

การตรวจสอบจุดรั่วซึมของเขื่อนแกนดินเหนียว

Monitoring of water seepage for clay dam

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง^{1*} ชนะรบ วิชาลัย² อรวรรณ จันทสุทโธ¹ และ ณรงค์เดช ยิ่งสุขเกษม³
Narongchai Wiwattanachang^{1*}, Chanarop Vichalai², Orawan Jantasuto¹ and Narongdet Youngsukasem³

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบจุดรั่วซึมของเขื่อนแกนดินเหนียว โดยใช้เขื่อนกระเสียว อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีอายุการใช้งานมาแล้วมากกว่า 30 ปี เป็นกรณีศึกษาวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นถึงเทคนิคการสำรวจและเทคนิคการประมวลผลข้อมูลในการจัดทำแผนภาพความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางธรณีวิทยาเพื่อหาจุดรั่วซึมของเขื่อนที่ทำการศึกษาได้ วิธีดำเนินการศึกษาเริ่มต้นจากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ด้วยเครื่องมือ IRIS R1 Plus ตามแนวขนานกับสันเขื่อนเป็นระยะทาง 4,250 เมตร กำหนดความลึกการสำรวจไม่เกิน 50 เมตร โดยต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากเทคนิคการวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ Wenner array, Wenner-Schlumberger array และ Pole-Dipole array

ผลการศึกษาพบว่า การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยโปรแกรม RES2D/INV แสดงให้เห็นภาพของชั้นดินได้จากความแตกต่างของสีที่ปรากฏบนแผนภาพซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 200 โอห์มเมตร บริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง (สีเข้ม) แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของแนวหินที่มีความหนาที่บริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ (สีอ่อน) อาจแสดงให้เห็นถึงจุดที่เป็นดินอ่อนหรือมีความชื้นสูงผิดปกติซึ่งบางจุดพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 10 โอห์ม-เมตรสามารถตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่าบริเวณดังกล่าวคือจุดที่เกิดการรั่วซึมของน้ำจากเขื่อนได้พึงใส่ใจในการบำรุงรักษาจุดนั้นเป็นกรณีพิเศษประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือภาพตัดแสดงความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินตามแนวที่ได้ทำการสำรวจช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบจุดที่อาจเกิดการรั่วไหลของน้ำได้อีกทางหนึ่ง รวมถึงช่วยประหยัดเวลาประหยัดงบประมาณในการวางแผนบำรุงรักษาเขื่อนอีกด้วย

คำสำคัญ : เขื่อนแกนดินเหนียว แผนภาพความต้านทานไฟฟ้า Wenner array, Wenner-Schlumberger array, Pole-Dipole array

Abstract

This study investigated water leakage from the clay dam (Kra-Siao dam), Dan-Chang, Suphan-Buri which has been built for over 30 years as a case study. The purposes of this study were: (1) to apply the technical survey and (2) to employ data processing techniques for demonstrated the Pseudo-Section by electric imaging method. Electric imaging can be useful to analyze the geological conditions of the dam has been studied. This project was conducted by measured the electrical resistivity of Pseudo-Section with IRIS R1 Plus equipment. The surveying distances were 4,250 meters in length, and 50 meters in depth, which require to the best results of Wenner array, Wenner-schlumberger array and Pole-dipole array.

It was found that RES2D/INV program showed electric imaging varies based on color ranges from 50 to 200 ohms. The rock's location could be demonstrate by high electrical resistivity but the low electrical resistivity area indicated that a soft soil or high humidity. The surveying found that some areas have electrical resistivity below 10 ohm-meter. These are the water leakage area, which required special attention to maintenance. The benefit of this study is shown electric imaging along the survey line. It could be improved the accuracy to detecting the possible leakage of water for save time, budget and maintenance planning of the dam.

Keywords : Clay dam, Electric imaging, Wenner array, Wenner-Schlumberger array, Pole-Dipole array

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² นักวิจัยอิสระ

³ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

* Corresponding author. E-mail: narongchaiwatt@gmail.com

บทนำ

“น้ำต้นทุน” ถือเป็นทรัพยากรอันมีค่ายิ่งสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยปกติน้ำต้นทุนในแหล่งกักเก็บน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือใช้ในการเกษตรจะสูญเสียไปในรูปของน้ำที่ไหลออกจากแหล่งกักเก็บ การระเหยกลายเป็นไอ และการไหลซึมผ่านใต้ดินเขื่อน ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการกักเก็บน้ำยอมทำให้เกิดความต่างระดับของน้ำในอ่างและท้ายน้ำ ซึ่งธรรมชาติของน้ำที่จะพยายามหาทางซึมจากระดับสูงไปสู่ระดับที่ต่ำกว่า โดยผ่านทั้งตัวเขื่อนและฐานรากดังนั้นมาตรฐานสำหรับออกแบบเขื่อนวิศวกรรมจะพยายามลดการรั่วซึมนี้ให้น้อยที่สุดโดยการบดอัดดินเหนียวเป็นแกนเขื่อนหรืออัดฉีดน้ำปูนในฐานรากแต่อย่างไรก็ตามน้ำก็จะพยายามหาทางซึมผ่านในช่องทางที่ง่ายที่สุด ถ้าหากมีความเร็วหรือแรงดันมากพอก็จะกัดเซาะพาเอาเม็ดดินไหลตามไปพร้อมๆกันด้วยการกัดเซาะที่เกิดขึ้นภายในตัวเขื่อนดังกล่าวไม่สามารถตรวจพบได้โดยง่ายจึงอาจเกิดการกัดเซาะต่อเนื่องจนเป็นสาเหตุให้เขื่อนพังได้ในที่สุดดังนั้นหากเกิดการสูญเสียน้ำในแหล่งกักเก็บไปในรูปแบบของน้ำที่ไหลผ่านใต้เขื่อนในปริมาณที่มาก ย่อมที่จะเกิดการสูญเสียของน้ำต้นทุนและในเวลาต่อมาอาจส่งผลถึงความปลอดภัยของตัวเขื่อนได้ ซึ่งการสำรวจและการเฝ้าระวังตามแผนการบำรุงรักษาเขื่อนแบบปกติอาจใช้เวลาและงบประมาณสูง หรือได้ผลอยู่ในเกณฑ์ปกติเท่านั้น

งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอรูปแบบการสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเขื่อนตามแผนที่ได้กำหนดไว้ ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินตามเส้นทางการสำรวจ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม RES2D/NV (Loke ค.ศ. 2014) เพื่อแสดงเป็นแผนภาพในรูปแบบของภาพความต้านทานไฟฟ้า (Electric Imaging) แบบภาพตัด 2 มิติ (2D) ซึ่งแผนภาพความต้านทานไฟฟ้าจะชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างกันของลักษณะทางธรณีวิทยาด้วยสีที่ต่างกัน การแปลความหมายจากแผนภาพความต้านทานไฟฟ้าจะสามารถบอกได้ถึงจุดที่มีความชื้นสูง ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่าเป็นจุดที่น้ำรั่วซึม ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนสำหรับการวางแผนบำรุงรักษาเขื่อนต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกใช้พื้นที่เขื่อนกระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งเป็นเขื่อนแกนดินเหนียวเป็นพื้นที่ศึกษา เขื่อนกระเสียว ใช้งบประมาณก่อสร้างนานถึง 16 ปี โดยเริ่มก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509 จนถึงปี พ.ศ. 2524 เป็นเขื่อนดินสำหรับกักเก็บน้ำสร้างกั้นลำห้วยกระเสียวเป็นแนวยาว 4,250 เมตร สูง 32.5 เมตร ความกว้างที่สันเขื่อน 8 เมตร พื้นที่ผิวหน้า 35 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักน้ำได้สูงสุด 240 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ +87.00 เมตร รทก. ปริมาตรสูงสุด 390 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ +90.64 เมตร รทก. พื้นที่รับประโยชน์ 350,000 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศของอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรีตั้งอยู่บนฝั่งตะวันตกของแม่น้ำท่าจีนบนส่วนที่เป็นพื้นที่ดอนแห้งแล้งและพื้นที่ภูเขา ด้วยเหตุนี้ในแต่ละปี มักจะประสบปัญหาภัยธรรมชาติอันเกิดจากภาวะฝนแล้งอยู่เป็นประจำ อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่ทำการศึกษานี้ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแหล่งน้ำเขื่อนกระเสียว โดยมีพื้นที่ด้านท้ายเขื่อนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีสภาพเป็นไร่อ้อยมันสำปะหลังและพื้นที่เลี้ยงสัตว์เป็นต้น

ลักษณะทางธรณีวิทยาของเขื่อนกระเสียวมีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งระบุว่าลักษณะทางด้านธรณีวิทยาของเขื่อนกระเสียวว่ามีลักษณะเป็นภูเขา (Mountainous Landform) มีแกนสันเขื่อนด้านทิศตะวันออกเป็นหินปูนยุคออร์โดวิเซียนทางด้านตะวันตกเป็นหินทรายหินควอร์ตไซต์ยุคไซลูเรียนดีโวเนียน ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นต้นกำเนิดของตะกอนที่สะสมตัวในบริเวณที่ราบลุ่มบริเวณพื้นที่ของเขื่อนกระเสียว (กรมทรัพยากรธรณี ค.ศ. 2557)

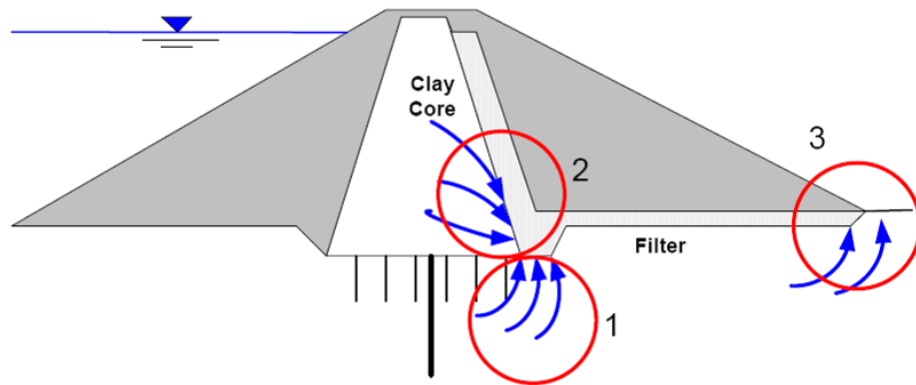


Figure 1 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน

การศึกษานี้มีวิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

- 1) การศึกษารวบรวมข้อมูลรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แก่ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา วิศวกรรม ที่จำเป็นในการวางแผนการปฏิบัติการสำรวจภาคสนาม และการวิเคราะห์ผล ที่จำเป็นในการวางแผนเพื่อป้องกันเมื่อเกิดปัญหาผลการพบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในภาคสนาม
- 2) การวางแผนการสำรวจวางแผนการสำรวจในภาคสนามตลอดจน กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจ โดยอ้างอิงจากรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่ได้ศึกษาในขั้นต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุดก่อนการเริ่มต้นสำรวจจริง
- 3) การสำรวจภาคสนามการสำรวจภาคสนามได้ดำเนินการในระหว่างเดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ.2558 เริ่มจากการกำหนดแนวที่ทำกรสำรวจดังรูปที่ 2 กำหนดจุดวัดค่าด้วยดาวเทียม GPS แล้วทำการวัดค่าเพื่อเก็บข้อมูลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในชั้นดินโดยแนวการสำรวจจะขนานชิดขอบวางระบายน้ำท้ายเขื่อน

วิธีการสำรวจเริ่มจากการติดตั้งขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยเหล็กกล้าปลอดสนิม จำนวน 48 ขั้ว (Electrode) ระยะห่าง 5 เมตร แล้วทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และค่าแรงดันไฟฟ้า (I) ด้วยเครื่องมือ IRIS R1 Plus ดังรูปที่ 3 โดยจะทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในรูปแบบการติดตั้งขั้วไฟฟ้าจำนวน 4 รูปแบบคือ Wenner array, Wenner-Schlumberger array, Pole-Dipole array และ Dipole-Dipole array (รูปที่ 4) หลังจากนั้นจะทำการคัดเลือกรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการวัดค่าตลอดแนวการสำรวจสำหรับการกระจายตัวของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าจากกระแส (I) และค่าที่เกิดขึ้นแรงดัน (ΔV) และความต้านทานที่ปรากฏ (ρ_a) สามารถคำนวณได้ดังนี้:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad [1]$$

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

โดยที่: k คือ ค่าตัวคูณทางเรขาคณิตจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า (Electrode array) ในแต่ละแบบ การสำรวจจริงในสนามจะเป็นการสำรวจโดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งการกระจายตัวของความต้านทานไฟฟ้าได้ผิวดินจะเป็นแบบ 3 มิติ โดยการวัดค่าความต้านทานยังคงสามารถกระทำได้

โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินและทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้ง 2 คือ C_1 และ C_2 และวัดกระแสความแตกต่างที่ขั้ว P_1 และ P_2 ดังรูปที่ 5

ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อสร้างผลการสำรวจที่เป็นรูปตัดตามแนวความลึกนั้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 6 คือ ในสถานีวัดที่ 1, $n=1$ จะเป็นค่าที่วัดได้ในระดับความลึกที่ 1 ที่มีตำแหน่งอยู่ ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง C_1 และ C_2 เมื่อวัดแล้วจะทำการย้ายขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่อยู่ถัดไปทางด้านขวาแล้วทำการวัดค่าเพื่อให้ได้ข้อมูล ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง C_1 และ C_2 อีกครั้ง และทำการเลื่อนและวัดไปยังขั้วไฟฟ้าที่อยู่ถัดไปจนสุดแนวการสำรวจ

ทำการวัดในสถานีที่ 2 , $n=2$ ด้วยการขยายระยะห่างขั้วไฟฟ้าเป็น 2 เท่า เพื่อให้ได้ข้อมูลในระดับความลึกที่ลึกยิ่งขึ้น โดยเมื่อวัดค่าแรกแล้วจะย้ายขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ไปยังขั้วไฟฟ้าถัดไป จนสุดแนวการสำรวจจากนั้นจึงทำการวัดในสถานีอื่นๆ เพื่อเพิ่มระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นจนครบ

- 4) การวิเคราะห์ผลการสำรวจ สามารถทำได้โดยการประมวลผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าผ่านโปรแกรม RES2D/INV (Wiwattanachang and Giao, 2011a) ผลที่ได้จะแสดงให้เห็นทราบถึงความแตกต่างทางด้านความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินต่างๆ ตลอดจนถึงจุดที่คาดว่าน่าจะเกิดปัญหาการรั่วซึมของน้ำ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงเป็นแนวตัดตามความลึก ซึ่งจะแสดงผลเป็นสีต่างๆ ที่แตกต่างกันตามค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ดังนั้นจะสามารถทำการจำแนกหรือแปลความหมายของผลการสำรวจเป็นแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาตามคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของแต่ละวัสดุที่วัดได้ดังรูปที่ 7



Figure 7 การวางแนวสำรวจขนานกับสันเขื่อน ยาว 4,250 เมตร



Figure 3 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IRIS R1 Plus

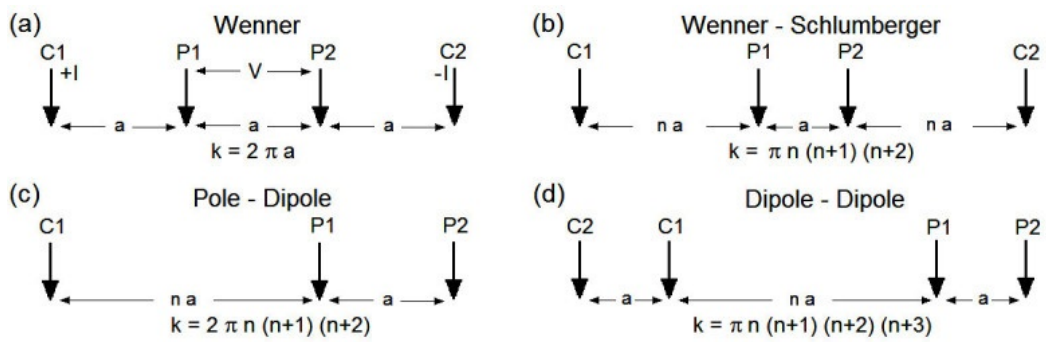


Figure 4 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า

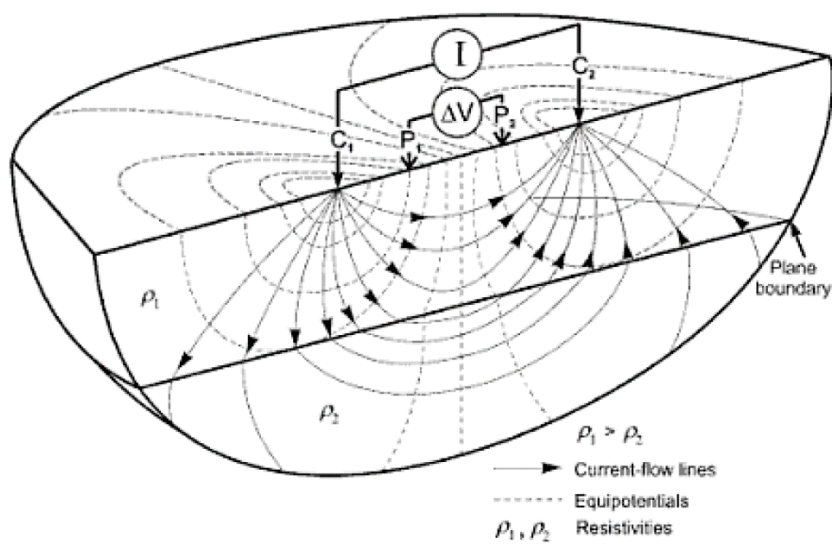


Figure 5 ทฤษฎีการกระจายตัวของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า (Palacky ค.ศ. 1987)

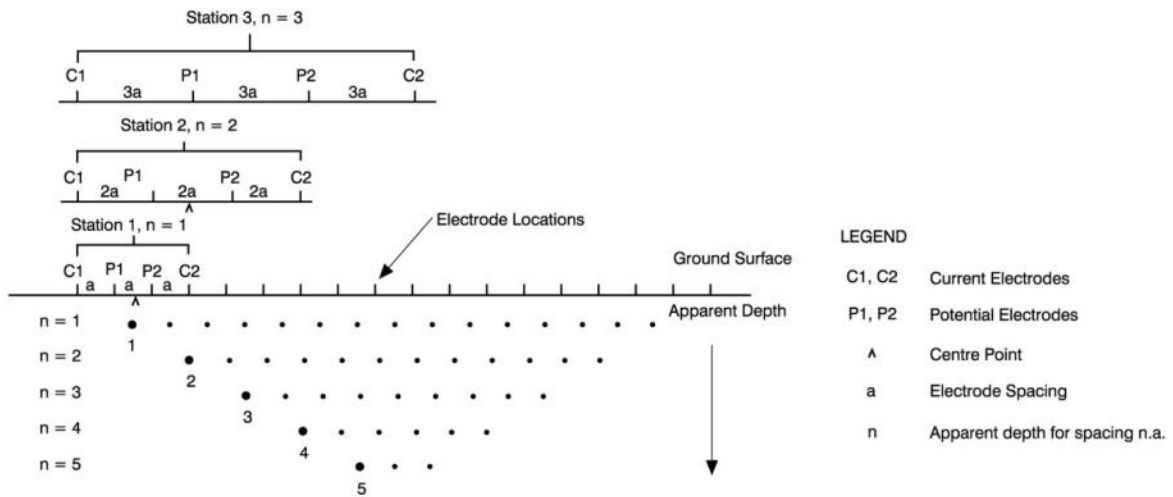


Figure 6 รูปแบบของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

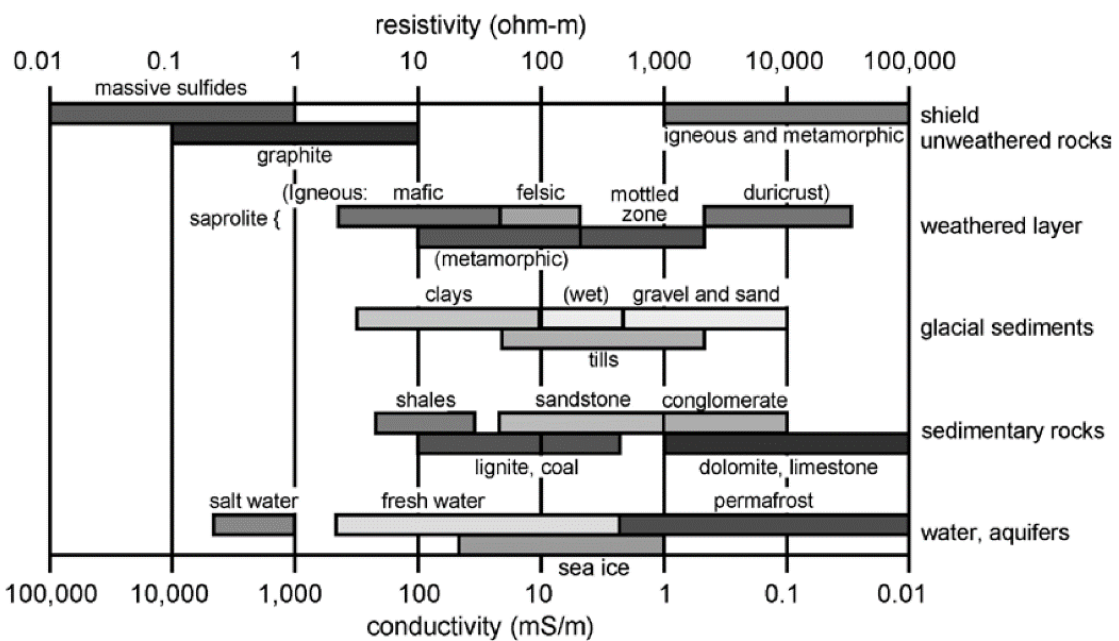


Figure 7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุธรณีวิทยา(Palacky ค.ศ. 1987)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษการวัดค่าด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบต่างๆที่ตั้งที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wennerarray และ Wenner-Schlumberger array สามารถให้ผลการสำรวจที่คล้ายคลึงกันแต่ผลสำรวจที่ได้จากการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole-Dipolearray พบว่ามีความคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner array และ Wenner-Schlumbergerarray แต่มีความลึกการสำรวจที่สูงกว่าตามทฤษฎีของ Loke (Loke ค.ศ. 2010) ดังนั้นในการศึกษครั้งนี้จะเลือกใช้รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole-Dipole array

ผลการศึกษาด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้านานกับสันเขื่อน ยาว 4,250 เมตร ดังรูปที่ 2 พบว่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินที่ความลึกไม่เกิน 50 เมตรมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1,500 โอห์มเมตร ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงเกินกว่าปกตินั้น อาจเกิดจากตัวแปรหลายส่วน (artifacts) ซึ่งจะต้องได้รับการปรับแก้ตัวแปรบางส่วน

(Wiwattanachang and Giao ค.ศ.2011b) หรือวัสดุดินหรือหินบางชนิดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าธรรมชาติเฉพาะตัวที่สูง (Corry ค.ศ.1985) จากภาพที่แสดงแบบ 2 มิติ สามารถจำแนกได้ถึงแนวการวางตัวของแนวหินฐาน ดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าความต้านทานที่สูงมากกว่าค่าความต้านทานปกติของสภาพทางธรณีวิทยาทั่วไปที่มีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 200 โอห์ม-เมตร และพบว่าจุดที่อาจเกิดการไหลซึมของน้ำหรือจุดที่ควรใส่ใจเป็นพิเศษ คือในส่วนที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 3 โอห์ม-เมตรดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การวัดค่าความต้านทานของดินแห้งและดินชุ่มน้ำบริเวณทางระบายน้ำด้านท้ายเขื่อนพบว่า ดินแห้งมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 30-75โอห์ม-เมตร และค่าความต้านทานของดินชุ่มน้ำมีค่าระหว่าง 1-10โอห์ม-เมตรซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสำรวจ

Table 1 ตำแหน่งและความลึกของจุดที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 3 โอห์ม-เมตร ที่คาดว่าจะเกิดตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมของตัวเขื่อน (Projection : WGS84; Datum : WGS84)

สถานี	ตำแหน่ง		ความลึก (MSL)
	E	N	
			80
0+260	568187.00	1639119.00	80
0+290 to 0+300	568218.00	1639129.00	80
0+340	568261.50	1639142.33	80
0+390	568310.14	1639162.99	80
1+170 ถึง 1+220	569068.53	1639421.73	50-65
1+260 ถึง 1+460	569226.21	1639476.81	60-70
1+540 ถึง 1+670	569453.15	1639567.00	65-70
1+920 ถึง 1+950	569763.62	1639682.75	30-40
2+030	569851.40	1639710.62	60
2+370	570170.36	1639833.34	50
2+390 ถึง 2+400	570189.84	1639837.09	50
2+770 ถึง 2+780	570546.42	1639964.28	30
3+110	570864.48	1640087.42	60
3+710	571423.87	1640310.31	70
3+800 ถึง 3+860	571531.07	1640353.41	75
3+900	571595.09	1640379.16	75

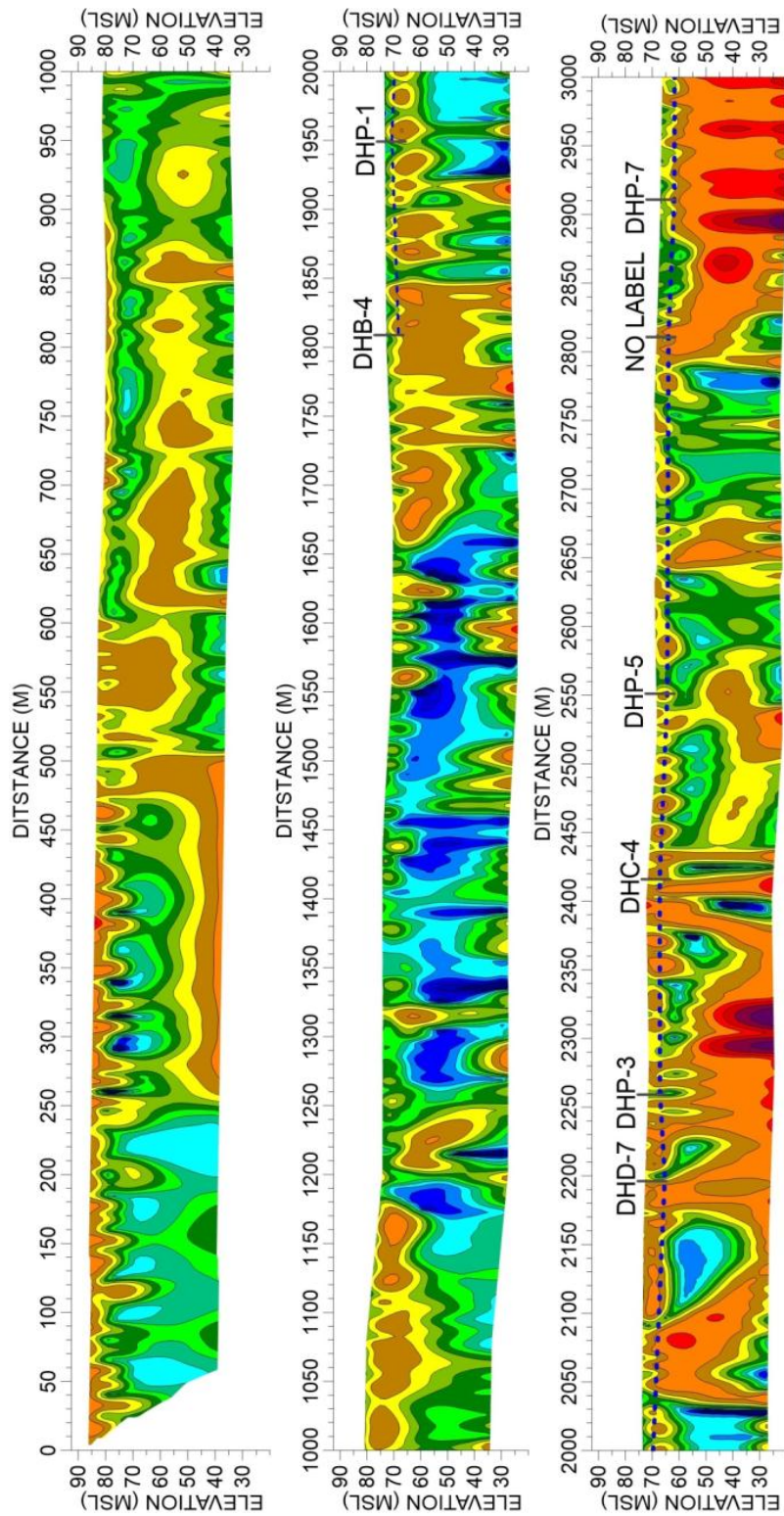


Figure 8 ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในดิน (ระยะทาง 0+000 ถึง 3+000)

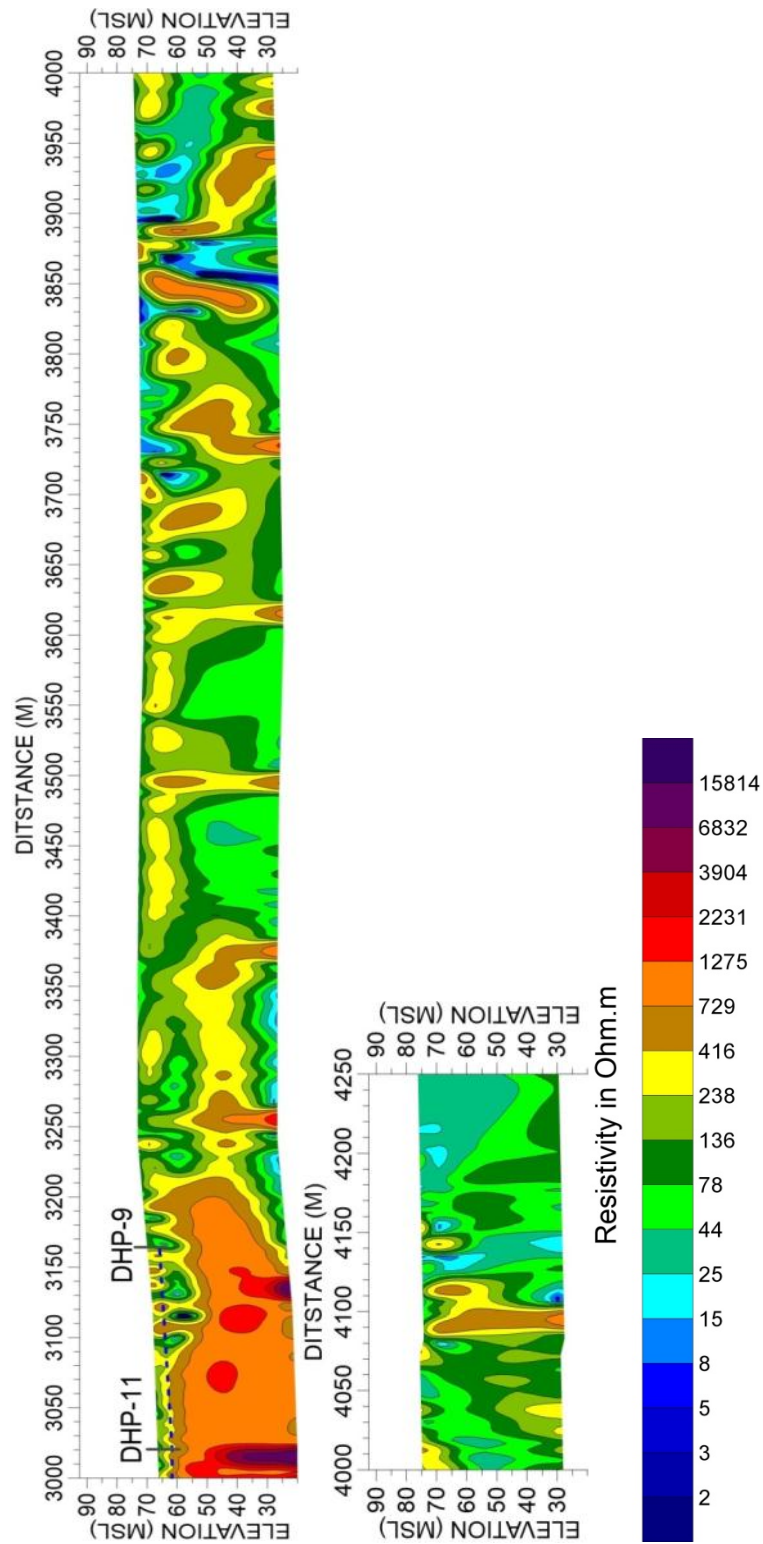


Figure 9 ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในดิน ((ระยะทาง 3+000 ถึง 4+250)

สรุป

จากประวัติการซ่อมแซมตัวเชื่อมที่ตำแหน่ง 1+600 ถึง 1+950 ประกอบกับผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ตำแหน่งที่ได้รับการซ่อมแซมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งควรตรวจสอบตามหลักวิศวกรรมโดยละเอียดต่อไป

จากผลการสำรวจและวิเคราะห์ผล ผู้ดำเนินการศึกษาเชื่อว่าการสำรวจด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษานี้มีความแม่นยำพอที่จะสามารถบอกจุดที่มีการรั่วซึมของน้ำได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการวางแผนบำรุงรักษาเชื่อมต่อต่อไปได้ การสำรวจด้วยวิธีนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัด ตลอดจนสามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบเชื่อมต่อได้

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากระเสี้ยว กรมชลประทาน ที่สนับสนุนข้อมูลทางวิศวกรรม และสถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนทุนวิจัยปีงบประมาณ พ.ศ.2558

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี (2557) แหล่งเรียนรู้ทางธรณีวิทยาจังหวัดสุพรรณบุรี. เข้าถึงได้จาก www.dmr.go.thสำนักงานเกษตรจังหวัดสุพรรณบุรี(2557) .เข้าถึงได้จากwww.suphanburi.doae.go.th
- Corry, C.E. (1985). Spontaneous polarization associated with porphyry sulfide mineralization, *Geophysics* 50, 1020-34.
- Loke, M.H. (2010). Tutorial: 2-D and 3-D electrical Imaging Surveys. เข้าถึงได้จาก <http://www.geoelectrical.com>
- Loke, M. H. (2014). โปรแกรม RES2DINV. เข้าถึงได้จาก <http://www.geoelectrical.com>
- Palacky, G.J., (1987). Resistivity characteristics of geologic targets, in Nabighian, M.N., ed., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Theory*: Tulsa, Okla., Society of Exploration Geophysicists, v.1, p. 53-129.
- Wiwattanachang N. &Giao P.H (2011a).Monitoring crack development in fiber concrete beam by using electrical resistivity imaging.*Journal of Applied Geophysics*, 75, 294-304.
- Wiwattanachang N. &Giao P.H (2011b).Size Effect Correction of the Resistivity Measurements on a Fiber Concrete Beam using 3D Resistivity Modeling.*The 10th International Symposium of the Society of Exploration Geophysicists of Japan (SEGJ)*, 227-230, Kyoto Japan.