

การตรวจสอบวัตถุโลหะใต้ดินในชั้นดินที่มีความนำไฟฟ้าสูงด้วยวิธีการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

An Investigation of Buried Metal Object in High Electrical Conductivity Soil Layer Using Electrical Resistivity Survey Method

ชนะรบ วิชาลัย^{1*}

Chanarop Vichalai^{1*}

Received: December 6, 2018; Revised: March 3, 2019; Accepted: March 8, 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้นำเสนอการสำรวจโลหะวัตถุที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครที่มีการนำไฟฟ้าสูงด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น แนวท่อก๊าซ ท่อประปา หรือวัตถุที่เป็นโลหะอื่น ๆ ที่ฝังอยู่ใต้ดิน เพื่อประโยชน์ในการวางแผนเพื่อพัฒนา จัดระเบียบ ซ่อมแซม และบำรุงรักษา แต่อย่างไรก็ตามการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำการวัดค่าบนพื้นดินที่มีการนำไฟฟ้าต่ำหรือพื้นดินที่มีความต้านทานไฟฟ้า โดยการศึกษานี้ได้ทำการฝังถึงโลหะรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $1 \times 1 \times 1$ ม. ที่ความลึก 50 ซม. ได้พื้นดินเหนียวแล้วทำการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ ด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole-Pole และการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner จากการศึกษาพบว่าผลการวัดค่าแบบ 3 มิติ ในชั้นดินสามารถตรวจพบถึงโลหะได้แต่มีรูปร่างไม่ชัดเจน หลังจากนั้นได้ทำการเพิ่มประจุไฟฟ้าเข้าสู่ถึงโลหะด้วยการต่อเข้ากับขั้วบวก (+) ของแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เพื่อเพิ่มความแตกต่างของสภาพความต้านทานไฟฟ้าของถึงโลหะและดินเหนียวรอบข้างพบว่า ผลการสำรวจชั้นสุดท้ายสามารถระบุตำแหน่งและรูปร่างของถึงโลหะที่ฝังไว้ได้อย่างถูกต้อง ผลการวัดค่าแบบ 2 มิติ ในเบื้องต้นไม่พบถึงถึงโลหะที่ถูกฝังไว้ แต่เมื่อหลังจากเชื่อมต่อกถึงโลหะกับแบตเตอรี่แล้วสามารถตรวจพบถึงโลหะได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ : ธรณีฟิสิกส์; ความต้านทานไฟฟ้า; การนำไฟฟ้า; ดินเหนียว; โลหะ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding Author E - mail Address: chanaropv@gmail.com

Abstract

This study presents an investigation of buried metal object in Bangkok soft clay which has high electrical conductivity using electrical resistivity imaging (EI) as aimed to be applied for an application of underground infrastructures investigation planning and development such as gas pipeline, water line, or other buried metal objects. However, the electrical resistivity survey method has the best performance when applied over resistive terrain. This study, a metal cube about the size of 1 x 1 x 1 m was buried at 0.5 m-depth in the Bangkok soft clay ground. Afterward, 3D electrical resistivity imaging using pole-pole electrode configuration and 2D electrical resistivity imaging using Wenner electrode configuration had been performed to investigate a buried metal cube. The initial investigation result, 3D resistivity result hard to indicate buried metal object as it presents unclear shape. Next, the electrical wire was connected from buried object to the positive pole of the 12 v battery as aimed to make a contrast of electrical properties between the metal object and soft clay media. The final 3D resistivity result indicates the shape and position of buried metal more correctly. 2D resistivity imaging result at the initial stage indicates no buried metal object. After the buried metal object was connected to the battery, it has clearly identified in the 2D resistivity result.

Keywords: Geophysics; Resistivity; Conductivity; Clay; Metal

บทนำ

ธรณีฟิสิกส์เป็นการประยุกต์หลักการทางฟิสิกส์เพื่อศึกษาโลก [1] ด้วยการวัดค่าต่าง ๆ ทางกายภาพที่บริเวณพื้นผิวหรือใต้ผิวดินในหลุมเจาะ แล้วทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลที่วัดได้ เพื่อแปลความหมายร่วมกับความรู้ทางธรณีวิทยา เพื่อมุ่งหมายที่จะทราบได้ถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพภายในโลกที่เกิดขึ้น ทั้งในแนวราบและในแนวดิ่ง ซึ่งความรู้ทางธรณีฟิสิกส์สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย [2] โดยเฉพาะการสำรวจแหล่งปิโตรเลียม แหล่งน้ำบาดาล แหล่งแร่ งานทางวิศวกรรมโยธา และงานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องมือและความลึกของผลการสำรวจยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัยภายนอกโดยเฉพาะสภาพแวดล้อมในการวัดค่าจะต้องเหมาะสมกับแต่ละวิธีการสำรวจ [3] การสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์อีกวิธีการหนึ่งที่อาศัยคุณลักษณะทางกายภาพของวัตถุต่าง ๆ ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะตัว [1] - [3] ซึ่งวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถกระทำได้โดยการวัดค่าในหลุมเจาะหรือทำการวัดค่าที่ผิวดิน ซึ่งการวัดค่าที่ผิวดินจะมีรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบต่าง ๆ โดยค่าความลึกของการสำรวจขึ้นอยู่กับระยะห่างและรูปแบบ

การวางขั้วไฟฟ้า [4] อีกทั้งยังต้องมีสภาพของพื้นดินที่มีความต้านทานไฟฟ้าเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลกระจายตัวลงไปในระดับลึก แต่ถ้าดินในชั้นบนมีการนำไฟฟ้าสูง (High Conductivity) จะทำให้ไฟฟ้าไหลผ่านชั้นบนที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีกว่าชั้นลึกที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า [2] จึงทำให้ผลการสำรวจคลาดเคลื่อน

การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุที่เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมหรือสาธารณูปโภคเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อการจัดการก่อสร้าง ในการหลีกเลี่ยงความเสียหายและอันตรายต่อวัตถุที่ถูกฝังอยู่ใต้ดิน อาทิเช่น แนวท่อก๊าซ ท่อน้ำประปา แนวท่อร้อยสายไฟฟ้า เป็นต้น หากพิจารณาโดยละเอียดแล้ว วัตถุที่เป็นโลหะจะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี จึงไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยวิธีการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ ด้วยเหตุผลนี้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมในการใช้เพื่อตรวจสอบวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้

กรุงเทพมหานครและมหานครหลายแห่งทั่วโลกตั้งอยู่บนพื้นที่ที่เป็นดินเหนียวซึ่งมีการนำไฟฟ้าสูง [4] และโดยปกติของเมืองใหญ่จึงมีโครงข่ายสาธารณูปโภคใต้ดินอยู่อย่างหนาแน่น ดังนั้นวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในระดับตื้นเกือบทั้งหมดจึงไม่สามารถกระทำได้อาจเนื่องจากสัญญาณของเครื่องมือสำรวจถูกลดทอนหรือดูดซับโดยชั้นดินที่มีความชื้นและความนำไฟฟ้าของชั้นดิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอย่างถี่ถ้วนตามหลักการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัตถุต่างชนิดกันจะสามารถถูกตรวจพบได้เมื่อวัตถุทั้งสองมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อวัตถุสองชนิดมีความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ส่วนความละเอียดของผลการสำรวจขึ้นอยู่กับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า โดยวัตถุจะสามารถตรวจพบได้ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าระยะห่างของขั้วไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตรวจสอบวัตถุโลหะใต้ดินด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยการสร้างเงื่อนไขทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการตรวจพบวัตถุ ด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วัตถุโลหะเพื่อสร้างความแตกต่างทางด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวัตถุโลหะและดินโดยรอบโดยการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีปกติและวิธีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วัตถุใต้ดิน (Mise-A-La-Masse)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจเพื่อการตรวจสอบหาวัตถุที่ฝังอยู่ใต้ดินโดยส่วนใหญ่นิยมใช้การสำรวจด้วยคลื่นเรดาร์ (Ground Penetration Radar; GPR) เนื่องจากมีระยะเวลาในการสำรวจที่สั้นและให้ผลการสำรวจได้ทันที [5] แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการสำรวจบนพื้นที่ที่เป็นดินเหนียว [6] เนื่องจากดินเหนียวมีค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ที่สูงทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ (Signal Attenuation) สูง [7] จึงมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาการลดทอนของสัญญาณได้ 2 แนวทาง คือ 1) ลดความถี่ของสัญญาณในการสำรวจหรือ 2) เพิ่มกำลังส่งของเครื่องมือสำรวจ โดยแนวทางแรกคือการลดความถี่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะสามารถตรวจพบวัตถุได้ จึงมีเพียงแนวทางเดียวในการแก้ไขปัญหาคือเพิ่มกำลังส่งของเครื่องมือสำรวจ แต่เป็นการยากที่จะทำได้เนื่องจากเครื่องมือที่จำหน่ายได้ถูกควบคุมด้วยกฎหมายการสื่อสารระหว่างประเทศเพื่อป้องกันการส่งสัญญาณรบกวนต่อเครือข่ายสื่อสาร ดังนั้นวิธีการสำรวจด้วย GPR จึงไม่สามารถกระทำได้ในดินเหนียว

วิธีการสำรวจด้วยวิธีการอื่น ๆ อาทิเช่น การสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือน (Seismic Survey) ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถตรวจพบวัตถุขนาดเล็กได้ โดยวัตถุขนาดเล็กที่สุดที่สามารถตรวจพบได้ต้องมีขนาดอย่างน้อยเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น [8] ถ้าหากใช้วิธีการสำรวจด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ก็ไม่สามารถให้ผลการสำรวจได้เนื่องจากเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) ความถี่สูง เกิดการลดทอนของสัญญาณสูงด้วยเช่นกัน ส่วนวิธีการสำรวจด้วยการวัดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Survey) หรือวิธีการสำรวจด้วยการวัดแม่เหล็ก (Magnetic Survey) สามารถกระทำได้โดยผลการสำรวจสามารถบอกตำแหน่งในแนวราบได้คร่าว ๆ แต่ไม่สามารถบอกระดับความลึกของวัตถุได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงการสำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถตรวจพบโลหะที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินได้โดยใช้แนวความคิดจากวิธีการสำรวจด้วยเทคนิค Mise-A-La-Masse [9] ที่ได้มีการประยุกต์เพื่อใช้ในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น ใช้เพื่อการสำรวจแหล่งแร่โลหะ [10] - [11] สำรวจโครงสร้างทางธรณีวิทยา [12] และงานทางด้านวิศวกรรมโยธา [13] โดยเฉพาะใช้ในการตรวจสอบความยาวของเสาเข็ม [14]

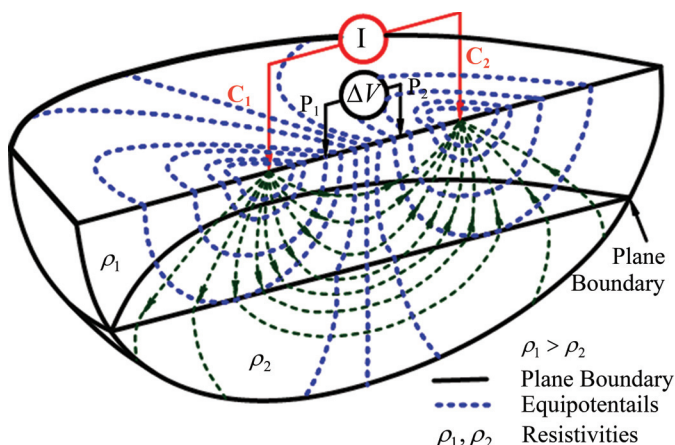
ทฤษฎีการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

ปริมาณความต้านทานไฟฟ้า (Resistance, R) 1 โอห์ม (Ω) คือ ความต้านทานที่ยอมให้กระแส 1 แอมแปร์ (A) ไหลผ่านเมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้า 1 โวลต์ (V) โดยความต้านทานของตัวต้านทานจะขึ้นอยู่กับความยาว (l) พื้นที่หน้าตัด (A) และค่าความต้านทานเฉพาะวัสดุแต่ละอย่าง (Resistivity, ρ) เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกปล่อยลงไปที่ผิวดินกระแสไฟฟ้าจะกระจายตัวเป็นรูปครึ่งทรงกลมและกระแสจะไหลตั้งฉากกับพื้นผิวที่เป็นจุดปล่อยกระแส สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 1 และสมการที่ (1)

$$v = IR = I \frac{\rho l}{2\pi r} \quad (1)$$

เมื่อ r คือ ระยะรัศมีห่างจากจุดปล่อยกระแสถึงจุดที่เราทำการพิจารณา

I คือ กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1 การกระจายตัวของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า [15]

ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในภาคสนามจะใช้ขั้วไฟฟ้าจำนวน 4 ขั้ว ประกอบด้วยขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ C_1 และ C_2 และขั้ววัดกระแสไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ P_1 และ P_2 (รูปที่ 1) ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จะเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าเสมือนในระดับความลึกในแนวดิ่ง ณ จุดตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว โดยค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วหาได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (2)

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right) \quad (2)$$

ในทางปฏิบัติค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity; ρ_a) สามารถหาได้จากสมการที่ (3) - (4)

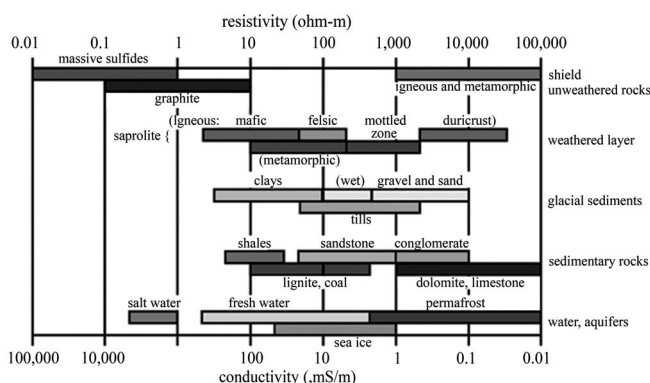
$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right)} \quad (4)$$

โดยที่

k คือ ค่าตัวคูณทางเรขาคณิตขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้งแท่งปล่อยกระแสไฟฟ้า
 r_{C1P1} คือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

ผลการสำรวจจากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจะแสดงเป็นรูปตัดของชั้นดินที่แสดงถึงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่าง ๆ ที่วัดและประมวลผลได้ โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าแสดงเป็นสีที่ต่างกันเป็นช่วง ๆ ตามมาตราส่วนแถบสีที่กำหนด การแปลผลข้อมูลการสำรวจถึงชนิดของดินจะเทียบเคียงจากข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของแต่ละวัสดุดังรูปที่ 2 ส่วนลักษณะทางธรณีวิทยาสามารถแปลผลได้จากลักษณะการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้า



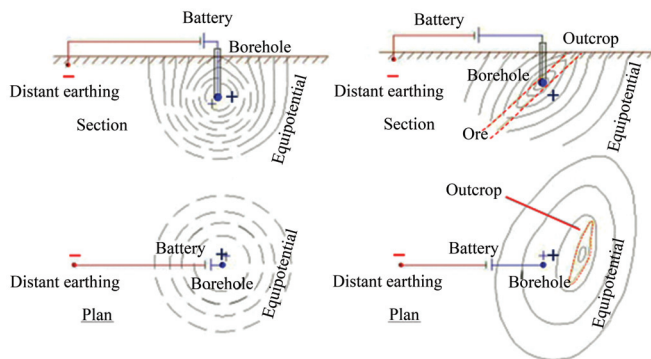
รูปที่ 2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุธรณีวิทยา [15]

การสำรวจด้วยเทคนิค Mise-A-La-Masse

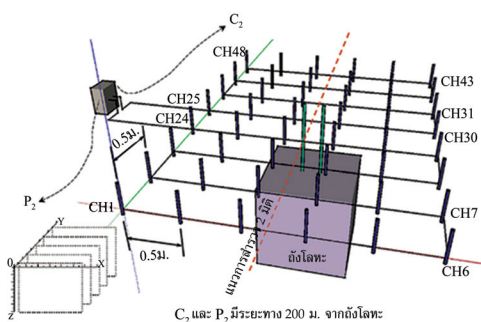
Mise-A-La-Masse เป็นเทคนิคการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้ารูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการสำรวจแร่โลหะตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 [16] ในการตรวจสอบสายแร่โลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง ในวิธีการนี้ ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ปล่อยกระแสไฟฟ้าหนึ่งขั้ว (C_1) ถูกติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งบนแนวของสายแร่ที่โผล่ขึ้นมาบนผิวดิน (Out Crop) หรือที่ระดับความลึกที่พบแร่ในหลุมเจาะ (รูปที่ 3)

วิธีการดำเนินการวิจัย

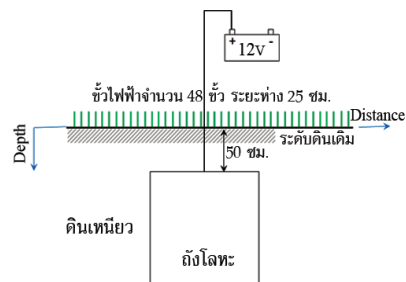
การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการขุดหลุมฝังวัตถุโลหะตัวอย่างเป็นถึงโลหะขนาด $1 \times 1 \times 1$ ม. ในดินเหนียวที่มีระดับความลึก 0.5 ม. จากผิวดินถึงผิวนบนของถ้ำ การก่อสร้างเริ่มต้นด้วยการขุดหลุมฝังถึงโลหะด้วยแรงงานคนโดยใช้จอบและเสียมเป็นเครื่องมือ หลุมที่ขุดมีขนาดที่พอดีในการวางถังและพื้นล่างของหลุมจะต้องได้ระดับ เมื่อวางถังจะต้องได้ระดับในแนวราบให้มากที่สุดแล้วทำการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าขนาด AWG 10 เข้ากับถึงโลหะสำหรับการจ่ายไฟฟ้าในขั้นตอนของการทดสอบ หลังจากนั้นทำการกลบหลุมด้วยดินเหนียวที่ขุดออกมาทีละชั้นที่มีความหนาไม่เกิน 15 ซม. แล้วทำการบดอัดทีละชั้นเพื่อให้ดินมีสภาพใกล้เคียงกับดินเดิมมากที่สุด รายละเอียดแบบจำลองของการศึกษานี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิค Mise-A-La-Masse [9]

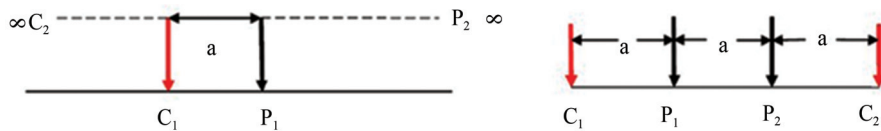


(ก) รูปแบบการติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบ 3 มิติ



(ข) แบบจำลองถึงโลหะที่ถูกฝังอยู่ในดินเหนียว และการติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบ 2 มิติ

รูปที่ 4 แบบจำลองในการศึกษา



(ก) รูปแบบการติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบ Pole-Pole (ข) รูปแบบการติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner
รูปที่ 5 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ Syscal R1+ แบบอัตโนมัติที่มีจำนวน 48 ช่องสัญญาณ ในการวัดค่าแบบ 3 มิติ ได้กำหนดให้ทำการวัดค่าด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole-Pole (รูปที่ 5(ก)) โดยมีขั้วไฟฟ้าตามแนวกว้าง 6 แนว และแนวยาว 8 แนว รวมทั้งหมด 48 ขั้ว ทำหน้าที่เป็นขั้วกระแส (C_1) และขั้ววัดความต่างศักย์ (P_1) ส่วนขั้วไฟฟ้าระยะไกล (Remote Electrode) จำนวน 2 ขั้วคือ C_2 และ P_2 ถูกติดตั้งไว้ที่ระยะห่างจากตำแหน่งที่วัดค่าเป็นระยะทางข้างละ 200 ม. จากเครื่องมือวัดดังรูปที่ 4(ก) การวัดค่าจะเริ่มทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยทำการจ่ายกระแสที่ช่องสัญญาณที่ 1 (C_1) และมีขั้ววัดความต่างศักย์ (P_1) ที่ช่องสัญญาณที่ 2 เมื่อวัดค่าเสร็จแล้วทำการย้ายขั้ววัดความต่างศักย์ (P_1) ไปที่ช่องสัญญาณที่ 3 และย้ายไปเรื่อย ๆ จนถึงช่องสัญญาณที่ 48 หลังจากนั้นทำการย้ายจุดจ่ายกระแส ไปยังที่ช่องสัญญาณที่ 2 (C_1) และมีขั้ววัดความต่างศักย์ (P_1) ที่ช่องสัญญาณที่ 3 เมื่อวัดค่าเสร็จแล้วทำการย้ายขั้ววัดความต่างศักย์ (P_1) ไปที่ช่องสัญญาณที่ 4 และย้ายไปเรื่อย ๆ จนถึงช่องสัญญาณที่ 48 และทำซ้ำโดยทำการย้ายจุดจ่ายกระแสไปยังช่องสัญญาณถัดไป โดยการวัดค่าจะสิ้นสุดเมื่อขั้วจ่ายกระแส ไฟฟ้า (C_1) อยู่ที่ช่องสัญญาณที่ 47 และขั้ววัดไฟฟ้า (P_1) อยู่ที่ช่องสัญญาณที่ 48

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าได้กำหนดให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่ามากกว่า 50 มิลลิโวลต์ โดยค่ากระแสที่ปล่อยจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานไฟฟ้าของพื้นดินและระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

การวัดค่ารอบแรกได้กระทำหลังจากการก่อสร้างเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วทำการติดตั้งเครื่องมือตามรูปที่ 4 แล้วทำการวัดค่าครั้งต่อมาโดยทำการต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมติดกับตัวถังโลหะได้ถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ก่อนการวัดค่า แล้วทำการวัดค่าเหมือนกันทุกอย่างเหมือนกันกับการวัดค่าในรอบแรก

นอกเหนือจากนั้นแล้วเพื่อให้ผลการสำรวจที่ละเอียดมากขึ้น การศึกษาได้ทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (รูปที่ 4(ข)) มีแนวการสำรวจ 1 แนวผ่านศูนย์กลางของถังโลหะตามแนวยาวของรูปแบบการวัดค่าแบบ 3 มิติ โดยใช้รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner (รูปที่ 5(ข)) ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 25 ซม. และมีจำนวนขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 48 ขั้ว โดยทำการวัดค่าด้วยวิธีการวัดค่าแบบปกติ และทำการวัดค่าแบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ถังโลหะเช่นเดียวกับการวัดค่าแบบ 3 มิติ

ข้อมูลการสำรวจแบบ 3 มิติ และ 2 มิติ ที่ได้จะถูกทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [17] และ RES2DINV [18] ตามลำดับ โดยผลที่ได้จะเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้ากระจายตัวอยู่เป็นภาพตัดขวางแบบ 3 มิติ และ 2 มิติ สามารถนำผลที่ได้ไปแสดงผลเป็นรูปตัดในแนวตั้งหรือแนวนอนด้วยโปรแกรมนี หรือโปรแกรมอื่นได้

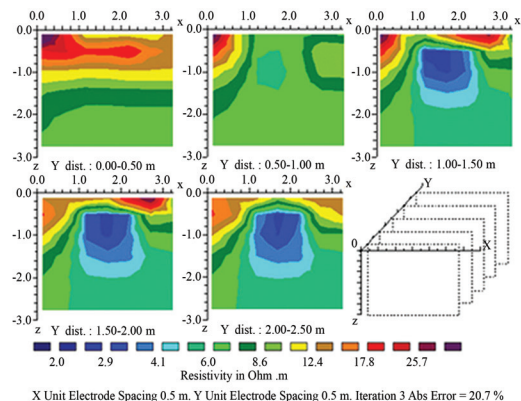
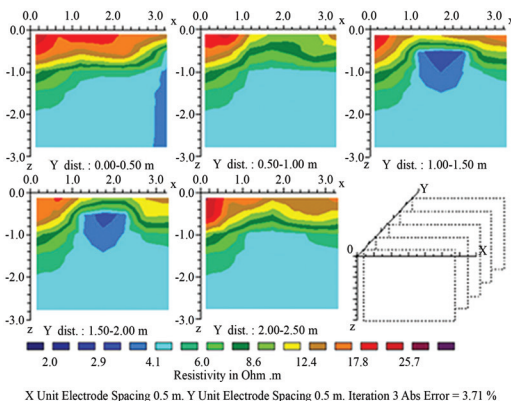
ผลการวิจัย

จากการฝังถึงโลหะ (รูปที่ 6) แล้วทำการบันทึกผลการสำรวจ และประมวลผลการสำรวจ พบว่าผลการสำรวจในรูปแบบ 3 มิติ ในชั้นดินสามารถตรวจพบถึงโลหะได้แม้มีรูปร่างลักษณะที่ไม่ชัดเจน (รูปที่ 7(ก)) โดยถึงโลหะที่พบแสดงเป็นพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 2 โอห์ม-ม. ในรูปตัดตามขวางที่ 1.00 - 2.00 ม. เมื่อทำการต่อถึงโลหะเข้ากับแบตเตอรี่แล้วพบว่า ผลการสำรวจสามารถแสดงได้ถึงลักษณะรูปร่างของถึงโลหะที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมอย่างชัดเจนซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้าประมาณ 2 โอห์ม-ม. (รูปที่ 7(ข))



รูปที่ 6 การขุดหลุมเพื่อฝังถึงโลหะ

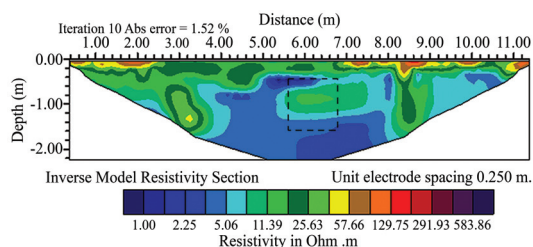
ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ แบบปกติในชั้นดิน (รูปที่ 8(ก)) ไม่สามารถตรวจพบถึงโลหะที่ฝังเอาไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามได้พบตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ คือ ช่วง 1 - 2 โอห์ม-ม. ที่ความลึก 50 ซม. ในช่วงระยะทาง (Distance) 5 - 6 ม. คล้ายกับลักษณะของพิวด้านบนของถึงโลหะแต่ไม่ได้แสดงถึงรูปร่างทั้งหมดของถึงโลหะทั้งลูก แต่ภายหลังจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่ถึงโลหะแล้ว ผลการสำรวจสามารถตรวจพบถึงโลหะที่ฝังเอาไว้ได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 8(ข)) แต่เนื่องด้วยวิธีการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้าแปลกปลอม (Artifact) ที่แสดงเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำในตำแหน่งด้านซ้ายและด้านขวาของตำแหน่งที่เป็นถึงโลหะ ตลอดจนไม่แสดงถึงขอบด้านล่างของถึง โดยผลการสำรวจนี้มีความผิดพลาดสมบูรณ์ของผลการทดสอบนี้ มีค่าเท่ากับ 37.1 %



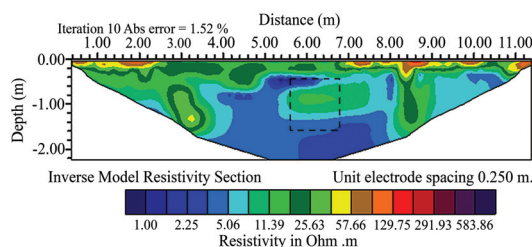
(ก) ผลการสำรวจด้วยวิธีการปกติ

(ข) ผลการสำรวจภายหลังจ่ายไฟฟ้าให้กับถึงโลหะ

รูปที่ 7 ผลการสำรวจแบบ 3 มิติ



(ก) ผลการสำรวจด้วยวิธีการปกติ



(ข) ผลการสำรวจภายหลังจ่ายไฟฟ้าให้กับถังโลหะ

รูปที่ 8 ผลการสำรวจแบบ 2 มิติ

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ สามารถตรวจพบถังโลหะที่ถูกฝังไว้ในดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำได้แต่ไม่ชัดเจน แต่เมื่อทำการสร้างเงื่อนไขทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการตรวจพบวัตถุด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วัตถุโลหะเพื่อสร้างความแตกต่างทางด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวัตถุโลหะและดินโดยรอบ เมื่อทำการเชื่อมต่อถังโลหะเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่แล้วได้ผลการสำรวจที่ชัดเจนขึ้นดังนี้

ผลการสำรวจแบบ 3 มิติ พบว่าขนาดของวัตถุที่ตรวจพบได้ตามแนวราบมีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริงราว 15 ซม. และมีความถูกต้องในด้านความลึกจากผิวดินถึงผิวด้านบนของถังโลหะ คือ 50 ซม. ส่วนระดับความลึกขอบด้านล่างของถังโลหะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ในส่วนของผลการสำรวจแบบ 3 มิติ ในรูปแบบปกติ (รูปที่ 7(ก)) ไม่สามารถระบุตำแหน่งผิวด้านล่างได้เนื่องจากการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้ามีรูปร่างที่ไม่สอดคล้องกับลักษณะของถังโลหะ แต่หากพิจารณาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ณ ตำแหน่งผิวด้านล่างของถังโลหะ พบว่ามีความลึกที่ 1.4 ม. กล่าวคือ มีระยะความลึกน้อยกว่าความลึกจริง 0.3 ม. ส่วนของผลการสำรวจแบบ 3 มิติ ที่ประยุกต์ตามหลักการ Mise-A-La-Masse (รูปที่ 7(ข)) พบว่าการกระจายตัวของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึกประมาณ 1.6 ม. มีความสอดคล้องกับลักษณะของขอบด้านล่างของถังโลหะ โดยมีระยะความลึกมากกว่าความลึกจริง 10 ซม.

ผลการสำรวจแบบ 2 มิติ ที่มีแนวการสำรวจกึ่งกลางของวัตถุเมื่อมองจากด้านบน แสดงเป็นภาพตัดขวาง ซึ่งผลการสำรวจด้วยวิธีการปกติ ไม่อาจตรวจพบได้ถึงวัตถุที่มีรูปร่างคล้ายถังโลหะที่ฝังไว้พบได้เพียงกลุ่มของค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 1 โอห์ม-ม. ที่ระดับความลึก 0.4 ม. ณ ตำแหน่งใกล้เคียงกับถังโลหะ ซึ่งแตกต่างจากผลการสำรวจด้วยเทคนิค Mise-A-La-Masse ที่สามารถแสดงถึงขอบเขตของถังโลหะทั้งผิวด้านบนและด้านข้างของถังโลหะได้อย่างชัดเจนที่ระดับความลึก 0.4 ม. และในขอบของถังโลหะในแนวราบที่ 5.75 - 6.8 ม. แต่อย่างไรก็ตามผลการสำรวจไม่สามารถระบุตำแหน่งของผิวด้านล่างของถังโลหะได้ ตลอดจนค่าความผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูล (Iteration Error) ด้วยโปรแกรม RES2DINV ของผลที่ได้จากเทคนิคการวัดค่า Mise-A-La-Masse คือ 37.1 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าการวัดค่าแบบปกติ คือ 1.52 % ซึ่งเป็นค่า RMS Error จากการประมวลผลย้อนกลับ (Inverse Modeling) ด้วยวิธีการ Finite-Difference

ในการสำรวจแบบ 3 มิติ จะมีความยุ่งยากในการปฏิบัติงานในภาคสนามเนื่องจากต้องการพื้นที่ในการติดตั้งขั้วไฟฟ้าและระยะห่างในการติดตั้งขั้วไฟฟ้าระยะไกลจำนวน 2 ขั้ว (C_2 และ P_2) ดังนั้นการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีข้อดีคือ มีความสะดวกในการติดตั้งเครื่องมือให้ผลเป็นรูปตัดขวางของชั้นดินที่มีความละเอียดสูงกว่าแบบ 3 มิติ ที่จำนวนขั้วไฟฟ้าเท่ากัน

การประยุกต์ใช้เทคนิค Mise-A-La-Masse เพื่อหาวัตถุโลหะที่ฝังอยู่ใต้ดินในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสู่ท่อโลหะใต้ดินในส่วนที่โผล่ขึ้นมาบนผิวดินหรือช่องเปิดสำหรับซ่อมท่อ/ควบคุม แต่ถ้าหากแนวท่อหรือวัตถุที่ฝังอยู่ใต้ดินไม่มีส่วนที่โผล่ขึ้นมาบนผิวดิน จะต้องขุดเปิดในจุดที่สะดวกและปลอดภัยที่สุดเพื่อทำการจ่ายกระแสสู่วัตถุที่ต้องการตรวจสอบ

หากวัตถุที่ฝังอยู่ใต้ดินเป็นวัตถุที่ไม่ใช่โลหะก็สามารถตรวจพบได้โดยง่าย แต่หากมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวของวัตถุที่น่าสนใจ เช่น ชั้นดินที่มีความนำไฟฟ้าสูง ชั้นน้ำเค็ม น้ำบาดาล น้ำพุร้อน [2] ก็จะทำให้ได้ผลการสำรวจที่ดีขึ้น สามารถจำแนกชั้นวัสดุที่มีความนำไฟฟ้าสูงได้ดีขึ้น

References

- [1] Peangta, S. (2007). **Exploration Geophysics**. Department of Geotechnology, Faculty of Technology, Khon Kean University (in Thai)
- [2] John M. Reynolds. (2011). **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. 2nd Edition Wiley-Blackwell
- [3] Richard Van Blaricom. (1980). **Practical Geophysics for the Exploration Geologist**. Northwest Mining Association (U.S.)
- [4] Loke, M. H. (2018). **Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys**. Access (27 July 2018). Available (<http://www.geotomosoft.com>)
- [5] David, J. Daniels. (2004). **Ground Penetrating Radar**. 2nd Edition. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom
- [6] Birstow, C. S. and Jol, H. M. (2003). **Ground Penetrating Radar in Sediments**. The Geological Society Publication No. 211, London
- [7] Topp, G. C., Davis, J. L., and Annan, A. P. (1980). Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurement in Coaxial Transmission Line. **Water Resources Research**. Vol. 16, pp. 574-582. DOI: 10.1029/WR016i003p00574
- [8] Öz Yilmaz. (2001). **Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data**. Society of Exploration Geophysicists. p. 2065
- [9] Paranis, D. S. (1973). **Methods in Geochemistry and Geophysics**, 3, The Mise-A-La-Masse Method, Mining Geophysics, 2nd Revised Edition, pp. 195-202
- [10] Paranis, D. S. (1967). **Three-Dimensional Electric Mise-A-La-Masse Survey of An Irregular Lead-Zinc-Copper Deposit in Central Sweden**. The 29th Meeting of the European Association of Exploration Geophysicists Held in Stockholm. DOI: 10.1111/j.1365-2478.1967.tb01796.x

- [11] Dinesh, G., Radhe, S., Agarwal, A. K., Bhattacharya, B. B., and Banerjee, B. (1999). Principles of Mise-A-La-Masse Method and its Application to Polymetallic Sulphide Deposits of Rajasthan. **Journal of Geological Society of India**. Vol. 53, Issue 1, pp. 49-57
- [12] Beasley, C. W. and Ward, S. W. (1986). Three Dimensional Mise-A-La-Masse Modeling Applied to Mapping Fracture Zones. **Geophysics**. Vol. 51, pp. 98-111
- [13] Wightman, W. E., Jalinoos, F., Sirles, P., and Hanna, K. (2003). **Application of Geophysical Methods to Highway Related Problems**. Federal Highway Administration, Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, CO, Publication No. FHWA-IF-04-021
- [14] Ping, D., Jingliang, F., Zhengzhou, C., Liangshu, W., Xinnan, G., and Ran, Q. (2008). Applying Mise-A-La-Masse Method to Determine the Length of Reinforcement in Bored In Situ Concrete Piles. **Journal of Environmental and Engineering Geophysics**. Vol. 13, No. 2, pp. 51-56.
- [15] Palacky, G. J. (1987). Resistivity Characteristics of Geologic Targets. **Electromagnetic Methods in Applied Geophysics**. Publisher: Society of Exploration Geophysicists Tulsa Vol. 1, pp. 53-129
- [16] Schlumberger, C. (1920). **Etude Sur la Prospection Electrique Du Sous-Sol**. Gauthier-Villars, Paris, p. 94
- [17] Loke, M. H. (2004). **RES3DINV Version 2.14**. Access (27 July 2018). Available (<http://www.geotomosoft.com>)
- [18] Loke, M. H. (2004). **RES2DINV Version 3.54**. Access (27 July 2018). Available (<http://www.geotomosoft.com>)