

การสำรวจหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อประปาใต้ดินด้วยวิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า

The detection of underground pipeline leakage through electrical resistivity survey method

ภัทรพล เดชสาร¹ วงศกร จังวัฒนกุล² และ วีรยุทธ โกลมวิลาศ³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อประปาใต้ดินด้วยวิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน โดยใช้การเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในสภาวะปกติกับขณะเกิดการรั่วไหลของน้ำประปา และงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินแบบไม่ทำลาย การทดสอบแบบไม่ทำลายนี้ใช้การติดตั้งแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าบนแผ่นพื้นคอนกรีตแทนที่การเจาะแผ่นคอนกรีตเพื่อติดตั้งแท่งอิเล็กโทรดลงในดิน จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินสามารถใช้ในการค้นหาตำแหน่งที่ท่อประปารั่วไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินแบบไม่ทำลายด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดเคลือบสารนำไฟฟ้าพบว่าไม่สามารถนำมาใช้ในการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินใต้แผ่นพื้นคอนกรีตได้

คำสำคัญ: การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า, ท่อประปารั่ว, การทดสอบแบบไม่ทำลาย, แผ่นเหล็กอิเล็กโทรด, สารนำไฟฟ้า

Abstract

The objectives of this research are to review on effectiveness of methods and to discover the detection of underground pipeline leakage through electrical resistivity survey method, which is currently a commonly used method for underground investigation. Due to its efficacy and suitability to do fieldwork, The method is to compare the ground electric resistivity in normal condition with the ground electric resistivity in leaking condition. Moreover, the method is a non-destructive testing (NDT) which applied steel flat electrode with Bentonite slurry and electrical

conductive gel on surface of concrete. The research findings are that the detection of a leaking water pipe through electrical resistivity survey method could locate the position of leaking pipes however, the result of using steel flat electrode combined with Bentonite slurry and electrically

Keywords: electrical resistivity survey, pipeline leakage, non-destructive testing, flat electrode, conductive slurry

1. คำนำ

ในปัจจุบันการประปานครหลวงซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการผลิตและจัดสรรน้ำประปาสู่ประชาชนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ กำลังประสบปัญหาการสูญเสียทรัพยากรน้ำระหว่างการขนส่งจากท่อประปารั่วเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 28 ของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ โดยมีเป้าหมายที่จะลดอัตราการสูญเสียนี้ให้ต่ำกว่าร้อยละ 19 ในปีพุทธศักราช 2565 (แผนวิสาหกิจการประปานครหลวง ฉบับที่ 5) ที่ผ่านมาการประปานครหลวงได้พยายามหาวิธีการสำรวจตำแหน่งรั่วไหลของท่อด้วยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และการใช้หุ่นยนต์สำรวจท่อรั่ว แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดและไม่สามารถใช้งานได้เหมาะสมในทุกกรณี ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบร่วมกับวิธีการหาท่อรั่วจากการฟังเสียง ได้แก่ Ground microphone และ Acoustic rod ซึ่งเป็นวิธีการหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อที่การประปานครหลวงใช้งานมาอย่างยาวนาน อย่างไรก็ตามวิธีการหาท่อรั่วจากการฟังเสียงดังกล่าวนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อน้ำในท่อมี่แรงดันมากพอและผู้ทดสอบต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้งานอุปกรณ์ ซึ่งในบางกรณีวิธีการหาท่อรั่วจากการฟังเสียงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพได้ยินของผู้ใช้งานด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอทางเลือกในการทดสอบหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อประปาใต้ดินเพิ่มเติม ได้แก่ วิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ซึ่งวิธีการนี้ใช้หลักการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในสภาวะปกติกับขณะเกิดการรั่วไหลของน้ำประปา โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณน้ำในดินมีการ

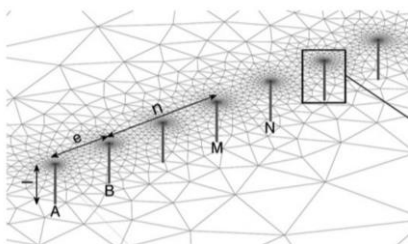
เปลี่ยนแปลง นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาวิธีการสำรวจสภาพ
 ด้านทานไฟฟ้าของชั้นดินแบบไม่ทำลาย เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานใน
 แหล่งชุมชน ซึ่งท่อประปาใต้ดินถูกฝังอยู่ใต้พื้นคอนกรีต การทดสอบแบบไม่
 ทำลายนี้ใช้การติดตั้งแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าบนแผ่น
 พื้นคอนกรีตแทนที่การเจาะแผ่นคอนกรีตเพื่อติดตั้งแท่งอิเล็กโทรดลงไป
 ในดิน

2. วรรณกรรมปริทัศน์

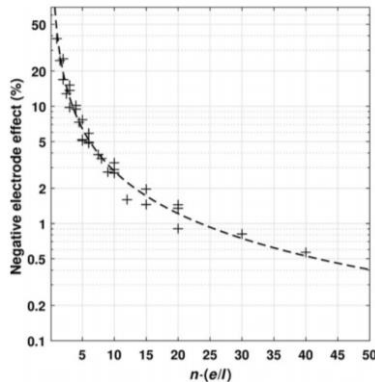
2.1 อิทธิพลของอิเล็กโทรด [2][6]

2.1.1 ค่าความผิดพลาดสำหรับอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน

ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าด้วย
 อิเล็กโทรดชนิดแท่งมาตรฐานเป็นผลอันเนื่องมาจากระยะห่างระหว่าง
 อิเล็กโทรด (e) ระยะฝังดิน (l) และค่า n หากค่า $\frac{n \cdot e}{l} \leq 5$ จะส่งผลให้
 เกิดค่าความผิดพลาดของสภาพด้านทานไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 10



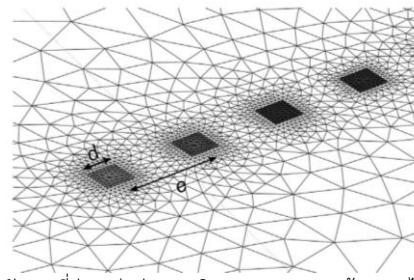
รูปที่ 2-1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความผิดพลาดของสภาพด้านทานไฟฟ้า
 สำหรับอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน (Cardarelli et al. 2019)



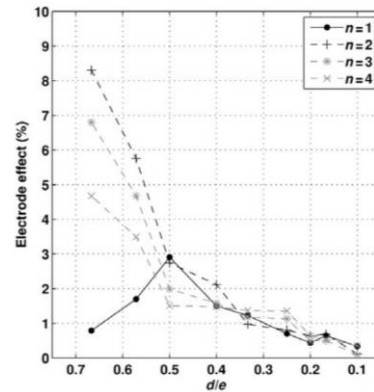
รูปที่ 2-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{n \cdot e}{l}$ กับค่าความผิดพลาดของ
 สภาพด้านทานไฟฟ้า (Cardarelli et al. 2019)

2.1.2 ค่าความผิดพลาดสำหรับอิเล็กโทรดแบบแบน

ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าด้วย
 อิเล็กโทรดแบบแบนเป็นผลอันเนื่องมาจากระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (e)
 และความกว้างของแผ่นอิเล็กโทรด (d) หากค่า $\frac{d}{e} \leq 0.4$ จะส่งผลให้
 เกิดค่าความผิดพลาดของสภาพด้านทานไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 10



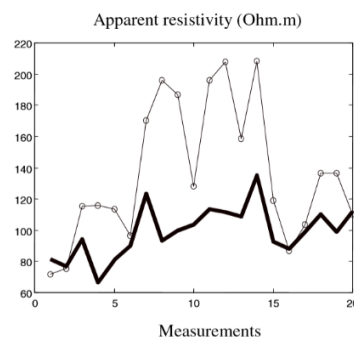
รูปที่ 2-3 ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความผิดพลาดของสภาพด้านทานไฟฟ้าสำหรับ
 อิเล็กโทรดแบบแบน Cardarelli et al. (2019)



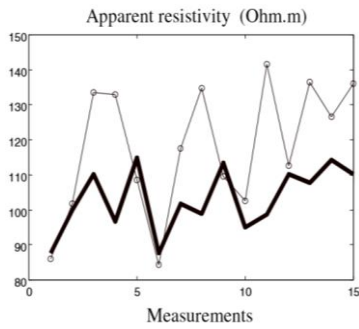
รูปที่ 2-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{c}{d}$
 กับค่าความผิดพลาดของสภาพด้านทานไฟฟ้า (Cardarelli et al. 2019)

2.2 การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าโดยจำลองการรั่วไหลของท่อ [3]

Jordana et al. [3] ได้ทำการจำลองการรั่วไหลของท่อเพื่อศึกษาการ
 เปลี่ยนแปลงสภาพด้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ด้วยวิธีไดโพล-ไดโพล
 และชลิมแบร์ฌี ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2-5 และรูปที่ 2-6 พบว่า
 เมื่อทำการจำลองท่อรั่ว ค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าปรากฏจะมีความแตกต่าง
 จากเดิมอย่างเห็นได้ชัด และการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของปริมาณน้ำ
 ส่งผลอย่างมากต่อค่าสภาพด้านทานไฟฟ้า



รูปที่ 2-5 ค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าปรากฏตรวจวัดด้วยวิธีไดโพล-ไดโพล
 (เส้นจางแสดงค่าในสภาวะปกติและเส้นทึบแสดงค่าขณะจำลองท่อรั่ว)
 (Jordana et al. 2001)

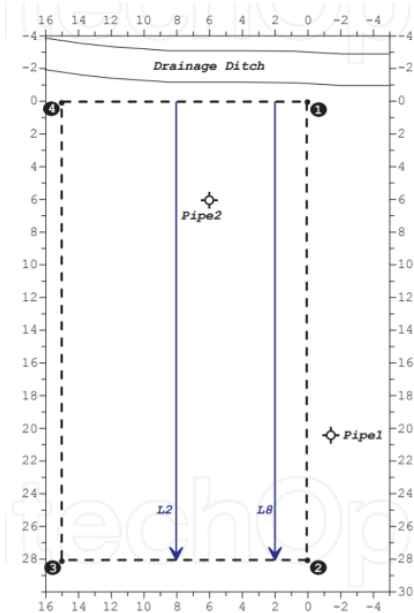


รูปที่ 2-6 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏตรวจวัดด้วยวิธีซิมแบร์เธอร์ (เส้นจางแสดงค่าในสภาวะปกติและเส้นทึบแสดงค่าขณะจำลองท่อรั่ว)

(Jordana et al. 2001)

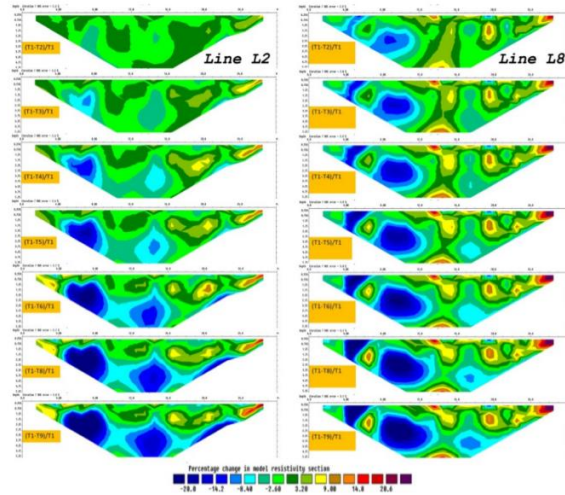
2.3 การหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์^[4]

Manataki et al. ^[4] ได้ทำการทดสอบหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อโดยวิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า 2 มิติ (Tomography Electrical Resistivity, ERT) ด้วยเทคนิค Time-lapse ซึ่งคือการเก็บข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต่างกัน ในการทดสอบได้ทำการปล่อยน้ำที่ตำแหน่ง Pipe1 และ Pipe 2 และทำการตรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนว L2 และ L8 ดังแสดงในรูปที่ 2-7 ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในรูปที่ 2-8 สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินมีค่าลดลงทั้ง 2 แนวทดสอบ เนื่องจากน้ำที่ถูกปล่อยจาก Pipe1 และ Pipe2 ซึมผ่านชั้นดินไปเป็นวงกว้างมากขึ้นตามช่วงเวลา และสามารถระบุตำแหน่งรั่วไหลได้



รูปที่ 2-7 แนวการทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าและตำแหน่งจุดรั่วไหล

(Manataki et al. 2014)



รูปที่ 2-8 ผลการทดสอบหาการรั่วไหลของน้ำโดยการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า 2 มิติ ด้วยเทคนิค Time-lapse (Manataki et al. 2014)

2.4 วิธีการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบไม่ทำลาย^{[1][5]}

การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าในเขตชุมชนเมืองนั้นเป็นเรื่องยาก การสำรวจแบบไม่ทำลายโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแบนจึงเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้แทนอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน

2.4.1 อิเล็กโทรดแบบแบน

อิเล็กโทรดแบบแบนที่นำมาใช้ในการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าทำมาจากโลหะทองแดงที่มีขนาด 7x7 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-9 ซึ่งจะให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับการใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรและฝังลงในดิน 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-10



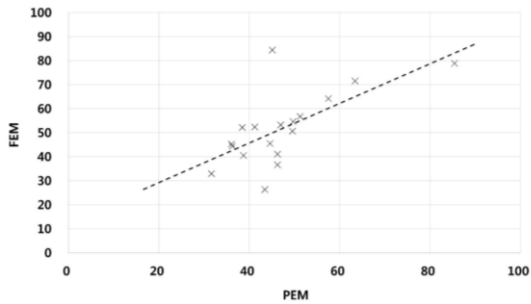
รูปที่ 2-9: อิเล็กโทรดแบบแบนขนาด 7x7 เซนติเมตร

(Athanasios et al. 2007)

2.4.2 การใช้อิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับสารละลาย

ในบางครั้งการวางอิเล็กโทรดแบบแบนลงบนพื้นผิวนั้นอาจทำได้ไม่แนบสนิท จึงจำเป็นต้องใช้สารละลายในการอุดช่องว่างระหว่างพื้นผิวกับอิเล็กโทรด โดยสารละลายที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายเบนโทไนท์ และ เจลนาไฟฟ้า และยังพบอีกว่าหากฉีดละอองน้ำเกลือไปยังพื้นผิวก่อนการทดสอบจะทำให้อิเล็กโทรดและพื้นผิวแนบสนิทกันมากยิ่งขึ้น

Park et al. ^[5] ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบสภาพต้านทานไฟฟ้าระหว่างการทดสอบโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐานกับการทดสอบโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแบน ได้ผลดังรูปที่ 2-10



รูป 2-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบนพื้นคอนกรีตด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน (PEM) และอิเล็กโทรดแบบแบน (FEM) (Park et al. 2017)

2.4.3 ความสามารถในการทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแบนบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ

Athanasίου et al. [1] และ Park et al. [5] ได้ทำการทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดแบบแบนบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2-1 ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตาราง 2-1 ความสามารถในการทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแบนบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ

ชนิดของพื้นผิว	ความสามารถในการทดสอบ
พื้นดิน (Ground soil)	ทดสอบได้
พื้นคอนกรีต (concrete)	ทดสอบได้
พื้นหินขัด (pavement stone)	ทดสอบได้
พื้นหินอ่อน (marble stone)	ทดสอบได้
พื้นหินปูน (Lime stone)	ทดสอบได้
พื้นยางมะตอย (Asphaltic concrete)	ทดสอบไม่ได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์ทดสอบ

3.1.1 เครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า รุ่น 4Point light 10W

3.1.2 อิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐานและแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบน

3.1.3 กล่องลวดชีไฟฟ้าพร้อมสายเคเบิล

3.1.4 สารละลายเบนโทไนท์และเจลนาไฟฟ้า

3.1.5 โปรแกรม ZondRes2D

3.2 สถานที่ทดสอบ

3.2.1 บริเวณริมถนนพุทธบูชา เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร

3.2.2 ศูนย์ฝึกอบรมกลาง สถาบันพัฒนาวิชาการ การประปานครหลวง

3.2.3 บริเวณหน้าอาคารมหิตลาธิเบศร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 บริเวณหน้าบ้านพัก อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ โดยทดสอบด้วยวิธีเวนเนอร์-ชลัมแบร์เคย์ แบ่งแนวการทดสอบเป็น 3 แนว คือ แนว A อยู่ใกล้แหล่งน้ำ, แนว B อยู่ถัดออกมาจากแนว A เป็นระยะ 1 เมตร

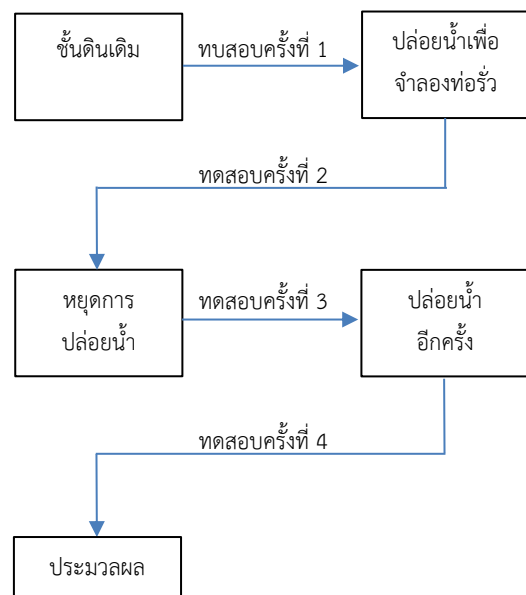
และแนว C เป็นแนวตัดขวางของแนว A และแนว B มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

แนวทดสอบ	จำนวนอิเล็กโทรด	ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (เมตร)	ระยะทดสอบ (เมตร)
A	20	1.0	19.0
B	20	1.0	19.0
C	20	0.5	9.5

3.3.2 การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อ

การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อประปา โดยทดสอบด้วยวิธีเวนเนอร์-ชลัมแบร์เคย์ และกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้ จำนวนอิเล็กโทรด 29 อิเล็กโทรด, ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 เมตร และระยะทดสอบ 14 เมตร มีลำดับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ลำดับการทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อ

3.3.3 การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าบนคอนกรีตแบบไม่ทำลายโดยใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์

ทำการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าบนคอนกรีตแบบไม่ทำลายโดยใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนขนาด 7x7 เซนติเมตรหนา 1 เซนติเมตรร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์ และทำการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน โดยทั้ง 2 การทดสอบใช้วิธีเวนเนอร์-ชลัมแบร์เคย์ กำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งรั่วไหลของท่อ

ชนิดของอิเล็กโทรด	จำนวนอิเล็กโทรด	ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (เมตร)	ระยะทดสอบ (เมตร)
แบบแท่งมาตรฐาน	40	0.5	19.0
แผ่นเหล็กแบบแบน	20	1.0	19.0

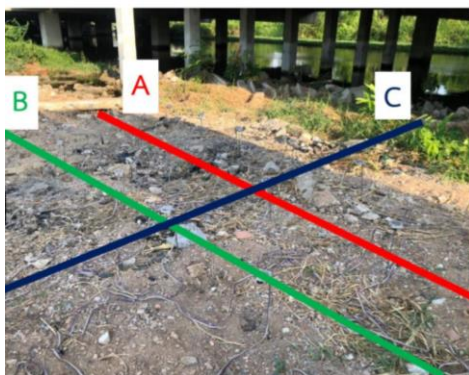
3.3.4 การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าบนคอนกรีตแบบไม่ทำลายโดยใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับเจลนำไฟฟ้า

การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าบนคอนกรีตแบบไม่ทำลายโดยใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับเจลนำไฟฟ้าด้วยวิธีเวนเนอร์-ซลิมแบร์เยย์ กำหนดแนวทดสอบระยะ 14 เมตร ใช้อิเล็กโทรดจำนวน 15 อิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 เซนติเมตร

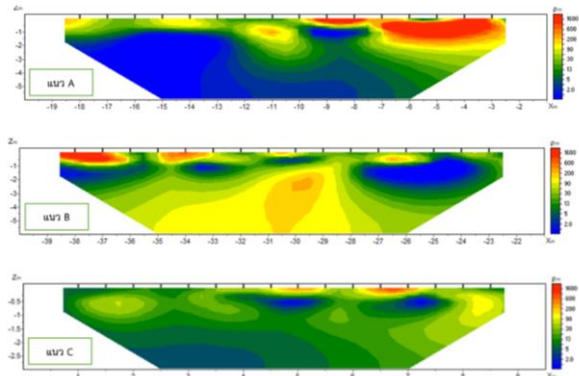
4. ผลการทดสอบ

4.1 การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ กำหนดแนวการทดสอบทั้งหมด 3 แนว แสดงดังรูปที่ 4-1 จากผลการทดสอบพบว่าแนวทดสอบ A ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำจะมีสภาพด้านทานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำ ในขณะที่แนวทดสอบ B ซึ่งอยู่ห่างจากแนวทดสอบ A เป็นระยะ 1 เมตร มีค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าสูงกว่ามาก และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบแนว C ในระยะทดสอบ 0-4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำมีค่าความต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ทำให้เห็นได้ว่าเมื่อมีดินมีสภาพอิ่มน้ำจะมีค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าดินในสภาพปกติ แสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-1 การกำหนดแนวทดสอบบริเวณริมถนนพทุพชญา



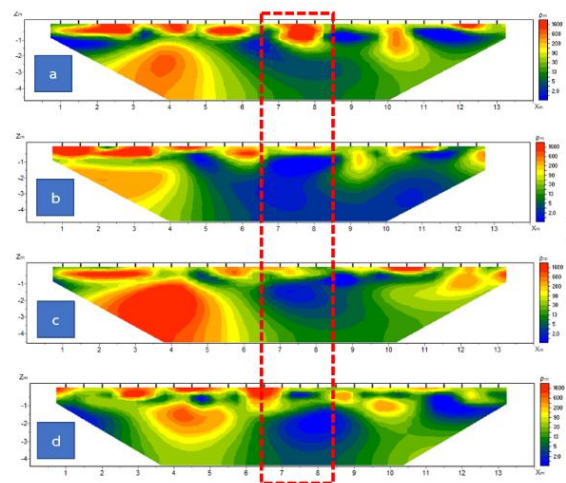
รูปที่ 4-2 ผลการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

4.2 การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าในบริเวณที่มีการจำลองท่อรั่ว

การสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าในบริเวณที่มีการจำลองท่อรั่ว โดยทำการกำหนดแนวทดสอบและมีจุดรั่วอยู่ในแนวทดสอบระยะทดสอบ 7-8 เมตร แสดงดังรูปที่ 4-3 และทำการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่าเมื่อทำการปล่อยน้ำเพื่อศึกษาท่อรั่ว ดังแสดงในรูปที่ 4-4 (b) ค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าของชั้นดินมีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผลการทดสอบขณะยังไม่มีการจำลองท่อรั่ว ดังแสดงในรูปที่ 4-4 (a) จากนั้นพบว่าเมื่อหยุดการปล่อยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-4 (c) สภาพด้านทานไฟฟ้าส่วนใหญ่สูงขึ้น และลดลงอีกครั้งเมื่อทำการจำลองท่อรั่วซ้ำ ดังแสดงในรูป 4-7 (d) จะเห็นว่าค่าสภาพด้านทานต่ำมีจุดศูนย์กลางอยู่ในระยะทดสอบที่ 7-8 เมตร เนื่องจากพื้นที่ที่มีสภาพด้านทานไฟฟ้าต่ำดังกล่าวหัวตัวลงเมื่อปิดน้ำและขยายออกเมื่อทำการปล่อยน้ำอีกครั้ง ดังนั้นตำแหน่งรั่วไหลของท่ออยู่ในระยะทดสอบ 7-8 เมตร ซึ่งตรงกับแผนผังในรูปที่ 4-3



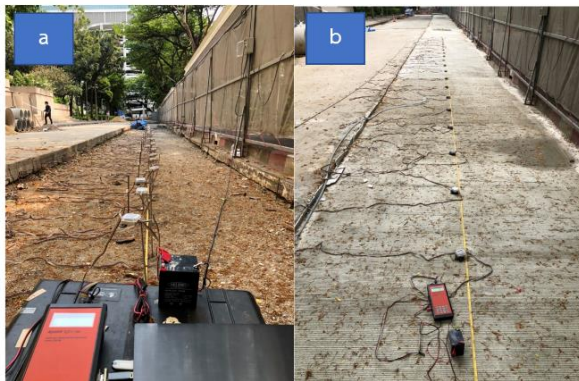
รูปที่ 4-3 การกำหนดแนวทดสอบและจุดรั่วไหล



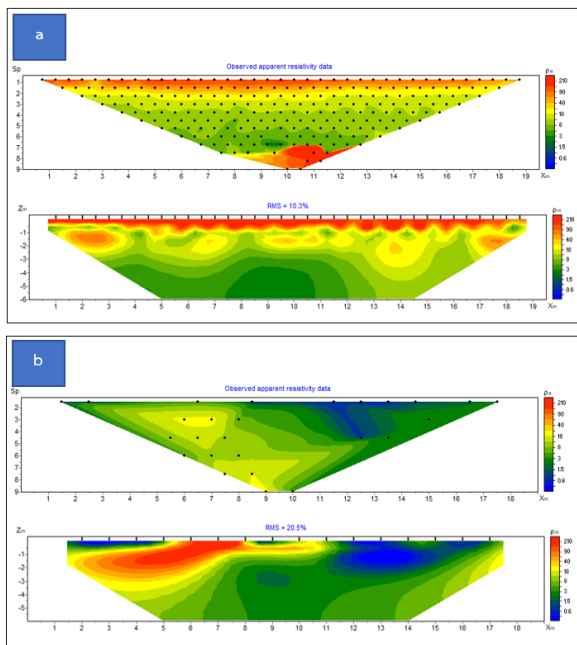
รูปที่ 4-4 ผลการทดสอบครั้งที่ 1-4 ในรูป a-d ตามลำดับ

4.3 การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบน ร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์

การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบน ร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์ จะแสดงผลการทดสอบโดยการนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐานในการทดสอบแควกัน แสดงดังรูปที่ 4-5 จากผลการทดสอบพบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากผลการทดสอบโดยใช้อิเล็กโทรดสองชนิดมีความแตกต่างกันมาก แสดงดังรูปที่ 4-6 เนื่องจากผลทดสอบที่ได้จากการใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์มีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าซึ่งอาจเกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่สามารถส่งผ่านแผ่นเหล็กลงไปยังใต้พื้นคอนกรีตได้



รูปที่ 4-5 แนวทดสอบ (a) ทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน และ (b) ทดสอบด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์



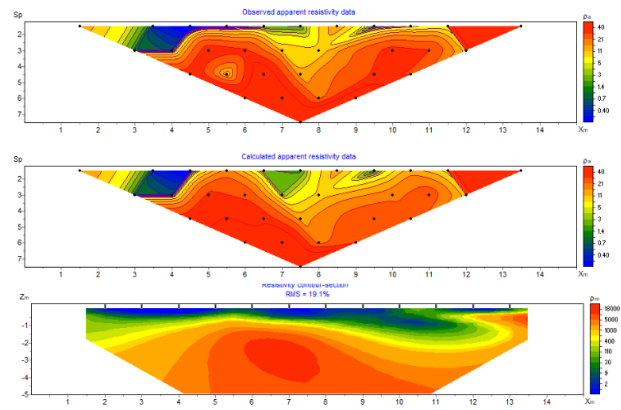
รูปที่ 4-6 ผลการทดสอบ (a) ทดสอบด้วยอิเล็กโทรดแบบแท่งมาตรฐาน และ (b) ทดสอบด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์

4.3.3 การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับเจลนำไฟฟ้า

การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยแผ่นอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับเจลนำไฟฟ้า กำหนดแนวทดสอบแสดงดังรูปที่ 4-7 (a) จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4-8 พบว่าการใช้เจลนำไฟฟ้าร่วมกับแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดนั้น ให้ปริมาณข้อมูลที่เก็บวัดมาได้มากกว่าการใช้สารละลายเบนโทไนท์ แต่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินไม่สอดคล้องกับชั้นดินจริง ซึ่งเป็นพื้นถนนคอนกรีตหนา 20 เซนติเมตร จากนั้นเป็นชั้นดินเดิมซึ่งควรมีค่าน้อย แต่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ตรวจวัดมาได้นั้นกลับมีค่าสูง นั่นเป็นเพราะกระแสไฟฟ้าไม่สามารถส่งผ่านไปถึงชั้นดินใต้พื้นถนนคอนกรีตได้



รูปที่ 4-7 (a) การกำหนดแนวทดสอบ และ (b) การใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดร่วมกับเจลนำไฟฟ้า



รูปที่ 4-16 ผลการทดสอบด้วยแผ่นเหล็กอิเล็กโทรดแบบแบนร่วมกับเจลนำไฟฟ้า

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินสามารถนำมาสรุปได้ดังนี้

- 5.1.1 ชั้นดินที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ
- 5.1.2 วิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินสามารถนำมาประยุกต์ใช้หาจุดรั่วของท่อประปาได้โดยการเปรียบเทียบการทดสอบขณะท่อรั่วกับการทดสอบก่อนท่อรั่ว
- 5.1.3 การใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดร่วมกับสารละลายเบนโทไนท์ไม่สามารถนำมาใช้สำรวจสภาพความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินบนคอนกรีตได้
- 5.1.4 การใช้แผ่นเหล็กอิเล็กโทรดร่วมกับเจลอัลตราซาวนด์ไม่สามารถนำมาใช้สำรวจสภาพความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินบนคอนกรีตได้

5.2 ข้อเสนอแนะและแผนการดำเนินงานในอนาคต

5.2.1 ทำการสำรวจสภาพด้านทานไฟฟ้าบนคอนกรีตด้วยแผ่นทองแดง อิเล็กโทรดแบบแบนขนาด 7 x 7 เซนติเมตร หน้า 1 เซนติเมตร และมี น้ำหนักไม่น้อยกว่า 500 กรัม ร่วมกับการใช้เจลนำไฟฟ้าเพื่อลดช่องว่าง ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและพื้นคอนกรีต ทำให้ไฟฟ้าสามารถส่งผ่านได้ดีขึ้น

5.2.2 ทำการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการชี้ตำแหน่งรั่วไหลของท่อให้ เหมาะสมกับท่อของการประปานครหลวง

5.2.3 ทำการศึกษาปัจจัยด้านเวลาที่ส่งผลต่อค่าสภาพด้านทานไฟฟ้า ในขณะที่ทำการจำลองท่อรั่ว

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.วีรยุทธ โกมลิวาส อาจารย์ที่ปรึกษา ปรียญานพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ จัดหาอุปกรณ์ ตรวจสอบ ครงงานวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสิ้น สมบูรณ์ ขอขอบคุณการประปานครหลวงที่ได้สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ บางส่วนที่ทางผู้ทำการวิจัยนั้นไม่สามารถจัดหาได้ ขอขอบคุณรุ่นพี่ และ เพื่อน ๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอย ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และที่ขาดไม่ได้นั่นคือขอขอบคุณทางครอบครัว ของทางผู้วิจัยทั้งสองที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Athanasiou, E.n., P.i. Tsourlos, G.n. Vargemezis, C.b. Papazachos, and G.n. Tsokas, Non-Destructive DC Resistivity Surveying Using Flat-Base Electrodes, Near Surface Geophysics 5, no. 4 (2007): 263–72. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2007008>.
- [2] Cardarelli, Ettore, and Giorgio De Donno, Advances in Electric Resistivity Tomography: Theory and Case Studies, Innovation in Near-Surface Geophysics, 2019, 23–57, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812429-1.00002-7>.
- [3] Jordana, Josep, Manel Gasulla, and Ramon Pallàs-Areny, Electrical Resistance Tomography to Detect Leaks from Buried Pipes, Measurement Science and Technology 12, no. 8 (2001): 1061–68, <https://doi.org/10.1088/0957-0233/12/8/311>.
- [4] Manataki, Meropi, Nikos Papadopoulos, Apostolos Sarris, Athos Agapiou, Kyriacos Themistocleous, and Diofantos G. Hadjimitsis, Monitoring of Water Leakages from Pipes through Geophysical Imaging Methods, Integrated Use of Space, Geophysical and Hyperspectral Technologies Intended for Monitoring Water Leakages in Water Supply Networks, 2014, <https://doi.org/10.5772/59532>.
- [5] Park, Changseon & Jeong, Jin-Hoon & Park, Hae-Won & Kim, Kyoungchul, Experimental Study on Electrode

Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements, Sustainability, (2017), <https://doi.org/10.3390/su9122320>.

- [6] Rucker Carsten, and Günther Thomas, The Simulation of Finite ERT Electrodes Using the Complete Electrode Model, Geophysics 76, no.4 (2011), <https://doi.org/10.1190/1.3581356>.