิน 1.3 เท่า (0.532/0.406) และเกลือหินใต้ผิวดินบริเวณแนวสำรวจ เมื่อเทียบความลึกในปี พ.ศ. 2547 อยู่ที่ความลึกประมาณ 44 เมตร (รูปที่ 4) โดยที่ยังไม่ปรากฏการเว้าเป็นแอ่งลึก ต่อมาในปี พ.ศ. 2549

พบการเว้าลึกที่ความลึกมากกว่า 60 เมตร (รูปที่ 4) และในปีต่อๆ มา การเว้าลึกปรากฏมากขึ้นตามลำดับ **หมายเหตุ:** การวางแนวสำรวจไม่สามารถวางแนวสำรวจให้ผ่านกลางหลุมยุบได้ เพราะอาจเกิดอันตรายต่อผู้สำรวจ จึงได้เลือกแนวที่ใกล้กับขอบหลุมยุบ ทำให้เห็นภาพการวางตัวของเกลือหินใต้ผิวดินที่สำรวจพบในช่วงระยะ 3 ปีแรก (พ.ศ. 2545-2547) วางตัวค่อนข้างราบที่ระดับความลึกประมาณ 44 เมตร ไม่พบการเว้าลึกเป็นรูปแอ่ง ทั้งนี้เพราะการละลายออกไปของเกลือหิน



ในบริเวณแนวสำรวจยังไม่มากพอที่จะตรวจวัดได้ แต่หลังจากปี พ.ศ. 2547 เป็นต้นไป พบว่าเกลือหิน มีการถูกทำลายและเคลื่อนย้ายออกไปอย่างชัดเจน (รูปที่ 3 และ 4)

### 5. สรุป

ในช่วง 10 ปีของการศึกษา ติดตาม หลุมยุบที่ ผิวดิน และโพรงใต้ผิวดินที่ทำให้เกิดหลุมยุบ ในพื้นที่ศึกษา พบหลุมยุบที่ผิวดินมีการขยายตัวกว้างมากขึ้นตามลำดับ และโพรงใต้ผิวดินที่เกิดจากการละลายออกไปของผิวบนของเกลือหินมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง สภาพใต้ผิวดินจากการแปลความหมายสภาพต้านทานไฟฟ้า บ่งบอกชัดเจนของบริเวณหรือขอบเขตค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (low resistivity zone) ของส่วนที่เป็นโพรง ส่วนบริเวณที่เป็นเกลือหินพบสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ พบการเว้าลึกเป็นรูปแอ่งของเกลือหิน ที่มีการขยายตัวในแนวตั้งและแนวนอน อัตราการขยายตัวของหลุมยุบที่ผิวดิน และโพรงใต้ผิวดินมีลักษณะสามารถคาดการณ์หรือทำนายได้ด้วยสมการเส้นตรง อัตราการขยายตัวของโพรงใต้ผิวดินมีค่ามากกว่าอัตราการขยายตัวของหลุมยุบบนดินประมาณ 1.3 เท่า และหลุมยุบที่ศึกษาแม้ในเวลาต่อมาได้มีการนำดินมาถม แต่ความกว้างของโพรงใต้หลุมยุบยังมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง การนำดินมาถมไม่ใช่การแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ ดังนั้นการยุบตัวของหลุมยุบที่ปรากฏบนดิน ยังคงเกิดต่อไป

### 6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนงบประมาณ ปี พ.ศ. 2544-2547 และ 2552-2553 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และการสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยจากภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ยังมีนักศึกษาปริญญาตรี และปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี ที่ได้ร่วมออกศึกษาภาคสนาม มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544-2548 และ

พ.ศ. 2553 นักศึกษาที่มีส่วนร่วมในโครงการสำรวจนี้ค่อนข้างมาก คือ นายสุวิจักขณ์ มีสวัสดิ์ นายเด่นโชค มั่นใจ นายประดิษฐ์ หนูเล และ นายสิริศาสตร์ ยังแสนภู

### 7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Satarugsa P, Meesawat S, Youngmee W. Boundary and evolution of rock salt in the Maha Sarakham Formation in the Northeastern Thailand. *KKU Res. J.* 2005; 10(1): 65-78. Thai.
- (2) Satarugsa P, Buaparn C, Thongmee S, Chaitongsri P, Chamcha S. Evaluation of applied geophysical investigation for a rapid, effective and inexpensive detection of sinkhole and rock salt formation report. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2001. Thai.
- (3) Satarugsa P, et al. Applied geophysical techniques for rapid, effective and inexpensive detection of subsurface cavity report. Khon Kaen: Department of Geotechnology, Khon Kaen University; 2002. Thai.
- (4) Satarugsa P, Youngmee W, Sompadung S, Lertsirivorakul R. Applied geophysical techniques for monitoring of rock salt cavities from pumping saline groundwater report. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2003. Thai.
- (5) Satarugsa P, Youngmee W, Sompadung S, Lertsirivorakul R. Applied geophysical techniques for subsurface mapping and evaluation of natural hazard from a collapse of surface cavity in the Northeastern Thailand report. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2004. Thai.

- (6) Satarugsa P, Youngmee W, Meesawat S. Mapping of fresh-saline groundwater interface and surface cavity using 1D and 2D electrical survey. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2005. Thai.
- (7) Satarugsa P, Sangchumpoo. Applied geophysical investigation for determination of seepage under earth-fill dams in the Northeastern Thailand report. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2010. Thai.
- (8) Telford WM, Geldart LP, Sheriff RE. Applied geophysics. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Cambridge University Press; 1990.
- (9) Van Schoor M. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics*. 2002; 50: 393-399.
- (10) Satarugsa P, Meesawat N, Manjai D, Yangsanpoo S, Arjwech R. Man-made cavity imaging with 2D resistivity technique. In: Rieb S, Wongpornchai P, Chantraprasert S, editors. *Proceeding of International Conference on Applied Geophysics*; 2004 Nov 26-27, Chiang Mai, Thailand; P. 203-210.
- (11) Loke MH. *Electrical imaging survey environment and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3D surveys*. San Jose: Geometrics; 1999.
- (12) Satarugsa P, Buthpiserh A, Nulay P, Soisa T. Determination of surface cavity and rock salt by using resistivity survey. *KKU Res. J.* 2002; 7(2): 22-32. Thai.
- (13) Satarugsa P, Meesawat N, Yongsanpoo S, Manjai D. Monitoring of subsurface cavity collapse into a sinkhole with resistivity survey. *KKU Res. J.* 2003; 8(2): 41-52. Thai.
- (14) Satarugsa P, Manjai D, Meesawat S. Factors influencing surface resistivity variation in gradually expanding surface cavity areas. *KKU Res. J.* 2007; 12(4): 451-464. Thai.
- (15) Jenkunawat P. Results of drilling to study occurrence of salt cavities and surface subsidence at Ban Non Sabaeng and Ban Nong Kwang Amphoe Ban Muang, Sakon Nakhon. In Wannakao L, Youngmee W, Srisuk K, Lertsirivorakul R, editors. *Proceedings of International Conference on Geology, Geotechno-logy and Mineral resources of Indochina*; 2005 Nov 28-30, Khon Kaen, Thailand; P. 259-267.