



การประยุกต์สำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ เพื่อตรวจลักษณะภายในของทำนบกั้นดินของอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทาน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Applied 2-D Resistivity Survey for Determination of an Internal Structure of an Earth-fill Embankment of Irrigation Reservoirs in the Northeastern Thailand

เพียงดา สาตารักษ์* และสาคร แสงชมพู

Peangta Satarugsu and Sakorn Sangchumpoo*

ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Correspondent author: peangta@kku.ac.th

Received April 4, 2011

Accepted August 1, 2011

บทคัดย่อ

อ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีการสร้างมากกว่า 40-50 ปี ส่วนใหญ่เป็นอ่างเก็บน้ำที่สร้างทำนบกั้นดินขึ้นมาเพื่อปิดกั้นทางเดินของลำน้ำ ทำนบกั้นที่สร้างมานาน อาจมีการผุกร่อน หากผุกร่อนภายนอก ย่อมสามารถปรับปรุงบำรุงรักษาได้ แต่หากเป็นการผุกร่อนภายใน อาจจะเข้าไปในการปรับปรุงบำรุงรักษา ซึ่งการผุกร่อนภายในของทำนบกั้นและได้ทำนบกั้น ส่วนใหญ่มีผลจากการไหลซึมตามหลักของความดันน้ำที่มีระดับแตกต่างกันระหว่างบริเวณเหนืออ่างเก็บน้ำ และท้ายอ่างเก็บน้ำ การไหลซึมหากเป็นแบบการไหลคงที่มีปริมาณเล็กน้อย และไม่มีเศษตะกอนออกมา กับการไหลซึม ไม่ถือว่าอ่างเก็บน้ำมีปัญหาเกี่ยวกับการรั่วของน้ำ แต่ต้องมีการดูแลตรวจสอบ เพราะอาจส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของน้ำปริมาณมากขึ้น หากอัตราการไหลไม่คงที่ อาจส่งผลให้อ่างเก็บน้ำไม่สามารถกักเก็บน้ำได้อีกต่อไป ดังนั้นการวิจัยนี้ได้นำเอาการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ มาประยุกต์สำรวจหาลักษณะโครงสร้างภายในของทำนบกั้นของอ่างเก็บน้ำ โดยเลือกศึกษาอ่างเก็บน้ำที่มีอายุมากกว่า 45 ปีขึ้นไป จำนวน 6 อ่าง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด อ่างเก็บน้ำพุทรอุทยาน อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ อ่างเก็บน้ำภูเพ็ก และเลือกศึกษาอ่างเก็บน้ำที่มีอายุต่ำกว่า 30 ปี จำนวน 3 อ่าง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1 อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 2 และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 3 ทำการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นแนวยาวตามแนวของทำนบกั้น และที่บริเวณฐานทำนบกั้นฝั่งท้ายน้ำ ผลการสำรวจพบว่า ค่าความผิดปกติทางสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ สามารถแปลความหมายถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันหรือแปลความหมายถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของโครงสร้างภายในทำนบกั้นและได้ทำนบกั้นได้ พบโครงสร้างภายในทำนบกั้นและได้ทำนบกั้นของอ่างเก็บน้ำ ภูเพ็ก ห้วยตลาด ห้วยทรายตอนบน 1 ห้วยทรายตอนบน 2 และห้วยทรายตอนบน 3 มีค่าความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ส่วนทำนบกั้นอ่างเก็บน้ำ พุทรอุทยาน ห้วยทรายขมิ้น และห้วยน้ำบ่อ มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำ โครงสร้างได้ทำนบกั้นของอ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มากแสดงขอบเขตของ

สภาพด้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ ที่บ่งบอกถึงการรั่วซึมใกล้บริเวณทำนบกั้นน้ำ อย่างไรก็ตาม เพื่อยืนยันผลการสำรวจควรทำการสำรวจทำนบกั้นน้ำห้วยจระเข้มากครั้ง และควรทำการสำรวจในช่วงปริมาณน้ำในอ่างขึ้นถึงระดับสูงสุด เพราะหากมีการรั่วซึมจริง การรั่วซึมจะเกิดได้มาก ค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าจะปรากฏขอบเขตที่ชัดเจน และควรทำการสำรวจทำนบกั้นน้ำ พุทธอุทยาน ห้วยทรายขมิ้น และห้วยน้ำบ่อ อีกครั้งเช่นกัน และควรหาข้อมูลของการก่อสร้าง การต่อเติมหรือขยายความกว้างของทำนบกั้น และการปรับปรุงบำรุงรักษาทำนบกั้น ภายหลังการก่อสร้างเพื่อประกอบการแปลความหมายเพิ่มเติม

Abstract

An earth-fill embankment, a man-made structure, after decades of use, it is no doubt that external and internal damages have occurred. Damage to external structure is visible and so its repair is tenable. However, damage to internal structure may be too late for an attempt to protect and restore a utility of the earth-fill embankment. Seepage under the embankment that it can leads to piping is one of critical damages of the embankment. The piping occurs the embankment is no longer hold water. Thus, this study used applied 2-D resistivity survey for mapping of internal structure of nine earth-fill embankments (reservoirs). Six earth-fill embankments, Huai Jorrakaemark, Huai Talad, Phuta Utayan, Huai Sai Kamin, Huai Num Bor, and Phu Pet, of more than 45 years of age and three earth-fill embankments, Huai Sai 1, Huai 2 and Huai Sai 3, of less than 30 years of age were selected as case studies. Two resistivity profiles were measured at the top and at the downstream toe of each selected embankment. Results reveal the resistivity anomalies that could be interpreted to identify heterogeneity/homogeneity of the subsurface earth structure. An internal structure of the Phu Pet, Huai Talad, Huai Sai 1, Huai San 2, and Huai Sai 3 embankments and a subsurface beneath the downstream toe of the embankment resistivity images had the least heterogeneous earth-structures whereas an internal structure of the Phuta Utayan, Huai Sai Khamin, and Huai Num Bor embankments had the greatest heterogeneity. Subsurface images along the downstream toe of the Huai Jorrakaemark exhibits low resistivity values, and this requires a double check. Acquiring resistivity data should be attempted during the period when the water level in the reservoir rising close to the maximum level because if seepage occurs, water at the downstream toe of the embankment should obviously appear. A re-survey along the Phuta Utayan, Huai Sai Khamin and Huai Num Bor embankments are required for a conclusive interpretation of the heterogeneities and additional embankment's construction details should be obtained, including sources of earth materials and any re-structures made.

คำสำคัญ: ทำนบกั้นน้ำ การสำรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า การรั่วซึมใต้ฐานทำนบกั้น

Keywords: earth-fill embankment, resistivity survey, seepage under embankment

1. บทนำ

พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยจัดเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องของการขาดแคลนน้ำมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ของประเทศ หนึ่งในวิธีการแก้ไขปัญหาคือ การสร้างอ่างเก็บน้ำ ปัจจุบันในพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอ่างเก็บน้ำกระจายอยู่ทั่วไป โดยส่วนใหญ่กรมชลประทานเป็นผู้ก่อสร้าง ซึ่งกรมชลประทานได้สร้างเขื่อนเจ้าพระยา เป็นเขื่อนแรก ในปี พ.ศ. 2494 และนับจากนั้นเป็นต้นมา กรมชลประทานได้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานกระจายไปทั่วทุกภาคของประเทศ (1)

อ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง (ความจุของการกักน้ำมากกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่น้อยกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตร) มีพื้นที่เพื่อการชลประทาน ระหว่าง 3,000-80,000 ไร่) และขนาดเล็ก (ความจุของการกักน้ำน้อยกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่เพื่อการชลประทานน้อยกว่า 3,000 ไร่) อ่างเก็บน้ำบางแห่งมีอายุการใช้งานมากกว่า 40-50 ปี ดังนั้นอ่างเก็บน้ำนั้นย่อมมีความตื้นเขินของน้ำ อันเนื่องมาจากการตกตะกอนของดิน-หิน และ/หรือเศษวัชพืช ที่เป็นไปตามกฎของธรรมชาติ และการปรากฏของวัชพืชน้ำที่มีการเจริญเติบโตคลุมพื้นที่อ่างเก็บน้ำ การทับถมของตะกอนและวัชพืช สามารถทำการขุดลอกและปรับปรุงบำรุงรักษาให้อ่างเก็บน้ำใช้งานต่อไปได้ ในกรณีลักษณะโครงสร้างภายในของทำนบดินที่เป็นแนวนอนอ่างเก็บน้ำก็เช่นเดียวกัน ควรมีการตรวจโครงสร้างภายในของทำนบดินว่ามีความเป็นปกติ หรือมีการเปลี่ยนแปลงที่อาจส่งผลให้เกิดการรั่วซึม ที่จะทำให้อ่างเก็บน้ำไม่สามารถกักเก็บน้ำได้ ซึ่งหนึ่งในวิธีการตรวจโครงสร้างภายในของทำนบดิน สามารถทำได้ด้วยการประยุกต์สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ (2-3) แบบการสำรวจด้วยไฟฟ้าได้ผิวดินด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

แบบ 2 มิติ(2-D resistivity survey) ซึ่งวิธีการนี้พบว่ามีเหมาะสมในการตรวจสอบสภาพโครงสร้างใต้ผิวดินระดับตื้น (ความลึกไม่เกิน 100-500 เมตร) ดังตัวอย่างการประยุกต์ศึกษาของ Sjodahl *et al.* (4), Cho and Yeom (5), Poisson *et al.* (6) และ เพียงตาและคณะ (7-8)

การสำรวจด้วยไฟฟ้าได้ผิวดินด้วยวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ เป็นการวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current, DC) หรือใช้กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้าๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง มีการวัดระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ปล่อยกระแสและวัดค่าความต่างศักย์แตกต่างกัน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และทางเดินของกระแสไฟฟ้า คือคุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วยแร่องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน ถ้าทำนบดินของอ่างเก็บน้ำมีความผิดปกติ มีการรั่วซึม นั่นคือปริมาณน้ำในบริเวณรั่วซึมมีมาก หากวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า เปรียบเทียบกับบริเวณข้างเคียง ย่อมพบขอบเขตค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (low resistivity zone) ที่สามารถตรวจสอบและแปลความหมาย จากค่าความผิดปกติที่ตรวจวัดได้

2. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้อาศัยสมมติฐานว่า ทำนบดินที่สร้างขึ้นมากักเก็บน้ำของกรมชลประทานมีการสร้างแบบทำนบดินที่มีเนื้อเดียวกัน (homogeneous embankment) โดยการนำเอาทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มาบดอัดก่อเป็นทำนบดิน ในกรณีที่เกิดการรั่วซึมของน้ำผ่านทำนบดินสามารถตั้งสมมติฐานได้ 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1: ทำนบดินวางอยู่บนฐานราก (foundation) ที่เป็นแบบไม่ยอมให้มีการไหลซึม

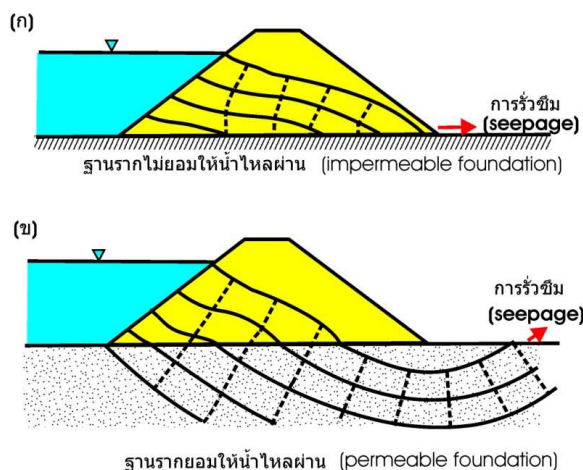
ผ่านได้ (impermeable foundation) หากเกิดการรั่วซึมเกิดขึ้น จะต้องเกิดการรั่วซึมที่พื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) หรือ

กรณีที่ 2: พื้นดินวางอยู่บนฐานรากที่ยอมให้มีการไหลซึมผ่านได้(permeable foundation) หากมีการไหลซึมผ่าน จะได้ลักษณะการไหลซึมผ่านดังรูปที่ 1 (ข)

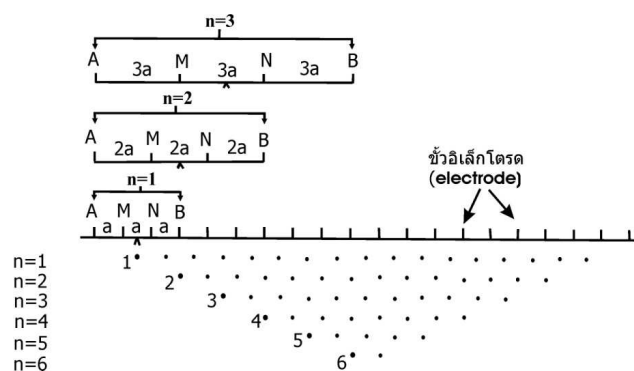
จากกรณีที่เกิดการรั่วซึมดังกล่าว ในกรณีที่ 1 จะทำให้ได้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ บริเวณที่เกิดการรั่วซึมบริเวณพื้นดิน และใกล้กับฐานของพื้นดิน เพราะเกิดจากการที่มีน้ำไหลผ่านได้ ในกรณีที่ 2 จะได้ขอบเขตของสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ฐานพื้นดิน หากทำการสำรวจสร้างภาพตัดขวางของสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ที่พื้นดินและฐานพื้นดินด้านที่อยู่ท้ายน้ำ ดังแสดงการจัดวางอิเล็กโทรดดังรูปที่ 2 และวางแผนสำรวจ ให้ขนานซึ่งกันและกัน จะพบลักษณะความผิดปกติของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สามารถแปลความหมายหาขอบเขตของสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ที่อาจแปลความหมายถึงการไหลซึมของน้ำใต้พื้นดินได้ แต่ถ้าหากผลของ

การสำรวจพบสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับตามแนวดิ่ง (vertical variation) และไม่เปลี่ยนแปลงในแนวนอน (lateral variation) นั้นแสดงว่าได้ฐานพื้นดิน น่าจะไม่มีมีการไหลซึมระดับดินที่จะทำให้พื้นดินเกิดการผุกร่อนรวดเร็วขึ้น

จากสมมติฐานและเงื่อนไขดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทานขนาดกลางและขนาดเล็กในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 9 อ่าง แบ่งเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 45 ปีขึ้นไป 6 อ่าง และต่ำกว่า 30 ปี จำนวน 3 อ่าง (ตารางที่ 1) พร้อมทำการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ด้วยเครื่อง Resistivity meter รุ่น Syscal R1 Plus โดยจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบเวนเนอร์ (Wenner array) โดยให้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้ามีระยะห่าง 10, 20, 30, 40, 50, ...100 หรือ 120 เมตร ความลึกที่ต้องการสำรวจประมาณ 50-60 เมตรจากผิวดิน และระยะห่างของสถานี 10 เมตร เพื่อหาสภาพความผิดปกติ หรือความไม่



รูปที่ 1. ภาพแสดงลักษณะการรั่วซึมของพื้นดิน ที่สร้างแบบเนื้อเดียวกัน ไม่มีแกนดินเหนียวอยู่ภายในพื้นดิน และลักษณะตาข่ายของการไหล (flow net) ภายในพื้นดิน (ก) ฐานของพื้นดินไม่ยอมให้มีการรั่วซึม หากมีการรั่วจะเกิดที่ตัวของพื้นดิน (ข) ฐานของพื้นดินยอมให้น้ำซึมผ่านได้ การรั่วซึมผ่านฐานของใต้พื้นดิน



รูปที่ 2. ลักษณะของการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบการสำรวจ 2 มิติ เพื่อให้ได้ภาพตัดขวางเทียมของสภาพใต้ผิวดิน จากผลของการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า A และ B แทนขั้วอิเล็กโทรดปล่อยกระแสไฟฟ้า ส่วน M และ N แทนขั้วอิเล็กโทรดวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ต่อเนื่องของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า บริเวณสัน หรือทำนบกั้น และบริเวณฐานทำนบกั้นฝั่งท้ายน้ำ ซึ่งระยะห่างของสถานี 10 เมตร และการจัดวางขั้ว อิเล็กโทรดแบบเวนเนอร์ พบว่าเหมาะสมกับ สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจ ข้อมูลที่ได้ สามารถแปลความหมายได้สอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ที่ต้องการความผิดปกติในแนวดิ่ง และแนวนอน (2-3) ทำการแปลความหมายด้วย โปรแกรม RES2-DINV (9) เพื่อวิเคราะห์หาค่า ความผิดปกติที่เกิดจากสภาพขององค์ประกอบ ของทำนบกั้นและบริเวณฐานทำนบกั้นฝั่งท้ายน้ำ การจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแสดงในรูปที่ 2

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ลักษณะของอ่างเก็บน้ำที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษา อาทิตขนาด ความจุ อายุการใช้งาน การใช้ประโยชน์ แสดงในตารางที่ 1 พื้นที่ของอ่างเก็บน้ำแสดงใน รูปที่ 4-6 อ่างเก็บน้ำที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษาเป็นอ่าง เก็บน้ำเพื่อการชลประทานขนาดกลาง จำนวน 8 อ่าง และขนาดเล็ก 1 อ่าง มีอายุการใช้งานมา มากกว่า 45 ปี ขึ้นไป จำนวน 6 อ่าง ได้แก่ อ่างเก็บ น้ำห้วยจระเข้มาก อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด และอ่าง เก็บน้ำพุทธอุทยาน (ชื่อเดิม คือ อ่างเก็บน้ำห้วย ปลาแดก) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น อ่างเก็บน้ำ ห้วยน้ำบ่อ อ่างเก็บน้ำภูเพ็ก ส่วนอ่างเก็บน้ำขนาด

กลางที่มีอายุต่ำกว่า 30 ปี คือ อ่างห้วยทราย ดอนบน 1 และห้วยทรายดอนบน 2 สำหรับอ่าง เก็บน้ำเพื่อการชลประทานขนาดเล็ก คือ อ่างเก็บ น้ำห้วยทรายดอนบน 3 อ่างเก็บน้ำห้วยทราย ดอนบน ทั้ง 3 อ่าง เรียกชื่อสั้นๆว่า อ่างเก็บน้ำห้วย ทราย 1, 2 และ 3

3.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำที่มีอายุการใช้งานขณะออกทำการ สำรวจ (ปี พ.ศ. 2553) มากกว่า 45 ปี ขึ้นไป เป็น อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง ที่มีการสร้างฝายน้ำล้น ดังนั้น หากมีปริมาณน้ำมากเกินความจุของอ่างเก็บ น้ำ น้ำจะถูกระบายออกทางฝายน้ำล้น ในช่วงที่ ออกสำรวจ พบว่าระดับน้ำที่จู่อยู่ในอ่างเก็บน้ำมี ระดับน้อยกว่าระดับของฝายน้ำล้น อ่างเก็บน้ำที่มี อายุน้อยกว่า 30 ปี จำนวน 3 อ่าง จากการสอบถาม ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง และเมื่อเปรียบเทียบจากวัน-เวลา ใกล้เคียงกัน (ช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2553) พบว่า อ่างเก็บน้ำที่มีน้ำค่อนข้างน้อย ปริมาณน้ำในอ่าง เก็บน้ำเรียงจากปริมาณน้อยถึงน้อยที่สุด คือ อ่าง เก็บน้ำห้วยทรายดอนบน1 ห้วยทรายดอนบน2 และห้วยทรายดอนบน3 และจากอ่างเก็บน้ำทั้ง 9 อ่าง อ่างเก็บน้ำที่พบวัชพืชเป็นจำนวนมากและมี การตื้นเขินมากที่สุด คือ อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น สามารถสังเกตได้ชัดเจนทั้งจากการศึกษาสภาพ

ตารางที่ 1: ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ ที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษา จำนวน 9 อ่าง

	จ. บุรีรัมย์	จ. บุรีรัมย์	จ. อำนาจเจริญ	จ. สกลนคร	จ. สกลนคร
ระยะก่อสร้าง	2505-2506 (47 ปี)	2496-2498 (52 ปี)	2500-2506 (47 ปี)	2496-2500 (57 ปี)	2496-2500 (57 ปี)
พื้นที่เก็บกัก	7,900 ไร่ (12.60 km ²)	8,400 ไร่ (13.44 km ²)	3,288 ไร่ (5.26 km ²)	1200 ไร่ (1.92 km ²)	563 ไร่ (0.90 km ²)
ความจุถึงระดับ กักเก็บ	27..2 ล้าน ลบ. ม.	27 .8 ล้าน ลบ. ม.	22 ล้าน ลบ. ม.	2.4 ล้าน ลบ. ม.	22 ล้าน ลบ. ม.
ความลึก	7 เมตร	3 เมตร	8 เมตร	6 เมตร	10 เมตร
ทำนบกินสูง	8.5 เมตร	4.5 เมตร	13.5 เมตร	8.3 เมตร	17 เมตร
สันทำนบกว้าง	7 เมตร	4 เมตร	6 เมตร	5 เมตร	6 เมตร
สันทำนบยาว	1,900 เมตร	2,300 เมตร	1,300 เมตร	1,300 เมตร	950 เมตร
พื้นที่เพาะปลูก	12,500 ไร่	15,400 ไร่	14,214 ไร่	3,000 ไร่	3,600 ไร่
การใช้ประโยชน์	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร ประปา ประมง ท่องเที่ยว	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร ประมง ท่องเที่ยว	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภคการเกษตร ประปา ประมง ท่องเที่ยว	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร

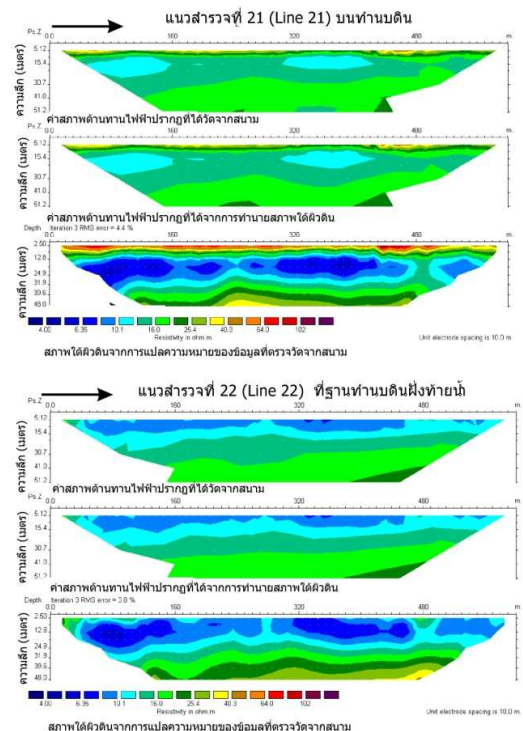
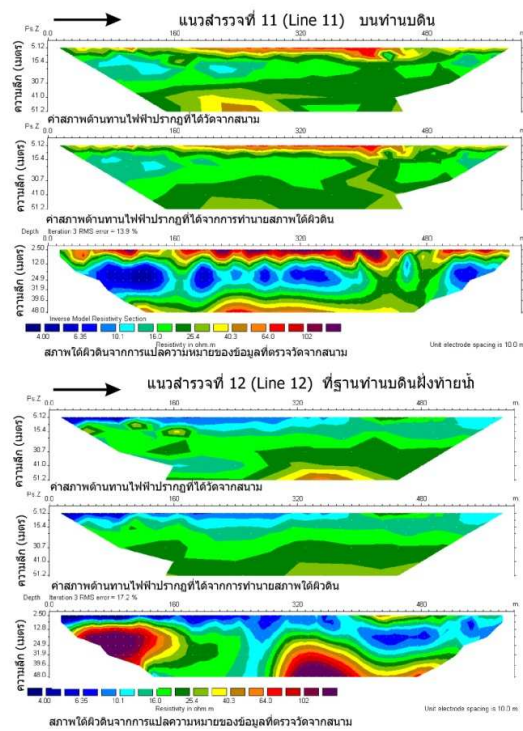
ตารางที่ 1: ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ ที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษา จำนวน 9 อ่าง (ต่อ)

	จ. สกลนคร	จ. สกลนคร	จ. สกลนคร	จ. สกลนคร
ระยะก่อสร้าง	2495-2500 (53 ปี)	2530 (23 ปี)	2529 (24 ปี)	2528 (25 ปี)
พื้นที่เก็บกัก	490 ไร่ (0.78 km ²)	262 ไร่ (0.42 km ²)	312 ไร่ (0.50 km ²)	131 ไร่ (0.21 km ²)
ความจุถึงระดับ กักเก็บ	2.7 ล้าน ลบ. ม.	2.35 ล้าน ลบ. ม.	2.1 ล้าน ลบ. ม.	0.21 ล้าน ลบ. ม.
ความลึก	8 เมตร	-	-	-
ทำนบกินสูง	12 เมตร	13.5 เมตร	12.9 เมตร	8.0 เมตร
สันทำนบกว้าง	6 เมตร	6 เมตร	6 เมตร	5 เมตร
สันทำนบยาว	530 เมตร	575 เมตร	690 เมตร	290 เมตร
พื้นที่เพาะปลูก	2,460 ไร่	4,000 ไร่	3,800 ไร่	3,800 ไร่
การใช้ประโยชน์	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร	น้ำเพื่ออุปโภค- บริโภค การเกษตร

(ก)



(ข)



รูปที่ 3. ภาพถ่ายแสดงแนวสำรวจ และผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ก) อ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก (ข) อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด

ของอ่างเก็บน้ำ และจากภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถสืบค้นได้ทางอินเทอร์เน็ต ส่วนอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ พบการตื้นเขินของอ่างเก็บน้ำ แต่ไม่มีวัชพืชปกคลุมเหมือนอ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น ลักษณะเฉพาะของแต่ละอ่างเก็บน้ำมีดังนี้

อ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก (ตารางที่ 1, รูปที่ตั้งอยู่ที่บ้านฝั่งต้น ตำบลบ้านบัว อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:50,000 ราว

6538 IV พิกัด 48 PUB 904-493) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ (ปี พ.ศ. 2553) 47 ปี สภาพธรณิวิทยาของพื้นที่อ่างเก็บน้ำและใกล้เคียง พบหินโผล่เป็นหินบะซอลต์ ซึ่งอายุของหินบะซอลต์เป็นอายุควอเทอร์นารี สภาพลำดับชั้นหินต่อจากอายุควอเทอร์นารีอย่างคร่าวๆ คือ หินกลุ่มโคราช บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่อ่างเก็บน้ำ พบเป็นช่วงการขาดหายของหมวดหินมหาสารคาม หรือ

ขอบของแอ่งโคราช ทำนบดินและสันทำนบดิน มีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี จากผลของการสอบถามเกี่ยวกับการไหลซึมของน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ พบว่ามีให้เห็นในบางพื้นที่ และเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงที่อ่างเก็บน้ำมีระดับน้ำสูงใกล้ถึงระดับสูงสุด การซึมของน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ มีการควบคุมและดูแลรักษา ให้เป็นไปตามเสถียรภาพของอ่างเก็บน้ำ ในช่วงที่เข้าไปสำรวจ ไม่สามารถมองเห็นการไหลซึมของน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ พบดินเค็มกระจายอยู่เป็นหย่อมๆ น้ำที่กักเก็บในอ่างเก็บน้ำจัดเป็นน้ำจืด เป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร แหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ พร้อมเป็นแหล่งน้ำเพื่อการประปาของจังหวัดบุรีรัมย์

อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด (ตารางที่ 1, รูปที่ 3) ตั้งอยู่ที่บ้านตลาดควาย ตำบลสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:50,000 ราว 5638 IV พิกัด 48 PTB 945-454) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ 52 ปี อ่างเก็บน้ำนี้อยู่ใกล้เคียงกับอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก สภาพธรณีวิทยาคร่าวๆ ของอ่างเก็บน้ำจึงมีลักษณะคล้ายคลึงกับอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก ทำนบดินมีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี และในช่วงที่เข้าไปสำรวจพบว่ากำลังมีการเสริมทำนบดินให้กว้างมากขึ้น

อ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน (ตารางที่ 1, รูปที่ 4) ตั้งอยู่ที่บ้านพุทธมงคล ตำบลบึง อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:50,000 ราว 5940 IV พิกัด 48 PVC 611-563) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ 47 ปี ทำนบดินและสันทำนบดิน มีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี หินทิ้งที่ทำนบดิน เป็นหินปะชอลต์ พบหินทรายและทรายแป้งของกลุ่มหินโคราช ปรากฏอยู่ในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำและใกล้เคียง

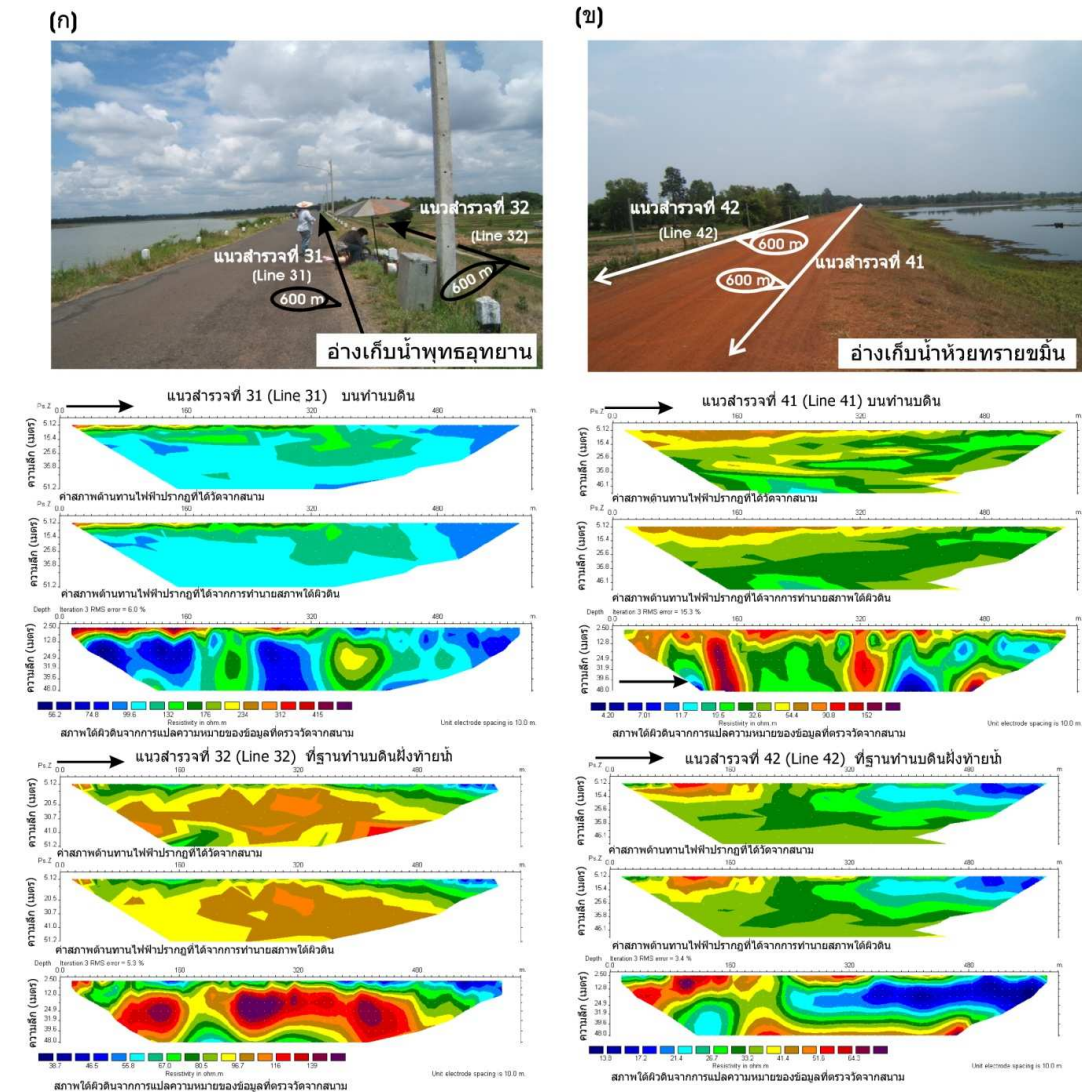
อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น (ตารางที่ 1, รูปที่ 4) ตั้งอยู่ที่บ้านห้วยทราย ตำบลพังขว้าง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5843 III พิกัดที่ 48 QUD 040-968) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ 57 ปี ตั้งอยู่บริเวณ

เทือกเขาภูพาน ลักษณะธรณีวิทยาโดยรอบเป็นหินทรายและทรายแป้งที่อยู่ในกลุ่มหินโคราช หมวดหินภูพาน

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ (ตารางที่ 1, รูปที่ 5) ตั้งอยู่ที่บ้านห้วยน้ำบ่อ ตำบลขมิ้น อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5843 III พิกัดที่ 48 QUD 925-016) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ 57 ปี ตั้งอยู่บริเวณเทือกเขาภูพาน ลักษณะธรณีวิทยาโดยรอบเป็นหินทรายและทรายแป้งที่อยู่ในกลุ่มหินโคราช หมวดหินภูพาน

อ่างเก็บน้ำภูเพ็ก (ตารางที่ 1, รูปที่ 5) ตั้งอยู่ที่ตำบลนาหัวบ่อ อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5743 II พิกัดที่ 48 QUE 887-036) มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจ 58 ปี ตั้งอยู่บริเวณเทือกเขาภูพาน ลักษณะธรณีวิทยาโดยรอบเป็นหินทรายและทรายแป้ง ที่อยู่ในกลุ่มหินโคราช หมวดหินภูพาน พบหินโผล่ที่บริเวณอ่างเก็บน้ำและรอยแตกที่พบเป็นรอยแตกที่มีร่องขนาดเล็ก ไม่ต่อเนื่อง รอยแตกเกิดจากผลของน้ำหนักกดทับที่หายไป

อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1, 2 และ 3 (ตารางที่ 1, รูปที่ 6) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1 ตั้งอยู่ที่ บ้านหนองปลาคุง ตำบลพังขว้าง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5843 III พิกัดที่ 48 QUD 945-991) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 2 ตั้งอยู่ที่บ้านดงยอ ตำบลพังขว้าง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5843 III พิกัดที่ 48 QUD 945-988) และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 3 ตั้งอยู่ที่บ้านโนนสวรรค์ ตำบลพังขว้าง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ที่ตั้งตามแผนที่ 1:15,000 ราว 5843 III พิกัดที่ 48 QUD 959-977) ทั้ง 3 อ่าง มีอายุการใช้งานขณะเข้าไปสำรวจต่ำกว่า 30 ปี ตั้งอยู่บริเวณเทือกเขาภูพาน ลักษณะธรณีวิทยาโดยรอบเป็นหินทรายและหินทรายแป้งที่อยู่ในกลุ่มหินโคราช หมวดหินภูพาน ชั้นหินมีการเอียง



รูปที่ 4. ภาพถ่ายแสดงแนวสำรวจ และผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ก) อ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน (ข) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น

เทพประมาณ 5 องศาออกจากพื้นที่กักเก็บ หินมีรอยแตก (fractures) ที่เกิดจากน้ำหนักรัดที่หายไรรอยแตกเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และเป็นร่องตื้นๆ พบที่ผิวของหินโผล่เท่านั้น

3.2 ผลการสำรวจตรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ

รูปที่ 3-5 แสดงผลของการสำรวจสภาพโครงสร้างใต้พื้นดิน และฐานพื้นดินฝั่งท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำที่มีอายุมากกว่า 45 ปี ขึ้นไปจำนวน 6 อ่าง 12 แนวสำรวจ และรูปที่ 6 แสดงผล

ของการสำรวจสภาพโครงสร้างใต้พื้นดินของอ่างเก็บน้ำที่มีอายุน้อยกว่า 30 ปี จำนวน 3 อ่าง 3 แนวสำรวจ รายละเอียดและการแปลความหมายจากข้อมูลที่สำรวจได้มีดังนี้

อ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก (รูปที่ 3) จากผลการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าใต้ผิวดิน ตามแนวสำรวจบริเวณพื้นดิน พบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ได้ฐานพื้นดิน ซึ่งอ่างเก็บน้ำบริเวณนี้ฐานรากมีแนวโน้มขมอมให้น้ำซึมผ่านได้บ้าง และพบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4 ถึง 140

โอห์ม-เมตร ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่ชั้นบน และเป็นขอบเขตสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ จากนั้น มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ เป็นไปตามสมมติฐานกรณีที่ 2 (รูปที่ 1ข) ที่ฐานของ ทำนบดินฝั่งซ้ายน้ำ พบพื้นที่บางส่วนมีผลึกเกลือ โพล์ที่ผิวดิน การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทาน ไฟฟ้าไม่เป็นไปตามแนวราบ และสภาพต้านทาน ไฟฟ้าต่ำระหว่างระยะ 230 เมตร และ 300 เมตร บ่งบอกได้ว่าสภาพใต้ผิวดินมีความไม่เป็นเนื้อ

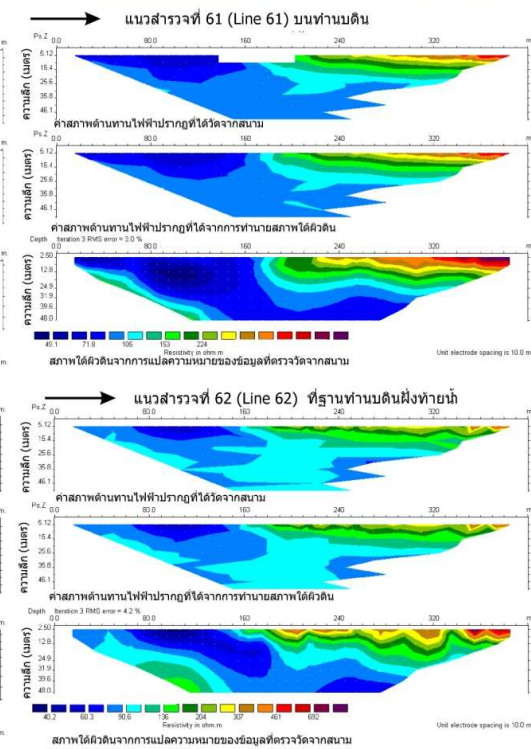
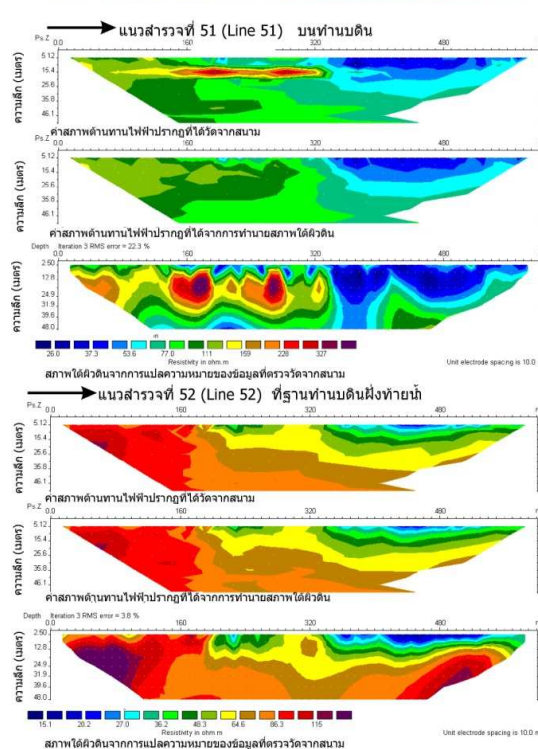
เดียวกัน ขอบเขตของสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ อาจ เกิดจากการไหลซึมผ่านของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ควร มีการสำรวจซ้ำในช่วงฤดูน้ำมาก

อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด (รูปที่ 3) แนวสำรวจ บริเวณทำนบดิน พบสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ใน ช่วง 5 ถึง 90 โอห์ม-เมตร และพบว่ามีการ เปลี่ยนแปลงสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ แสดงเป็น ขอบเขต เป็นไปตามสมมติฐานในกรณีที่ 2 ที่ แสดงในรูปที่ 1 (ข) ที่คาดว่าพบค่าสภาพต้านทาน

(ก)



(ข)



รูปที่ 5. ภาพถ่ายแสดงแนวสำรวจ และผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ก) อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ (ข) อ่างเก็บน้ำ ภูเพ็ก

ไฟฟ้าต่ำได้ทำนบดิน และได้ฐานของทำนบดิน และแนวสำรวจบริเวณฐานทำนบดินฝั่งท้ายน้ำ และบนทำนบดิน มีสภาพการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะคล้ายคลึงกัน การไหลซึมได้ฐานของทำนบดินบริเวณนี้แสดงการไหลในวัสดุค่อนข้างเป็นแบบเนื้อเดียวกัน เพราะพบการเปลี่ยนแปลงในแนวอนคล้ายคลึงกัน

อ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน (ห้วยปลาแดก) (รูปที่ 4) แนวสำรวจบริเวณทำนบดิน พบสภาพต้านทานไฟฟ้า แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แตกต่างกันเป็นช่วงๆ แสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของทำนบดิน แนวสำรวจฐานทำนบดินฝั่งท้ายน้ำ พบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ไม่เป็นไปตามสมมติของการรั่วซึมตามแนวที่ทำการสำรวจ และเมื่อตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ใกล้เคียง พบเป็นหินทรายและทรายแป้ง ดังนั้น ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่พบบริเวณนี้ น่าจะเป็นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของหินที่อยู่ใต้ผิวดินบริเวณฐานของทำนบดิน

อ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น (รูปที่ 4) แนวสำรวจบริเวณทำนบดินพบสภาพต้านทานไฟฟ้า แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แตกต่างกันเป็นช่วงๆ คล้ายกับแนวสำรวจของอ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน แสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของทำนบดิน แนวสำรวจฐานทำนบดินฝั่งท้ายน้ำ พบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำเป็นขอบเขต ที่น่าจะแปลความหมายได้ว่ามีการไหลของน้ำได้ฐานทำนบดินได้บ้าง แตกต่างจากแนวสำรวจฐานทำนบดินฝั่งท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน ที่พบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ (รูปที่ 5) แนวสำรวจบริเวณทำนบดินพบสภาพต้านทานไฟฟ้า แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แตกต่างกันเป็นช่วงๆ คล้ายกับแนวสำรวจของอ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน และอ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น แสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของทำนบดิน แนวสำรวจได้ทำนบดิน พบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงเป็นขอบเขต ซึ่งไม่

เป็นไปตามสมมติฐานของการรั่วซึม อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อจึงแปลความหมายได้ว่า ไม่มีการไหลของน้ำได้ฐานทำนบดินในช่วงความลึกที่ทำการสำรวจ

อ่างเก็บน้ำภูเพ็ก (รูปที่ 5) แนวสำรวจบริเวณทำนบดิน และฐานทำนบดินท้ายอ่างเก็บน้ำ พบสภาพต้านทานไฟฟ้า แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลจากหินทรายที่ไหลบางส่วนอยู่บริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

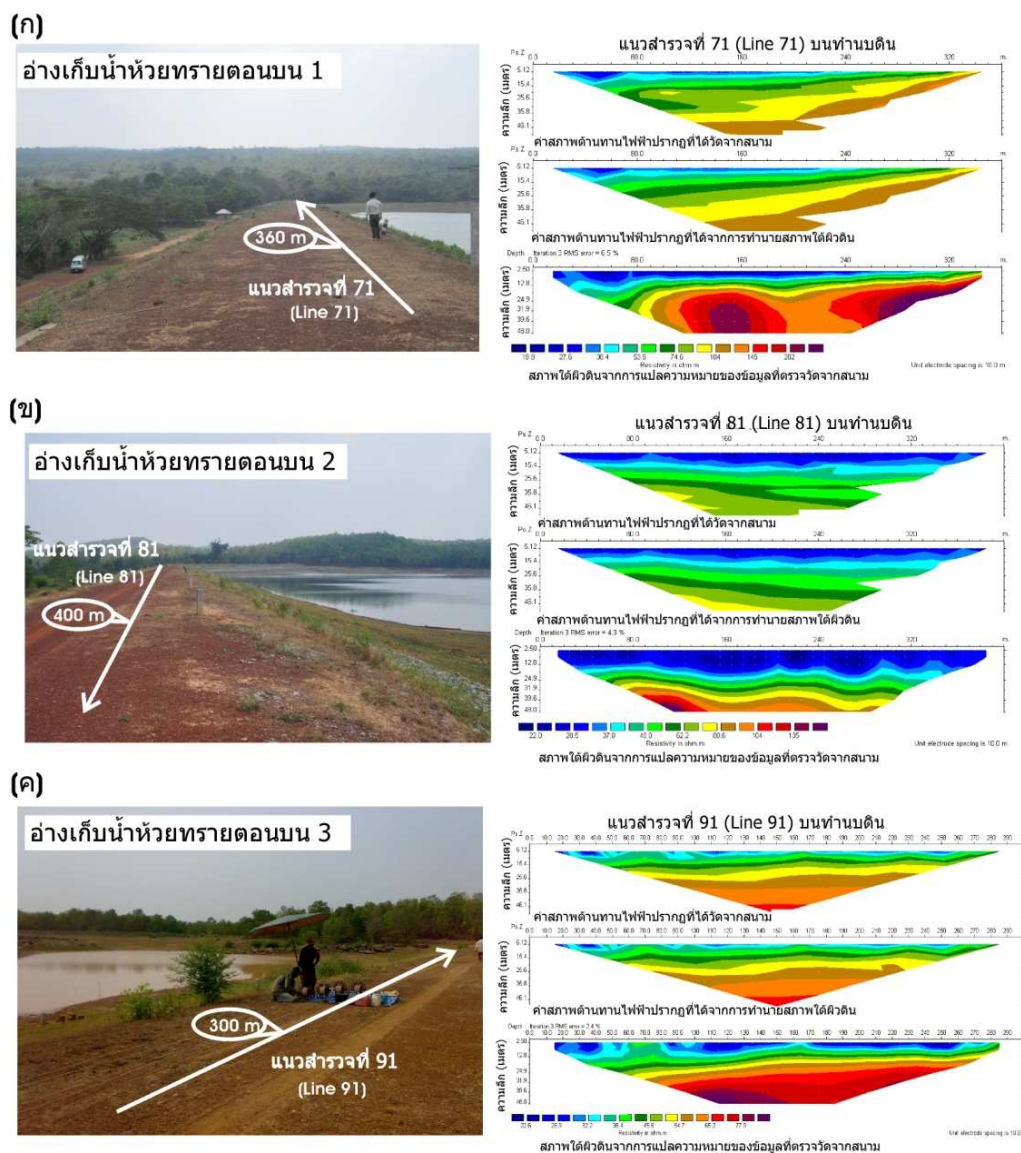
อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1, 2 และ 3 (รูปที่ 6) แนวสำรวจบริเวณทำนบดิน ไม่พบสภาพต้านทานไฟฟ้าที่บ่งบอกว่ามีการรั่วซึม ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความลึกเป็นไปตามปกติ พบหินทรายและทรายแป้งไหลที่พื้นที่อ่างเก็บน้ำ

4. สรุป

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อศึกษาตรวจสอบการรั่วซึมของทำนบดินของอ่างเก็บน้ำเพื่อการชลประทาน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าสามารถนำการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ใช้การจัดวางขั้วอิเล็กโตรดแบบเวนเนอร์มาสำรวจได้ โดยที่หากมีการรั่วซึม จะพบขอบเขตของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ที่ได้ทำนบดิน หรือได้ฐานของทำนบดิน

จากผลการสำรวจของอ่างเก็บน้ำห้วยจะเข้ มาก ยังไม่สามารถกล่าวได้ด้วยความมั่นใจเกี่ยวกับการรั่วซึม ดังนั้นควรมีการสำรวจซ้ำ ก่อนที่จะเสนอแนะให้ติดตามการรั่วซึม หรือทำการปรับปรุงแก้ไข ของบริเวณที่พบขอบเขตค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ

นอกจากนี้การไหลของดินเค็มบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยจะเข้ มาก ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม เพราะเป็นบริเวณขอบของหมวดหินมหาสารคาม ความเค็มอาจมีผลต่อคุณภาพของน้ำในอ่างเก็บน้ำในอนาคต เพราะน้ำในอ่างเก็บน้ำนี้เป็นแหล่งน้ำประปาและเพาะพันธุ์สัตว์น้ำของจังหวัดบุรีรัมย์ ในกรณีของอ่างเก็บน้ำห้วยตลาด น่าจะมีการไหล



รูปที่ 6. ภาพถ่ายแสดงแนวสำรวจ และผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ก) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 1 (ข) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 2 (ค) อ่างเก็บน้ำห้วยทรายตอนบน 3

ซึมที่ฐานของทำนบดิน เพราะพบขอบเขตสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ การไหลซึมเป็นแบบเนื้อเดียวกัน เนื่องจากพบความผิดปกติตามแนวนอนแบบต่อเนื่อง อ่างเก็บน้ำพุทธอุทยานควรสำรวจซ้ำที่บริเวณทำนบดิน เพราะลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะค่อนข้างมาก และควรหาประวัติของทำนบดินของอ่างเก็บน้ำ ว่ามีการ

เสริมทำนบ หรือปรับปรุงซ่อมแซมมาแล้วหรือไม่ ในช่วงของการก่อสร้าง ได้ใช้ดินถมจากพื้นที่ใด และสำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยทรายขมิ้น ไม่พบการรั่วซึม แต่ควรมีการกำจัดวัชพืชโดยเร่งด่วน เพราะอ่างเก็บน้ำอยู่ในสภาพที่ตื้นเขินมาก สภาพของอ่างเก็บน้ำและทำนบดิน ยังมีสภาพที่เหมาะสมสามารถกักเก็บน้ำได้

ในกรณีของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำบ่อ ภูเพ็ก ห้วยทรายตอนบน 1 และ 2 ทำนบดินมีสภาพดี ไม่พบการรั่วซึมที่ฐานของอ่างเก็บน้ำตามแนวของการสำรวจ การไหลของหินทรายแป้งและหินทรายบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ไม่ได้เป็นผลให้เกิดการซึมผ่านตามรอยแตก เพราะรอยแตกที่เกิดในหินเป็นรอยแตกที่เกิดที่พื้นผิวหินไหล เนื่องจากน้ำหนักกดทับที่หายไป จึงทำให้เกิดรอยแตกแบบไม่ต่อเนื่อง น้ำจึงไม่สามารถไหลออกจากอ่างเก็บน้ำตามรอยแตก

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนงบประมาณ ปี พ.ศ. 2551 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และจากภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุน สถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของกรมชลประทาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีนักศึกษาปริญญาตรีที่เข้าร่วมออกศึกษาภาคสนาม ได้แก่ นายอภิราช ชีวรุ่งโรจน์ นายรัชชัย เสนาสึงห์ นายกิตติพงษ์ เหล่าวอ นายไพรัช อุปถัมภ์ นายโชคชัย วงษ์ดี นายณรงค์วิธแสงชมภู นายกิตติศักดิ์ ทอดทอง และนายสันติสุข คงเจริญ

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Royal Irrigation Department. History of Royal Irrigation Department [Internet]. 2009 [cited 2009 mar 12]. Available from: <http://www.rid.go.th/2009/>
- (2) Telford WM, Geldart LP, Sheriff RE, Keys DA. Applied geophysics. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
- (3) Satarugsa P. Exploration geophysics. Khon Kaen: Department of

Geotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University; 2007.

- (4) Sjodahl P, Dahlin T, Johansson S. Using resistivity measurements for dam safety evaluation at Enemossen tailings dam in southern Sweden. Environ Geol. 2005; 49: 267-73.
- (5) Cho IK, Yeom JY. Crossline resistivity tomography for the delineation of anomalous seepage pathway in an embankment dam. Geophysics. 2007; 72: 31-8.
- (6) Poisson J, Chouteau M, Aubertin M, Campos D. Geophysical experiments to image the shallow internal structure and the moisture distribution of a mine waste rock pile. J Appl Geophys. 2009; 67: 179-92.
- (7) Satarugsa P, Meesawat N, Yongsanpoo S, Marnjai D. Monitoring of subsurface cavity collapsed into a sinkhole with resistivity survey. KKU Res J. 2003; 8(2): 41-52.
- (8) Satarugsa P, Marnjai D, Satarugsa S. Factors influencing subsurface resistivity variation in gradually expanding surface cavity areas. KKU Res J. 2007; 12(4): 451-64.
- (9) Loke MH. Electrical imaging survey environment and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3D surveys. San Jose: Geometrics; 1999.